

# **Verkehrsbedingte Immissionen in Baden-Württemberg**

— Schwermetalle und organische Fremdstoffe  
in straßennahen Böden und Aufwuchs —

**Ministerium  
für Umwelt  
Baden-Württemberg**

**Luft  
Boden  
Abfall**



**Heft 19**



Bodenschutzfachinformation im WWW

**Bei diesem Ausdruck handelt es sich um eine Adobe Acrobat Druckvorlage.  
Abweichungen im Layout vom Original sind rein technisch bedingt.  
Der Ausdruck sowie Veröffentlichungen sind - auch auszugsweise- nur für  
eigene Zwecke und unter Quellenangabe des Herausgebers gestattet.**

# **Verkehrsbedingte Immissionen in Baden - Württemberg**

## **- Schwermetalle und organische Fremdstoffe in straßennahen Böden und Aufwuchs -**

*Hans-Jürgen Unger M.A  
Prof. Dr. Dieter Prinz*

*Institut für Wasserbau und Kulturtechnik  
der Universität Karlsruhe  
Abt. Kulturtechnik*

*Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt  
und der Landesanstalt für Umweltschutz  
Baden-Württemberg  
Oktober 1992*

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b> .....	<b>6</b>
<b>2 Verkehrsbedingte Emissionen und Immissionen</b> .....	<b>8</b>
<b>3 Material und Methoden</b> .....	<b>13</b>
3.1 Arbeitsmethoden.....	13
3.2 Chemische Untersuchungsmethoden .....	15
pH-Wert: .....	15
Organischer Kohlenstoff- bzw. Humusgehalt: .....	15
Schwermetalle: .....	15
Mineralöl-Kohlenwasserstoffe:.....	15
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe:.....	15
Phenole:.....	16
BTX-Aromaten: .....	16
Polychlorierte Biphenyle:.....	16
Chlorbenzole und Chlorphenole:.....	16
Polychlorierte Dibenzopdioxine und Dibenzofurane:.....	16
<b>4 Standorte</b> .....	<b>17</b>
<b>5. Ergebnisse</b> .....	<b>32</b>
5.1 Oberböden und Grünlandaufwuchs .....	32
5.1.1 Blei (Pb).....	32
5.1.2 Cadmium (Cd).....	36
5.1.3 Kupfer (Cu).....	39
5.1.4 Zink (Zn) .....	40
5.1.5 Nickel (Ni) .....	42
5.1.6 Chrom (Cr) .....	44
5.1.7 Mineralöl-Kohlenwasserstoffe (CnHm).....	46
5.1.8 Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK).....	50
5.1.9 Aromatische Kohlenwasserstoffe (BTX-Aromaten).....	54
5.1.10 Phenole.....	55
5.1.11 Chlorbenzole (PCBz) und Chlorphenole (PCPh) .....	55
5.1.12 Polychlorierte Biphenyle (PCB).....	55
5.1.13 Polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und Polychlorierte Dibenzofurane (PCDD/F).....	57
5.2 Profilproben.....	63
5.2.1 Anthropogen geprägte Böden in Straßennähe.....	63
5.2.2 Schwermetalle.....	66
5.3 Organische Stoffgruppen.....	68
5.3 Gehölzstreifen.....	77
5.4 Schwemmaterial .....	78
<b>6. Beurteilung der Stoffgehalte in Böden, Aufwuchs und Schwemmaterial</b> .....	<b>80</b>
6.1 Böden und Grünlandaufwuchs .....	80
6.1.1 Blei (Pb).....	87
6.1.2 Cadmium (Cd).....	91
6.1.3 Kupfer (Cu) und Zink (Zn) .....	95
6.1.4 Nickel (Ni) und Chrom (Cr) .....	98
6.1.5 Zusammenfassende Beurteilung der Schwermetallgehalte in Böden und Grünlandaufwuchs .....	101
6.1.6 Mineralöl-Kohlenwasserstoffe (CnHm).....	102
6.1.7 Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK).....	104

6.1.8 BTX-Aromaten und Phenole .....	110
6.1.9 Chlorbenzole (PCBz) und Chlorphenole (PCPh) .....	110
6.1.10 Polychlorierte Biphenyle (PCB).....	111
6.1.11 Polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und polychlorierte Dibenzofurane (PCDD/F).....	112
6.1.12 Zusammenfassung der Reichweite der Stoffbelastung in straßennahen Böden.....	123
6.2 Auswirkung von Gehölzstreifen auf Stoffgehalte in Böden und Grünlandaufwuchs ...	126
6.2.1 Schwermetalle.....	126
6.2.2 Organische Verbindungen.....	130
6.3 Tiefenfunktionen in Böden an der BAB 5 bei Offenburg .....	133
6.3.1 Schwermetalle.....	133
6.3.2 Organische Verbindungen.....	136
6.4 Schwermetallgehalte in Blättern von Straßenrandgehölzen.....	141
6.5 Schwemmaterial .....	143
<b>7. Leitparameter für Dioxine und Furane in straßennahen Böden.....</b>	<b>148</b>
<b>8. Durchschnittliches Verkehrsaufkommen für die Akkumulation kritischer Gehalte an Dioxinen und Furanen in straßennahen Böden.....</b>	<b>159</b>
<b>9. Weitere Untersuchungen.....</b>	<b>166</b>
<b>10. Zusammenfassung.....</b>	<b>169</b>
<b>11. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>172</b>
<b>Indexverzeichnis.....</b>	<b>180</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>180</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>184</b>

# 1 Einleitung

Die aus Abgasen, Abrieb (Straßenoberfläche, Reifen, Bremsen) und sonstigen Quellen stammenden verkehrsbedingten Emissionen werden überwiegend in den obersten Schichten straßennaher Böden abgelagert und im Schwemmaterial akkumuliert. Durch die Anreicherung in und auf Pflanzen können diese über die Nahrungskette vom Menschen aufgenommen werden.

Im Hinblick auf ökotoxische organische Verbindungen ist diese Form der Umweltbelastung bisher kaum untersucht worden. Ein besonderes Augenmerk galt den polychlorierten Dibenzop-dioxinen und Dibenzofuranen (PCDD/F).

Die Untersuchungen wurden von November 1989 bis April 1992 vom Institut für Wasserbau und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe im Auftrag und mit Mitteln des Ministeriums für Umwelt Baden-Württemberg durchgeführt und von der Landesanstalt für Umweltschutz fachlich begleitet.

Der 1. Projektabschnitt wurde mit einem Zwischenbericht im Februar 1991 abgeschlossen. Anhand einer intensiven Literaturrecherche (kfz-bedingte Emissionen und Immissionen) wurden ausgewählte potentielle anorganische und organische Schadstoffe in Böden (0-5 cm) und Schwemmaterial (Straßensedimente) an gering bis stark befahrenen Straßenstandorten (1.000 bis 56.000 Kfz/ Tag 1990) in verschiedenen Fahrbahnabständen bis 100 m Entfernung untersucht.

Bei Grünland- und Straßenbankettböden kommt es nur selten zu einer anthropogenen Durchmischung des Oberbodens mit Abschnitten des Unterbodens, wie dies bei Acker- und Gartenböden der Fall ist. Deshalb wurden vorerst die obersten 5 cm von Grünlandböden zur Feststellung der Stoffakkumulation kfz-spezifischer Emissionen herangezogen.

Weiterhin wurden an einer stark befahrenen Bundesautobahn Profilbeprobungen und -analysen bis 50 cm Tiefe durchgeführt.

Die 2. Phase hatte folgende Zielsetzungen:

- Ermittlung von lateralen Belastungsgradienten durch die Untersuchung von weiteren Boden- und zusätzlichen Aufwuchsproben (Gräser).

Die bisherigen Untersuchungen sollten ergänzt und abgesichert werden. Zusätzliche Aufwuchsuntersuchungen (Grünland) sollten den Einflußbereich der Kfz-Immissionen deutlicher abgrenzen. (Durch eine Beprobung der Böden von 0-10 cm Tiefe erfolgte eine Anpassung an die vereinbarte Beprobungstiefe zur Beurteilung der Belastung von Grünlandböden.)

- Untersuchung des kritischen Verkehrsaufkommens, ab welchem insbesondere der vom Bundesgesundheitsamt (BGA) für eine uneingeschränkte Bodennutzung empfohlene PCDD/F-Richtwert von 5 ng TE/kg Boden überschritten wird. [Bei Böden und Aufwuchs bestehen im Mittel kaum Unterschiede zwischen der Einheit des BGA und der Bewertung nach internationalen Toxizitätsäquivalenzfaktoren (ITEF), wie sie im Dioxinbeschluß des Umweltministeriums (21.01.1992) bekanntgegeben wurden.]

- Ermittlung von möglichen Leitparametern für PCDD/F-Gehalte in Böden an Straßenrändern durch die Auswahl von Standorten, die möglichst geringe Belastungen durch andere Einflüsse als durch den Straßenverkehr aufweisen.
- Auswirkung von Gehölzstreifen auf verkehrsbedingte Immissionen in Böden und Aufwuchs.

Im 1. Projektabschnitt beschränkte sich der Untersuchungsraum auf Straßenstandorte im Regierungsbezirk Freiburg; die 2.Phase berücksichtigte sehr stark befahrene und ältere Straßenstandorte (>50.000 Kfz/Tag 1990, >50 Jahre) außerhalb der Bezirksgrenzen im Bundesland Baden-Württemberg.

Den Mitarbeitern der zuständigen Straßenbehörden sei an dieser Stelle für die Unterstützung bei der Standortauswahl und für die Überlassung der aktuellen Verkehrsstatistiken gedankt.

## 2 Verkehrsbedingte Emissionen und Immissionen

Die Straße stellt im Hinblick auf die Umgebungsbelastung eine Linienquelle dar. Die Emissionsstärke ist abhängig von der Verkehrsaufkommen, Lkw-Anteil, Fahrgeschwindigkeit sowie mittlerer spezifischer Emission des Einflußfahrzeuges (Eßer 1982).

Die Höhe der Immissionsbelastung hängt neben der Quellstärke entscheidend von meteorologischen Parametern und dem Trassenumfeld ab. Weder Verkehrsströme und deren Emissionen noch der Strömungszustand der Atmosphäre sind räumlich oder zeitlich konstante Größen (Jost 1984). Die Entstehung der kfz-bedingten

Emissionen, deren Verdünnung in der atmosphärischen Strömung durch turbulente Austauschprozesse, bis zur Immissionsbelastung von Böden und Pflanzen sind von sehr komplexer Natur und erst wenig erforscht.

Die vom Straßenverkehr verursachten Emissionen werden durch zunehmende Fahrleistungen nicht nur beim Pkw-, sondern auch beim Lkw-Verkehr immer mehr zu einem bestimmenden Faktor für die Beeinträchtigung der Luftqualität (UBA 1988) und somit auch der Qualität von Böden und Pflanzen insbesondere in Straßennähe.

Der Pkw-Bestand erhöhte sich im alten Bundesgebiet von 23,2 (1980) auf 30,7 Millionen (1990). Dies ergibt eine jährliche Zunahme von 3 bis 4 % (UBA 1992). Die Antriebskonzepte setzten sich 1989 zu 60 % aus konventionellen, 8 % aus bedingt schadstoffarmen Ottomotoren, zu 20 % aus Ottomotoren mit Katalysator und zu 12 % aus Dieselmotoren zusammen.

Der Lkw-Bestand änderte sich nur wenig, doch der Anteil der Sattelzugmaschinen stieg seit 1985 um jährlich 4,5 %. Lkws sind aufgrund ihrer leistungsstarken Motoren überproportional an den kfz-bedingten Emissionen (z.B. bis zu 75 % der Rußpartikel) beteiligt.

In den neuen Bundesländern erhöhte sich der Pkw-Bestand von 2,7 (1980) auf 3,9 Millionen (1989). Dies entspricht einer jährlichen Zunahme um 4 bis 5 %. Der Lkw-Bestand blieb konstant bei 0,24 Millionen (1990).

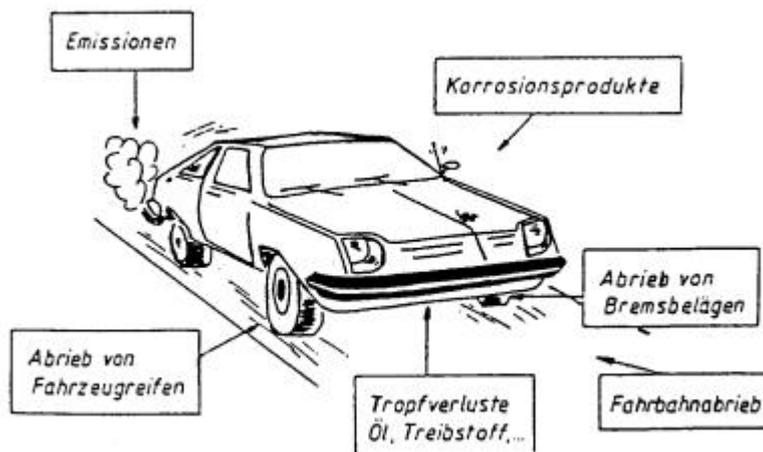
Zusammen mit der starken Zunahme der Verkehrsleistungen (Multiplikation der Fahrstrecke und der Zahl der Personen bzw. Tonnen) werden technische Verbesserungen der Verbrennungsmotoren bezüglich ihrer Emissionen zum großen Teil kompensiert. Dazu trägt auch neben dem Anstieg der Fahrleistungen entscheidend die kontinuierliche Erhöhung der durchschnittlichen Geschwindigkeit bei.

Im Gegensatz zu anderen Verkehrsträgern (Bahn, Schiff), stieg auch die Anzahl der Gefahrguttransporte (1989: 46,4 Millionen Tonnen).

Prognosen der zukünftigen Verkehrsentwicklung (Platzmann 1986) weisen auf eine dominierende Rolle des Individualverkehrs über das Jahr 2000 hinaus. Verkehrsbeeinflussende Maßnahmen und technische Verbesserungen an Motoren müssen zu einer drastischen Reduzierung der Umweltbelastungen führen.

In Übersichten zeigen Abb.1 (Muschak 1988) und Tab.1 (Lichtenthäler und Reutter 1987) potentielle Quellen und Bedeutung kfz-bedingter Emissionen.

**Abb.1: Potentielle Emissionsquellen von Kraftfahrzeugen (Muschak 1988):**



Neben den 'klassischen' Schadgasen wie Kohlenmonoxid, -dioxid, Stickoxide und Schwefeldioxid, stand zunächst der Bleiausstoß im Mittelpunkt der Untersuchungen. Während die Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen und Dieselrußpartikeln von 1985 bis 1990 etwa konstant blieben (1250 bzw. 65 kt/Jahr), sanken die Bleiemissionen im gleichen Zeitraum um etwa 50 % (1989: 1,7 kt/a).

Seit 1923 enthält Kfz-Benzin organische Bleiverbindungen als Antiklopffmittel (UBA 1976). Ein mit Pb-haltigem Kraftstoff betriebenes Kfz emittiert durchschnittlich 10 mg Pb/Fahrkilometer. Die überwiegend partikelförmigen Immissionen führen zu einer Akkumulation in der nächsten Umgebung von Straßen. Etwa 50 bis 75 % des im Benzin enthaltenen Bleis gelangt mit den Auspuffabgasen in die Atmosphäre (maximal 0,15 g Pb/l Ottokraftstoff, vor 1972 0,99 g/l); davon etwa 75 % als Feinstaub. Der Anteil unverbleiter Kraftstoffe lag 1991 bei rund 75 % (UBA 1992).

Im Abgas von Pkw mit verbleitem Normalbenzin konnten 150 verschiedene polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) qualitativ erfaßt und 73 identifiziert werden (Grimmer et al. 1977). Jüngere Untersuchungen verweisen auf die Emission von Nitro-PAK (Fiedler und Mücke 1990). Dieselmotoren emittieren größere Mengen als Ottomotoren, wobei zusätzlich die Wirkung eines Katalysators bei Ottomotoren deutlich geringere Emissionen (im Mittel 94 %) verursacht (Schürmann et al. 1989).

Im Gegensatz zu verkehrsfernen Standorten korrelierte der Bleigehalt mit den PAK, insbesondere mit Benzo(a)pyren, in der Straßenluft (Heinrich und Güsten 1978). Nach Muschak (1989) gelangen in Abhängigkeit von der Verkehrsbelastung 1,5 bis 18 g PAK/ha und Jahr durch den Straßenabfluß in Oberflächengewässer. Für das Straßennetz der alten Bundesländer (etwa 1,2 Millionen ha) wurde eine Fracht von 6000 kg/Jahr errechnet (UBA 1986). Die PAK-Emissionen sind überwiegend vom Kraftstoff-Luft-Verhältnis bei der Verbrennung und Aromatenanteil im Kraftstoff abhängig (UBA 1979).

Neben den PAK werden durch Abgase eine Reihe anderer Kohlenwasserstoffe emittiert (vgl. Dulson 1986). Die Emissionen von monozyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen, z.B. Benzol (Schürmann et al. 1989) und Phenole (Candeli et al. 1977), lassen trotz z.T. relativ hoher Flüchtigkeit eine Anreicherung in Straßennähe vermuten. Bei einem mittleren Emissionsfaktor von 2,35 g Benzol/kg Kraftstoff (UBA 1982) resultierte bei einem Kraftstoffverbrauch 1981 von 22,3 Millionen t eine Emission von etwa 50.000 t Benzol über den Auspuff von Pkw mit Ottomotoren.

Die partikelförmigen Emissionen zeigen generell für Dieselmotoren einen deutlich höheren Ausstoß als bei Ottomotoren (Schürmann et al. 1989).

Sowohl Schwermetalle (vgl. Zehringer et al. 1989) als auch PAK (vgl. Israel et al. 1986) besitzen grundsätzlich ihre maximalen Konzentrationen in den Stäuben der Korngröße  $<0,5 \mu\text{m}$ . Neben der Belastung der Straßenränder ist deshalb auch ein Ferntransport dieser Stoffe gegeben (Mayer 1984).

Neben den Abgasen verursachen insbesondere Abrieb, Tropfverluste und Korrosion unterschiedlich intensive Immissionen (Abb.1 und Tab.1) von organischen Stoffen und Schwermetallen (vgl. Krauth 1979).

Der Reifenabrieb beträgt je Kilometer Straßenlänge und 1000 Kfz etwa 0,12 kg/Jahr (Brunner 1975). Neben einer Reihe schwer abbaubarer organischer Stoffe (vgl. Schönberger 1990) sind besonders Zink (Gehalt maximal 3 %) und Cadmium umweltrelevant.

Durch den Abrieb von Bremsbelägen werden die Schwermetalle Nickel, Chrom und besonders Kupfer emittiert. Nach Schätzungen fällt etwa 0,8 kg Bremsbelagabrieb je Straßenkilometer und 50.000 Kfz an (Lux 1986 zit. in Schönberger 1990).

Emissionen durch Straßenabrieb sind abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit der Fahrbahn. Beton kann Blei- und Zinkgehalte von jeweils 400 bis 500 mg/kg aufweisen; Asphalt kann Nickelgehalte  $>1000 \text{ mg/kg}$  und Chromkonzentrationen  $>300 \text{ mg/kg}$  enthalten. Straßenabrieb von teerasphalthaltigen Belägen führt zur Emission von ein- und mehrkernigen aromatischen Kohlenwasserstoffen, besonders PAK (Waibel 1976, Korte et al. 1987). Steinkohleteer wird seit etwa 80 Jahren im Straßenbau verwendet (Collin und Köhler 1977).

Im Zusammenhang mit den Emissionsfrachten infolge Fahrbahnabrieb ist die Verwertung von Kraftwerks- und Müllverbrennungsschlacken, beispielsweise als Füllstoff im Bitumen für den Straßenbau (6 bis 18 % Gewichtsanteil), als problematisch anzusehen (vgl. Hachen 1985).

Nach Muschak (1988) beträgt der Fahrbahnabrieb bei Bundesstraßen und Autobahnen 0,8 bzw. 1,0 mm/Jahr. Dadurch errechnen sich Frachten von etwa 13 bis 17 t/ha Straße und Jahr.

Infolge Korrosion in Abhängigkeit von Lack und Stahllegierung können Cadmium, Zink und Kupfer emittiert werden (Gäth et al. 1990).

Durch Tropfverluste können Bremsflüssigkeit, Frostschutzmittel, Kraftstoffe und besonders Getriebe- und Motorenöle in die straßennahe Umwelt gelangen.

Mineralöle setzen sich hauptsächlich aus aliphatischen, zykoaliphatischen und aromatischen Kohlenwasserstoffen zusammen (Steinhäuser et al. 1989). Nach Muschak (1988) gelangen etwa 5 bis 40 kg mineralöhlhaltige Produkte pro ha und Jahr in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen über die Straßenentwässerung in die Kanalisation.

Altöle können bis zu 160 mg/kg PCB enthalten (Kuhlmann 1985), im Mittel ist mit einer Belastung von etwa 10 mg/kg zu rechnen (Schönberger 1990).

Im Mittelpunkt der Untersuchungen standen die polychlorierten Dibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane (PCDD/F). Für diese Stoffgruppe kommen mehrere Quellen, verursacht durch den Kfz-Verkehr, in Frage.

Bei unvollständiger Verbrennung entstehen unter Beteiligung halogener Verbindungen Dibenzodioxine und Dibenzofurane. Durch den Zusatz von 1,2-Dichlorethan und 1,2-Dibromethan bzw. gemischthalogeniertem 1,2-Br,Cl-Ethan (Scavenger) in bleihaltigen Kraftstoffen sind PCDD/F-Anreicherungen in straßennahen Böden und Pflanzen zu erwarten (vgl. LfU 1989).

Ottomotoren mit verbleitem Benzin emittieren etwa 1 ng PCDD/F (TE BGA) je Liter verbrauchtem Kraftstoff; Diesel- und Ottomotoren mit bleifreiem Kraftstoff liegen um eine Größenordnung darunter. Die geringsten Mengen (im Mittel 0,02 ng TE/l) wurden bei Ottomotoren mit Katalysator gemessen (Schwind et al. 1991).

Für die alten Bundesländer errechneten sich Frachten für das Jahr 1990 von etwa 13 (dto., TE BGA) bis 22 g TE/Jahr (Fiedler et al. 1991, ITEF).

Im Zuge der 19. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Chlor- und Bromverbindungen als Kraftstoffzusatz - 19.BImSchV 1992), die Mitte Juni 1992 in Kraft trat, wird mit einer deutlichen Verminderung des PCDD/F-Eintrages durch Kfz-Abgase zu rechnen sein.

Nicht zu vernachlässigen sind die gemischthalogenierten und bromierten Dioxine und Furane, welche mengenmäßig weitaus stärker emittiert werden (zusammenfassende Literatur bis 1989 in Bröker et al. 1990, Hagenmaier 1989, neuere Untersuchungen in Hagenmaier et al. 1990 und Schwind et al. 1991, Hutzinger et al. 1992).

Hutzinger et al. (1992) konnten zwar in einer Bodenprobe an einer verkehrsreichen Straße bromierte und gemischthalogenierte PHDD/F nachweisen, doch lagen dort die Anteile der chlorierten Dioxine bei etwa 90 % und der chlorierten Furane bei 20 %. Die Autoren vermuten eine leichtere Dehalogenierung oder einen rascheren biologischen Abbau. Die gemischthalogenierten und bromierten (vermutlich auch nitrierten) Dioxine und Furane konnten in der vorliegenden Untersuchung keine Berücksichtigung finden. Weitere Untersuchungen sind hier notwendig.

Zusätzliche PCDD/F-Quellen können Reifenabrieb (Rippen et al. 1992), Motorenöle (vgl. Kuhlmann 1985, UBA 1986, Rotard et al. 1987, Christmann et al. 1987) sowie Unfälle mit Brandfolge (vgl. Thompson et al. 1990, Fiedler et al. 1991, Jager et al. 1992) sein.

Transportunfälle, Verluste durch Leckagen, Abrieb durch Bremsvorgänge, Fahrbahnabrieb (Verwertung von Kraftwerks- und Müllverbrennungsschlacken) und die Verwendung von

Herbiziden in der Vergangenheit müssen auch als mögliche Quellen in Betracht gezogen werden.

Tab.1 Quellen für kfz-spezifische Emissionen und ihre Ausbreitung in straßennahen Böden (aus: Lichtenthäler und Reutter 1987)

Stoffgruppe	Herkunft	Bedeutung als Seitenstreifen-Altlast	Gefahr für die Menschen als Seitenstreifen-Altlast	Reichweite der Belastung
Salze (NaCl)	Streusalz, Fahrbahnabrieb	ja (Natrium)	Trinkwasser- versalzung	bis 20 m
Asbest	Bremsbeläge	nein	nein	bedeutungslos
Kautschuk	Reifenabrieb	nein	nein	bedeutungslos
Ruß/Staub	Reifenabrieb, Kraftstoffverbrennung, Fahrbahnabrieb, Hintergrunddeposition	indirekt (transportiert Schwermetalle und PAKs)	indirekt	bis 220 m
Kohlenmonoxid (CO)	Kraftstoffverbrennung Hintergrunddeposition	nein	nein	bedeutungslos
Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )	Kraftstoffverbrennung, Hintergrunddeposition	nein	nein	bedeutungslos
Benzin	Tropfverluste	indirekt (enthält Blei und Benzol)	nein	bedeutungslos
Frostschutzmittel	Tropfverluste	nein	nein	bedeutungslos
Öle	Tropfverluste, Unfälle	ja	ja	keine Angaben
organische Zinkverbindungen	Öladditiv	?	?	keine Angaben
organische Phosphate	Öladditiv	bedingt	?	keine Angaben
Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> )	Kraftstoffverbrennung (Diesel) Hintergrunddeposition	direkt und über den Sauren Regen	nein	bis 20 m
Stickoxide (NO <sub>x</sub> )	Kraftstoffverbrennung Hintergrunddeposition	direkt und über den Sauren Regen	nein	bis 20 m
Benzol	Kraftstoffverbrennung	?	ja	bis 20 m
Phenol	Kraftstoffverbrennung	?	?	bis 20 m
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAKs)	Kraftstoffverbrennung Fahrbahnabrieb	ja	ja	bis 50 m
Schwermetalle Kupfer	Bremsbeläge, Reifenabrieb, Altöl	ja	nein	bedeutungslos
Zink	Reifenabrieb	ja	nein	bedeutungslos
Nickel	Bremsbeläge, Reifenabrieb, Altöl	ja	nein	bedeutungslos
Chrom	Bremsbeläge, Reifenabrieb, Altöl	ja	höchstwahrscheinlich	keine Angaben
Cadmium	Reifenabrieb, Kraftstoffverbrennung (Diesel)	ja	ja	bis 40 m
Blei	Kraftstoffverbrennung, (Benzin), Tropfverlust (Benzin), Bremsbeläge, Reifenabrieb, Altöl	ja	ja	bis 220 m

## 3 Material und Methoden

Insgesamt wurden 10 Standorte (inklusive 2 Gehölzstandorte) an gering bis sehr stark befahrenen Straßen beidseitig untersucht (Kap.4). Dabei gelangten 149 Boden-, 8 Schwemmaterial- und 54 Aufwuchsproben zur Analytik.

### 3.1 Arbeitsmethoden

Nach einer vorbereitenden Auswertung wurden zunächst folgende Stoffe bzw. Stoffgruppen als relevant erachtet:

**Schwermetalle:** Blei (Pb), Cadmium (Cd), Zink (Zn), Kupfer Cu), Chrom (Cr), Nickel (Ni)

**Organika:** Mineralöl-Kohlenwasserstoffe (C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>), BTX - aromaten, Phenole, Chlorbenzole (PCBz), Chlorphenole (PCPh), polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), polychlorierte Biphenyle (PCB), polychlorierte Dibenzopdioxine und polychlorierte Dibenzofurane (PCDD/F)

Aufgrund der Ergebnisse der 1.Projektphase konnte im 2.Abschnitt jedoch auf die Analytik von Chlorbenzolen, Chlorphenolen und Phenolen summarisch verzichtet werden.

Die Untersuchungen der Boden-, Schwemmaterial- und Aufwuchsproben wurde in eine **Vor-**(Screening) und eine **Hauptuntersuchung** unterteilt.

Die Voruntersuchung hatte eine Analytik nach folgenden Stoffen bzw. Stoffgruppen zum Inhalt:

**Schwermetalle:** Pb und Cd

**Organika:** C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> summarisch, 6 repräsentative PAK nach der Trinkwasserverordnung (TVO): Fluoranthen (Fa), Benzo(b)fluoranthen (Bbfa), Benzo(k)fluoranthen (Bkfa), Benzo(a)pyren (Bap), Indeno(1,2,3-cd)pyren (Ip) und Benzo(ghi)perylen (Bghip)

**Bodenkennwerte:** pH-Wert, Gehalt an organischem Kohlenstoff (Humusgehalt), Bodenart und Rohdichte

Während die Voruntersuchung an beiden Fahrbahnseiten der Straßenstandorte vorgenommen wurde, erfolgte die Hauptuntersuchung an ausgewählten Proben in Abhängigkeit zur Voruntersuchung an derjenigen Fahrbahnseite, die unter Einfluß der Hauptwindrichtung stand.

Die physikochemischen Bodenparameter, ebenso die CnHm, beeinflussen das Ad- und Desorptionsvermögen von Stoffgehalten in Böden.

Obwohl der Schwerpunkt der Untersuchungen bei den Organika lag, wurden die Proben auch nach bereits bekannten verkehrsspezifischen Schwermetallen analysiert. Diese dienten, wie auch die CnHm und PAK, als Leitparameter eines Screenings für die wenig bekannten organischen Fremdstoffe in straßennahen Böden, Schwemmaterial und Aufwuchs.

Die **Bodenproben** (0-5 und 0-10 cm Tiefe) wurden als Mischprobe, bestehend aus 8 Einzelproben, parallel zur Fahrbahn in verschiedenen Abständen bis 100 m Entfernung mittels Stechzylinder gezogen. Sie wurden in 0.1, 1.0, 2.5, 5.0, 10, 25, 50 und 100 m

Entfernung zur Fahrbahn entnommen. In dichten Glasbehältern wurden diese umgehend an das Labor weitergeleitet.

In der 1. Projektphase wurden an einer stark befahrenen Bundesautobahn bis 10 m Entfernung **Profilproben** bis maximal 50 cm Tiefe entnommen. Die Beprobung erfolgte durch Aufgrabung der sehr steinhaltigen Straßenböschung und mit einer Bestimmung der Bodenhorizonte bzw. Bodenformen (BKK3 1982).

Unterschiede der 1. Projektphase (Beprobungstermin März/April 1990) zu den anschließenden Untersuchungen (September/Oktober 1991) bestanden darin, daß die Oberböden in der 2. Phase in

0-10 cm Tiefe beprobt wurden, ein weiterer in der ergänzenden Untersuchung von Aufwuchsproben.

Zum Vergleich von 0-5 und 0-10 cm Bodentiefe wurden in der 2. Projektphase an Standorten der 1. Phase Böden in verschiedenen Fahrbahnabständen bei unterschiedlichem Verkehrsaufkommen doppelt beprobt und analysiert.

Weiterhin wurde **Schwemmaterial** (Straßensediment) vom Fahrbahnrand beprobt. Das Schwemmaterial wird ungleichmäßig bis maximal 10 cm mit einer Mächtigkeit von wenigen mm bis maximal 3 cm am Straßenrand sedimentiert (Abwaschung von Immissionen von der Fahrbahn und Erosion der straßennahen Böden).

**Grünlandaufwuchs** (Gräser) wurde an stark befahrenen Straßenstandorten in 2.5, 5.0, 10, 25, 50 und 100 m Entfernung parallel zur Fahrbahn geerntet. Die Ernte erfolgte im Oktober 1991 als Mischprobe einer Fläche von 0,5 x 40 m.

An 2 Standorten stark befahrener Straßen wurden in der 2. Projektphase Boden- und Aufwuchsproben vor (2.5 m Fahrbahnabstand) und hinter **Gehölzstreifen** (10 und 25 m Fahrbahnabstand) entnommen.

An einem Standort wurde der Gehölzstreifen in 50, 100, 150 und 200 cm Höhe (Hainbuchenhecke, *Carpinus betulus*) im Abstand von 2.5 bis 3 m zur Fahrbahn im August und Oktober 1991 beprobt und auf Schwermetalle analysiert.

Die Pflanzenproben wurden am gleichen Tag nach der Ernte bei 35°C angetrocknet, danach sofort an das Labor weitergeleitet.

## 3.2 Chemische Untersuchungsmethoden

Die chemischen Analysen wurden vom Institut Fresenius, Labor Stockach-Wahlwies, durchgeführt. Kontaktpersonen und verantwortlich für die Analytik waren Dr. K.Staiger und Dr. H.J. König.

Die Analytik der Böden und des Schwemmaterials erfolgte in der Kornfraktion < 2 mm, die Aufwuchsproben wurden zerkleinert. Die Ergebnisse beziehen sich auf die Trockensubstanz. Bei der Verwendung der originalfeuchten Probe zur Analyse wurde der Wassergehalt gemäß DIN 38414, Teil 2 bestimmt.

