

Stoffeintrag in Straßenrandböden Messzeitraum 2008/2009

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 209

The logo for the Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) is displayed in a stylized, lowercase, green font with a white outline. The letters are bold and rounded, with the 'a' and 's' having a slightly irregular, hand-drawn appearance. The logo is positioned in the bottom right corner of the page.

Stoffeintrag in Straßenrandböden Messzeitraum 2008/2009

von

Frank Beer
Bertil Surkus
Birgit Kocher

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 209

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, Stabsstelle Presse und 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 **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt des Arbeitsprogramms der Bundesanstalt für Straßenwesen:
AP F1100.6308002: Stoffeintrag in Straßenrandböden
– Messzeitraum 2008/2009

Herausgeber

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

Redaktion

Stabsstelle Presse und 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
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

ISSN 0943-9331
ISBN 978-3-86918-155-4

Bergisch Gladbach, November 2011

Print  kompensiert
Id-Nr. 1114627
www.bvdm-online.de

Kurzfassung – Abstract

Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2008/2009

Zur Ermittlung und Beurteilung der Schadstoffeinträge in Bankett, Straßenböschungen, Böden und Entwässerungseinrichtungen werden an drei Autobahnstandorten Staubniederschlag und Straßenabflusswasser untersucht. Die Messungen wurden 2005 begonnen. Die bisherigen Messergebnisse sind in der Schriftenreihe der BASt erschienen (KOCHER 2006, 2007). Im vorliegenden Bericht werden die Messergebnisse aus dem Zeitraum 2008-2009 vorgestellt und eine Übersicht über den gesamten bisherigen Messzeitraum gegeben.

An Staubniederschlägen und Konzentrationen im Straßenabfluss scheint für den aktuellen Messzeitraum, aber vor allem auch bei Betrachtung aller bisher genommenen Proben zwischen Februar 2005 und Dezember 2009 eine sinkende Tendenz der Metalleinträge feststellbar. Mögliche Einflussfaktoren außer einer straßenverkehrsbedingten Änderung der Einträge sind beim Staubniederschlag der zweimalige Wechsel des Gefäßtyps (09/2008 von 1.5-L-Glasgefäßen zu 1.5-L-PE-Gefäßen, 04/2009 zu 2.5-L-Glasgefäßen), das regelmäßige Mähen der Aufstellflächen mit einem benzinbetriebenen Freischneider ab 05/2008 (siehe auch Methodenkapitel) sowie niedrigere Bestimmungsgrenzen für viele Parameter ab 02/2009.

Diese Faktoren zusammengenommen lassen Änderungen der mittleren Fracht im Staubniederschlag, die nicht straßenverkehrsbedingt sind, wenn, dann nur in den bodennahen Gefäßen erwarten. Diese Erwartung lässt sich bei Betrachtung der Zeitreihen der Messergebnisse nicht bestätigen. Sowohl in den bodennahen Sammlern als auch in den Sammlern in 1.5 m Höhe ist an allen Standorten für Blei eine sehr deutliche und für Cadmium eine deutliche Abnahme zu erkennen. Die Änderungen der mittleren Fracht scheinen also nicht methodenbedingt, sondern durch den Straßenverkehr bzw. durch veränderte Emissionen bedingt zu sein. Bei Cobalt, Eisen, teilweise auch Kupfer, Molybdän, Nickel, Vanadium und Zink ist bei den meisten Messstellen sowohl bodennah als auch in 1.5 m Höhe ebenfalls eine, wenn auch schwächere Abnahme der Frachten über den bisher untersuchten Zeitraum zu erkennen. Das betrifft alle untersuchten Entfernungen, auch die Hinter-

grundmesspunkte in bis zu 130 m Entfernung vom Fahrbahnrand. Keines der untersuchten Elemente zeigt eine Zunahme.

Der an den untersuchten BAB zu beobachtende Trend zu niedrigeren Metalleinträgen geht parallel zur Entwicklung in urbanen Räumen. Die in der vorliegenden Untersuchung in 1.5 m Höhe gemessenen Werte liegen nicht immer unterhalb der Immissionswerte der TA Luft. Überschreitungen treten für Staubniederschlag an den fahrbahnächsten Messpunkten bis in 2.5 oder maximal 5 m Entfernung vom Fahrbahnrand und an einem im Wald gelegenen Referenzmesspunkt in 50 m Entfernung auf. Die Immissionswerte für Cadmium und Blei werden an keinem Messpunkt überschritten. Der Immissionswert für Nickel wird im Bereich bis 10 m Entfernung von der Fahrbahn häufig überschritten.

In den Proben von Straßenabflusswasser an der A 555 und A 61 überschreiten nur die Mittelwerte der gelösten Gehalte von Kupfer und Zink die geringfügigkeitsschwellenwerte für das Grundwasser der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA 2004). Die Umweltqualitätsnormen der Wasserrahmenrichtlinie der EU für Blei, Cadmium und Nickel werden nicht überschritten, ebenso werden die Prüfwerte für Sickerwasser der BBodSchV (BMU 1999) nicht erreicht.

Die meisten Metalle liegen weit überwiegend als Feststoff im Straßenabfluss vor. Eine Ausnahme hiervon stellt Cadmium dar, von dem mehr als 30 % des Anteils in gelöster Form vorliegt. Daher ist der Reinigungsleistung von Absetzbecken bezüglich Cadmium eine Grenze gesetzt, wenn nur die Absetzwirkung alleine berücksichtigt wird. Auch bei Molybdän und Zink liegen größere Anteile in löslicher Form vor (ca. 26 % bzw. 16 %).

Anhand des vollständigen bisher vorliegenden Datensatzes wurden Umrechnungsfaktoren bestimmt, mit denen der Eintrag aus Staubniederschlag in 1.5 m Höhe multipliziert werden kann, um den bodennahen Eintrag abzuschätzen. Sie betragen für 1 m Entfernung 7.5, für > 2 m bei freier Ausbreitung 2.5 und bei Lage der Straße nahe Lärmschutzwänden und Wald 1.5 und gelten sowohl für den Staubniederschlag als auch für die untersuchten Metalle.

Es ist vorgesehen, die Messungen sowohl bodennah als auch in 1.5 m Höhe fortzusetzen und die Umrechnungsfaktoren anhand der Ergebnisse des nächsten Messzeitraumes zu validieren.

Material deposition in soils at the roadside – measuring period 2008/2009

Dust deposition and road drainage water are being investigated at three motorway sites to determine and evaluate the pollutant deposition into the shoulders, batters, soils and drainage systems. These measurements were started in 2005 and the previous measuring results were published in the publication series of the BASt (KOCHER 2006, 2007). The current report presents the measuring results for the period 2008-2009 and an overview of the whole measuring period.

Dust depositions and the concentrations in the road drainage show a declining trend for metal depositions during the current measuring period, which is stronger when all samples taken between February 2005 and December 2009 are considered. Possible influencing factors, in addition to road traffic-related effects of the depositions, are two changes in the containers used for measuring dust deposition (09/2008 change from 1.5 l glass containers to 1.5 l PE containers and 04/2009 change to 2.5 l glass containers), regular mowing of the installation area with a petrol-driven edge trimmer from 05/2008 onwards (also see chapter on methods) as well as lower detection limits for many parameters from 02/2009 onwards.

All these factors together suggest that possible changes of the mean dust precipitation load that are not due to traffic should mainly be detected in the containers close to the ground. This suspicion was not confirmed by an analysis of the time series of the measuring results. Collectors close to the ground as well as collectors at 1.5 m height at all sites showed a very clear reduction of lead and a clear reduction of cadmium. The changes in the mean deposition load therefore do not appear to be caused by variations in the method but by changes in road traffic or emissions patterns. Also a smaller reduction of the deposition loads of cobalt, iron and partially of copper, molybdenum, nickel, vanadium and zinc was found during the observation period at most measuring points at the ground as well as at a height of 1.5 m. This holds for all distances investigated, including background measuring points at up to 130 m distance from the edge of the road. None of the elements investigated showed an increase.

The trend towards lower metal depositions, which was observed along the federal highway runs in parallel to the developments in urban areas. The

values measured in the current investigation at a height of 1.5 m are not always below the immersion limits of the TA Luft (Technical Instructions on Air Quality Control). The limits for dust deposition are exceeded by values at the measuring points closest to the edge of the road, up to a distance of 2.5 m or at most 5 m from the edge of the road and at a reference point in a forest at a distance of 50 m. The immission thresholds for cadmium and lead are not exceeded at any measuring point. The immission threshold for nickel is frequently exceeded in the area up to 10 m distance from the edge of the road.

Samples of road drainage water at the A 555 and A 61 motorways only exceed the negligibility thresholds for ground water of the State Work Group for Water (LAWA 2004) with regard to the averages of dissolved copper and zinc content. The environmental quality standards of the Water Framework Directive of the EU for lead, cadmium and nickel were not exceeded and the test values for seepage water of the BBodSchV (Federal Soil Protection Act) (Federal Ministry for the Environment 1999) were not reached.

Most metals in the road drainage are present in solid form. Cadmium is an exception, because more than 30% of it is present in dissolved form. The cleaning power of sedimentation basins with regard to cadmium is therefore limited when only the sedimentation effect is considered. Also molybdenum and zinc have larger components in dissolved form (approx. 26% and 16%).

The complete data sets collected to date were used to determine conversion factors that can be used to multiply the values for dust deposition at a height of 1.5 m to estimate the values near the ground. They factors were 7.5 for 1 m distance, 2.5 for > 2 m with free spreading and 1.5 when the road is near a noise protection wall and in forests. They apply to dust precipitation as well as for the metals investigated.

It is planned to continue the measurements near the ground as well as at a height of 1.5 m height to validate the conversion factors with the results of the next measuring period.

Inhalt

1	Einführung	7
2	Material und Methoden	7
2.1	Standorte	7
2.2	Methoden	8
2.2.1	Staubniederschlag	8
2.2.1.1	Probenahme	8
2.2.1.2	Bestimmung von Masse und Inhaltsstoffen	8
2.2.2	Straßenabfluss	8
2.2.3	Bodenproben	8
3	Ergebnisse	9
3.1	Messperiode 2008/2009 – Staub- niederschlag und Inhaltsstoffe	9
3.2	Vergleich der Schwermetall- konzentrationen in Staubnieder- schlag und oberster Boden- schicht	12
3.3	Gesamter Messzeitraum 2005 bis 2009 – Zeitreihen des Staub- niederschlags	13
3.4	Messperiode 2008/2009 – Straßenabfluss	15
3.4.1	Gelöste Anteile im Straßenabfluss	15
3.4.2	Feststoffanteil im Straßenabfluss ...	19
3.5	Vergleich der Depositionsmessung in 1.5 m und 0.25 m Höhe	19
4	Diskussion	28
4.1	Staubniederschlag und Metall- einträge	28
4.2	Zeitlicher Verlauf der Einträge aus Staubniederschlag	30
4.3	Fracht der untersuchten Elemente im Straßenabfluss	32
4.4	Ausblick/Forschungsbedarf	34
5	Literatur	35

Danksagung

Die Autoren bedanken sich herzlich für die tatkräftige und beständige Mitwirkung von Claudia Görg, Johannes Große Winkelsett, Robert Ludwigs, Sergej Metzger, Björn Krüger und Lars Frangenberg im Gelände und im Labor.

1 Einführung

Emissionen aus dem Straßenverkehr verursachen einen nicht unerheblichen Teil der Schadstoffimmissionen in Luft, Böden und Gewässern. Bankette und straßennahe Böden haben in hohem Maße die Fähigkeit, Schadstoffe aus Staubniederschlag, Spritzwasser und Straßenabfluss zurückzuhalten, weisen aber dadurch u. a. erhöhte Schwermetallgehalte auf, wie z. B. von LAGERWERFF/SPECHT (1970), WHEELER/ROLFE (1979), WIGINGTON et al. (1986) schon seit Jahrzehnten dokumentiert ist.

Zur Ermittlung und Beurteilung der Schadstoffeinträge in Bankett, Straßenböschungen, Böden und Entwässerungseinrichtungen werden an drei Autobahnstandorten Staubniederschlag und Straßenabflusswasser untersucht. Die Messungen wurden 2005 begonnen. Die bisherigen Messergebnisse sind in der Schriftenreihe der BASt erschienen (KOCHER 2006, 2007).

2 Material und Methoden

2.1 Standorte

Die Lage und Eigenschaften der Standorte werden im Bericht „Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2005/2006“ (KOCHER 2006) ausführlich beschrieben.

Tabelle 1 gibt eine aktualisierte Übersicht der verkehrsbezogenen Eigenschaften der Messstandorte.

Zwei der drei Standorte weisen eine eindeutig unterscheidbare Luv- und Leeseite auf und liegen

etwa quer zur Hauptwindrichtung (A 555 und A 61). Eine gleichmäßige Schadstoffausbreitung ist an diesen beiden Standorten sehr gut möglich. Gleichmäßiger Verkehrsfluss ist an den Standorten uneingeschränkt vorhanden, an der A 4 und A 61 zeitweise etwas eingeschränkt durch zählfließenden Verkehr. Alle Verkehrsstärken sind größer als 65.000 Kfz/d und liegen damit über dem mittleren DTV von 48.800 Kfz/d auf den deutschen Autobahnen. Die drei Standorte decken bei vergleichbarer Gesamtverkehrsstärke mit 5 bis 20 % ein breites Spektrum von Lkw-Anteilen am DTV ab, sodass sich der Lkw-Einfluss gut untersuchen lässt. Andere Emittenten als der Straßenverkehr sind nicht vorhanden oder liegen jeweils in ausreichender Entfernung, um ihren Einfluss vernachlässigbar zu halten.

Gegenüber dem vorherigen Messzeitraum wurden aus Arbeitsschutzgründen Veränderungen an den Zugängen zu den Messstandorten A 61 und A 4 durchgeführt, die jedoch die Messungen selbst nicht beeinflussen sollten. Ziel war vor allem eine sicherere Zugänglichkeit (Bild 1).

Außerdem wurden zur Verbesserung der Erfassung der Entfernungsabhängigkeit des Staubniederschlages die folgenden beiden Messpunkte ergänzt:

- A 4 S 15 m Boden und Referenz ab 05/2008,
- A 555 W 70 m Boden und Referenz ab 06/2008.

Die hier vorgestellten Messungen umfassen den Zeitraum von April 2008 bis Dezember 2009 und werden den Untersuchungen aus dem vorigen Messzeitraum gegenübergestellt. Diese sind ausführlich in KOCHER (2007) dargestellt.

Standort	A 555 Widdig	A 61 Meckenheim	A 4 Bensberg
Autobahn-km	13,2	177,4	92,7
Nächstgelegene Dauerzählstelle	Godorf/Wesseling Nr. 5036	Ringel-Vettelhofen Nr. 7149	Bensberg-Frankenforst Nr. 5015
DTV (Kfz/24 h) 2009 (vorläufig)	70.185	69.444	71.541
SV-Anteil (%) 2009 (vorläufig)	5,4	18,1	8,1
Zahl der Fahrspuren	6	5	4
Seitenstreifen (Standstreifen)	beidseitig	beidseitig	beidseitig
Schutzplanken	beidseitig	nein	beidseitig
Ausbreitungsbedingungen	frei	frei	Wald, Lärmschutzwand
Lage zur Hauptwindrichtung	quer	quer	parallel

Tab. 1: Übersicht der Eigenschaften der Messstandorte (DTV-Werte: BASt)



Bild 1: Standort A 61: Zugangsweg zum Abflusssammler

2.2 Methoden

Die angewandten Methoden werden im Bericht „Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2005/2006“ (KOCHER 2006) ausführlich beschrieben. Hier werden nur die inzwischen durchgeführten Veränderungen bzw. Verbesserungen kurz zusammengefasst.

2.2.1 Staubniederschlag

2.2.1.1 Probenahme

Bis 08/2008 wurden zur Beprobung des Staubniederschlages die typischen Bergerhoffgefäße aus Glas mit 1.5-L-Volumen verwendet (Einmachgläser). Da diese nicht mehr lieferbar waren und sich bei der Staubniederschlagsmessung verschiedener Umweltbehörden Gefäße vergleichbarer Größe aus Kunststoff bewährt haben, wurden ab 9/2008 1.5-L-PE-Gefäße mit dichtschießendem, abnehmbarem Deckel verwendet. Aufgrund ihres geringen Gewichtes wurden diese jedoch bei den z. T. starken Luftturbulenzen durch den vorbeifahrenden Verkehr häufig umgeweht. Daher kamen ab 04/2009 2.5-L-Glasgefäße zum Einsatz.

Ab 5/2008 wurden die Aufstellflächen an allen Standorten regelmäßig monatlich mit einem benzinbetriebenen Freischneider gemäht, sodass eine gleichmäßiger und niedriger geschnittene Grasfläche um die Stellplätze der bodennahen Depositionsgefäße erreicht wurde. Zuvor waren die Flächen monatlich grob mit einer Sense gemäht und in ca. 1 m Umkreis um die bodennah aufge-

stellten Sammler mit einer Rasenschere nachgeschnitten worden.

2.2.1.2 Bestimmung von Masse und Inhaltsstoffen

Beim Überführen der Staubniederschlagsproben aus den neuen 2.5-L-Glasgefäßen traten anfangs Probleme auf. Durch die Gefäßgröße fiel eine größere Menge Spülflüssigkeit an, die ein mehrfaches Einengen in den Aufschlussgefäßen nötig machte. Durch eine Verbesserung der Überführungstechnik konnte diese potenzielle Quelle für Fehler und Verunreinigungen vermieden werden. Auch die Feststoffanalytik profitierte von der Verbesserung der Bestimmungsgrenzen für die gelösten Inhaltsstoffe, siehe Kapitel „Gelöste Anteile im Straßenabfluss“. Eine Auswirkung auf die Messwerte der Gehalte im Feststoff ist nur für die Elemente Co und Mo festzustellen, da bei den anderen die Konzentrationen in der Aufschlusslösung auch schon bisher eine sichere Analytik erlaubten. Dies betrifft die Staubniederschlagsproben, die ungelösten Bestandteile des Straßenabflusses und die Bodenproben.

2.2.2 Straßenabfluss

Die Beprobung erfolgt wie in KOCHER (2006) beschrieben direkt am Fahrbahnrand. Es werden Sammelmischproben über 30 Tage genommen, um unregelmäßige Verteilung von Abfluss und Partikelgehalt (beispielsweise First-Flush-Effekte wie von BARBOSA/HVITVED-JACOBSEN (1999) beobachtet) mit zu erfassen. Die Filtration zur Bestimmung der gelösten Gehalte wird inzwischen mit einem Filter 0.45 µm durchgeführt. Die Bestimmung von pH-Wert und elektrischer Leitfähigkeit erfolgt kurzfristig nach Ankunft der Proben im Labor. Die Bestimmungsgrenzen für viele Elemente wurden verbessert. Dies wird in Kapitel 3.4.1 „Gelöste Anteile im Straßenabfluss“ beschrieben.

2.2.3 Bodenproben

Zur Charakterisierung möglicher windtransportierter Oberbodenpartikel von unbewachsenen Flächen in der Nähe der Messstandorte wurden einige Proben entnommen. Vorgehen und Ergebnisse sind in Kapitel 3.2 „Vergleich der Schwermetallkonzentrationen in Staubniederschlag und oberster Bodenschicht“ beschrieben.

3 Ergebnisse

3.1 Messperiode 2008/2009 – Staubniederschlag und Inhaltsstoffe

Bei der Darstellung der Ergebnisse wird der beprobte Autobahnquerschnitt jeweils als „Messstandort“ bezeichnet (A 555, A 61, A 4), der halbe Querschnitt als „Messstelle“ (A 555 West, A 555 Ost, A 61 Ost, A 4 Süd, A 4 Nord) und eine einzelne Entfernung als „Messpunkt“ (Beispiel „A 61 E 10“ = A 61, Ostseite, 10 m Entfernung vom Rand der befestigten Fläche). Die Grenze zwischen der befestigten Straßenfläche und dem unbefestigten Seitenstreifen wird als Bezugspunkt für die Ermittlung des Abstandes der Messpunkte vom „Emissionsort“ verwendet und wird im Folgenden als „Rand der Fahrbahn“ bezeichnet. „SN“ wird in den Tabellen und Abbildungen als Kurzbezeichnung für den Gesamtstaubniederschlag verwendet. Typische Depositionsraten ausgewählter Elemente im Gesamtstaubniederschlag sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Sie werden in $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{d}$ oder $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{d}$ angegeben. Der Gesamtstaubniederschlag liegt nach der Vergleichsuntersuchung in VDI-RL 2267

(Tabelle 2) zwischen $6 \text{ mg}/\text{m}^2\cdot\text{d}$ (ländliche Höhenlage, gering belastet) und $530 \text{ mg}/\text{m}^2\cdot\text{d}$ (Industriegebiet in Ballungsraum).

Die Tabelle 3 zeigt die über den gesamten Messzeitraum April 2008 bis Dezember 2009 gemittelten Werte des bodennahen Gesamtstaubniederschlags und der darin enthaltenen Stofffrachten, die Tabelle 4 dieselben Größen für die Probenahme in 1.5 m Höhe. Eine statistische Übersicht der Ergebnisse für alle hier untersuchten Elemente ist bei der BAST erhältlich. Daraus kann auch die Verteilung der einzelnen Monatswerte abgelesen werden.

Die Tabelle 5 zeigt die Änderung der Mittelwerte der bodennahen Staubniederschläge von April 2008 bis Dezember 2009 seit den Messungen der bodennahen Staubniederschläge von Juni 2006 bis April 2007. Während beim Gesamtstaubniederschlag keine einheitliche Tendenz zu sehen ist, zeigen sich bei den Schwermetalleinträgen deutliche Verringerungen seit dem letzten Messzeitraum. So liegt der Eintrag an Cadmium an allen Messstandorten deutlich niedriger. Auch die Einträge von Cobalt, Chrom, Kupfer, Molybdän, Nickel, Blei und Zink sind mehrheitlich niedriger.

