

# **Stoffeintrag in Straßenrandböden Messzeitraum 2006/2007**

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Verkehrstechnik Heft V 199**

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, giving it a modern and professional appearance.



# **Stoffeintrag in Straßenrandböden Messzeitraum 2006/2007**

von

Birgit Kocher

Unter Mitwirkung von

Susanne Brose  
Antonia Chlubek  
Claudia Görg  
Nicole Klein  
Ingrid Siebertz

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Verkehrstechnik Heft V 199**

**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 AP 06 637**  
Stoffeintrag in Straßenrandböden  
Messzeitraum 2006/2007

### 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](mailto:vertrieb@nw-verlag.de)  
Internet: [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de)

ISSN 0943-9331  
ISBN 978-3-86918-057-1

Bergisch Gladbach, Oktober 2010

## Kurzfassung – Abstract

### Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2006/2007

An drei BAB (A 4, A 555, A 61) wurden Messstandorte eingerichtet, um die Einträge von Schadstoffen aus dem Straßenverkehr in den Boden bzw. in Entwässerungseinrichtungen beurteilen zu können. Der Messzeitraum Mitte 2006 bis Mitte 2007 wird im Rahmen des vorliegenden Berichtes dokumentiert.

Zwei Sommermonate konnten nicht erfasst werden. So erhalten die Wintermonate in den Jahresmittelwerten der Depositionsraten 2006/2007 höheres Gewicht. Trotzdem liegen die Stoffeinträge des Messzeitraumes Juli 2006 bis Juni 2007 für alle Stoffe deutlich niedriger als die des vorangegangenen Messzeitraumes Januar 2005 bis Juni 2006.

Abweichend davon weist der Hintergrundmesswert der A 555 in 100 m Entfernung vom Fahrbahnrand höhere Depositionsraten aller Stoffe auf, und im Straßenabfluss traten höhere Zink- und Eisenwerte auf als im vorigen Zeitraum.

Der mittlere Gesamtstaubniederschlag in Bodennähe erreichte in der Messperiode 2006/2007 nur etwa 55 bis 90 % des Gesamtstaubniederschlages 2005/2006. Die Frachten der meisten untersuchten Elemente liegen etwa im selben Verhältnis wie die Gesamtstaubdeposition niedriger. Ausgenommen davon sind die vorwiegend straßenverkehrsbedingten Elemente Blei, Kupfer und Zink, die eine deutlich geringere Abnahme als der Staubniederschlag zeigen, am Standort A 61 zeigen sich sogar deutlich höhere Frachten dieser drei Elemente.

Anhand des zeitlichen Verlaufes der Konzentrationen im Straßenabfluss lässt sich zeigen, dass nicht nur Natrium-, sondern auch Calciumeinträge zum großen Teil durch den Tausalzeinsatz bedingt sind (Feuchtsalztechnik mit Calciumchloridsole). Möglicherweise trägt dieser Calciumeintrag zu den günstigen Rückhalteeigenschaften von Bankettböden und Bankettmaterial für Schadstoffe bei, wie sie in verschiedenen Untersuchungen festgestellt wurden.

Für die Konzentrationen von Cadmium und Zink im Straßenabfluss lässt sich ebenfalls ein deutlicher Jahresgang feststellen, für die Deposition mit dem Staubniederschlag nicht.

2006/2007 liegen in 1.5 m Höhe an der A 555 und A 4 mehr als 90 % der Monatswerte auch 1 m neben der asphaltierten Fahrbahnfläche im Bereich der Vergleichswerte für Hintergrundmessstellen und städti-

sche Räume. Teilweise wies in dieser Höhe der Staubniederschlag auch im Messzeitraum 2006/2007 so niedrige Einwaagen und Gehalte an Schwermetallen auf, dass die Bestimmungsgrenze in der Aufschlusslösung nicht erreicht wurde. An der A 61 treten dagegen am straßennächsten Messpunkt in 2.5 m Entfernung höhere Werte auf, jedoch nicht so hoch wie 2005/2006.

Die bodennahen Messpunkte weisen, wie auch 2005/2006, zum Teil wesentlich höhere Gesamtstaubniederschläge auf als die in 1.5 m Höhe. Sie überschritten fast immer die typischen Bereiche für Hintergrundmessstellen und städtische Räume.

Die Konzentrationen liegen in beiden bisherigen Untersuchungszeiträumen in 1.5 m Höhe für viele Elemente höher als in Bodennähe. Eine mögliche Ursache für diesen Konzentrationsunterschied kann eine „Verdünnung“ durch Staub bzw. Bodenmaterial aus der direkten Umgebung in den bodennahen Sammlern sein. Dies wurde 2006 am Standort A 61 im Rahmen einer Diplomarbeit untersucht (LAUFENBERG 2007). Es zeigte sich, dass die bodennahen Frachten durch den Eintrag von zusätzlichem Material um 15 bis 50 % überschätzt werden können. Ein Schutz vor diesem Zusatzeintrag, der vermutlich durch aufspritzendes Bodenmaterial bei Niederschlägen verursacht wird, kann nur durch eine aufwändige Umbauung der Messgefäße erreicht werden. Die dazu bisher getesteten Möglichkeiten sind nur für gering geneigte Flächen geeignet und sind sehr wartungsintensiv. Hier muss noch eine geeignete Lösung gefunden werden. Ein Verzicht auf die bodennahen Messungen ist denkbar, wenn Umrechnungsfaktoren bestimmt werden können oder ein Modell erstellt werden kann, das die bodennahen Messwerte auch unter Berücksichtigung der Entfernungs- und Standortunterschiede ausreichend genau abbildet.

Anhand der Ergebnisse des Forschungsprojektes „Schadstoffgehalte in Bankettmaterial – bundesweite Datenauswertung“ (KOCHER 2007) zeigte sich, dass das hier durchgeführte Messprogramm die relevanten anorganischen Parameter enthält und die Aufnahme weiterer Metalle oder Salze in das Messprogramm nicht notwendig ist. Es wird empfohlen, solche Untersuchungen vorerst im Rahmen von zeitlich begrenzten Vorhaben durchzuführen.

Die hier dokumentierten Messungen bilden eine Datengrundlage für die Bearbeitung weiterführender Fragestellungen. Die Messungen werden im Rahmen eines weiteren Projektes fortgesetzt.

Der Tabellenteil zu den Forschungsergebnissen ist dem vorliegenden Heft auf CD beigelegt.

### **Material deposition in roadside soils – measuring period 2006/2007**

Measuring points were installed on three federal motorways (A4, A555 and A61) to determine the deposition of pollutants from road traffic in the soil or in the drainage system. This report documents the measuring period from the middle of 2006 to the middle of 2007.

Two summer months could not be measured, which provides the winter months with a higher weight in the average mean deposition rates for 2006/2007. The material deposition for all substances was nevertheless clearly lower in the period from July 2006 to July 2007 than during the previous measuring period from January 2005 to June 2006.

The background measuring point is situated at a distance of 100 m from the road edge of the A555. It deviates from this pattern and shows higher deposition rates for all substances. The road runoff also shows higher zinc and iron values than during the previous measuring period.

The mean total dust deposition near the ground during the 2006/2007 measuring period only reached approx. 55 to 90% of the total dust deposition in 2005/2006. The loads of most elements investigated decreased more or less proportionally with the total dust deposition. Deviations were found for the primarily road-traffic-related elements lead, copper and zinc, which showed a clearly lower reduction than the dust deposition. The measuring site on the A61 even showed clearly higher loads for these three elements.

The concentrations in the road runoff over time show that not only the sodium, but also the calcium deposition is mainly due to de-icing salt (wet-salt method with calcium chloride brine). This calcium deposition might possibly contribute to the better pollutant-retaining properties of shoulder soils and shoulder material, as has been shown in various investigations.

The concentrations of cadmium and zinc in the road runoff also show a clear annual pattern, while their deposition does not show this pattern.

More than 90% of the monthly values measured in 2006/2007 on the A555 and A4 at a height of 1.5 m and a distance of only 1 m from the asphalt-paved road surface were in the same range as the reference measurements for background measuring points and urban areas. Also, in the 2006/2007 measuring period, many dust deposits at this height had comparably low concentrations and contents of heavy metals in the

measuring solution frequently did not reach the detection limit. In contrast, the values for the measuring point nearest to the motorway A61, which is at a distance of 2.5 m from the road, were higher, but not as high as in 2005/2006.

Some of the measuring points near the ground showed significantly higher total dust deposits than those at a height of 1.5 m, which corresponds to the results from 2005/2006. In nearly all cases, these results exceeded the typical ranges for background measuring points and urban areas.

For many elements, the measuring results collected in the two investigation periods show higher concentrations at a height of 1.5 m than near the ground. A possible cause for this difference may be a sort of attenuation by dust or soil material from the immediate environment in the collectors near the ground. This effect was investigated in 2006 as part of a diploma thesis (LAUFENBERG 2007) at the A61 measuring site. The study shows that pollutant loads near the ground may be overestimated by 15% to 50% due to the input of additional material. It was assumed that the additional input is the result of soil material splashed up by rain. Protection against this additional input can only be achieved with extensive enclosures for the measuring containers. The options tested thus far are only suitable for surfaces with low inclines and are very maintenance-intensive. A suitable solution still has to be found. Abandoning the measurements close to the ground could be considered, if it were possible to determine conversion factors or to compile models that predict the measuring values near the ground with sufficient accuracy and take distance and location parameters into account.

The results of the research project "Pollutant content in road shoulder material – nation-wide data evaluation" (KOCHER 2007) showed that the current measuring programme contains all the relevant inorganic parameters and that the inclusion of additional metals or salts in the measuring programme is not necessary. It is recommended to perform such investigations initially as part of time-limited projects.

The measurements documented provide the basic data for handling further inquiries. The measurements will be continued as part of another project.

The table section with research results in the appendix is attached to this brochure in the form of a CD.

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Fragestellung</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Übersicht der Messperiode 2006/2007</b> .....	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Vergleich der bisherigen Messzeiträume</b> .....	<b>11</b>
3.1	Staubniederschlag – bulk deposition .....	11
3.1.1	Räumliche Verteilung .....	14
3.1.2	Verlauf der Monatswerte .....	24
3.2	Straßenabflusswasser .....	28
3.3	Untersuchung zur Genauigkeit der bodennahen Messungen .....	30
<b>4</b>	<b>Fazit</b> .....	<b>32</b>
4.1	Zusammenfassung .....	32
4.2	Ausblick .....	33
<b>5</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>33</b>



## 1 Fragestellung

Durch Emissionen des Straßenverkehrs werden Schadstoffe in den Straßenseitenraum eingetragen. Sie gelangen mit dem Straßenabfluss und über trockene Deposition auf und in den angrenzenden Boden.

Durch jahre- und jahrzehntelangen Eintrag haben sich neben den Fahrbahnen stark befahrener Straßen Böden mit relativ hohen Schwermetallgehalten gebildet, auch organische Stoffe wie PAK weisen oft gegenüber der Umgebung erhöhte Konzentrationen auf.

Im vorliegenden Bericht werden Schadstoffeinträge in den Straßenseitenraum an drei Autobahnstandorten zur Beurteilung der Schadstoffeinträge und zur beispielhaften Kontrolle der Belastung von Boden und Grundwasser durch den Straßenverkehr untersucht. Die Lage und Eigenschaften der Standorte sowie die angewandten Methoden werden im Bericht „Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2005/2006“ (KOCHER, 2006) ausführlich beschrieben.

Tabelle 1 gibt eine Übersicht der Eigenschaften, und die Bilder 1 bis 3 zeigen die nähere Umgebung der drei 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 A 555 und A 4 uneingeschränkt und an der A 61 etwas eingeschränkt vorhanden. Alle Verkehrsstärken sind größer als 65.000 Kfz/d und liegen damit über dem mittleren DTV auf den deutschen Autobahnen. Die drei Standorte decken bei vergleichbarer Gesamtverkehrsstärke mit 5,4 bis 19,8 % 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.

Die Messungen umfassen den Zeitraum von Juli 2006 bis April 2007 und werden den Untersuchun-

Standort	A 555 Widdig	A 61 Meckenheim	A 4 Bensberg
Autobahn-km	13,2	177,4	92,7
Nächstgelegene Dauerzählstelle	Godorf/Wesseling Nr. 5036	Ringgen-Vettelhofen Nr. 7149	Bensberg-Frankenforst Nr. 5015
DTV (Kfz/24h)	69.368	73.310	71.220
SV-Anteil (%)	5,4	19,8	8,5
Zahl der Fahrspuren	6	5	4
Standstreifen	beidseitig	beidseitig	beidseitig
Ausbreitungsbedingungen	frei	frei	Wald, Lärmschutzwand
Lage zur Hauptwindrichtung	quer	quer	parallel

Tab. 1: Übersicht der Eigenschaften der Messstandorte



Bild 1: Umgebung des Messstandortes A 555, Blick nach Süden Richtung Bonn



**Bild 2:** Umgebung des Messstandortes A 61, Blick nach Nordwesten Richtung Köln



**Bild 3:** Umgebung des Messstandortes A 4, Blick nach Westen Richtung Köln (angrenzend Lärmschutzwand) und nach Osten Richtung Olpe (angrenzend Laubwald)

gen aus dem vorigen Messzeitraum gegenübergestellt. Diese sind ausführlich in KOCHER (2006) enthalten.

Bei der Bewertung der Ergebnisse ist zu beachten, dass aufgrund von Laborengpässen in den Monaten Mai und Juni 2007 keine Proben genommen werden konnten. Die Proben der Monate März und April 2007 wurden freundlicherweise vom Labor des LANUV NRW aufgeschlossen und analysiert. Die verwendete Methodik unterscheidet sich geringfügig von der in KOCHER (2006) beschriebenen. Es wurde ebenso ein Druckaufschluss angewandt, jedoch wird bei den Staubbiederschlagsuntersuchungen des LANUV die Säuremischung um Wasserstoffperoxid ergänzt (5 ml konz.  $\text{HNO}_3$ , 3 ml konz. 40 % HF, 2 ml 30 %  $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Die Analytik erfolgte ebenfalls mit ICP-OES. Die hierbei gemessenen Konzentrationen lagen für alle untersuchten Stoffe im erwarteten Bereich und sind somit direkt vergleichbar.

Dadurch, dass zwei Sommermonate nicht erfasst werden konnten, erhalten die Wintermonate im

Jahresmittelwert 2006/2007 höheres Gewicht. Eine Extrapolation der Stoffeinträge für den nicht erfassten Zeitraum wird aufgrund der starken, vor allem witterungsbedingten Schwankungen der Einträge und der bisher geringen Erfahrung zur jahreszeitlichen Verteilung nicht durchgeführt.

Mit den Ergebnissen kann die Höhe der Stoffeinträge bestimmt werden.

Es können aber auch Annahmen zur Verteilung der Emissionen im Straßenseitenraum überprüft werden. Diese Annahmen sind Übertragungen aus den Erkenntnissen über die Ausbreitung von Luftschadstoffen:

- Es besteht ein Unterschied in den Gesamtstoffeinträgen zwischen der windzugewandten und der windabgewandten Seite der Autobahnen:
  - Der straßennahe Stoffeintrag ist auf der Lee-seite höher.

- Die eingetragenen Stoffe verteilen sich auf der Leeseite über einen größeren Entfernungsbereich.
- Es besteht kein Unterschied im Stoffeintrag zwischen Straßen, die quer und parallel zur Hauptwindrichtung liegen. Nur die räumliche Verteilung (luv/lee) ist verschieden.
- Es besteht ein Unterschied in den Gesamtstoffeinträgen zwischen einem Straßenabschnitt mit Entwässerung der gesamten Straßenbreite über das Bankett und einem Abschnitt mit Entwässerung einer oder mehrerer Fahr- bzw. Standstreifen in Regenwasserkanäle: Der Stoffeintrag ist bei freier Entwässerung über das Bankett höher.
- Es besteht ein Unterschied in den Gesamtstoffeinträgen zwischen Straßen mit gleicher Verkehrsstärke, aber unterschiedlichen Lkw-Anteilen: Der Stoffeintrag ist bei höherem Lkw-Anteil höher.
- Es besteht ein Unterschied in den Gesamtstoffeinträgen zwischen Straßen mit freier Schadstoffausbreitung und Straßen, an denen Geländegegebenheiten, Hecken und Wald oder Lärmschutzeinrichtungen die Strömungsgeschwindigkeit vermindern: Der straßennahe Stoffeintrag ist bei Vorhandensein von Strömungshindernissen höher.
- Es besteht ein Unterschied in den Gesamtstoffeinträgen zwischen Straßen unterschiedlicher Verkehrsstärke: Der Stoffeintrag ist bei höherer Verkehrsstärke höher.

Die Eigenschaften der ausgewählten Messstandorte lassen trotz einer Überlagerung verschiedener Einflüsse die Überprüfung der meisten Thesen zu. Da die Verkehrsstärken der drei Standorte sehr ähnlich sind, kann die Abhängigkeit des Stoffeintrages von der Verkehrsstärke nicht untersucht werden. Der Einfluss von Strömungshindernissen und der Lage quer oder parallel zur Hauptwindrichtung kann an der A 4 und A 555 betrachtet werden. Allerdings überlagern sich diese beiden Faktoren, da die A 4 beidseitig Strömungshindernisse aufweist und parallel zur Hauptwindrichtung verläuft, während die A 555 bis auf eine lückige Schutzpflanzung freie Ausbreitungsbedingungen aufweist und quer zur Hauptwindrichtung liegt. Dagegen können sehr gut die luv/lee-Verteilung am Standort A 555, entwässerungsbedingte Unterschiede an der A 4 und der Einfluss des Lkw-Anteils im Vergleich aller drei Standorte untersucht werden. Die

Ergebnisse der ersten Messperiode 2005/2006 werden den Ergebnissen der aktuellen Messperiode 2006/2007 gegenübergestellt.

## 2 Übersicht der Messperiode 2006/2007

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 asphaltierten 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 Grafiken als Kurzbezeichnung für den Gesamtstaubniederschlag verwendet.

Typische Depositionsraten ausgewählter Elemente im Gesamtstaubniederschlag sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Sie werden je nach Größenordnung in  $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{d}$  oder  $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{d}$  angegeben. Der

Element		Deposition $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$	
		ländlich	städtisch
Gesamtstaubniederschlag in $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$		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
Kobalt	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)

Gesamtstaubniederschlag liegt nach der Vergleichsuntersuchung in VDI-RL 2267 (s. Tabelle 2) zwischen  $6 \text{ mg/m}^2\text{d}$  (ländliche Höhenlage, gering belastet) und  $530 \text{ mg/m}^2\text{d}$  (Industriegebiet in Ballungsraum).