### **pH-Wert:**

Bestimmung in 0,01 m Calciumchlorid-Lösung in Anlehnung an DIN 19684, Teil 1

### **Organischer Kohlenstoff- bzw. Humusgehalt:**

Bestimmung in 2 n Kaliumdichromat-Lösung versetzt mit konzentrierter Schwefelsäure nach DIN 19684, Teil 2

### **Schwermetalle:**

Boden und Schwemmaterial: Aufschluß gemäß DIN 38414, Teil 7 mit Königswasser und Analyse gemäß DIN 38406, Teil 22 mittels Atomemissionspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES) zur Bestimmung von Pb, Cd, Zn, Cu, Cr und Ni

Aufwuchs: Aufschluß durch Mikrowellengerät in konzentrierter hochreiner Salpetersäure im Teflondruckgefäß und Analyse gemäß DIN 38406, Teil 22

### **Mineralöl-Kohlenwasserstoffe:**

Summe der Kohlenwasserstoffe in Anlehnung an DIN 38409, Teil 18 nach Extraktion mittels Infrarot-Spektroskopie

### **Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe:**

Boden und Schwemmaterial: originalfeuchte Probe mit 5 g Natriumsulfat getrocknet, Zugabe von 2-Butanol, versetzt mit internem Standard und anschließender Behandlung im Ultraschallbad; 8 h schütteln, dann Zentrifugieren und Filtration; Analyse mittels hochauflösender Flüssigchromatographie (HPLC)

Aufwuchs: Extraktion 4 h mit 200 ml Cyclohexan, mit Natriumsulfat getrocknet; Einengung und anschließende Aufnahme mit Acetonitril; Analyse mittels HPLC

**Phenole:**

Bestimmung des Phenol-Index in Anlehnung an DIN 38409, Teil 16

**BTX-Aromaten:**

Extraktion mit 20 ml eiskaltem Pentan in originalfeuchter Probe und 30 ml Aqua dest.; Trennung der organischen und wässrigen Phase; Analyse mittels Kapillar-Gaschromatographie mit Flammenionisationsdetektor (FID)

**Polychlorierte Biphenyle:**

Bestimmung in Anlehnung an DIN 51527, Teil 1 in Soxhlet Extraktion mit 20 ml Hexan und Analyse mittels Kapillar-Gaschromatographie mit Elektroneneinfangdetektor (GC/ECD)

**Chlorbenzole und Chlorphenole:**

Trocknung der originalfeuchten Probe mit Natriumsulfat und Extraktion im Soxhlet mit 20 ml n-Hexan; anschließend Einengung des Extraktes auf 2 ml Chlorbenzole: Analyse mittels Gaschromatographie mit Elektroneneinfangdetektor Chlorphenole: Extrakt mit 1 ml Acetylierungsreagenz versetzen; nach Abkühlung Zugabe von 20 ml 10%-iger Natriumcarbonat-Lösung; Abtrennung der überstehenden Phase und Analyse mittels Gaschromatographie

**Polychlorierte Dibenzopdioxine und Dibenzofurane:**

Homogenisierte, originalfeuchte und gefriergetrocknete Probe wird mit Standards versetzt und mit Toluol im Soxhlet extrahiert (18 h); der Rohextrakt wird mehreren Clean-up-Schritten unterzogen, bevor PCDD und PCDF mittels Gaschromatographie-Massenspektrometrie über interne Standards quantifiziert werden

## 4 Standorte

Während der 1. Projektphase wurden die folgenden 6 Straßenstandorte im Regierungsbezirk Freiburg untersucht (**Karte 1**):

- Bundesstraße B 3 zwischen Appenweier und Offenburg **(1)**
- Landesstraße L 99 zwischen Schutterwald und Dundenheim **(2)**
- Kreisstraße K 5326 zwischen Ortenberg und Zunsweier **(3)**
- Bundesautobahn BAB A 5 zwischen Offenburg und Lahr **(4)**
- Bundesstraße B 31a zwischen Umkirch und Freiburg **(5)**
- Bundesstraße B 3 zwischen Freiburg und Bad Krozingen **(6)**

Im folgenden werden die Kriterien der Standortauswahl zusammenfassend genannt:

1. Verkehrsaufkommen und -entwicklung
2. Straßenalter >25 Jahre
3. keine straßenbaulichen Maßnahmen in den letzten 10 Jahren
4. keine Standorte gravierender Unfälle mit Bodenkontamination
5. keine Standorte überdurchschnittlich häufiger Staus
6. weitgehend ebene Straßenführung auf Dämmen (Straßenrandrelief)
7. Grünlandnutzung vom Straßenbankett bis in >100 m Entfernung
8. vergleichbare Bodenformen
9. keine Überlappung mit anderen Emittenten
10. Befragung über Herbizideinsätze im Straßenbankett
11. Pflege des Straßenbegleitgrüns und Grünlandnutzung
12. Standorte ohne Gehölzpflanzungen auf beiden Fahrbahnseiten mit freier Ausbreitungsmöglichkeit
13. Standorte mit älteren Gehölzpflanzungen zum Vergleich

**Karte 1: Straßenstandorte der 1. Projektphase 1 bis 6**  
**Maßstab 1 : 500.000**  
**(Übersichtskarte Baden-Württemberg, 1990):**

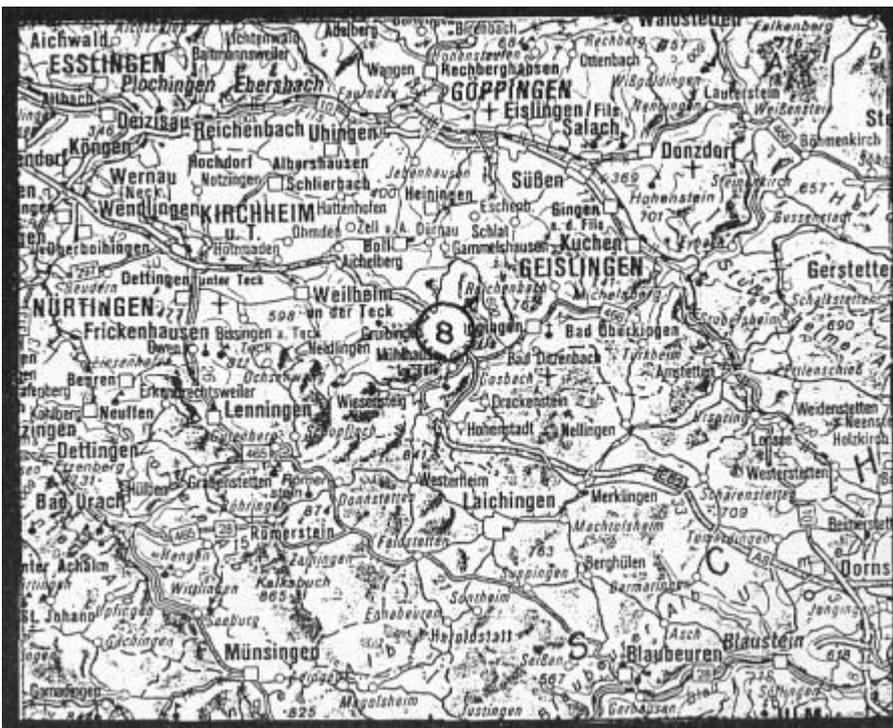


In der Fortsetzungsphase des Projektes wurden sehr stark befahrene Straßen auch außerhalb des Regierungsbezirks Freiburg hinzugezogen:

Karte 2 und 3: Straßenstandorte der 2. Projektphase 7 und 8  
 Maßstab 1 : 500.000  
 (Übersichtskarte Baden-Württemberg, 1990):



- Bundesautobahn BAB A 5 zwischen Weinheim und Heidelberg (7)



- Bundesautobahn BAB A 8 zwischen Gröningen und Mühlhausen (8)

Als Grundlage dienten die Karten der Verkehrsstärken 1975, 1980, 1985 und 1990 (Straßenbauverwaltung Baden-Württemberg). Die BAB-Teilstrecken mit den höchsten Verkehrsaufkommen befinden sich an der Peripherie der Verdichtungsräume Stuttgart (Maximum 80.000 Kfz/Tag im Jahresdurchschnitt), Karlsruhe (75.000 Kfz/Tag) und Rhein-Neckar (60.000 Kfz/Tag). Aufgrund der drastischen Zunahme des Straßenverkehrsaufkommens wurden gerade in den genannten Ballungszentren häufig straßenbauliche Maßnahmen, Neubauten und Erweiterungen vorgenommen. Die o.g. Kriterien wurden dort i.d.R. nicht erfüllt.

Zur Ermittlung der Maximalbelastung wurden grundsätzlich Standorte mit freier Ausbreitungsmöglichkeit der Kfz-Emissionen gewählt. An den Standorten der BAB 5 bei Heidelberg (BAB 5 HD) und der BAB 5 bei Offenburg (BAB 5 OG) wurden außerdem die Auswirkungen von Gehölzstreifen am Straßenrand in unmittelbarer Nähe der Standorte mit freier Ausbreitungsmöglichkeit untersucht. An Gehölzen wurden überwiegend Ahornarten, Hainbuchen, Buchen, Hasel und Holunder angetroffen. Die Gehölzstreifen erstrecken sich über eine Länge von etwa 400 m und sind durchschnittlich ca. 5 m hoch und 6 m breit (Bild 1).

**Bild 1: Straßenrandgehölze an der BAB 5 zwischen Weinheim und Heidelberg (65.000 Kfz/Tag 1990):**



Die Ablagerungen des Schwemmmaterials finden häufig an optisch kaum feststellbaren Vertiefungen des Fahrbahnrandes (Unebenheiten) statt, wo sich nach Niederschlägen Pfützen bilden. Dies führt zu einem Wechsel von Staunässe und starker Austrocknung, bzw. aerober und anaerober Bedingungen, was wiederum einen Wechsel des chemisch-physikalischen Milieus bedeutet.

In Tab.2 und den Abb.2a und 2b wird die Entwicklung des durchschnittlichen täglichen Verkehrsaufkommens (DTV, Kfz/Tag) von 1975 bis 1990 deutlich.

Bemerkenswert sind die unterschiedlichen Maxima des Gesamt- und des Schwerverkehrsaufkommens. Die BAB 5 OG und vor allem die BAB 8 weisen zum Teil fast doppelt so hohe

Schwerverkehrsaufkommen auf als die B 31a und BAB 5 HD, trotz höherer Gesamtverkehrsaufkommen. Dies kann sich unter Umständen bei bestimmten Immissionen im straßennahen Bereich bemerkbar machen.

Neben dem entscheidenden Faktor 'Verkehrsaufkommen', können die Beschaffenheit der Straßenoberfläche (Fahrbahnabrieb) und besonders das Trassenalter eine entscheidende Rolle bei verkehrsbedingten Immissionen und deren Akkumulation im straßennahen Bereich spielen (Tab.3).

Auf den Seiten 22 bis 25 erfolgt eine naturräumliche Charakterisierung der untersuchten Standorte.

**Tab. 2: Entwicklung des durchschnittlichen täglichen Verkehrsaufkommens (DTV) der untersuchten Straßenstandorte:**

<b>Strassenstandort</b>	<b>1975 <sup>1)</sup></b>	<b>1980 <sup>1)</sup></b>	<b>1985 <sup>1)</sup></b>	<b>1990 <sup>1)</sup></b>
<b>L 99</b>	724	850	1137	1283
	1,8	3,9	2,1	2,1
<b>K 5326</b>	3363	3859	4024	5233
	3,5	6,4	3,1	3,9
<b>B 3 FR</b>	11000	13000	13000	16000
	4,1	3,7	3,7	3,0
<b>B 3 OG</b>	11179	13457	14985	18004
	8,9	6,5	6,2	8,3
<b>BAB 5 OG*</b>	24225	33863	42937	49666
	11,0	12,8	13,7	13,5
<b>BAB 8</b>	33579	39102	42067	49994
	18,0	13,5	13,3	14,5
<b>B 31a</b>	273678	41909	49543	55738
	6,6	8,6	5,1	5,2
<b>BAB 5 HD* #</b>	38701	47546	55855	64924
	8,0	9,4	8,3	8,7

<sup>1)</sup> **Kfz / Tag (DTV) mit Schwerkraftanteil**

\* jeweils zusätzlicher Standort zur Untersuchung der Auswirkung von Gehölzstreifen auf straßennahe Immissionen in Böden und Aufwuchs

# Untersuchung eines Straßenrandgehölzes

Tab. 3: Straßenstandorte - Trassenalter und Beschaffenheit der Fahrbahnoberfläche

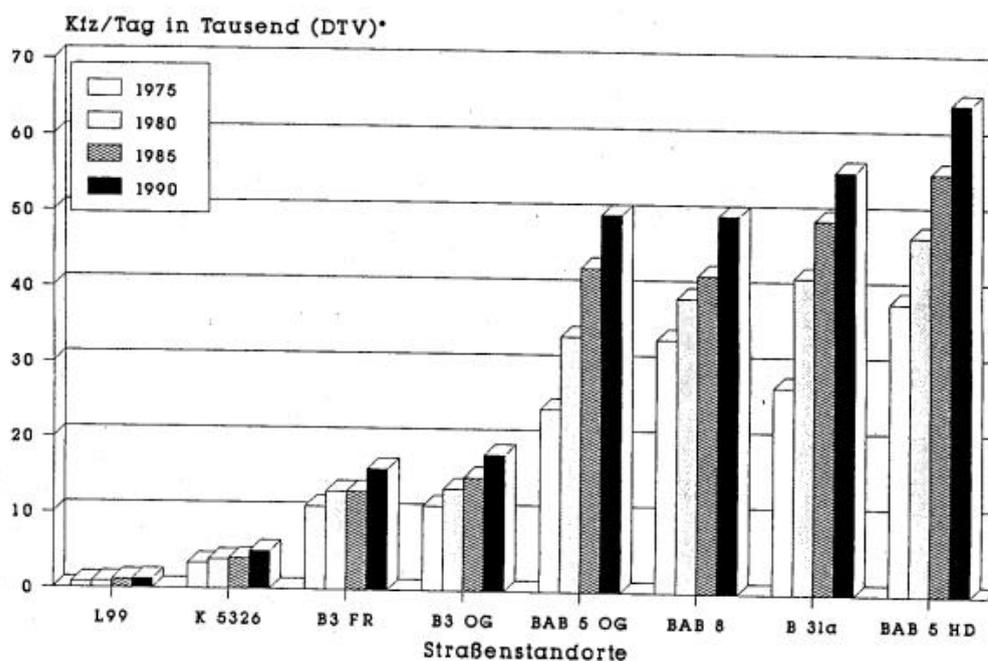
Strassenstandort	Strassenoberflächenbeschaffenheit	Trassenalter (Jahre) Bankett*	Trassenalter (Jahre) Vorläufer*
L 99	Asphalt***	ca. 60	-
K 5326	Asphaltbeton***	ca. 60	-
B 3 FR	Asphaltbeton***	ca. 60	-
B 3 OG	Asphaltbeton***	ca. 60	-
BAB 5 OG*	Beton	32	55
BAB 8	Beton	55	-
B 31a	Beton	25	ca. 50
BAB 5 HD* #	Beton	25	-

\* Straßenbankett: Dammvariante i.A. bis ca. 10 m Entfernung zur Fahrbahn kann unter Umständen im Laufe der Jahrzehnte Veränderungen unterworfen worden sein (unbekannt). Beispiel BAB 5 OG

\*\* Vorläufertrasse: Bei BAB 5 OG und B 31a existierten vor heutiger Straßenführung Verkehrswege; die Bankette wurden neu aufgeschüttet bzw. erweitert. Möglicher Einfluß auf Stoffkonzentrationen >10 m Fahrbahnabstand.

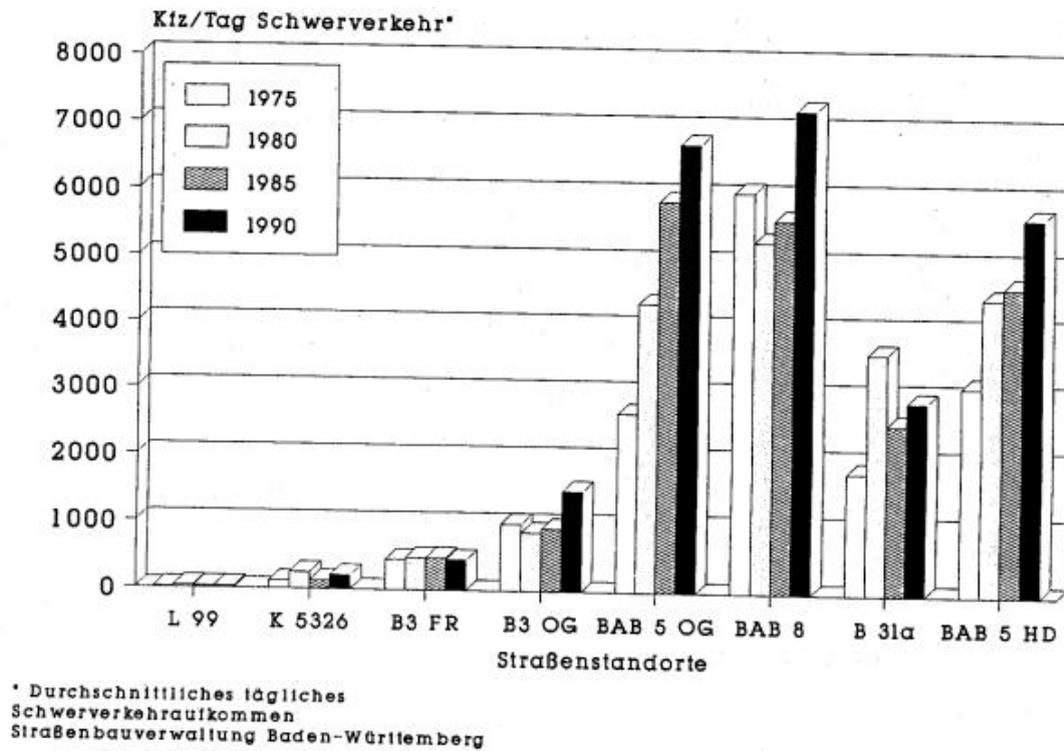
\*\*\* Asphalt und Bitumenanteil kann variieren; bei L 99-beton: vermutlich in früheren Jahrzehnten sehr hoch (Steinkohlenteer).

Abb. 2a: Entwicklung des Verkehrsaufkommens der untersuchten Straßenstandorte:



\*Durchschnittliches tägliches Verkehrsaufkommen  
Straßenbauverwaltung Baden-Württemberg

Abb. 2b: Entwicklung des Schwerverkehrsaufkommens der untersuchten Straßenstandorte:



① B 3 06

Bundesstraße B3 zwischen Appenweier und Offenburg

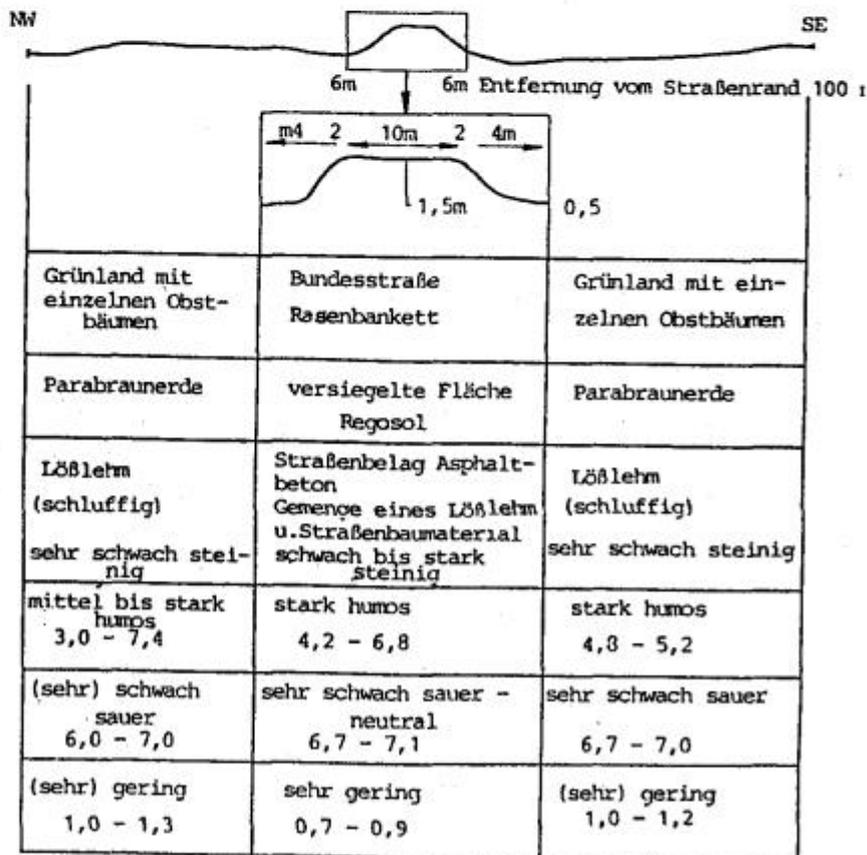
- Standortbeschreibung -

Lage/Relief Naturraum: Mittleres Oberrhein-Tiäfland  
Offenburger Rheinebene - Übergang Ortenau-Bühler Vorberge

Höhenlage: 155 m ü NN  
Exposition: NW/SE r 34 24 15  
Straßenstandort: Station 1,3 VNK 74 130 40 h 53 77 00  
NNK 74 130 23

Klima Jahresmitteltemperatur : 9 - 10°C  
" " " in Vegetationsperiode : 16 - 17°C  
mittlere Anzahl der Tage/Jahr > 10°C : 170 - 180 Tage  
mittlere Niederschlagssumme/Jahr : 850 - 900 mm  
mittlere Häufigkeit der Windrichtungen/Jahr :  
21% SW  
7 - 19% W  
8 - 13% NE  
6 - 11% E  
je 7% NW/SE  
Windstille : 13 - 17%

BUNDESSTRASSE B3  
ZWISCHEN APPENWEIER  
UND OFFENBURG

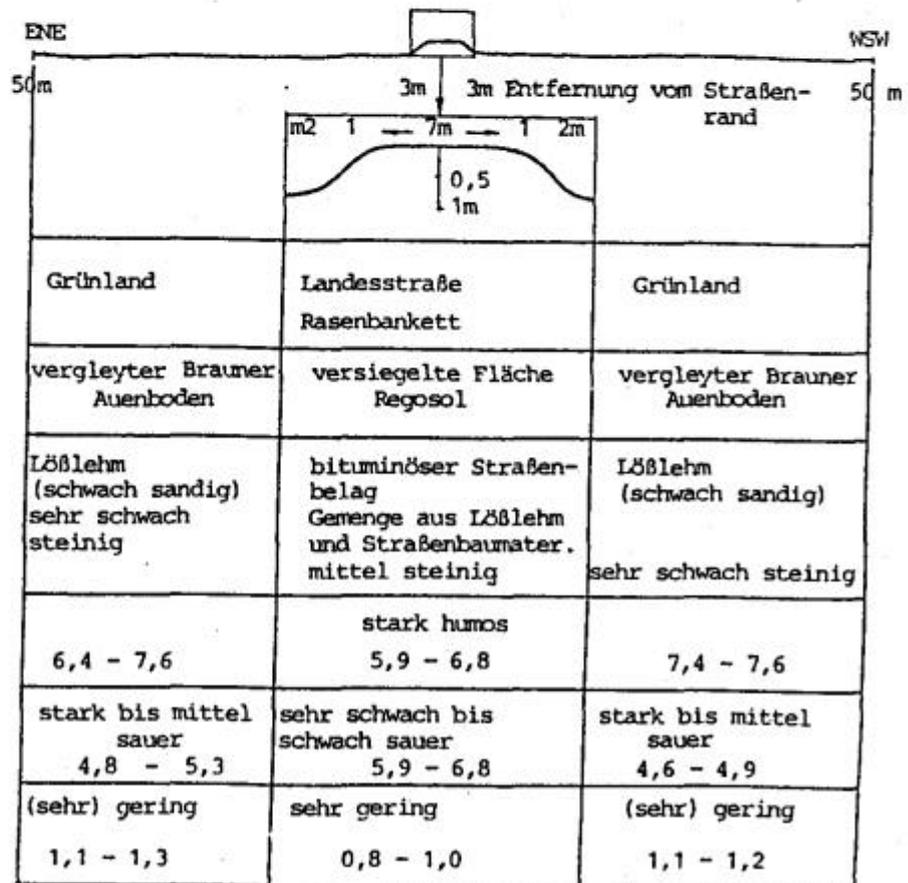


② L 99

Landesstraße L99 zwischen Schutterwald-Höfen und Dundenheim  
 - Standortbeschreibung -

Lage/ Relief	Naturraum:	Mittleres Oberrheintiefland Offenburger Rheinebene		
	Höhe:	147m über NN		
Klima	Exposition:	ENE/WSW		
	Straßenstandort:	Station 4,4	VNK 75 13 045	r 34 14 85
			NNK 75 12 004	h 53 68 55
	Jahresmitteltemperatur:		9-10°C	
" in Vegetationsperiode:		16-17°C		
	mittlere Anzahl der Tage/Jahr >10°C:		170-180 Tage	
	mittlere Niederschlagssumme/Jahr:		750-800mm	
	mittlere Häufigkeit der Windrichtungen/Jahr			21% SW 7-19% W 8-13 NE 6-11% E
	Windstille:			13-17%

LANDESSTRASSE L 99  
 ZWISCHEN SCHUTTER-  
 WALD-HÖFEN UND DUN-  
 DENHEIM



## ③ K 5326

Kreisstraße K 5326 zwischen Ortenberg und Zunsweier  
- Standortbeschreibung -

Lage/  
Relief

Naturraum: Mittleres Oberrhein-Tiefland  
Offenburger Rheinebene - Übergang zu  
Ortenau - Bühler Vorberge

Höhe: 160 m über NN

Exposition: SE/NW

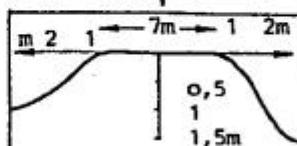
Straßenstandort: Station 1,1 VNK 75 13 052 r 34 23 55  
NNK 75 13 014 h 53 67 60

Jahresmitteltemperatur : 9°C  
" " " in Vegetationsperiode : 16°C  
mittlere Anzahl der Tage/Jahr > 10°C : 170 Tage  
mittlere Niederschlagssumme/Jahr : 850 - 900 mm  
mittlere Häufigkeit der Windrichtungen/Jahr :  
21% SW  
7 - 19% W  
8 - 13% NW/SE  
6 - 11% E  
je 7% NW/SE

Windstille : 13 - 17%

KREISSTRASSE K 5326  
ZWISCHEN ORTENBERG  
UND ZUNSWEIER

SE 50m 3m 3m Entfernung vom Straßenrand 50m NW



Nutzung	Grünland	Kreisstraße Rasenbankett	Grünland
Bodentyp	Parabraunerde	versiegelte Fläche Reposol	Parabraunerde
Substrat	Lößlehm (sandig)  schwach steinig	bituminöser Straßen- belag Gemenge aus Lößlehm u. Straßenbaumaterial schwach bis mittel steinig	Lößlehm (sandig)  sehr schwach steinig
Humusgehalt (%)	mittel bis sehr stark humos 3,8 - 9,8	stark humos 4,2 - 6,6	stark humos 5,0 - 6,8
pH-Wert (Ca Cl <sub>2</sub> )	(sehr) schwach sauer 6,1 - 6,6	(sehr) schwach sauer bis neutral 6,2 - 7,0	mittel sauer 5,0 - 5,5
Rohdichte t (g/cm <sup>3</sup> )	gering 1,2	sehr gering 0,7 - 1,0	gering 1,1

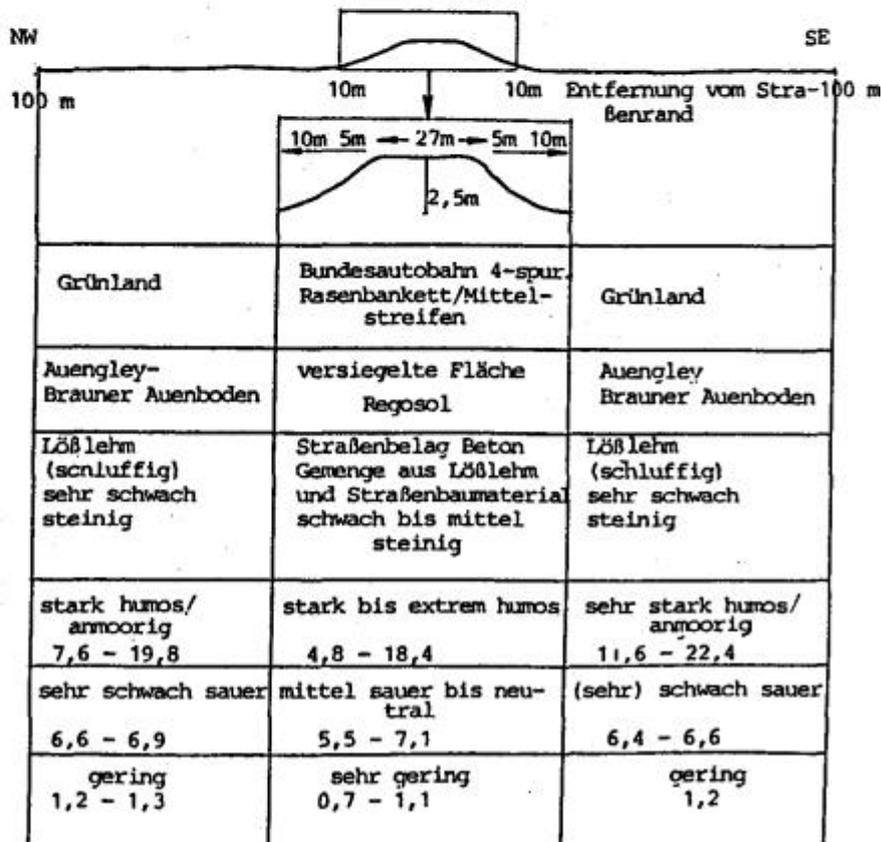
④ BAB 5 06

A5 Bundesautobahn A5 zwischen Offenburg und Lahr  
- Standortbeschreibung -

Lage/ Relief Naturraum: Mittleres Oberrhein-Tiefland  
Offenburger Rheinebene  
Höhenlage: 149 m über NN  
Exposition : NW / SE  
Straßenstandort : Station 5,1 VNK 75 13 021 r 34 17 70  
NNK 76 12 008 h 53 66 10

Klima Jahresmitteltemperatur : 9 - 10°C  
" " " in Vegetationsperiode : 16 - 17°C  
mittlere Anzahl der Tage/Jahr > 10° : 170 Tage  
mittlere Niederschlagssumme/Jahr : 800-850 mm  
mittlere Häufigkeit der Windrichtungen : 21% SW  
7 - 19% W  
8 - 13% NE  
6 - 11% E  
je 7% NW/SE  
Windstille : 13 - 17%

BUNDESAUTOBAHN A 5  
ZWISCHEN OFFENBURG UND  
LAHR



5 B 31a

Bundesstraße B 31a zwischen Umkirch und Freiburg  
 - Standortbeschreibung -

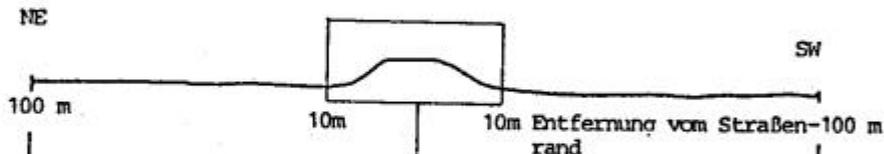
Lage/  
Relief

Naturraum: Südöstliches Oberrhein-Tiefland  
 Freiburger Bucht  
 Höhenlage : 220 m ü.NN  
 Exposition : NE /SW  
 Straßenstandort: Station 0,2 VNK 79 12 009 r 34 09 65  
 NNK 79 12 057 h 53 21 25

Klima

Jahresmitteltemperatur : 9 - 10°C  
 " " " in Vegetationsperiode : 16 - 17°C  
 mittlere Anzahl der Tage/Jahr > 10°C : 170 Tage  
 mittlere Niederschlagssumme/Jahr : 850-900 mm  
 mittlere Häufigkeit der Windrichtungen : 21% SW  
 13% NE  
 je 7% NW/SE  
 Windstille : 17%

BUNDESSTRASSE B 31A  
 ZWISCHEN UMKIRCH UND  
 FREIBURG



Nutzung

Grünland Bundesstraße 4-spurig Grünland vereinzelt  
 Rasenbankett/Mittel- mit Obstbäumen  
 streifen

Bodentyp

(vergleyter) versiegelte Fläche Brauner  
 Brauner Auenboden Regosol Auenboden

Substrat

Lößlehm Straßenbelag Beton Lößlehm  
 (sandig/schluffig) Gemenge aus Lößlehm (sandig/schluffig)  
 schwach kiesig und Straßenbaumaterialia schwach bis mittel  
 schwach bis mittel kiesig schwach kiesig

Humusgehalt (%)

stark humos mittel bis sehr stark stark humos  
 5,2 - 7,0 humos 2,8 - 10,4 5,6 - 7,8

pH-Wert (Ca Cl<sub>2</sub>)

stark bis mittel sehr schwach sauer bis stark bis mittel  
 sauer neutral sauer  
 4,4 - 5,6 6,6 - 7,1 4,8 - 5,8

Rohdichte (g/cm<sup>3</sup>)

gering sehr gering (sehr) gering  
 1,2 0,7 - 1,0 1,1 - 1,2

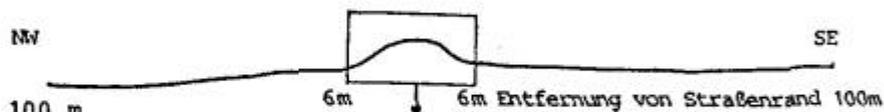
⑥ B 3 FR

Bundesstraße B3 zwischen Freiburg und Bad Krozingen

- Standortbeschreibung -

Lage/ Relief	Naturraum:	Südöstliches Oberrhein-Tiefland Freiburger Bucht		
	Höhenlage:	235 m über NN		
	Exposition:	SE / NW		
	Straßenstandort:	Station 0,5 VNK 80 12 024	r 34 06 05	
		NNK 80 12 041	h 53 12 65	
Klima	Jahresmitteltemperatur	:	9° C	
	"		in Vegetationsperiode : 16° C	
	mittlere Anzahl der Tage im Jahr > 10°	:	170 Tage	
	mittlere Niederschlagssumme/Jahr	:	900 - 950 mm	
	mittlere Häufigkeit der Windrichtungen/Jahr	:	21% SW 13% NE	
	Windstille	:	je 7% NW/SE 17%	

BUNDESSTRASSE B 3  
ZWISCHEN FREIBURG UND  
BAD KROZINGEN



Nutzung	Grünland mit einzelnen Obstbäumen	Bundesstraße Rasenbankett	Grünweg
Bodentyp	vergleyter Brauner Auenboden	versiegelte Fläche Regosol	Brauner Auenboden (Hangkolluvium)
Substrat	Lößlehm (schluffig) (sehr) schwach steinig	Straßenbelag Asphalt- beton Gemenge Lößlehm und Straßenbaumaterial schwach steinig	Lößlehm (schluffig) schwach steinig
Humusgehalt (%)	stark humos 6,0 - 7,6	mittel bis stark humos 3,0 - 6,2	stark humos 4,8 - 8,0
pH-Wert (Ca Cl <sub>2</sub> )	sehr schwach alkalisch - neutral		
	7,0 - 7,2	7,0 - 7,3	7,0
Rohdichte <sub>t</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	sehr gering 0,9 - 1,1	sehr gering 0,6 - 0,8	(sehr) gering 1,0 - 1,3

7

**Bundesautobahn A 5 (BAB 5 HD) zwischen Weinheim und Heidelberg  
(Autobahnkilometer 64)**

Lage	r 49 73 65 h 54 87 60
Naturraum	Oberrhein-Tiefland Neckar-Rheinebene
Relief	135 m über NN E- und W-Exposition
Klima	Jahresmitteltemperatur 9 °C mittlere Temperatur Veg.-Periode 16 °C mittlere Anzahl der Tage >10 °C 160 d mittlere Niederschlagssumme/Jahr 750 mm mittlere Häufigkeit der Windrichtungen: S 22 % N 16 % NW u. SW 10 % jew. W 7 % NE u. SE 5 % jew. E 3 % Windstille 22 %
Nutzung	Mähgut wird bis ca. 2 m Entfernung abgefah- ren, bis ca. 12 m wird nicht gemäht, an- schließend Grünland (Wiese)
Böden	Anthropogene Regosole im straßen- nahen Bereich bis ca. 10 m, anschließend Auengley-Braune Auenböden
Substrat	Lößlehm, in Straßennähe sL vermischt mit Straßenbaumaterial über kiesigem S, sonst uL, carbonatarm bis mittel carbonathaltig
Rohdichte	1,3 g/cm <sup>3</sup> (0-10 cm) im straßennahen Bereich bis ca. 2 m, 2-10 m 1 g/cm <sup>3</sup> , anschließend 1,4 g/cm <sup>3</sup>
pH-Wert	6,7-7,4 im straßennahen Bereich bis 10 m, an- schließend 6,0-7,2 (im Mittel sehr schwach sauer bis sehrschwach alkalisch)
Humusgehalt	5,4-11 % im straßennahen Bereich, anschließend 3,6 bis 6,4 % (im Mittel stark humos)

8

**Bundesautobahn A 8 (BAB 8) zwischen Gruibingen und Mühlhausen  
(Autobahnkilometer 157)**

Lage	r 35 48 75 h 53 83 20
Naturraum	Schwäbisches Keuper-Lias-Land (Übergang zu Schwäbische Alb) Mittleres Albvorland (Übergang zu Kuppige Flächenalb)
Relief	390 m über NN NE- und SW-Exposition
Klima	Jahresmitteltemperatur 8 - 9 °C mittlere Temperatur Vegetationsperiode 15 °C mittlere Anzahl der Tage >10 °C 150 d mittlere Niederschlagssumme/Jahr 950 mm mittlere Häufigkeit der Windrichtungen/Jahr W 30 % NW, SW, SE, E 13 % jew. NE 8 % N u. S. 3 % jew. Windstille 4 %
Nutzung	SW-Seite: Mähgut wird bis ca. 3 m Entfernung zur Fahrbahn abgefahren, ab ca. 5 m Grünland NE-Seite: dto., bis ca. 6 m keine Mahd, ab Grünland (Wiese)
Böden	SW-Seite: Braunerde, im straßennahen Bereich anthropogene Überprägung bis ca. 50 cm Tiefe (Regosol-Braunerde), ab 70 m Auenkolluvium NE-Seite: Braunerden dto., ab ca. 30 m Hang- kolluvium
Substrat	Lößlehm über oder vermengt mit Terrassensedi- menten (uL, x, carbonatreich), in Straßennähe vermengt mit Baumaterial (sL, x'-x)
Rohdichte	1,2-1,5 g/cm <sup>3</sup> (0-10 cm) im straßennahen Be- reich bis 1 m, anschließend 0,8 bis 1,1 g/cm <sup>3</sup>
pH-Wert	7,4-7,8 im straßennahen Bereich bis 10 m, an- schließend 7,1-7,4 (sehr schwach bis schwach alkalisch)
Humusgehalt	11-22 % im straßennahen Bereich, anschließend 12-21 %, im Mittel sehr stark humos,

## 5. Ergebnisse

Im folgenden werden zuerst die Untersuchungsergebnisse der Stoffkonzentrationen in Oberböden von 0-5 cm Bodentiefe an Straßen mit 1.200 bis 56.000 Kfz/Tag und von 0-10 cm Tiefe an Straßen mit 18.000 bis 65.000 Kfz/Tag (1990) zusammen mit den Gehalten im Grünlandaufwuchs (Gräser) aufgeführt (Belastungsgradienten, ).

Anschließend werden die Tiefenfunktionen von Profilproben (BAB 5 OG) bis maximal 50 cm Bodentiefe dargestellt ().

In Blättern eines Gehölzstreifens (Hainbuchenhecke) wurden Schwermetalle zu 2 verschiedenen Ernteterminen (August und Oktober) in unterschiedlicher Höhe gemessen ().

Im Schwemmaterial (Straßensediment) wurden Schwermetalle und organische Fremdstoffe untersucht ().

### 5.1 Oberböden und Grünlandaufwuchs

#### 5.1.1 Blei (Pb)

Die Pb-Konzentrationen der Böden in 0-10 cm Tiefe liegen zwischen 28 und 909 mg/kg (Tab.4), in 0-5 cm Bodentiefe zwischen 19 und 605 mg/kg (Tab.5).

Im Grünlandaufwuchs bewegen sich die Pb-Gehalte zwischen 3,7 und 22 mg/kg Trockenmasse [TM] (Tab.6).

Generell ist ein Konzentrationsanstieg mit steigendem Verkehrsaufkommen und zunehmender Fahrbahnnähe zu verzeichnen.

Die Tab.7 zeigt die Pb-Gehalte in Böden (0-10 cm) und Grünlandaufwuchs vor und hinter Gehölzstreifen im Vergleich zu den Standorten mit freier Ausbreitungsmöglichkeit.