Element		Deposition $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$	
		ländlich	städtisch
Gesamtstaubniederschlag	$\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$	6	530
Aluminium	Al	200 bis 400	300 bis 500
Arsen	As	0,1 bis 1,4	0,7 bis 2,2
Blei	Pb	10 bis 20	20 bis 35
Cadmium	Cd	0,2 bis 0,6	0,3 bis 1,0
Calcium	Ca	1.000 bis 5.000	1.000 bis 27.000
Chrom	Cr	1 bis 5	5 bis 10
Eisen	Fe	300 bis 600	1.000 bis 4.000
Kalium	K	400 bis 500	400 bis 1.000
Cobalt	Co	0,1 bis 0,5	1
Kupfer	Cu	5 bis 10	10 bis 50
Magnesium	Mg	300 bis 1.000	500 bis 1.000
Mangan	Mn	10 bis 30	50 bis 300
Natrium	Na	1.000 bis 5.000	1.000
Nickel	Ni	1 bis 3	5 bis 20
Vanadium	V	2 bis 10	10 bis 70
Zink	Zn	10 bis 60	100 bis 1.000

Tab. 2: Typische Niederschlagsbereiche von Elementen (aus VDI-RL 2267, Blatt 14)

			g/(m ² *d)	mg/(m ² *d)			µg/(m ² *d)								
Straße	Lage	Entf. (m)	SN	Ca	Fe	Na	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	V	Zn
A 4	N	1	2,867	73,4	68,3	131	2,38	44,2	663	714	42,9	245	164	147	1.879
A 4	N	2,5	0,768	20,7	18,4	49,8	0,80	12,3	178	255	14,8	60,6	61,8	40,9	667
A 4	N	4	0,656	20,2	10,2	42,2	0,53	7,03	98,3	164	8,90	32,1	28,5	22,7	427
A 4	S	1	2,717	65,6	54,5	121	2,28	33,7	679	628	30,9	198	160	123	2132
A 4	S	15	0,378	6,56	1,81	4,82	0,69	1,88	21,2	33,2	2,51	8,70	5,83	5,91	150
A 4	S	150	0,483	5,94	1,83	3,08	0,49	1,58	11,9	25,9	1,94	7,26	19,4	6,77	77,5
A 555	E	1	2,332	52,7	50,4	69,2	1,29	35,9	357	352	21,6	140	118	129	1.286
A 555	E	2,5	1,303	27,8	21,3	87,5	0,74	14,7	132	203	11,5	57,3	51,1	53,8	518
A 555	E	5	0,677	16,9	10,1	25,6	0,56	7,85	60,2	102	5,55	27,4	24,8	26,8	284
A 555	W	1	1,867	43,6	36,3	82,7	1,00	24,6	298	298	16,6	107	85,8	89,4	881
A 555	W	2,5	0,713	14,9	11,6	46,7	0,42	8,44	85,6	116	7,18	32,5	33,6	30	330
A 555	W	5	0,302	6,85	4,53	14,2	0,36	3,24	33,7	61,4	3,55	14,9	12,5	12,7	177
A 555	W	70	0,300	6,17	3,40	3,53	0,22	2,49	14,0	27,8	1,23	8,51	3,57	10,9	56,3
A 61	E	1	6,850	203	146	263	2,97	98,0	766	1609	50,1	368	326	435	5.180
A 61	E	2,5	2,681	90,0	62,9	126	1,18	46,7	353	623	25,0	134	151	207	1.747
A 61	E	5	1,384	46,2	32,6	78,8	0,64	64,8	166	380	16,2	69,2	83,6	109	998
A 61	E	10	0,617	22,1	16,6	37,0	0,78	12,2	92,8	179	11,4	33,6	44,4	49,4	605

Tab. 3: Übersicht der Mittelwerte der bodennahen Staubbiederschläge von April 2008 bis Dezember 2009

			g/(m ² *d)	mg/(m ² *d)			µg/(m ² *d)								
Straße	Lage	Entf. (m)	SN	Ca	Fe	Na	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	V	Zn
A 4	N	1	0,272	8,46	7,48	14,0	0,32	4,83	75,2	115	6,53	23,2	21,7	16,9	295
A 4	N	2,5	0,519	13,7	12,1	23,2	0,48	9,18	115	223	12,1	40,0	31,7	23,3	475
A 4	N	4	0,376	10,4	6,68	15,3	0,40	5,43	66,4	121	6,27	22,6	19,0	15,5	284
A 4	S	1	0,276	9,27	7,01	19,8	0,47	4,36	69,1	99,5	5,78	19,5	36,9	14,1	305
A 4	S	15	0,209	3,37	1,60	2,51	0,23	2,64	15,4	28,9	1,67	6,61	5,83	5,37	113
A 4	S	50	0,467	9,60	1,43	3,16	0,85	1,38	11,6	27,5	1,96	7,53	6,68	4,90	136
A 4	S	150	0,361	5,28	1,06	4,19	0,45	2,06	11,5	23,5	1,42	2,40	2,54	4,50	78,3
A 555	E	1	0,440	12,1	11,2	16,0	0,31	9,90	64,4	109	6,21	27,2	35,1	33,8	287
A 555	E	2,5	0,304	9,16	6,64	17,6	0,28	4,88	45,3	126	4,36	18,6	15,0	15,9	192
A 555	E	5	0,344	7,53	5,04	11,2	0,48	3,75	32,9	58,1	3,41	13,8	9,93	12,2	16,8
A 555	E	100	0,136	2,53	1,18	1,63	0,16	0,70	8,22	19,2	0,93	5,30	2,37	5,90	44,4
A 555	W	1	0,220	6,05	5,22	17,5	0,25	3,41	35,9	60,6	3,65	12,7	15,9	11,7	164
A 555	W	2,5	0,191	6,64	4,56	17,4	0,25	3,26	35,6	61,2	3,38	12,7	11,9	11,6	169
A 555	W	5	0,134	4,10	2,87	7,71	0,19	2,07	21,6	42,9	2,46	9,37	9,31	7,72	119
A 555	W	70	0,038	1,32	0,78	1,70	0,14	2,32	5,38	28,8	1,20	3,82	2,82	3,65	43,7
A 61	E	2,5	0,701	29,8	20,7	50,0	0,65	15,4	96,3	211	8,22	38,9	49,1	65,7	554
A 61	E	5	0,484	20,6	15,7	32,7	0,39	14,6	67,6	183	6,11	28,2	40,7	47,3	470
A 61	E	10	0,253	11,5	8,47	16,3	0,27	6,48	41,5	119	4,06	15,5	17,9	23,8	266

Tab. 4: Übersicht der Mittelwerte der Staubbiederschläge in 1.5 m Höhe von April 2008 bis Dezember 2009

Straße	Lage	Entf. (m)	g/(m ² *d)	mg/(m ² *d)			µg/(m ² *d)								
			SN	Ca	Fe	Na	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	V	Zn
A 4	N	1	1,217	23,9	-52,7	111,7	-0,29	-22,8	53	-1	-29,8	72	-99	46	-112
A 4	N	2,5	0,264	8,5	7	43,11	-0,81	5,44	25	39	3,3	23,6	8,6	17,6	248
A 4	N	4	0,343	10,95	3,17	37,15	-0,83		3,6	15		3,4	-7,1	8,4	109
A 4	S	1	0,232	7,1	-3	94,7	0,09	-9,6	-67	-12	-18,7	25	-130	25,7	-38
A 555	E	1	-0,949	-30,2	-27	-20,4	-1,73	-7,4	-138	-302	-15,9	-54	-216	-44	-1.911
A 555	E	2,5	-1,045	-41	-41,9	38,2	-2,55	-22,1	-183	-170	-24,3	-73,7	-168	-70,2	-497
A 555	E	5	0,012	-2,6	0,3	0,8	-0,71	1,54	-2,3	-25		-5	-19	-1	-18
A 555	W	1	0,265	4,9	-6,2	59,4	-3,8	6,7	-5	-17	-0,9	16,4	-66	15,2	-66
A 555	W	2,5	-0,103	3,5	1,2	39	-0,64	1,96	6,6	4		3,4	-19	5,4	10
A 555	W	5	-0,23	-10,35	-7,97	-4,3	-1,28		-92,3	-145		-25	-45	-24,6	-317
A 61	E	1	-0,716	-54	-80	156	-1,27	-69	-381	-1.432	-25,3	-63	-598	-196	302
A 61	E	2,5	-1,141	-42	-52,1	46,2	-2,95	-19,1	-168	-407	-32,3	-61	-194	-113	-718
A 61	E	5	-0,441	-21,3	-21,1	30,8	-1,8	19,7	-109	-245	-27,2	-21,8	-62	-40	-712
A 61	E	10	-0,162	-7,1	-7,4	16,5	-0,76	-5,2	-28,2	-42	-3,5	-15	-58	-15,6	-141

Tab. 5: Übersicht der Änderung der Mittelwerte der bodennahen Staubbiederschläge von April 2008 bis Dezember 2009 gegenüber dem Messzeitraum Juni 2006 bis April 2007

Straße	Lage	Entf. (m)	g/(m ² *d)	mg/(m ² *d)			µg/(m ² *d)								
			SN	Ca	Fe	Na	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	V	Zn
A 4	N	1	0,109	2,71	2,07	9,02	-0,26		1	9		7,6	-2	6,7	87
A 4	N	2,5	0,189	6,66	5,46	18,47	0,19	2,27	39,2	110		19,6	-6,2	9,7	200
A 4	N	4	0,193	4,09	2,25	9,9	0,12		3,8	22,2		2,9	-6,6	5,96	68
A 4	S	1	0,129	3,57	2,57	15,53	0,21		20,7	-4,5		3,7	13,7	5,51	118
A 4	S	50	0,159	0,5	0,27	-1,04	0,13		0,1	4,3		0,09	-2,87	1,03	20
A 4	S	150	0,249	3,08	0,22	1,47	0,17		4,53	5,8		-2,2	-4,33	1,44	32,6
A 555	E	1	0,126	2,91	3,66	-4,2	-0,01		20	28,2		4,5	5	17,6	86
A 555	E	2,5	-0,077	-1,44	-1,44	-5,3	-0,3	-0,3	-6,8	14		-3,3	-17,5	-2,5	-50
A 555	E	5	0,065	-1,53	-0,64	0,6	0,02		-5	-9,5		-3,1	-14,7	-1,1	-146
A 555	E	100	0,074	0,76	0,1	-0,5	0,07		1,32	8,4		1,46	-2,98	1,05	1,6
A 555	W	1	0,038	0,41	0,29	13,48	0,02		-3,9	-4,1		-1,7	-7,4	1,2	-17
A 555	W	2,5	-0,002	0,86	-0,43	13,3	-0,53	2,56	3,8	1,7		1	-9	-0,8	17
A 555	W	5	-0,105	-4,25	-4,06	0,56	-0,24		-28,1	-47,1		-14,03	-38,1	-11,4	-155
A 61	E	2,5	0,046	5,9	-4,7	33,7	0,03	-9,3	1,8	35	-10	0,4	-8,5	-12,3	70
A 61	E	5	-0,104	-0,3	-2,1	19,7	-0,13	1,7	0	34	-13	-0,8	-33,4	-5,2	77
A 61	E	10	-0,195	-9	-9,03	6,3	-0,13	-1,3	-71,5	-67	-3	-12,7	-35,2	-22,8	-148

Tab. 6: Übersicht der Änderung der Mittelwerte der Staubbiederschläge in 1.5 m Höhe von April 2008 bis Dezember 2009 gegenüber dem Messzeitraum Juni 2006 bis April 2007

Die Tabelle 6 zeigt die Änderung der Mittelwerte der Staubbiederschläge in 1.5 m Höhe von April 2008 bis Dezember 2009 seit den Messungen von Juni 2006 bis April 2007. Beim Gesamtstaubbiederschlag und bei den Schwermetalleinträgen zeigt

sich keine einheitliche Tendenz seit dem letzten Messzeitraum. Lediglich beim Blei ist eine deutliche Abnahme zu sehen. Darauf wird in der Diskussion näher eingegangen.

3.2 Vergleich der Schwermetallkonzentrationen in Staubbiederschlag und oberster Bodenschicht

Die Probenahmestelle an der A 61 ist westlich und östlich von ausgedehnten Ackerflächen umgeben. Es ist anzunehmen, dass der Wind Bodenmaterial aufwirbelt und dieses so in die Staubbiederschlaggefäße gelangen kann. Daher wurde die umgebende Bodenoberfläche stichprobenartig untersucht. Im April 2010 waren die Felder noch ohne jeden Bewuchs und die oberste Bodenschicht aufgrund geringer Regenfälle sehr trocken. Von diesen Ackerflächen wurden von der obersten Bodenschicht in 0-3 mm Tiefe Mischproben aus je zehn Einzelproben in einer Entfernung von 30 m in östlicher Richtung der BAB, in einer Entfernung von 200 m in östlicher Richtung der BAB und in einer Entfernung von 800 m in westlicher Richtung der BAB genommen.

Die Schwermetallkonzentrationen in der obersten Bodenschicht können bei ausreichender Entfernung vom Fahrbahnrand in Bezug auf verwehtes Bodenmaterial als Hintergrundwerte aufgefasst werden. Insbesondere bei der Probe in einer Entfernung von 800 m in westlicher Richtung der BAB kann davon ausgegangen werden, dass diese Probe nicht durch Emissionen von der BAB beeinflusst wurde.

In den Tabellen 7 und 8 sind die Analysenwerte dargestellt.

Boden- und Staubbiederschlagsproben weisen für Cadmium, Cobalt, Eisen und Vanadium ähnliche Konzentrationen auf. Für Chrom, Nickel und Blei liegen die Konzentrationen in den Staubbiederschlagsproben etwa dreimal höher als in den Bodenproben. Lediglich für Kupfer, Molybdän und Zink liegen die Konzentrationen in den Staubbiederschlagsproben etwa zehnmal höher als in den Bodenproben.

Auch die Messstellen an der A 555 sind westlich und östlich von Ackerflächen umgeben. Von einer Ackerfläche wurde von der obersten Bodenschicht eine Probe in einer Entfernung von 10 m in östlicher Richtung von der BAB entnommen.

In den Tabellen 9 und 10 sind die Analysenwerte dargestellt:

Boden- und Staubbiederschlagsproben weisen für Cadmium, Cobalt, Eisen und Vanadium jeweils ähnliche Konzentrationen auf. Der Wert von 8,67 mg/kg Cd am Messpunkt A 555 E 5 ist ungewöhnlich hoch und kann als Ausreißer betrachtet werden, da im Untersuchungszeitraum in allen Proben nur dreimal höhere Cd-Konzentrationen als diese gefunden wurden und die übrigen Schwermetalle in dieser Probe keine erhöhten Konzentrationen aufweisen. Für Chrom, Nickel und Blei liegen die Konzentrationen in den Staubbiederschlagsproben etwa dreimal höher als in den Bodenproben. Lediglich für Kupfer, Molybdän und Zink liegen die Konzentrationen in den Staub-

Probenbezeichnung	Cd (G-AAS) mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Mo mg/kg	Ni mg/kg	Pb (G-AAS) mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg
A 61 E 30	0,384	20,7	89,8	26,3	22.328	1,21	36,2	6,53	82,8	173
A 61 E 200	0,513	17,3	71,1	17,1	19.373	1,53	31,2	8,75	62,1	66,2
A 61 W 800	0,487	18,9	76,9	19,6	16.920	0,84	29,4	6,43	79,6	79,5

Tab. 7: Übersicht der Konzentrationen in Bodenproben (0-3 mm Tiefe) an der A 61 vom April 2010

Probenbezeichnung	Cd (G-AAS) mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Mo mg/kg	Ni mg/kg	Pb (G-AAS) mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg
A 61 E 1	0,312	21,4	133	250	17.136	5,39	52,6	22,7	78,4	776
A 61 E 2,5	0,386	23,6	239	335	26.697	7,98	77,2	24,1	90,7	971
A 61 E 5	0,359	20,7	188	243	24.163	10,5	59,1	19,5	83,8	858
A 61 E 10	0,467	23,7	231	265	34.005	11,1	70,5	17,1	90,6	1.718

Tab. 8: Übersicht der Konzentrationen in Staubbiederschlagsproben (Sammleröffnung 0.25 m über Bodenoberfläche) an der A 61 vom April 2010

Proben- bezeichnung	Cd (G-AAS) mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Mo mg/kg	Ni mg/kg	Pb (G-AAS) mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg
A 555 E 10	0,632	14,7	58,6	19,9	15.658	1,40	29,9	8,22	55,1	88,4

Tab. 9: Übersicht der Konzentrationen in einer Bodenprobe (0-3 mm Tiefe) an der A 555 vom April 2010

Proben- bezeichnung	Cd (G-AAS) mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Mo mg/kg	Ni mg/kg	Pb (G-AAS) mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg
A 555 E 1	0,296	22,0	226	202	23.261	11,8	83,4	24,7	70,5	648
A 555 E 2,5	0,476	25,7	343	225	30.191	12,3	97,2	11,5	81,1	682
A 555 E 5	8,674	21,6	227	247	26.850	11,4	73,0	11,4	69,0	686

Tab. 10: Übersicht der Konzentrationen in Staubniederschlagsproben (Sammleröffnung 0.25 m über Bodenoberfläche) an der A 555 vom April 2010

niederschlagsproben etwa zehnmal höher als in den Bodenproben.

Die Metallkonzentrationen in den untersuchten Oberbodenproben liegen bis auf Blei und Zink im Bereich der Werte, die an zahlreichen Bankettproben in Deutschland ermittelt wurden (KOCHER 2008), und oberhalb der dort auf Basis einer Literaturstudie zusammengestellten Hintergrundwerte. Sie liegen im mittleren Bereich der von der LABO für Grünland ermittelten Hintergrundwerte. Da es sich bei den Bodenproben aber um die obersten mm von Ackerböden handelt, die im Gegensatz zu Grünlandböden regelmäßig bis in Pflugtiefe durchmischt werden, ist die geogene bzw. möglicherweise durch die Landwirtschaft oder andere Nutzungen bedingte anthropogene Hintergrundkonzentration an den beiden Standorten A 555 und A 61 vergleichsweise hoch.

Die Ergebnisse von der A 555 sind mit denen von der A 61 vergleichbar. Ein Unterschied der Konzentrationen in Boden- und Staubniederschlagsproben in der Größenordnung einer Zehnerpotenz wird auch hier nur bei den Konzentrationen von Kupfer, Molybdän und Zink gefunden. Die Ergebnisse belegen, dass die Hintergrundwerte im oberflächennahen Bodenmaterial bereits relativ hoch liegen und dass die Konzentrationen im Staubniederschlag vergleichbar sind mit denen im oberflächennahen Boden.

3.3 Gesamter Messzeitraum 2005 bis 2009 – Zeitreihen des Staubniederschlags

Inzwischen liegen an allen drei Messstandorten Staubniederschlagsmessungen aus den Jahren 2005 bis 2009 vor. Um zu prüfen, ob für einzelne Inhaltsstoffe ein Trend der Konzentrationen oder Frachten zu erkennen ist, wurden die Daten zusammenfassend ausgewertet. Die Übersicht der Mittelwerte der Staubniederschläge und darin enthaltenen Frachten der untersuchten Elemente findet sich in Kapitel 3.5. Die Einzelwerte für jeden Messzeitraum sind im Folgenden für ausgewählte Elemente grafisch dargestellt.

Mögliche Einflussfaktoren außer einer Änderung der Einträge sind der zweimalige Wechsel des Gefäßtyps (09/2008 von 1.5-L-Glasgefäßen zu 1.5-L-PE-Gefäßen, 04/2009 zu 2.5-L-Glasgefäßen), das regelmäßige Mähen der Aufstellflächen mit einem benzinbetriebenen Freischneider ab 05/2008 (siehe auch Methodenkapitel) sowie niedrigere Bestimmungsgrenzen für viele Parameter ab 02/2009.