Die Tabelle 3 zeigt die über den gesamten Messzeitraum Juni 2006 bis April 2007 gemittelten Werte des bodennahen Gesamtstaubniederschlages und der darin enthaltenen Stofffrachten, die Tabelle 4 dieselben Größen für die Probenahme in 1.5 m

Straße	Lage	Entf. (m)	g/(m <sup>2</sup> *d)	mg/(m <sup>2</sup> *d)			µg/(m <sup>2</sup> *d)								
			SN	Ca	Fe	Na	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	V	Zn
A 4	N	1	1.650	49.5	121	19.3	2.67	67.0	610	715	72.7	173	263	101	1991
A 4	N	2.5	0.504	12.2	11.4	6.69	1.61	6.86	153	216	11.5	37.0	53.2	23.3	419
A 4	N	4	0.313	9.25	7.03	5.05	1.36	n. n.	94.7	149	n. n.	28.7	35.6	14.3	318
A 4	S	1	2.485	58.5	57.5	26.3	2.19	43.3	746	640	49.6	173	290	97.3	2170
A 555	E	1	3.281	82.9	77.4	89.6	3.02	43.3	495	654	37.5	194	334	173	3197
A 555	E	2.5	2.348	68.8	63.2	49.3	3.29	36.8	315	373	35.8	131	219	124	1015
A 555	E	5	0.665	19.5	9.8	24.8	1.27	6.31	62.5	127	n. n.	32.4	43.4	27.8	302
A 555	E	100	1.629	101	55.1	39.3	1.59	64.1	180	156	n. n.	93.7	146	156	592
A 555	W	1	1.602	38.7	42.5	23.3	4.80	17.9	303	315	17.5	90.6	152	74.2	947
A 555	W	2.5	0.816	11.4	10.4	7.70	1.06	6.48	79.0	112	n. n.	29.1	52.8	24.6	320
A 555	W	5	0.532	17.2	12.5	18.5	1.64	n. n.	126	206	n. n.	39.9	57.9	37.3	494
A 61	E	1	7.566	257	226	107	4.24	167	1147	3041	75.4	431	924	631	4878
A 61	E	2.5	3.822	132	115	79.8	4.13	65.8	521	1030	57.3	195	345	320	2465
A 61	E	5	1.825	67.5	53.7	48.0	2.44	45.1	275	625	43.4	91.0	146	149	1710
A 61	E	10	0.779	29.2	24.0	20.5	1.54	17.4	121	221	14.9	48.6	102	65.0	746

Tab. 3: Übersicht der Mittelwerte der bodennahen Staubniederschläge von Juni 2006 bis April 2007

Straße	Lage	Entf. (m)	g/(m <sup>2</sup> *d)	mg/(m <sup>2</sup> *d)			µg/(m <sup>2</sup> *d)								
			SN	Ca	Fe	Na	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	V	Zn
A 4	N	1	0.163	5.75	5.41	4.98	0.58	n. n.	74.2	106	n. n.	15.6	23.7	10.2	208
A 4	N	2.5	0.330	7.04	6.64	4.73	0.29	6.91	75.8	113	n. n.	20.4	37.9	13.6	275
A 4	N	4	0.183	6.31	4.43	5.40	0.28	n. n.	62.6	98.8	n. n.	19.7	25.6	9.54	216
A 4	S	1	0.147	5.70	4.44	4.27	0.26	n. n.	48.4	104	n. n.	15.8	23.2	8.59	187
A 4	S	50	0.308	9.10	1.16	4.20	0.72	n. n.	11.5	23.2	n. n.	7.44	9.55	3.87	116
A 4	S	150	0.112	2.20	0.84	2.72	0.28	n. n.	6.97	17.7	n. n.	4.60	6.87	3.06	45.7
A 555	E	1	0.314	9.19	7.54	20.2	0.32	n. n.	44.4	80.8	n. n.	22.7	30.1	16.2	201
A 555	E	2.5	0.381	10.6	8.08	22.9	0.58	5.17	52.1	112	n. n.	21.9	32.5	18.4	242
A 555	E	5	0.279	9.06	5.68	10.6	0.46	n. n.	37.9	67.6	n. n.	16.9	24.6	13.3	163
A 555	E	100	0.062	1.77	1.08	2.13	0.09	n. n.	6.9	10.8	n. n.	3.84	5.35	4.85	42.8
A 555	W	1	0.182	5.64	4.93	4.02	0.23	n. n.	39.8	64.7	n. n.	14.4	23.3	10.5	181
A 555	W	2.5	0.193	5.78	4.99	4.10	0.78	0.70	31.8	59.5	n. n.	11.7	20.9	12.4	152
A 555	W	5	0.239	8.35	6.93	7.15	0.43	n. n.	49.7	90.0	n. n.	23.4	47.4	19.1	274
A 61	E	2.5	0.655	23.9	25.4	16.3	0.62	24.7	94.5	176	18.5	38.5	57.6	78.0	484
A 61	E	5	0.588	20.9	17.8	13.0	0.52	12.9	67.6	149	18.9	29.0	74.1	52.5	393
A 61	E	10	0.448	20.5	17.5	10.0	0.40	7.79	113	186	7.02	28.2	53.1	46.6	414
A 61	W	130	0.112	1.21	0.63	1.94	0.06	n. n.	5.42	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	3.61	35.5

Tab. 4: Übersicht der Mittelwerte der Staubniederschläge in 1.5 m Höhe von Juni 2006 bis April 2007

Höhe. Eine statistische Übersicht der Ergebnisse für alle hier untersuchten Elemente findet sich in den Tabelle 11 bis 29 im Anhang. Daraus kann auch die Verteilung der einzelnen Monatswerte abgelesen werden.

Die Gesamtstaubniederschläge (SN) erreichen in 1.5 m Höhe von unter 10 % bis über 50 % der Werte in Bodennähe (Tabelle 3 und 4). Bei den einzelnen untersuchten Elementen zeigt sich ein prinzipiell ähnliches, aber teilweise auch differenziertes Bild. Dies wird in Kapitel 3 nach Standorten, Lage zur Windrichtung und Entfernung vom Fahrbahnrand ausgewertet und mit den Ergebnissen des vorigen Messzeitraumes verglichen.

### 3 Vergleich der bisherigen Messzeiträume

#### 3.1 Staubbiederschlag – bulk deposition

Die in dieser Untersuchung gemessenen Jahresmittelwerte des Gesamtstaubniederschlages 2006/2007 liegen fast alle deutlich niedriger als 2005/2006. In 1.5 m Höhe an der A 555 und A 4 liegen mehr als 90 % der einzelnen Monatswerte auch 1 m neben der asphaltierten Fahrbahnfläche innerhalb des Wertebereiches der Tabelle 2. An der A 61 treten dagegen am fahrbahnächsten Messpunkt (2.5 m Entfernung) höhere Werte auf als in Tabelle 2, jedoch nicht so hoch wie 2005/2006. An der A 555

zeigt die Hintergrundmessstelle in 100 m Entfernung vom Fahrbahnrand ebenfalls wie auch 2005/2006 höhere Werte. Sie liegt am Rand einer Ackerfläche, die über Teile des Jahres nicht bewachsen ist. Die bodennahen Messpunkte weisen, wie auch 2005/2006, zum Teil wesentlich höhere Gesamtstaubniederschläge auf als die in 1.5 m Höhe.

Tabelle 5 zeigt den Gesamtstaubniederschlag und die Depositionsraten verschiedener Elemente an den Hintergrundmesspunkten der drei Standorte für die beiden bisherigen Messperioden. Die Werte von 2006/2007 liegen für alle Hintergrundmesspunkte in den typischen Wertebereichen der Tabelle 2. Die Messpunkte in 100 m Entfernung von der Ostseite der A 555 und in 130 m Entfernung von der Westseite der A 61 zeigten 2005/2006 etwas erhöhte Gesamtstaubniederschläge, erhöhte Depositionsraten für Calcium, Kupfer, Vanadium und Zink und sehr stark erhöhte Depositionsraten für Blei (nur A 61), Eisen und Natrium. Dies deutete für den vorigen Untersuchungszeitraum darauf hin, dass trotz der großen Entfernung noch Straßeneinflüsse festzustellen sind. Dies ist für den Messzeitraum 2006/2007 nicht festzustellen.

Gegenüber dem vorigen Messzeitraum fällt bei den Daten für 2006/2007 auf, dass der Eintrag von Na sowohl am Fahrbahnrand als auch in größerer Entfernung und 1.5 m Höhe sehr viel geringer ist als 2005/2006 (Bilder 10 bis 19). An den getrockneten Staubbiederschlagsproben ließ sich im Winter 2005/2006 der hohe Salzgehalt teilweise anhand von Kristallen offensichtlich feststellen (KOCHER,

Element	Straßenferne Deposition in 1.5 m Höhe					
	µg/(m <sup>2</sup> *d)					
	A 555 E Lee, 100 m 2005/2006	A 555 E Lee, 100 m 2006/2007	A 61 Luv, 130 m 2005/2006	A 61 Luv, 130 m 2006/2007	A 4 Wald, 150 m 2005/2006	A 4 Wald, 150 m 2006/2007
Gesamtstaubniederschlag in mg/(m <sup>2</sup> *d)	740	62.4	360	112	152	112
Blei Pb	5.54	5.35	149	4.15	n. n.	6.87
Cadmium Cd	0.52	0.092	0.69	0.061	0.152	0.28
Calcium Ca	37800	1773	10700	1211	2590	2200
Eisen Fe	30300	1079	7310	632	1210	835
Kupfer Cu	19	10.8	273	n. n.	25	17.7
Natrium Na	112000	2134	22900	1941	3040	2722
Vanadium V	266	4.85	31.7	3.61	3.48	3.06
Zink Zn	1949	42.8	197	35.5	61.2	45.7

Tab. 5: An den Messstellen ermittelte Hintergrund-Depositionsraten einiger Elemente – Vergleich der Mittelwerte über den Messzeitraum 2005/2006 und 2006/2007

2006). Die Konzentrationen und Depositionsraten von Calcium und Eisen waren fast ebenso hoch wie die von Natrium (siehe z. B. Bilder 4 und 6). Alle drei Elemente weisen im Messzeitraum 2006/2007 fast durchgängig niedrigere, Natrium sogar sehr viel niedrigere Depositionsraten auf als 2005/2006 (siehe z. B. Bilder 5 und 7, Tabellen 6 und 7).

Im vorigen Messzeitraum 2005/2006 überschritten alle bodennahen Schwermetalldepositionsraten die typischen Bereiche in Tabelle 2 (s. Tabellen 6a und b)). In 1.5 m Höhe wies der Staubbiederschlag dagegen teilweise so niedrige Einwaagen und Gehalte an Schwermetallen auf, dass die Bestimmungsgrenze in der Aufschlusslösung nicht erreicht wurde. In den Tabellen 11 bis 29 im Anhang sind diese Messungen daran zu erkennen, dass bei den entspre-

chenden Elementen eine geringere Anzahl von Messwerten vorliegt als beim Staubbiederschlag. Beides ist auch im Messzeitraum 2006/2007 der Fall. Bei den nicht aufgezählten Messwerten war das entsprechende Element nicht nachweisbar.

Der mittlere Gesamtstaubbiederschlag in Bodennähe erreichte in der Messperiode 2006/2007 nur etwa 55 bis 90 % des Gesamtstaubbiederschlags 2005/2006. Die Frachten der meisten untersuchten Elemente haben etwa im selben Verhältnis wie die Gesamtstaubbiederschlag abgenommen. Beim Vergleich der bodennahen Depositionsraten der untersuchten Metalle in den beiden Messperioden zeigen sich aber auch deutliche Unterschiede zwischen den Elementen, teilweise auch zwischen den Standorten (Tabelle 6a und 6b).

Element	Deposition in 0.1 m Höhe am Fahrbahnrand $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$										
	A 555 W (Luv)			(%)	A 555 E (Lee)			(%)	A 61 E (Lee)		(%)
	05/06	06/07			05/06	06/07			05/06	06/07	
Gesamtstaubbiederschlag in $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$	2930	1602	55	4270	3280	77	8210	7570	92		
Blei Pb	275	152	55	407	334	82	623	924	148		
Cadmium Cd	3.15	4.79	152	6.38	3.02	47	5.22	4.24	81		
Calcium Ca	71440	38690	54	101520	82890	82	247500	256950	104		
Eisen Fe	69120	42500	61	106950	77380	72	205830	226340	110		
Kupfer Cu	580	315	54	748	654	87	1557	3041	195		
Natrium Na	129800	23300	18	231000	89620	39	396200	107430	27		
Vanadium V	144	74.2	52	229	173	76	581	631	109		
Zink Zn	1439	947	66	2153	3197	148	4132	4877	118		

**Tab. 6a:** An den Messstellen A 555 W, A 555 E und A 61 E in 1 m Abstand vom Fahrbahnrand bodennah ermittelte Depositionsraten einiger Elemente – Vergleich der Mittelwerte über den Messzeitraum 2005/2006 und 2006/2007

Element	Deposition in 0.1 m Höhe am Fahrbahnrand $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$						
	A 4 Süd			(%)	A 4 Nord		(%)
	05/06	06/07			05/06	06/07	
Gesamtstaubbiederschlag in $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$	3380	2484	73	3040	1650	54	
Blei Pb	288	290	101	300	263	88	
Cadmium Cd	4.76	2.19	46	5.08	2.67	53	
Calcium Ca	80520	58470	73	71670	49530	69	
Eisen Fe	68690	57520	84	68930	120810	175	
Kupfer Cu	697	640	92	789	715	91	
Natrium Na	162000	26320	16	190400	19280	10	
Vanadium V	136	97.3	72	129	101	78	
Zink Zn	2222	2170	98	2132	1991	93	

**Tab. 6b:** An den Messstellen A 4 Süd und A 4 Nord in 1 m Abstand vom Fahrbahnrand bodennah ermittelte Depositionsraten einiger Elemente – Vergleich der Mittelwerte über den Messzeitraum 2005/2006 und 2006/2007

Ein Beispiel dafür sind die überwiegend straßenverkehrsbedingten Elemente Blei, Kupfer und Zink, die an den Messstellen A 555 E, A 4 Süd und A 4 Nord mit 82 bis 101 % der Werte von 2005/2006 eine deutlich geringere Abnahme als der Staubniederschlag (54 bis 77 %) zeigen. Am Standort A 61 zeigt sich in Bodennähe sogar eine deutliche Zunahme dieser drei Elemente auf 120 bis 195 %. Beides kann auf eingetragenes Bodenmaterial hindeuten, das zu unterschiedlichen Gesamtstaubfrachten bei etwa gleich bleibenden Frachten straßenverkehrsbedingter Schwermetalle führt. Möglicherweise ist am Standort A 61 dieser Einfluss größer als an den beiden anderen Standorten (siehe auch Kapitel 3.3).

Am Standort A 555 W ist die Abnahme dieser drei Elemente dagegen fast genau proportional mit der Abnahme des Gesamtstaubniederschlages. Hier fällt jedoch gegenüber 2005/2006 eine sehr starke Zunahme der Cadmiumdeposition auf 152 % auf. Weiterhin auffällig ist die starke Zunahme der Depositionsraten von Eisen am Standort A 4 Nord auf 175 % (Tabelle 6a und 6b).

Sowohl bodennah wie auch bei den Messungen in 1.5 m Höhe fallen die im Messzeitraum 2006/2007 sehr viel geringeren Natriumkonzentrationen auf. Sie liegen nur bei 10 bis 39 % der Werte von 2005/2006, obwohl im Messzeitraum 06/07 zwei Sommermonate nicht erfasst werden konnten und damit die Wintermonate höheres Gewicht im Mittelwert haben. Der Tausalzeinsatz in NRW im Winter

Element	Deposition in 1.5 m Höhe am Fahrbahnrand $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$								
	A 555 W (Luv)			A 555 E (Lee)	A 61 E (Lee)	A 555 W (Luv)	A 555 E (Lee)	A 61 E (Lee)	A 555 W (Luv)
	05/06	06/07	(%)						
Gesamtstaubniederschlag in $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$	303	183	60	533	314	59	1785	655	37
Blei Pb	46.1	23.3	51	50.4	30.1	60	157	57.6	37
Cadmium Cd	0.94	0.23	24	1.45	0.32	22	2.31	0.62	27
Calcium Ca	10350	5642	55	16130	9190	57	70720	23940	34
Eisen Fe	9327	4930	53	12920	7535	58	52780	25380	48
Kupfer Cu	116	64.7	56	130	80.8	62	337	176	52
Natrium Na	33120	4022	12	76420	20160	26	81510	16330	20
Vanadium V	20.5	10.5	51	31.4	16.2	52	162	78	48
Zink Zn	342	181	53	353	210	59	1012	484	48

Tab. 7a: Depositionsraten einiger Elemente in Fahrhahnnähe in 1.5 m Höhe – Vergleich der Mittelwerte über den Messzeitraum 2005/2006 und 2006/2007

Element	Deposition in 1.5 m Höhe am Fahrbahnrand $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$					
	A 4 Süd			A 4 Nord	A 4 Süd	A 4 Nord
	05/06	06/07	(%)			
Gesamtstaubniederschlag in $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$	496	147	30	204	163	80
Blei Pb	41.4	23.2	56	31.3	23.7	76
Cadmium Cd	1.13	0.26	23	2.28	0.58	25
Calcium Ca	13400	5700	43	7160	5750	80
Eisen Fe	6870	4445	65	6350	5410	85
Kupfer Cu	102	104	102	111	106	95
Natrium Na	24820	4270	17	15840	4980	31
Vanadium V	14.8	8.59	58	13.5	10.2	76
Zink Zn	325	187	58	288	208	72

Tab. 7b: Depositionsraten einiger Elemente in Fahrhahnnähe in 1.5 m Höhe – Vergleich der Mittelwerte über den Messzeitraum 2005/2006 und 2006/2007

2005/2006 betrug 230.000 Tonnen, das sind 30 Prozent mehr als im Winter davor.

In der Messhöhe 1.5 m liegen für Blei, Cadmium und Chrom weniger Werte oberhalb der typischen Bereiche als in der vorigen Messperiode. Für Zink liegen sie wie auch 2005/2006 im unteren Bereich der als typisch angegebenen Depositionsrate von 100 bis 1.000 µg/m<sup>2</sup>d in städtischen Gebieten (Tabellen 7a und 7b).

Im Folgenden werden die räumlichen und zeitlichen Verteilungen der Messergebnisse über den gesamten Messzeitraum vorgestellt und diskutiert. Sie liegen 2006/2007 teilweise deutlich niedriger als im Messzeitraum 2005/2006.

### 3.1.1 Räumliche Verteilung

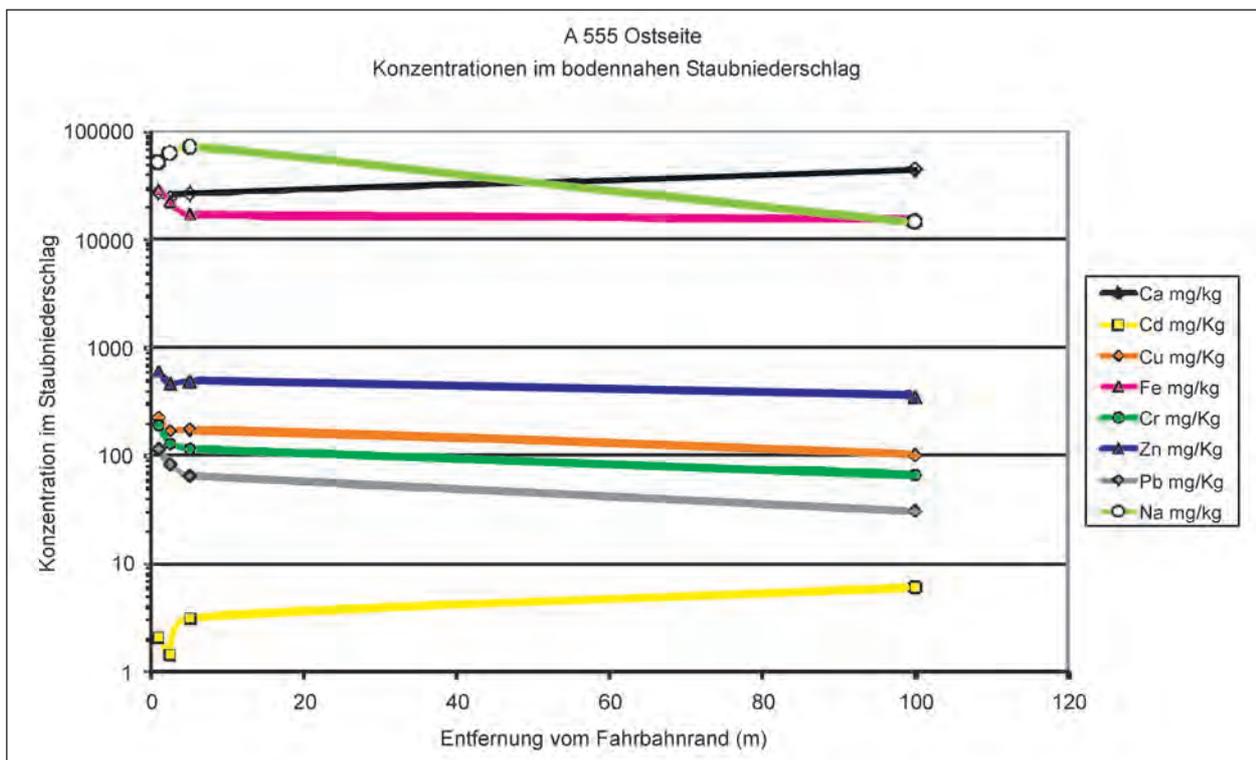
An jeder Messstelle wies 2005/2006 die räumliche Verteilung der Konzentrationen aller untersuchten Stoffe im Staubbiederschlag einen ähnlichen Verlauf auf. Das gilt sowohl für die bodennahen als auch für die in 1.5 m Höhe gemessenen Werte. Dies ist für den Zeitraum 2006/2007 nicht so deutlich der Fall. Als Beispiel sind in den Bildern 4 bis 7 die Mittelwerte der Konzentrationen der wichtigsten Elemente im bodennahen Staubbiederschlag und

in 1.5 m Höhe für die Ostseite der A 555 dargestellt. Der Hintergrundmesspunkt in 100 m Entfernung ist ebenfalls dargestellt.