Eine Erhöhung der Pb-Konzentrationen vor Gehölzen wird mit 356 und 457 mg/kg bei Böden und 24 und 37 mg/kg TM beim Aufwuchs ebenso deutlich, wie eine Reduzierung hinter dem Straßenbegleitgrün mit 29 bis 60 mg/kg (Böden) bzw. 6,3 bis 12 mg/kg TM.

Tab. 4: Pb - Konzentrationen in straßennahen Böden (0-10 cm Tiefe) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand

Fahrbahn- ab- stand in m	B 3 <sup>1)</sup> 18000 ca. 70	BAB 5 <sup>1)</sup> 50000 32 (55)	BAB 8 <sup>1)</sup> 50000 55	B 31a <sup>1)</sup> 56000 25 (50)	BAB 5 <sup>1)</sup> 65000 25
0,1	-	330	711	-	909
			682		879
1,0	114	160	321	157	231
			418		123
2,5	-	319	140	-	233
			246		187
5,0	-	155	125	-	83
			96		76
10	28	80	74	125	56
			57		50
25	-	63	62	-	46
			44		36
50	-	59	61	-	43
			50		35
100	-	-	59	-	37
			47		36

**1) Strassenstandorte (Kfz / Tag 1990 und Alter in Jahren)**

1. Reihe: Hauptwindrichtung abgewandte Seite
  2. Reihe: Hauptwindrichtung zugewandte Seite
- : keine Messung in 0-10 cm Bodentiefe

**Tab. 5: Pb Konzentrationen in straßennahen Böden (mg/kg in 0-5 cm Tiefe) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand**

Fahrbahn- ab- stand in m	L 99 <sup>1)</sup>	K 5326 <sup>1)</sup>	B 3 <sup>1)</sup>	B 3 <sup>1)</sup>	BAB 5 <sup>1)</sup>	B 31a* <sup>1)</sup>
	1200 ca. 60	5000 ca. 60	16000 ca. 70	18000 ca. 70	50000 32 (55)	56000 25 (50)
<b>0,1</b>	104	180	420	345	605	480
	33	114	215	137	385	450
<b>1,0</b>	63	45	137	160	270	315
	27	52	104	133	215	137
<b>2,5</b>	32	40	57	71	480	390
	25	36	35	76	178	30
<b>5,0</b>	34	55	34	35	161	245
	21	38	23	26	64	56
<b>10</b>	32	48	49	24	105	200
	20	27	60	24	32	160
<b>25</b>	33	45	27	23	49	175
	20	33	28	14	22	150
<b>50</b>	27	39	27	20	46	133
	19	31	28	14	22	146
<b>100</b>	-	-	21	19	25	136
	-	-	20	13	30	155

**1) Strassenstandorte (Kfz / Tag 1990 und Alter in Jahren)**

1. Reihe: Hauptwindrichtung abgewandte Seite
2. Reihe: Hauptwindrichtung zugewandte Seite
- : keine Messung

\* B 31a: nach Auskunft des Umweltschutzamtes in Freiburg beträgt die Hintergrundbelastung des Schwemmfächers der Breisach etwa 100 mg/kg Boden infolge des Erzbergbaus im Schwarzwald. Dies betrifft in erster Linie die Gehalte ab 10 m Fahrbahntfernung.

**Tab. 6: Pb Gehalte in straßennahem Grünlandaufwuchs (mg/kg TM) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand**

Fahrbahnabstand in m	B 3 <sup>1)</sup> 18000	BAB 5 <sup>1)</sup> 50000	BAB 8 <sup>1)</sup> 50000	B 31a <sup>1)</sup> 56000	BAB 5 <sup>1)</sup> 65000
2,5	14	22	16	15	22
		21	11		21
5,0	-	16	13	-	17
		14	10		15
10	5,1	16	6,5	9	13
		16	10		11
25	-	8,5	7,3	-	8,7
		10	6,4		6,8
50	-	8,5	6,3	-	6,7
		4,9	5,7		4,9
100	-	10	6,6	-	3,7
		6,9	6,2		7,6

**1) Strassenstandorte (Kfz / Tag 1990 und Alter in Jahren)**

1. Reihe: Hauptwindrichtung abgewandte Seite  
 2. Reihe: Hauptwindrichtung zugewandte Seite  
 -: keine Messung  
 Erntetermin: Oktober 1991

**Tab. 7: Pb Auswirkung von Gehölzstreifen auf Konzentrationen in Böden (0-10 cm Tiefe) und Grünlandaufwuchs (mg/kg TM) an stark befahrenen Straßen**

Fahrbahnabstand in m	BAB 5 <sup>1)</sup> 50000 32 (55) ohne G	mit G.	BAB 5 <sup>1)</sup> 65000 25 ohne G.	mit G.
2,5	319	457	233	356
	22	37	22	24
10	80	60	56	39
	16	9,1	13	12
25	63	29	46	35
	16	8,9	8,7	6,3

**1) Strassenstandorte (Kfz / Tag 1990 und Alter in Jahren)**

- G.: Gehölzstreifen  
 1. Reihe: Böden  
 2. Reihe: Aufwuchs (Erntetermin: Oktober 1991)

### 5.1.2 Cadmium (Cd)

Die Cd-Konzentrationen der Böden in 0-10 cm Tiefe bewegen sich zwischen 0,6 und 6,4 mg/kg (Tab.8), in 0-5 cm Tiefe (Tab.9) zwischen 0,1 und 2,4 mg/kg (Ausnahme K 5326).

Im Grünlandaufwuchs wurden Konzentrationen zwischen 0,05 und 0,38 mg/kg TM (Tab10) gemessen.

Ein Zusammenhang zum Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand ist grundsätzlich gegeben, allerdings in 0-10 cm Bodentiefe weniger deutlich.

Auswirkungen auf Boden- (0-10 cm) und Aufwuchsgehalte haben Gehölzstreifen (Tab.11). Eine Erhöhung der Bodenkonzentrationen auf 2,4 und 2,8 mg/kg, der Pflanzengehalte auf 0,60 und 0,42 mg/kg TM vor den Gehölzen, sowie eine Reduzierung beim Aufwuchs auf Konzentrationen zwischen 0,04 bis 0,14 mg/kg TM hinter dem Straßenbegleitgrün zeigt die Wirkungsweise deutlich.

**Tab. 8: Cd in straßennahen Böden (mg/kg in 0-10 cm Tiefe) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand**

Fahrbahnabstand in m	B 3 <sup>1)</sup> 18000 ca. 70	BAB 5 <sup>1)</sup> 50000 32 (55)	BAB 8 <sup>1)</sup> 50000 55	B 31a <sup>1)</sup> 56000 25 (50)	BAB 5 <sup>1)</sup> 65000 25
0,1	-	1,6	3,0	-	6,4
			3,0		4,4
1,0	1,1	0,6	2,8	1,2	1,6
			2,4		1,2
2,5	-	1,5	1,7	-	1,8
			2,2		1,5
5,0	-	1,6	1,5	-	1,5
			1,4		1,3
10	0,6	1,4	1,4	0,8	1,2
			1,2		1,3
25	-	1,6	1,4	-	1,2
			1,1		1,3
50	-	1,6	1,4	-	1,2
			1,1		1,2
100	-	-	1,4	-	1,2
			1,1		1,1

#### 1) Strassenstandorte (Kfz / Tag 1990 und Alter in Jahren)

1. Reihe: Hauptwindrichtung abgewandte Seite
2. Reihe: Hauptwindrichtung zugewandte Seite
- : keine Messung in 0-10 cm Tiefe

**Tab. 9: Cd Konzentrationen in straßennahen Böden (mg/kg in 0-5 cm Tiefe) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand**

Fahrbahnabstand in m	L 99 <sup>1)</sup> 1200 ca. 60	K 5326* <sup>1)</sup> 5000 ca. 60	B 3 <sup>1)</sup> 16000 ca. 70	B 3 <sup>1)</sup> 18000 ca. 70	BAB 5 <sup>1)</sup> 50000 32 (55)	B 31a <sup>1)</sup> 56000 25 (50)
<b>0,1</b>	0,3	1,7	2,2	2,3	2,2	2,4
	0,1	0,7	1,4	0,8	1,6	2,4
<b>1,0</b>	0,2	1,6	1,3	0,9	0,6	1,9
	0,1	0,8	1,1	0,7	0,9	0,8
<b>2,5</b>	0,1	1,5	0,6	0,4	1,6	2,5
	0,1	1,6	0,1	0,4	0,9	0,1
<b>5,0</b>	0,1	1,0	0,2	0,3	1,6	1,4
	0,1	2,4	0,1	0,2	0,4	0,2
<b>10</b>	0,1	0,7	0,2	0,2	1,5	1,0
	0,1	2,0	0,7	0,2	0,2	0,6
<b>25</b>	0,1	0,2	0,2	0,2	0,9	0,2
	0,1	2,8	0,1	0,1	0,2	0,4
<b>50</b>	0,1	0,3	0,1	0,2	1,0	0,1
	0,1	4,3	0,1	0,1	0,2	0,2
<b>100</b>	-	-	0,1	0,2	0,2	0,1
			0,1	0,1	0,4	0,2

**1) Strassenstandorte (Kfz / Tag 1990 und Alter in Jahren)**

1. Reihe: Hauptwindrichtung abgewandte Seite

2. Reihe: Hauptwindrichtung zugewandte Seite

-: keine Messung

\* K 5326: nicht durch Kfz-Verkehr verursachte Belastung (Ablagerung von Keramikschutt in früherer Zeit)

**Tab. 10: Cd in straßennahem Grünlandaufwuchs (mg/kg TM) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand**

Fahrbahnabstand in m	B 3 <sup>1)</sup> 18000	BAB 5 <sup>1)</sup> 50000	BAB 8 <sup>1)</sup> 50000	B 31a <sup>1)</sup> 56000	BAB 5 <sup>1)</sup> 65000
<b>2,5</b>	0,18	0,28	0,24	0,21	0,38
		0,20	0,25		0,34
<b>5,0</b>	-	0,19	0,28	-	0,16
		0,19	0,25		0,25
<b>10</b>	0,07	0,16	0,23	0,10	0,13
		0,16	0,21		0,24
<b>25</b>	-	0,12	0,24	-	0,14
		0,10	0,22		0,25
<b>50</b>	-	0,15	0,19	-	0,04
		0,05	0,19		0,20
<b>100</b>	-	0,15	0,16	-	0,04
		0,05	0,18		0,16

**1) Strassenstandorte (Kfz / Tag 1990 und Alter in Jahren)**

1. Reihe: Hauptwindrichtung abgewandte Seite  
 2. Reihe: Hauptwindrichtung zugewandte Seite  
 -: keine Messung  
 Erntetermin: Oktober 1991

**Tab. 11: Cd Auswirkung von Gehölzstreifen auf Konzentrationen in Böden (0-10 cm Tiefe) und Grünlandaufwuchs (mg/kg TM) an stark befahrenen Straßen**

Fahrbahnabstand in m	BAB 5 <sup>1)</sup> 50000 32 (55) ohne G	mit G.	BAB 5 <sup>1)</sup> 65000 25 ohne G.	mit G.
<b>2,5</b>	1,5	2,4	1,8	2,8
	0,28	0,60	0,38	0,42
<b>10</b>	1,4	1,1	1,2	1,0
	0,16	0,14	0,13	0,06
<b>25</b>	1,6	0,7	1,2	0,7
	0,12	0,10	0,14	0,04

**1) Strassenstandorte (Kfz / Tag 1990 und Alter in Jahren)**

- G.: Gehölzstreifen zwischen 2.5 und 10 m Fahrbahnabstand  
 1. Reihe: Böden  
 2. Reihe: Aufwuchs (Erntetermin Oktober 1991)

### 5.1.3 Kupfer (Cu)

Das Element Cu wurde stichprobenartig analysiert. Die Konzentrationen der Böden in 0-10 cm Tiefe liegen zwischen 13 und 303 mg/kg (Tab.12), die Gehalte in 0-5 cm Bodentiefe zwischen 20 mg/kg in 10 m Entfernung an der B 3 OG (18.000 Kfz/Tag 1990) und 285 mg/kg direkt am Fahrbahnrand (0.1 m) der BAB 5 OG (50.000 Kfz/Tag 1990).

Die Konzentrationen im Grünlandaufwuchs reichen von 8,4 bis 19 mg/kg TM (Tab.12). Es wurden Gehalte an stark befahrenen Straßen (ab 50.000 Kfz/Tag 1990) ermittelt.

Die Ergebnisse der 1.Projektphase ließen keine intensivere Untersuchung als notwendig erachten. Zwar steigen die Konzentrationen in Böden und Aufwuchs mit zunehmender Fahrbahnnahe, doch eine Abhängigkeit zum Verkehrsaufkommen kristallisierte sich weniger deutlich heraus.

Auch die Unterschiede der Konzentrationen in Böden (0-10 cm) und Aufwuchs der Gehölzstandorte fallen geringer als bei den vorher besprochenen Schwermetallen aus (Tab.13).

**Tab. 12: Cu in straßennahen Böden (0-10 cm Tiefe) und Grünlandaufwuchs (mg/kg TM) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand**

Fahrbahnabstand in m	B 3 <sup>1</sup> 18000 ca. 70	BAB 5 <sup>1</sup> 50000 32 (55)	BAB 8 <sup>1</sup> 50000 55	B 31a <sup>1</sup> 56000 25 (50)	BAB 5 <sup>1</sup> 65000 25
0,1	-	151	303	-	167
1,0	32	36	86	28	45
2,5	-	61		-	56
		16	11		19
5,0	-	52	-	-	-
10	19	41	22	36	19
		11	8,4		13
25	-	37	-	-	18
		12			11
50	-	30	-	-	-
		12			
100	-	-	-	-	13
					8,6

1) Strassenstandorte (Kfz / Tag 1990 und Alter in Jahren)

1. Reihe: Böden
  2. Reihe: Aufwuchs (Erntetermin Oktober 1991)
- : keine Messung

**Tab.13 Cu Auswirkung von Gehölzstreifen auf Konzentrationen in Böden (0-10 cm Tiefe) und Grünlandaufwuchs (mg/kg TM) an stark befahrenen Straßen**

Fahrbahn- ab- stand in m	BAB 5 <sup>1</sup> 50000 32 (55) ohne G	mit G.	BAB 5 <sup>1</sup> 65000 25 ohne G.	mit G.
2,5	61	104	56	62
	16	20	19	20
10	41	40	19	13
	11	11	13	11
25	37	21	18	-
	12	8,5	11	

**1) Strassenstandorte (Kfz / Tag 1990 und Alter in Jahren)**

G.: Gehölzstreifen zwischen 2.5 und 10 m Fahrbahnabstand

1. Reihe: Böden
2. Reihe: Aufwuchs (Erntetermin Oktober 1991)

### 5.1.4 Zink (Zn)

Ebenso wie Cu wurde Zn stichprobenartig gemessen. In 0-10 cm Bodentiefe bewegen sich die Gehalte zwischen 65 und 817 mg/kg (Tab.14), die Gehalte in 0-5 cm Tiefe zwischen 52 mg/kg in 10 m Entfernung an der B 3 OG (18.000 Kfz/Tag) und 370 mg/kg in 0.1 m Abstand an der BAB 5 OG (50.000 Kfz/Tag 1990).

Im Grünlandaufwuchs liegen die Konzentrationen zwischen 30 und 94 mg/kg TM (Tab.13). Auch bei Zn wurden Gehalte an stark befahrenen Straßen (ab 50.000 Kfz/Tag 1990) ermittelt.

Generell steigen die Zn-Gehalte mit zunehmendem Verkehrsaufkommen und abnehmender Fahrbahntfernung.

An den Gehölzstandorten (Tab.14) liegen die Bodenkonzentrationen (0-10 cm) vor dem Straßenbegleitgrün mit 259 bis 286 mg/kg höher als bei den Vergleichsstandorten bei freier Ausbreitungsmöglichkeit mit 165 und 262 mg/kg. Ebenso ist eine Reduzierung hinter den Gehölzstreifen zu verzeichnen. Für den Aufwuchs gilt entsprechendes, allerdings sind keine Unterschiede hinter den Gehölzen erkennbar.

Tab.14: Zn in straßennahen Böden (0-10 cm Tiefe) und Grünlandaufwuchs (mg/kg TM) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand

Fahrbahnabstand in m	B 3 <sup>1)</sup> 18000 ca. 70	BAB 5 <sup>1)</sup> 50000 32 (55)	BAB 8 <sup>1)</sup> 50000 55	B 31a <sup>1)</sup> 56000 25 (50)	BAB 5 <sup>1)</sup> 65000 25
0,1	-	213	817	-	511
1,0	109	91	318	151	222
2,5	-	165		-	262
		72	66		94
5,0	-	136	-	-	-
10	59	112	127	150	76
		45	44		49
25	-	114	-	-	66
		47			41
50	-	90	-	-	-
		43			
100	-	-	-	-	65
					30

1) Strassenstandorte (Kfz / Tag 1990 und Alter in Jahren)

1. Reihe: Böden
  2. Reihe: Aufwuchs (Erntetermin Oktober 1991)
- : keine Messung

Tab.15 : Zn Auswirkung von Gehölzstreifen auf Konzentrationen in Böden (0-10 cm Tiefe) und Grünlandaufwuchs (mg/kg TM) an stark befahrenen Straßen

Fahrbahnabstand in m	BAB 5 <sup>1)</sup> 50000 32 (55) ohne G	mit G.	BAB 5 <sup>1)</sup> 65000 25 ohne G.	mit G.
2,5	165	259	262	286
	72	124	94	250
10	112	91	76	52
	45	43	49	43
25	114	80	66	-
	47	43	41	

**1) Strassenstandorte (Kfz / Tag 1990 und Alter in Jahren)**

G.: Gehölzstreifen zwischen 2.5 und 10 m Fahrbahnabstand

1. Reihe: Böden

2. Reihe: Aufwuchs (Erntetermin Oktober 1991)

**5.1.5 Nickel (Ni)**

Die stichprobenartige Analyse auf Nickel ergab in den Böden in

0-10 cm Tiefe Gehalte zwischen 22 und 51 mg/kg (Tab.16), in 0-5 cm Tiefe Konzentrationen von 18 bis 46 mg/kg Boden.

Im Grünlandaufwuchs bewegen sich die Gehalte an stark befahrenen Straßen zwischen 0,3 und 3,2 mg/kg TM (Tab.16).

Sowohl bei den Böden als auch Pflanzen ist keine Beziehung zum Verkehrsaufkommen erkennbar. Allerdings ist besonders beim Grünlandaufwuchs eine Konzentrationszunahme zur Fahrbahn hin festzustellen.

An Gehölzstandorten (Tab.17) sind in Fahrbahnnähe in 2,5 m Entfernung Erhöhungen besonders beim Aufwuchs bis 4,2 und 4,7 mg/kg TM zu verzeichnen. Ab 10 m Entfernung sind in den Böden Reduzierungen anzutreffen.

**Tab.16: Ni in straßennahen Böden (0-10 cm Tiefe) und Grünlandaufwuchs (mg/kg TM) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand**

<b>Fahrbahn- ab- stand in m</b>	<b>B 3 <sup>1)</sup> 18000 ca. 70</b>	<b>BAB 5 <sup>1)</sup> 50000 32 (55)</b>	<b>BAB 8 <sup>1)</sup> 50000 55</b>	<b>B 31a <sup>1)</sup> 56000 25 (50)</b>	<b>BAB 5 <sup>1)</sup> 65000 25</b>
<b>0,1</b>	-	31	46	-	34
<b>1,0</b>	22	23	41	26	24
<b>2,5</b>	-	34		-	25
		3,2	1,2		1,3
<b>5,0</b>	-	51	-	-	-
<b>10</b>	16	50	36	19	28
		1,7	1,0		1,2
<b>25</b>	-	41	-	-	22
		0,6			0,9
<b>50</b>	-	36	-	-	-
		0,3			
<b>100</b>	-	-	-	-	25
					1,1

**1) Strassenstandorte (Kfz / Tag 1990 und Alter in Jahren)**

1.Reihe: Böden

2. Reihe: Aufwuchs (Erntetermin Oktober 1991)

-: keine Messung

**Tab.17: Ni Auswirkung von Gehölzstreifen auf Konzentrationen in straßennahen Böden (0-10 cm Tiefe) und Grünlandaufwuchs (mg/kg TM) an stark befahrenen Straßen**

Fahrbahn- ab- stand in m	BAB 5 <sup>1)</sup> 50000 32 (55) ohne G	mit G.	BAB 5 <sup>1)</sup> 65000 25 ohne G.	mit G.
2,5	34	38	25	32
	3,2	4,7	1,3	4,2
10	50	28	28	20
	1,8	1,7	1,2	0,9
25	41	28	22	-
	0,6	0,4	0,9	

**1) Strassenstandorte (Kfz / Tag 1990 und Alter in Jahren)**

G.: Gehölzstreifen zwischen 2.5 und 10 m Fahrbahnabstand

1. Reihe: Böden

2. Reihe: Aufwuchs (Erntetermin Oktober 1991)

### 5.1.6 Chrom (Cr)

Die Stichprobenmessungen in 0-10 cm Bodentiefe ergaben Konzentrationen zwischen 25 und 77 mg/kg (Tab.18), in 0-5 cm Tiefe zwischen 24 und 70 mg/kg.

Die Gehalte an Cr im Grünlandaufwuchs an stark befahrenen Straßen reichen von 1,2 bis 4,9 mg/kg TM (Tab.18).

Ähnlich wie bei Ni lassen Boden- und Aufwuchskonzentrationen keine Beziehungen zum Verkehrsaufkommen erkennen. Beim Aufwuchs kann eine Konzentrationszunahme mit abnehmender Fahrbahntfernung festgestellt werden.

Bei Böden (0-10 cm) ist im Gegensatz zum Aufwuchs an Gehölzstandorten (Tab.19) eine Reduzierung anzutreffen. In 2.5 m Entfernung ist mit 5,2 mg/kg TM vor dem Gehölz der höchste Pflanzenwert zu verzeichnen.

**Tab.18: Cr in straßennahen Böden (0-10 cm Tiefe) und Grünlandaufwuchs (mg/kg TM) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand**

<b>Fahrbahnabstand in m</b>	<b>B 3<sup>1)</sup> 18000 ca. 70</b>	<b>BAB 5<sup>1)</sup> 50000 32 (55)</b>	<b>BAB 8<sup>1)</sup> 50000 55</b>	<b>B 31a<sup>1)</sup> 56000 25 (50)</b>	<b>BAB 5<sup>1)</sup> 65000 25</b>
<b>0,1</b>	-	45	61	-	48
<b>1,0</b>	27	33	50	39	39
<b>2,5</b>	-	37		-	34
		4,3	4,9		3,0
<b>5,0</b>	-	65	-	-	-
<b>10</b>	25	77	46	29	36
		3,3	1,5		1,8
<b>25</b>	-	72	-	-	44
		3,2			1,4
<b>50</b>	-	66	-	-	-
		1,2			
<b>100</b>	-	-	-	-	41
					1,8

**1) Strassenstandorte (Kfz / Tag 1990 und Alter in Jahren)**

1. Reihe: Böden

2. Reihe: Aufwuchs (Erntetermin Oktober 1991)

-: keine Messung

**Tab.19: Cr Auswirkung von Gehölzstreifen auf Konzentrationen in Böden (0-10 cm Tiefe) und Grünlandaufwuchs (mg/kg TM) an stark befahrenen Straßen**

Fahrbahnabstand in m	BAB 5 <sup>1)</sup> 50000 32 (55) ohne G	mit G.	BAB 5 <sup>1)</sup> 65000 25 ohne G.	mit G.
<b>2,5</b>	37	45	34	43
	4,3	5,2	3,5	3,0
<b>10</b>	77	44	36	29
	3,3	3,2	1,8	1,6
<b>25</b>	72	45	44	-
	3,2	3,2	1,4	

**1) Strassenstandorte (Kfz / Tag 1990 und Alter in Jahren)**

G.: Gehölzstreifen zwischen 2.5 und 10 m Fahrbahnabstand

1. Reihe: Böden

2. Reihe: Aufwuchs (Erntetermin Oktober 1991)

### 5.1.7 Mineralöl-Kohlenwasserstoffe (CnHm)

Bei der Bestimmung der CnHm werden überwiegend Ottokraftstoffe mit hohem CH<sub>3</sub>-Anteil sowie Mitteldestillate und Produkte mit CH<sub>2</sub>-Gruppenanteil erfaßt (in Anlehnung an DIN 38409, Teil 18 1981).

In 0-10 cm Bodentiefe wurden Konzentrationen von <5 bis 1110 mg/kg gemessen (Tab.20), während in 0-5 cm Tiefe 9 bis 770 mg/kg ermittelt wurden (Tab.21).

Die Konzentrationen im Grünlandaufwuchs bewegen sich zwischen 60 und 660 mg/kg TM (Tab.22).

Ähnlich dem Pb sind generell Beziehungen zum Verkehrsaufkommen festzustellen. Mit zunehmender Fahrbahnnähe steigen die Gehalte in Böden und Pflanzen an.

Auch an Gehölzstandorten (Tab.23) liegen die Konzentrationen in Böden (0-10 cm) mit 132 und 135 mg/kg und im Grünlandaufwuchs mit 408 und 494 mg/kg TM höher als im Vergleich mit freier Ausbreitungsmöglichkeit. Hinter den Gehölzen in 10 und 25 m Entfernung ist sowohl bei Böden als auch bei Pflanzen eine deutliche Reduzierung zu verzeichnen.

Tab.20: CnHm in straßennahen Böden (mg/kg in 0-10 cm Tiefe) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand

Fahrbahn- ab- stand in m	B 3 <sup>1)</sup> 18000 ca. 70	BAB 5 <sup>1)</sup> 50000 32 (55)	BAB 8 <sup>1)</sup> 50000 55	B 31a <sup>1)</sup> 56000 25 (50)	BAB 5 <sup>1)</sup> 65000 25
<b>0,1</b>	-	210	1110	-	592
			1065		322
<b>1,0</b>	38	22	323	27	252
			1055		122
<b>2,5</b>	-	91	146	-	102
			224		81
<b>5,0</b>	-	22	86	-	58
			47		72
<b>10</b>	15	32	40	24	47
			37		
<b>25</b>	-	16	18	-	22
			16		16
<b>50</b>	-	5	8	-	7
			6		5
<b>100</b>	-	-	nn	-	nn
			nn		nn
Strassenbe- lag	Asphaltbeton	Beton	Beton	Beton	Beton

1) Strassenstandorte (Kfz / Tag 1990 und Alter in Jahren)

1. Reihe: Hauptwindrichtung abgewandte Seite

2. Reihe: Hauptwindrichtung zugewandte Seite

-: keine Messung in 0-10 cm Tiefe

nn: Nachweisgrenze 5 mg/kg

Tab.21 CnHm in straßennahen Böden (mg/kg in 0-5 cm Tiefe) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand

Fahrbahn- ab- stand in m	L 99 <sup>1)</sup> 1200 ca. 60	K 5326 <sup>1)</sup> 5000 ca. 60	B 3 <sup>1)</sup> 16000 ca. 70	B 3 <sup>1)</sup> 18000 ca 70	BAB 5 <sup>1)</sup> 50000 32 (55)	B 31a <sup>1)</sup> 56000 25 (50)
<b>0,1</b>	104	270	205	124	350	670
	41	117	35	100	335	770
<b>1,0</b>	56	45	32	42	27	136
	30	34	25	32	201	105
<b>2,5</b>	57	84	28	39	130	335
	27	20	22	29	36	36
<b>5,0</b>	27	25	21	38	24	121
	14	17	73	16	26	89
<b>10</b>	14	23	56	29	36	59
	25	35	55	14	24	61
<b>25</b>	10	29	22	20	30	25
	23	26	25	14	24	50
<b>50</b>	10	14	21	20	25	29
	18	18	22	12	20	30
<b>100</b>	-	-	20	18	19	38
			21	9	10	33
Strassenbe- lag	Asphalt	Asphalt- beton	Asphalt- beton	Asphalt- beton	Beton	Beton

**1) Strassenstandorte (Kfz / Tag 1990 und Alter in Jahren)**

1. Reihe: Hauptwindrichtung abgewandte Seite

2. Reihe: Hauptwindrichtung zugewandte Seite

-: keine Messung

Tab.22 : CnHm in straßennahem Grünlandaufwuchs (mg/kg TM) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand

Fahrbahn- ab- stand in m	B 3 <sup>1)</sup> 18000	BAB 5 <sup>1)</sup> 50000	BAB 8 <sup>1)</sup> 50000	B 31a <sup>1)</sup> 56000	BAB 5 <sup>1)</sup> 65000
<b>2,5</b>	0,18	0,28	0,24	0,21	0,38
		0,20	0,25		0,34
<b>5,0</b>	-	0,19	0,28	-	0,16
		0,19	0,25		0,25
<b>10</b>	0,07	0,16	0,23	0,10	0,13
		0,16	0,21		0,24
<b>25</b>	-	0,12	0,24	-	0,14
		0,10	0,22		0,25
<b>50</b>	-	0,15	0,19	-	0,04
		0,05	0,19		0,20
<b>100</b>	-	0,15	0,16	-	0,04
		0,05	0,18		0,16
Strassenbe- lag	Asphaltbeton	Beton	Beton	Beton	Beton

**1) Strassenstandorte (Kfz / Tag 1990 und Alter in Jahren)**

1. Reihe: Hauptwindrichtung abgewandte Seite

2. Reihe: Hauptwindrichtung zugewandte Seite

-: keine Messung

Erntetermin: Oktober 1991

**Tab.23: CnHm Auswirkung von Gehölzstreifen auf Gehalte in Böden (0-10 cm Tiefe) und Grünlandaufwuchs (mg/kg TM) an stark befahrenen Straßen**

Fahrbahn- ab- stand in m	BAB 5 <sup>1)</sup> 50000 32 (55) ohne G	mit G.	BAB 5 <sup>1)</sup> 65000 25 ohne G.	mit G.
2,5	91	132	102	135
	289	494	310	408
10	32	nn	47	nn
	230	113	227	136
25	16	nn	22	nn
	213	96	171	113
Strassen- belag	Beton		Beton	

**1) Strassenstandorte (Kfz / Tag 1990 und Alter in Jahren)**

G.: Gehölzstreifen zwischen 2.5 und 10 m Fahrbahnabstand

1. Reihe: Böden

2. Reihe: Aufwuchs (Erntetermin Oktober 1991)

nn: Nachweisgrenze 5 mg/kg

### 5.1.8 Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Aus der Stoffgruppe der PAK wurden Fluoranthen, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Benzo(a)pyren, Benzo(g,h,i)perylene und Indeno(1,2,3-c,d)pyren als Vertreter von mehr als 100 PAK ermittelt.

In 0-10 cm Bodentiefe bewegen sich die Gehalte der Summen der 6 PAK zwischen der Nachweisgrenze (0,05 mg/kg) und 3,0 mg/kg (Tab. 24). Die Anteile der Einzelkomponenten haben i.d.R. folgende Reihenfolge:

Fluoranthen > Benzo(b)fluoranthen > Benzo(g,h,i)perylene > Indeno(1,2,3-c,d)pyren > Benzo(k)fluoranthen > Benzo(a)pyren. Die Maximalwerte betragen bei Fluoranthen 2,0 und bei Benzo(a)-pyren 0,07 mg/kg Boden (0-10 cm).

Die Ergebnisse der ersten Projektphase (0-5 cm Bodentiefe) ergaben Konzentrationen (Tab.25) zwischen der Nachweisgrenze und 1,26 mg/kg an weniger stark befahrenen Straßen mit relativ hohem Bitumenanteil in der Fahrbahndecke.

Im Grünlandaufwuchs wurden Gehalte zwischen der Nachweisgrenze (1 µg/kg) und 53 µg/kg TM als Summe der 6 o.g. PAK ermittelt (Tab. 26).

Die Anteile der Einzelkomponenten bewegen sich grundsätzlich in der gleichen Reihenfolge wie bei den Böden (s.o.). An Fluoranthen wurden maximal 38 µg/kg TM, an Benzo(a)pyren 8 µg/kg TM nachgewiesen.

In Böden ist zwar mit geringer werdender Fahrbahntfernung eine Konzentrationszunahme zu verzeichnen, doch ein Zusammenhang zum Verkehrsaufkommen ist nicht zu erkennen. Im Gegensatz dazu im Aufwuchs, der sowohl eine Beziehung zum Verkehrsaufkommen als auch zum Fahrbahnabstand aufzeigt.

Ein ähnliches Bild zeigt sich bei den Gehölzstandorten (Tab.27). Die Böden zeigen keine Unterschiede, während bei den Pflanzen deutliche Erhöhungen vor den Gehölzen mit 50 und 75 µg/kg TM und Reduzierungen dahinter in 10 und 25 m Entfernung mit Konzentrationen im Bereich der Nachweisgrenze bis 10 µg/kg TM vorzufinden sind.

**Tab.24: PAK\* in straßennahen Böden (mg/kg in 0-10 cm Tiefe) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand**

Fahrbahnabstand in m	B 3 <sup>1)</sup> 18000 ca. 70	BAB 5 <sup>1)</sup> 50000 32 (55)	BAB 8 <sup>1)</sup> 50000 55	B 31a <sup>1)</sup> 56000 25 (50)	BAB 5 <sup>1)</sup> 65000 25
0,1	-	3,00	0,11	-	nn
			0,23		nn
1,0	nn	0,75	0,06	nn	1,40
			0,20		0,67
2,5	-	1,00	0,06	-	1,35
			0,20		0,42
5,0	-	nn	nn	-	nn
			0,08		0,09
10	nn	nn	nn	nn	nn
			nn		0,06
25	-	nn	nn	-	nn
			nn		nn
50	-	nn	nn	-	nn
			nn	-	nn
100	-	-	nn	-	nn
			nn		nn
Strassenbelag	Asphaltbeton	Beton	Beton	Beton	Beton

**1) Strassenstandorte (Kfz / Tag 1990 und Alter in Jahren)**

\* Fluoranthen, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Benzo(a)pyren, Benzo(g,h,i)perylen, Indeno(1,2,3-c,d)pyren

1. Reihe: Hauptwindrichtung abgewandte Seite

2. Reihe: Hauptwindrichtung zugewandte Seite

-: keine Messung in 0-10 cm Tiefe

nn: Nachweisgrenze 0,05 mg/kg

**Tab.25: PAK\*in straßennahen Böden (mg/kg in 0-5 cm Tiefe) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand**

Fahrbahnabstand in m	L 99 <sup>1)</sup> 1200 ca. 60	K 5326 <sup>1)</sup> 5000 ca. 60	B 3 <sup>1)</sup> 16000 ca. 70	B 3 <sup>1)</sup> 18000 ca 70	BAB 5 <sup>1)</sup> 50000 32 (55)	B 31a <sup>1)</sup> 56000 25 (50)
<b>0,1</b>	0,70	0,09	0,07	0,14	0,16	0,11
	0,73	0,06	0,10	0,09	0,20	0,09
<b>1,0</b>	1,26	0,63	0,05	0,06	0,05	0,15
	0,56	0,13	nn	0,13	0,16	0,09
<b>2,5</b>	1,26	0,54	0,11	0,46	0,08	0,12
	0,87	0,16	nn	0,81	0,09	0,10
<b>5,0</b>	0,14	0,05	0,05	0,05	0,05	0,12
	0,13	nn	0,07	0,19	0,07	0,10
<b>10</b>	0,18	nn	0,06	0,06	nn	0,06
	0,13	0,05	0,14	0,13	nn	0,06
<b>25</b>	0,18	0,05	0,05	nn	nn	0,05
	0,06	0,05	0,06	0,05	nn	0,05
<b>50</b>	nn	nn	0,05	nn	nn	0,05
	nn	nn	0,05	nn	nn	0,05
<b>100</b>	-	-	nn	nn	nn	0,05
			0,05	nn	nn	0,05
Strassenbelag	Asphalt	Asphaltbeton	Asphaltbeton	Asphaltbeton	Beton	Beton

**1) Strassenstandorte (Kfz / Tag 1990 und Alter in Jahren)**

\* Fluoranthen, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Benzo(a)pyren, Benzo(g,h,i)perylen, Indeno(1,2,3-c,d)pyren

1. Reihe: Hauptwindrichtung abgewandte Seite

2. Reihe: Hauptwindrichtung zugewandte Seite

-: keine Messung

nn: Nachweisgrenze 0,05 mg/kg

Tab.26: PAK\* in straßennahem Grünlandaufwuchs ( $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand

Fahrbahn- ab- stand in m	B 3 <sup>1)</sup> 18000	BAB 5 <sup>1)</sup> 50000	BAB 8 <sup>1)</sup> 50000	B 31a <sup>1)</sup> 56000	BAB 5 <sup>1)</sup> 65000
2,5	20	25	53	34	45
		18	23		30
5,0	-	21	32	-	31
		16	19		23
10	nn	16	12	13	20
		13	12		24
25	-	14	11	-	17
		5	14		16
50	-	8	nn	-	20
		nn	10		14
100	-	11	6	-	4
		4	nn		8
Strassenbe- lag	Asphaltbeton	Beton	Beton	Beton	Beton

**1) Strassenstandorte (Kfz / Tag 1990 und Alter in Jahren)**

\* Fluoranthen, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Benzo(a)pyren, Benzo(g,h,i)perylen, Indeno(1,2,3-c,d)pyren

1. Reihe: Hauptwindrichtung abgewandte Seite

2. Reihe: Hauptwindrichtung zugewandte Seite

-: keine Messung

Erntetermin: Oktober 1991

nn: Nachweisgrenze 1  $\mu\text{g}/\text{kg}$

Tab.27: PAK\* Auswirkung von Gehölzstreifen auf Gehalte in straßennahen Böden (0-10 cm Tiefe) und Grünlandaufwuchs (mg/kg TM) an stark befahrenen Straßen

Fahrbahn- ab- stand in m	BAB 5 <sup>1)</sup> 50000 32 (55) ohne G	mit G.	BAB 5 <sup>1)</sup> 65000 25 ohne G.	mit G.
2,5	1,00	0,11	1,35	nn
	0,025	0,075	0,045	0,050
10	nn	nn	nn	nn
	0,016	0,002	0,020	0,010
25	nn	nn	nn	Nn
	0,014	nn	0,017	0,007
<b>Strassen- belag</b>	<b>Beton</b>		<b>Beton</b>	

#### 1) Strassenstandorte (Kfz / Tag 1990 und Alter in Jahren)

\* Fluoranthen, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Benzo(a)pyren, Benzo(g,h,i)perylen, Indeno(1,2,3-c,d)pyren

G.: Gehölzstreifen zwischen 2.5 und 10 m Fahrbahnabstand

1. Reihe: Böden

2. Reihe: Aufwuchs (Erntetermin Oktober 1991)

nn: Nachweisgrenze Boden 0,05 mg/kg; Aufwuchs 0,001 mg/kg

### 5.1.9 Aromatische Kohlenwasserstoffe (BTX-Aromaten)

Die Oberböden wurden stichprobenartig nach Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylolen untersucht.