Die niedrigeren Bestimmungsgrenzen könnten sich auf die Mittelwerte aller Messwerte auswirken. Dagegen sind durch den Wechsel auf höhere Glasgefäße und das regelmäßige Mähen der Messflächen vorwiegend Auswirkungen auf die bodennah aufgestellten Gefäße möglich. Der Gefäßrand liegt bei den 2.5-L-Glasgefäßen etwa 25 cm über der Bodenoberfläche, bei den bis 04/2009 verwendeten 1.5-L-Gefäßen lag er nur etwa 17 cm über der Bodenoberfläche. Dadurch kann ab 5/2009 ein

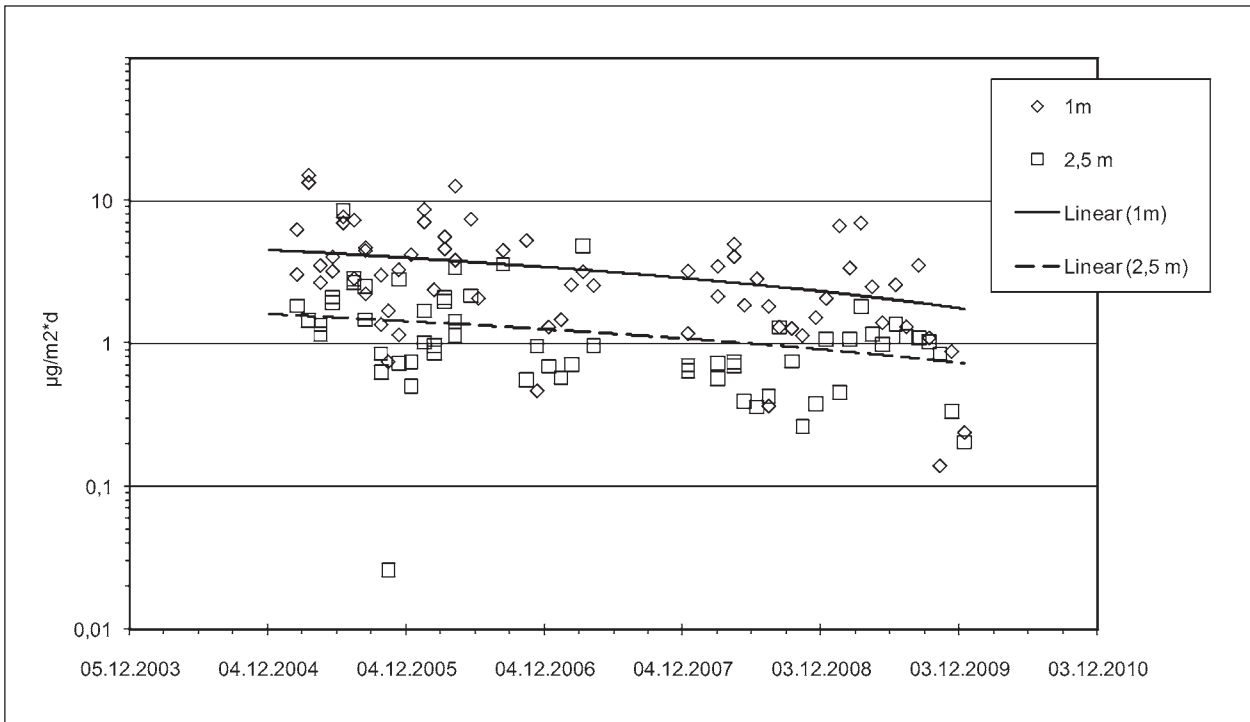


Bild 2: Zeitlicher Verlauf der Cadmium-Fracht in Bodennähe (Sammlerrand 0.25 m über der Bodenoberfläche) an der Nordseite der A 4

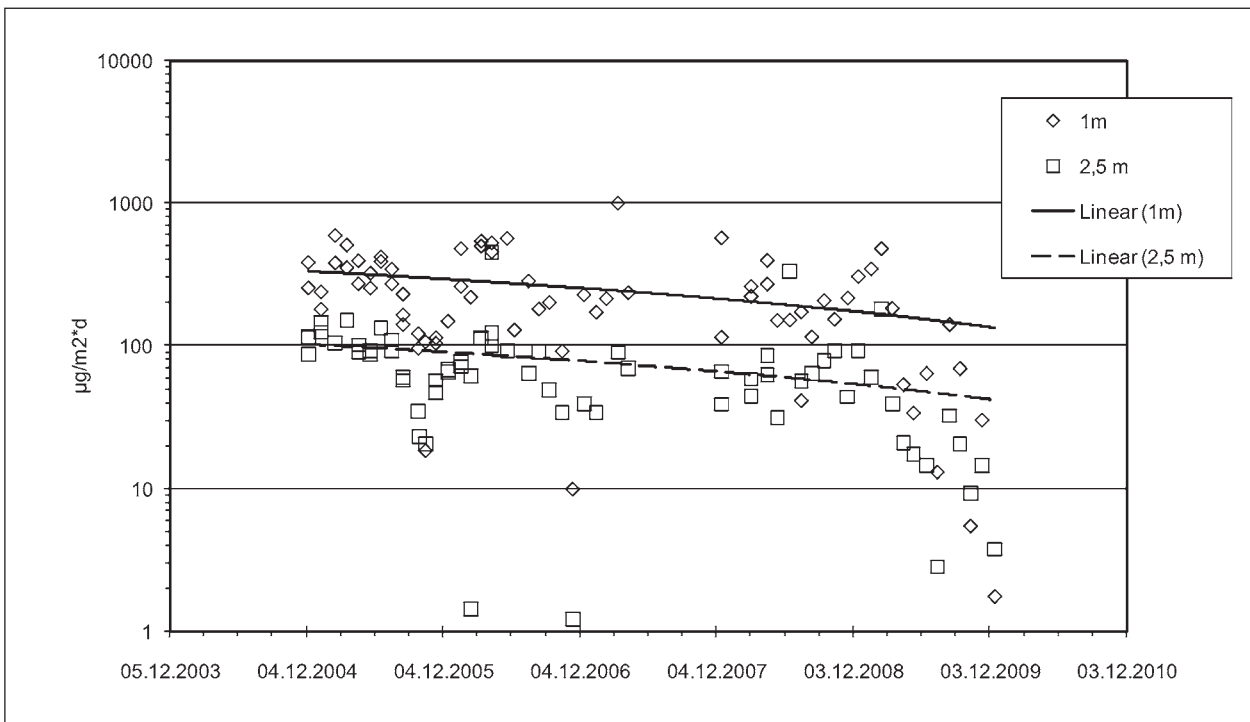


Bild 3: Zeitlicher Verlauf der Blei-Fracht in Bodennähe (Sammlerrand 0.25 m über der Bodenoberfläche) an der Nordseite der A 4

verringertes Eintrag durch Splash (durch Regen oder Spritzwasser aufgespritzte Bodenpartikel (AUERSWALD 1998)) angenommen werden. Durch das häufigere Mähen und den kürzeren Schnitt könnte möglicherweise ein gleich laufender

Effekt eintreten, da die bodennahen Strömungsgeschwindigkeiten höher sind und die Deposition vermindern könnten, aber ebenso ein gegenläufiger, da die häufiger frei liegende Bodenoberfläche mehr Splash ermöglichen kann.

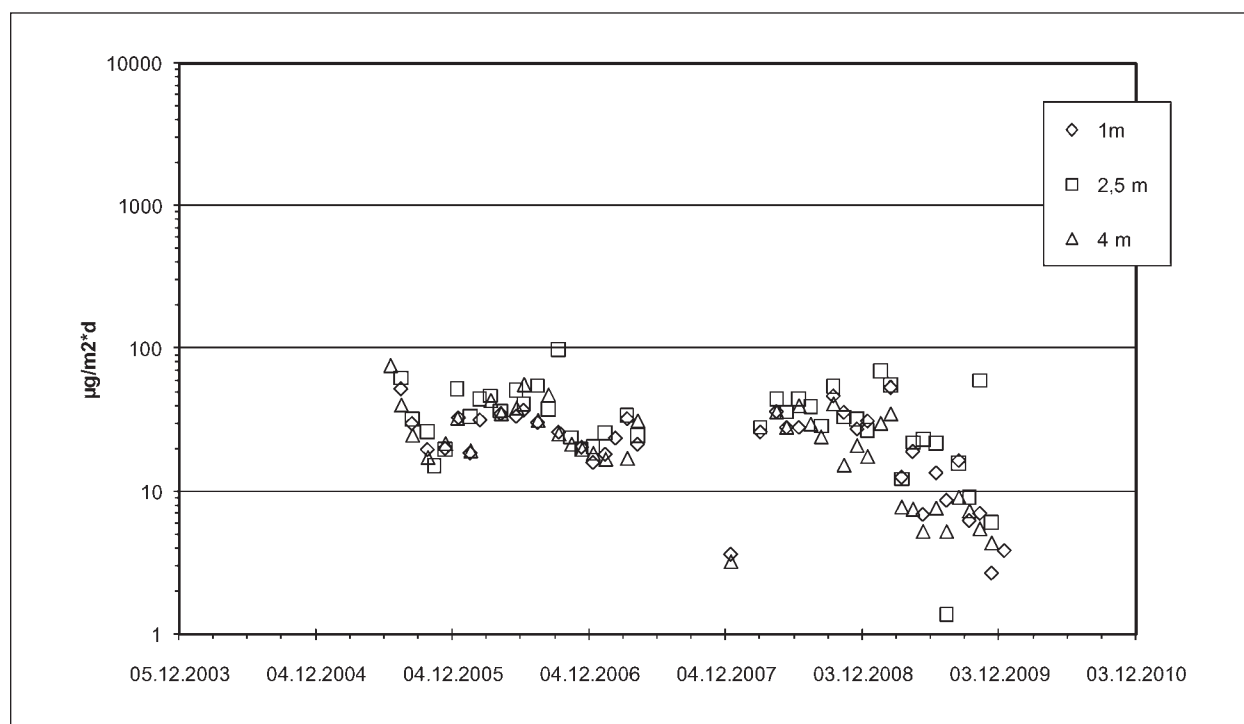


Bild 4: Zeitlicher Verlauf der Blei-Fracht in 1.5 m Höhe an der Nordseite der A 4

Diese Faktoren zusammengenommen lassen Änderungen der mittleren Fracht, die nicht straßenverkehrsbedingt sind, wenn, dann nur in den bodennahen Gefäßen erwarten.

Diese Erwartung lässt sich bei Betrachtung der Zeitreihen der Messergebnisse nicht bestätigen. Sowohl in den bodennahen Sammlern als auch in den Sammlern in 1.5 m Höhe ist an allen Standorten für Blei eine sehr deutliche und für Cadmium eine deutliche Abnahme zu erkennen. Als Beispiele sind in den Bildern 2 bis 4 die bodennahen Frachten für Cadmium und Blei sowie die Frachten für Blei in 1.5 m Höhe dargestellt, alle von der Nordseite der A 4. Die eingezeichneten linearen Regressionsgeraden dienen nur der optischen Verdeutlichung. Die Änderungen der mittleren Fracht scheinen also nicht methodenbedingt, sondern durch den Straßenverkehr bzw. durch veränderte Emissionen bedingt zu sein. Eine quantitative Beschreibung der Veränderung oder gar eine weitere Prognose erscheint aufgrund der stark streuenden Messwerte und insbesondere bei Blei aufgrund der ab Mitte 2009 sehr niedrig liegenden Messwerte noch nicht sinnvoll.

Bei Cobalt, Eisen, teilweise auch Kupfer, Molybdän, Nickel, Vanadium und Zink ist bei den meisten Messtellen sowohl bodennah als auch in 1.5 m Höhe ebenfalls eine, wenn auch schwächere Ab-

nahme der Frachten über den bisher untersuchten Zeitraum zu erkennen. Das betrifft alle untersuchten Entfernungen, auch die Hintergrundmesspunkte in bis zu 130 m Entfernung vom Fahrbahnrand. Keines der untersuchten Elemente zeigt eine Zunahme.

3.4 Messperiode 2008/2009 – Straßenabfluss

3.4.1 Gelöste Anteile im Straßenabfluss

Von Straßen ablaufendes Wasser ist mit Schwermetallen belastet (NADLER/MEIßNER 2007, 2004; STACHEL et al. 2007; MURAKAMI et al. 2006; MAKEPEACE et al. 1995; PERNAK/LESCHBER 1992; MUSCHACK 1989, 1990; LECHNER et al. 1987). Sowohl für die Wirksamkeit der Reinigung von Straßenabflüssen durch Versickerung in Bankett und Böschung als auch in anderen Einrichtungen der Straßenentwässerung spielt die Verteilung der mitgeführten Elemente zwischen der partikulären und gelösten Phase eine große Rolle (KASTING/GROTEHUSMANN 2007 u. 2009, GROTEHUSMANN 2006, FGSV 2002 u. 2005, DIEHL 2001, DIERKES/GEIGER 1999). Daher wird hier besonderer Wert auf die Unterscheidung und Bilanzierung dieser Anteile gelegt.

Für die Metalle Chrom, Cobalt, Kupfer, Molybdän, Nickel und Vanadium wurden bisher in den vorigen Messzeiträumen Nachweisgrenzen erreicht, die eine Untersuchung und Bewertung des Sickerwassers nach der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV, BMU 1999) ermöglichen. Für eine Untersuchung nach den neueren Kriterien der Bewertung von Grundwasserverunreinigungen mit Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA 2004) müssen geringere Nachweisgrenzen angestrebt werden. Die Bestimmung der Schwermetallkonzentrationen erfolgt durch Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES). Hierbei wurden ab Februar 2009 durch eine verbesserte Auswertungsmethode niedrigere Nachweisgrenzen als in der Vergangenheit erreicht (Tabelle 11).

Ferner wurde die Analyse der Wasserproben nach der Norm DIN EN ISO 11885 durchgeführt (Beuth

Verlag 1998). Insbesondere wurde für die Filtration der Wasserproben ein von der Norm vorgeschriebener Filter der Porengröße 0,45 µm verwendet und nicht wie in den vorigen Messzeiträumen ein Filter der Porengröße 4 µm. Dieser Filter wird von der Länderarbeitsgemeinschaft LAWA für die Untersuchung von Grundwasser, von der Bundesbodenschutzverordnung für die Untersuchung von Sickerwasser und auch von der Wasserrahmenrichtlinie 2008/105/EG (EU 2008) für die Untersuchung von Oberflächengewässern zugrunde gelegt.

Die Schwermetalle Blei und Cadmium werden mittels Atomabsorptionsanalyse gemessen, wobei die Nachweisgrenze 1 ng/L beträgt.

Die Auswertung von mehr als 40 Proben von Straßenabflusswasser von den BAST-Messstellen an der A 555 und der A 61 von Januar bis Dezember 2009 ergab Konzentrationen von Schwermetallen, die in Tabelle 12 den Umweltqualitätsnormen

Parameter	bisherige Nachweisgrenze BAST [µg/L]	Geringfügigkeitsschwellenwert LAWA [µg/L]	neue Nachweisgrenze BAST [µg/L]
Chrom	10	7	1
Cobalt	20	8	1
Kupfer	50	14	1
Molybdän	50	35	1
Nickel	20	14	1
Vanadium	10	4	1
Zink	50	58	1

Tab. 11: Geringfügigkeitsschwellenwerte der LAWA und Nachweisgrenzen der analytischen Methode der BAST für die untersuchten Elemente

Parameter	Richtlinie 2008/105/EG Umweltqualitätsnorm [µg/L]	Geringfügigkeitsschwellenwerte LAWA [µg/L]	Mittelwert Straßenabfluss [µg/L]
Blei	7,2	7	< 0,1
Cadmium	0,6 bei Wasserhärte 3	0,5	0,16
Chrom	-	7	3,8
Cobalt	-	8	1,0
Kupfer	-	14	22,1
Molybdän	-	35	7,3
Nickel	20	14	4,4
Vanadium	-	4	1,6
Zink	-	58	144

Tab. 12: Umweltqualitätsnormen der Wasserrahmenrichtlinie der EG, Geringfügigkeitsschwellenwerte der LAWA und Mittelwerte eigener Messungen von Straßenabflusswasser an der A 555 und A 61 (filtriert 0,45 µm)

der Wasserrahmenrichtlinie der EU und den Geringfügigkeitsschwellenwerten der LAWA gegenübergestellt sind. Die Umweltqualitätsnormen gelten nach der EU-Wasserrahmenrichtlinie und der EU-Grundwasserrichtlinie (EU 2000/2008, 2006) im Oberflächengewässer bzw. Grundwasser, jedoch nicht in den Zuflüssen. Die Geringfügigkeitsschwellenwerte wurden von der LAWA zur Anwendung empfohlen und stehen für die Einführung in der Grundwasserverordnung zur Diskussion.

In den Proben von Straßenabflusswasser an der A 555 und A 61 überschreiten nur die Mittelwerte für Kupfer und Zink die Geringfügigkeitsschwellenwerte für das Grundwasser der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA 2004). Die Umweltqualitätsnormen der Wasserrahmenrichtlinie der EU für Blei, Cadmium und Nickel werden nicht überschritten, ebenso werden die Prüfwerte für Sickerwasser der BBodSchV nicht erreicht.

Die natürliche Grundwasserbeschaffenheit in Deutschland für Schwermetalle als flächengewich-

tetes Mittel der 90-Perzentilwerte von 15 hydrogeologischen Bezugsräumen (KUNKEL et al. 2004) ist in Tabelle 13 den 90-Perzentilwerten von Straßenabfluss von den Messstellen an der A 555 und der A 61 gegenübergestellt.

In den Proben von Straßenabflusswasser der vorliegenden Untersuchung überschreiten die 90-Perzentilwerte für Chrom, Kupfer, Molybdän, Vanadium und Zink die 90-Perzentilwerte für die natürliche Grundwasserbeschaffenheit.

Im schweizerischen Burgdorf wurde monatlich Straßenabfluss zwischen August 2002 und November 2004 an einer Erprobungsstrecke mit einem Verkehrsaufkommen von 17.000 Fahrzeugen gesammelt und analysiert (BOLLER et al. 2006). Dabei wurde nicht filtriert, jedoch beschreiben die Autoren einen probenahmebedingten Verlust an partikulärem Material. Der Mittelwert der Schwermetallkonzentrationen ist in Tabelle 14 den Werten von Straßenabfluss an der A 555 und A 61 gegenübergestellt.

Parameter	Natürliches Grundwasser 90-Perzentilwerte [µg/L]	Straßenabfluss A 555, A 61 90-Perzentilwerte [µg/L]
Blei	3,9	0,11
Cadmium	0,3	0,18
Chrom	2,4	6,0
Cobalt	5,7	2,7
Kupfer	10,1	33,4
Molybdän	1,2	18,3
Nickel	12,6	7,0
Vanadium	1,6	2,8
Zink	49,8	307

Tab. 13: Die natürliche Grundwasserbeschaffenheit in Deutschland für Schwermetalle als flächengewichtetes Mittel der 90-Perzentilwerte von hydrogeologischen Bezugsräumen (KUNKEL et al. 2004) und 90-Perzentilwerte von Straßenabfluss (filtriert 0,45 µm)

Parameter	Straßenabwasser Burgdorf Mittelwert [µg/L]	Straßenabfluss A 555, A 61 Mittelwert [µg/L]
Blei	23,1	< 0,1
Cadmium	0,8	0,16
Chrom	10,2	3,8
Kupfer	56,5	22,1
Nickel	7	4,4
Zink	299	144

Tab. 14: Straßenabfluss an einer Erprobungsstrecke im schweizerischen Burgdorf (Gesamtgehalte; BOLLER et al. 2006) und Mittelwerte von Straßenabfluss an der A 555 und A 61 (filtriert 0,45 µm)

Parameter	Trinkwasser-Verordnung [µg/L]	Trinkwasser Bergisch Gladbach [µg/L]	Mittelwert Straßenabfluss [µg/L]
Blei	10	< 0,5	< 0,1
Cadmium	5	< 0,1	0,16
Chrom	50	-	3,8
Kupfer	2.000	< 20	22,1
Nickel	20	< 1	4,4

Tab. 15: Grenzwerte der Trinkwasserverordnung, Analysenwerte für Trinkwasser in Bergisch Gladbach und Mittelwerte der Konzentrationen für Straßenabfluss an der A 555 und A 61 (filtriert 0,45 µm)

Parameter	Trinkwasser BAST [µg/L]	Straßenabfluss A 555, A 61 Mittelwert [µg/L]
Blei	0,02	< 0,1
Cadmium	0,02	0,16
Chrom	3,5	3,8
Cobalt	< 1	1,0
Kupfer	292	22,1
Molybdän	4,1	7,3
Nickel	7,2	4,4
Vanadium	1,5	1,6
Zink	94,2	144

Tab. 16: Analysenwerte für Trinkwasser in der BAST und Mittelwerte der Konzentrationen für Straßenabfluss an der A 555 und A 61 (filtriert 0,45 µm)

Parameter	ungelöstes Metall [µg/L]	gelöstes Metall filtriert 0,45 µm [µg/L]	Gesamtgehalt [µg/L]
Blei	8,3	< 0,1	8,3
Cadmium	0,35	0,16	0,51
Chrom	93	3,8	97
Cobalt	8,2	1	9,2
Kupfer	204	22,1	226
Molybdän	13,1	7,3	20,4
Nickel	30,9	4,4	35
Vanadium	36,7	1,6	38
Zink	594	144	738

Tab. 17: Gehalt an gelöstem und ungelöstem Metall sowie Gesamtgehalt in einem Liter Straßenabfluss an der A 555 und der A 61

Der Straßenabfluss im schweizerischen Burgdorf ist deutlich stärker mit Blei und Cadmium belastet als der Straßenabfluss an der A 555 und A 61, auch wenn der Gesamtgehalt betrachtet wird (Tabelle 17). Allerdings sind die Konzentrationen von gleicher Größenordnung. Bei den anderen Metallen liegen die gelösten Gehalte der A 61 und A 555 deutlich unter, die Gesamtgehalte über den von BOLLER et al. gemessenen. Auffällig ist die ver-

gleichsweise hohe Konzentration von Blei im Straßenabwasser von Burgdorf. Eine Erklärung hierfür konnte noch nicht gefunden werden. Allerdings liegt die Untersuchung in Burgdorf schon einige Jahre zurück und zu dieser Zeit waren möglicherweise die diffusen Emissionen durch den Straßenverkehr höher. Beispielsweise wurde verbleites Benzin in der Schweiz länger verkauft als in Deutschland. Diese zeitlichen Änderungen

werden in der Diskussion im Kapitel 4.2 noch näher beleuchtet.

In Tabelle 15 sind die Grenzwerte aus der Trinkwasserverordnung (BMJ 2001), die Analysenwerte für das Trinkwasser in Bergisch Gladbach (BEL-KAW 2009) und die Mittelwerte der Konzentrationen für Straßenabfluss an der A 555 und A 61 gegenübergestellt.

Die in der vorliegenden Untersuchung gemessenen Konzentrationen für Straßenabflusswasser liegen unter den Grenzwerten aus der Trinkwasserverordnung. Die Analysenwerte von Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer und Nickel für das Trinkwasser in Bergisch Gladbach und die Mittelwerte der Konzentrationen dieser Metalle in Straßenabflusswasser unterscheiden sich nur wenig.

In einer eigenen Trinkwasseranalyse von Leitungswasser aus der BAST wurden folgende Konzentrationen gemessen. Diese werden in Tabelle 16 mit den Werten für den Straßenabfluss verglichen.

Leitungswasser aus der BAST unterscheidet sich bzgl. der Schwermetallkonzentrationen kaum von Straßenabflusswasser. Lediglich der Gehalt an gelöstem Cadmium ist im Straßenabfluss höher, und der Gehalt an gelöstem Kupfer ist im Leitungswasser mehr als zehnfach höher als im Straßenabfluss.

3.4.2 Feststoffanteil im Straßenabfluss

An den BAST-Messstellen an der A 555 und der A 61 wurden von Februar bis Dezember 2009 etwa zwanzig 1-L-Proben aus Fässern mit Straßenabflusswasser genommen. Diese Proben enthielten im Durchschnitt 0,202 g Feststoff. Aus den Analysendaten lässt sich der absolute Gehalt des ungelösten Metalls in den Proben von Straßenabfluss bestimmen (Tabelle 17).

Die meisten Metalle liegen weit überwiegend als Feststoff im Straßenabfluss vor. Eine Ausnahme hiervon stellt das Cadmium dar, von dem mehr als 30 % des Anteils in gelöster Form vorliegt. Daher ist bei der Straßenentwässerung der Reinigungsleistung von Absetzbecken bezüglich Cadmium eine Grenze gesetzt, wenn nur die Absetzwirkung alleine berücksichtigt wird. Auch bei Molybdän und Zink liegen größere Anteile in löslicher Form vor (ca. 26 % bzw. 16 %).