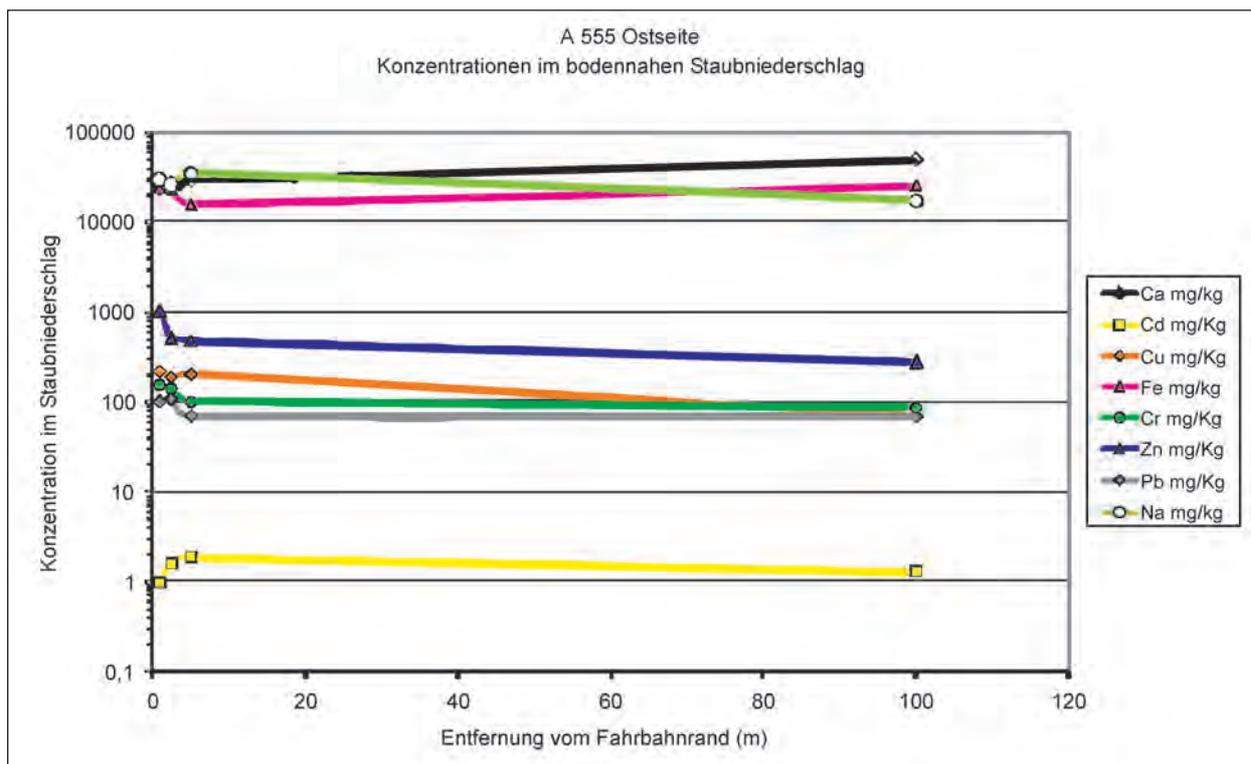
Es zeigt sich, dass die Konzentrationen in 1.5 m Höhe meist höher liegen als in Bodennähe (Bilder 4 und 6 bzw. 5 und 7). Der Effekt ist 2006/2007 schwächer ausgeprägt als 2005/2006. Die Konzentrationen der Hintergrundmesspunkte liegen in 1.5 m Höhe für viele Elemente höher als in Bodennähe. Eine mögliche Ursache dafür kann der Eintrag von Staub bzw. Bodenmaterial aus der direkten Umgebung in die bodennahen Sammler sein.

Deshalb wurden 2006 im Rahmen einer Diplomarbeit Vergleichsmessungen an der A 61 mit Sammlern durchgeführt, die vor dem ungewollten Aufspritzen von Bodenmaterial durch Regen (Splash) geschützt sind (LAUFENBERG, 2007; LAUFENBERG et al., 2007). Die Vorgehensweise und Ergebnisse werden in Kapitel 3.3 zusammengefasst.

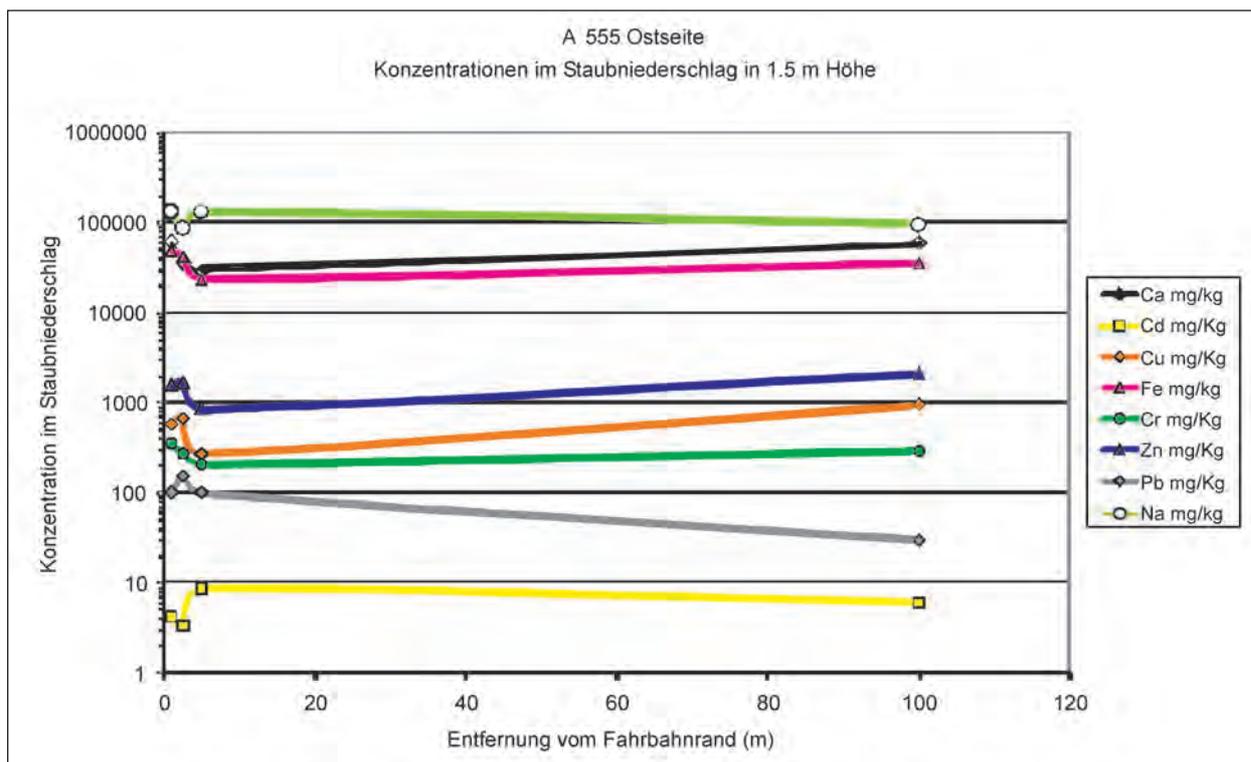
Auffällig ist auch, dass die Konzentrationsunterschiede in Abhängigkeit der Entfernung vom Fahrbahnrand im Messzeitraum 2006/2007 gegenüber 2005/2006 gering erscheinen. Dies gilt sowohl für bodennahe Konzentrationen (Bilder 4 und 5) als auch für die Messungen in 1.5 m Höhe (Bilder 6 und 7).



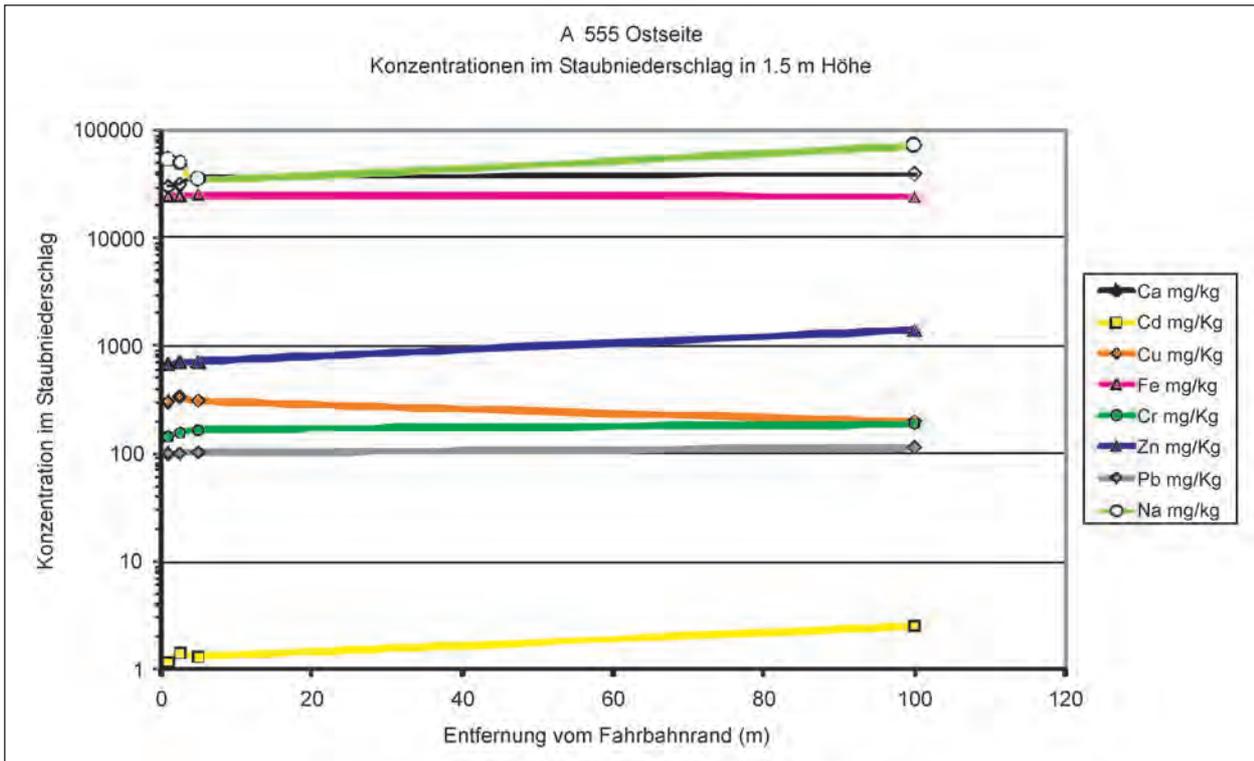
**Bild 4:** Räumliche Verteilung der Konzentration von Schadstoffen im bodennahen Staubbiederschlag am Standort A 555 (Ostseite, Mittelwerte über den Messzeitraum 2005/2006)



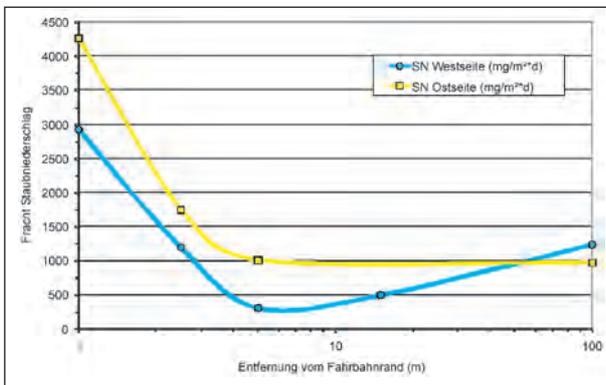
**Bild 5:** Räumliche Verteilung der Konzentration von Schadstoffen im bodennahen Staubniederschlag am Standort A 555 (Ostseite, Mittelwerte über den Messzeitraum 2006/2007)



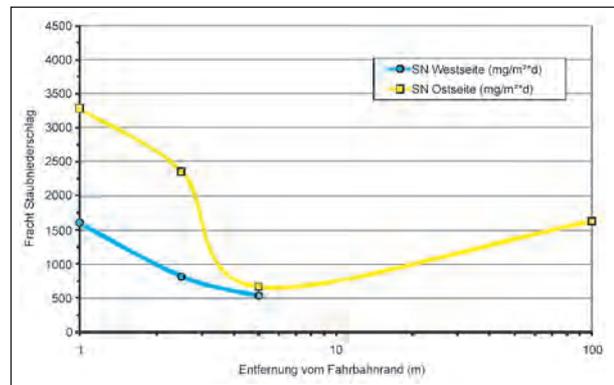
**Bild 6:** Räumliche Verteilung der Konzentration von Schadstoffen im Staubniederschlag in 1.5 m Höhe am Standort A 555 (Ostseite, Mittelwerte über den Messzeitraum 2005/2006)



**Bild 7:** Räumliche Verteilung der Konzentration von Schadstoffen im Staubniederschlag in 1.5 m Höhe am Standort A 555 (Ostseite, Mittelwerte über den Messzeitraum 2006/2007)



**Bild 8:** Vergleich der räumlichen Verteilung der bodennahen Staubniederschlagsmenge am Standort A 555 West- und Ostseite (Luv und Lee, Mittelwerte über den Messzeitraum 2005/2006)

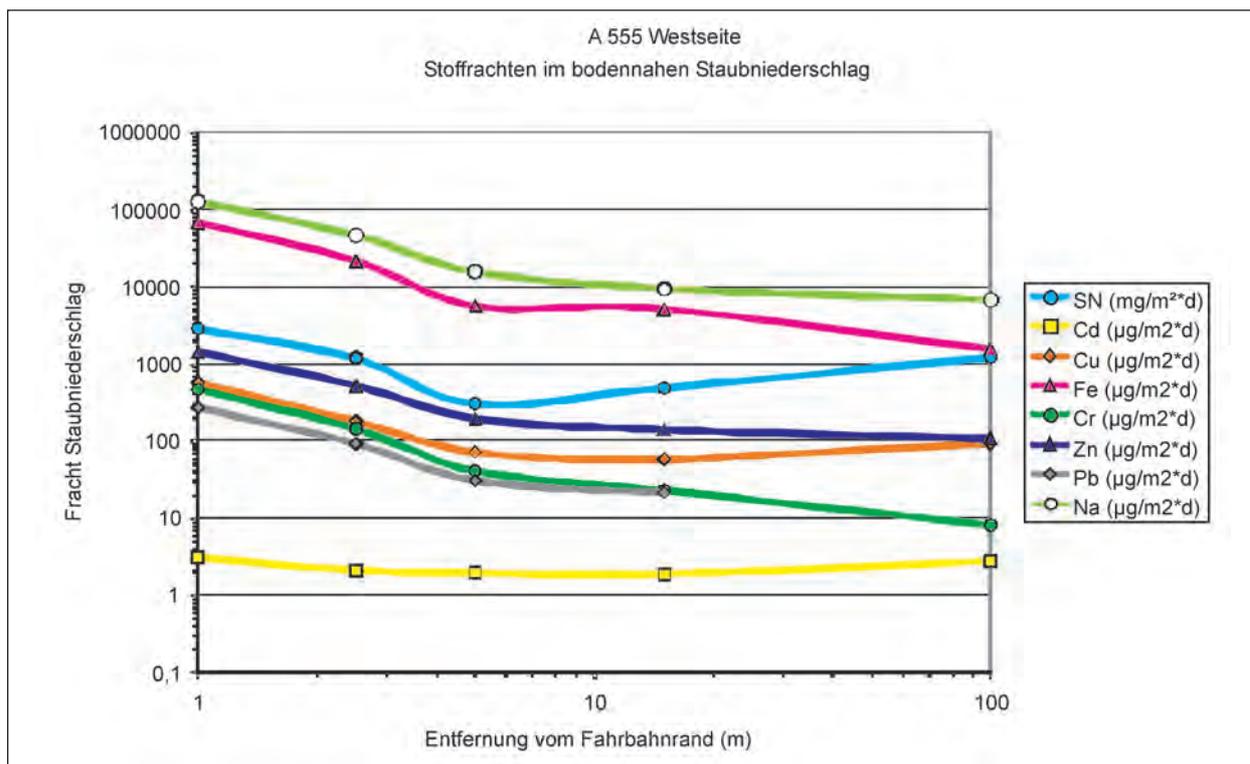


**Bild 9:** Vergleich der räumlichen Verteilung der bodennahen Staubniederschlagsmenge am Standort A 555 West- und Ostseite (Luv und Lee, Mittelwerte über den Messzeitraum 2006/2007)

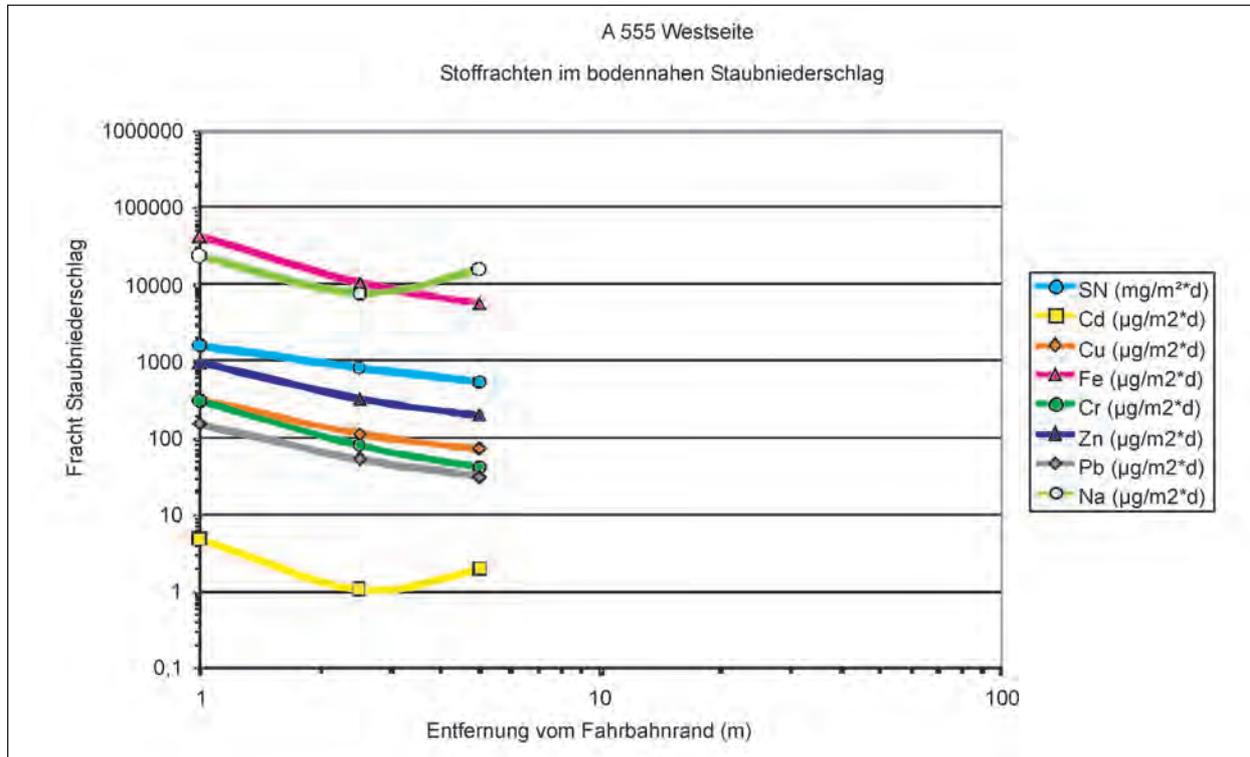
Der Vergleich der bodennahen Staubniederschlagsmengen auf der Luv- und Leeseite des Standortes A 555 zeigte 2005/2006 deutlich höhere Werte für die Leeseite (Bild 8). Die Mittelwerte der Staubniederschläge auf der Leeseite waren etwa doppelt so hoch, in 5 m Entfernung sogar etwa fünfmal so hoch wie auf der Luvseite. Auch 2006/2007 ist der Unterschied in Bezug auf die Lage zur Hauptwindrichtung deutlich zu sehen. Allerdings liegt die größte Abweichung jetzt in Fahrbahnnähe, während der Messpunkt in 5 m Entfernung vom Fahrbahnrand auf der Luv- und Leeseite recht ähn-

liche Staubniederschläge aufweist (Bild 9). Auf beiden Seiten sind die Einträge im Zeitraum 2006/2007 geringer als 2005/2006.