Die leicht- bis mittelflüchtigen BTX-Aromaten konnten in 20 Bodenproben (0-10 cm Tiefe) nicht nachgewiesen werden (Nachweisgrenze 0,05 bis 0,15 mg/kg).

In den Untersuchungen der 1. Projektphase (0-5 cm) wurden maximale Konzentrationen an Benzol von 4,3 mg/kg, an Toluol 3,7 mg/kg und an Xylolen 1,5 mg/kg gemessen. In den meisten Proben waren die BTX-Aromaten ebenfalls nicht nachweisbar.

Ein möglicher Grund könnte der Probennahmeterrain sein. In der 1. Projektphase wurden die Böden im März/April, in der 2. Phase im Oktober beprobt. Infolge niedrigerer Temperaturen kommt es vermutlich im Herbst/Winter zu Anreicherungen in Böden, welche dann im Frühjahr und vor allem im Sommer ausdampfen.

Einen weiteren Einfluß übt sicherlich auch die Tiefe der Probennahme (0-5 und 0-10 cm) aus. Bei 0-10 cm werden die in den obersten cm akkumulierten Aromaten eher mit geringer belasteten Bodenabschnitten verdünnt.

Zusätzlich ist eine Probenaufbereitung ohne Verflüchtigungen von BTX-Aromaten sehr schwierig.

Abhängigkeiten vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand waren nicht feststellbar.

### 5.1.10 Phenole

In den Oberböden (0-5 cm) wurden an der B 3 OG (18.000 Kfz/Tag 1990) Gehalte zwischen 7,4 und 9,5 mg/kg, an der BAB 5 OG (50.000 Kfz/Tag) 7,7 bis 45 mg/kg und an der B 31a (56.000 Kfz/Tag) Konzentrationen von 6,2 und 15,1 mg/kg ermittelt.

Ein Zusammenhang mit dem Verkehrsaufkommen und dem Fahrbahnabstand war nicht zu erkennen.

Da zusätzlich bei der Analyse der Phenole in Anlehnung an den Phenolindex (DIN 38409, Teil 16) besonders bei humusreichen Oberböden nicht nur phenolartige Verbindungen, substituierte Phenole und Naphtole erfaßt werden, sondern auch in gewissem Umfang aromatische Amine und Huminstoffe, wurde auf eine weitere Analytik in der 2. Projektphase verzichtet.

Ein allgemein gültiges Analyseschema für Phenole existiert nicht.

In Anlehnung an die Methodenbeschreibung bei Kördel und Wahle (1990) sollte ein einheitliches Verfahren Anwendung finden.

### 5.1.11 Chlorbenzole (PCBz) und Chlorphenole (PCPh)

Die in der 1. Projektphase stichprobenartig untersuchten Oberböden (0-5 cm) an stark befahrenen Straßen (18.000-56.000 Kfz/Tag 1990) zeigten nicht nachweisbare Konzentrationen an Chlorbenzolen (Hexa-, Penta- und Tetrachlorbenzol, <5µg/kg) und Chlorphenolen (Tri-, Tetra- und Pentachlorphenol, <10 µg/kg).

Da somit durch den Kfz-Verkehr keine gravierenden Belastungen zu erwarten sind, wurde auf eine weitere Analytik in der 2. Projektphase verzichtet.

### 5.1.12 Polychlorierte Biphenyle (PCB)

Aus der Gruppe der PCB wurden die 6 repräsentativen Einzelkomponenten nach Ballschmiedt analysiert: PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180. Durch die Multiplikation der Summe der 6 Einzelkomponenten mit dem Faktor 5 kann die Summe an Gesamt-PCB grob abgeschätzt werden.

Die Konzentrationen der Summe der 6 Einzelkomponenten (Tab.28) liegen im Boden (0-10 cm Tiefe) zwischen der Nachweisgrenze (0,01 mg/kg) und hohen 18,73 mg/kg (x Faktor 5 entspricht knapp 100 mg/kg Boden). In den meisten Bodenproben waren PCB nicht nachzuweisen.

In 0-5 cm Bodentiefe an generell weniger stark befahrenen Straßen bewegten sich die PCB-Konzentrationen ebenfalls zum Großteil unter der Nachweisgrenze, so an der B 3 OG (18.000 Kfz/Tag 1990); an stärker befahrenen Straßen wie an der BAB 5 OG (50.000 Kfz/Tag) bis 10 m Fahrbahnabstand zwischen 10 und 55 µg/kg und an der B 31a (56.000 Kfz/Tag) zwischen 139 und 230 µg/kg Boden. In >10 m Entfernung von der BAB 5 OG waren die Gehalte nicht nachweisbar.

Die Konzentrationen der PCB-Einzelkomponenten haben generell folgende Reihenfolge:

**PCB 138 > PCB 153 > PCB 101 > PCB 180 > PCB 52 > PCB 28**

Die Ergebnisse zeigen keinen deutlichen Zusammenhang mit dem Verkehrsaufkommen. Bei den Bodengehalten kann eine Zunahme in Richtung Fahrbahn beobachtet werden.

Vor Gehölzen (Tab.29) können in Böden (0-10 cm) Erhöhungen bis 1,65 mg/kg auftreten, die restlichen Ergebnisse zeigen jedoch keine Unterschiede.

**Tab.28: PCB\*in straßennahen Böden (0-10 cm Tiefe, mg/kg) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand**

Fahrbahnabstand in m	B 3 <sup>1)</sup> 18000 ca. 70	BAB 5 <sup>1)</sup> 50000 32 (55)	BAB 8 <sup>1)</sup> 50000 55	B 31a <sup>1)</sup> 56000 25 (50)	BAB 5 <sup>1)</sup> 65000 25
0,1	-	0,01	0,52	-	18,73
1,0	nn	0,01	0,36	nn	1,42
2,5	-	0,05	-	-	1,15
5,0	-	0,01	-	-	-
10	nn	0,02	nn	nn	nn
25	-	nn	-	-	nn
50	-	nn	-	-	-
100	-	-	-	-	nn

**1) Strassenstandorte (Kfz / Tag 1990 und Alter in Jahren)**

\* PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180

-: keine Messung

nn: Nachweisgrenze 0,01 mg/kg

**Tab.29: PCB\* Auswirkung von Gehölzstreifen auf Gehalte in Böden (0-10 cm Tiefe, mg/kg) an stark befahrenen Straßen**

Fahrbahn-ab-stand in m	BAB 5 <sup>1)</sup> 50000 32 (55) ohne G	mit G.	BAB 5 <sup>1)</sup> 65000 25 ohne G.	mit G.
2,5	0,05	0,09	1,15	1,65
10	0,01	nn	nn	nn
25	nn	nn	nn	-

**1) Strassenstandorte (Kfz / Tag 1990 und Alter in Jahren)**

\* PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180

G.: Gehölzstreifen zwischen 2.5 und 10 m Fahrbahnabstand

-: keine Messung

nn: Nachweisgrenze 0,01 mg/kg

### 5.1.13 Polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und Polychlorierte Dibenzo-furane (PCDD/F)

Aus der Gruppe der Dioxine und Furane wurden die toxikologisch relevanten 2,3,7,8-substituierten Isomere und ihre Homologengruppen gemessen. Auf die kfz-relevanten gemischthalogenierten und bromierten Verbindungen konnte im Rahmen dieser Untersuchung nicht eingegangen werden.

Die Konzentrationen in Böden (0-10 cm, Tab.30) reichen von 86 ng/kg bis 4791 ng/kg PCDD/F, die entsprechenden Toxizitätsäquivalente (TE) von 0,5 bis 126 ng TE/kg (ITEF). In 0-5 cm Bodentiefe (Tab.31) konnten bei insgesamt geringerem Verkehrsaufkommen Gehalte zwischen 79 und 3256 ng/kg PCDD/F bzw. 0,4 bis 44,8 ng TE/kg (ITEF) ermittelt werden.

Im straßennahen Bereich (0-10 cm) sind die Furane (PCDF) i.d.R. um den Faktor 2 bis 5 stärker vertreten als die PCDD, ab 10 m Entfernung verändert sich das Verhältnis. Die Dioxinkonzentrationen (PCDD) bewegen sich zwischen 43 und 2683 ng/kg, die PCDF-Gehalte zwischen 43 und 3648 ng/kg.

Die Untersuchungen des Grünlandaufwuchses an stark befahrenen Straßen (Tab.32) ergaben Gehalte zwischen 254 und 600 ng/kg TM PCDD/F, die TE-Werte reichen von 2,5 bis 4,8 ng TE/kg TM.

Im Gegensatz zu den Böden sind beim Aufwuchs die PCDD generell um den Faktor 1,5 bis 3 stärker vertreten als die PCDF. Die PCDD-Gehalte liegen zwischen 145 und 451 ng/kg TM, die PCDF-Konzentrationen zwischen 97 und 149 ng/kg TM.

Generell sind an stark befahrenen Straßen höhere PCDD/F-Konzentrationen vorzufinden. Ein Anstieg erfolgt auch mit zunehmender Fahrbahnnähe.

An den Gehölzstandorten lassen sich zwar bei den Gesamtmengen an PCDD/F geringe Reduzierungen hinter den Gehölzen erkennen (Tab.33 und Tab.34), bei den Pflanzenproben schlägt sich dies allerdings nicht auf die 2,3,7,8-substituierten Kongenere nieder, so daß hier keine Unterschiede differenzierbar sind.

**Tab.30: PCDD/F in straßennahen Böden (0-10 cm Tiefe, ng/kg) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand**

<b>Fahrbahnabstand in m</b>	<b>B 3<sup>1)</sup> 18000 ca. 70</b>	<b>BAB 5<sup>1)</sup> 50000 32 (55)</b>	<b>BAB 8<sup>1)</sup> 50000 55</b>	<b>B 31a<sup>1)</sup> 56000 25 (50)</b>	<b>BAB 5<sup>1)</sup> 65000 25</b>
<b>0,1</b>	-	978	4270	-	4791
		358	1166		1143
		620	3105		3648
		14,9	93,4		91,7
		14,3	126,0		120,0
<b>1,0</b>	1006	410	1977	3326	1770
	800	187	836	2683	357
	206	223	1140	643	1412
	6,0	6,3	28,0	21,4	24,5
	5,2	6,4	26,7	23,0	22,0
<b>2,5</b>	-	826	-	-	2151
		434			377
		392			1775
		12,7			33,0
		12,5			32,5
<b>5,0</b>	-	232	-	-	-
		129			
		103			
		3,0			
		2,9			
<b>10</b>	1123	125	246	511	179
	1072	75	123	434	109
	51	50	123	77	71
	2,8	1,4	2,6	2,6	1,7
	2,1	1,7	2,2	1,9	1,4

<b>25</b>	-	879	-	-	108
		745			50
		134			58
		2,3			1,2
		1,8			0,5
<b>50</b>	-	741	-	-	-
		677			
		63			
		2,4			
		1,6			
<b>100</b>	-	-	-	-	86
					43
					43
					1,1
					0,6

**1) Strassenstandorte (Kfz / Tag 1990 und Alter in Jahren)**

- 1.Reihe PCDD/F ng/kg
  - 2.Reihe PCDD ng/kg
  - 3.Reihe PCDF ng/kg
  - 4.Reihe TE nach BGA
  - 5.Reihe ITEF
- :keine Messung

Tab.31: PCDD/FKonzentrationen in straßennahen Böden (0-5 cm Tiefe in ng/kg) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand

Fahrbahnabstand in m	B 3 OG <sup>1)</sup> 18000 ca. 70	BAB 5 OG <sup>1)</sup> 50000 32 (55)	B 31a <sup>1)</sup> 560000 25 (50)
<b>0,1</b>	-	1452	-
		22,5	
		23,0	
<b>1,0</b>	532	623	3256
	3,3	9,8	55,1
	2,6	9,7	44,8
<b>2,5</b>	-	1350	-
		20,7	
		20,0	
<b>5,0</b>	-	256	-
		3,0	
		2,6	
<b>10</b>	79	138	348
	0,9	1,2	3,1
	0,6	1,0	2,5
<b>25</b>	-	132	-
		1,0	
		0,4	
<b>50</b>	-	84	-
		0,6	
		0,4	

**1) Strassenstandorte (Kfz / Tag 1990 und Alter in Jahren)**

1. Reihe: PCDD/F in ng/kg
  2. Reihe: TE nach BGA
  3. Reihe: ITEF
- : keine Messung

**Tab.32: PCDD/F Gehalte in straßennahem Grünlandaufwuchs an stark befahrenen Straßen in Abhängigkeit von der Fahrbahntfernung (ng/kg TM)**

Fahrbahnab- stand in m	BAB 5 OG <sup>1)</sup>	BAB 8 <sup>1)</sup>	BAB 5 HD <sup>1)</sup>
	50000	50000	65000
<b>2,5</b>	600	306	313
	4,6	3,4	4,8
	3,6	2,8	3,5
<b>10</b>	511	216	276
	4,1	2,7	3,5
	3,6	2,4	2,5
<b>25</b>	360	-	269
	3,6		3,7
	3,0		2,9
<b>50</b>	384	-	-
	3,0		
	2,5		
<b>100</b>	-	-	254
			3,2
			2,6

**1) Strassenstandorte (Kfz / Tag 1990 und Alter in Jahren)**

Erntetermin Oktober 1991

1.Reihe PCDD/F in ng/kg TM

2.Reihe TE-BGA

3.Reihe ITEF

-: keine Messung

Tab.33: PCDD/FAuswirkug von Gehölzstreifen auf Gehalte in Böden (0-10 cm Tiefe in ng/kg) an stark befahrenen Straßen

Fahrbahn- ab- stand in m	BAB 5 OG <sup>1)</sup> 50000 mit G.	ohne G.	BAB 5 HD <sup>1)</sup> 65000 mit G.	ohne G.
<b>2,5</b>	826	973	2151	2649
	12,7	11,8	33,0	44,3
	12,5	9,1	32,5	55,7
<b>10</b>	125	123	179	112
	1,4	0,9	1,7	0,8
	1,7	0,4	1,4	0,3
<b>25</b>	879	186	108	-
	2,3	1,9	1,2	
	1,8	1,5	0,5	

**1) Strassenstandorte (Kfz / Tag 1990 und Alter in Jahren)**

1. Reihe PCDD/F in ng/kg
  2. Reihe TE nach BGA
  3. Reihe ITEF
- : keine Messung

Tab.34a: PCDD/F Auswirkung von Gehölzstreifen auf Gehalte in Grünlandaufwuchs (ng/kg TM) an stark befahrenen Straßen

Fahrbahn- ab- stand in m	BAB 5 <sup>1)</sup> 50000 mit G.	ohne G.	BAB 5 <sup>1)</sup> 65000 mit G.	ohne G.
<b>2,5</b>	600	714	313	316
	4,6	8,6	4,8	4,6
	3,6	7,7	3,5	4,3
<b>10</b>	511	457	276	206
	4,1	5,6	3,5	2,9
	3,6	5,1	2,5	2,5
<b>25</b>	360	351	269	-
	3,6	3,7	3,7	
	3,0	2,9	2,9	

**1) Strassenstandorte (Kfz / Tag 1990 und Alter in Jahren)**

- Erntetermin Oktober 1991
1. Reihe PCDD/F in ng/kg TM

- 2. Reihe TE nach BGA
- 3. Reihe ITEF
- : keine Messung

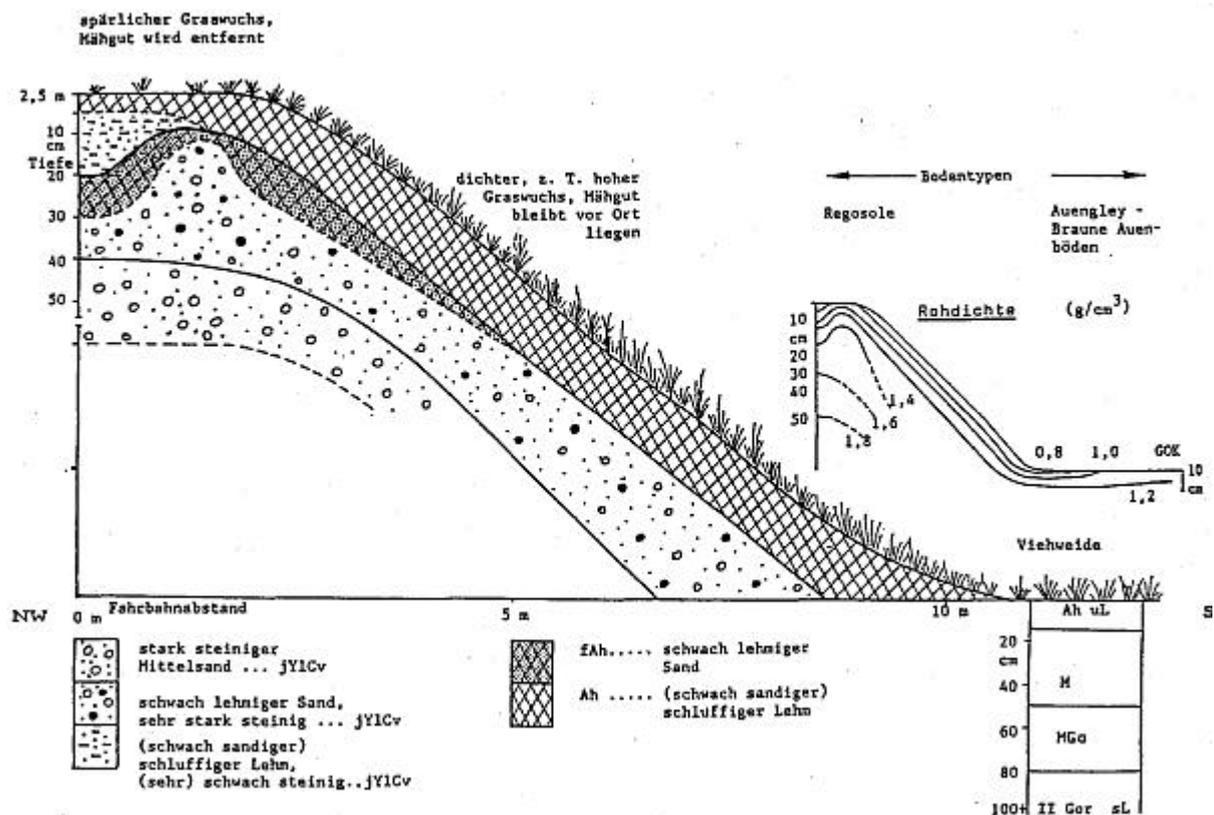
## 5.2 Profilproben

In der 1. Projektphase wurden an der BAB 5 zwischen Offenburg und Lahr (50.000 Kfz/Tag 1990) Profilproben bis maximal 50 cm Bodentiefe gezogen.

### 5.2.1 Anthropogen geprägte Böden in Straßennähe

In **Profil 1** sind die pedologischen Standortbedingungen dargestellt. Bis ca. 2 m Fahrbahnentfernung ist ein spärlicher Graswuchs zu beobachten und ein vergleichsweise geringmächtiger humoser Oberboden anzutreffen. Schon in 2.5-5.0 m Entfernung ist der Graswuchs dichter und die Mächtigkeit des Oberbodens beträgt bis zu 40 cm. Zum Teil ist diese Mächtigkeit auf umgelagertes fossiles Oberbodenmaterial zurückzuführen (bis ca. 5 m Entfernung).

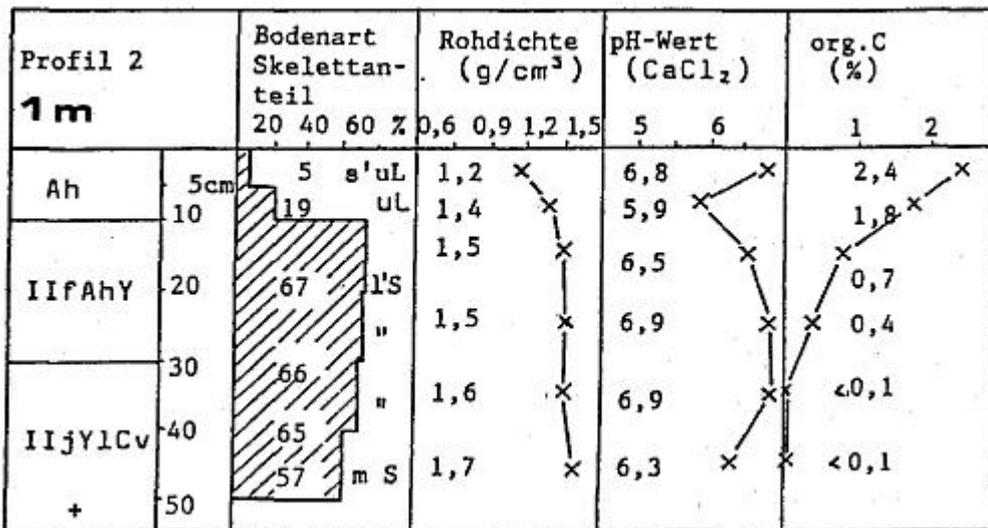
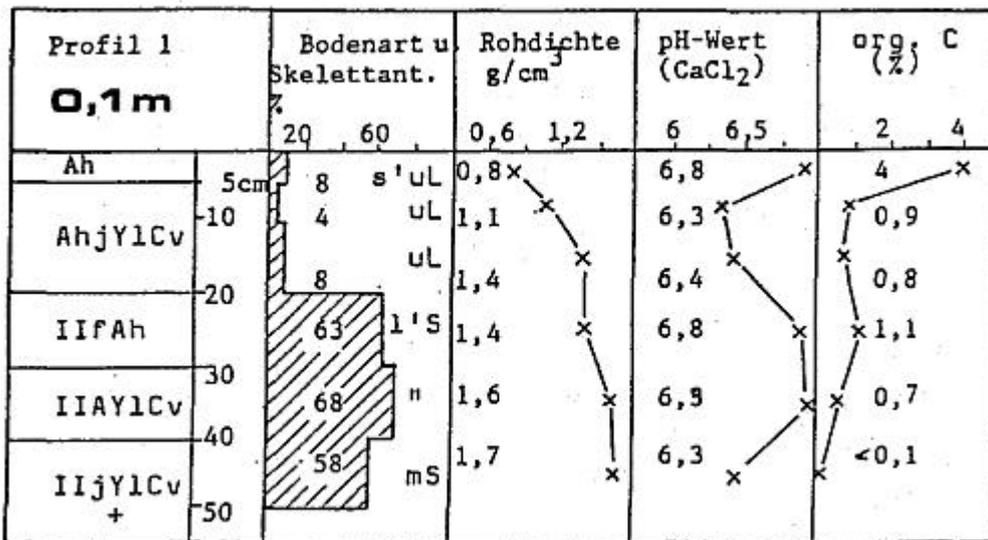
**Profil 1: Anthropogen geprägte Böden an der Bundesautobahn A 5 zwischen Offenburg und Lahr:**



Die Abb.3a bis 3e geben einen Überblick der Bodenform, Rohdichte, pH-Wert und Gehalt an organischem Kohlenstoff der anthropogen geprägten Straßenbankettböden bis 10 m Fahrbahnabstand.

Bis etwa 7 m Fahrbahntfernung (vgl. Profil 1 und Abb.3a-3e) handelt es sich um reine anthropogene Auftragsböden aus natürlichen Substraten. Sie können als Depo-Regosole aus Lößlehm über Sand bezeichnet werden. Im Anschluß beginnen Übergangsformen, ab 10 m Abstand natürliche Auengley-Braune Auenböden aus Lößlehm über sandigem Lehm.

Abb.3a bis 3e: Bodenprofile 1 bis 5 an der BAB 5 in 0.1 bis 10 m Fahrbahntfernung:



Profil 3 2,5 m		Bodenart Skelettant.				Rohdichte (g/cm <sup>3</sup> )				pH-Wert (CaCl <sub>2</sub> )		org. C (%)				
		20	40	60	%	0,6	0,9	1,2	1,5	5	6	2	4	6	8	10
Ah	5cm		12	uL		x		0,7		6,4	x			x		6,8
	10		22	"		x		0,8		6,2	x			x		4,8
II jYfAh	20		16	l'S			x	1,0		6,2	x		x			4,0
II f Ah	30		20	"			x	1,1		5,9	x			x		5,5
II YCfAh	40			"												
III jYlCv +	50				mS											

Profil 4 5 m		Bodenart Skelettant.				Rohdichte (g/cm <sup>3</sup> )				pH-Wert (CaCl <sub>2</sub> )		org. C (%)				
cm		20	40	60	%	0,6	0,9	1,2	1,5	5	6	2	4	6	8	10
Ah	5		3	uL		x		0,7		x	x			5,5		8,1
	10		10	"		x		0,8		x				4,9		7,0
	20		4	"			x	1,1		x				4,9		5,5
	30		4	"			x	1,2		x				4,9		4,9
II fAh	40				l'S											
II jYlCv +	50				"											

Profil 5 10 m		Bodenart u. Skelettant.				Rohdichte (g/cm <sup>3</sup> )				pH-Wert (CaCl <sub>2</sub> )		org. C (%)				
cm		20	60	%		0,6	1,2			5	6	2	6			
Ah	5		1	uL			0,8				x6,2			9,4		
	10		3	uL			1,1			x			5,2		6,5	
	20		5	uL			1,2			x			5,5		4,7	
	30			"												

Außer den rezenten Oberböden ist in **Profil 1** und Abb.3 in 10 bis maximal 30 cm Tiefe ein wenige cm bis 10 cm mächtiger fossiler Ah-Horizont aufgedeckt worden. Dieser fAh-Horizont zeigt einen ehemaligen straßennahen Boden. Der erste Autobahnbau begann an diesem Standort etwa 1935. Am Straßenrand wurden zu dieser Zeit Wälle als eine Art Leitplanke aufgeschüttet. Das Alter der heutigen BAB 5 beträgt an dieser Stelle 30 Jahre, so daß beide Oberböden Schadstoffgehalte von etwa 25-30 Jahren Kfz-Emissionen beinhalten.

Eine wichtige Bedeutung für Stoffanreicherungen in straßennahen Böden können die Pflegemaßnahmen der Straßen-/Autobahnmeistereien ausüben. Während das Mähgut bis 2 m Abstand entfernt und i.d.R. auf eine Deponie verbracht wird, bleibt es ab ca. 2 m Fahrabstand vorort liegen oder es wird überhaupt nicht gemäht.

Während am Straßenrand eine ständige Abfuhr an Schadstoffen nicht nur im Mähgut, sondern auch durch die Aufnahme von Bodensubstrat je nach Pflegemaßnahme stattfindet (besonders bei Absaugen des Mähgutes), geschieht in 2.5 bis 10 m Entfernung eine ständige Akkumulation durch Ausfilterung, Absterben der Pflanzenteile und Humusbildung. Die maximal 8-fach mächtigeren Ah-Horizonte sind dafür ein Beleg.

Der dichtere Bewuchs in der Böschungsmitte und am Böschungsfuß verhindert zusätzlich eine stärkere Verdunstung, Winderosion und fotolytischen Abbau organischer Stoffe.

Aufgrund des spärlicheren Bewuchses auf der Böschungsspitze ist, infolge Niederschlag und Straßenoberflächenabfluß sowie Windexposition, zusätzlich mit Erosion abgelagerter Staubpartikel und Bodensubstrat zu rechnen (feuchteabhängig). Mit einer Akkumulation des erodierten Materials ist hauptsächlich an der Böschungsoberkante mit Beginn eines dichteren Bewuchses (ab ca. 2 m Abstand) zu rechnen. Die Gehalte in 1 m Entfernung werden somit zugunsten der Gehalte in 2.5 m entsprechend geringer.

### 5.2.2 Schwermetalle

Die Abb.4 bis 8 zeigen die Tiefenfunktionen der Schwermetallgehalte (Pb, Cd, Cu, Zn) an der BAB 5 in 0.1 bis 10 m Entfernung.

Die Profile 1 bis 3 zeigen generell Maxima in 0-5 cm Bodentiefe und ein rasches Absinken der Gehalte bis zu den Unterböden (Abb.4, 5 und 6). Bei den Profilen 4 und 5 wurden Oberböden in verschiedenen Tiefen beprobt. Infolge der sehr stark humosen Böden sind die lateralen Gradienten weniger deutlich ausgeprägt (Abb.7 und 8).

Abb. 4: Tiefenfunktionen der Schwermetallgehalte in straßennahen Böden der A5 zwischen Offenburg und Lahr - Profil 1: 0,1 m entfernt vom Fahrbahnrand -

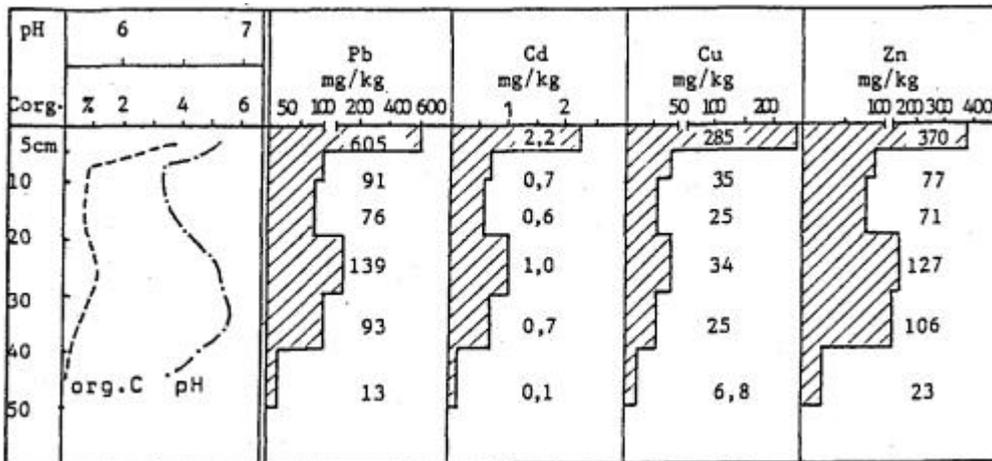


Abb. 5: Tiefenfunktionen der Schwermetallgehalte in straßennahen Böden der A5 zwischen Offenburg und Lahr - Profil 2: 1,0 m entfernt vom Fahrbahnrand -

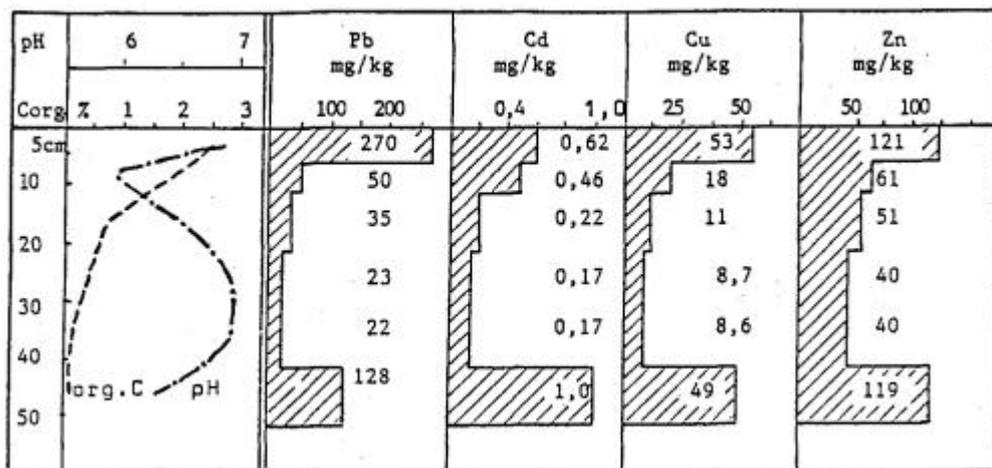


Abb. 6: Tiefenfunktionen der Schwermetallgehalte in straßennahen Böden der A5 zwischen Offenburg und Lahr - Profil 3: 2,5 m entfernt vom Fahrbahnrand -

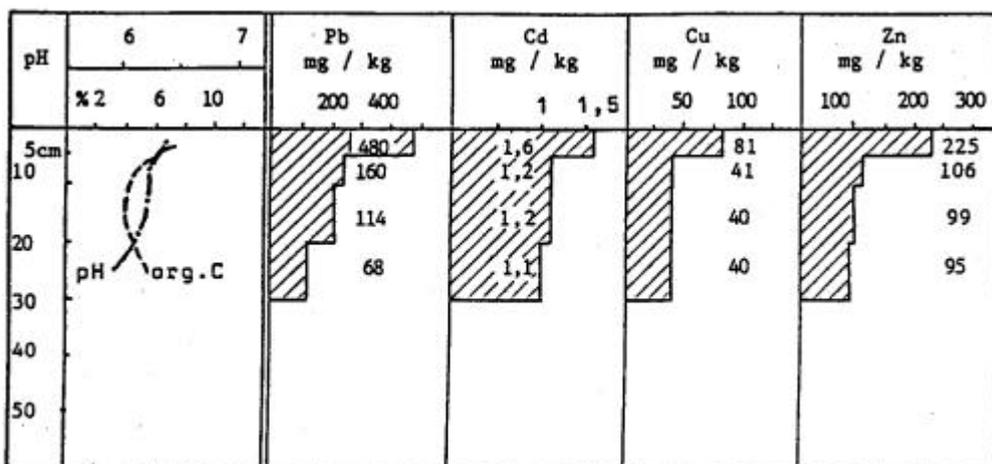


Abb. 7: Tiefenfunktionen der Schwermetallgehalte in straßennahen Böden der A5 zwischen Offenburg und Lahr - Profil 4: 5,0 m entfernt vom Fahrbahnrand -

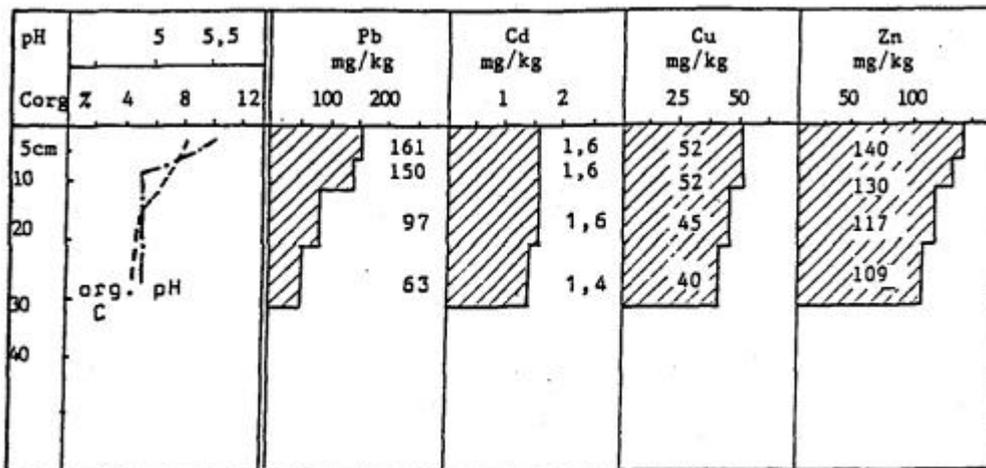
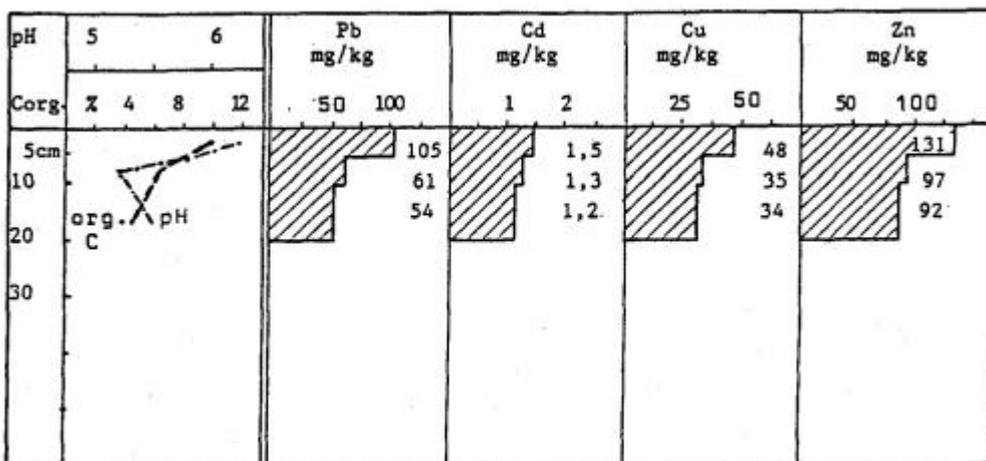


Abb. 8: Tiefenfunktionen der Schwermetallgehalte in straßennahen Böden der A5 zwischen Offenburg und Lahr - Profil 5: 10 m entfernt vom Fahrbahnrand -



### 5.3 Organische Stoffgruppen

Ähnlich den Schwermetallen verhalten sich die organischen Gruppenparameter Mineralöl-Kohlenwasserstoffe (C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>), Phenole und PAK (Summe von 16 Einzelsubstanzen nach EPA) in den Bodenprofilen 1 bis 5 (Abb.9 bis Abb.13).