3.5 Vergleich der Depositionsmessung in 1.5 m und 0.25 m Höhe

Die Messung des Stoffeintrages am Fahrbahnrand soll zeigen, welche Konzentrationen und Frachten relevanter Stoffe tatsächlich in das Bankett und die straßennahen Böden eingetragen werden. Dazu wurden für das Gesamtprojekt von Beginn an zwei Messhöhen gewählt: Einmal die Standardmesshöhe zur Erfassung von Staubbiederschlägen nach VDI-RL 2267 von 1.5 m über der Geländeoberfläche (GOK) und zusätzlich die Messhöhe von 0.25 m über GOK. Dies erschien nach Literaturlauswertung (HÖKE/BURGHARDT 1999, HÖKE 2001) und unter praktischen Aspekten die niedrigste mögliche Messhöhe über dem Boden, bei der Störungen durch Kleintiere und aufspritzendes Bodenmaterial bei starken Niederschlägen gering gehalten werden können.

Die Unterhaltung der Messflächen für die bodennah aufgestellten Bergerhoffgefäße ist sehr viel aufwändiger als für die Sammler in 1.5 m Höhe. Das umgebende Gras muss sehr kurz gehalten werden, um Änderungen der Strömungsverhältnisse und das Einwandern von Kleintieren, v. a. Insekten, zu vermeiden.

Die Konzentrationen im Staubbiederschlag lagen in beiden bisherigen Untersuchungszeiträumen in 1.5 m Höhe für viele Elemente höher als in Bodennähe (KOCHER 2006, 2007). Eine mögliche Ursache für diesen Konzentrationsunterschied kann der Eintrag von Staub bzw. Bodenmaterial aus der direkten Umgebung in die bodennahen Sammler sein (HÖKE/BURGHARDT 1999, HÖKE 2001). Dadurch könnte eine „Verdünnung“ der Stoffgehalte aus der Deposition über Luft und Niederschlagswasser verursacht werden. Dies wurde exemplarisch am Standort A 61 im Rahmen einer Diplomarbeit untersucht (LAUFENBERG 2007). Es zeigte sich, dass die bodennahen Frachten der untersuchten Elemente durch den Eintrag von zusätzlichem Material um 15 bis 50 % überschätzt werden können (LAUFENBERG et al. 2007).

Ein Schutz vor diesem Zusatzeintrag, der vermutlich durch aufspritzendes Bodenmaterial bei Niederschlägen verursacht wird, kann nur durch eine relativ aufwändige Umbauung der Messgefäße erreicht werden. Die dazu bisher getesteten Möglichkeiten sind nur für gering geneigte Flächen geeignet und sind noch deutlich wartungsintensiver als kurz geschnittener Rasen (KOCHER 2007). Ein

Verzicht auf die bodennahen Messungen erscheint denkbar, wenn Umrechnungsfaktoren bestimmt werden können, die die bodennahen Messwerte auch unter Berücksichtigung der Entfernungs- und Standortunterschiede ausreichend genau abbilden.

Dies soll im Rahmen der vorliegenden Auswertung anhand des vollständigen bisher vorliegenden Datensatzes geprüft werden. Es liegen nun für fast fünf Jahre Messwerte vor, von Februar 2005 bis Dezember 2009, mit einer personalbedingten Datenlücke von zehn Monaten (Mai 2007 bis Februar 2008). Der zeitliche Verlauf dieser Daten ist im Kapitel 3.3 ausgewertet.

Die Tabellen 18 und 19 zeigen eine Übersicht der Anzahl der für jeden Standort und jede Entfernung vom Fahrbahnrand vorliegenden Messwerte für die bodennahen Messpunkte und die Messpunkte in 1.5 m Höhe. Ein Messwert repräsentiert jeweils einen Sammelzeitraum von 30 ± 2 Tagen. Manche Standorte und Entfernungen weisen eine sehr geringe Anzahl von Messwerten auf (< 10), weil der Messpunkt erst spät eingerichtet wurde oder weil für einzelne Elemente die Bestimmungsgrenzen zu niedrig für den Nachweis in der geringen Einwaage an Staubbiederschlag lagen. Dies trifft z. B. für den

Messpunkt A 4 S 15 m zu, der erst ab Mai 2008 betrieben wurde, oder für den Messpunkt A 4 S 50 m, bei dem ab Oktober 2008 auf die bodennahen Messungen verzichtet wurde, da wegen des dichten Strauchbewuchses zu viele Verfälschungen durch Laubstreu und Insekten auftraten.

Tabelle 20 und 21 zeigen die Mittelwerte der für jeden Standort und jede Entfernung vom Fahrbahnrand vorliegenden Messwerte für die bodennahen Messpunkte und die Messpunkte in 1.5 m Höhe. Wie bei den Werten aus der aktuellen Messperiode 2008/2009 in Kapitel 3.1 sind deutliche Unterschiede der Frachten der verschiedenen Elemente zu sehen sowie deutlich höhere Frachten der meisten Elemente in Fahrbahnnähe und in Bodennähe.

Die Grenzen in Tabelle 22 sind in der TA Luft (2002) zum Schutz vor erheblichen Belästigungen oder erheblichen Nachteilen (Staubbiederschlag) und vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch die Deposition luftverunreinigender Stoffe, einschließlich des Schutzes vor schädlichen Bodenveränderungen, vorgegeben. Die in der vorliegenden Untersuchung in 1.5 m Höhe gemessenen Werte liegen nicht immer unterhalb dieser Grenzwerte, siehe Tabelle 21. Überschreitungen treten für Staubbiederschlag

			n	Anzahl n der Messwerte (Expositionszeit jeweils 30 Tage)											
Straße	Lage	Entf. (m)	SN	Ca	Fe	Na	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	V	Zn
A 4	N	1	72	72	72	72	66	67	72	72	62	72	72	72	72
A 4	N	2,5	70	69	69	69	62	56	69	68	41	68	68	68	69
A 4	N	4	64	64	64	64	61	31	63	63	23	64	60	64	64
A 4	S	1	61	61	61	61	57	57	61	61	55	61	61	61	61
A 4	S	15	17	17	17	17	17	9	17	17	11	14	17	16	17
A 4	S	50	9	8	9	9	9	0	7	8	0	3	3	8	9
A 4	S	150	20	20	20	20	20	6	19	19	9	12	17	19	20
A 555	E	1	63	61	62	62	61	60	62	62	55	62	62	62	62
A 555	E	2,5	54	54	54	54	51	50	54	54	28	54	54	54	54
A 555	E	5	64	64	64	63	60	40	64	63	18	63	57	64	64
A 555	E	100	21	21	21	21	19	7	20	21	1	17	14	21	21
A 555	W	1	60	60	60	60	58	53	60	60	43	58	58	60	59
A 555	W	2,5	58	58	58	58	56	43	58	58	21	57	57	57	58
A 555	W	5	57	56	56	56	55	19	56	56	12	51	51	56	56
A 555	W	70	15	13	13	13	13	11	13	11	9	11	13	13	13
A 61	E	1	62	61	59	59	61	61	61	57	61	61	60	61	61
A 61	E	2,5	62	62	59	58	62	62	62	58	62	62	62	62	62
A 61	E	5	63	63	60	60	63	63	63	45	63	63	63	63	63
A 61	E	10	62	62	59	51	62	62	62	20	62	62	56	62	62

Tab. 18: Übersicht der Anzahl der Messwerte der bodennahen Staubbiederschläge von Februar 2005 bis Dezember 2009, ohne Mai 2007 bis Februar 2008

			n	Anzahl n der Messwerte (Expositionszeit jeweils 30 Tage)											
Straße	Lage	Entf. (m)	SN	Ca	Fe	Na	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	V	Zn
A 4	N	1	41	40	40	40	38	19	40	40	14	39	38	40	40
A 4	N	2,5	49	49	49	49	45	23	49	49	16	47	42	49	49
A 4	N	4	44	44	44	44	40	18	44	43	12	43	42	43	44
A 4	S	1	48	44	44	44	43	22	44	44	16	42	40	43	44
A 4	S	15	14	14	14	14	14	8	14	13	8	13	14	13	14
A 4	S	50	45	44	44	44	39	10	41	40	9	26	25	35	44
A 4	S	150	46	44	44	44	41	10	41	32	10	24	21	35	43
A 555	E	1	43	42	42	42	39	24	42	42	16	40	37	42	42
A 555	E	2,5	43	43	43	43	41	26	43	43	15	43	41	43	43
A 555	E	5	45	45	45	44	42	17	44	44	13	43	39	44	44
A 555	E	100	42	34	34	34	31	4	31	22	4	14	18	25	34
A 555	W	1	44	42	42	42	40	15	42	42	13	40	39	42	41
A 555	W	2,5	44	44	44	44	42	15	44	44	12	41	39	44	43
A 555	W	5	47	45	45	45	44	13	43	43	12	35	36	44	44
A 555	W	70	18	16	16	16	16	5	16	11	6	10	14	13	16
A 61	E	1	0												
A 61	E	2,5	43	42	42	42	38	40	42	42	24	42	40	42	42
A 61	E	5	42	41	41	41	38	36	41	41	16	40	39	41	41
A 61	E	10	45	44	44	44	42	25	44	44	15	39	36	44	44

Tab. 19: Übersicht der Anzahl der Messwerte der Staubbiederschläge in 1.5 m Höhe von Februar 2005 bis Dezember 2009, ohne Mai 2007 bis Februar 2008

			g/(m ² *d)	mg/(m ² *d)				µg/(m ² *d)							
Straße	Lage	Entf. (m)	SN	Ca	Fe	Na	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	V	Zn
A 4	N	1	2,7990	70,1	76,1	141	3,68	43,7	646	748	46,3	222	249	131	2.003
A 4	N	2,5	0,7406	19,3	17,0	64,0	1,36	11,1	179	238	14,6	54,5	78,0	35,2	604
A 4	N	4	0,6117	18,6	11,7	34,2	1,48	7,92	125	199	10,8	40,9	50,1	25,4	485
A 4	S	1	3,0278	72,3	62,4	127	3,62	36,6	735	666	39,9	211	249	125	2.185
A 4	S	15	0,3785	6,56	1,81	4,82	0,69	1,88	21,2	33,2	2,51	8,70	5,83	5,91	150
A 4	S	50	0,3655	9,34	1,77	2,28	1,78		12,2	39,7		9,89	16,5	6,79	152
A 4	S	150	0,5134	5,77	2,24	3,00	1,35	1,58	12,8	26,6	1,94	7,83	54,8	8,14	85,0
A 555	E	1	3,4379	84,3	84,1	158	4,26	49,7	530	605	34,5	210	301	188	2.018
A 555	E	2,5	1,6961	41,6	37,9	98,9	1,75	22,8	202	258	18,1	83,1	120	84,5	701
A 555	E	5	0,8194	23,6	13,1	47,7	2,92	10,4	84,8	143		36,6	47,1	33,0	400
A 555	E	100	1,2587	65,5	29,3	20,9	3,18	44,8	120	89,5	5,22	64,1	114	96,9	360
A 555	W	1	2,3505	56,6	53,8	95	2,70	33,6	387	442	24,4	149	189	114	1.177
A 555	W	2,5	0,964	17,9	16,4	40,3	1,37	13,7	114	148	11,1	45,0	65,4	45,3	424
A 555	W	5	0,3475	11,4	6,36	15,8	1,33	3,96	52,3	90,1	3,55	21,6	28,6	17,7	239
A 555	W	70	0,2802	2,69	3,09	3,53	0,21	2,27	13,3	28,5	1,21	7,888	3,68	10,2	53,9
A 61	E	1	7,6908	233	189	314	4,34	115	885	1.758	58,4	347	552	541	4.551
A 61	E	2,5	3,9346	131	94	211	2,75	59,8	425	728	35,1	165	265	278	2.156
A 61	E	5	1,6144	59,5	41,1	112	2,04	41,5	187	383	21,2	72,7	115	123	1.149
A 61	E	10	0,6730	26,8	19,0	52,1	1,33	13,6	99,8	173	11,9	37,5	70,6	53,8	603

Tab. 20: Übersicht der Mittelwerte der bodennahen Staubbiederschläge von Februar 2005 bis Dezember 2009, ohne Mai 2007 bis Februar 2008

Straße	Lage	Entf. (m)	g/(m ² *d)	mg/(m ² *d)			µg/(m ² *d)								
			SN	Ca	Fe	Na	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	V	Zn
A 4	N	1	0,2282	7,54	6,74	12,5	0,99	5,58	76,4	112	7,8	31,4	24,2	14,5	287
A 4	N	2,5	0,4065	10,5	10,9	24,1	0,71	8,39	100	169	11,9	33,1	35,0	20,5	383
A 4	N	4	0,2969	9,25	5,87	13,6	0,62	5,71	65,1	110	6,4	21,5	24,3	12,8	262
A 4	S	1	0,3319	10,4	6,57	19,7	0,70	5,22	71,9	101	6,7	22,8	36,7	13,5	295
A 4	S	15	0,2093	3,37	1,60	2,5	0,23	2,64	15,4	28,9	1,67	6,61	5,83	5,37	113
A 4	S	50	0,4124	11,3	2,88	14,9	1,31	1,46	68,1	84,4	1,96	7,55	7,54	4,39	155
A 4	S	150	0,2250	3,64	1,08	2,7	0,59	2,06	9,6	23,0	1,42	6,35	3,37	3,86	65,2
A 555	E	1	0,4474	12,0	10,3	39,7	0,77	10,1	66,0	102	5,95	28,7	37,9	27,7	269
A 555	E	2,5	0,4098	12,3	10,2	33,7	0,58	7,34	63,2	141	7,44	27,0	28,7	24,3	287
A 555	E	5	0,3330	8,46	5,83	19,2	0,88	4,35	41,4	66,4	5,33	19,6	18,7	14,2	186
A 555	E	100	0,2886	15,8	12,3	44,1	0,30	0,69	194	17,3	1,03	4,15	3,38	110	772
A 555	W	1	0,2380	6,28	5,50	19,0	0,49	3,96	43,1	67,8	3,84	15,7	22,2	12,5	188
A 555	W	2,5	0,1917	6,44	5,05	13,0	0,47	3,10	37,9	65,4	3,38	14,5	19,2	12,4	180
A 555	W	5	0,2559	5,45	4,25	9,50	0,33		31,0	57,6	2,62	14,5	47,0	11,7	166
A 555	W	70	0,0336	1,32	0,78	1,70	0,14		5,38	28,8	1,20	3,82	2,82	3,65	43,7
A 61	E	1													
A 61	E	2,5	1,1210	45,9	35,0	57,5	1,39	25,3	135	260	14,8	57,1	92,4	109	738
A 61	E	5	0,5298	24,5	18,6	33,2	0,97	15,2	76,9	183	8,75	32,7	58,2	55,5	468
A 61	E	10	0,3061	14,0	10,3	23,6	0,44	7,17	53,9	114	4,65	19,7	29,7	28,1	298

Tab. 21: Übersicht der Mittelwerte der Staubniederschläge in 1.5 m Höhe von Februar 2005 bis Dezember 2009, ohne Mai 2007 bis Februar 2008

g/(m ² *d)	µg/(m ² *d)		
Staubniederschlag	Cd	Ni	Pb
0,35	2	15	100

Tab. 22: Immissionswerte der TA Luft (2002), Mittelungszeitraum: Jahr

an den fahrbahnächsten Messpunkten bis in 2.5 oder maximal 5 m Entfernung vom Fahrbahnrand und an einem im Wald gelegenen Referenzmesspunkt in 50 m Entfernung auf. Die Immissionswerte für Cadmium und Blei werden an keinem Messpunkt überschritten. Der Immissionswert für Nickel wird dagegen an elf von 18 Messpunkten überschritten. Diese liegen alle im Bereich bis 10 m Entfernung von der Fahrbahn.

Generell sind die Messwerte der weit vom Fahrbahnrand entfernten Messpunkte mit größerer Unsicherheit behaftet, da die Staubniederschlagsmenge, die die Einwaage für den Säureaufschluss im Labor bildet, meist sehr gering ist. Dementsprechend sind Werte unter der Bestimmungsgrenze dort häufiger und die daraus ermittelten Frachten unsicherer. Dafür sind die Variabilität der Einwaagen und damit – wenn auch in geringerem Ausmaß

– auch die der Metallfrachten direkt am Fahrbahnrand höher. Beides schlägt sich in den Variationskoeffizienten (relativen Standardabweichungen RSD) aller bisher gemessenen Monatswerte des Staubniederschlags nieder. Sie sind tendenziell in der Entfernung > 2 bis 10 m Entfernung vom Fahrbahnrand am geringsten. Allerdings sind Variationskoeffizienten über 1 sehr häufig (Tabelle 23 und 24).

Tabelle 25 zeigt die aus den Mittelwerten berechneten Verhältnisse der Frachten in Bodennähe und in 1.5 m Höhe. Fast alle Verhältniszahlen liegen über 1, die meisten Werte zwischen 2 und 10. Die wenigen Werte, die deutlich über 10 liegen, sind vermutlich auf die oben erläuterte geringe Anzahl von Messwerten an den entsprechenden Messpunkten zurückzuführen. Für die Elemente Blei, Cobalt und Nickel am Messpunkt A 555 E 100 m führt dies zu Verhältniszahlen von 34, 65 und 15. Diese Werte sind grau markiert und wurden für die Berechnung der bereinigten elementbezogenen Mittelwerte der Verhältnisse der bodennahen Fracht zur Fracht in 1.5 m Höhe nicht berücksichtigt (untere Zeilen in Tabelle 25).

			RSD	RSD aller Messwerte (Expositionszeit jeweils 30 Tage)											
Straße	Lage	Entf. (m)	SN	Ca	Fe	Na	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	V	Zn
A 4	N	1	0,8	0,8	1,1	1,7	0,8	1,0	0,6	0,6	0,8	0,7	0,7	0,8	0,5
A 4	N	2,5	0,7	0,6	0,5	2,1	1,0	0,6	0,6	0,4	0,4	0,5	0,9	0,6	0,4
A 4	N	4	1,2	1,3	1,2	2,0	1,3	0,5	1,0	1,2	0,4	1,2	1,0	1,2	1,0
A 4	S	1	0,7	0,6	0,5	1,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	1,0	0,6	0,7	0,5
A 4	S	15	1,0	1,0	0,6	0,9	2,1	0,6	1,0	0,5	0,4	0,6	1,4	0,6	0,5
A 4	S	50	0,9	0,8	0,8	0,7	0,9		0,6	0,6		0,4	0,9	0,5	0,6
A 4	S	150	0,9	0,7	0,9	0,7	1,4	0,7	0,6	0,4	0,5	0,5	2,0	0,8	0,5
A 555	E	1	0,7	0,7	0,8	1,2	2,1	0,7	0,9	0,9	0,7	0,8	1,3	0,7	0,9
A 555	E	2,5	0,9	1,1	1,3	1,7	1,0	1,1	0,9	0,7	0,8	1,0	1,0	1,1	0,7
A 555	E	5	0,8	1,6	1,0	1,4	4,0	0,8	1,0	1,1		0,9	1,0	0,8	1,2
A 555	E	100	0,9	2,1	2,5	2,0	1,9	1,7	1,9	1,8		1,9	1,9	2,2	1,7
A 555	W	1	0,7	0,8	1,0	1,6	1,3	0,8	0,8	0,9	0,7	0,9	0,9	0,9	0,7
A 555	W	2,5	1,0	0,6	0,9	2,6	1,4	1,2	0,7	0,5	0,7	0,8	0,9	1,7	0,6
A 555	W	5	0,9	1,4	1,1	1,7	1,7	0,6	1,7	1,2	0,4	1,1	1,2	1,4	1,1
A 555	W	70	1,2	0,7	1,2	0,6	0,7	1,2	0,8	0,7	0,3	0,7	1,4	1,0	0,4
A 61	E	1	0,7	0,6	0,7	1,3	1,0	0,5	0,7	0,9	0,5	0,9	0,9	0,6	1,2
A 61	E	2,5	0,8	0,7	0,8	1,4	1,0	0,6	0,7	0,7	0,9	0,7	0,8	0,7	0,6
A 61	E	5	0,7	0,6	0,7	1,4	1,2	2,6	0,7	0,9	0,8	0,7	0,8	0,6	0,6
A 61	E	10	0,6	0,6	0,6	1,4	1,2	0,5	0,8	0,6	1,0	0,8	0,9	0,6	0,6

Tab. 23: Übersicht der Variationskoeffizienten (RSD) der bodennahen Staubbiederschläge von Februar 2005 bis Dezember 2009, ohne Mai 2007 bis Februar 2008

			RSD	RSD aller Messwerte (Expositionszeit jeweils 30 Tage)											
Straße	Lage	Entf. (m)	SN	Ca	Fe	Na	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	V	Zn
A 4	N	1	0,4	0,4	0,3	1,7	1,7	0,6	0,4	0,3	0,5	1,1	0,5	0,4	0,4
A 4	N	2,5	1,0	1,2	1,3	2,0	1,2	1,0	0,7	1,0	1,1	0,8	0,5	1,0	1,0
A 4	N	4	0,5	0,7	0,4	1,8	1,1	0,5	0,4	0,3	0,2	0,5	0,7	0,5	0,3
A 4	S	1	0,9	0,7	0,5	1,6	1,1	0,5	0,5	0,4	0,5	0,6	1,5	0,6	0,4
A 4	S	15	0,8	0,3	0,4	1,2	0,6	0,7	0,4	0,4	0,3	0,4	1,5	0,4	0,3
A 4	S	50	1,4	2,1	3,8	5,1	2,0	0,5	5,4	4,4	0,4	0,3	1,0	0,6	1,5
A 4	S	150	1,4	1,6	1,0	0,7	1,1	1,0	1,1	0,4	0,4	0,6	1,2	0,5	1,2
A 555	E	1	0,9	0,8	1,0	1,8	2,0	1,1	0,9	0,9	0,9	0,8	1,5	1,3	0,8
A 555	E	2,5	0,6	0,8	0,9	1,8	0,9	0,9	0,7	1,4	1,2	0,7	0,9	1,1	1,0
A 555	E	5	0,5	0,5	0,5	1,5	1,8	0,4	0,6	0,3	1,2	0,9	0,8	0,5	0,4
A 555	E	100	3,1	4,9	5,2	5,4	1,4	0,4	5,3	0,5	0,3	0,7	1,1	4,7	5,3
A 555	W	1	0,9	0,3	0,5	2,9	1,3	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	0,7	0,4	0,4
A 555	W	2,5	0,7	0,5	0,6	2,9	1,0	0,6	0,7	0,4	0,5	0,5	0,9	0,6	0,4
A 555	W	5	2,8	0,9	1,0	1,5	0,9		1,0	0,8	0,4	0,9	3,5	1,0	1,0
A 555	W	70	0,8	0,3	0,4	0,7	1,0		0,6	0,9	0,5	0,6	1,8	0,6	0,4
A 61	E	1													
A 61	E	2,5	1,4	1,4	1,6	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,0	1,5	1,7	1,6	1,1
A 61	E	5	0,7	0,7	0,7	1,5	2,5	0,8	0,7	1,0	0,8	0,8	1,0	0,7	0,8
A 61	E	10	1,1	0,9	1,2	1,6	0,9	0,5	1,8	1,2	0,7	1,0	1,4	1,1	0,7