Die bodennahen Stofffrachten im Staubniederschlag zeigen vorwiegend einen mit zunehmender Entfernung von der befestigten Fahrbahn stetig abnehmenden Verlauf (Bilder 10 bis 13). Die Form des Verlaufs ist auf der Luv- und Leeseite der BAB A 555 für die untersuchten Stoffe sehr ähnlich. Alle Stoffe bis auf Cadmium zeigten 2005/2006 ein stark ausgeprägtes Eintragsmaximum in 1 m Entfernung



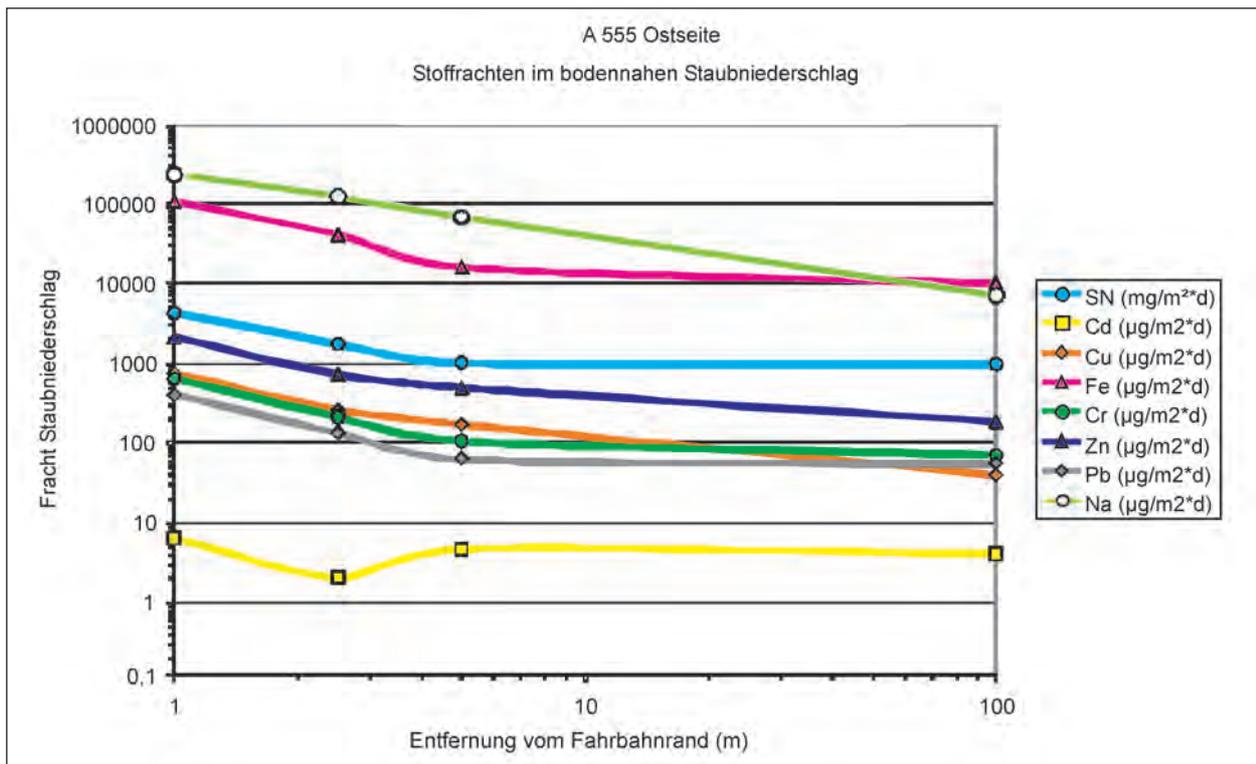
**Bild 10:** Räumliche Verteilung der Stofffrachten im bodennahen Staubniederschlag am Standort A 555 (Westseite, Mittelwerte über den Messzeitraum 2005/2006)



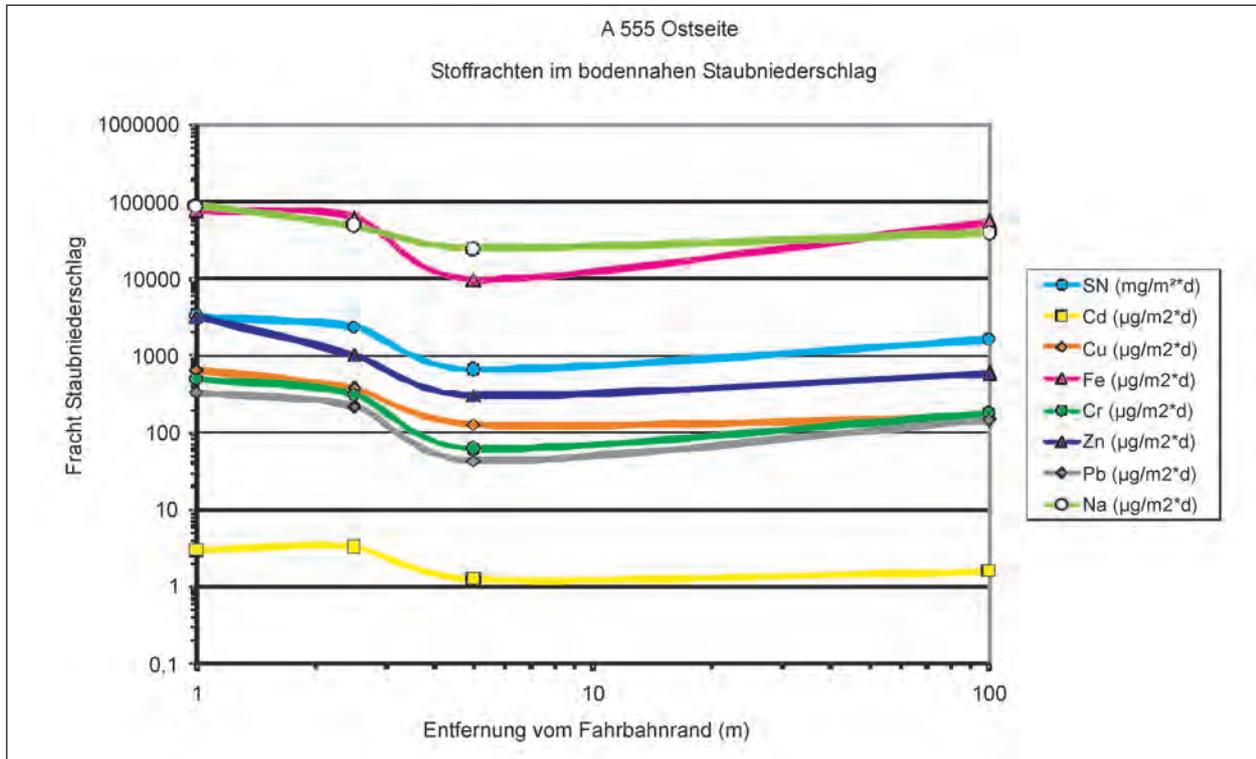
**Bild 11:** Räumliche Verteilung der Stofffrachten im bodennahen Staubniederschlag am Standort A 555 (Westseite, Mittelwerte über den Messzeitraum 2006/2007)

vom Fahrbahnrand und eine schnelle Abnahme der Depositionsraten mit der Entfernung. In der folgenden Messperiode ist insbesondere auf der Ostseite

der A 555 ein leichter Wiederanstieg der Depositionsraten fast aller untersuchten Stoffe in 100 m Entfernung gegenüber dem Böschungsbereich zu



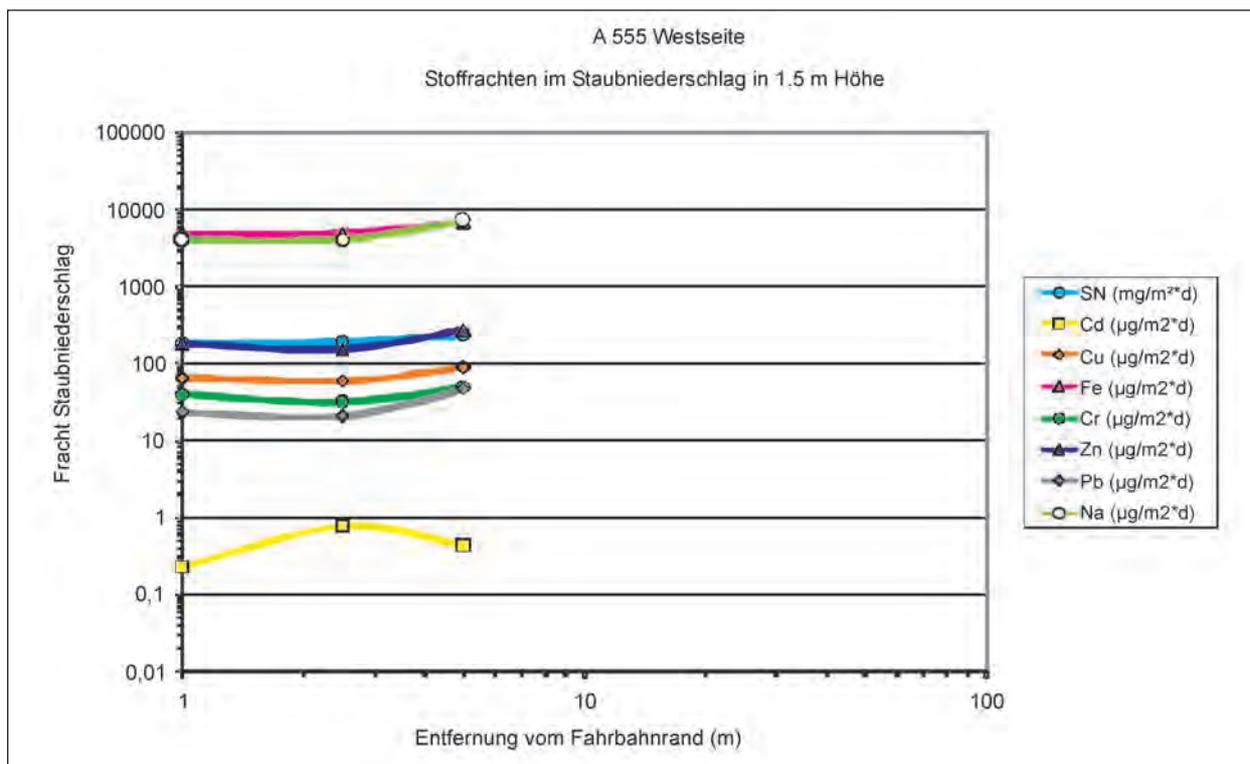
**Bild 12:** Räumliche Verteilung der Stofffrachten im bodennahen Staubbiederschlag am Standort A 555 (Ostseite, Mittelwerte über den Messzeitraum 2005/2006)



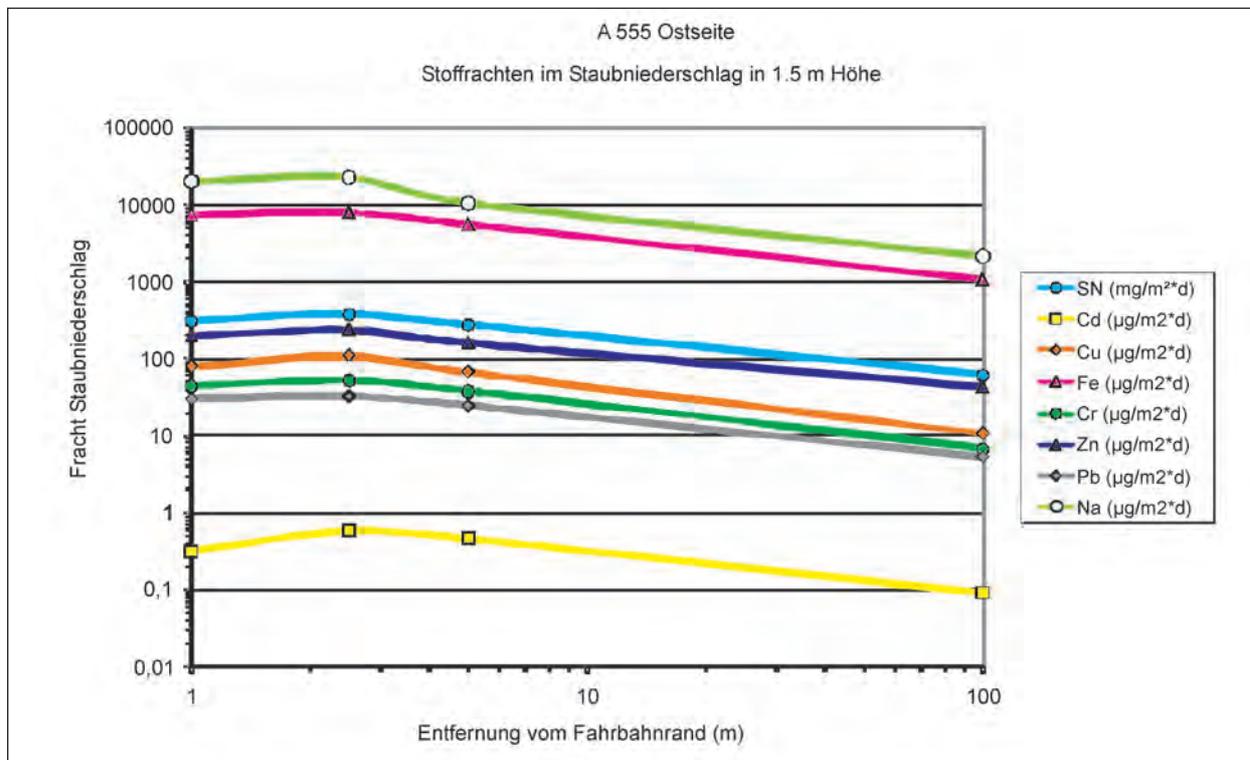
**Bild 13:** Räumliche Verteilung der Stofffrachten im bodennahen Staubbiederschlag am Standort A 555 (Ostseite, Mittelwerte über den Messzeitraum 2006/2007)

sehen (Bilder 12 und 13). Generell liegen die Stoffeinträge 2006/2007 niedriger, am Hintergrundmesspunkt aber etwas höher als 2005/2006.

Die Höhe der Einzelwerte und die Flächen unter den Kurven der Depositionsraten an der A 555 zeigen, dass die Leeseite in beiden Messperioden



**Bild 14:** Stofffrachten im Staubbiederschlag in 1.5 m Höhe am Standort A 555 (Westseite, Mittelwerte über den Messzeitraum 2006/2007)



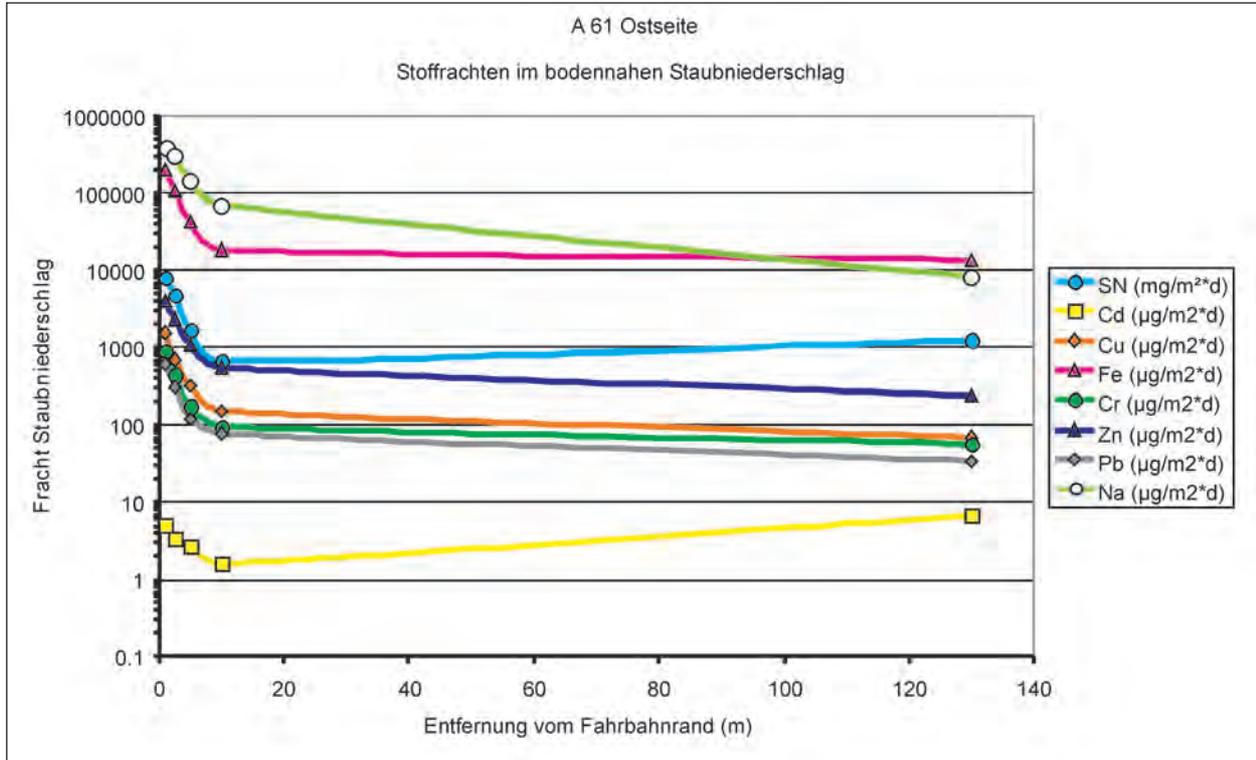
**Bild 15:** Stofffrachten im Staubbiederschlag in 1.5 m Höhe am Standort A 555 (Ostseite, Mittelwerte über den Messzeitraum 2006/2007)

nicht nur einen weiteren Einflussbereich der verkehrsbedingten Stoffeinträge aufweist, sondern auch insgesamt höhere Einträge aller untersuchten

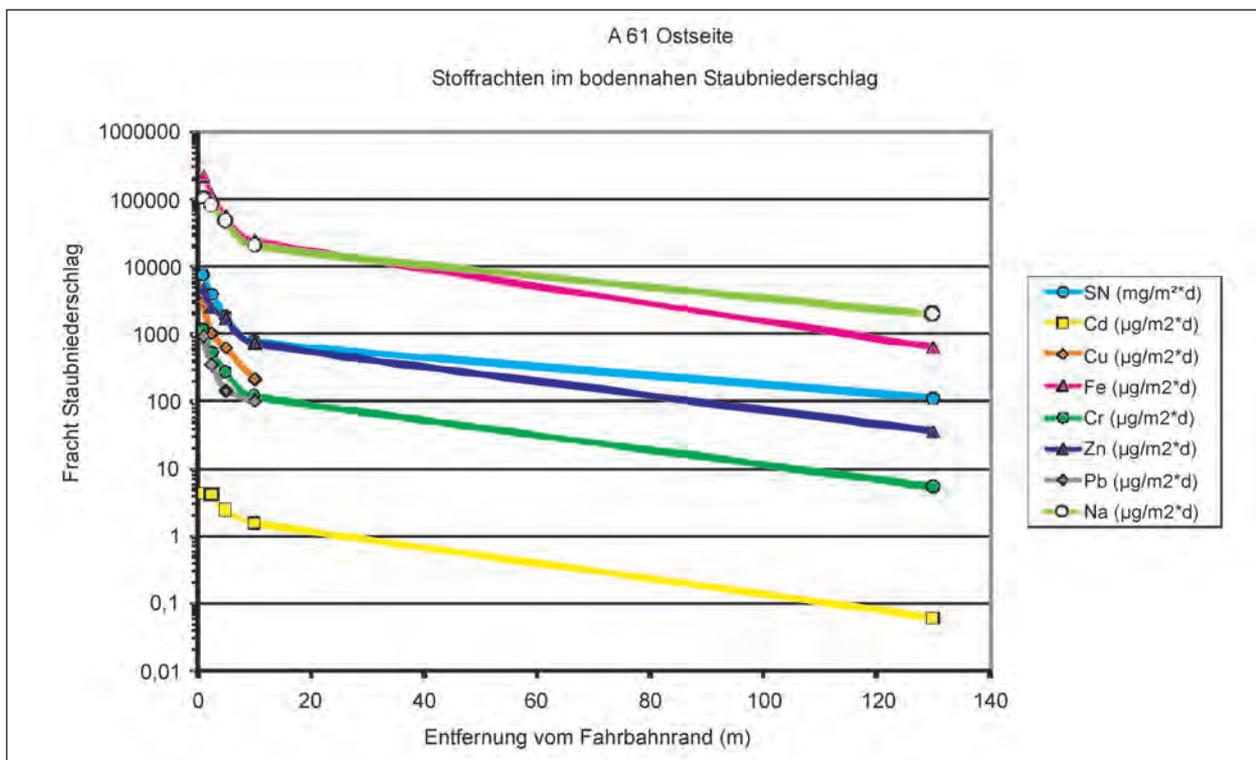
Stoffe erhält (Bilder 10 bis 13). Allerdings ist die Abgrenzung des Einflussbereiches der straßenverkehrsbedingten Depositionen auch bei den boden-

nahen Untersuchungen schwierig, da sie für manche der Stoffe keine eindeutige Entfernungsabhängigkeit aufweisen.