Eine generelle kontinuierliche Abnahme der Konzentrationen parallel zum Gehalt an organischem Kohlenstoff ist gegeben. Wie bei den Schwermetallen (vgl. Abb.4 und 5) bewirken die fossilen Bodenhorizonte einen Konzentrationsanstieg (Abb.9 und 10).

In Profil 1 (Abb.9) sind die sehr hohen PAK-Gehalte im fAh-Horizont mit 11 mg/kg Boden (Summe von 16 Einzelsubstanzen nach EPA) zu erwähnen, der Benzo(a)pyrengehalt beträgt

hier 1 mg/kg. In 30-40 cm Tiefe ist Fluoranthren mit 2 mg/kg nachweisbar, während sonst die PAK in den tieferen Bodenabschnitten unter der Nachweisgrenze (0,05 mg/kg) liegen.

Abb. 9: Tiefenfunktionen der organischer Gruppenparameter in straßennahen Böden der A5 zwischen Offenburg und Lahr - Profil 1: 0,1 m entfernt vom Fahrbahnrand -

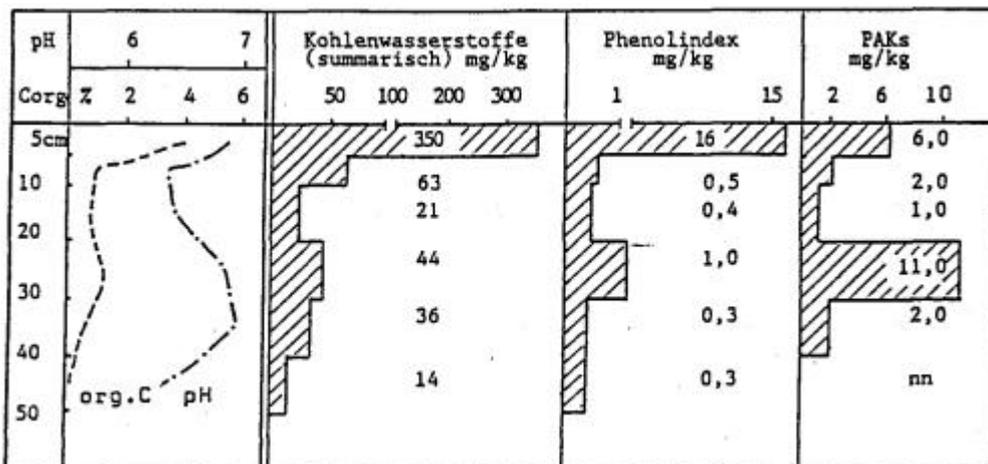


Abb. 10: Tiefenfunktionen der organischer Gruppenparameter in straßennahen Böden der A5 zwischen Offenburg und Lahr - Profil 2: 1,0 m entfernt vom Fahrbahnrand -

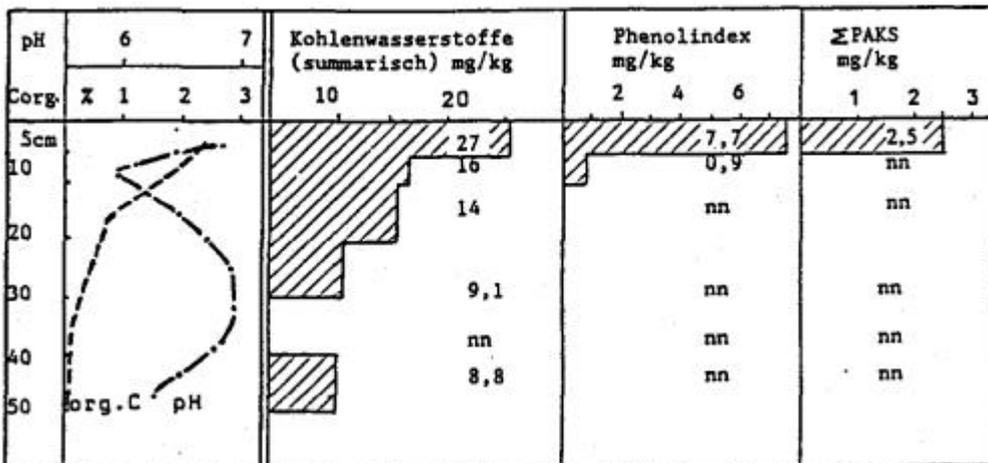


Abb. 11: Tiefenfunktionen der organischer Gruppenparameter in straßennahen Böden der A5 zwischen Offenburg und Lahr - Profil 3: 2,5 m entfernt vom Fahrbahnrand -

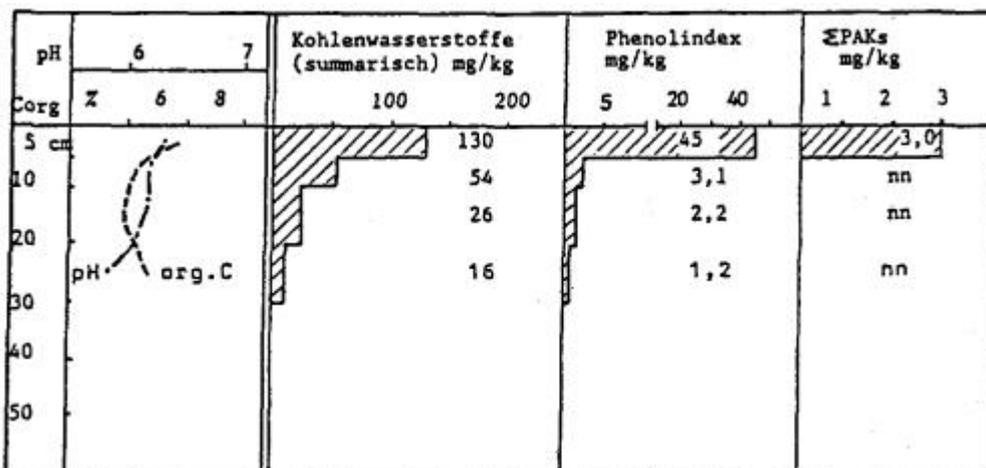


Abb. 12: Tiefenfunktionen der organischer Gruppenparameter in straßennahen Böden der A5 zwischen Offenburg und Lahr - Profil 4: 5,0 m entfernt vom Fahrbahnrand -

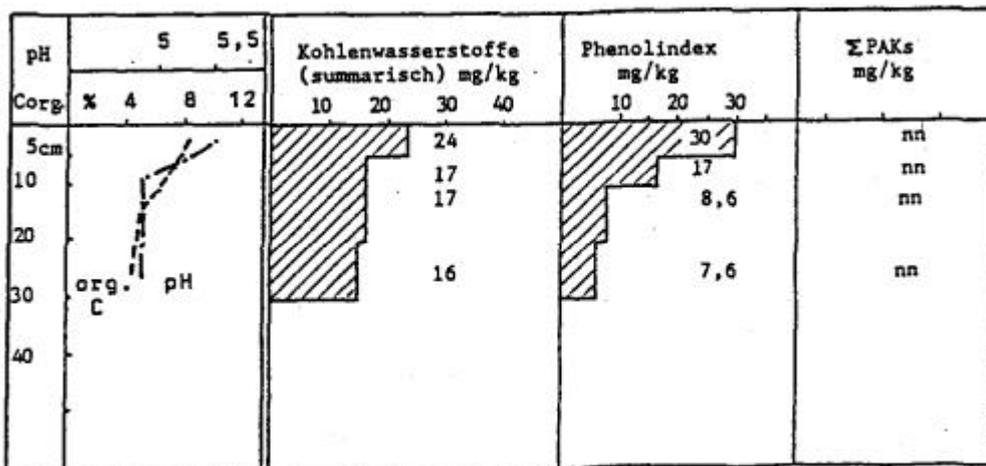
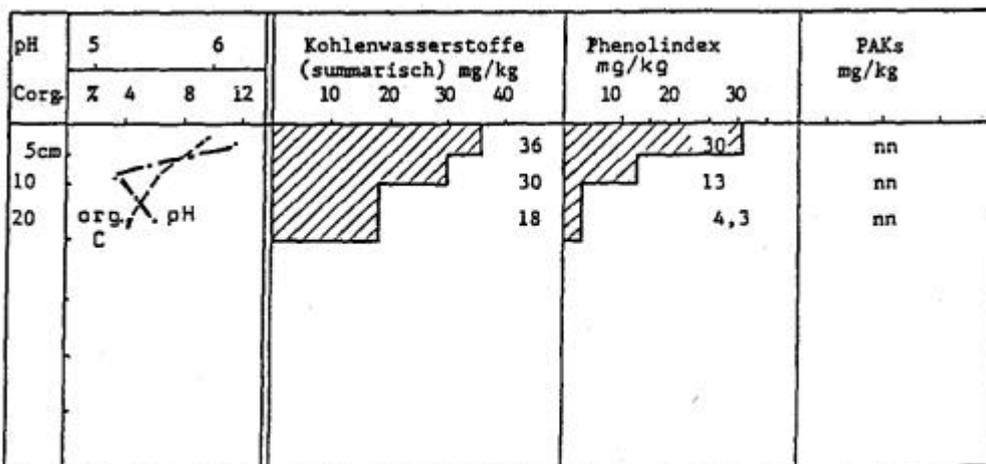


Abb. 13: Tiefenfunktionen der organischer Gruppenparameter in straßennahen Böden der A5 zwischen Offenburg und Lahr - Profil 5: 10 m entfernt vom Fahrbahnrand -



Die CnHm, bei deren Anwesenheit weniger mobile organische Verbindungen verlagert werden können, sind generell bis zu den Unterböden nachzuweisen.

Die Tiefenfunktionen der PCDD/F (Tab.34) zeigen auf den ersten Blick ein ähnliches Verhalten wie die vorher besprochenen Stoffe.

**Tab.34b: PCDD/F Tiefenfunktionen in straßennahen Böden (ng/kg) an der BAB 5 zwischen Ofenburg und Lahr mit 50.000 Kfz/Tag 1990**

Tiefe in cm	0,1 *	1,0 *	2,5 *	5,0 *	10 *
<b>0-5</b>	612	295	724	152	88
	840	328	626	104	50
	22,5	9,8	20,79	3,0	1,2
	23,0	9,7	20,0	2,6	1,0
<b>5-10</b>	103	78	144	105	61
	400	118	158	101	50
	8,3	2,8	4,6	3,0	1,5
	6,3	3,0	5,0	3,1	2,7
<b>10-20</b>	388	102	167	172	66
	334	65	174	88	34
	7,4	1,7	4,8	2,5	0,7
	5,9	1,2	5,0	2,0	0,1
<b>30-40</b>	180	-	-	-	-
	166				
	3,8				
	4,1				
<b>40-50</b>	21	-	-	-	-
	27				
	0,3				
	0,1				

\* Fahrbahnabstand in m

1. Reihe: PCDD ng/kg
2. Reihe: PCDF "
3. Reihe: TE nach BGA
4. Reihe: ITEF

Die Tiefenfunktionen der PCDD- und PCDF-Homologengruppen zeigen dagegen keine einheitliche Verteilung in den straßennahen Böden (Abb.14 bis Abb.18). Generell sinken nachweisbare Gehalte in 40-50 cm Tiefe auf <5 bzw. <10 ng/kg Boden (Abb.14, Profil 1).

Abb. 14: Tiefenfunktionen der PCDD/F-Summenwerte von Profil 1 (0,1 m):

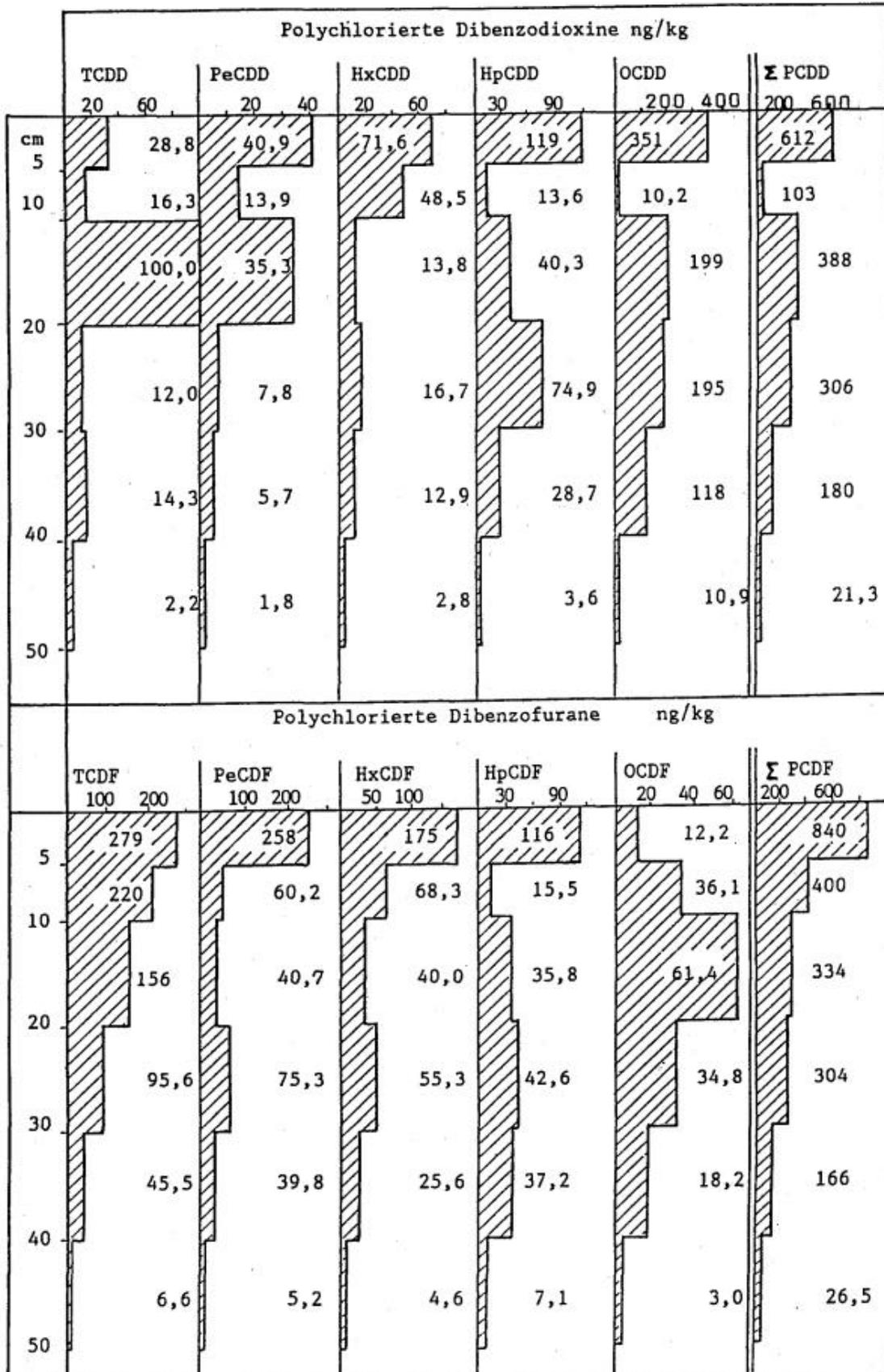


Abb. 15: Tiefenfunktionen der PCDD/F-Summenwerte von Profil 2 (1 m):

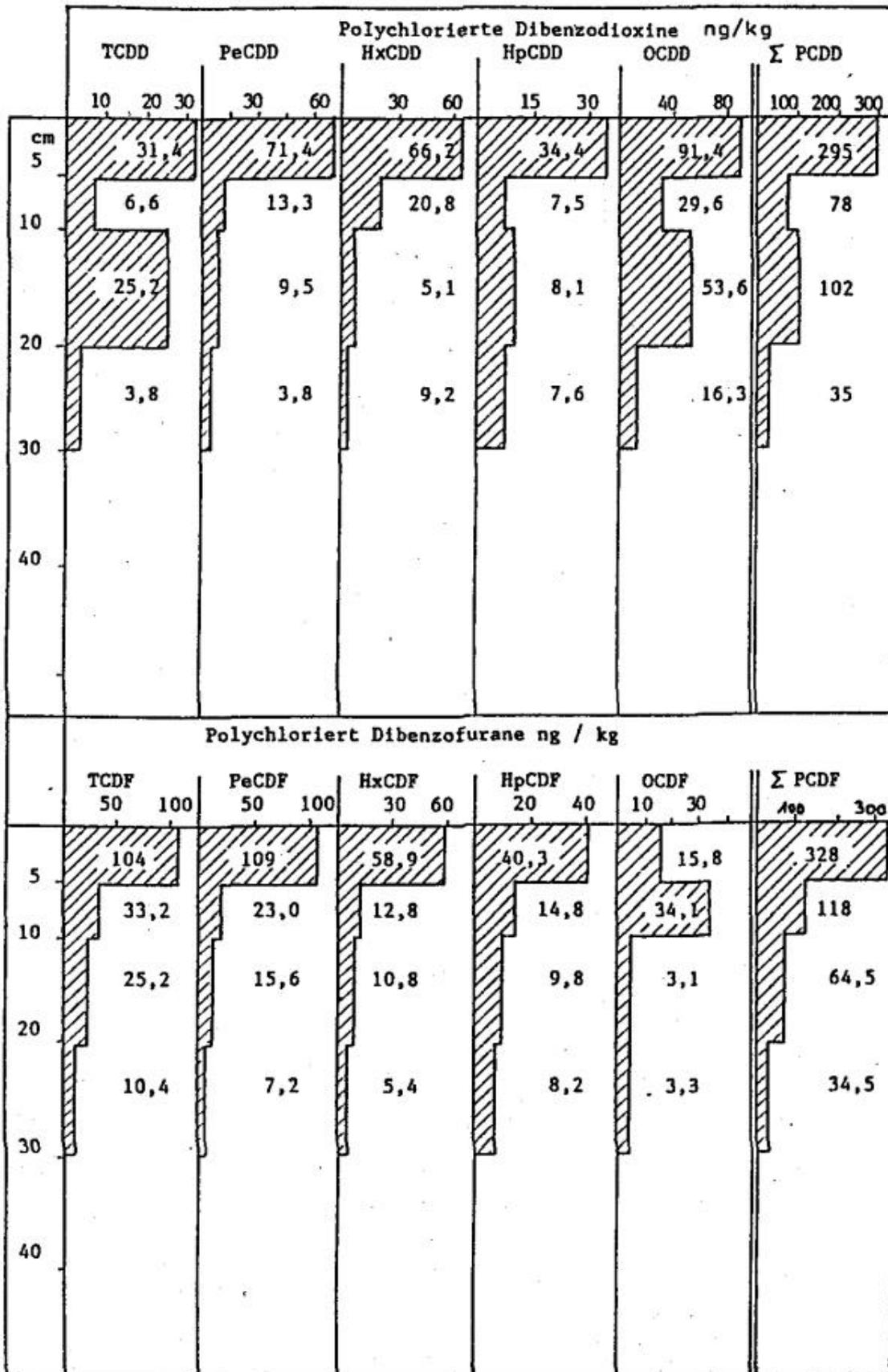


Abb. 16: Tiefenfunktionen der PCDD/F-Summenwerte von Profil 3 (2,5 m):

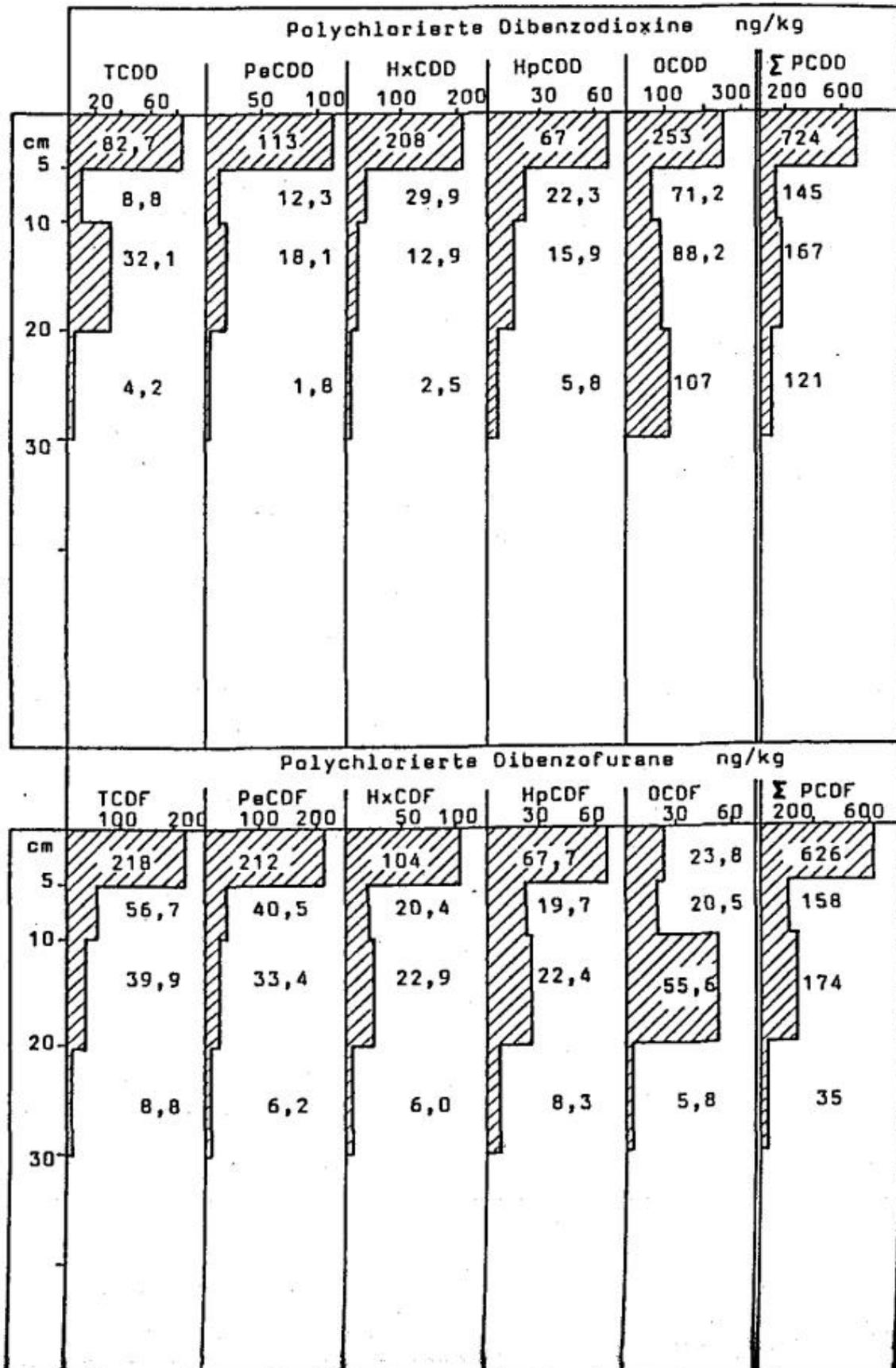


Abb. 17: Tiefenfunktionen der PCDD/F-Summenwerte von Profil 4 (5 m):

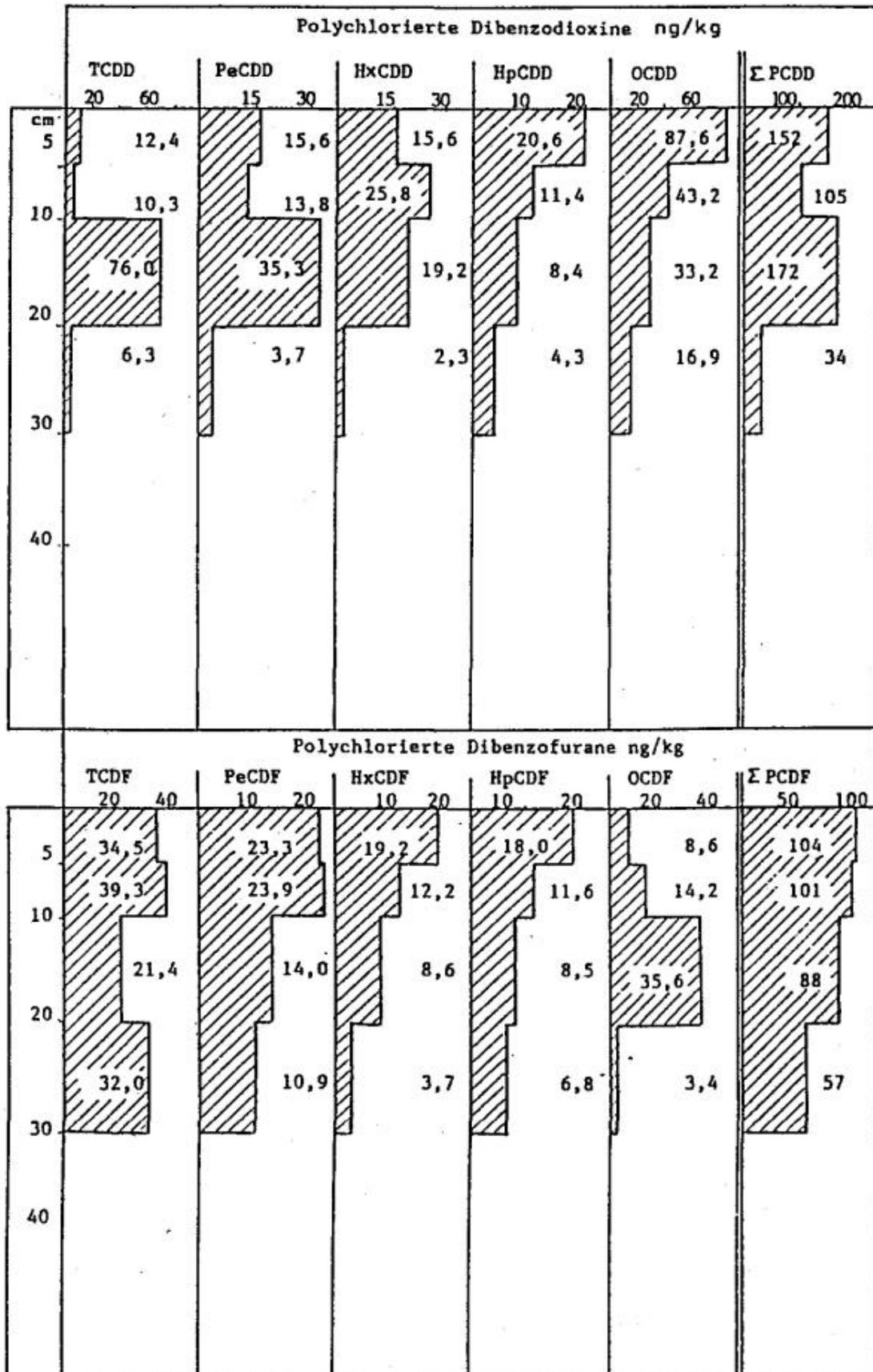
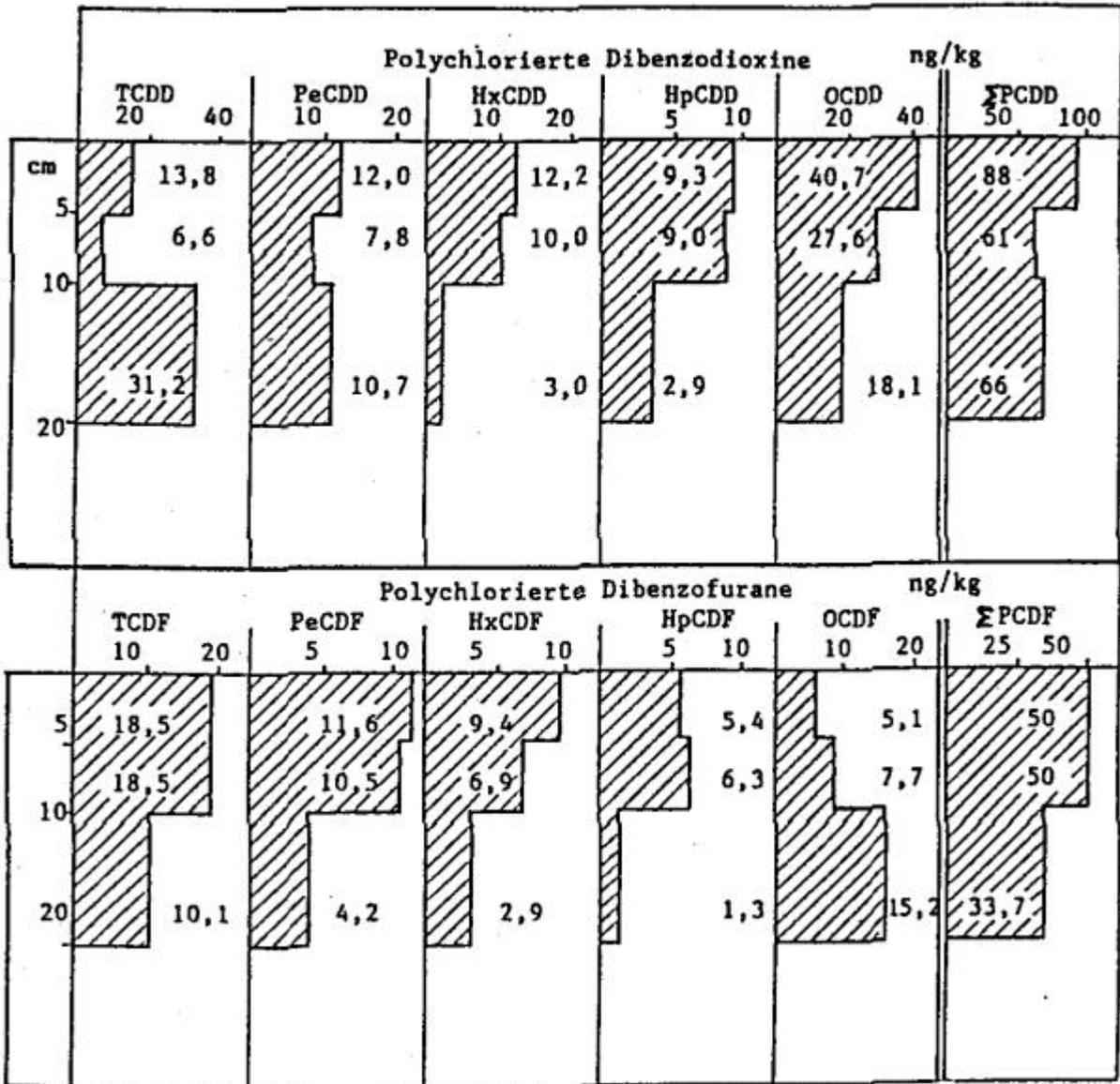


Abb. 18: Tiefenfunktionen der PCDD/F-Summenwerte von Profil 5 (10 m):



### 5.3 Gehölzstreifen

An der BAB 5 (65.000 Kfz/Tag 1990) bei Heidelberg wurden die Blätter des Straßenbegleitgrüns (Hainbuchenhecke, *Carpinus betulus*) in 2,5 bis 3 m Abstand zur Fahrbahn in verschiedenen Höhen vor (August) und nach einer Regenperiode (Oktober) auf Schwermetalle untersucht (Tab.35).

Die Schwermetallgehalte bewegen sich etwa in der gleichen Größenordnung wie diejenigen des Grünlandaufwuchses in 2,5 m Abstand zur Fahrbahn.

**Tab.35: Schwermetallein Hainbuchen-Blättern eines Gehölzstreifens an einer stark befahrenen Bundesautobahn\* - Beprobung in unterschiedlichen Höhen vor und nach einer Regenperiode -**

Höhe cm	Erntetermin	Pb (mg/kg TM)	Cd (mg/kg TM)	Cu (mg/kg TM)	Zn (mg/kg TM)	Ni (mg/kg TM)	Cr (mg/kg TM)
50	August	14	0,07	11	32	2,0	0,2
50	Oktober	21	0,10	14	42	2,1	0,3
100	August	21	0,07	11	30	0,8	0,2
100	Oktober	15	0,08	11	32	2,8	0,2
150	August	20	0,08	10	29	1,4	0,1
150	Oktober	18	0,11	11	30	1,0	0,8
200	August	20	0,08	12	39	0,7	0,2
200	Oktober	16	0,09	9	22	0,5	0,3
<b>Minimum</b>		14	0,07	9	22	0,5	0,1
<b>Maximum</b>		21	0,11	14	42	2,8	0,8
<b>Mittelwert</b>		19	0,09	11	33	1,4	0,3

\* Hainbuchen-Hecke (*Carpinus betulus*) in 2,5-3 m Abstand zur

BAB 5 zwischen Weinheim und Heidelberg (65.000 Kfz/Tag 1990)

Erntetermine: August und Oktober 1991

## 5.4 Schwemmaterial

Die Ergebnisse der Messungen im Schwemmaterial sind in der Tab.36 und Tab.36 für beide Projektphasen zusammengefasst. Im unteren Teil der Tabellen werden durch Minima und Maxima die Schwankungsbreiten dargestellt.

Eine deutliche Beziehung zum Verkehrsaufkommen ist bei Pb und den CnHm zu erkennen.