Tab. 24: Übersicht der Variationskoeffizienten (RSD) der Staubbiederschläge in 1.5 m Höhe von Februar 2005 bis Dezember 2009, ohne Mai 2007 bis Februar 2008

Straße	Lage	Entf. (m)	g/(m ² *d)	mg/(m ² *d)			µg/(m ² *d)								
			SN	Ca	Fe	Na	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	V	Zn
A 4	N	1	12,3	9,3	11,3	11,3	3,7	7,8	8,5	6,7	6,0	7,1	10,3	9,1	7,0
A 4	N	2,5	1,8	1,8	1,6	2,7	1,9	1,3	1,8	1,4	1,2	1,6	2,2	1,7	1,6
A 4	N	4	2,1	2,0	2,0	2,5	2,4	1,4	1,9	1,8	1,7	1,9	2,1	2,0	1,9
A 4	S	1	9,1	6,9	9,5	6,4	5,1	7,0	10,2	6,6	5,9	9,2	6,8	9,3	7,4
A 4	S	15	1,8	1,9	1,1	1,9	3,0	0,7	1,4	1,1	1,5	1,3	1,0	1,1	1,3
A 4	S	50	0,9	0,8	0,6	0,2	1,4		0,2	0,5		1,3	2,2	1,5	1,0
A 4	S	150	2,3	1,6	2,1	1,1	2,3	0,8	1,3	1,2	1,4	1,2	16,3	2,1	1,3
A 555	E	1	7,7	7,0	8,2	4,0	5,5	4,9	8,0	5,9	5,8	7,3	7,9	6,8	7,5
A 555	E	2,5	4,1	3,4	3,7	2,9	3,0	3,1	3,2	1,8	2,4	3,1	4,2	3,5	2,4
A 555	E	5	2,5	2,8	2,3	2,5	3,3	2,4	2,0	2,2		1,9	2,5	2,3	2,1
A 555	E	100	4,4	4,1	2,4	0,5	11	65	0,6	5,2	5,0	15,4	34	0,9	0,5
A 555	W	1	9,9	9,0	9,8	5,0	5,5	8,5	9,0	6,5	6,3	9,5	8,5	9,1	6,2
A 555	W	2,5	5,0	2,8	3,2	3,1	2,9	4,4	3,0	2,3	3,3	3,1	3,4	3,6	2,4
A 555	W	5	1,4	2,1	1,5	1,7	4,1		1,7	1,6	1,4	1,5	0,6	1,5	1,4
A 555	W	70	8,3	2,0	4,0	2,1	1,5		2,5	1,0	1,0	2,1	1,3	2,8	1,2
A 61	E	1	n. b.												
A 61	E	2,5	3,5	2,9	2,7	3,7	2,0	2,4	3,2	2,8	2,4	2,9	2,9	2,6	2,9
A 61	E	5	3,0	2,4	2,2	3,4	2,1	2,7	2,4	2,1	2,4	2,2	2,0	2,2	2,5
A 61	E	10	2,2	1,9	1,8	2,2	3,0	1,9	1,9	1,5	2,6	1,9	2,4	1,9	2,0
Mittelwert bereinigt			4,6	3,6	3,9	3,2	3,5	3,5	3,5	2,9	3,1	3,5	3,8	3,6	2,9
Stabw. bereinigt			3,4	2,6	3,3	2,5	2,2	2,6	3,1	2,2	2,0	2,9	3,0	2,9	2,3

Tab. 25: Verhältnisse der Frachten in den Staubniederschlägen in Bodennähe und 1.5 m Höhe von Februar 2005 bis Dezember 2009, ohne Mai 2007 bis Februar 2008

In den Bildern 5 bis 7 sind die Verhältnisse der Frachten in den Staubniederschlägen in Bodennähe und 1.5 m Höhe gemittelt über den bisherigen Messzeitraum für alle untersuchten Elemente dargestellt.

Die untersuchten Elemente zeigen Unterschiede im Verhältnis der Frachten, insbesondere in Fahrbahnnähe. Die Unterschiede sind jedoch vergleichsweise gering und zeigen kein systematisches Verhalten der Elemente bei den unterschiedlichen Entfernungen oder Standorten, das auf unterschiedliche Eintragswege oder Quellen hindeuten würde. Am auffälligsten sind einzelne sehr hohe Quotienten für Einzelelemente (Pb, Ni, Cd, Co) bei den weit vom Fahrbahnrand entfernten Messpunkten der A 555 und A 4. An diesen Messpunkten liegen teilweise nur wenige Messwerte vor (Tabelle 18 und 19), und die Depositionsraten sind sehr gering. Daher ist davon auszugehen, dass diese sehr hohen Quotienten Ausreißer darstellen. Auch hier ist kein systematisches Verhalten zu erkennen.

Die Frachtverhältnisse der Einzelelemente (Tabelle 25) zeigen in Fahrbahnnähe einen höheren Eintrag von Fe und Ca in Bodennähe, während Cd eher in Entfernungen ab 5 m zu höheren Anteilen bodennah eingetragen wird. Die Standardabweichungen bei Betrachtung der Frachtverhältnisse aus verschiedenen Entfernungen zusammen sind relativ hoch (letzte Zeile Tabelle 25). Dementsprechend ist die Aussagekraft der absoluten Höhe der Werte begrenzt. Auffällig ist jedoch, dass die Mittelwerte aller Elemente relativ einheitliche Werte zwischen 2.9 und 3.9, und damit geringere Unterschiede im Frachtverhältnis Boden/1.5 m Höhe aufweisen als der Gesamtstaubniederschlag mit 4.6.

Bei einem Drittel der 12 Elemente liegen die Frachtverhältnisse unter 3.3. Das sind Na, Cu, Mo und Zn. Das könnte bedeuten, dass diese an kleine Partikel gebunden vorliegen, sodass sie leichter lufttransportierbar sind und damit ebenso in die höher gelegenen Depositionsgefäße gelangen. Ebenso wäre jedoch für jedes dieser Elemente eine spezifische Kombination aus Quelle und Transportweg denk-

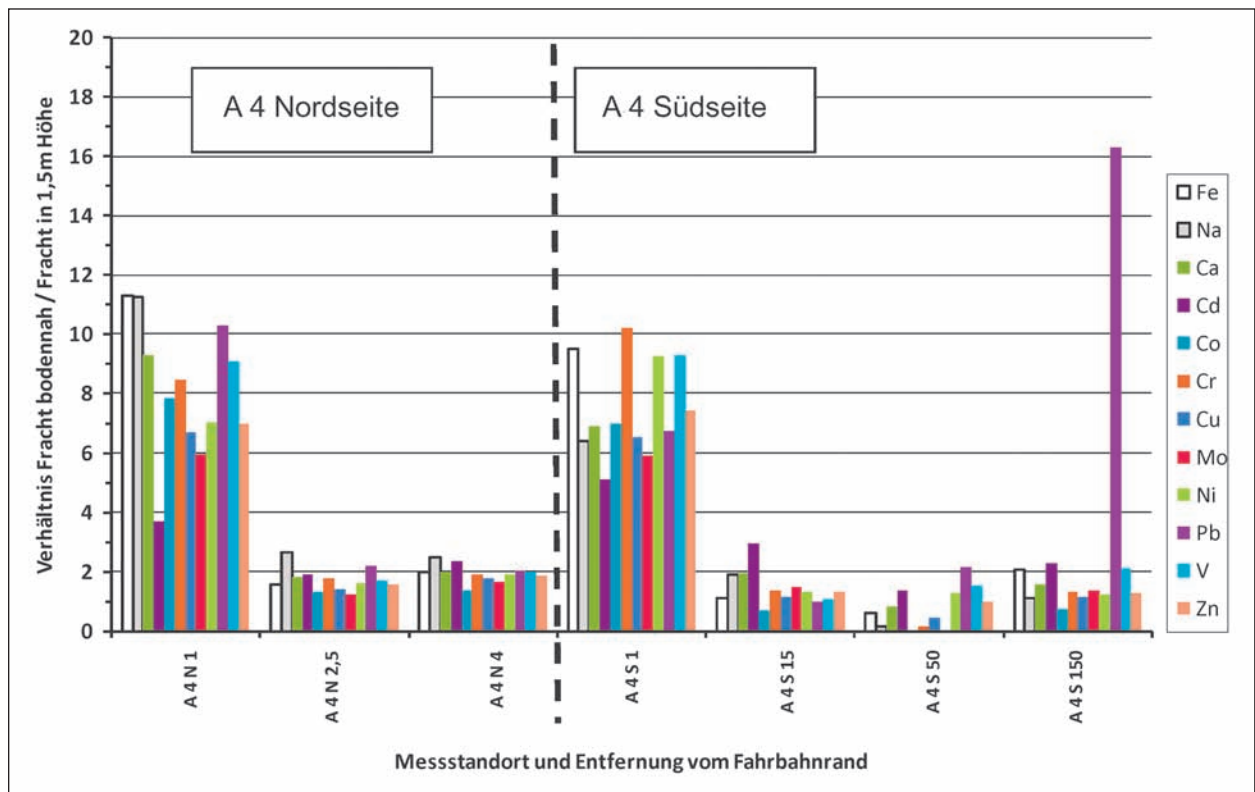


Bild 5: Standort A 4: Verhältnisse der Frachten in den Staubniederschlägen in Bodennähe und 1.5 m Höhe von Februar 2005 bis Dezember 2009, ohne Mai 2007 bis Februar 2008

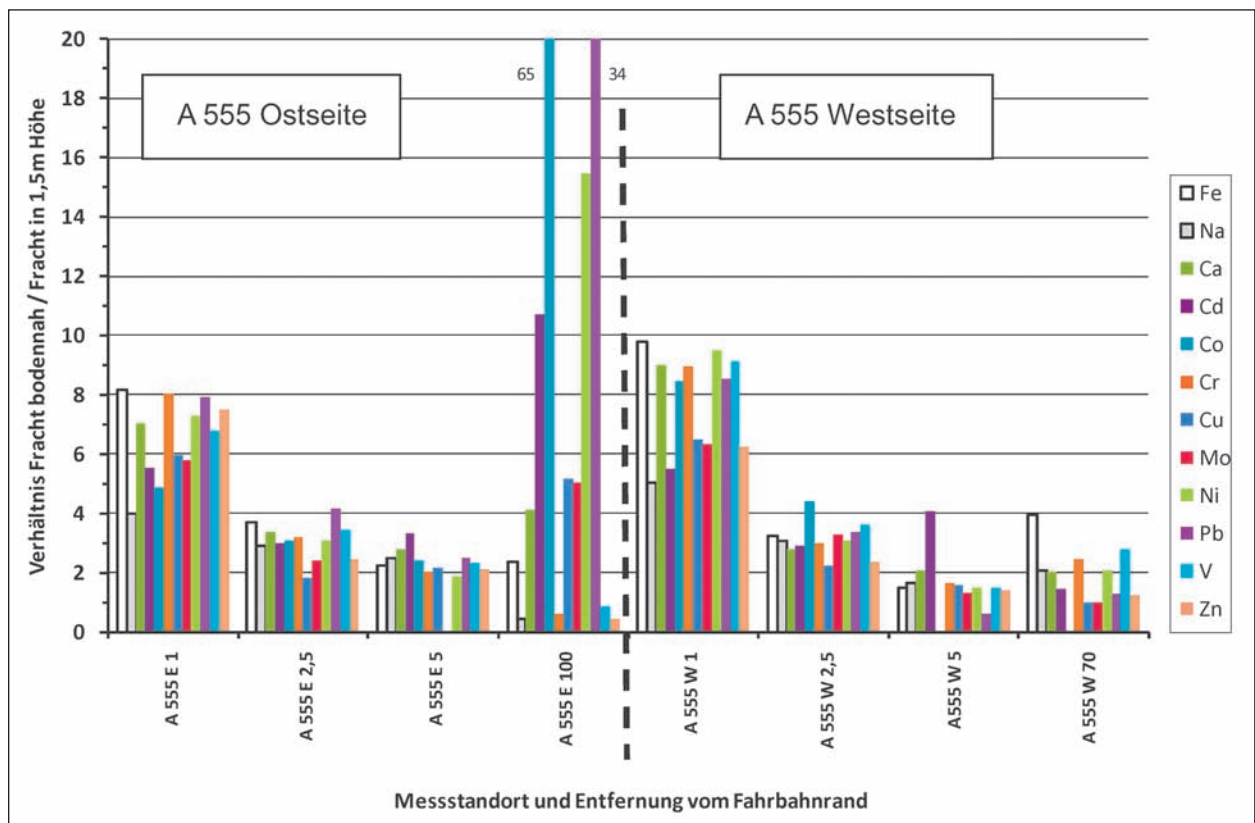


Bild 6: Standort A 555: Verhältnisse der Frachten in den Staubniederschlägen in Bodennähe und 1.5 m Höhe von Februar 2005 bis Dezember 2009, ohne Mai 2007 bis Februar 2008

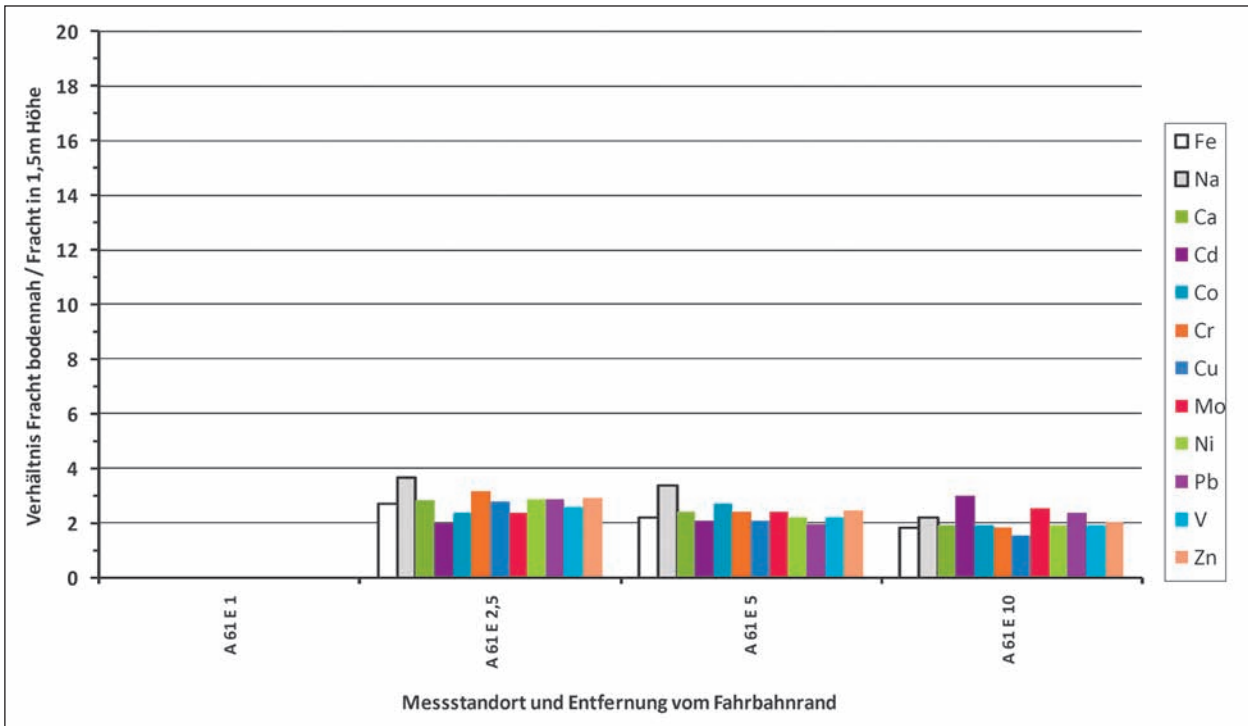


Bild 7: Standort A 61: Verhältnisse der Frachten in den Staubniederschlägen in Bodennähe und 1.5 m Höhe von Februar 2005 bis Dezember 2009, ohne Mai 2007 bis Februar 2008

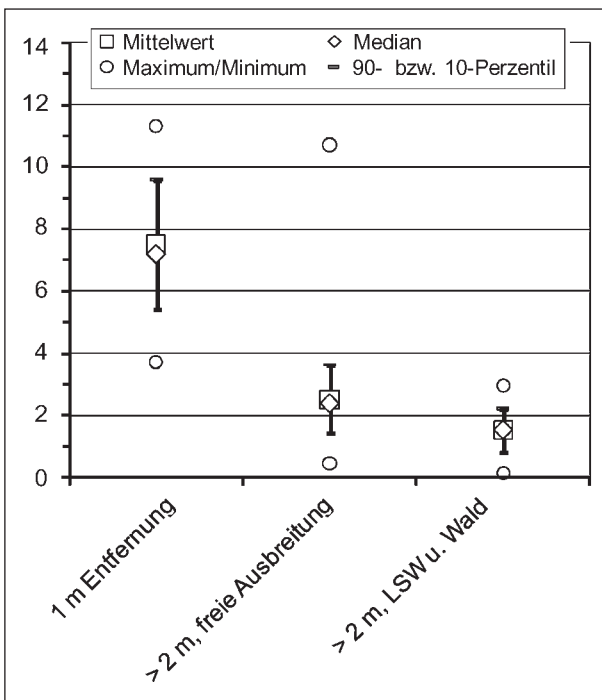


Bild 8: Verhältnisse der Frachten in den Staubniederschlägen in Bodennähe und 1.5 m Höhe für alle untersuchten Elemente, berechnet auf Basis der gemittelten Messwerte Februar 2005 bis Dezember 2009 (ohne Mai 2007 bis Februar 2008)

bar. Die beiden Elemente mit dem höchsten Quotienten zwischen bodennahem Eintrag und Eintrag in 1.5 m Höhe sind mit 3.9 bzw. 3.8 Fe und Pb.

Da die Unterschiede zwischen den Frachtverhältnissen für die verschiedenen Elemente relativ gering sind, sind in Bild 9 alle untersuchten Elemente zusammengefasst und nach Entfernung vom Fahrbahnrand und Standort sortiert. Die in Tabelle 25 grau markierten Werte wurden nicht berücksichtigt. Der stärkste Einflussfaktor auf die Streubreite der Frachtverhältnisse der Elemente ist die direkte Fahrbahnnahe. Als weiterer Faktor lässt sich der Strömungseinfluss feststellen, allerdings ist der Unterschied zwischen den Messpunkten mit freier Ausbreitung und denen im Wald oder in direkter Nähe von Wald und Lärmschutzwand geringer als der Unterschied zu den Messpunkten in 1 m Entfernung vom Fahrbahnrand (Bild 9). Die Streuung der Frachtverhältnisse der unterschiedlichen Elemente ist erstaunlich gering bei den Messpunkten, die in mehr als 2 m Entfernung von der Fahrbahn liegen.

Bild 8 zeigt die Verhältnisse der Frachten in den Staubniederschlägen in Bodennähe und 1.5 m Höhe für alle untersuchten Elemente zusammengefasst auf Basis der gemittelten Messwerte Februar 2005 bis Dezember 2009. Die Verhältnisse an den einzelnen Messpunkten in Bild 9 legen eine Aufteilung in die Kategorien „1 m Entfernung vom Fahrbahnrand“ und „> 2 m Entfernung vom Fahrbahnrand“ nahe. Dabei sind direkt am Fahrbahnrand

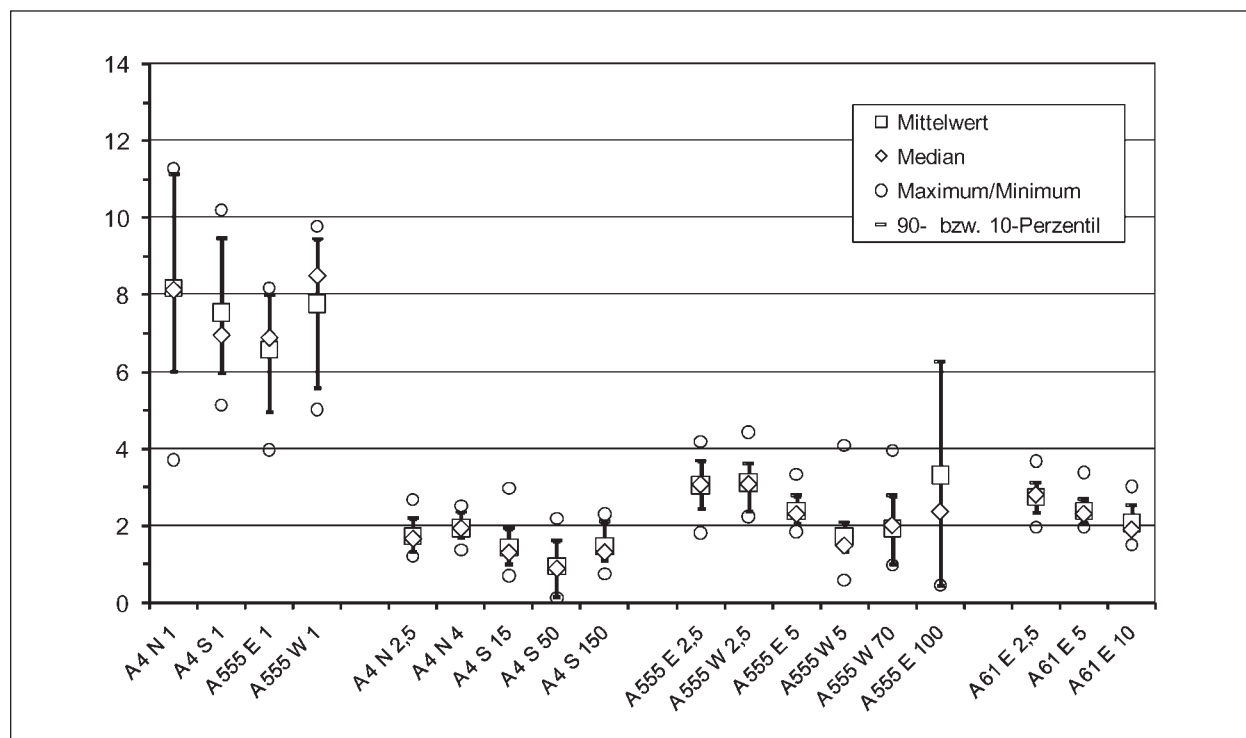


Bild 9: Verhältnisse der Frachten in den Staubniederschlägen in Bodennähe und 1.5 m Höhe, berechnet für alle untersuchten Elemente (Messwerte Februar 2005 bis Dezember 2009, ohne Mai 2007 bis Februar 2008)

Gültigkeitsbereich	Umrechnungsfaktor von 1,5 m Höhe auf Bodennähe	Anzahl Werte n	Min	10-Perz.	Median	MW	90-Perz.	Max
1 m Entfernung	7,5	48	3,7	5,4	7,2	7,5	9,6	11,3
> 2 m, freie Ausbreitung	2,5	102	0,5	1,4	2,4	2,5	3,6	11,7
> 2 m, LSW u. Wald	1,5	57	0,2	0,8	1,6	1,5	2,2	3,0

Tab. 26: Umrechnungsfaktoren zur Abschätzung bodennaher Einträge aus Staubniederschlagsmessungen in 1.5 m Höhe

keine Unterschiede für Standorte mit freier Anströmung/Schadstoffausbreitung (A 555) und Standorte mit eingeschränkter Luftströmung (A 4) festzustellen (Bild 9). Für die Messpunkte in mehr als 2 m Entfernung vom Rand der befestigten Fahrbahn unterscheiden sich die Frachtverhältnisse jedoch. Sie liegen niedriger am Standort mit eingeschränkter Strömung, dort sind also die Deposition in Bodennähe und die Deposition in 1.5 m Höhe ähnlicher. Diesen Bereich überlappend, jedoch im Mittel deutlich höher liegen die Frachtverhältnisse an den beiden Standorten mit freier Anströmung (A 555 und A 61, Bild 9).