An der A 555 sind die Depositionsraten der untersuchten Elemente in 1.5 m Höhe auch im Messzeitraum 2006/2007 auf der Ostseite (Bild 14) deut-



**Bild 16:** Stofffrachten im bodennahen Staubniederschlag am Standort A 61 (Lee, Mittelwerte über den Messzeitraum 2005/2006), der Messpunkt in 130 m Entfernung befindet sich auf der Luvseite



**Bild 17:** Stofffrachten im bodennahen Staubniederschlag am Standort A 61 (Lee, Mittelwerte über den Messzeitraum 2006/2007), der Messpunkt in 130 m Entfernung befindet sich auf der Luvseite

lich höher als auf der Westseite (Bild 15). 2005/2006 fielen auf der Ostseite der A 555 hohe Hintergrundwerte in 100 m Entfernung von der Fahrbahn auf (KOCHER, 2006). Dies ist 2006/2007 nicht der Fall. Dagegen zeigen die Depositionsraten in Fahrbahnnähe und 1.5 m Höhe nur geringe Unterschiede zu denen in 2.5 oder 5 m Entfernung. Dasselbe ist auch am Standort A 61 bei den Messungen in 1.5 m Höhe festzustellen (Bild 19).

Der Vergleich der Depositionsraten in Bodennähe zeigt dagegen für die A 61 auch im Messzeitraum 2006/2007 ebenso ausgeprägte Maxima in Fahrbahnnähe wie 2005/2006 (Bilder 16 und 17). Die Hintergrundwerte in 130 m Entfernung liegen 2006/2007 deutlich niedriger, für Blei und Kupfer lagen dort sogar alle Messwerte unter der Bestimmungsgrenze.

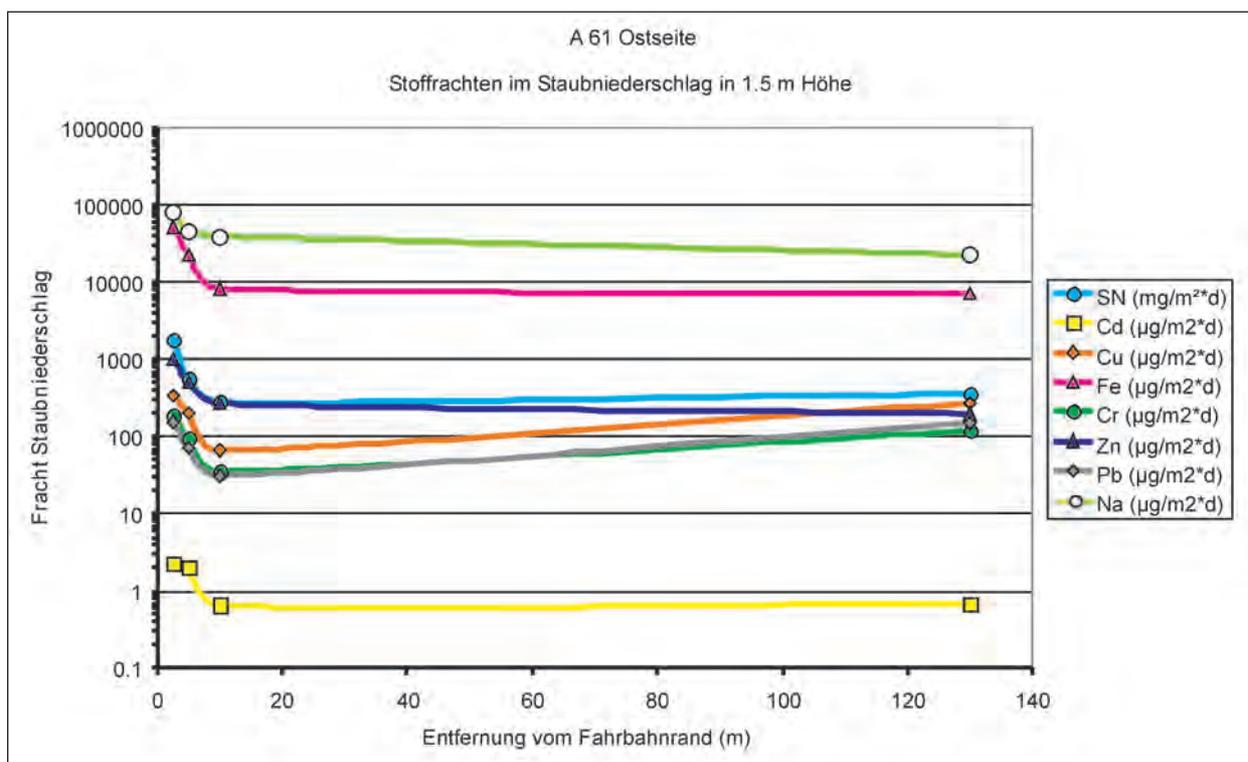
Auf der Nordseite der A 4 befindet sich in 5 m Entfernung vom Fahrbahnrand eine Lärmschutzwand, dahinter liegt ein Wohn- und Gewerbegebiet. Im Messzeitraum 2005/2006 wiesen alle Elemente vor der Lärmschutzwand eine sinkende Tendenz der bodennahen Depositionsraten mit zunehmender Entfernung auf (Bild 20). Diese ist in der folgenden Messperiode noch deutlicher ausgeprägt. Aller-

dings liegen die Stofffrachten kaum niedriger als in der vorigen Messperiode (Bild 21).

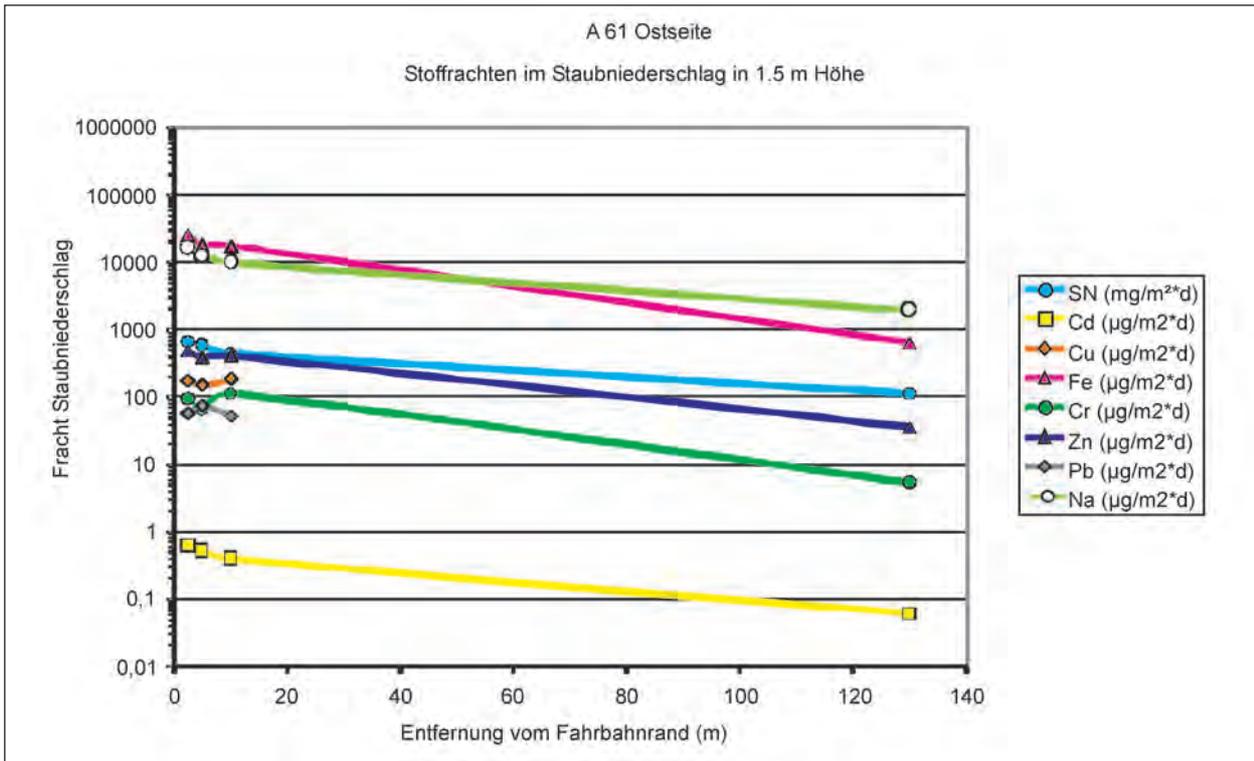
Bei Betrachtung der Depositionsraten in 1.5 m Höhe auf der Nordseite der A 4 zeigt sich dagegen eine andere räumliche Verteilung als bei den bodennahen Einträgen (Bilder 22 und 23). In beiden Messperioden sind bis auf Cadmium die Stoffeinträge in 1 m und 4 m Abstand vom Fahrbahnrand fast gleich, und dazwischen wird in 2.5 m Abstand ein schwach ausgeprägtes Maximum erreicht. Hier ist ein Einfluss der Lärmschutzwand auf die Messergebnisse zu vermuten (siehe auch KOCHER, 2006).

Sowohl A 555 als auch A 61 wiesen 2005/2006 in Fahrbahnnähe höhere bodennahe Depositionsraten als die A 4 auf (Tabelle 6a). Die bodennahen Stoffeinträge auf der Südseite der A 4 sind auch 2006/2007 höher als auf der Nordseite. Auf der Südseite entwässert der Standstreifen zum Bankett, auf der Nordseite entwässert die komplette Fahrbahn zum Mittelstreifen.

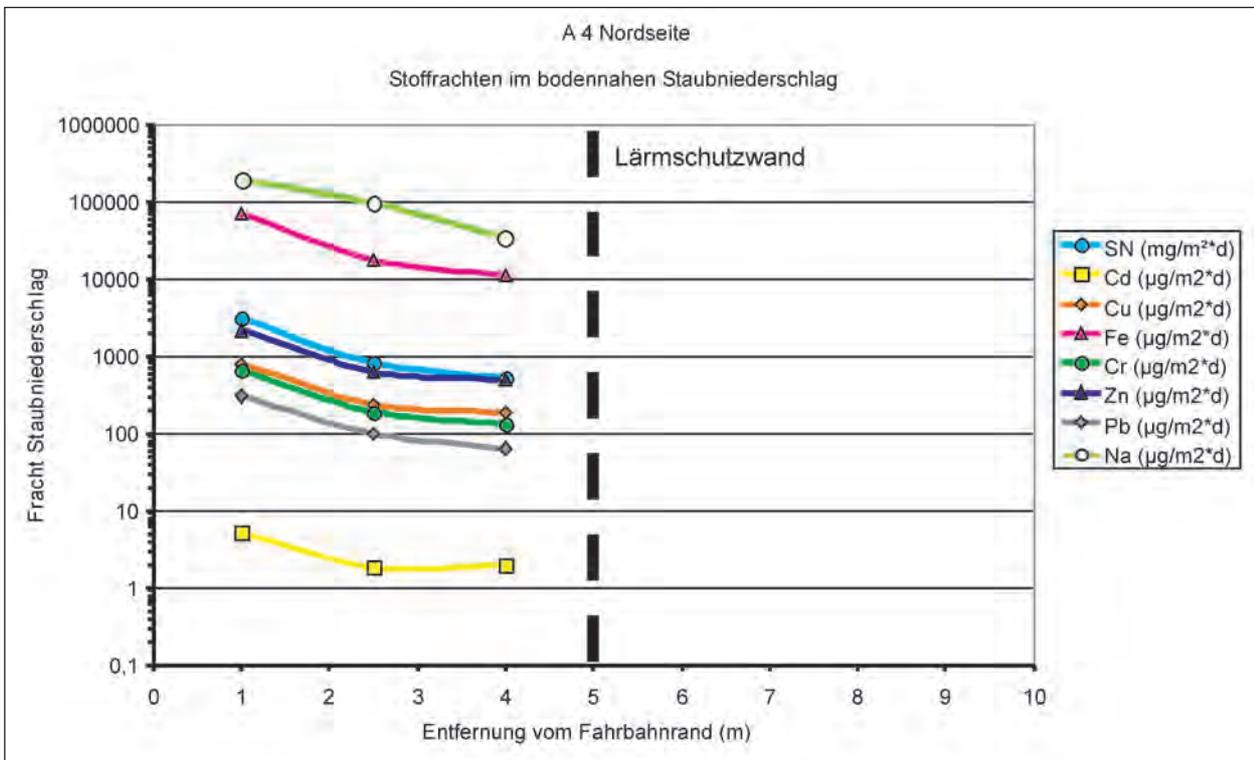
Die bodennah ermittelten Depositionsraten an beiden Seiten der A 4 liegen wie schon 2005/2006 zwischen denen der Luv- und Leeseite der A 555 (Tabelle 6a und 6b).



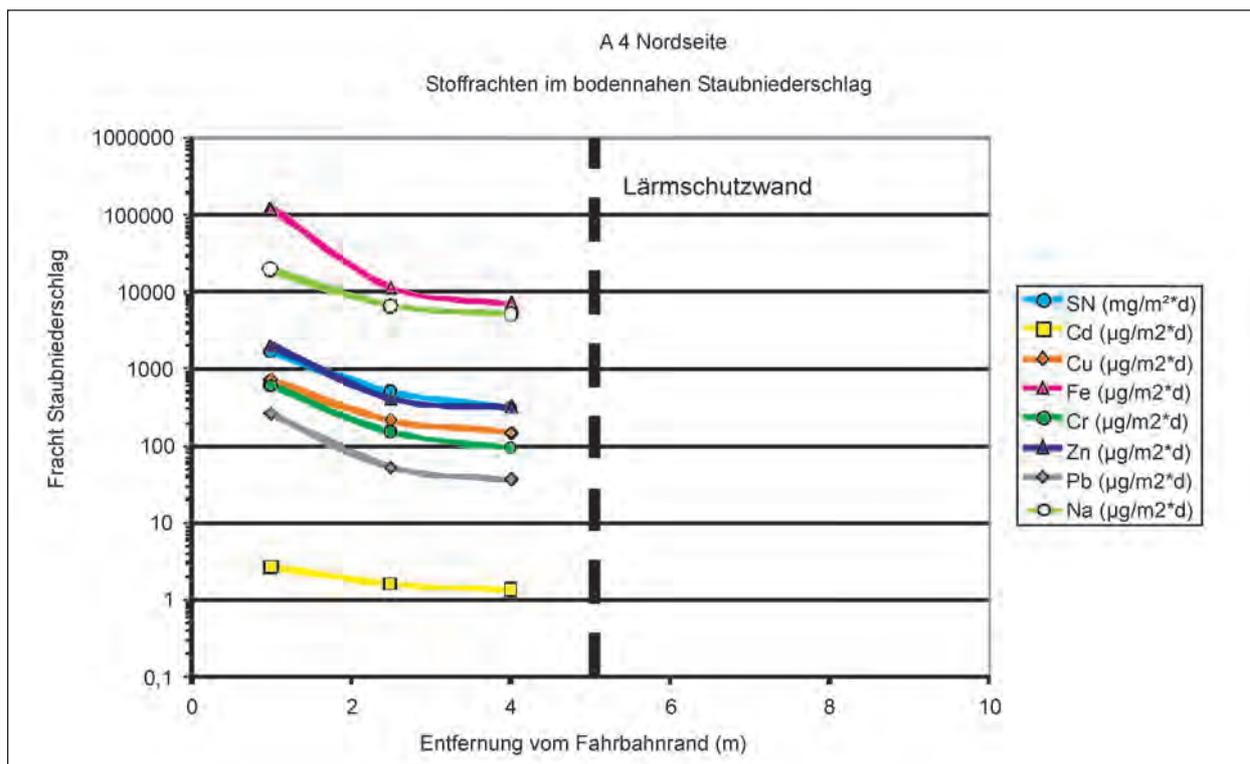
**Bild 18:** Stofffrachten im Staubniederschlag in 1.5 m Höhe am Standort A 61 (Lee, Mittelwerte über den Messzeitraum 2005/2006), der Messpunkt in 130 m Entfernung befindet sich auf der Westseite



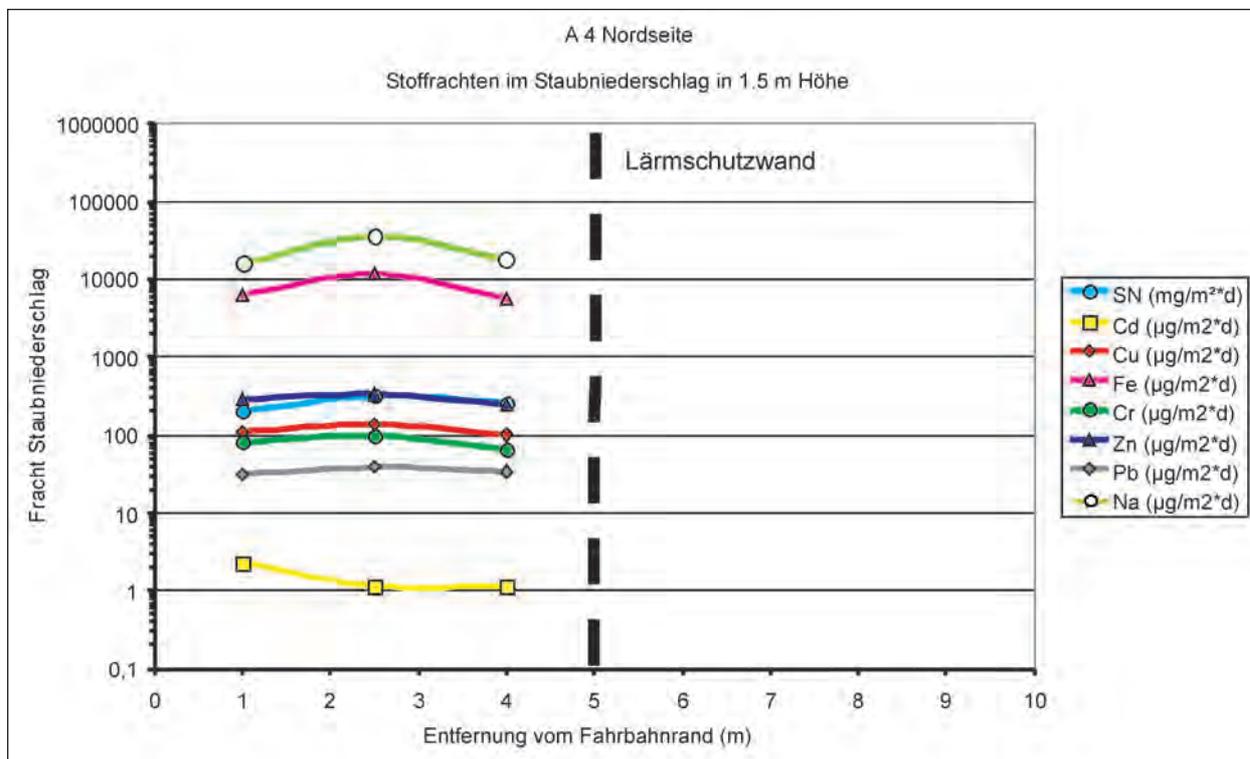
**Bild 19:** Stofffrachten im Staubniederschlag in 1.5 m Höhe am Standort A 61 (Lee, Mittelwerte über den Messzeitraum 2006/2007), der Messpunkt in 130 m Entfernung befindet sich auf der Westseite