Tab.36: Schwermetalle im Schwemmaterial von Straßen mit unterschiedlichem Verkehrsaufkommen:

Straßenstandort Kfz/Tag (Straßenbelag)	Schwermetalle						Chem.-phys. Parameter		
	Pb mg/kg	Cd	Cu	Zn	Ni	Cr	pH	Org. %	KG >2mm %
L 99 1.200 (Asphalt)	109	0,3	56	116	-	-	6,3	3,9	11
K 5326 5.000 (A.-Beton)	180	4,3*	-	-	-	-	6,9	4,6	33
B 3 16.000 (A.-Beton)	650	4,1	155	520	-	-	6,9	4,4	22
B 3 18.000 (A.-Beton)	700	4,8	142	440	-	-	6,7	4,5	11
BAB 5 50.000 (Beton)	990	2,8	312	550	35	62	6,7	6,6	24
BAB 8 50.000 (Beton)	864	2,9	216	660	43	55	7,5	6,0	24
B 31a 56.000 (Beton)	580	3,1	122	430	-	-	6,8	3,7	17
BAB 5 65.000 (Beton)	980	4,6	167	480	42	66	6,9	6,0	5
<b>Minimum</b>	<b>109</b>	<b>0,3</b>	<b>56</b>	<b>116</b>	<b>35</b>	<b>55</b>	<b>6,3</b>	<b>3,9</b>	<b>5</b>
<b>Maximum</b>	<b>990</b>	<b>4,8</b>	<b>312</b>	<b>660</b>	<b>43</b>	<b>66</b>	<b>7,5</b>	<b>6,6</b>	<b>33</b>

\* K 5326: nicht durch Kfz bedingte Cd-Belastung verursacht

:- keine Messung

**Schwemmaterial:** Ablagerung auf Fahrbahnrand (Straßensedimente)

Tab.37: Organische Verbindungen im Schwemmaterial von Straßen mit unterschiedlichem Verkehrsaufkommen:

Straßen- standort Kfz/Tag (Straßen- belag)	Organische Verbindungen										
	CnHm mg/kg	BTX	Phen	PAK	PCB µg/kg	PCBz	PCPh	PCDD ng/kg	PCDF	TEQ	Corg %
L 99 1.200 (Asphalt)	106	3,1	15	0,62	nn	nn	nn	311	97	3,8 3,2	3,9
K 5326 5.000 (A.-Beton)	390	-	-	0,22	-	-	-	-	-	-	4,6
B 3 16.000 (A.-Beton)	505	2,8	6	0,09	nn	nn	nn	1133	265	8,8 8,7	4,4
B 3 18.000 (A.-Beton)	770	11,2	9	0,24	nn	nn	nn	675	239	11,1 11,0	4,5
BAB 5 50.000 (Beton)	2850	11,0	12	0,52	nn	nn	nn	212	410	7,6 8,3	6,6
BAB 8 50.000 (Beton)	1045	nn	-	0,06	0,27	-	-	955	285	13,1 12,2	6,0
B 31a 56.000 (Beton)	1230	11,9	3	0,12	nn	nn	nn	491	255	9,0 9,0	3,7
BAB 5 65.000 (Beton)	860	nn	-	0,13	0,90	nn	-	2202	108	6,3 5,4	6,0
<b>Minimum</b>	<b>106</b>	<b>nn</b>	<b>3</b>	<b>0,06</b>	<b>nn</b>	<b>nn</b>	<b>nn</b>	<b>212</b>	<b>97</b>	<b>3,2</b>	<b>3,7</b>
<b>Maximum</b>	<b>2850</b>	<b>11,9</b>	<b>15</b>	<b>0,62</b>	<b>0,90</b>	<b>nn</b>	<b>nn</b>	<b>2202</b>	<b>410</b>	<b>13,1</b>	<b>6,6</b>

-: keine Messung

nn: Nachweisgrenzen

BTX Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol 0,050 mg/kg

PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180, 010 mg/kg

PCBz Hexa-, Penta- und Tetrachlorbenzol 0,005 mg/kg

PCPh Tri-, Tetra- und Pentachlorphenol 0,010 mg/kg

TEQ: 1.Reihe TE BGA

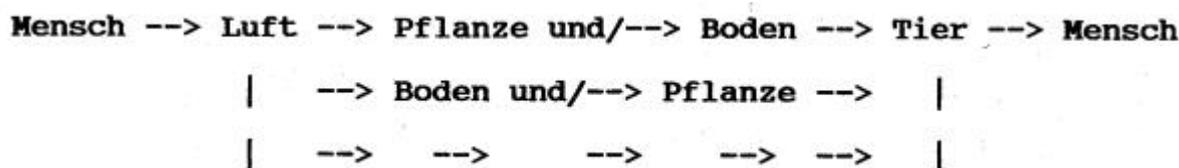
2.Reihe ITEF

**Schwemmaterial:** Ablagerung auf Fahrbahnrand (**Straßensedimente**)

## 6. Beurteilung der Stoffgehalte in Böden, Aufwuchs und Schwemmaterial

### 6.1 Böden und Grünlandaufwuchs

Der Eintrag potentieller Schadstoffe in Grünlandökosysteme sowie der Übergang in die Nahrungskette bis zum Menschen vollzieht sich über die folgenden Belastungspfade (Abb.19 und Abb.20):



Das Stoffverhalten im **System 'Boden-Pflanze'** kristallisiert sich als zentraler Regelungsmechanismus heraus. Infolge des Nutzungskonflikts an Kfz-Verkehrstrassen mit angrenzender Futtermittelproduktion (gleiches gilt für die Nahrungsmittelproduktion) können potentielle Schadstoffe über die Kfz-Emissionen zum Menschen gelangen.

Über die Belastung von Böden und Aufwuchs mit Schwermetallen im straßennahen Bereich liegen bereits zahlreiche Untersuchungen vor. Erste Ergebnisse an bundesdeutschen Straßen wurden von Kloke und Riebartsch (1964) sowie von Leh (1966) veröffentlicht. Die Literatur zur Schwermetallproblematik straßennaher Böden und Pflanzen ist in UBA (1976) und Hoffmann et al. (1989), mit Untersuchungen im Großraum Karlsruhe, zusammenfassend dargestellt.

Jüngere Untersuchungen im Ausland wurden veröffentlicht von Walker und Everett (1987), Ho und Tai (1988), Lawrey und Hale (1988), Burguera et al. (1988), Akeredolu (1989), Okamoto et al. (1990).

In der Bundesrepublik haben Harres et al. (1985), Steubing (1987), Kasperowsky und Frank (1990), Radtke et al. (1990), Reinirkens (1990), Dörr et al. (1990), Puchelt et al. (1991), Einax et al. (1991) sowie UVF (1991) Schwermetalluntersuchungen in straßennahen Böden und/oder Pflanzen durchgeführt. Fischer und Jauch (1987) ermittelten zwischen Schwermetallgehalten im Böschungsmähgut und dem Verkehrsaufkommen hochsignifikante Korrelationen.

Abb. 19: Deposition von Immissionen in Grünlandökosysteme ( aus: Grünhage et. Al. 1992)

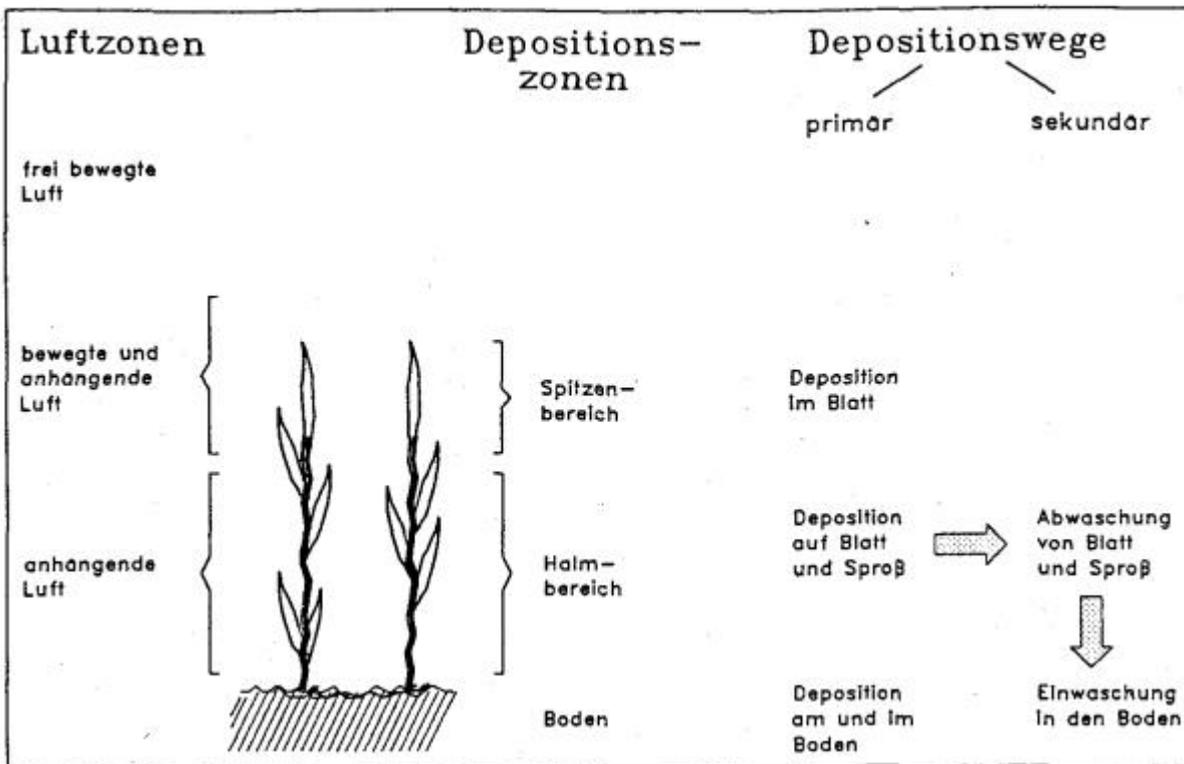
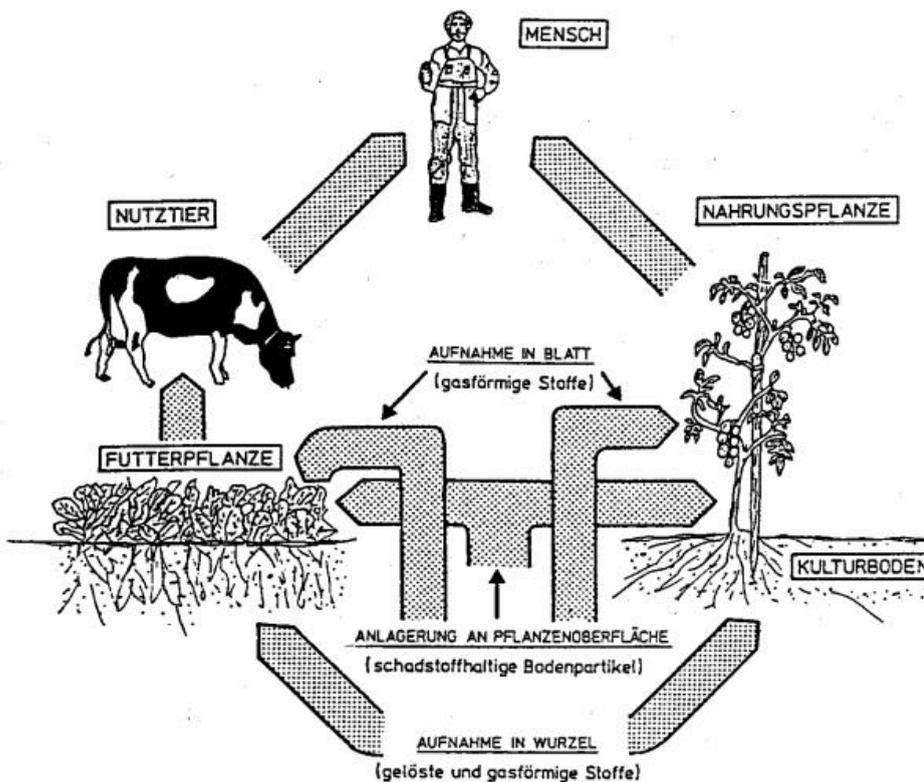


Abb.20: Schadstoff-Einwirkungspfad Boden -> Nutzpflanze (-> Nutztier) -> Mensch (aus: König 1990):

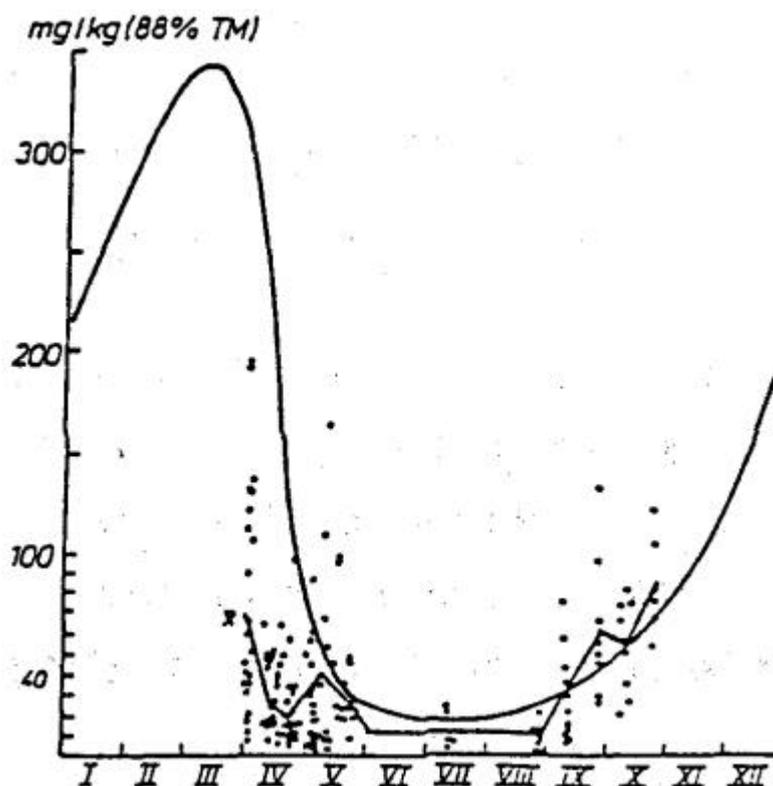


Über die Auswirkung abnehmender Bleigehalte im Benzin bzw. Abgas (vgl. Dörr et al. 1990), wachsender Anteile bleifreien Benzinverbrauchs (UBA 1987) und höherer Anteile schadstoffärmerer Antriebskonzepte (UBA 1988) auf die Schwermetallgehalte in straßennahem Aufwuchs liegen in jüngerer Zeit kaum Untersuchungen vor.

Im Gegensatz zu Böden, geben Pflanzen den aktuellen Stoffeintrag wieder. Allerdings ist eine Aufnahme über den Boden zu berücksichtigen.

Der Erntetermin hat eine entscheidende Bedeutung bezüglich der Stoffgehalte im Aufwuchs. Fidora (1972) und Schmid et al. (1974) konnten für Laubgehölze bzw. Grünlandaufwuchs eine Zunahme der Schwermetallbelastung während der Vegetationsperiode (Mai bis Oktober) nachweisen. Durch den Verdünnungseffekt infolge eines raschen Zuwachses an Pflanzenmaterial ab Ende April, Anfang Mai erfolgt zunächst eine Konzentrationsabnahme bis ca. Ende Mai, Anfang Juni. Durch Emittenteneinfluß steigt anschließend die Konzentration bis zum Ende der Vegetationsperiode (vgl. Steubing 1987) mit zunehmendem Verkehrsaufkommen (vgl. Däßler 1991) ständig an. Die Gehalte im Oktober (Grünlandaufwuchs) entsprechen etwa denjenigen zu Beginn der Vegetationsperiode Ende April (vgl. Früchtenicht und Vetter 1982, Abb.21).

**Abb. 21: Streuung der Bleigehaltswerte um die Trennkurve beim Grünlandaufwuchs in 2 – 2,5 km Entfernung von der Bleihütte in Nordenham 1981 – 1982 (Früchtenicht und Vetter 1982)**



Um die Maximalbelastung des Grünlandaufwuchses als Futtermittel zu ermitteln, wurde für dieses Projekt als Erntetermin das Ende der Vegetationsperiode (Oktober) gewählt.

Den Belastungspfad kfz-bedingter anorganischer und organischer Stoffe von Böden zum Grundwasser untersuchten Golwer und Schneider (1983), den Eintrag durch Straßenoberflächenwasser Krauth und Klein (1982) sowie Gäth et al. (1990).

Zur kfz-bedingten Belastung mit organischen Verbindungen liegen weitaus weniger Untersuchungen vor als über Schwermetalle.

Blumer et al. (1977) stellten einen Zusammenhang zwischen PAK-Belastung von Böden, Verkehr und karzinogener Auswirkungen beim Menschen her. Münch (1990, 1992) berichtet über PAK-Bodenbelastungen an Asphaltstraßen. Fleischmann und Wilke (1991) sowie Teebay et al. (1991) fanden PAK-Belastungen in straßennahen Böden und Aufwuchs (Yang et al. 1991). Untersuchungen über PAK-Gehalte in straßennahem Aufwuchs in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen wurden bisher nicht veröffentlicht.

Hoffmann et al. (1989) ermittelten nur geringe Unterschiede zur Hintergrundbelastung zwischen PCB-Gehalten in straßennahen Böden und Aufwuchs. Stichprobenartige Untersuchungen (MURL NRW 1991) in Böden und Gras zeigen eine Zunahme an PCB mit abnehmender Fahrbahntfernung. Überhöhte PCB-Gehalte (6 Ballschmitter-Kongenere) zeigen Untersuchungen in direkter Straßennähe an der BAB 8 bei Stuttgart (Landtag B-W 1991).

Chlorbenzole wurden nur geringfügig erhöht in Böden und Pflanzen an einer verkehrsreichen Straße gefunden (MURL NRW 1991).

Stichprobenuntersuchungen nach PCDD/F in straßennahen Böden (LfU 1989, Broman et al. 1990, Joneck und Prinz 1991, Landtag B-W 1991) und Pflanzen (MURL NRW 1991) machen die Notwendigkeit weiterer Untersuchungen deutlich. Über die PCDD/F-Ergebnisse der 1.Phase der vorliegenden Untersuchung wurde bereits berichtet (Unger und Prinz 1991a und 1991b).

In Tab.38 sind Grenz-, Richt- und Orientierungswerte, in Tab.39 sind Konzentrationen zu Hintergrundgehalten für Böden zur Beurteilung der Belastungsintensität zusammengestellt.

Für landwirtschaftlich genutzte Böden existieren nur für Schwermetalle gesetzlich wirksame Grenzwerte der Klärschlammverordnung (AbfKlärV 1992), welche die Ausbringung von Klärschlamm auf die entsprechenden Flächen regelt. Die Ergebnisse der Stoffkonzentrationen in Böden und Aufwuchs der Straßenbankette werden zum Vergleich ebenfalls mit den Grenzwerten der Klärschlamm- und Futtermittelverordnung bewertet. Eine Grünlandnutzung beginnt bei den untersuchten Standorten zwischen 5 und 15 m Fahrbahntfernung.

Die in der Tab.38 in Klammern angegebenen Konzentrationen geben die Spannweiten der Orientierungs- und Richtwerte für eine landwirtschaftliche und gärtnerische Bodennutzung wieder.

Die Tab.40 gibt einen Überblick über Grenz-, Richt- und Orientierungswerte zur Beurteilung der Belastung des Grünlandaufwuchses.

Tab. 38: Grenz-, Richt- und Orientierungswerte zur Beurteilung von Böden

**1. Schwermetalle**

<b>Blei ( Pb)</b>	100 mg/ kg	(85 – 500)	[1-4]
<b>Cadmium (Cd)</b>	1 mg/ kg	(0,8 – 2,0)	[1-4]
<b>Kupfer (Cu)</b>	60 mg/ kg	(36 – 100)	[1-4]
<b>Zink (Zn)</b>	150 mg/ kg	(140 – 300)	[1-4]
<b>Nickel (Ni)</b>	50 mg/ kg	(35 – 100)	[1-4]
<b>Chrom (Cr)</b>	100 mg/ kg	(50 – 200)	[1-4]

**2. Organische Verbindungen**

<b>Mineralöl – CnHm</b>	100 mg /kg	(50 – 100)	[2,6]
<b>Polyzykl. Aroma- wasserstoffe (PAK)*</b>	1 mg /kg	(1 – 5)	[2,5,6]
<b>Benzo (a) Pyren</b>	0,1 mg /kg	(0,05 – 2)	[2,4,6]
<b>BTX- Aromaten</b>	0,1 mg /kg	(0,05 – 7)	[2,6]
<b>Benzol</b>	0,01 mg /kg	(0,01 – 0,5)	[2,6]
<b>Phenole</b>	0,1 mg /kg	(0,02 – 1)	[2,6]
<b>Chlorbenzole ( PCBz)</b>	0,2 mg /kg	(0,05 – 2)	[2,5,6]
<b>Hexachlorbenzol</b>	0,1 mg /kg	(0,01 – 1)	[2,5,6]
<b>Chlorphenole (PCPh)</b>	0,1 mg /kg	(0,01 – 1)	[2,5,6]
<b>Pentachlorphenol</b>	0,1 mg /kg	(0,01 – 0,05)	[2,5,6]
<b>Polychlor. Biphe- nyl(PCB)***</b>	0,05 mg /kg	(0,01 – 0,05)	[2,4 - 6]
<b>Dioxine/ Furane (PCDD/F)</b>	5,0 ng /kg TE	(5 – 40)	[3,7]

[1] Bodengrenzwerte der Klärschlammverordnung AbfKlärV (1992)

[2] Niederländische Liste 1988

[3] tolerierbare Gesamtgehalte, Kloke 1980

[4] Orientierungswerte, Eikmann/Kloke 1991

[5] Scheffer/Schachtschabel 1989, diskutierte Bodengrenzwerte für AbfKlärV

[6] RAL 1991, Wiederverwendung kontaminierter Böden

[7] BGA/UBA 1990 Richtwertempfehlungen (1991)

\* Summe 10 PAK nach Niederländischer Liste

\*\* Summe 6 PCB nach Ballschmiter

Tab. 39: Hintergrundgehalte zur Beurteilung von Böden

**1. Schwermetalle**

	Grünlandböden [1]	Ausgangsgestein [2]
<b>Pb mg/kg</b>	33	26 (7 – 105)
<b>Cd mg/kg</b>	0,4	< 0,4
<b>Cu mg/kg</b>	24	17 (4 – 48)
<b>Zn mg/kg</b>	88	57 ( 21 – 118)
<b>Ni mg/kg</b>	30	29 (16 – 42)
<b>Cr mg/kg</b>	43	37 (14 – 103)

**2. Organische Verbindungen**

	Hintergrundgehalte	Hintergrundgehalte
<b>Mineralöl – Cn Hm mg/kg</b>	< 10	[3]
<b>PAK* mg/kg</b>	0,05 – 0,3	[4]
<b>BaP mg/kg</b>	0,002 – 0,03	[4]
<b>BTX mg/kg</b>	< 0,05	[5]
<b>Benzol mg/kg</b>	< 0,05	[5]
<b>PCBz mg/kg</b>	<0,015	[5]
<b>PCPh mg/kg</b>	<0,03	[5]
<b>PCB** mg/kg</b>	<0,01	[6]
<b>PCDD/F ng/kg TE</b>	0,4 (0,7)	[7]

[1] Bodenschutzprogramm Baden-Württemberg 1986

[2] LfU 1990

[3] Rübelt et al. 1967

[4] Kunte 1977

[5] A-Wert NL-Liste und RAL 1991 bzw. Nachweisgrenzen

[6] König und Hembrock (1989)

[7] LfU 1992

\* Summe 6 PAK nach der Trinkwasserverordnung

\*\* Summe 6 PCB nach Ballschmiter

**Tab. 40: Kritische Konzentrationen von Schwermetallen und Hintergrundgehalte von organischen Verbindungen in Pflanzen zur Beurteilung des Grünlandaufwuchses**

### 1. Schwermetalle (mg/kg 88% TM) [1]

	Normalgehalte in Pflanzen	Kritisch für Pflanzenwuchs	Kritisch als Tierfutter	VDI [2]	FVO [3]
<b>Pb</b>	< 0,1 – 5	10 – 20	10 – 30	5 - 40	10 – 40
<b>Cd</b>	< 0,1- 1	5 – 10	0,5 – 1	0,05 – 0,8	0,5 – 1
<b>Cu</b>	3 - 20	15 – 40	10 – 300		15 – 50
<b>Zn</b>	25 – 150	150 – 500	300 – 1000	300 – 1000	250
<b>Ni</b>	< 0,1 – 5	20 – 100	50 – 250	50 - 100	
<b>Cr</b>	< 0,1 - 1	2 - 20	50 - 300		

### 2. Organische Verbindungen

	Hintergrundgehalte	Hintergrundgehalte
<b>Mineralöl - CnHm</b>	< 10 mg/kg TM	[4]
<b>PAK*</b>	< 10 µg/kg TM	[5]
<b>Bap</b>	< 1 µg/kg TM	[5]
<b>PCB**</b>	< 10 µg/kg TM	[6]
<b>PCDD/F</b>	< 0,5 ng TE/kg TM	[6,7]

[1] Sauerbeck 1989

[2] VDI 1983,1990,1991a und 1991b

[3] FVO 1986, Cu und Zn: diskutierte Werte

[4] in Anlehnung an B"den in R• belt et al. 1967

[5] vgl. Kampe et al. 1988

[6] vgl. MURL NRW 1991

[7] vgl. Neidhard zit. in Schulz 1992

\* Summe 6 PAK nach der Trinkwasserverordnung

\*\* Gesamt-PCB

### 6.1.1 Blei (Pb)

Der **Bodengrenzwert** für landwirtschaftlich genutzte Böden liegt bei **100 mg/kg** (AbfKlärV 1992), der mittlere Gehalt von Grünlandböden in Baden-Württemberg bei 33 mg/kg (vgl. Tab.38 und 39).

Die Ergebnisse zeigen eine Unterschreitung des Grenzwertes in Böden ab folgender Fahrbahntfernung (Abb.22 und Abb.23):

<b>L 99</b>	1200	Kfz / Tag 1990	0,1 m
<b>K 5326</b>	5000		1,0 m
<b>B 3 FR</b>	16000		2,5 m
<b>B 3 OG</b>	18000		2,5 m
<b>BAB 5 OG</b>	50000		10 m
<b>BAB 8</b>	50000		10 m
<b>B 31a</b>	56000		> 100 m*
<b>BAB 5 HD</b>	65000		10 m

Die hohen Pb-Gehalte an der B 31a\* sind nach Auskunft des Umweltschutzamtes in Freiburg auf eine relativ hohe Grundbelastung der Freiburger Region von ca. 100 mg/kg, verursacht durch den ehemaligen Erzbergbau im Schwarzwald (vgl. Hurrle 1983), zurückzuführen. Eine zusätzliche Belastung durch Kfz-Emissionen führt zu Überschreitungen des Grenzwertes bis in >100 m Entfernung zur Straße. Nach Berücksichtigung der hohen Hintergrundgehalte ist an der B 31a ebenfalls durch den Anteil an Kfz-Immissionen in etwa 10 m Fahrbahntfernung mit einer Unterschreitung des Grenzwertes von 100 mg Pb/kg zu rechnen.

Da an der BAB 8 eine Wiesennutzung bis ca. 5 m zur Fahrbahn reicht, muß im 5-10 m-Bereich mit Überschreitungen des Grenzwertes gerechnet werden. Ansonsten beginnen Wiesen und Weiden außerhalb des Bereiches erhöhter Pb-Bodenwerte.

Der mittlere Hintergrundgehalt wird an den stark befahrenen Straßen (ab 50.000 Kfz/Tag) erst in 100 m Entfernung annähernd erreicht.

Abb. 22: Pb in straßennahen Böden in 0 – 10 cm Tiefe:

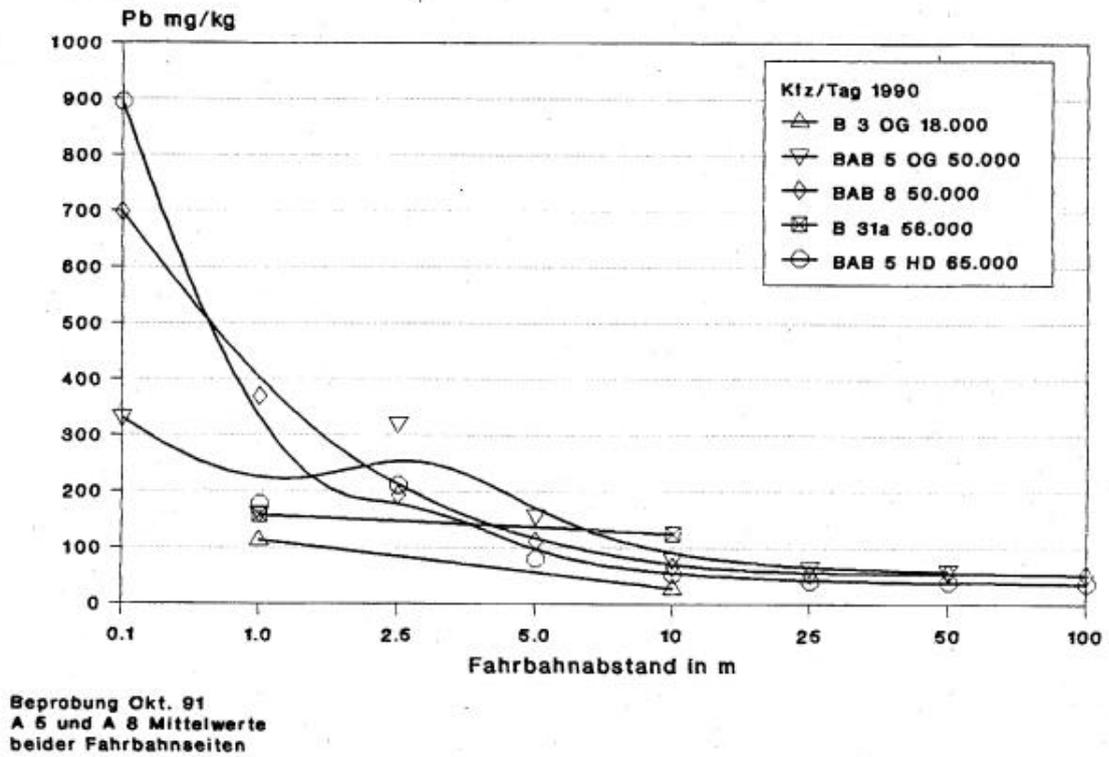
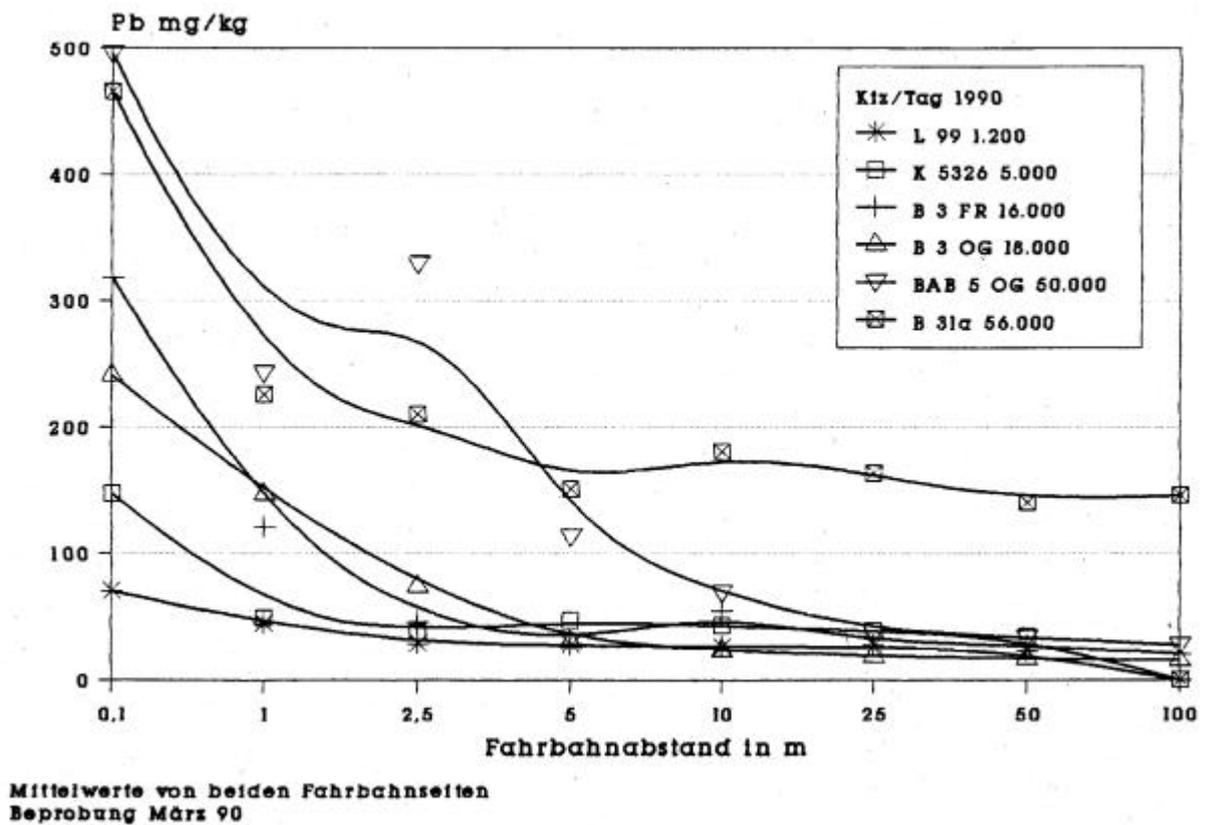


Abb. 23: Pb in straßennahen Böden in 0 – 5 cm Tiefe:



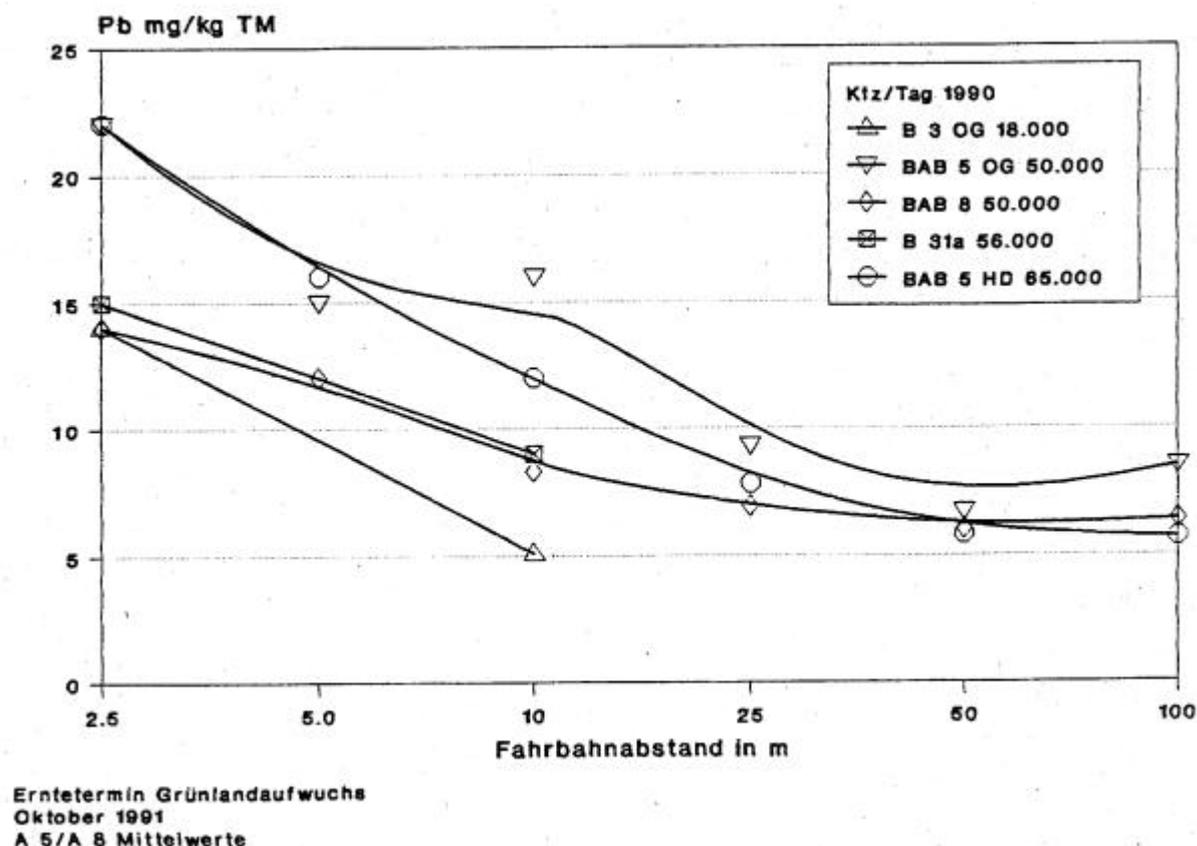
Zu einer Überschreitung des Futtermittel-Grenzwertes von **40 mg Pb/kg 88% TM** (vgl. Tab.40) kommt es an den untersuchten Straßenstandorten nicht (Abb.24).

Der Minimalwert von **10 mg/kg 88% TM**, welcher für Tierfutter als kritisch erachtet wird, erreicht ab folgenden Fahrbahnabständen geringere Konzentrationen:

<b>B 3 OG</b>	18000	Kfz / Tag 1990	5,0 m
<b>BAB 5 OG</b>	50000		25 m
<b>BAB 8</b>	50000		10 m
<b>B 31a</b>	56000		10 m
<b>BAB 5 HD</b>	65000		25 m

Die überhöhten Pb-Gehalte in Böden an der B 31a bewirken keine höheren Konzentrationen im **Grünlandaufwuchs** als an den Straßen mit niedrigeren Bodengehalten. Generell liegen die Konzentrationen im Aufwuchs an stark befahrenen Straßen im nutzungsrelevanten Bereich bis etwa 20-25 m Entfernung noch im kritischen Bereich.

Abb. 24: Pb in strassennahem Aufwuchs:



Hoffmann et al. (1989) ermittelten 1982/83 bis in 10 m Entfernung bei durchschnittlich 60.000 Kfz/Tag noch mittlere Pb-Gehalte im Grünlandaufwuchs zwischen 40-90 mg/kg TM. An der BAB 5 HD 1991 (65.000 Kfz/Tag) liegen die Gehalte zwischen 11 und 22 mg/kg TM.