Diese Einteilung führt zu dem in Tabelle 26 vorgestellten Vorschlag für Umrechnungsfaktoren, mit denen der Eintrag in 1.5 m Höhe multipliziert werden kann, um den bodennahen Eintrag abzuschätzen.

Die bodennahen Frachten der untersuchten Elemente können, wie schon oben erläutert, durch den Eintrag von zusätzlichem aufgespritztem Bodenmaterial um 15 bis 50 % überschätzt werden (LAUFENBERG et al. 2007). Auf eine Korrektur der Werte bzw. Umrechnungsfaktoren mit den Ergebnissen der exemplarischen Untersuchung wurde jedoch verzichtet, da diese nur über einen Zeitraum von 3 Monaten durchgeführt werden konnte, während der Vergleich von bodennahen und in 1.5 m Höhe gemessenen Werten auf den Ergebnissen aus über vier Jahren beruht. Daher ergeben die in Tabelle 26 angegebenen Umrechnungsfaktoren eine konservative Schätzung der bodennahen Einträge. Die Faktoren können als robust angesehen werden, da Median und Mittelwert fast gleich liegen. Sie beruhen auf der Auswertung aller untersuchten Elemente und sind daher für alle anwendbar.

4 Diskussion

4.1 Staubniederschlag und Metall-einträge

Bild 10 vergleicht Mittelwert und Median der Frachtverhältnisse gemittelt über alle untersuchten Elemente. Die Werte nehmen wie bei den Einzelementen mit zunehmendem Abstand von der Fahrbahn ab. Die höchsten „zusätzlichen“ Einträge gegenüber der Standardmethode zur Staubniederschlagsbestimmung treten wie vermutet in Fahrbahnnähe auf. Dort werden in Bodennähe sechs- bis achtmal so hohe Frachten eingetragen wie in 1.5 m Höhe. Ab 2 m Entfernung sind die Unterschiede im Vergleich dazu gering und verändern sich nicht mehr mit der Entfernung. Ab dieser Entfernung werden in Bodennähe etwa 1.5- bis 3mal so hohe Frachten eingetragen wie in 1.5 m Höhe.

Erstaunlicherweise führen diese Unterschiede nur zu gering veränderten Elementverhältnissen. Das zeigt sich an den niedrigen Standardabweichungen für die meisten Messpunkte, wenn die Frachtverhältnisse aller Elemente gemittelt werden (Bild 10).

Nur an den Messpunkten in größerer Entfernung vom Fahrbahnrand, die aufgrund sehr geringer Staubniederschlagsmengen für manche Elemente nahe der Bestimmungsgrenze liegen, unterscheiden sich die Frachtverhältnisse der Einzelemente stark (Bild 5 und 6), sodass sich unbereinigt hohe Standardabweichungen ergeben. Möglicherweise spielen hier auch andere Einflüsse eine Rolle, wie die direkte Lage des Messpunktes A 555 E 100 m zwischen einem intensiv bewirtschafteten Acker und einer Pferdeweide, wodurch Störungen oder Fremdeinträge möglich sind, die aber optisch an der Probe nur schwer feststellbar wären. Die Messfläche auf der Ostseite der A 555 befindet sich in Nachbarschaft einer Raffinerie (ca. 4 km nördlich) und eines Kieswerkes (ca. 1.5 km südöstlich). Wenn die in Tabelle 25 grau markierten vier Extremwerte nicht in die Berechnung einfließen, ergibt sich ein wesentlich konsistenteres Bild, siehe auch bereinigte Mittelwerte und Standardabweichungen in den unteren Zeilen der Tabelle 25.

Fazit: In 1 m Entfernung vom Fahrbahnrand ist der Einfluss zusätzlicher Einträge in Bodennähe anhand der Frachten sehr deutlich, in 2.5 m Entfernung noch gut feststellbar und ab 5 m Entfernung

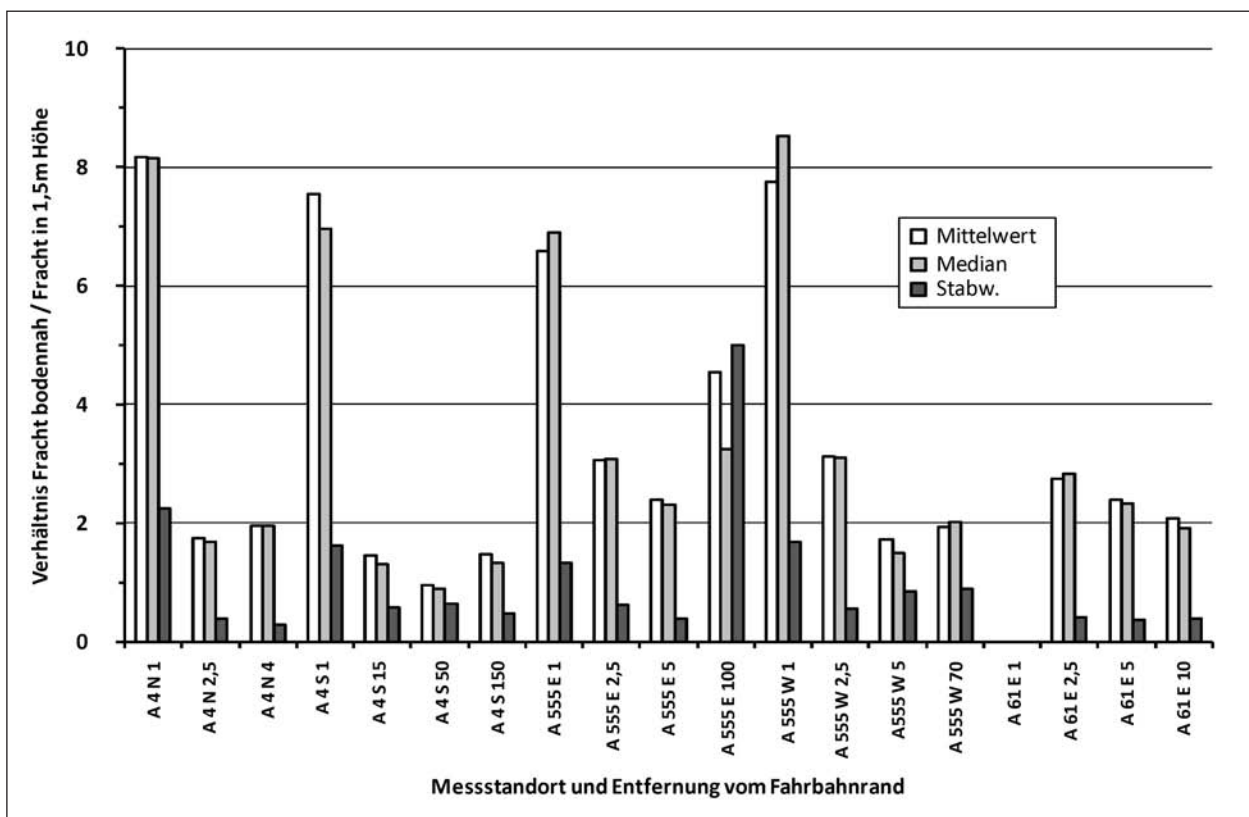


Bild 10: Mittelwert und Median über alle Elemente der Verhältnisse der Frachten in den Staubniederschlägen in Bodennähe und 1.5 m Höhe, von Februar 2005 bis Dezember 2009, ohne Mai 2007 bis Februar 2008

nicht mehr eindeutig feststellbar. Anhand der gemeinsamen Auswertung der Frachten für alle untersuchten Elemente konnten elementunabhängige Umrechnungsfaktoren berechnet werden. Die Faktoren berücksichtigen die Strömungsverhältnisse am Messort und die Entfernung vom Rand der befestigten Fahrbahn.

Aus der Literatur sind nur wenige bodennahe Messungen von Staubniederschlag bekannt (NORRA 1995, 2001; HÖKE/BURGHARDT 1999; HÖKE 2001)

Zwischen dem Eintrag in 1.5 m Höhe und in Bodennähe sind aufgrund unterschiedlicher Strömungsbedingungen und möglicher Einträge durch Splash Unterschiede zu erwarten, die wahrscheinlich auch zusätzlich methodenabhängig sind. Jedoch gibt es kaum quantitative Angaben dazu. HÖKE/BURGHARDT (2001) haben bei Staubniederschlagsmessungen auf Industriebrachen sehr große Unterschiede im Staubeintrag in 2 cm und 150 cm Höhe festgestellt, mit im Mittel etwa 5- bis 40fach höheren deponierten Massen in Bodennähe. Ebenso wurde ein großer Unterschied der Korngrößenverteilung bodennah und in 150 cm Höhe festgestellt, mit einem Maximum der in 2 cm Höhe eingetragenen Partikel bei den groben Anteilen (> 100 µm) und in 150 cm Höhe im Grobschluffbereich (etwa 20-60 µm). Diese Unterschiede sind nach Meinung der AutorInnen durch besseren Umbau zum Schutz vor Splash vermindert.

Auch straßennahe Staubniederschlagsmessungen, bei denen eindeutig die Straße die Hauptquelle ist, liegen nur wenige vor. Meist sind industrielle Emittenten und innerstädtische Kombinationsbelastungen nicht auszuschließen. Tabelle 27 zeigt einen Vergleich der in 1.5 m Höhe an der A 61 von 2005 bis 2009 gemessenen Werte mit Hintergrundwerten aus Industrieumfeld, städtischem Umfeld und Außenbereich für atmosphärische Depositionen für den Raum Schweiz/Österreich/Süddeutschland (UMEG 2004) sowie Bergerhoff-Depositionen von der Intensivmessstelle Bruchsal-Forst der LUBW in 14 m Entfernung von der BAB A 5 (LUBW 2010). Die Verkehrsstärke (DTV) an der A 5 ist größer als 93.000 (1992).

Der Standort an der A 61 ist in der vorliegenden Untersuchung der höchstbelastete, aber auch gegenüber den in Tabelle 21 angegebenen Werten der anderen Messstandorte liegen die Vergleichswerte von der A 5 erstaunlich niedrig. Diese wurden in 14 m Entfernung vom Fahrbahnrand gemessen, aber auch die Hintergrundwerte der vorliegenden Untersuchung (in 50, 70, 100 und 150 m Entfernung vom Fahrbahnrand) überschreiten für Staubniederschlag, zum Teil auch für die Inhaltsstoffe die Einträge an der A 5 sehr deutlich.

Auch windtransportiertes Bodenmaterial aus der weiteren Umgebung, nicht nur durch Splash transportiertes Bodenmaterial aus der unmittelbaren Umgebung der bodennahen Sammler, beeinflusst wahrscheinlich die Staubniederschlagsmessungen.

Straße/Standort		Entf. von Fahrbahnrand (m)	g/(m ² *d)	µg/(m ² *d)						
			SN	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
A 61 2005 – 2009	MW	2,5	1,12	1,39	135	260	57,1	92,4	109	738
A 61 2005 – 2009	MW	5	0,530	0,97	76,9	183	32,7	58,2	55,5	468
A 61 2005 – 2009	MW	10	0,306	0,44	53,9	114	19,7	29,7	28,1	298
HGW Industrieumfeld *	50-Perz	entfällt	k.A.	0,3	16	15	5,6	17	6,2	370
HGW Siedlungsbereich *	50-Perz.	entfällt	k.A.	0,3	2	18	3,3	12	1,7	200
HGW Außenbereich *	50-Perz.	entfällt	k.A.	0,2	1	5	2	7	1,1	34
HGW Industrieumfeld *	90-Perz.	entfällt	k.A.	1,2	72	37	11,6	66	18,6	862
HGW Siedlungsbereich *	90-Perz.	entfällt	k.A.	0,8	6	24	6,4	157	10,1	1040
HGW Außenbereich *	90-Perz.	entfällt	k.A.	0,3	2	12	4,3	20	1,7	98
A5 Forst 2003-2007 **	MW	14	0,072	0,16	8,9	33,9	3,7	8,5	4,0	109

* UMEG 2004, Tabelle 5.5-1, Bezug 2000 bis 2003, und Bergerhoff-Depositionen an Intensivmessstellen Baden-Württembergs
** Mittelwerte der Jahresfrachten 2003 bis 2007, LUBW 2010, Tabelle 7.2-2

Tab. 27: Vergleich der Mittelwerte der Staubniederschläge in 1.5 m Höhe (Februar 2005 bis Dezember 2009, ohne Mai 2007 bis Februar 2008) mit Hintergrundwerten

Dies ist sowohl für die bodennahen als auch für die in 1.5 m Höhe angebrachten Sammler anzunehmen. Die untersuchten Boden- und Staubbiederschlagsproben weisen für Cadmium, Cobalt, Eisen und Vanadium ähnliche Konzentrationen auf. Für Chrom, Nickel und Blei liegen die Konzentrationen in den Staubbiederschlagsproben etwa dreimal höher als in den Bodenproben. Lediglich für Kupfer, Molybdän und Zink liegen die Konzentrationen in den Staubbiederschlagsproben etwa zehnmal höher als in den Bodenproben.

4.2 Zeitlicher Verlauf der Einträge aus Staubbiederschlag

Zusammenfassend erscheint es sehr wahrscheinlich, dass die Abnahme der Metalleinträge mit dem Staubbiederschlag straßenverkehrsbedingt ist, da methodenbedingte Änderungen zur Erklärung bei weitem nicht ausreichen (siehe auch Kapitel 3.3 zum zeitlichen Verlauf der Staubbiederschläge).

Die Änderung der Verkehrsstärken während des gesamten bisherigen Untersuchungszeitraumes ist minimal. An der A 555 und A 4 ist ein gleich bleibender bzw. sehr schwach steigender DTV zu erkennen, die A 61 zeigt eine Abnahme des DTV um 5.3 % zwischen 2005 und 2009 und einen leicht schwankenden Schwerverkehrsanteil (Tabelle 28).

Daher sind andere Ursachen für Emissionsänderungen zu vermuten. Insbesondere bei Blei und Cadmium wirken sich hier möglicherweise die Maßnahmen zur Senkung der Freisetzung aus, die in den letzten Jahren ergriffen worden sind. Diese sollen im Folgenden näher dargestellt werden.

Veränderungen durch Benzinblei-Emissionen sind seit 2000 nicht mehr zu erwarten, da nach dem Benzinbleigesetz (1971) schon seit 1988 Ottokraftstoffe nur in den Verkehr gebracht werden durften, wenn ihr Gehalt an Bleiverbindungen berechnet als

Blei, nicht mehr als 0,013 Gramm im Liter beträgt. Bis 1977 waren 0,15 g/L zulässig, vor 1971 waren Konzentrationen bis 0,63 g/L zulässig, noch früher bis 1 g/L üblich (Motorlexikon 2010).

Mit der Änderung des Benzinbleigesetzes wurde 1988 bleihaltiges Normalbenzin verboten. Aufgrund der rückgehenden Nachfrage wurde der weitere Verkauf 1996 eingestellt. Das verbleite Super (98 Oktan) wurde in der Schweiz bis 1999 verkauft. Seit dem Jahr 2000 darf in der EU kein verbleiteter Ottokraftstoff mehr für Kraftfahrzeuge angeboten werden (http://de.wikipedia.org/wiki/Entwicklung_der_Ottokraftstoffe#Bleifrei).

Beim Gesamtstaubbiederschlag und bei den Schwermetalleinträgen zeigt sich keine einheitliche Tendenz gegenüber dem letzten Messzeitraum. Lediglich beim Blei ist eine deutliche Abnahme zu sehen. Dies liegt möglicherweise an dem seit 1. Juli 2005 geltenden Verbot von Auswuchtgewichten aus Blei für Fahrzeugräder sowohl bei Erstausrüstung wie auch beim Ersatz (EU 2005). Es ist wahrscheinlich, dass abgelöste Gewichte durch mechanischen Abrieb auf der Fahrbahn von den rollenden Fahrzeugen allmählich zerkleinert werden und so in den Staubbiederschlag gelangen können. Durch zunehmenden Ersatz der Bleigewichte durch solche aus Zink oder Stahl (IDK 2005) ist zu erwarten, dass die durch Auswuchtgewichte verursachten Bleiimmissionen seitdem nach und nach abnehmen.

Auch der Abrieb von Bremsbelägen ist eine relevante Quelle von Blei. Zwar ist seit Juli 2007 der Bleianteil im Kupfer in Bremsbelägen auf maximal 0.4 Gewichtsprozent begrenzt (EU 2000b), jedoch sind dadurch immer noch beträchtliche Emissionen möglich, da die Kupferanteile in Bremsbelägen im Zehner-%-Bereich liegen können und kupferarme Beläge sich nur langsam verbreiten (HILLENBRAND et al. 2005). Eine Verringerung der Emissionen ist jedoch auch hier zu erwarten.

Standort	A 555 Widdig	A 61 Meckenheim	A 4 Bensberg
DTV (Kfz/24 h) 2005	69.368	73.310	71.220
DTV (Kfz/24 h) 2008	68.851	69.932	71.738
DTV (Kfz/24 h) 2009 (vorläufig)	70.185	69.444	71.541
SV-Anteil (%) 2005	5,4	19,8	8,5
SV-Anteil (%) 2008	5,7	20,2	9,0
SV-Anteil (%) 2009 (vorläufig)	5,4	18,1	8,1

Tab. 28: Übersicht der Verkehrsstärken und Schwerverkehrsanteile der Messstandorte (Daten: BAST)

Für Cadmiumemissionen aus Reifenabrieb kann wegen leicht sinkender Gehalte in Reifen (Kocher 2010) in den letzten Jahren eine schwach sinkende Tendenz vermutet werden. Im Zuge der EU-Altfahrzeug-Richtlinie (EU 2000b) wurden auch Cadmiumgehalte einiger Werkstoffe beschränkt, jedoch sind dabei keine genannt, aus denen durch Verschleiß Stoffe freigesetzt werden. Jedoch werden nach EU (2000b) ein Höchstkonzentrationswert von bis zu 0.1 Gewichtsprozent Blei, sechswertigem Chrom und Quecksilber je homogenem Werkstoff und bis zu 0.01 Gewichtsprozent Cadmium je homogenem Werkstoff toleriert. Dies wäre für Cadmium in Reifenlaufflächen erfüllt, wenn man Reifengummi als homogenen Werkstoff ansieht.

Der sich an den untersuchten BAB abzeichnende Trend zu niedrigeren Metalleinträgen geht parallel zur Entwicklung in urbanen Räumen (z. B. LANUV 2010, LUBW 2009): „Die Belastung durch Staubbiederschlag (Metalldeposition) (in NRW) ist in den letzten Jahren deutlich zurückgegangen. „(...) Der Immissionswert für Staubbiederschlag ($0,35 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$) wird nur noch in der unmittelbaren Nachbarschaft von einigen großen Anlagen zur Herstellung von Eisen und Stahl sowie in der Nähe von Hafenanla-

gen (Duisburg, Krefeld) überschritten. Seit 2001 sind nur noch in sehr kleinen Gebieten die Immissionen durch Blei im Staubbiederschlag höher als $100 \text{ } \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, durch Cadmium höher als $2 \text{ } \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ und für Arsen höher als $4 \text{ } \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ “ (<http://www.lanuv.nrw.de/luft/immissionen/staub/messergeb.htm> (26.08.10)).

Im Gegensatz zu den festgestellten Schwermetalleinträgen stammt Calcium wahrscheinlich zu einem guten Teil aus Umgebungsstaub, bei den bodennahen Messungen auch aus Splash (bei Starkregen aufgespritztem Material aus dem die Sammler umgebenden Boden). Der weitgehend gleich bleibende Eintrag von Calcium deutet darauf hin, dass Veränderungen aus der Unterhaltung der Messstellen, der Probenahmetechnik und der Analytik nur einen geringen Einfluss auf die Veränderungen der Einträge der Schwermetalle hatten (zeitlicher Verlauf einiger Schwermetalle siehe Kapitel 3.3).