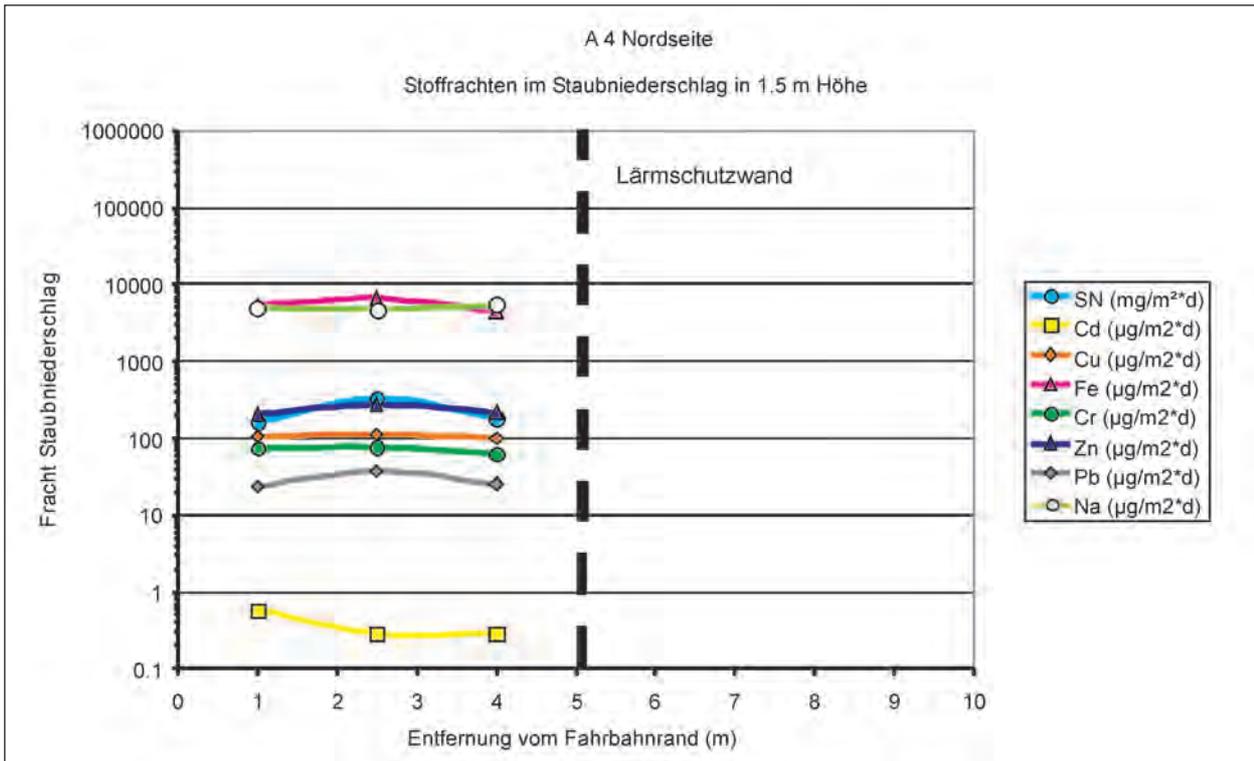
**Bild 20:** Stofffrachten im bodennahen Staubniederschlag am Standort A 4 (Nordseite, Mittelwerte über den Messzeitraum 2005/2006), in 5 m Entfernung vom Fahrbahnrand befindet sich eine Lärmschutzwand



**Bild 21:** Stofffrachten im bodennahen Staubniederschlag am Standort A 4 (Nordseite, Mittelwerte über den Messzeitraum 2006/2007), in 5 m Entfernung vom Fahrbahnrand befindet sich eine Lärmschutzwand



**Bild 22:** Stofffrachten im Staubniederschlag in 1.5 m Höhe am Standort A 4 (Nordseite, Mittelwerte über den Messzeitraum 2005/2006), in 5 m Entfernung vom Fahrbahnrand befindet sich eine Lärmschutzwand



**Bild 23:** Stofffrachten im Staubniederschlag in 1.5 m Höhe am Standort A 4 (Nordseite, Mittelwerte über den Messzeitraum 2006/2007), in 5 m Entfernung vom Fahrbahnrand befindet sich eine Lärmschutzwand

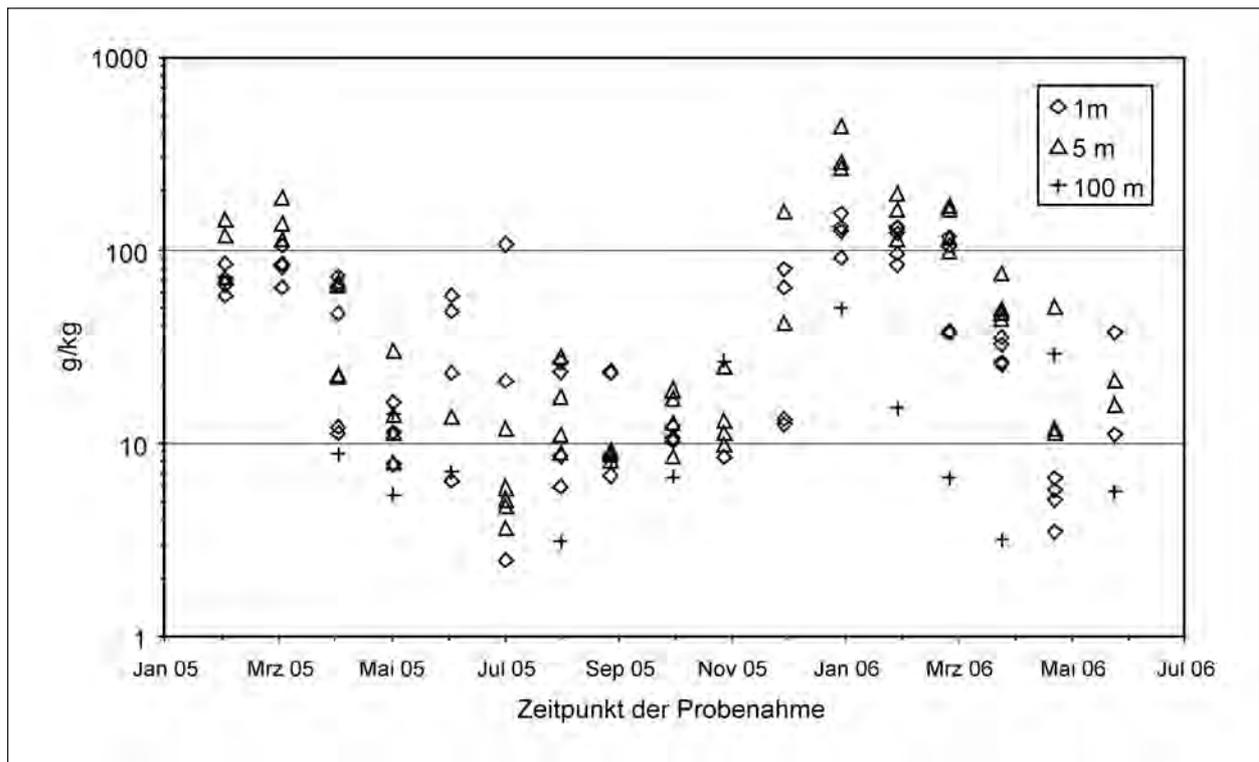
**3.1.2 Verlauf der Monatswerte**

Die deutlichsten Unterschiede im (jahres)zeitlichen Verlauf zeigen sich beim Element Natrium, das im höheren Konzentrationsbereich fast ausschließlich aus Tausalz stammen dürfte. Als Beispiel sind hier die Konzentrationen (Bilder 24 und 25) und Depositionsraten (Bilder 26 und 27) von Natrium an der A 555 für die Messzeiträume 2005/2006 und 2006/2007 dargestellt.

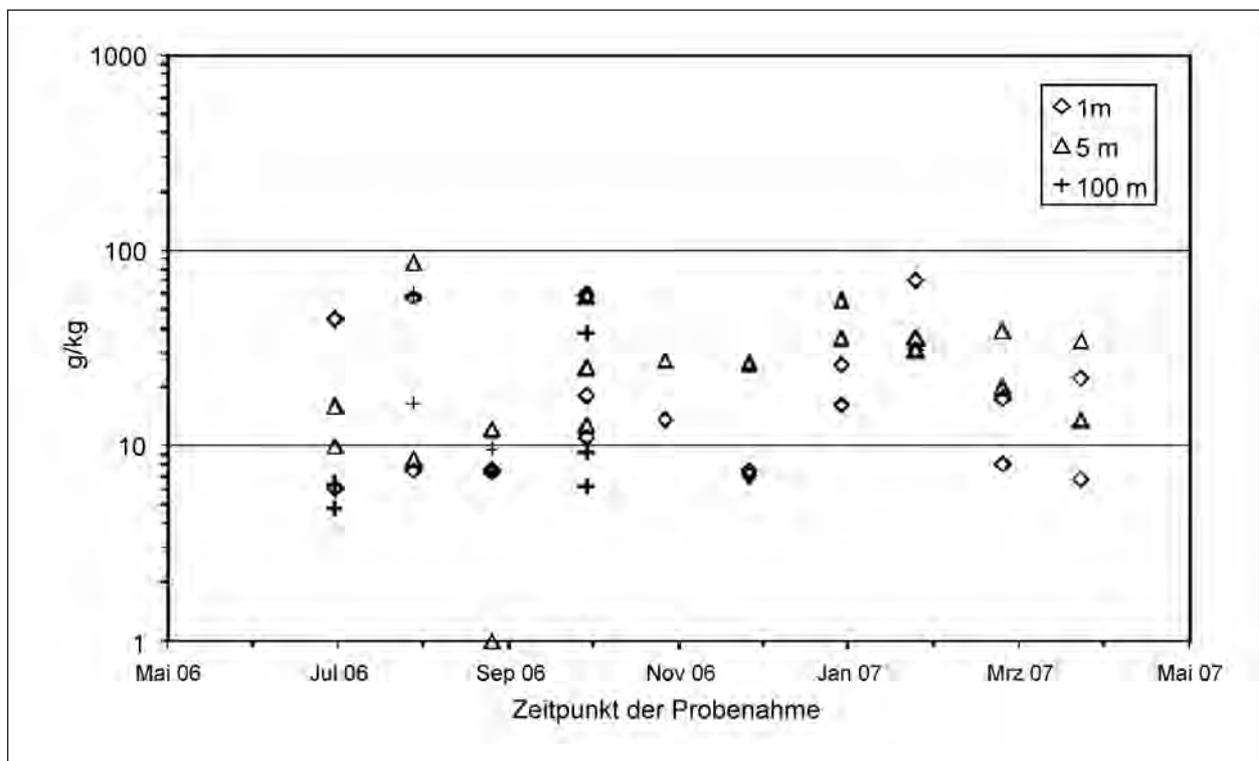
Mehrfachbeprobungen wurden zu Beginn der Untersuchung 2005/2006 häufig, später seltener durchgeführt. Die Darstellung der Einzelmesswerte von Natrium in den Bildern 24 bis 27 zeigt die zum Teil große Streubreite innerhalb eines Monats und einer Entfernung. Trotzdem sind die Unterschiede zwischen fahrbahnnahe und weiter entfernten Messpunkten deutlich zu erkennen. Der Jahresgang ist mit niedrigen Werten im Sommer und bis zu zwei Größenordnungen höheren Werten im Winter im Messzeitraum 2005/2006 (Bild 24) sehr viel deutlicher als im Zeitraum 2006/2007 (Bild 25), der einen sehr milden Winter aufwies. Im vorigen Messzeitraum traten im Januar und Februar Depositionsraten auf, die mehr als das 100fache der in Tabelle 2 für ländliche Bereiche genannten Hintergrundwerte von 1 bis 5 mg/(m<sup>2</sup>\*d) erreichen (Bild

26). Solche Werte wurden 2006/2007 bei weitem nicht erreicht, die höchsten Natriumfrachten im Staubniederschlag lagen hier bei weniger als 10 % der Werte vom Vorjahreszeitraum (Bild 27).

Auch bei einzelnen Metallen schien im Messzeitraum 2005/2006 ein Jahresgang der Depositionsraten aufzutreten. Als Beispiel wurde in KOCHER (2006) der zeitliche Verlauf der Deposition von Cadmium an der A 555 dargestellt. Die Werte wiesen Maxima im Sommer und Winter und Minima im Frühjahr und Herbst auf, allerdings mit großer Schwankungsbreite. Die Weiterführung der Messungen in 2006/2007 ergab häufig Cadmiumkonzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze, sodass ein jahreszeitlicher Trend nicht festgestellt werden konnte. Bei der Auswertung von Schadstoffgehalten in Bankettmaterial (Oberböden am Straßenrand) stellte sich heraus, dass die Kupfereinträge am Straßenrand zu hohen mobilen Kupferwerten in diesem Material führen (KOCHER, 2008). In den Bildern 28 und 29 wird daher der zeitliche Verlauf der Depositionsraten von Kupfer auf der Ostseite der A 555 (Leeseite) für 2005/06 und 2006/07 verglichen. In beiden Messzeiträumen liegen die Jahresmittel der Kupferfrachten für die drei straßennahen Entfernungen jeweils etwa in ähnlicher Höhe, während in 100 m Entfernung der Wert



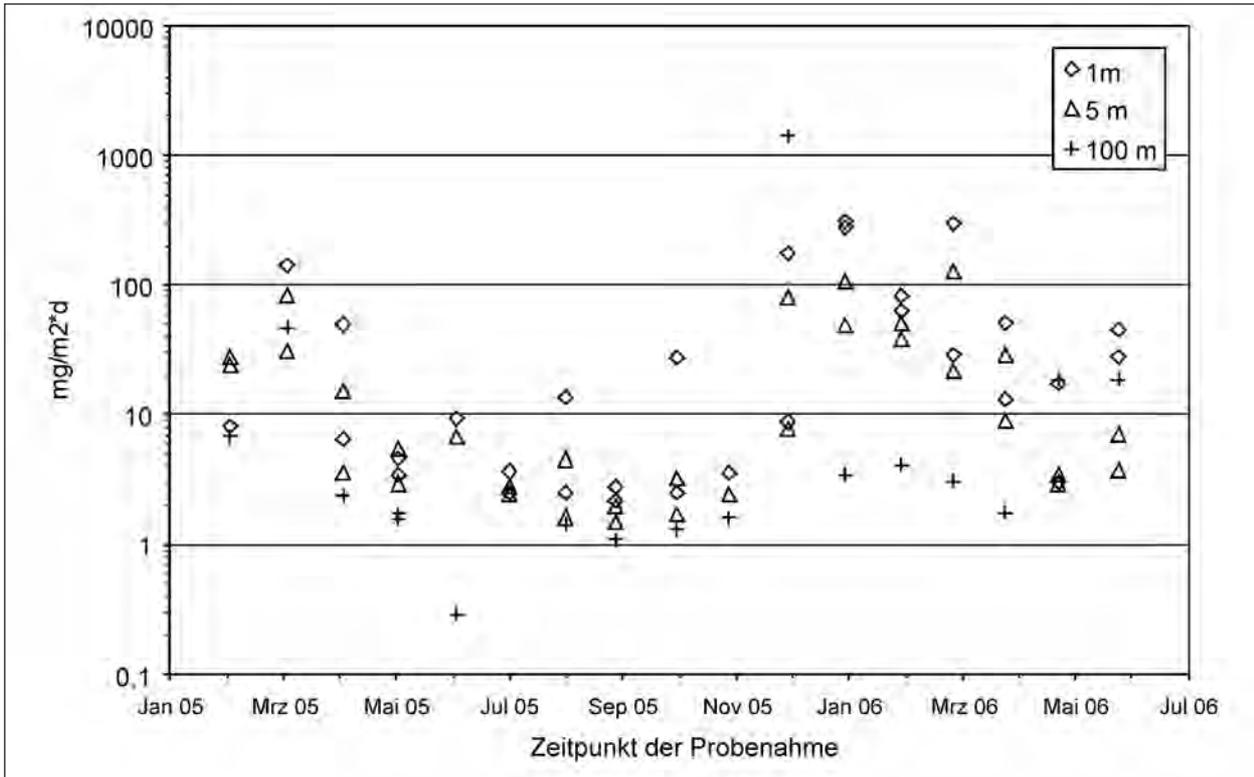
**Bild 24:** Zeitlicher Verlauf der Konzentration von Natrium im bodennahen Staubbiederschlag am Standort A 555 (Einzelmesswerte, Messzeitraum 2005/2006)



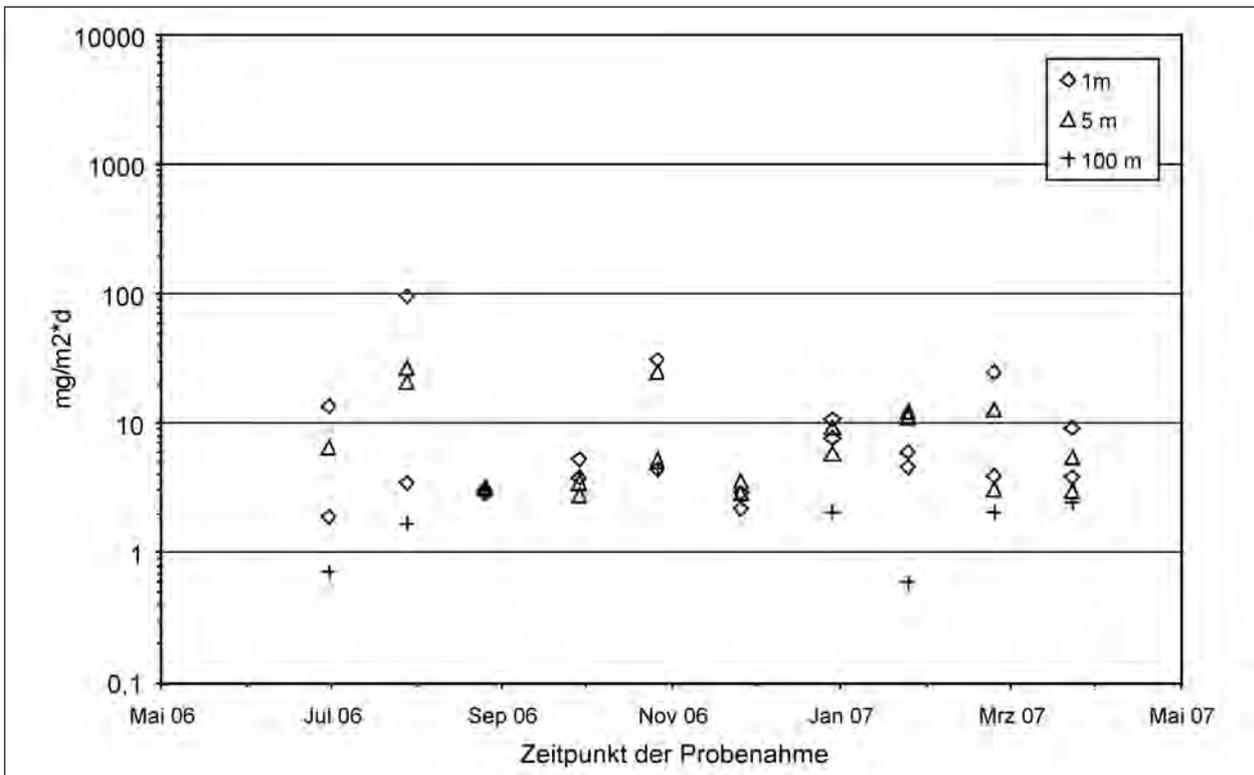
**Bild 25:** Zeitlicher Verlauf der Konzentration von Natrium im bodennahen Staubbiederschlag am Standort A 555 (Einzelmesswerte, Messzeitraum 2006/2007)

2006/2007 das Vierfache dessen von 2005/2006 beträgt (Tabelle 8).