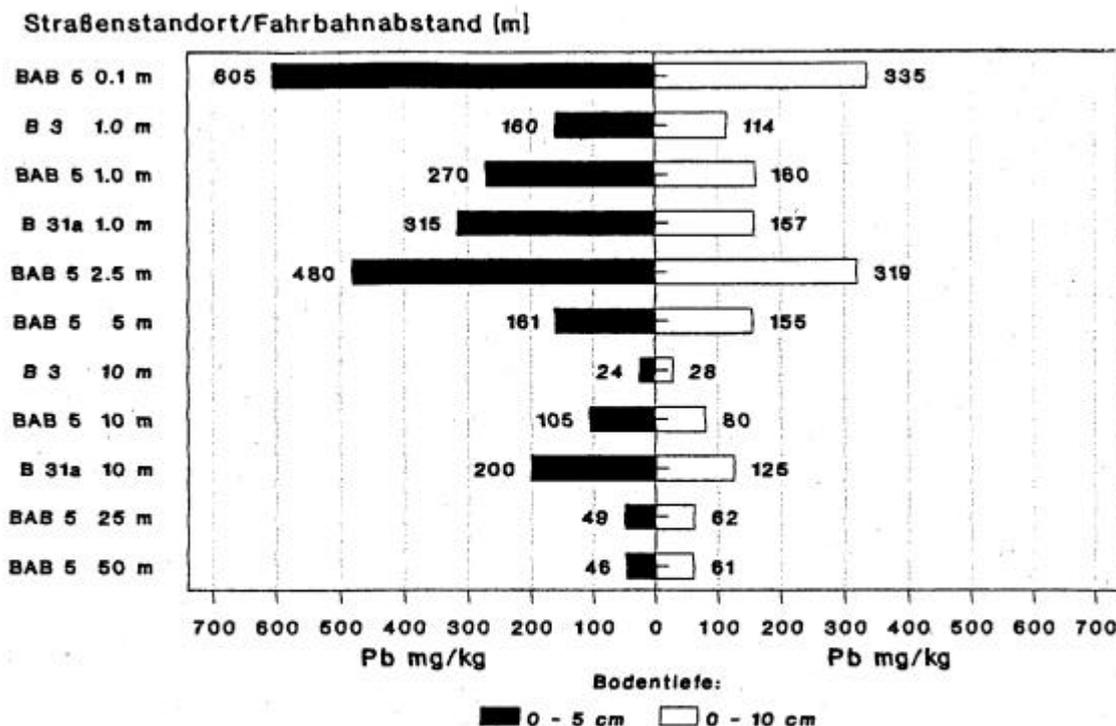
Der verringerte Pb-Benzinverbrauch hat eine Reduzierung um den Faktor 2 (ab 10 m Entfernung) bis 4 (Straßennähe) bewirkt.

Durch einen Pb-freien Kfz-Betrieb kann der kritische Wert von 10 mg/kg TM im nutzungsrelevanten Bereich ab 5,10 bis 15 m Entfernung vermutlich unterschritten werden.

Der maximale Wert für Normalgehalte in Pflanzen von 5 mg/kg TM (vgl. Tab.39) wird an der B 3 OG annähernd in 10 m, an den stärker befahrenen Straßen (ab 50.000 Kfz/Tag 1990) BAB 5 HD, BAB 8 in 100 m Entfernung erreicht. An der BAB 5 OG ist die Konzentration in 100 m Entfernung noch als erhöht einzustufen.

Bei einem Vergleich der Pb-Gehalte in Böden in 0-5 und 0-10 cm Tiefe (Abb.25) liegen die Gehalte bis 5 m Entfernung in 0-5 cm Bodentiefe noch um den Faktor 1,5 bis 2 höher als in 0-10 cm Tiefe. In 10 m Entfernung bewegt sich der Faktor zwischen 0,9 und 1,6 an stark befahrenen Straßen. Ein Faktor von 0,8 in 25 und 50 m Entfernung an der BAB 5 (Kfz-Belastung seit 55 Jahren) läßt auch für Böden einen geringeren 'aktuellen' Pb-Eintrag erkennen. Pb-Verlagerungen können diesen Faktor verfälschen, allerdings ist infolge der relativen Immobilität des Pb bei hohen pH-Werten, Humusgehalten und Feinkornanteilen ein Vergleich zulässig.

Abb. 25: Pb in Böden – Vergleich 0 – 5 und 0 – 10 cm Tiefe:



B 3 OG 14.400 Kfz/Tag (1975-1990)  
 BAB 5 OG 41.200 Kfz/Tag  
 B 31a 43.600 Kfz/Tag

## 6.1.2 Cadmium (Cd)

Der **Bodengrenzwert** liegt bei **1,0 bzw. 1,5 mg/kg** (je nach Bodenart und/oder pH-Wert), der Hintergrundgehalt für Grünlandböden bei 0,4 mg/kg Boden (vgl. Tab. 38 und 39). Da es sich in den untersuchten Fällen um Standorte mit lehmigen Böden und pH-Werten um 7 handelt, ist der höhere Wert von 1,5 mg/kg zur Beurteilung heranzuziehen.

Die Untersuchungen (Abb.26 und 27) zeigen eine Unterschreitung des Grenzwertes für Böden ab folgender Fahrbahntfernung (in Klammer werden Unterschreitungen von 1,0 mg/kg Cd zum Vergleich angegeben):

<b>L 99</b>	1200	Kfz / Tag 1990	< 0,1 m
<b>K 5326</b>	5000		> 50 m*
<b>B 3 FR</b>	16000		1,0 (2,5) m
<b>B 3 OG</b>	18000		1,0 (2,5) m
<b>BAB 5 OG</b>	50000		10 (> 100) m
<b>BAB 8</b>	50000		10 (> 100) m
<b>B 31a</b>	56000		1,0 (10) m
<b>BAB 5 HD</b>	65000		10 (> 100) m

Abb. 26: Cd in straßennahen Böden in 0 - 10 cm Tiefe:

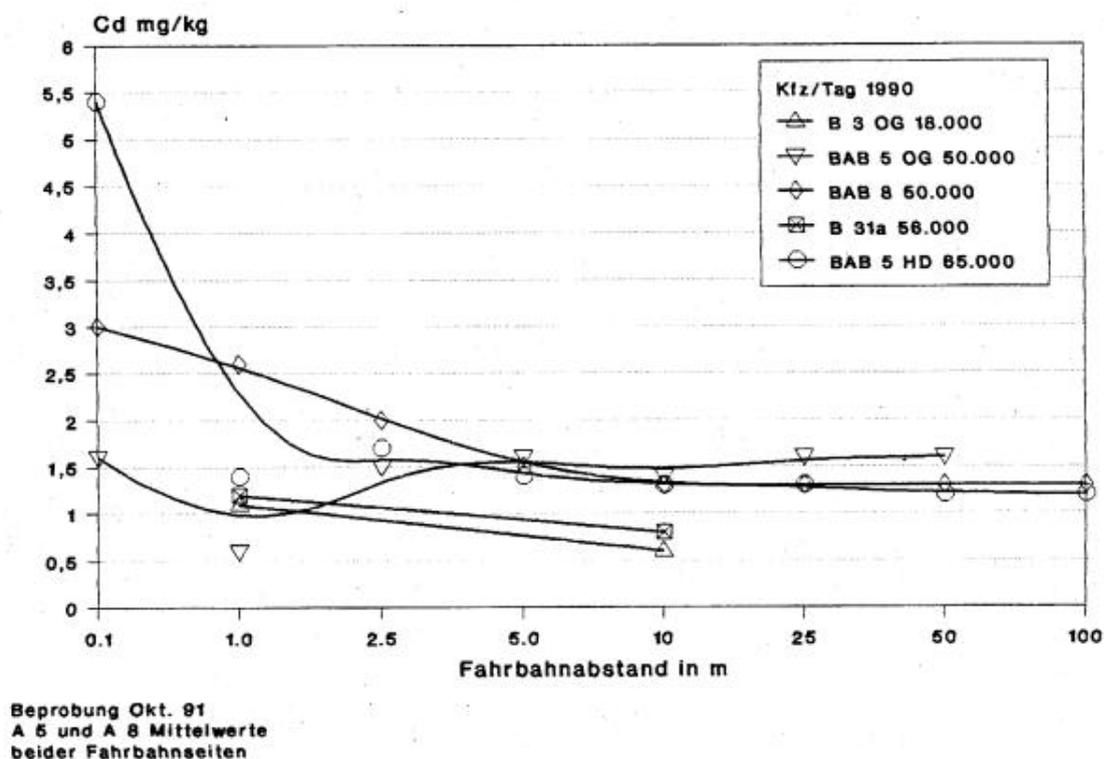
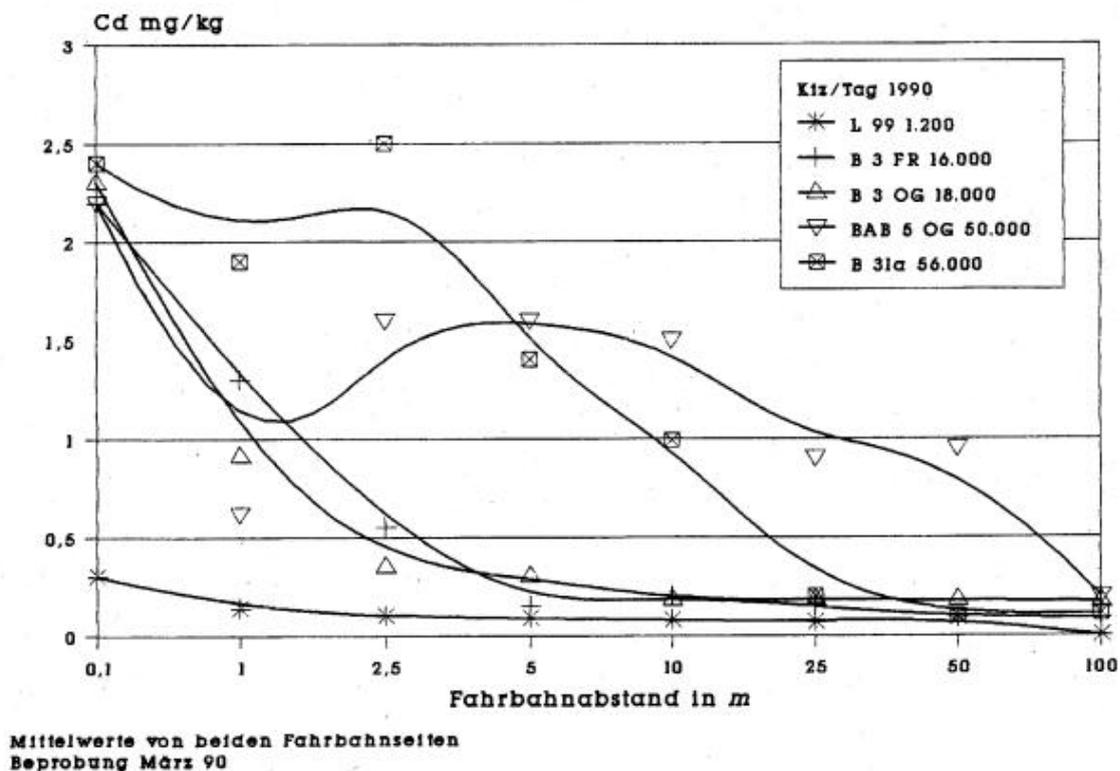


Abb. 27: Cd in straßennahen Böden in 0 – 5 cm Tiefe:



An der K 5326\* sind die überhöhten Cd-Gehalte, insbesondere an der SW-Seite, auf eine frühere Ablagerung von Keramiksutt und somit nicht auf kfz-bedingte Immissionen zurückzuführen.

Der neue Grenzwert von 1,5 mg/kg Boden wird an sehr stark befahrenen Straßen i.d.R. ab 10 m Entfernung unterschritten.

Eine Ausnahme bildet die BAB 5 OG, wo in >50 m Entfernung teilweise noch Grenzwertüberschreitungen vorkommen. Die Gehalte an der BAB 8 und BAB 5 HD bewegen sich nur geringfügig unter dem o.g. Grenzwert.

Der Grenzwert für Sandböden mit pH <6 wäre bei allen 3 o.g. Standorten bis >100 m Entfernung um 20-50 % überschritten. Da in humusarmen Sandböden eine intensivere Verlagerung des Cd anzunehmen ist, verteilt sich die gleiche Frachtmenge bis in tiefere Bodenabschnitte. In 0-10 cm Bodentiefe sind deshalb geringere Cd-Konzentrationen bei gleicher Verkehrsbelastung zu vermuten. An der BAB 8 (Wiese ab 5.0 m) wären bis etwa 10 m Entfernung Grenzwertüberschreitungen zu verzeichnen.

Die Bodengehalte in Grünlandböden sind als kritisch zu beurteilen, zumal bei einem Anbau von Cd-zehrenden Lebensmittelpflanzen, bezüglich der Aufnahme über den Boden (z.B. Weizen), mit kritischen Gehalten (>0,1 mg/kg Fr.Gew.) gerechnet werden muß. Hier wären

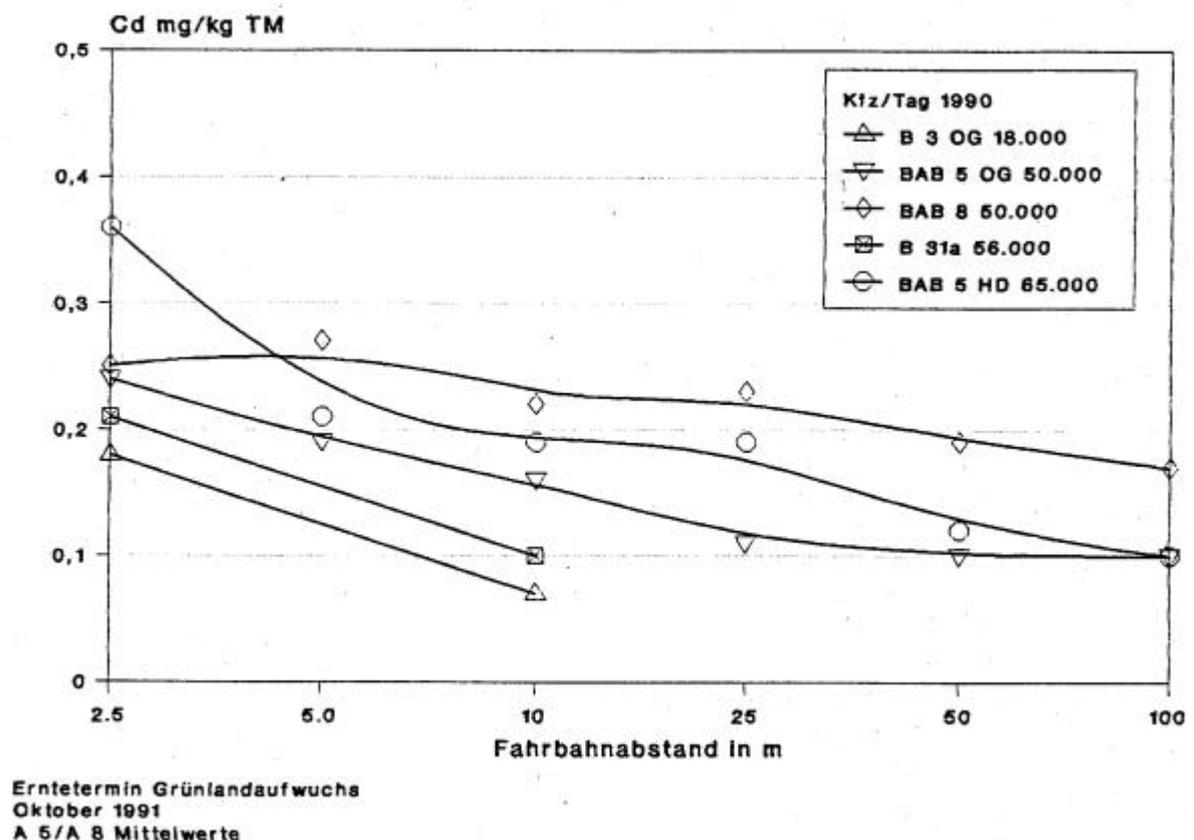
Untersuchungen über die Belastung von Nahrungspflanzen im straßennahen Bereich notwendig (pflanzenverfügbare Cd-Anteile in Böden).

Dementsprechend wird der Hintergrundgehalt für Grünlandböden in 100 m Entfernung an der BAB 5 und BAB 8 noch um den Faktor 3 überschritten. An der B 31a liegt der 10 m-Wert um den Faktor 2, an der B 3 um den Faktor 1,5 über dem Hintergrundgehalt.

Die erhöhten und z.T. grenzwertüberschreitenden Cd-Gehalte der Böden führen zu keiner Überschreitung des Futtermittelgrenzwertes (vgl. Tab.40) von **1 mg/kg 88% TM im Grünlandaufwuchs** (Abb.28). Der kritische Cd-Gehalt für Tierfutter von **0,5 mg/kg TM** wird ebenfalls nicht erreicht. Der minimale MID-Wert

(Maximale Immissionsdosis, VDI 1990) von 0,05 mg/kg TM (Rind <6 Monate alt) wird allerdings fast von sämtlichen Aufwuchspflanzen überschritten; teilweise wird er erst in 50 bis 100 m Fahrbahntfernung erreicht.

Abb. 28: Cd in straßennahem Aufwuchs\*:



In Fahrbahnnähe (2.5 bis 5.0 m) liegen die Cd-Konzentrationen um den Faktor 2 bis 3,5 höher als in 50 bis 100 m Fahrbahnabstand. Lokale Hintergrundgehalte von <0,1 mg/kg TM sind anzunehmen. Die Konzentrationen sind teilweise noch in 100 m Entfernung als (leicht) erhöht einzustufen.

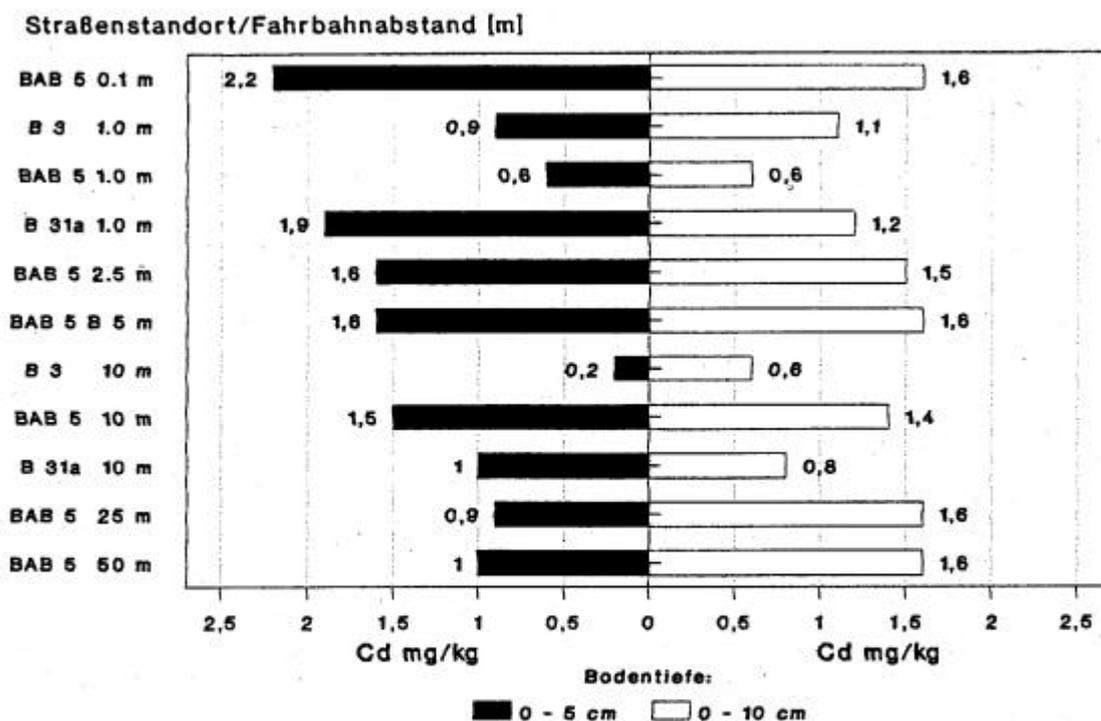
Im Vergleich zu Hoffmann et al. (1989) mit Messungen in den Jahren 1982/83 bei 60.000 Kfz/Tag liegen die Cd-Gehalte bis 100 m Entfernung an den sehr stark befahrenen Straßen Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg

auf dem gleichen Niveau zwischen 0,1 und 0,3 mg/kg TM. Im Gegensatz zu Pb ist bei Cd keine Reduzierung (auch keine Erhöhung) im Grünlandaufwuchs erkennbar.

Die zu vermutenden Quellen: Dieselabgas (Dieselanteil im Bundesdurchschnitt etwa 10 %), Fahrbahn- und Reifenabrieb (vgl. Tab.1), haben u.a. durch den drastischen Anstieg des Verkehrsaufkommens und vor allem durch den stark gestiegenen Lkw-Anteil zu keiner Verminderung des kfz-bedingten Cd-Eintrages geführt.

Bei einem Vergleich der Bodengehalte von 0-5 und 0-10 cm Tiefe (Abb. 29) ist generell nur in direkter Fahrbahnnähe in 0-5 cm ein um den Faktor 1,4 höherer Cd-Gehalt ermittelt worden. Bis 5 Entfernung liegen die Konzentrationen in beiden Tiefen auf etwa gleichem Niveau. In 10 (B 3 OG) bis 50 m Entfernung sind in 0-10 cm Bodentiefe höhere Konzentrationen anzutreffen. Die relativ hohe Mobilität des Cd im Boden läßt einen Vergleich, ähnlich dem Pb (6.1.1), nicht zu.

Abb. 29: Cd in Böden – Vergleich 0 – 5 und 0 – 10 cm Tiefe:



B 3 OG 14.400 Kfz/Tag (1975-1990)  
 BAB 5 OG 41.200 Kfz/Tag  
 B 31a 43.600 Kfz/Tag

### 6.1.3 Kupfer (Cu) und Zink (Zn)

Sowohl Cu als auch Zn sind im Gegensatz zu Pb und Cd essentielle Spurenelemente für Pflanze, Tier und Mensch. Überhöhte Konzentrationen können jedoch (gesundheitsschädigend) wirken.

Die Grenzwerte für beide Metalle in **Böden** werden aus diesem Grund in der novellierten Fassung der Klärschlammverordnung (AbfKlärV 1992) auf **60 mg/kg** für **Cu** (1982: 100 mg/kg) und **150 bzw. 200 mg/kg** für **Zn** (1982: 300 mg/kg) herabgesetzt. Ähnlich dem Cd, gilt der niedrigere Zn-Wert von 150 mg/kg für Sandböden mit pH <6 (vgl. Tab.38).

Die mittleren Hintergrundgehalte von Grünlandböden liegen für Cu bei 24 mg/kg und für Zn bei 88 mg/kg Boden (vgl. Tab.39).

Die Untersuchungen an stark befahrenen Straßen zeigen eine Unterschreitung des Grenzwertes für **Cu** in Böden ab folgender Fahrbahntfernung (Abb.30):

<b>B 3 OG</b>	18000	Kfz / Tag 1990	1,0 m
<b>BAB 5 OG</b>	50000		5,0 m
<b>BAB 8</b>	50000		5,0 m
<b>B 31a</b>	56000		1,0 m
<b>BAB 5 HD</b>	65000		5,0 m

Für **Zn** ist wie bei Cd der höherer Grenzwert von 200 mg/kg Boden zur Bewertung heranzuziehen. Ab folgender Fahrbahntfernung wird dieser Wert unterschritten (Abb.32, in Klammer der niedrigere Grenzwert von 150 mg/kg zum Vergleich):

<b>B 3 OG</b>	18000	Kfz / Tag 1990	1,0 (1,0) m
<b>BAB 5 OG</b>	50000		1,0 (1,0) m
<b>BAB 8</b>	50000		5,0 (10) m
<b>B 31a</b>	56000		1,0 (10) m
<b>BAB 5 HD</b>	65000		5,0 (10) m

Eine überhöhte Bodenbelastung an Zn und Cu ist im nutzungsrelevanten Fahrbahnabstand (ab 10 m) nicht zu erwarten. Der mittlere Hintergehalt von Grünlandböden (vgl. Tab.39) wird bei Cu in 10 bis 25 m Fahrbahntfernung erreicht, derjenige für Zn in 10 bis 50 m Fahrbahnabstand. Für Zn-Konzentrationen in humusarmen Sandböden gilt die gleiche Aussage wie für Cd (vgl. 6.1.2).

Zu einer Unterschreitung des niedrigsten diskutierten Futtermittel-Grenzwertes für **Cu** von **15 mg/kg 88% TM** kommt es beim Grünlandaufwuchs ab folgenden Entfernungen zur Fahrbahn (Abb. 31):

<b>BAB 5 OG</b>	50000	Kfz / Tag 1990	5,0 m
<b>BAB 8</b>	50000		2,5 m
<b>BAB 5 HD</b>	65000		10 m

Zu einer Überschreitung des diskutierten Futtermittel-Grenzwertes für **Zn** von **250 mg/kg 88% TM** (vgl. Tab.40) kommt es im Grünlandaufwuchs nicht (Abb.33).

In 10-100 m Entfernung sind übliche Pflanzengehalte anzutreffen, in Fahrbahnnähe kommt es zu einer Erhöhung bis um den Faktor 2-3.

Der Vergleich zwischen 0-5 und 0-10 cm Bodentiefe zeigt für Cu und Zn im straßennahen Bereich bis 2.5 m Abstand in der obersten Bodenschicht um den Faktor 1,3 bis 2 höhere Gehalte als in 0-10 cm Tiefe. Faktoren von <1 (bis 0,6) ab 10 m Entfernung lassen einen geringeren 'aktuellen' Eintrag in Böden vermuten (dies gilt ähnlich dem Cd nur eingeschränkt für Zn).

Abb. 30: Cu in straßennahen Böden in 0 – 10 cm Tiefe:

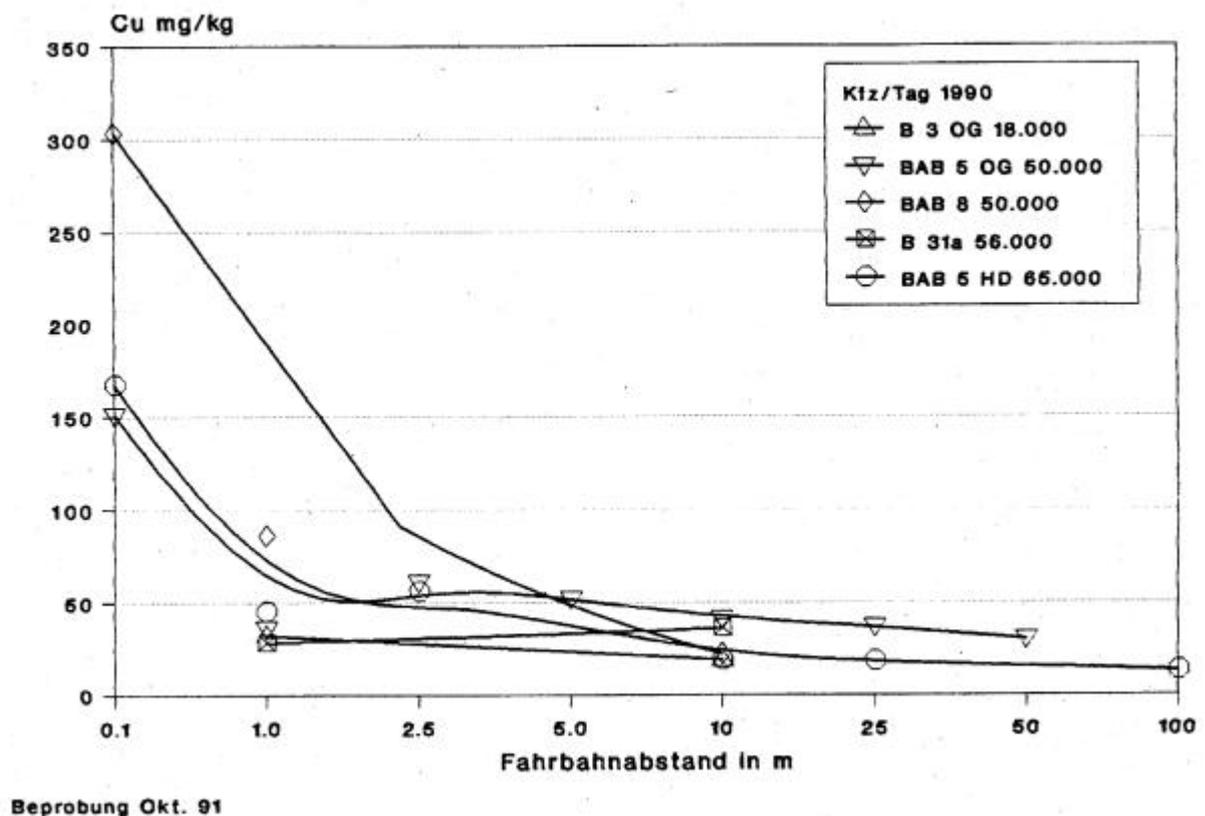


Abb. 31: Cu in straßennahem Aufwuchs:

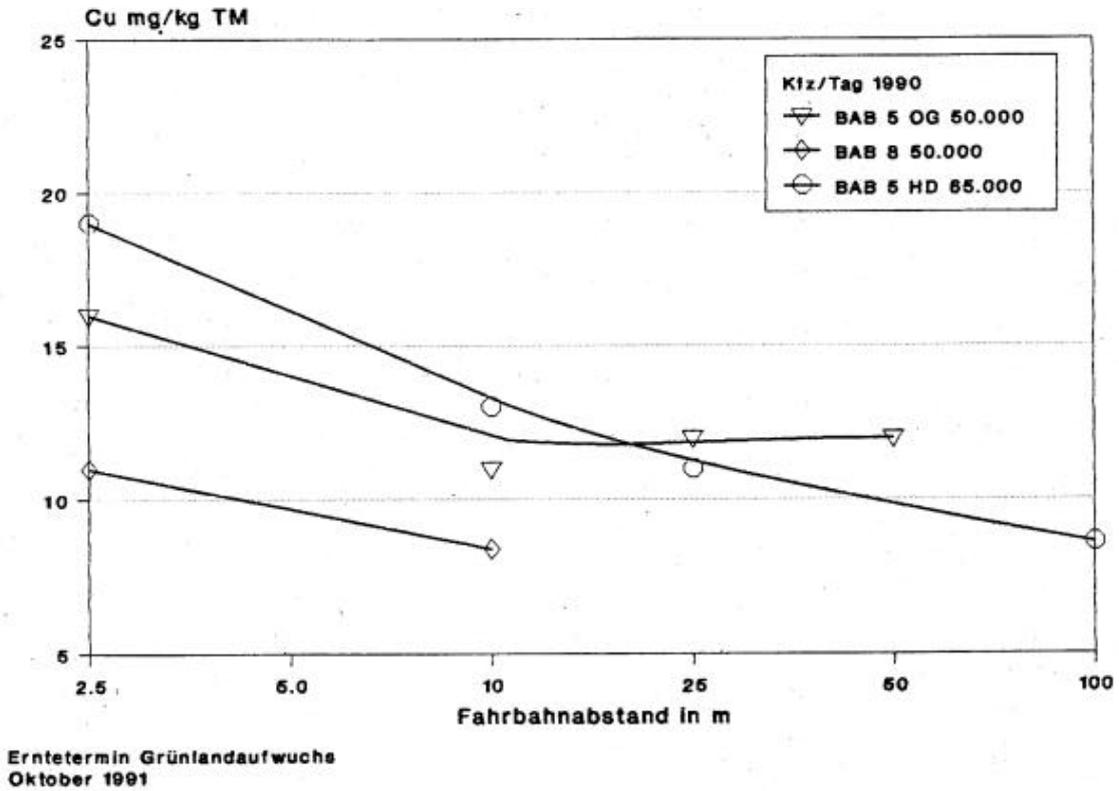


Abb. 32: Zn in straßennahen Böden in 0 – 10 cm Tiefe:

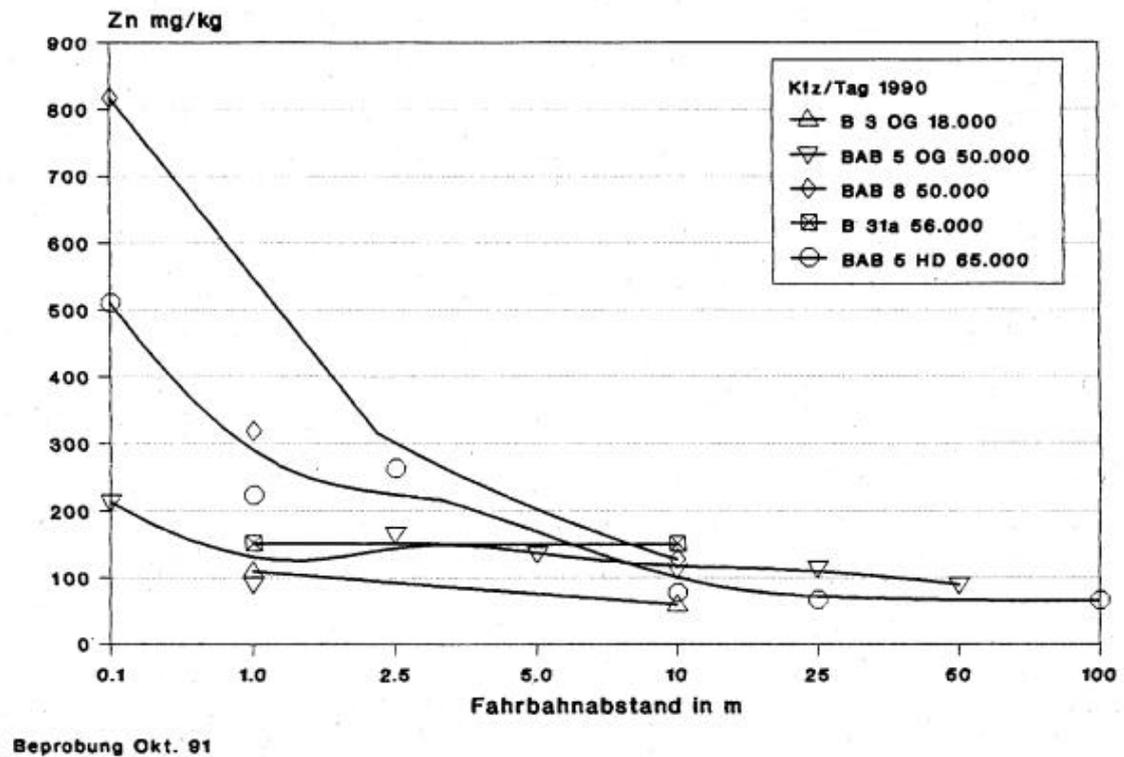
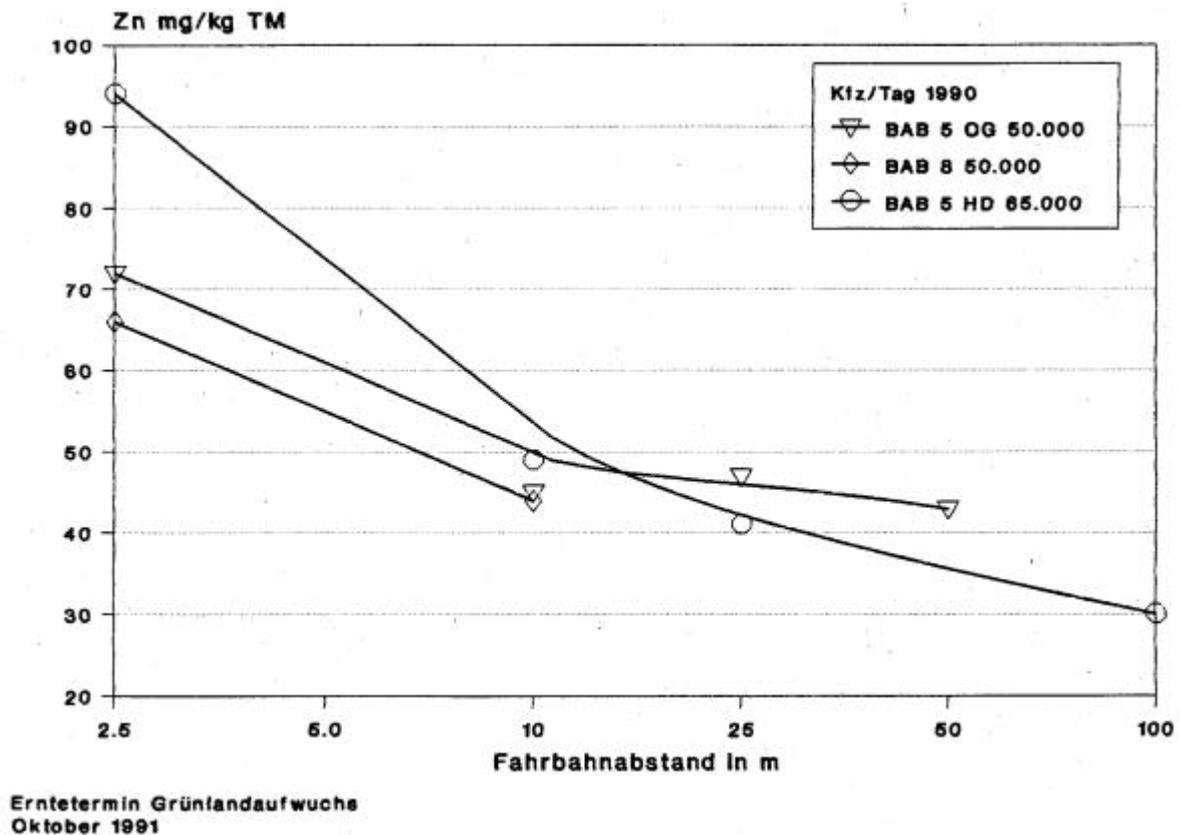


Abb. 33: Zn in straßennahem Aufwuchs:



#### 6.1.4 Nickel (Ni) und Chrom (Cr)

Der Bodengrenzwert für Ni beträgt **50 mg/kg**, derjenige für Cr **100 mg/kg** (vgl. Tab.38).

Die Hintergrundgehalte von Grünlandböden liegen für Nickel im Mittel bei 30 mg/kg, für Chrom bei 43 mg/kg (vgl. Tab.39).