Als Beispiel sind in Bild 11 die Calcium-Frachten in 1.5 m Höhe auf der Westseite der A 555 dargestellt. Der parallele Verlauf der Frachten von Ca und Fe (Fe nicht dargestellt) in 1.5 m Höhe an den beiden Messpunkten „A 555 W 70“ und „A 555 E 100“ über den Messzeitraum seit Mitte 2008 zeigt die Variabi-

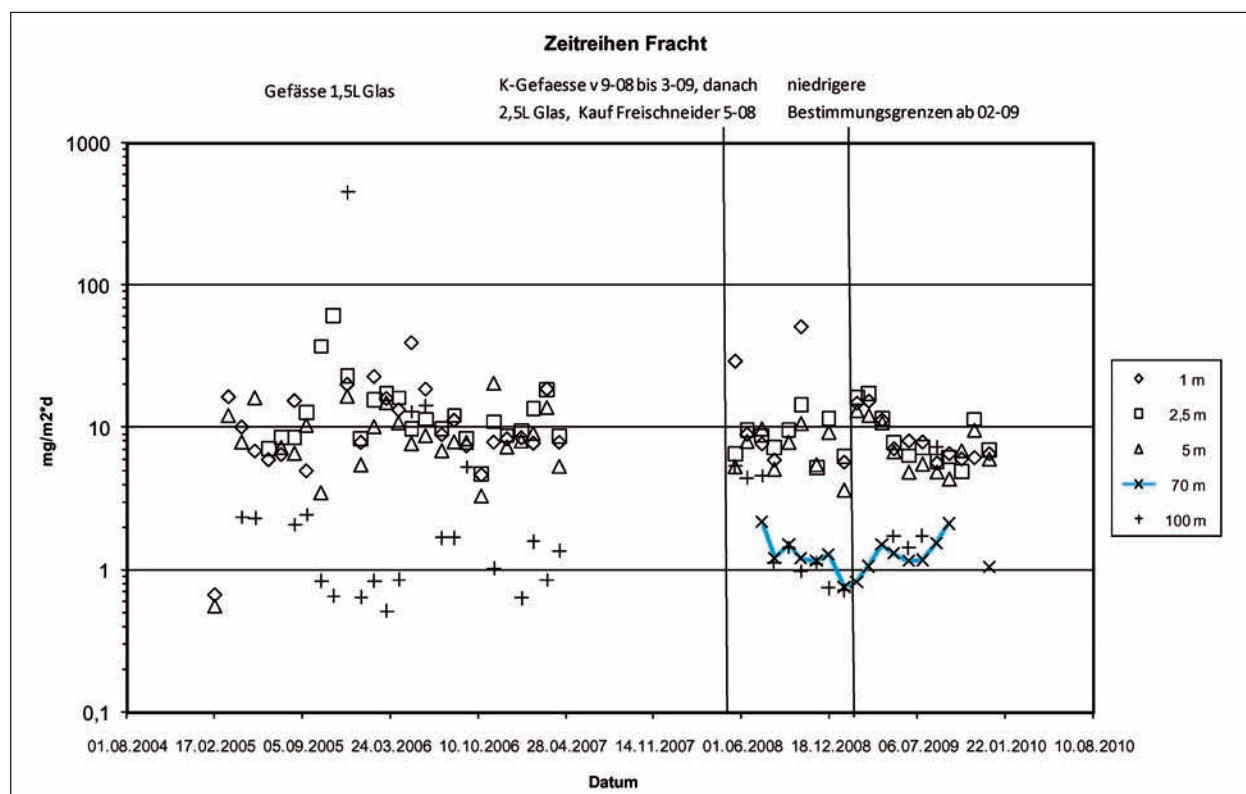


Bild 11: A 555 Westseite: Ca-Frachten in 1.5 m Höhe über den gesamten Messzeitraum. Der Messpunkt „100 m“ liegt östlich der A 555

lität der Hintergrundwerte, aber auch den gleichen Verlauf auf der windzugewandten und windabgewandten Seite der Autobahn, da der Messpunkt „70 m“ auf der Westseite, der Messpunkt „100 m“ auf der Ostseite liegt. Die Hintergrundwerte liegen jedoch gleich bleibend etwa eine Größenordnung niedriger als die autobahnnahe Frachten. Eine zeitliche Abhängigkeit ist nicht zu erkennen.

4.3 Fracht der untersuchten Elemente im Straßenabfluss

Im Folgenden werden die Frachten der Schwermetalle im Straßenabfluss dargestellt, die an den beiden Messstellen A 555 und A 61 von Februar bis Dezember 2009 kumuliert angefallen sind (Tabelle 29). Es wurden in elf Monaten 6.600 Liter Wasser in den Fässern gesammelt.

An den beiden Messstellen an der A 555 und A 61 wurde jeweils eine Strecke von 0,5 laufendem Meter Straße beprobt. Die in Tabelle 29 angegebenen Frachten sind daraus berechnet und beziehen sich auf den Straßenabfluss ins Bankett auf einer Breite von einem Meter für eine hypothetische Autobahn mit DTV von ca. 70.000.

Mehrere Untersuchungen zeigen, dass bei breitflächiger Entwässerung vor allem der ungelöste Anteil der Fracht sehr effektiv in Bankett und Böschung zurückgehalten wird (BOLLER et al. 2005; KOCHER/WESSOLEK 2003; LAMBERT/FUCHS 2008; NADLER/MEIßNER 2004, 2007; STEINER et al. 2010). Nur bei ungünstiger Gestaltung von Banketten oder Versickereinrichtungen/Bodenfiltern mit grobkörnigem Material können Partikel

auch in größere Tiefen vordringen (DIERKES/GEIGER 2003, KASTING/GROTEHUSMANN 2009, LAMBERT/FUCHS 2008) oder aus Entwässerungsbecken wieder ausgeräumt werden (LANGE et al. 2003). Aber auch für gesammelten Straßenabfluss, der in Entwässerungseinrichtungen gereinigt wird, ist der effiziente Rückhalt der Partikel im Abfluss von großer Bedeutung, weil damit der größte Anteil der bisher untersuchten Stoffe aus dem Straßenabfluss entfernt werden kann, auch wenn diese nicht mit speziellen Substraten ausgestattet sind (BOLLER et al. 2006, GROTEHUSMANN/KASTING/KUNZE 2006, KASTING/GROTEHUSMANN 2007). Nur Tausalz kann in Böden und Entwässerungseinrichtungen nicht bzw. nur temporär zurückgehalten werden (GOLWER 1991, 1999). Diese Erkenntnisse spielen eine große Rolle für die bisherige und zukünftige Gestaltung der Regelwerke zur Straßenentwässerung in und außerhalb von Wasserschutzgebieten (RAS Ew: FGSV 2005, RiStWag: FGSV 2002).

Bezieht man die Frachten aus Tabelle 29 auf das deutsche Autobahnnetz von 12.550 Kilometer Länge, so kann die gesamte Fracht an Schwermetallen aus Straßenabfluss in elf Monaten abgeschätzt werden, die von beiden Fahrbahnseiten ins Bankett oder die Entwässerungseinrichtungen eingebracht wird. Im Jahr 2008 betrug die durchschnittliche Verkehrsstärke auf deutschen Autobahnen 48.800 Kfz/24 h (FITSCHEN/NORDMANN 2010). Da die beiden Messstandorte an Autobahnabschnitten mit höherem DTV liegen, wird damit eine obere Grenze der Abschätzung für Autobahnen gegeben (Tabelle 30).

Parameter	Fracht im Straßenabfluss ungelöstes [mg]	Fracht im Straßenabfluss gelöstes [mg]	Fracht gesamt [mg]
Blei	54,8	< 0,66	54,8
Cadmium	2,3	1,06	3,37
Chrom	614	25,01	640
Cobalt	54,1	6,6	60,7
Kupfer	1347	146	1492
Molybdän	86,5	48,2	135
Nickel	204	29,0	231
Vanadium	242	10,6	251
Zink	3.921	951	4.872

Tab. 29: Fracht der Schwermetalle im Straßenabfluss, die an den beiden Messstellen A 555 und A 61 von Februar bis Dezember 2009 angefallen sind

Für die Schwermetalle Blei, Kupfer und Zink sind die Emissionen durch den Straßenverkehr in Deutschland in einer Studie für das Bundesumweltamt von 2005 umfänglich untersucht worden (HILLENBRAND et al. 2005). Diese Daten werden in Tabelle 31 mit den Frachten aus Straßenabfluss verglichen.

Die Frachten der Schwermetalle können als niedrig eingestuft werden. Im Vergleich zu Betrieben der Metallindustrie wie Hochöfen oder Gießereien (WOLLNY et al. 2001, UBA 2001) werden vom Straßenverkehr nur geringe Mengen an Schwermetallen in die Umwelt emittiert.

Im Rahmen einer Untersuchung der Reinigungsleistung von Entwässerungsbecken wurden an der

A 4 in Höhe Westhoyer Weg von Juli 1998 bis Januar 2000 Proben von Straßenabfluss analysiert (LANGE et al. 2003). Tabelle 32 gibt einen Vergleich der dabei bestimmten Gehalte mit den Ergebnissen von A 555 und A 61.

Mit Ausnahme des Blei und des Gehalts an unlöslichem Chrom zeigen die Werte von der A 4 aus den Jahren 1998 bis 2000 eine gute Übereinstimmung mit den Werten von den beiden Messstellen an der A 555 und A 61. Die damals höheren Werte für Blei hängen vielleicht noch mit der Verwendung von bleihaltigem Benzin zusammen. Auch wurden früher hohe Gehalte an Blei und Zink in Reifengummi und Bremscheiben gemessen (HILLENBRAND et al. 2005). Die erhöhten Bleigehalte in Reifen konnten aber in einer umfassenden Unter-

Parameter	Fracht pro lfd. Meter BAB gesamt [mg]	Fracht Autobahnnetz in Tonnen
Blei	54,8	1,38
Cadmium	3,37	0,084
Chrom	640	16,1
Cobalt	60,7	1,52
Kupfer	1.492	37,4
Molybdän	135	3,39
Nickel	231	5,80
Vanadium	251	6,30
Zink	4.872	122

Tab. 30: Abgeschätzte Fracht der Schwermetalle im Straßenabfluss, die an das Bankett des deutschen Autobahnnetzes in elf Monaten abgegeben wird (unabhängig von der Art der Entwässerung)

Parameter	Fracht Straßenabfluss Autobahn in Tonnen	Gesamtemission Straße in Tonnen (HILLENBRAND et al. 2005)
Blei	1,38	80
Kupfer	37,4	932
Zink	122	2.078

Tab. 31: Geschätzte Fracht der Schwermetalle im Straßenabfluss, die an das Bankett des deutschen Autobahnnetzes in elf Monaten abgegeben wird, sowie geschätzte Gesamtemission durch den Straßenverkehr in Deutschland 2005

Parameter	ungelöstes Metall A 555, A 61 [µg/L]	gelöstes Metall A 555, A 61 [µg/L]	ungelöstes Metall A 4 [µg/L]	gelöstes Metall A 4 [µg/L]
Blei	8,3	< 0,1	50	5
Cadmium	0,35	0,16	1	0,3
Chrom	93	3,8	< 5	< 5
Kupfer	204	22,1	90	24
Nickel	30,9	4,4	< 10	< 10
Zink	594	144	540	173

Tab. 32: Gehalt an gelöstem und ungelöstem Metall in Straßenabfluss von der A 4 in Höhe Westhoyer Weg (LANGE et al. 2003) und an den beiden Messstellen an der A 555 und A 61

Parameter	Straßenkehrriecht [mg/kg]	Rückstand im Straßenabfluss A 555, A 61 [mg/kg]	Beckensediment Median [mg/kg]
Blei	66,9	41,3	372
Cadmium	0,353	1,74	4,05
Chrom	67,8	462	-
Kupfer	160	1.010	405
Nickel	47,1	153	-
Zink	476	2.946	2.550

Tab. 33: Im Straßenabflusswasser von der A 555 und A 61 enthaltener Rückstand an Schwermetallen, im Straßenkehrriecht (OTT, JAGER 2005) und in Sedimentproben vom Betonbecken Westhover Weg an der A 4 (LANGE et al. 2003) enthaltene Schwermetalle

suchung an Reifen aus den Jahren 1980 bis 2003 nicht bestätigt werden (KOCHER 2010). Jedoch wurde für Auswuchtgewichte an Kfz-Rädern lange Zeit Blei verwendet. Davon wurden im Jahr 2000 in Deutschland 6.000 Tonnen hergestellt (HILLENBRAND et al. 2006).

Im Folgenden wird der im Straßenabflusswasser von der A 555 und A 61 enthaltene Rückstand mit Straßenkehrriecht (OTT/JAGER 2005) und mit Sedimentproben vom Betonbecken Westhover Weg an der A 4 aus dem Jahr 2000 (LANGE et al. 2003) bezüglich des Gehalts an Schwermetallen verglichen (Tabelle 33).

Die Sedimentproben sind besonders durch Blei und Cadmium belastet. Straßenkehrriecht aus dem Jahr 2005 weist bis auf Blei niedrigere Gehalte an Schwermetallen auf als das Beckensediment der A 4 und der Feststoffanteil im Straßenabfluss, die Gehalte liegen jedoch noch etwa in der gleichen Größenordnung. Ursache ist die gemeinsame Quelle, die auf der Fahrbahnoberfläche und am Fahrbahnrand abgelagerten Stäube. Die feinkörnigen Anteile des Straßenstaubes werden vom Straßenabflusswasser erfasst und weggeschwemmt. So finden sich Teile des „Straßenstaubes“ im Straßenkehrriecht, im Straßenabflusswasser und im Sediment von Entwässerungseinrichtungen wieder. Untersuchungen an Niederschlagsabflüssen haben gezeigt, dass im Laufe des Transportes der Feststoffe eine Abreicherung an größeren Bestandteilen und eine Anreicherung der feinen Anteile im transportierten Feststoff auftritt (XANTHOPOULOS 1990). Derselbe Autor stellte eine Korrelation der Schwermetallgehalte mit der berechneten Oberfläche der Partikel < 0.060 mm fest. Mit der Feinmaterialanreicherung beim Transport und den höheren Schwermetallkonzentrationen in den feinen Kornfraktionen können die höheren Gehalte

aller untersuchten Schwermetalle im Beckensediment erklärt werden. Nur Kupfer weist im Feststoff des Straßenabflusses die höchste Konzentration auf. Dies hängt möglicherweise mit der Aktualität der Daten und geänderten Rezepturen für Bremsbeläge zusammen, für die HILLENBRAND et al. (2005) schon sehr hohe und zunehmende Kupferkonzentrationen beschreiben.

4.4 Ausblick/Forschungsbedarf

Die Messungen werden im Rahmen eines Dauerprojektes fortgesetzt, um langjährige Entwicklungen der Stoffeinträge beobachten zu können.

Durch den Vergleich von bodennahen Staubbereichsmessungen und Messungen in 1.5 m Höhe wurden Umrechnungsfaktoren für den Nahbereich von Autobahnen ermittelt, die standortunabhängig und unabhängig von den untersuchten Elementen sind. Mit Hilfe dieser Faktoren kann aus mehrjährigen Messungen in 1.5 m Höhe der über längere Zeiträume zu erwartende bodennahe Eintrag konservativ geschätzt werden.

Daher kann eventuell in Zukunft auf die arbeitsaufwändig zu unterhaltenden bodennahen Messpunkte verzichtet werden. Das erstellte Modell sollte mit den Daten der laufenden Messperiode 2010 getestet werden, sobald deren Daten vollständig vorliegen, und daraufhin die Entscheidung getroffen werden, ob die bodennahen Messungen weitergeführt werden. Ggf. könnte die frei werdende Kapazität zur Erweiterung des Parameterumfangs der Abflussmessungen genutzt werden.

Weitere Fragen, die im Zusammenhang mit Stoffgehalten und Stoffeintrag aus Straßenabflüssen stehen, sollten in nächster Zeit bearbeitet werden.

Dazu zählen zahlreiche organische Stoffe, deren Auftreten und ggf. Rückhaltung in Entwässerungseinrichtungen im Rahmen der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie beobachtet werden sollten, Überlegungen, ob die durch den Winterdienst sporadisch auftretenden Salzgehaltsspitzen im Straßenabfluss ausreichend zeitlich verzögert und auf ein verträgliches Maß gemildert werden und die Optimierung von Banketten im Spannungsfeld Standfestigkeit/Schadstoffrückhalt.

5 Literatur

- AUERSWALD, K. (1998): Bodenerosion durch Wasser. In: RICHTER, G. (Hrsg.) (1998): Bodenerosion. Analyse und Bilanz eines Umweltproblems. Wissenschaftliche Buchgesellschaft. Darmstadt
- BARBOSA, A. E., HVITVED-JACOBSEN, T. (1999): Highway run-off and potential for removal of heavy metals in an infiltration pond in Portugal. *The Science of the Total Environment* 235, 151-159, Elsevier Science
- BASt/BMVBW (2001): Autobahnverzeichnis 2001. ca. 150 S., aufgestellt von der Bundesanstalt für Straßenwesen. Hrsg: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn 2001
- BELKAW (2009): Analysenwerte für das Trinkwasser in Bergisch Gladbach 2009, <http://www.belkaw.de/Wasserqualitaet.aspx>
- Benzinbleigesetz (1971): Gesetz zur Verminderung von Luftverunreinigungen durch Bleiverbindungen in Ottokraftstoffen für Kraftfahrzeugmotore (Benzinbleigesetz, BzBIG). Inkrafttreten am 8. August 1971 (BGBl. I S. 1234), Letzte Änderung durch: Art. 58 VO vom 31. Oktober 2006, (BGBl. I S. 2407, 2413)
- BMJ (2001): TrinkwV – Trinkwasserverordnung vom 21. Mai 2001 (BGBl. I S. 959), geändert am 31. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2407)
- BMU (1998): Gesetz zum Schutz des Bodens vom 17. März 1998. Bundesgesetzblatt, 1998
- BMU (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV). Bonn, den 1.7.1999
- BOLLER, M., LANGBEIN, S., STEINER, M., OCHSENBEIN, U., SCHEIWILLER, E., BRACHER, M., BERSET, J. D., KAUFMANN, P., MÜLLER, B. (2006): Schadstoffe im Strassenabwasser einer stark befahrenen Strasse und deren Retention mit neuartigen Filterpaketen aus Geotextil und Absorbermaterial. 75 S., Forschungsauftrag ASTRA 2001/058, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation/EAWAG
- BOLLER, M., KAUFMANN, P., OCHSENBEIN, U., STEINER, M., LANGBEIN, S., SCHEIWILLER, E., BRACHER, M. (2005): Bankette bestehender Straßen. Forschungsauftrag VSS 2001/202 auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen – und Verkehrsfachleute (VSS), 51 S.
- DIEHL, D. (2001): Schwermetalleinträge in einen Straßenrandboden am Beispiel der Autobahn A 7 Mellendorf. Projektarbeit im Studiengang Umwelttechnik der TU Berlin am Institut für Ökologie und Biologie, FG Standortkunde/Bodenschutz
- DIERKES, C., GEIGER, W. F. (1999): Dekontaminierende Wirkung belebter Bodenzonen bei verkehrsbedingten Beeinträchtigungen der Bodenqualität. Forschungsbericht im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen FE 05.107/1996/GGB. 174 S.
- DIN EN ISO 11885 (1998): Bestimmung von 33 Elementen durch induktiv gekoppelte Plasma-Atom-Emissionsspektrometrie. Beuth Verlag (1998)
- EU (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (ABl. L 327 vom 22.12.2000, S. 1)
- EU (2000b): Richtlinie 2000/53/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. September 2000 über Altfahrzeuge (ABl. L 269 vom 21.10.2000, S. 34, zuletzt geändert am 20. September 2005)
- EU (2005): Entscheidung vom 24.01.2005 zur Änderung des Anhangs 2 der Richtlinie 2000/53/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Altfahrzeuge, Az. K 2004 – 2735, veröffentlicht im Amtsblatt der Europäischen Union vom 28.01.2005

- EU (2006): Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung (ABl. L 372 vom 27.12.2006, S. 19-31)
- EU (2008): Richtlinie 2008/105/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien des Rates 82/176/EWG, 83/513/EWG, 84/156/EWG, 84/491/EWG und 86/280/EWG sowie zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG
- Fernstraßengesetz (FStrG) in der Neufassung vom 28. Juni 2007, BGBl. I S.1206, zuletzt geändert durch Art. 6 G v. 31.7.2009 I 2585
- FGSV (2002): Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wassergewinnungsgebieten (RiStWag) – Ausgabe 2002. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
- FGSV (2005): Richtlinien für die Anlage von Straßen; Teil Entwässerung (RAS-Ew). FGSV 539, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
- FITSCHEN, A., NORDMANN, H. (2010): Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Verkehrstechnik Heft V 191, 243 S.
- GOLWER, A. (1991): Belastung von Böden und Grundwasser durch Verkehrswege. Forum Städte-Hygiene 42 (8/9), 266-275
- GOLWER, A. (1999). Beeinflussung der Grundwasserbeschaffenheit durch Straßenverkehr in Wasserschutzgebieten. Geol. Jb. Hessen 127. 131-146
- GROTEHUSMANN, D., KASTING, U., KUNZE, M. (2006): Optimierung von Absetzbecken. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik 944, 120 S.
- HILLENBRAND, Th., MARSCHEIDER-WEIDEMANN, F., STRAUCH, M., HEITMANN, K. (2006): Forschungsvorhaben „Emissionsminderung für prioritäre und gefährliche Stoffe der Wasserrahmenrichtlinie.“ Datenblatt Nr. 20: 20: Blei. UBA. <http://www.umweltdaten.de/wasser/themen/stoffhaushalt/blei.pdf>
- HILLENBRAND, Th., TOUISSANT, D., BÖHM, E., FUCH, S., SCHERER, U., RUDOLPHI, A., HOFFMANN, M., KREIßIG, J., KOTZ, Ch. (2005): Einträge von Kupfer, Zink und Blei in Gewässer und Böden – Analyse der Emissionspfade und möglicher Emissionsminderungsmaßnahmen. UBA-Texte 19/05, Umweltbundesamt
- HÖKE, S. (2001): Schadstoffbelastungen durch bodenbürtige Stäube. In: Praxiserfahrungen zur Anwendung des Bodenschutzrechts II. Vollzugserfahrungen und Regelungen (W. KÖNIG (Hrsg.)). BVB- Materialien, Band 11:152-166
- HÖKE, S., BURGHARDT, W. (1999): Soil Born Dust Release from Polluted Industrial Derelict Land and Deposition in the Ruhr Area. In: STOTT, D. E., MOHTAR, R. H., STEINHARDT, G. C. (eds., 2001): Sustaining the Global Farm. Selected Papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting held May 24-29, 1999 at Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory
- IDK (2005): Verbot von Blei – Auswuchtgewichten. Innungen des Kfz-Technikerhandwerks Niedersachsen-Mitte und Osnabrück, http://www.idk-hannover.de/kfz/attachments/039_VerbotBlei_A_uswuchtgewichten.pdf (10.10.10)
- KASTING, U., GROTEHUSMANN, D. (2009): Vergleich der Reinigungsleistung von Retentionsbodenfiltern und Versickeranlagen an Bundesfernstraßen. 95 S. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1024. Bundesminister für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Abt. Straßenbau, Bonn 2009
- KASTING, U., GROTEHUSMANN, D. (2007): Bodenfilteranlagen zur Behandlung von Straßenabflüssen – Halbtechnische Bodenfilterversuche, Teil 2: Versuche zur Salzbelastbarkeit. KA – Abwasser, Abfall 54/8, 789-797
- KOCHER, B. (2006): Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2005/2006. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 198, 41 S. NW-Verlag Bremerhaven, 2010
- KOCHER, B. (2007): Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2006/2007. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 199, 35 S. NW-Verlag Bremerhaven, 2010