Die zeitliche Auflösung dieser Werte in den Bildern 28 und 29 zeigt zwar einen Schwankungsbereich



**Bild 26:** Zeitlicher Verlauf der Fracht von Natrium im Staubniederschlag in 1.5 m Höhe am Standort A 555 (Einzelmesswerte, Messzeitraum 2005/2006)

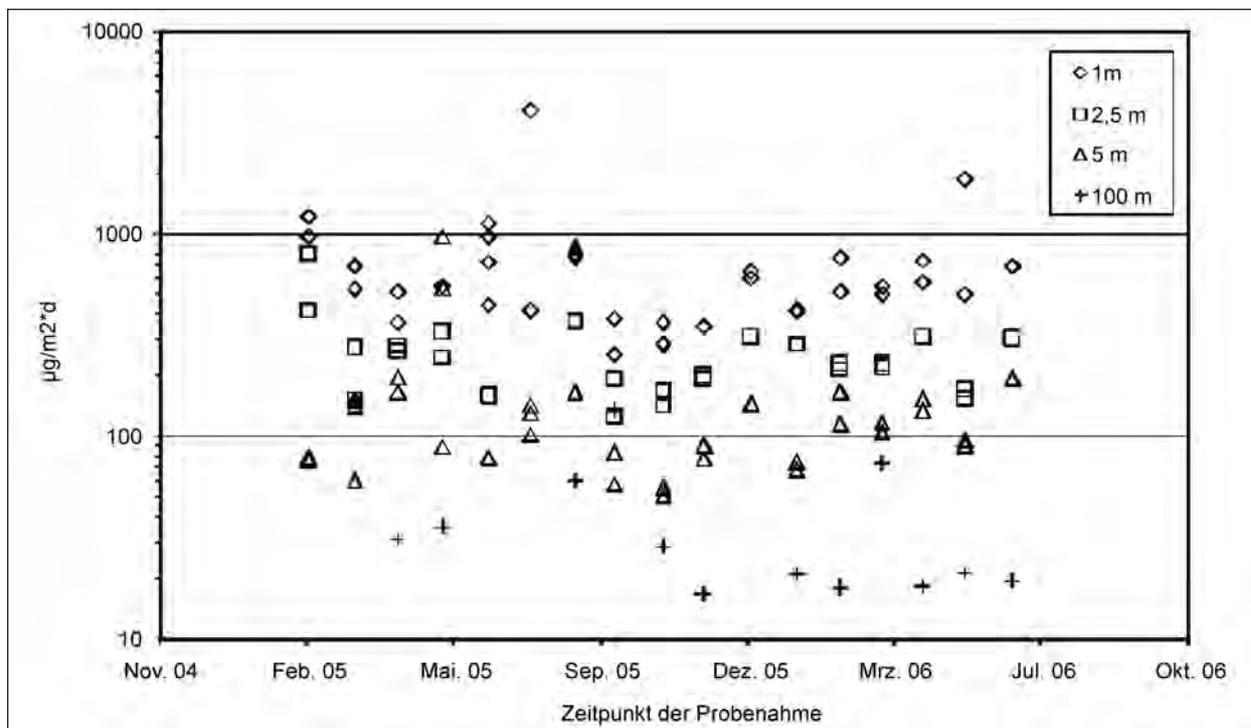


**Bild 27:** Zeitlicher Verlauf der Fracht von Natrium im Staubniederschlag in 1.5 m Höhe am Standort A 555 (Einzelmesswerte, Messzeitraum 2006/2007)

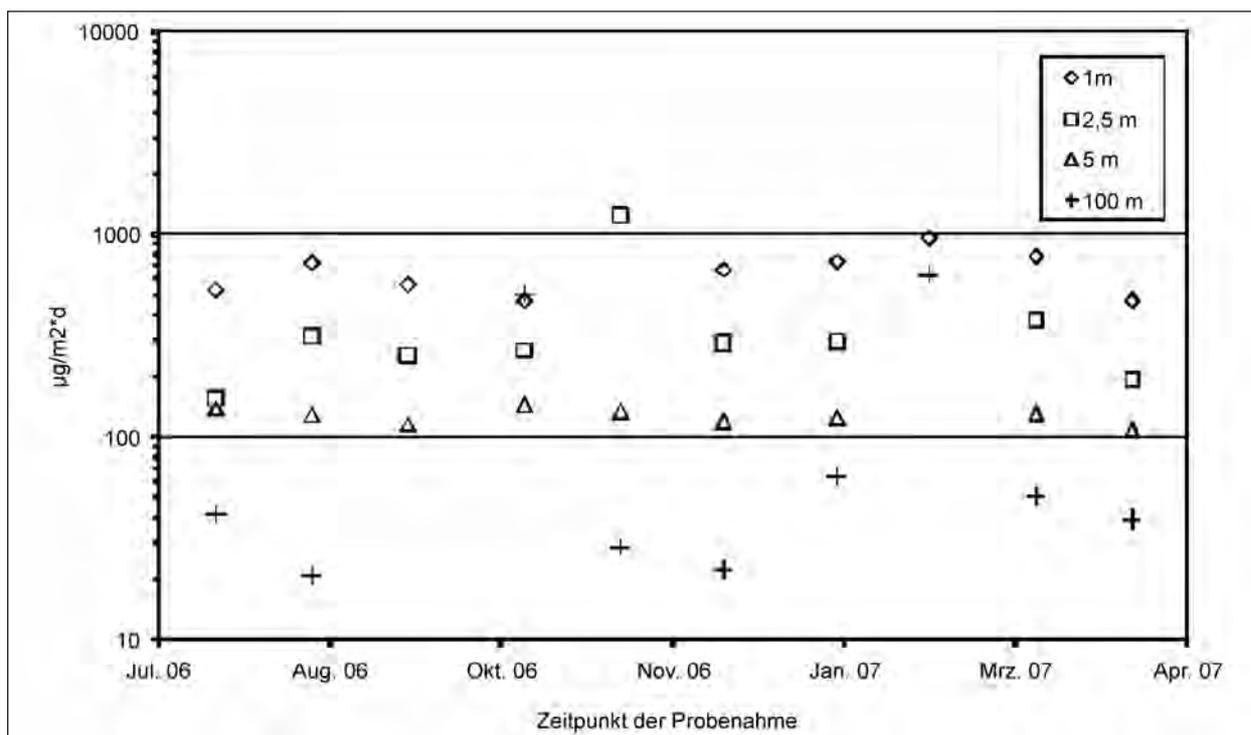
A 555 E – Kupfer-Deposition in 0.1 m Höhe ( $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ )				
Entfernung vom Fahrbahnrand (m)	1	2,5	5	100
Mittelwert Messzeitraum 2005/2006	748	260	172	40
Mittelwert Messzeitraum 2006/2007	654	373	127	156

**Tab. 8:** Jahresmittel der bodennahen Depositionsraten von Kupfer auf der Ostseite der A 555

der Werte von einer halben Größenordnung, aber die Wertebereiche der vier Messentfernungen überschneiden sich nur wenig. Es sind weder 2005/06 noch 2006/07 jahreszeitliche Auffälligkeiten erkennbar. Beispielsweise kann die Annahme, dass unter-



**Bild 28:** Zeitlicher Verlauf der Fracht von Kupfer im bodennahen Staubbiederschlag am Standort A 555/Ostseite (Einzelmesswerte, Messzeitraum 2005/2006)



**Bild 29:** Zeitlicher Verlauf der Fracht von Kupfer im bodennahen Staubbiederschlag am Standort A 555/Ostseite (Einzelmesswerte, Messzeitraum 2006/2007)

schiedlich hohe Verkehrsstärken während der Reisezeiten zu Unterschieden der Kupfereinträge führen, anhand dieser Werte nicht bestätigt werden.

### 3.2 Straßenabflusswasser

Die Ergebnisse der Konzentrationsbestimmung im Straßenabfluss sind für die drei Standorte in den Tabellen 31 bis 34 im Anhang zusammengefasst. Für alle Messwerte im Straßenabfluss, die unterhalb der Bestimmungsgrenze liegen, ist der halbe Wert der Bestimmungsgrenze des jeweiligen Elementes eingesetzt.

Viele der Metalle weisen auch im Messzeitraum 2006/2007 in vielen Proben Werte nahe an oder unter der Bestimmungsgrenze auf (Tabelle 30). Bei Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, und Molybdän liegen 2006/2007 alle Konzentrationswerte unterhalb der Sickerwasserprüfwerte der Bodenschutzverordnung. Die Tabelle 9 gibt eine Übersicht der Elemente, deren Werte 2005/2006 häufig über der Bestimmungsgrenze lagen. Generell weisen alle gemessenen Parameter 2006/2007 niedrigere Werte auf als 2005/2006. Bei Zink treten dagegen im Zeitraum 2006/2007 höhere Werte als 2005/2006 auf, jedoch liegen mehr als 85 % der Werte unterhalb des Prüfwertes der Bodenschutzverordnung von 500 µg/L. Die höchsten Zinkkonzentrationen sind im straßennahen Niederschlagswasser zu finden (Tabelle 34), ohne dass andere Elemente dort auffällig wären. Dies kann möglicherweise an der geringen Entfernung zur verzinkten Schutzplanke liegen, die fast dieselbe Höhe aufweist wie der Niederschlagssammler.

Die pH-Werte liegen etwas oberhalb des Neutralbereiches (Tabelle 9), in dem Wertebereich, der für

Straßenabfluss nach Literaturdaten zu erwarten ist. Die etwas niedrigeren pH-Werte der vorigen Messperiode waren durch zu lange Probenaufbewahrung bedingt, hier wurde das Vorgehen optimiert. Diese Werte sind trotzdem zur Abschätzung einer unteren Grenze aufgeführt.

Bild 30 zeigt für den gesamten bisherigen Messzeitraum deutlich den Einfluss des Tausalzeinsatzes auf den Straßenabfluss mit Leitfähigkeitswerten von bis über 20000 µS/cm im Winter 2005/2006. In den Wintern 2004/2005 und 2006/2007 erreicht die Leitfähigkeit nur etwa 1/10 dieser Werte. Natürliches Bodensickerwasser weist Leitfähigkeiten von unter 100 bis etwa 1.000 µS/cm auf, die Leitfähigkeit von Regenwasser liegt meist noch niedriger. Das ist selbst an den straßennahen Niederschlagsproben in Tabelle 34 gut zu sehen.

Im Straßenabfluss ist ein ausgeprägter Jahresgang erkennbar, deutlich stärker und für mehr Stoffe als bei den Staubbiederschlagsproben.

Die Konzentrationen von Calcium verändern sich genau parallel mit denen von Natrium (Bild 31). Dies zeigt deutlich, dass auch der größte Teil des Calciums im Straßenabfluss durch die Anwendung von Feuchtsalz (i. d. R. Mischung von trockenem Natriumchlorid und Calciumchlorid-Sole) eingetragen wird. Calcium weist im Winter niedrigere Werte als Natrium im Straßenabfluss auf (nur etwa 10 %), im Sommer dagegen höhere (Bild 31). Möglicherweise stammt im Sommer ein Anteil des Calciums aus mineralischem Abrieb oder von eingewehtem Bodenmaterial.

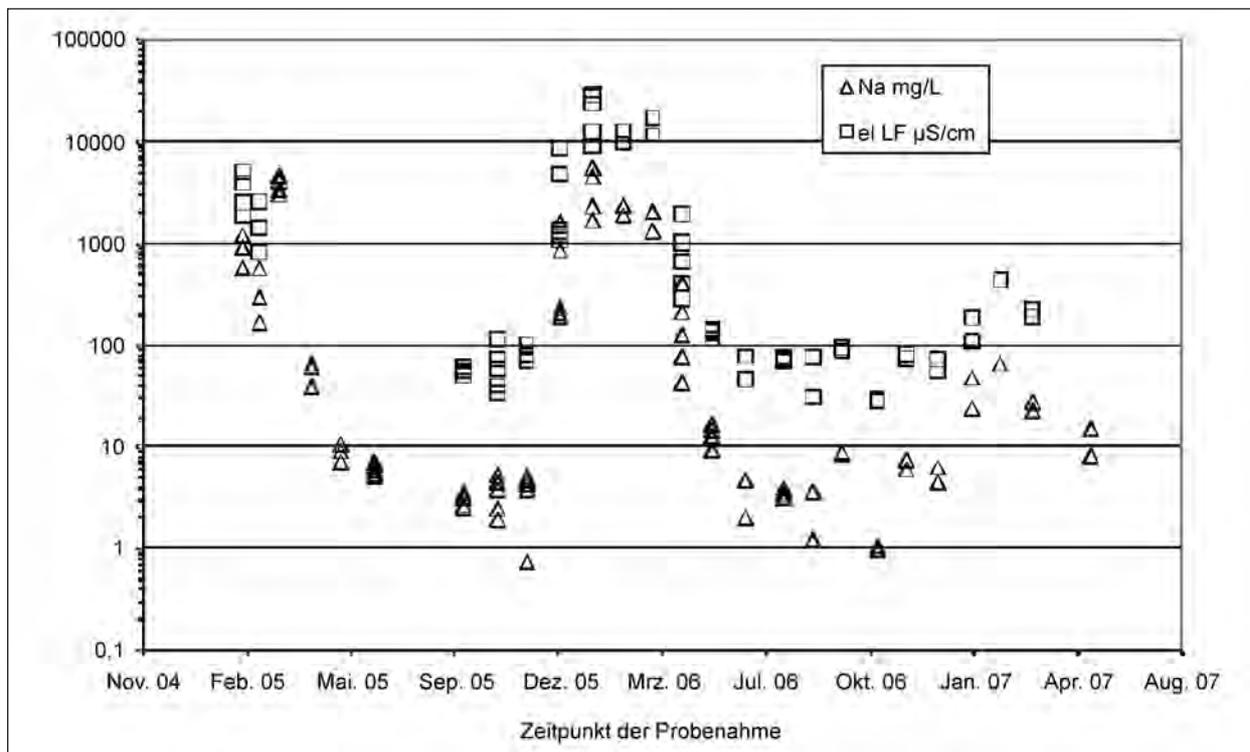
Auch bei anderen Parametern ist ein Jahresgang im Straßenabfluss festzustellen. Eine gegenseitige Beeinflussung der gelösten Stoffe ist hier sehr wahrscheinlich. Sie kann zu erhöhten gelösten Me-

	el. LF µS/cm	Ca mg/L	Cd µg/L	Fe mg/L	Na mg/L	Zn mg/L	pH-Wert
Anzahl 05/06	99	204	205	205	205	205	77
Anzahl 06/07	53	63	63	63	63	63	53
Median 05/06	330	18.9	0.10	0.05	41	0.101	6.76
Median 06/07	109	9.89	0.05	0.05	9.3	0.068	7.26
Mittelwert 05/06	3482	49.6	0.23	0.29	564	0.245	6.83
Mittelwert 06/07	334	16.51	0.16	0.83	43.3	0.445	7.24
Standardabw. 05/06	6110	84.1	0.32	1.12	1110	0.501	0.58
Standardabw. 06/07	701	21.47	0.27	2.38	72.9	1.320	0.47

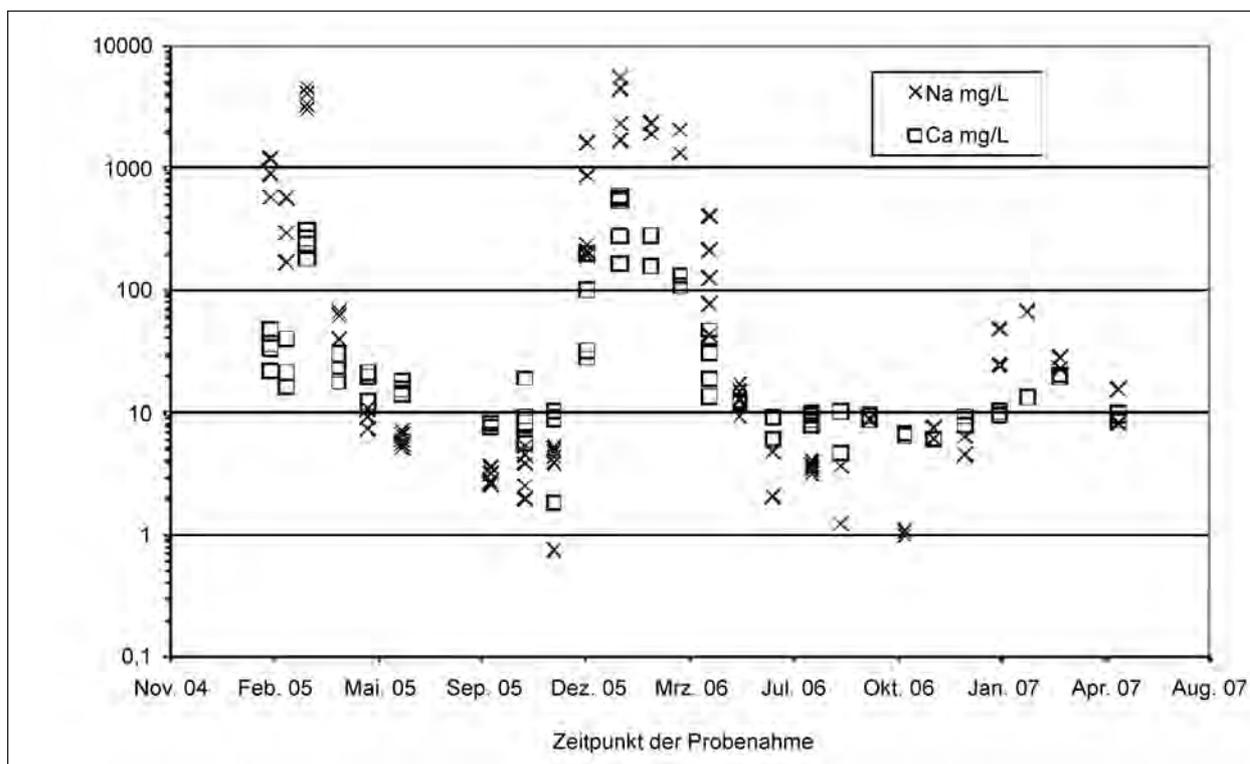
Tab. 9: Vergleich der Stoffkonzentrationen, pH-Werte und elektrische Leitfähigkeit des Straßenabflusswassers der beiden Messzeiträume (alle Proben)

tallkonzentrationen im Straßenabfluss führen. An den vorliegenden Messungen ist das für Cadmium und Zink festzustellen, um 1-2 Monate verschoben

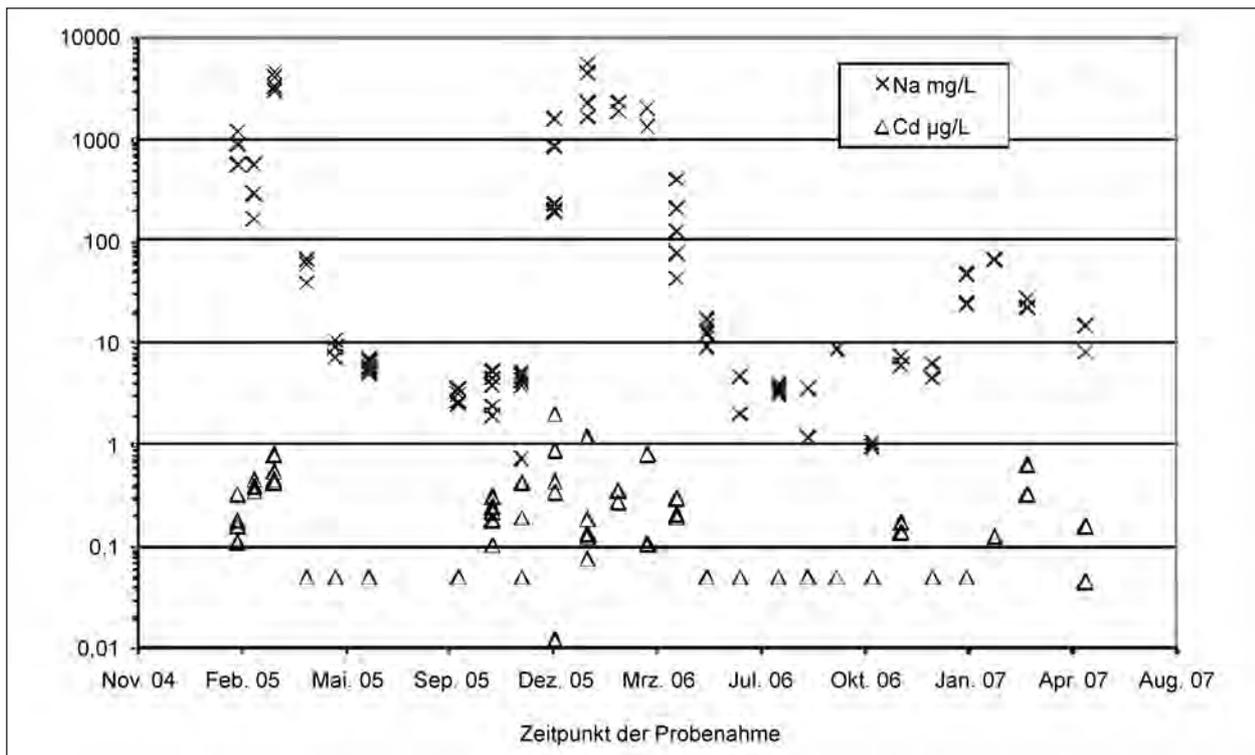
auch für Eisen. Als Ursache dafür kommt die Bildung von Chlorid-Metall-Komplexen infrage, während die Salzbestandteile Natrium und Calcium



**Bild 30:** Zeitlicher Verlauf der elektrischen Leitfähigkeit und der Natriumkonzentration im Straßenabfluss der A 61 (Einzelmesswerte, Messungen von 2005 bis 2007)



**Bild 31:** Zeitlicher Verlauf der Natrium- und Calciumkonzentrationen im Straßenabfluss der A 61 (Einzelmesswerte, Messungen von 2005 bis 2007)



**Bild 32:** Zeitlicher Verlauf der Natrium- und Cadmiumkonzentrationen im Straßenabfluss der A 61 (Einzelmesswerte, Messungen von 2005 bis 2007)

die Löslichkeit der Metalle nicht erhöhen, sondern nur ein Indikator für die Chloridkonzentration im Straßenabfluss sind, die in der vorliegenden Untersuchung nicht bestimmt wird.

Als Beispiel ist in Bild 32 der zeitliche Verlauf der Konzentrationen von Natrium und Cadmium aufgetragen. Cadmium weist viele Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze auf. Diese sind hier mit dem halben Wert der Bestimmungsgrenze dargestellt. Beide Elemente weisen im Winter deutlich höhere Konzentrationen auf. Die Spannbreite der Unterschiede umfasst bei Cadmium über eine Größenordnung, bei Natrium ist der Jahresgang der Konzentration noch ausgeprägter und umfasst bis zu drei Größenordnungen. Dieser Effekt wurde von verschiedenen Autoren festgestellt, tritt im Boden allerdings eher bei niedrigen pH-Werten auf (SCHEFFER, 1998). Ein Jahresgang der pH-Werte, der ebenfalls Löslichkeitsunterschiede hervorrufen könnte, ist an keinem der beprobten Standorte festzustellen.

### 3.3 Untersuchung zur Genauigkeit der bodennahen Messungen

Die Konzentrationen liegen in beiden bisherigen Untersuchungszeiträumen in 1.5 m Höhe für viele Elemente höher als in Bodennähe. Am ausgepräg-

testen ist dies an den Hintergrundmesspunkten. Eine mögliche Ursache für diesen Konzentrationsunterschied kann der Eintrag von Staub bzw. Bodenmaterial aus der direkten Umgebung in die bodennahen Sammler sein.

An der A 61 wurden im Rahmen einer Diplomarbeit Vergleichsmessungen mit Sammlern durchgeführt, die vor dem ungewollten Aufspritzen von Bodenmaterial durch Regen (Splash) geschützt sind (LAUFENBERG, 2007). Um zu klären, ob und in welcher Höhe ein Mehreintrag durch Splash in der Grasvegetation auftritt, wurde mit und ohne Umbauung gemessen (Bild 33). Die Umbauung erfolgte rings um die Sammler in einer Breite von 50 cm mit technischen Glaskugeln. Als weitere Messvariante wurde, wie in HANNOSCHÖCK et al. (2000) und HÖKE (2001) für Industriestandorte vorgeschlagen, anstelle der Bergerhoffgefäße eine Edelstahlkiste in gleicher Weise umbaut und zusätzlich mit einem Lochblech mit Glaskugelaufgabe abgedeckt (Bild 33 links). Dieser Fänger wurde getestet, weil durch die große Fangfläche die Fangmasse deutlich erhöht ist und genauere Schadstoffanalysen an den Proben durchgeführt werden können.

Es zeigte sich, wie auch schon in der Hauptuntersuchung, dass mit der standardisierten Bergerhoffmethode in 1.5 m Höhe nur ein Bruchteil der Staub-

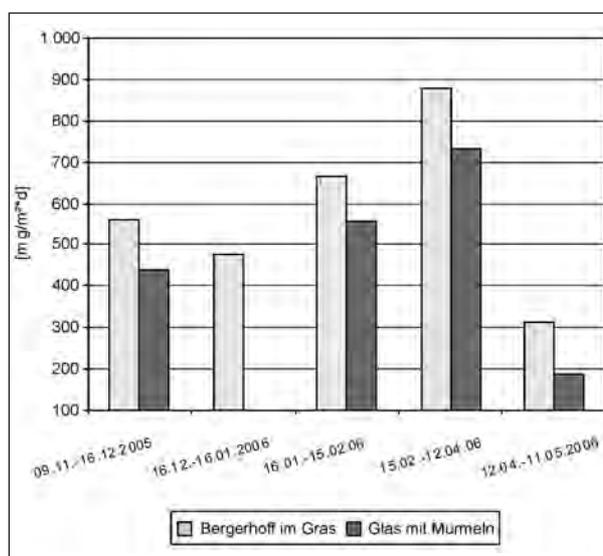


**Bild 33:** links: Bergerhoffgefäße und Edelstahlkisten mit Umbau (technische Glaskugeln auf Kunststoffnetz); rechts: Bergerhoffgefäße in 10 cm Höhe im Gras ohne Umbau

niederschläge im bodennahen Bereich erfasst werden kann. Die mit Glaskugeln abgedeckten und umbauten Stahlkisten zeigten uneinheitliche Ergebnisse mit teilweise höheren, teilweise niedrigeren Fangraten als die Bergerhoff-Fänger (LAUFENBERG, 2007). Dies liegt wahrscheinlich an den Einflüssen der Abdeckung. Das Reinigen des Lochblechs und der Glaskugeln beinhaltet eine Fehlerquelle durch Substanzverluste und ist schwer zu standardisieren. Diese Methode erscheint als Alternative für bodennahe Messungen am Straßenrand nicht geeignet. Die bodennahen Bergerhoffgefäße ohne Umbau erreichen etwa 15 % bis 50 % höhere Gesamtstaub-Einträge als die Gefäße mit Umbau. Dies zeigt, dass ein zusätzlicher Splash-Eintrag vorhanden ist (Bild 34).

Trotz des teilweise sehr dichten Grasbewuchses um die bodennah aufgestellten Bergerhoffgefäße wird also durch den Splash-Effekt von Niederschlag und Spritzwasser Bodenmaterial erodiert und kann in die Messgefäße gelangen. Die in der vorliegenden Studie und in KOCHER (2006) dargestellten Frachten können daher etwa 15 bis 50 % zu hoch sein. Für weitere bodennahe Messungen sollte deshalb die Methode geändert werden. Schutz vor zusätzlichem Splash-Eintrag kann z. B. durch mindestens 50 cm Umbau mit technischen Glaskugeln erreicht werden. Allerdings eignet sich dieses Verfahren nur für gering geneigte Flächen.

Der Aufwand für die Unterhaltung und Beprobung der 1,5 m hoch aufgestellten Messgefäße ist sehr viel geringer als der für die bodennahen Bergerhoffgefäße ohne Umbau. Durch Einrichtung und Wartung von umbauten Messplätzen würde sich



**Bild 34:** Vergleich bodennaher Gesamtstaub-Depositionen mit und ohne Umbau in 10 m Entfernung vom Rand der befestigten Fläche (aus LAUFENBERG, 2007)

der Probensammelaufwand im Gelände außerdem gegenüber bisher etwa verdoppeln. Daher sollte geprüft werden, ob ggf. in Zukunft auf die bodennahe Messung verzichtet werden kann. Damit würde nur ein bisher unbestimmter Anteil der Deposition erfasst. Dies wird bei der routinemäßigen Umweltbeobachtung mit dem Standardverfahren nach VDI-RL 2119 in Kauf genommen, da der größte Anteil der atmosphärischen Deposition aus größerer Höhe stammt bzw. durch atmosphärischen Transport dorthin gelangt ist. So ist die entstehende Abweichung an allen Standorten etwa gleich. Bei der Untersuchung der straßennahen Deposition sollen jedoch Einträge erfasst werden, die von ihrem Entstehungsort nur wenige Meter weit weg transpor-

tiert wurden und nicht gleichmäßig in der Umgebung verteilt sind. So ist damit zu rechnen, dass die Abweichung zwischen den beiden Messhöhen von der Entfernung zum Fahrbahnrand und möglicherweise noch anderen Faktoren abhängt.

Der Verzicht auf bodennahe Messungen wäre möglich, wenn die Daten aus 1.5 m Höhe durch einen stabilen Faktor umgerechnet werden könnten bzw. ein Modell erstellt werden kann, das die bodennahen Messwerte auch unter Berücksichtigung der Entfernungs- und Standortunterschiede ausreichend genau abbildet. Beides erscheint prinzipiell denkbar, kann aber nicht im Rahmen dieser Untersuchung durchgeführt werden.

## 4 Fazit

### 4.1 Zusammenfassung

An drei BAB (A 4, A 555, A 61) wurden Messstandorte eingerichtet, um die Einträge von Schadstoffen aus dem Straßenverkehr in den Boden bzw. in Entwässerungseinrichtungen beurteilen zu können. Der Messzeitraum Mitte 2006 bis Mitte 2007 wird im Rahmen des vorliegenden Berichtes dokumentiert.

Dadurch, dass zwei Sommermonate nicht erfasst werden konnten, erhalten die Wintermonate in den Jahresmittelwerten der Depositionsraten 2006/2007 höheres Gewicht. Trotzdem liegen die Stoffeinträge des Messzeitraumes Juli 2006 bis Juni 2007 für alle Stoffe deutlich niedriger als die des vorangegangenen Messzeitraumes Januar 2005 bis Juni 2006.

Abweichend davon weist der Hintergrundmesswert der A 555 in 100 m Entfernung vom Fahrbahnrand höhere Depositionsraten aller Stoffe auf, und im Straßenabfluss traten höhere Zink- und Eisenwerte auf als im vorigen Zeitraum.

Der mittlere Gesamtstaubniederschlag in Bodennähe erreichte in der Messperiode 2006/2007 etwa 55 bis 90 % des Gesamtstaubniederschlages 2005/2006. Die Frachten der meisten untersuchten Elemente liegen etwa im selben Verhältnis wie die Gesamtstaubdeposition niedriger. Ausgenommen davon sind die vorwiegend straßenverkehrsbedingten Elemente Blei, Kupfer und Zink, die eine deutlich geringere Abnahme als der Staubniederschlag zeigen, am Standort A 61 zeigen sich sogar deutlich höhere Frachten dieser drei Elemente.

2006/2007 liegen in 1.5 m Höhe an der A 555 und A 4 mehr als 90 % der Monatswerte auch 1 m neben der asphaltierten Fahrbahnfläche im Bereich der Vergleichswerte für Hintergrundmessstellen und städtische Räume. Teilweise wies in dieser Höhe der Staubniederschlag auch im Messzeitraum 2006/2007 so niedrige Einwaagen und Gehalte an Schwermetallen auf, dass die Bestimmungsgrenze in der Aufschlusslösung nicht erreicht wurde. An der A 61 treten dagegen am straßen nächsten Messpunkt in 2.5 m Entfernung höhere Werte auf, jedoch nicht so hoch wie 2005/2006.

Die bodennahen Messpunkte weisen, wie auch 2005/2006, zum Teil wesentlich höhere Gesamtstaubniederschläge auf als die in 1.5 m Höhe. Sie überschritten fast immer die typischen Bereiche für Hintergrundmessstellen und städtische Räume.

Es besteht an allen Messstandorten ein starker Zusammenhang zwischen Höhe des Stoffeintrages und Entfernung vom Fahrbahnrand. Die räumlichen Verteilungen der Stoffeinträge zeigen zusätzlich klare Unterschiede für die drei Autobahnstandorte. Die Verkehrsstärken der drei Standorte unterscheiden sich nicht sehr stark, aber der Standort A 61 mit der höchsten Verkehrsstärke und einem zwei- bzw. dreimal höheren Lkw-Anteil als A 4 und A 555 weist auch die höchsten Staubniederschlagsmengen und Depositionsraten für fast alle untersuchten Stoffe auf. Die im Bericht zum Messzeitraum 2005/2006 gemachten Aussagen zur Abhängigkeit der Stoffeinträge von der Lage zur Hauptwindrichtung, Lkw-Anteil und Strömungshindernissen können bisher bestätigt werden.

Anhand des zeitlichen Verlaufes der Konzentrationen im Straßenabfluss lässt sich zeigen, dass nicht nur Natrium-, sondern auch Calciumeinträge zum großen Teil durch den Tausalzeinsatz bedingt sind (Feuchtsalztechnik mit Calciumchloridsole). Möglicherweise trägt dieser Calciumeintrag zu den günstigen Rückhalteeigenschaften von Bankettböden und Bankettmaterial für Schadstoffe bei, wie sie in verschiedenen Untersuchungen festgestellt wurden.

Für die Konzentrationen von Cadmium und Zink im Straßenabfluss lässt sich ebenfalls ein deutlicher Jahresgang feststellen, für die Deposition mit dem Staubniederschlag nicht.

Anhand der Ergebnisse des Forschungsprojektes „Schadstoffgehalte in Bankettmaterial – bundesweite Datenauswertung“ (KOCHER, 2008) zeigte sich,

dass das hier durchgeführte Messprogramm die relevanten anorganischen Parameter enthält und die Aufnahme weiterer Metalle oder Salze in das Messprogramm nicht notwendig ist. Die regelmäßige Untersuchung organischer Stoffgruppen, die in Bankettmaterial oder Straßenabfluss auffällig erscheinen, wäre sinnvoll, ist aber sehr kostenintensiv. Es wird empfohlen, solche Untersuchungen vorerst im Rahmen von zeitlich begrenzten Vorhaben intern oder extern durchzuführen.

Die hier dokumentierten Messungen bilden eine Datengrundlage für die Bearbeitung weiterführender Fragestellungen.

## 4.2 Ausblick

Die Messungen werden im Rahmen eines weiteren Projektes fortgesetzt.

Die Konzentrationen liegen in beiden bisherigen Untersuchungszeiträumen in 1.5 m Höhe für viele Elemente höher als in Bodennähe. Eine mögliche Ursache für diesen Konzentrationsunterschied kann der Eintrag von Staub bzw. Bodenmaterial aus der direkten Umgebung in die bodennahen Sammler sein. Dies wurde 2006 exemplarisch am Standort A 61 im Rahmen einer Diplomarbeit untersucht (Kapitel 3.3). Es zeigte sich, dass die bodennahen Frachten durch den Eintrag von zusätzlichem Material um 15 bis 50 % überschätzt werden können. 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 sehr wartungsintensiv. Hier muss noch eine geeignete Lösung gefunden werden. Ein Verzicht auf die bodennahen Messungen ist denkbar, wenn Umrechnungsfaktoren bestimmt werden können oder ein Modell erstellt werden kann, das die bodennahen Messwerte auch unter Berücksichtigung der Entfernung- und Standortunterschiede ausreichend genau abbildet. Beides erscheint prinzipiell möglich, kann aber nicht im Rahmen der vorliegenden Untersuchung durchgeführt werden.

## 5 Literatur

- BMU (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV). Bonn, den 1.7.1999
- BMU (9/1998): Begründung zur Bodenschutzverordnung. 88 S.
- Bundesregierung (1998): Gesetz zum Schutz des Bodens vom 17. März 1998. Bundesgesetzblatt, 1998
- 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.
- HANNOSCHÖCK, E.; HÖKE S.; BURGHARDT, W. (2000): Comparison of three dust deposition measurement methods (Bergerhoff-Sampler/Löbner-Liesegang-Sampler/Kunstra-Sampler). In: First International Conference on Soils of Urban, Industrial, Traffic und Mining Areas. University Essen, Germany, July 12-18, 2000, Proceedings, Vol. I: 163-167
- 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
- KOCHER, B. (2008): Schadstoffgehalte von Bankettmaterial – bundesweite Datenauswertung. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Verkehrstechnik, Heft V 167, NW-Verlag, Bremerhaven
- KOCHER, B. (2006): Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2005/2006. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, 85 S., Veröffentlichung in Vorbereitung
- LAUFENBERG, F. (2007): Verbesserung der Erfassung von Stoffeinträgen in straßennahe Böden durch bodennahe Staubbodenniederschlagsmessungen. 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 Staubbodenniederschlagsmessungen. Posterbeitrag zur Tagung „20 Jahre AK Stadtböden der DBG“, 22. – 24. August 2007 in Essen

SCHEFFER, F. (14. Aufl. 1998): Lehrbuch der Bodenkunde (Scheffer/Schachtschabel). 494 S. Von P. SCHACHTSCHABEL; H. P. BLUME; G. BRÜMMER; K. H. HARTGE; U. SCHWERTMANN, unter Mitarbeit von K. AUERSWALD; L. BEYER; W. R. FISCHER; I. KÖGEL-KNABNER; M. RENGER und O. STREBEL. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1998

VDI-Richtlinie 2119, Blatt 2 (1996): Messung partikelförmiger Niederschläge – Bestimmung des Staubniederschlages 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 Staubniederschlages 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

## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Verkehrstechnik“

### 2007

V 133: Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offener Straßenbeläge Hübelt, Schmid	€ 17,50
V 134: Qualifizierung von Auditoren für das Sicherheitsaudit für Innerortsstraßen Gerlach, Kesting, Lippert	€ 15,50
V 135: Optimierung des Winterdienstes auf hoch belasteten Autobahnen Cypra, Roos, Zimmermann	€ 17,00
V 136: Erhebung der individuellen Routenwahl zur Weiterentwicklung von Umlegungsmodellen Wermuth, Sommer, Wulff	€ 15,00
V 137: PM <sub>x</sub> -Belastungen an BAB Baum, Hasskelo, Becker, Weidner	€ 14,00
V 138: Kontinuierliche Stickoxid (NO <sub>x</sub> )- und Ozon (O <sub>3</sub> )-Messwertaufnahme an zwei BAB mit unterschiedlichen Verkehrsparametern 2004 Baum, Hasskelo, Becker, Weidner	€ 14,50
V 139: Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Taumittelsprühanlagen Wirtz, Moritz, Thesenvitz	€ 14,00
V 140: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2004 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen Fitschen, Koßmann	€ 15,50
V 141: Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf den Bundesautobahnen und Europastraßen 2003 Lensing	€ 15,00
V 142: Sicherheitsbewertung von Maßnahmen zur Trennung des Gegenverkehrs in Arbeitsstellen Fischer, Brannolte	€ 17,50
V 143: Planung und Organisation von Arbeitsstellen kürzerer Dauer an Bundesautobahnen Roos, Hess, Norkauer, Zimmermann, Zackor, Otto	€ 17,50
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, Klemps, 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 PM <sub>10</sub> -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 offenerporiger Straßenbeläge**  
Altreuther, Beckenbauer, Männel € 13,00
- V 174: Einfluss von Straßenzustand, meteorologischen Parametern und Fahrzeuggeschwindigkeit auf die PM<sub>x</sub>-Belastung an Straßen**  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://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, Hübel € 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 PM<sub>10</sub>-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](http://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](http://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](http://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

---

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](mailto:vertrieb@nw-verlag.de)  
Internet: [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de)

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.