- KOCHER, B. (2010): Stoffeinträge in den Straßen-seitenraum – Reifenabrieb. 29 S., Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen Reihe Verkehrstechnik, Heft V 188, NW-Verlag Bremerhaven
- KOCHER, B. (2008): Schadstoffgehalte von Bankettmaterial – bundesweite Datenauswertung, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Verkehrstechnik, Heft V 167, 72 S. NW-Verlag Bremerhaven
- KOCHER, B., WESSOLEK, G. (2003): Verlagerung straßenverkehrsbedingter Stoffe mit dem Sickerwasser. 99 S., Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 864, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Abt. Straßenbau, Bonn
- KUNKEL, R., HANNAPPEL, R., VOIGT, H.-J., WENDLAND, F. (2004): Die natürliche Grundwasserbeschaffenheit ausgewählter hydrostratigraphischer Einheiten in Deutschland, Hrsg.: FZ Jülich, Reihe Umwelt, Bd. 47, Jülich
- LAGERWERFF, J. V., SPECHT, A. W. (1970): Contamination of roadside soil and vegetation with cadmium, nickel, lead, and zinc. *Environ. Sci. Technol.* 4:583-586
- LAMBERT, B., FUCHS, S. (2008): Bodenkundliche Untersuchungen im Rahmen des Entwicklungsvorhabens „Versickerung des Niederschlagswassers von befestigten Verkehrsflächen“. 105 S. Fa. BIOPLAN im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (Ergänzung des Schlussberichtes NADLER, MEISSNER 2007). kostenloser Download unter www.lfu-bayern.de
- LANGE, G. (1996): Versickerung von Regenwasser im Straßenraum. *Straße und Autobahn* 7/1996, 379-382
- LANGE, G., GROTEHUSMANN, D., KASTING, U., SCHÜTTE, M., DIETERICH, M., SONDERMANN, W. (2003). Wirksamkeit von Entwässerungsbecken im Bereich von Bundesfernstraßen. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik* 861. Bundesverkehrsministerium, Bonn. 170 S.
- LAUFENBERG, F. (2007): Verbesserung der Erfassung von Stoffeinträgen in straßennahe Böden durch bodennahe Staubbiederschlagsmessungen. Diplomarbeit an der Universität Koblenz-Landau
- LAUFENBERG, F., KOCHER, B., HÖKE, S., BURGHARDT, W. (2007): Verbesserung der Erfassung von Stoffeinträgen in straßennahe Böden durch bodennahe Staubbiederschlagsmessungen. Posterbeitrag zur Tagung „20 Jahre AK Stadtböden der DBG“, 22.-24. August 2007 in Essen
- LAWA (2004): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellen für das Grundwasser. 33 S. + Anhang. Unterausschuss „Geringfügigkeitsschwellen“ des ständigen Ausschusses „Grundwasser und Wasserversorgung der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser“, Kulturbuch-Verlag, Berlin
- LECHNER, K., LUDWIG, K., KRAUTH, K., STOTZ, G. (1987): Abflüsse von Straßen mit offenen Längsentwässerungen; Menge und Beschaffenheit von Straßenoberflächenwasser beim Abfluss über bewachsene Seitenstreifen, Mulden und Böschungen. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik* Heft 509, S. 1-84, Bundesminister für Verkehr, Abteilung Straßenbau, Bonn-Bad Godesberg
- LEGRET, M., PAGOTTO, C. (1999): Evaluation of pollutant loadings in the run-off waters from a major rural highway. *The Science of The Total Environment* 235, 143-150, Elsevier Science
- LUBW (2010): Umweltdaten 2009 Baden-Württemberg. 228 S., Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe
- MAKEPEACE, D. K., SMITH, D. W., STANLEY, S. J. (1995): Urban Stormwater Quality: Summary of Contaminant Data. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 25 (2), 93-139, CRC Press
- MERIAN, E., ANKE, M., IHNAT, M., STOEPLER, M. (Hrsg.) (2004): Elements and their Compounds in the Environment. Vol. III, VCH-Verlag, Weinheim
- MIKKELSEN, P. S., HÄFLIGER, M., OCHS, M., TJELL, J. C., JACOBSON, P., BOLLER, M. (1996): Experimental Assessment of Soil and Groundwater Contamination from Two Old Infiltration Systems for Road Run-Off in Switzerland. *Sci. Total Environ* 189/190, 341-347
- Motorlexikon (2010): <http://www.motorlexikon.de/?l=6557&R=U>, 11.10.2010

- MURAKAMI, M., NAKAJIMA, F., FURUMAI, H., TOMIYASU, B., OWARI, M. (2006): Identification of particles containing chromium and lead in road dust and soak-away sediment by electron probe microanalyser. *Chemosphere* 67, 2000-2010, Elsevier
- MUSCHACK, W. (1989): Straßenoberflächenwasser – eine diffuse Quelle der Gewässerbelastung. *Vom Wasser* 72, 267-282
- MUSCHACK, W. (1990): Pollution of Street Run-Off by Traffic and Local Conditions. *The Science of the Total Environment* 93, 419-431, Elsevier, Amsterdam
- NADLER A., MEIßNER, E. (2004): Entwicklungsvorhaben: Versickerung des Niederschlagswassers von befestigten Verkehrsflächen – Oktober 2000 bis Oktober 2003 – 3. Zwischenbericht. 88 S. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München
- NADLER, A., MEIßNER, E. (2007): Versickerung des Niederschlagswassers von befestigten Verkehrsflächen – Abschlussbericht Entwicklungsvorhaben Oktober 1996 – Oktober 2005. 70 S. + Anhang, Bayerisches Landesamt für Umwelt, München
- NEHLS, Th. (2006): Water and Heavy Metal Fluxes in Paved Urban Soils. 80 S. Dissertation am Institut für Ökologie der TU Berlin
- NORRA, S. (1995, unveröff.): Anorganische Schadstoffbelastung in Stäuben, Straßensedimenten, Böden und Pflanzen entlang innerstädtischer Straßen am Beispiel von sechs Standorten in Karlsruhe. 246 S. Diplomarbeit am Institut für Petrographie und Geochemie, Universität Karlsruhe
- NORRA, S. (2001): Umweltgeochemische Signale urbaner Systeme am Beispiel von Böden, Pflanzen und Stäuben in Karlsruhe. *Karlsruher Mineralogische und Geochemische Hefte*, Bd. 18, Dissertation
- OTT, C., JAGER, J. (2005): Aufbereitung von Straßenkehrschutt von Außerortstraßen. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Heft 911, Hrsg: BMVBS, NW-Verlag
- PERNAK, D., LESCHBER, R. (1992): Tiefenverteilung persistenter Schadstoffe im Sediment einer Regenwasserversickerungsanlage. *Vom Wasser* 79, 323-331
- STACHEL, B., TEGGE, K. T., JANTZEN, E. (2007): Schadstoffe in Hamburger Autobahnabwässern und ihre Einschätzung unter Berücksichtigung der EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL). *Straße und Autobahn* 6.2007, 326-333, Kirschbaum-Verlag
- STEINER, M., GOOSSE, P., RUTZ, F., BRODMANN, R., PAZELLER, A. (2010): Strassenabwasserbehandlungsverfahren – Stand der Technik. Dokumentation ASTRA 88002, 130 S. Herausgeber: Bundesamt für Strassen ASTRA, Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern
- TA Luft (2002): Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft, 24. Juli 2002, GMBI. Vom 30. Juli 2002 S. 511
- UBA (2001): Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) – Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel, December 2001, Zusammenfassung (http://www.bvt.umweltbundesamt.de/archiv/bvt_eisen-stahl_zf.pdf)
- UMEG (2004): Jahresbericht 2003. 186 S. UMEG-Zentrum für Umweltmessungen, Umwelterhebungen und Gerätesicherheit, Karlsruhe
- UMEG (2003): Stofffrachten Zusammenschau – Stofffrachten Intensiv-Messtelle Forst. 5 S. Zentrum für Umweltmessungen, Umwelterhebungen und Gerätesicherheit Karlsruhe, [Umweltbeobachtung.de](http://www.umweltbeobachtung.de); Online-Journal ISSN 1611-1451, U891 MDBW-1101-de, 09.07.03
- VDI-Richtlinie 2119, Blatt 2 (1996): Messung partikelförmiger Niederschläge – Bestimmung des Staubniederschlags mit Auffanggefäßen aus Glas (Bergerhoff-Verfahren) oder Kunststoff. 12 S. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, Beuth Verlag, Berlin
- VDI-Richtlinie 2267, Teil 5 (1997, bestätigt 2004): Stoffbestimmung an Partikeln in der Außenluft – Messen der Massenkonzentration von Al, As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, V, Zn als Bestandteile des Staubniederschlags mit Hilfe der optischen Emissionsspektrometrie (ICP-OES). 23 S. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL, Beuth Verlag, Berlin

- VDI-Richtlinie 2267, Teil 14 (2003): Stoffbestimmung an Partikeln in der Außenluft – Messen der Massenkonzentration von Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, V, Zn mit Hilfe der optischen Emissionsspektrometrie (ICP-OES) nach Filterprobenahme und Aufschluss in oxidierendem Säuregemisch. 18 S. Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN, Beuth Verlag, Berlin
- WHEELER, G. L., ROLFE, G. L. (1979): The relationship between daily traffic volume and the distribution of lead in roadside soil and vegetation. *Environmental Pollution*. 18:265-274
- WIGINGTON, P. J., CLIFFORD, W. R., GRIZZARD, T. J. (1986): Accumulation of selected trace metals in soils of urban run-off swale drains. *Water Resources Bulletin*. 22:73-79
- WOLLNY, V., DEHOUST, G., DOPFER, J., GEBERS, B., HOCHFELD, C., STAHL, H., CAMES, M., MATTHES, F., GEBHARDT, P. (2001): Nachhaltiger Umgang mit Verpackung – eine Vision für das DSD im Jahre 2020. Öko-Institut e. V., Darmstadt/Berlin
- XANTHOPOULOS, C. (1990): Niederschlagsbedingter Schmutzstoffeintrag in Kanalsystemen – Erneute Bilanzierung aufgrund weitergehender Erfassung von Ereignissen. BMFT-Verbundprojekt: Niederschlagsbedingte Schmutzbelastung der Gewässer, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Band 58, 115-145, Universität Karlsruhe

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2007

- V 144: Umsetzung der Neuerungen der StVO in die straßenverkehrsrechtliche und straßenbauliche Praxis
Baier, Peter-Dosch, Schäfer, Schiffer € 17,50
- V 145: Aktuelle Praxis der Parkraumbewirtschaftung in Deutschland
Baier, Klemp, Peter-Dosch € 15,50
- V 146: Prüfung von Sensoren für Glättemeldeanlagen
Badelt, Breitenstein, Fleisch, Häusler, Scheurl, Wendl € 18,50
- V 147: Luftschadstoffe an BAB 2005
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,00
- V 148: Berücksichtigung psychologischer Aspekte beim Entwurf von Landstraßen – Grundlagenstudie –
Becher, Baier, Steinauer, Scheuchenpflug, Krüger € 16,50
- V 149: Analyse und Bewertung neuer Forschungserkenntnisse zur Lichtsignalsteuerung
Boltze, Friedrich, Jentsch, Kittler, Lehnhoff, Reusswig € 18,50
- V 150: Energetische Verwertung von Grünabfällen aus dem Straßenbetriebsdienst
Rommeiß, Thrän, Schlägl, Daniel, Scholwin € 18,00
- V 151: Städtischer Liefer- und Ladeverkehr – Analyse der kommunalen Praktiken zur Entwicklung eines Instrumentariums für die StVO
Böhl, Mause, Kloppe, Brückner € 16,50
- V 152: Schutzeinrichtungen am Fahrbahnrand kritischer Streckenabschnitte für Motorradfahrer
Gerlach, Oderwald € 15,50
- V 153: Standstreifenfreigabe – Sicherheitswirkung von Umnutzungsmaßnahmen
Lemke € 13,50
- V 154: Autobahnverzeichnis 2006
Kühnen € 22,00
- V 155: Umsetzung der Europäischen Umgebungslärmrichtlinie in Deutsches Recht
Bartolomaeus € 12,50
- V 156: Optimierung der Anfeuchtung von Tausalzen
Badelt, Seliger, Moritz, Scheurl, Häusler € 13,00
- V 157: Prüfung von Fahrzeugrückhaltesystemen an Straßen durch Anprallversuche gemäß DIN EN 1317
Klößner, Fleisch, Balzer-Hebborn, Ellmers, Friedrich, Kübler, Lukas € 14,50
- V 158: Zustandserfassung von Alleebäumen nach Straßenbaumaßnahmen
Wirtz € 13,50
- V 159: Luftschadstoffe an BAB 2006
Baum, Hasskelo, Siebertz, Weidner € 13,50
- V 160: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2005 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen, Koßmann € 25,50
- V 161: Quantifizierung staubedingter jährlicher Reisezeitverluste auf Bundesautobahnen – Infrastrukturbedingte Kapazitätsengpässe
Listl, Otto, Zackor € 14,50
- V 162: Ausstattung von Anschlussstellen mit dynamischen Wegweisern mit integrierter Stauinformation – dWiSta
Grahl, Sander € 14,50

- V 163: Kriterien für die Einsatzbereiche von Grünen Wellen und verkehrsabhängigen Steuerungen
Brilon, Wietholt, Wu € 17,50
- V 164: Straßenverkehrszählung 2005 – Ergebnisse
Kathmann, Ziegler, Thomas € 15,00

2008

- V 165: Ermittlung des Beitrages von Reifen-, Kupplungs-, Brems- und Fahrbahnabrieb an den PM₁₀-Emissionen von Straßen
Quass, John, Beyer, Lindermann, Kuhlbusch, Hirner, Sulkowski, Sulkowski, Hippler € 14,50
- V 166: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2006 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen, Koßmann € 26,00
- V 167: Schadstoffe von Bankettmaterial – Bundesweite Datenauswertung
Kocher, Brose, Siebertz € 14,50
- V 168: Nutzen und Kosten nicht vollständiger Signalisierungen unter besonderer Beachtung der Verkehrssicherheit
Frost, Schulze € 15,50
- V 169: Erhebungskonzepte für eine Analyse der Nutzung von alternativen Routen in übergeordneten Straßennetzen
Wermuth, Wulff € 15,50
- V 170: Verbesserung der Sicherheit des Betriebspersonals in Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Bundesautobahnen
Roos, Zimmermann, Riffel, Cypra € 16,50
- V 171: Pilotanwendung der Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen (ESN)
Weinert, Vengels € 17,50
- V 172: Luftschadstoffe an BAB 2007
Baum, Hasskelo, Siebertz, Weidner € 13,50
- V 173: Bewertungshintergrund für die Verfahren zur Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offenporiger Straßenbeläge
Altreuther, Beckenbauer, Männel € 13,00
- V 174: Einfluss von Straßenzustand, meteorologischen Parametern und Fahrzeuggeschwindigkeit auf die PM_x-Belastung an Straßen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Düring, Lohmeyer, Moldenhauer, Knörr, Kutzner, Becker, Richter, Schmidt € 29,00
- V 175: Maßnahmen gegen die psychischen Belastungen des Personals des Straßenbetriebsdienstes
Fastenmeier, Eggerdinger, Goldstein € 14,50

2009

- V 176: Bestimmung der vertikalen Richtcharakteristik der Schallabstrahlung von Pkw, Transportern und Lkw
Schulze, Hübelt € 13,00
- V 177: Sicherheitswirkung eingefräster Rüttelstreifen entlang der BAB A24
Lerner, Hegewald, Löhe, Velling € 13,50
- V 178: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2007 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen € 26,00
- V 179: Straßenverkehrszählung 2005: Methodik
Kathmann, Ziegler, Thomas € 15,50
- V 180: Verteilung von Tausalzen auf der Fahrbahn
Hausmann € 14,50
- V 181: Voraussetzungen für dynamische Wegweisung mit integrierten Stau- und Reisezeitinformationen
Hülsemann, Krems, Henning, Thiemer € 18,50

V 182: Verkehrsqualitätsstufenkonzepte für Hauptverkehrsstraßen mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern
Sümmermann, Lank, Steinauer, M. Baier, R. Baier, Klemps-Kohnen € 17,00

V 183: Bewertungsverfahren für Verkehrs- und Verbindungsqualitäten von Hauptverkehrsstraßen
Lank, Sümmermann, Steinauer, Baur, Kemper, Probst, M. Baier, R. Baier, Klemps-Kohnen, Jachtmann, Hebel € 24,00

V 184: Unfallrisiko und Regelakzeptanz von Fahrradfahrern
Alrutz, Bohle, Müller, Prahlow, Hacke, Lohmann € 19,00

V 185: Möglichkeiten zur schnelleren Umsetzung und Priorisierung straßenbaulicher Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit
Gerlach, Kesting, Thiemeyer € 16,00

V 186: Beurteilung der Streustoffverteilung im Winterdienst
Badelt, Moritz € 17,00

V 187: Qualitätsmanagementkonzept für den Betrieb der Verkehrsrechnerzentralen des Bundes
Kirschfink, Aretz € 16,50

2010

V 188: Stoffeinträge in den Straßenseitenraum – Reifenabrieb
Kocher, Brose, Feix, Görg, Peters, Schenker € 14,00

V 189: Einfluss von verkehrsberuhigenden Maßnahmen auf die PM10-Belastung an Straßen
Düring, Lohmeyer, Pöschke, Ahrens, Bartz, Wittwer, Becker, Richter, Schmidt, Kupiainen, Pirjola, Stojiljkovic, Malinen, Portin € 16,50

V 190: Entwicklung besonderer Fahrbahnbeläge zur Beeinflussung der Geschwindigkeitswahl
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Lank, Steinauer, Busen € 29,50

V 191: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2008
Fitschen, Nordmann € 27,00
Dieser Bericht ist als Buch und als CD erhältlich oder kann ferner als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 192: Anprall von Pkw unter großen Winkeln gegen Fahrzeugrückhaltesysteme
Gärtner, Egelhaaf € 14,00

V 193: Anprallversuche an motorradfahrerfreundlichen Schutzeinrichtungen
Klößner € 14,50

V 194: Einbindung städtischer Verkehrsinformationen in ein regionales Verkehrsmanagement
Ansorge, Kirschfink, von der Ruhren, Hebel, Johanning € 16,50

V 195: Abwasserbehandlung an PWC-Anlagen
Londong, Meyer € 29,50
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 196: Sicherheitsrelevante Aspekte der Straßenplanung
Bark, Kutschera, Baier, Klemps-Kohnen € 16,00

V 197: Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf den Bundesautobahnen und Europastraßen 2008
Lensing € 16,50

V 198: Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2005/2006
Kocher, Brose, Chlubek, Karagüzel, Klein, Siebertz € 14,50

V 199: Stoffeintrag in Straßenrandböden - Messzeitraum 2006/2007
Kocher, Brose, Chlubek, Görg, Klein, Siebertz € 14,00

V 200: Ermittlung von Standarts für anforderungsgerechte Datenqualität bei Verkehrserhebungen
Bäumer, Hautzinger, Kathmann, Schmitz, Sommer, Wermuth € 18,00

V 201: Quantifizierung der Sicherheitswirkungen verschiedener Bau-, Gestaltungs- und Betriebsformen auf Landstraßen
Vieten, Dohmen, Dürhager, Legge € 16,00

2011

V 202: Einfluss innerörtlicher Grünflächen und Wasserflächen auf die PM₁₀-Belastung
Endlicher, Langner, Dannenmeier, Fiedler, Herrmann, Ohmer, Dalter, Kull, Gebhardt, Hartmann € 16,00

V 203: Bewertung von Ortsumgehungen aus Sicht der Verkehrssicherheit
Dohmen, Vieten, Kesting, Dürhager, Funke-Akbiyik € 16,50

V 204: Einfluss von Straßenrandbegrünung auf die PM₁₀-Belastung
Bracke, Reznik, Mölleken, Berteilt, Schmidt € 22,00
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 205: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2009
Fitschen, Nordmann € 27,50
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 206: Sicherheitspotenzialkarten für Bundesstraßen nach den ESN
Färber, Lerner, Pöppel-Decker € 14,50

V 207: Gestaltung von Notöffnungen in transportablen Schutzeinrichtungen
Becker € 16,00

V 208: Fahrbahnquerschnitte in baulichen Engstellen von Ortsdurchfahrten
Gerlach, Breidenbach, Rudolph, Huber, Brosch, Kesting € 17,50

V 209: Stoffeintrag in Straßenrandböden - Messzeitraum 2008/2009
Beer, Surkus, Kocher € 14,50

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

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
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

Dort ist auch ein Komplettverzeichnis erhältlich.