An stark befahrenen Straßen wird der Grenzwert für Nickel im Boden nur an der BAB 5 OG in 5.0 und 10 m Entfernung zur Fahrbahn knapp erreicht (Abb.34). Ansonsten bewegen sich die Bodenkonzentrationen ab 5 m Entfernung im Bereich des Hintergrundgehaltes.

Ein sehr ähnliches Bild (Abb.36) zeigen die Chromgehalte in Böden. Der Grenzwert wird in keiner Probe überschritten. Die Konzentrationen in 5 bis 50 m Entfernung an der BAB 5 OG liegen um den Faktor 1,5 bis 2 über dem mittleren Hintergrundgehalt für Grünlandböden. Ansonsten bewegen sich die Gehalte ab 1.0 bis 2.5 m Entfernung im Bereich des Hintergrundgehaltes.

Kritische Konzentrationen für Futtermittel an Ni und Cr (Abb.35 und Abb.37) von jeweils 50 mg/kg 88 % TM (minimale Werte) werden weit unterschritten (vgl. Tab.40). Eine Konzentrationszunahme in Richtung Fahrbahn ist jedoch besonders bei Cr festzustellen.

An der B 31a sind in 1.0 und 10 m Entfernung zur Straße in 0-5 cm Bodentiefe geringere Konzentrationen als in 0-10 cm Tiefe gemessen worden (Faktor 0,8/0,9).

Abb. 34: Ni in straßennahen Böden in 0 – 10 cm Tiefe:

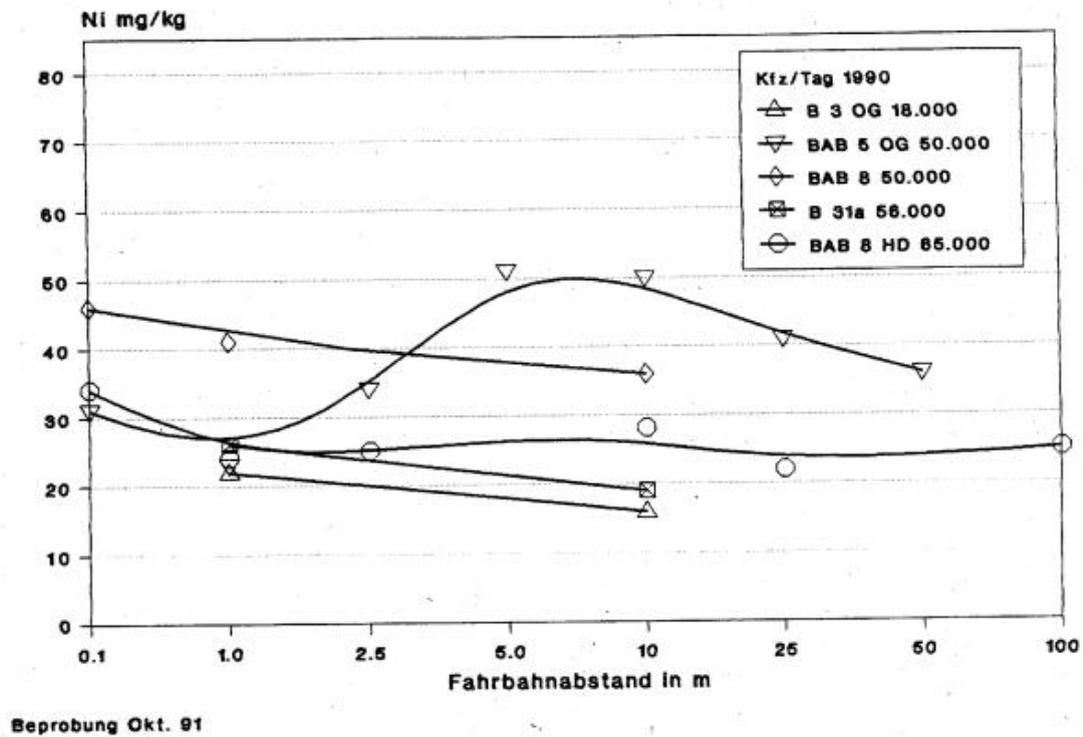


Abb. 35: Ni in straßennahem Aufwuchs:

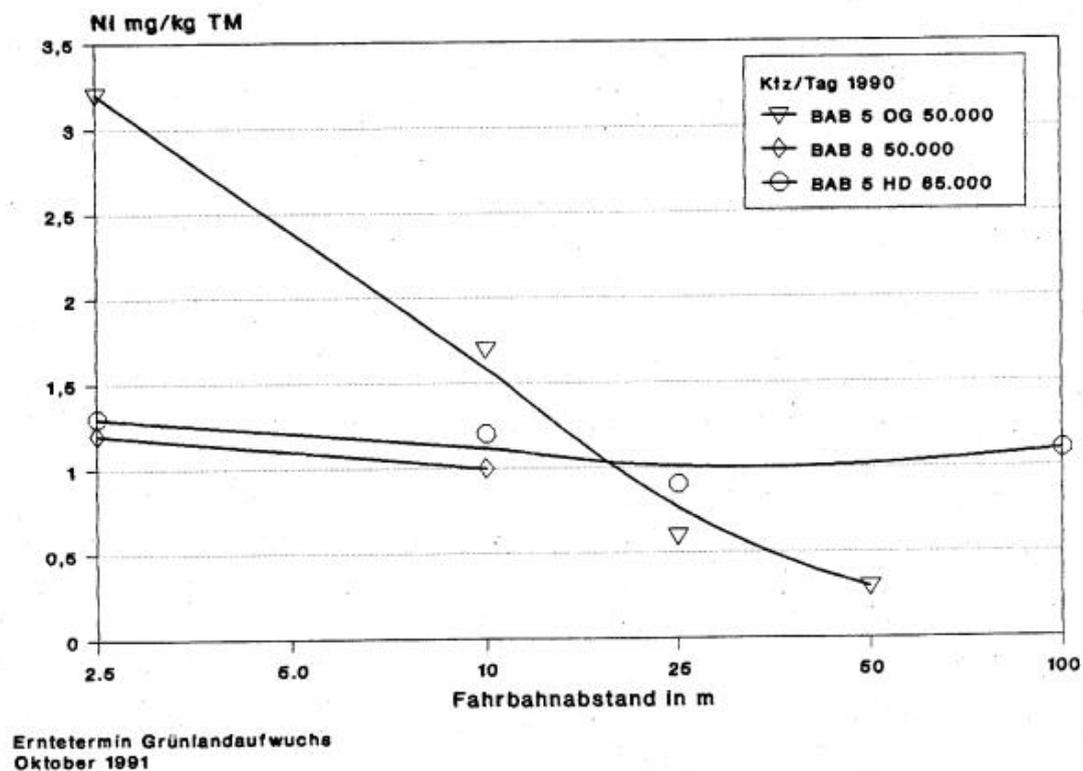
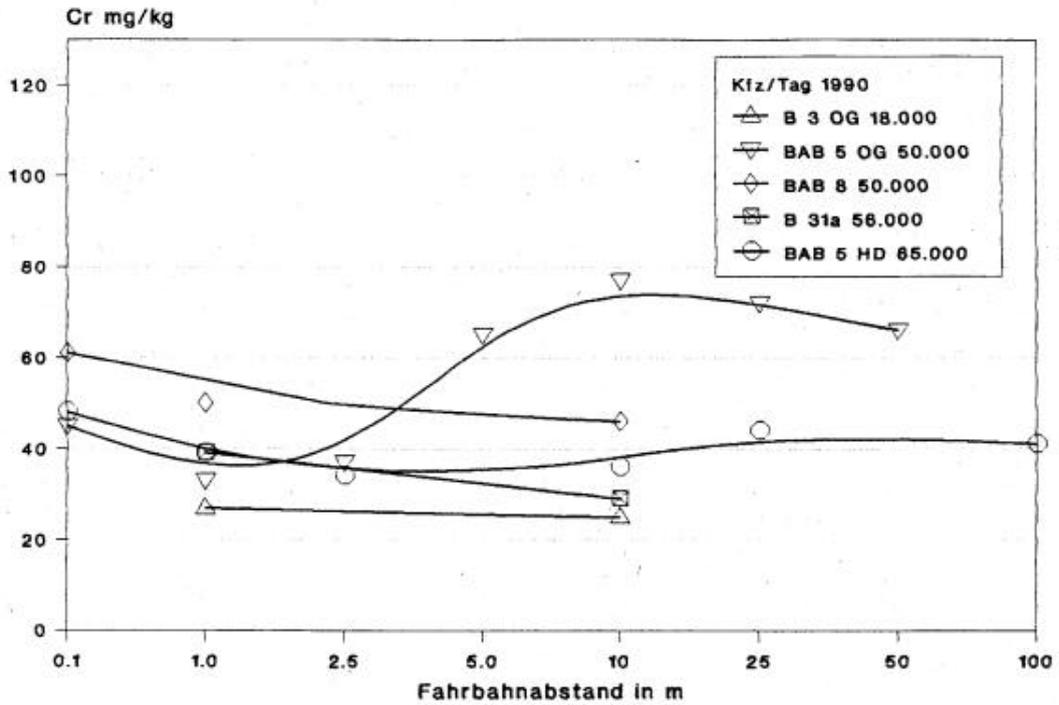
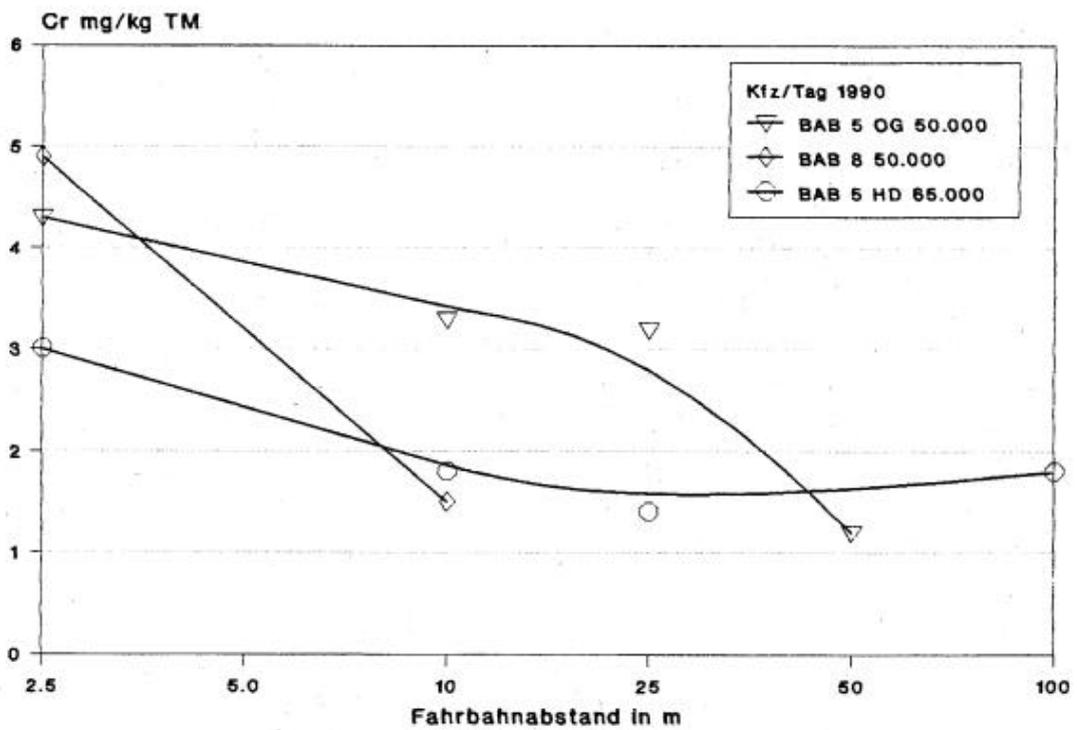


Abb. 36: Cr in straßennahen Böden in 0 – 10 cm Tiefe:



Beprobung Okt. 91

Abb. 37: Cr in straßennahem Aufwuchs:



Erntetermin Grünlandaufwuchs  
Oktober 1991

### 6.1.5 Zusammenfassende Beurteilung der Schwermetallgehalte in Böden und Grünlandaufwuchs

Nach den Verteilungsmustern der **Boden**konzentrationen lassen sich drei Schwermetallgruppen unterscheiden.

**Pb**, **Cu** und **Zn** zeigen deutliche Konzentrationszunahmen von Bereichen der Hintergrundgehalte in 50 bis 100 m Entfernung bis überhöhten Gehalten in Fahrbahnnähe mit Grenzwertüberschreitungen (AbfKlärV 1992) um den Faktor 4 bei Zn, 5 bei Cu und 9 bei Pb.

Die Bodengehalte nehmen von 0 bis 2.5 m Entfernung relativ rasch ab, um dann weniger stark abfallend in 5.0 bis 10 m Fahrbahnabstand den Grenzwert zu unterschreiten. Leicht überhöhte Gehalte können noch vereinzelt über der 10 m-Marke auftauchen, besonders dann, wenn außer dem Kfz-Verkehr weitere Belastungsquellen zusätzlich in Frage kommen (Bsp. B 31a bei Pb).

Die Elemente **Ni** und **Cr** zeigen kaum Überschreitungen der Bodengrenzwerte und generell nur eine schwache Zunahme mit abnehmender Fahrbahntfernung. Die Verteilungsmuster der beiden Metalle ähneln sich überraschend deutlich. Die kfz-bedingten Ni- und Cr-Immissionen werden in nutzungsrelevanten Bereichen vom Schwankungsbereich der Hintergrundgehalte überdeckt.

Das Element **Cd** bildet eine Ausnahme zu den beiden o.g. Gruppen.

An sehr stark befahrenen Straßen (ab 50.000 Kfz/Tag) kann in >50 m Entfernung der Bodengrenzwert überschritten werden, die Gehalte sind zumindest stark erhöht (>1 mg/kg). Der Belastungsgradient an der BAB 5 OG ähnelt denjenigen von Ni und Cr, sonst zeigt sich eine Konzentrationsverteilung ähnlich wie bei Pb, Cu und Zn. Cd nimmt demnach eine Art Mittelstellung zwischen den beiden o.g. Gruppen ein. Die hohen Gehalte bis 100 m Entfernung können nicht nur auf erhöhte geogene Hintergrundgehalte zurückgeführt werden. Eine Ausnahme wäre möglicherweise an der BAB 8 zu vermuten, wo Jura-Kalke in Terrassensedimenten mit Löß vermengt einen erhöhten geogenen Hintergrundgehalt verursachen können. Die anderen Schwermetalle geben diesbezüglich keine Hinweise.

Der Einfluß über die landwirtschaftliche Nutzung muß ebenfalls in Betracht gezogen werden. Allerdings ist ein Eintrag über Cd-haltige Phosphate bei sämtlichen drei Straßenstandorten gleichermaßen nicht zu erwarten, bei Grünland generell geringer als in Ackerböden. Eine frühere Aufbringung von Klärschlamm kann besonders an der BAB 5 OG nicht gänzlich ausgeschlossen werden (vgl. Cr- und Ni-Verteilung). Die Bodenkonzentrationen der anderen Schwermetalle an den beiden anderen Standorte zeigen diesbezüglich keine Hinweise.

Während die Böden die historisch bedingte Gesamtbelastung über mehrere Jahrzehnte hinweg widerspiegeln, zeigt der Grünlandaufwuchs eher den 'aktuellen' Belastungsstatus während einer Vegetationsperiode von April bis Oktober (hier Oktober 1991) an.

Sämtliche Schwermetalle zeigen beim Aufwuchs eine Konzentrationszunahme mit abnehmender Fahrbahntfernung. Gegenüber den Gehalten in 50 bis 100 m Entfernung errei-

chen **Pb** 3-4-fach, **Zn** 2-3-fach, **Cu** 1,5-2-fach, **Cd** 2-4-fach, **Ni** keine bis 6-fach und **Cr** 1,5-4-fach erhöhte Gehalte im **Aufwuchs** in 2.5 m Fahrbahntfernung.

Grenzwerte für Futtermittel wurden in keiner Probe überschritten. Allerdings können kritische Gehalte für Tierfutter besonders bei Pb, Cu und z.T. Cd noch über die Bankettgrenzen hinaus bis zur Wiesen- und Weidenutzung vorkommen (Bsp. BAB 8).

### 6.1.6 Mineralöl-Kohlenwasserstoffe (CnHm)

Als Orientierungswert für eine multifunktionale Bodennutzung werden **100 mg/kg** (vgl. Tab.38), für den Hintergrundgehalt <10 mg/kg (vgl. Tab.39) für die **CnHm** herangezogen.

Die Ergebnisse in Böden zeigen eine Unterschreitung des Orientierungswertes (Abb.38 und 39) ab folgender Fahrbahntfernung:

<b>L 99</b>	1200	Kfz / Tag 1990	0,1 m
<b>K 5326</b>	5000		1,0 m
<b>B 3 FR</b>	16000		1,0 m
<b>B 3 OG</b>	18000		1,0 m
<b>BAB 5 OG</b>	50000		1,0 m
<b>BAB 8</b>	50000		5,0 m
<b>B 31a</b>	56000		2,5 m
<b>BAB 5 HD</b>	65000		5,0 m

Zu einer akuten Beeinträchtigung der Böden in nutzungsrelevanten Bereichen (ab 10-15 m Entfernung) kommt es nicht. Der Referenzwert der Niederländischen Liste von 50 mg/kg Boden wird ab 5 bis 10 m Entfernung unterschritten. Allerdings liegen die Gehalte direkt an der Fahrbahn sehr stark befahrener Straßen um den Faktor 40 bis 200 über denjenigen in 50-100 m Entfernung (<5 mg/kg).

Der Hintergrundgehalt wird ab 10-25 m Fahrbahntfernung erreicht.

Für die Gehalte im Grünlandaufwuchs liegen kaum vergleichbare Daten vor. Dinter und Moritz (1989) ermittelten an verkehrsreichen Straßen CnHm-Konzentrationen im Grünlandaufwuchs von 17-464 mg/kg TM (Mittel 155 mg/kg TM, Ernte Oktober 1987).

Die Gehalte an den untersuchten Standorten (Abb.40) bewegen sich auf etwas höherem Niveau zwischen 60 und 660 mg/kg TM.

**Abb. 38: CnHm in straßennahen Böden in 0 – 10 cm Tiefe:**

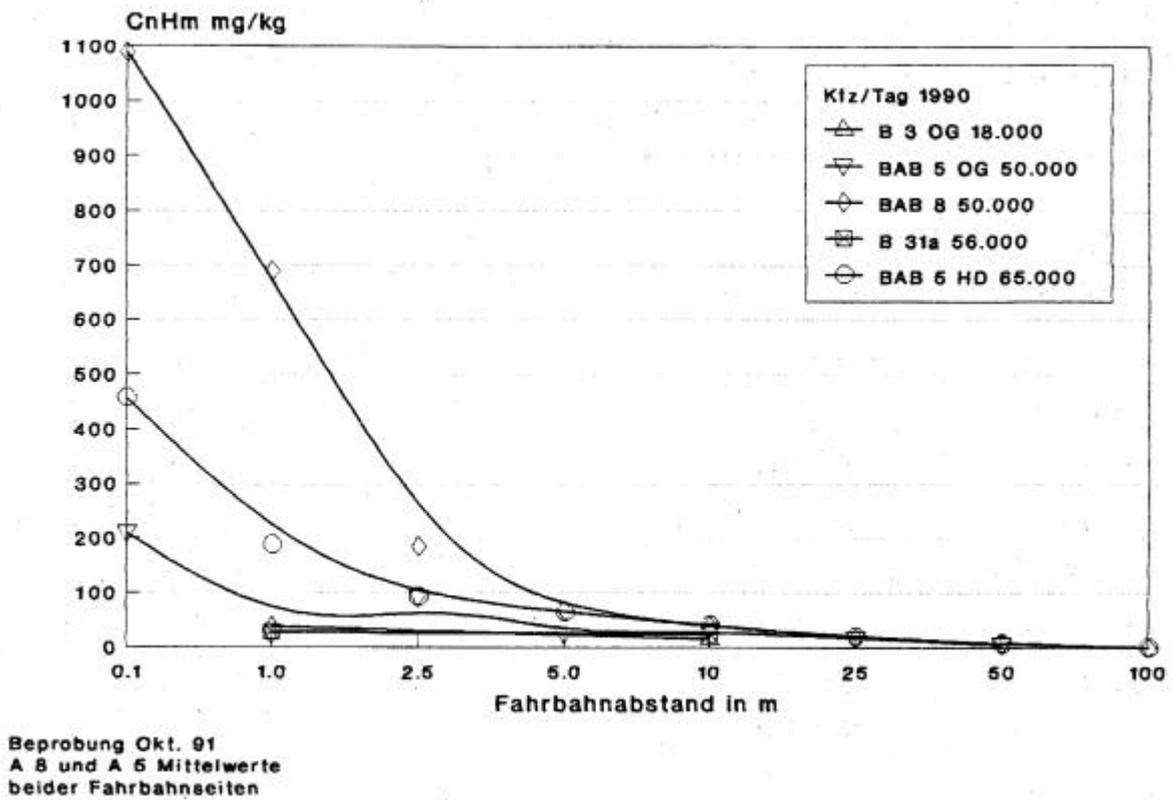


Abb. 39: CnHm in straßennahen Böden in 0 – 5 cm Tiefe:

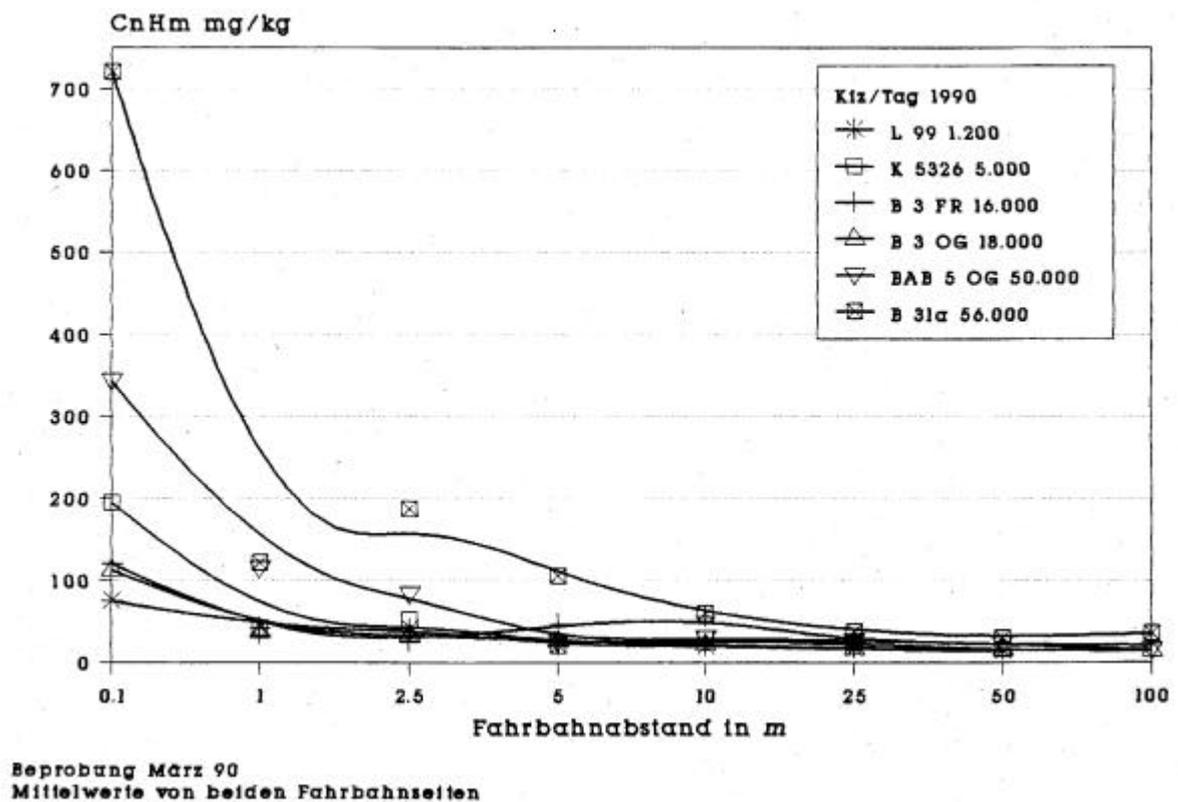
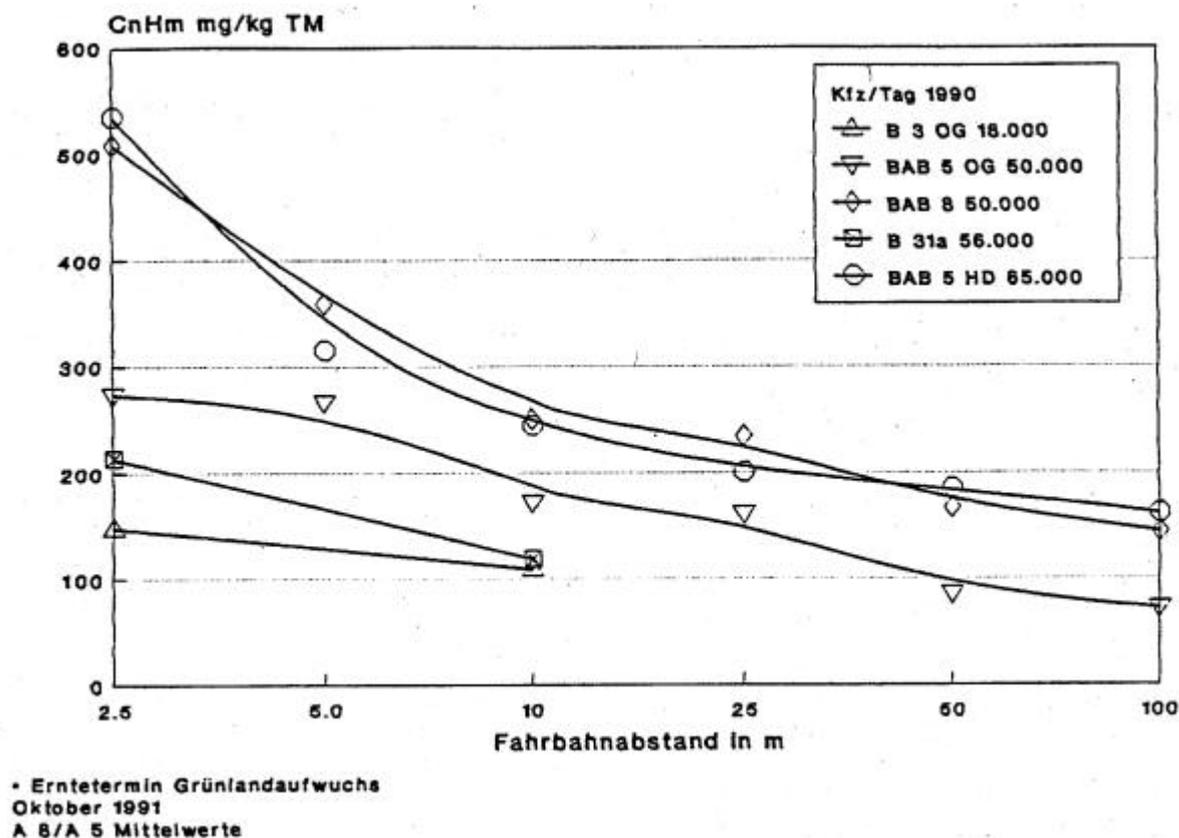


Abb. 40: CnHm in straßennahem Aufwuchs:



Über kritische Konzentrationen für Tierfutter sind keine Untersuchungen bekannt. Mineralöle können in Böden bei Gehalten von 0.1-1 % negative Einflüsse auf das Pflanzenwachstum ausüben (Litz in Blume 1990). Eine Gefährdungsabschätzung kann dies bezüglich nicht geleistet werden. Gegenüber dem Hintergrundgehalt (vgl. Tab.40) liegen die kontinuierlich zunehmenden Konzentrationen in Fahrbahnnähe um den Faktor 20 bis 110 höher.

Bis 5.0 m Fahrbahnabstand wurden in den Böden von 0-5 cm Tiefe bis zum Faktor 1,6 höhere Gehalte ermittelt als in 0-10 cm Tiefe. In 10-100 m Entfernung zeigen die Gehalte in 0-5 cm Bodentiefe um den Faktor 2-5 höhere Gehalte.

Im Gegensatz zu den Schwermetallen spielen bei organischen Verbindungen Verflüchtigung/Verdampfen aus dem Boden sowie ein möglicher Abbau im Boden eine große Rolle. Bei den CnHm kann somit ein Vergleich ähnlich dem Pb nur eingeschränkt gelten.

### 6.1.7 Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Es wurden 6 PAK (TVO 1986) ermittelt: Fluoranthen (Fa), Benzo (b)fluoranthen (Bbfa), Benzo(k)fluoranthen (Bkfa), Benzo(a)-pyren (Bap), Benzo(g,h,i)perylene (Bghip) und Indeno(1,2,3-c,d)-pyren (Ip).

Ein Grenzwert für die Summe der PAK nach der NL-Liste von 1 mg/kg (vgl. Tab.38) wird diskutiert. Da dieser Wert aus der Summe von 10 PAK resultiert, wird für die Beurteilung der o.g. **6 PAK** ein Wert von **0,5 mg/kg** Boden herangezogen. Ab folgenden Fahrbahnabständen wird dieser Orientierungswert unterschritten:

<b>L 99</b>	1200	Kfz / Tag 1990	5,0 m
<b>K 5326</b>	5000		0,1 m
<b>B 3 FR</b>	16000		0,1 m
<b>B 3 OG</b>	18000		1,0 m
<b>BAB 5 OG</b>	50000		5,0 m
<b>BAB 8</b>	50000		0,1 m
<b>B 31a</b>	56000		0,1 m
<b>BAB 5 HD</b>	65000		5,0 m

Zu einer Unterschreitung von 0,5 mg PAK/kg Boden kommt es an den sehr stark befahrenen Straßenstandorten der BAB 5 ab 5.0 m Entfernung (Abb.41). Ab 10 m Entfernung bewegen sich die Konzentrationen im Bereich der Hintergrundbelastung von 0,05-0,3 mg/kg Boden (vgl. Tab.39). Die Straßenoberflächen bestanden an den untersuchten Standorten aus Beton. Einflüsse durch Fahrbahnabrieb sind somit nicht zu erwarten.

Die Ergebnisse der Analysen in 0-5 cm Tiefe sind in Abb.42 dargestellt. Bemerkenswert sind die relativ hohen Konzentrationen bis ca. 2.5 m Entfernung an Asphaltstraßen (L 99) mit relativ niedrigem Verkehrsaufkommen. Untersuchungen von Münch (1990) zeigen ebenfalls einen Einfluß bituminöser Straßenoberflächen auf die PAK-Belastung in Fahrbahnnähe. An Straßen mit stark bitumenhaltigen Fahrbahnoberflächen ist weitgehend unabhängig vom Verkehrsaufkommen noch bis 2.5-5.0 m Entfernung, an der L 99 bereits im nutzungsrelevanten Bereich (Wiese), mit überhöhten PAK-Gehalten in Böden zu rechnen.

Abb. 41: PAK in straßennahen Böden in 0 – 10 cm Tiefe:

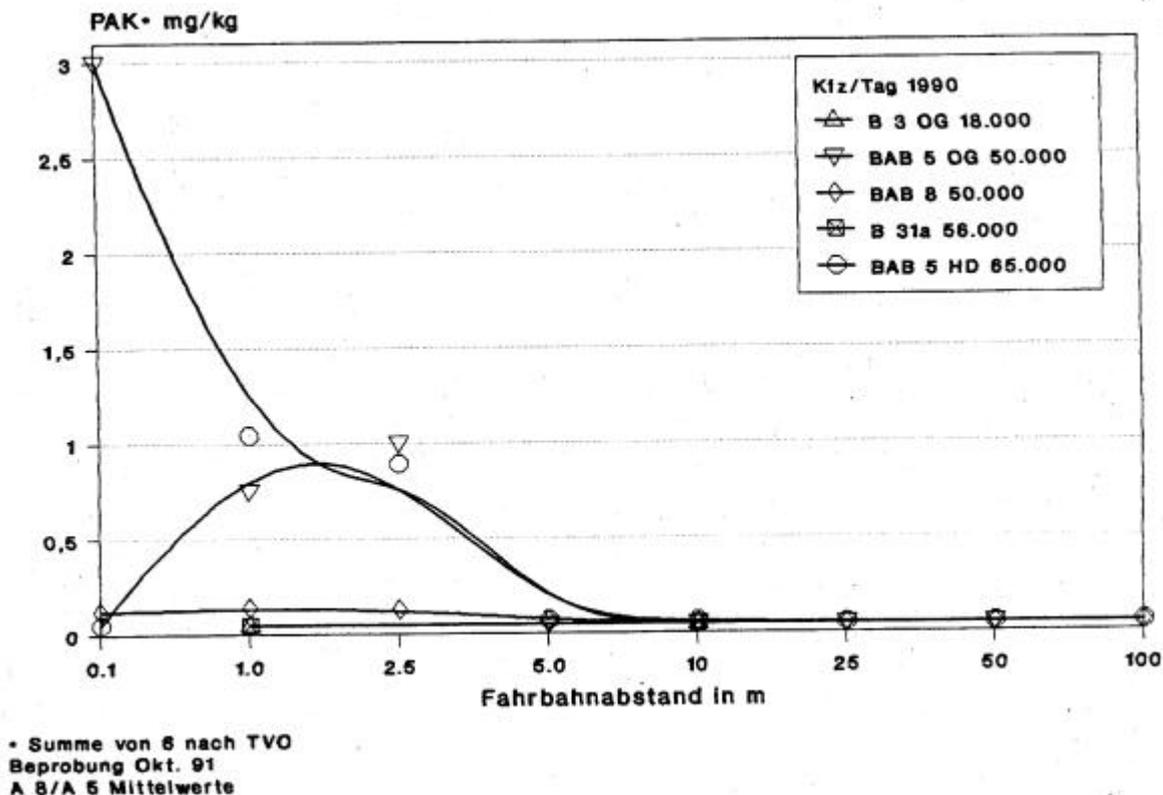
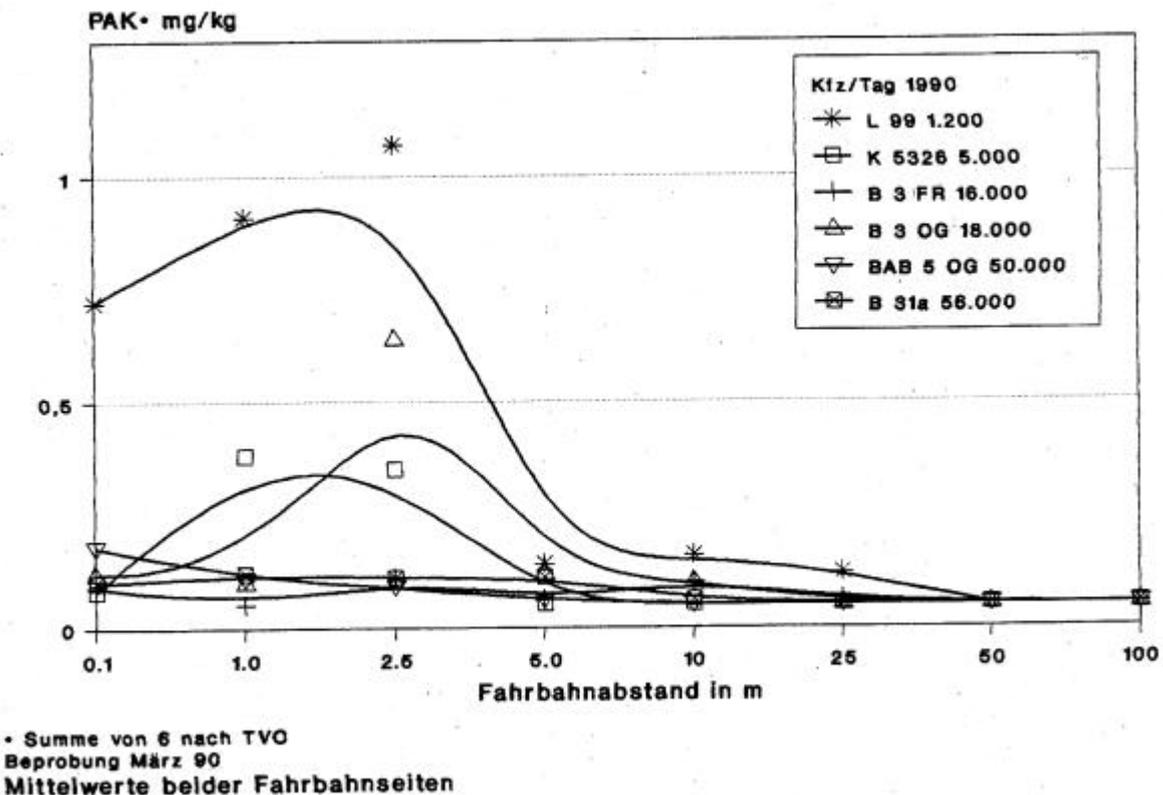


Abb. 42: PAK in straßennahen Böden in 0 – 5 cm Tiefe:



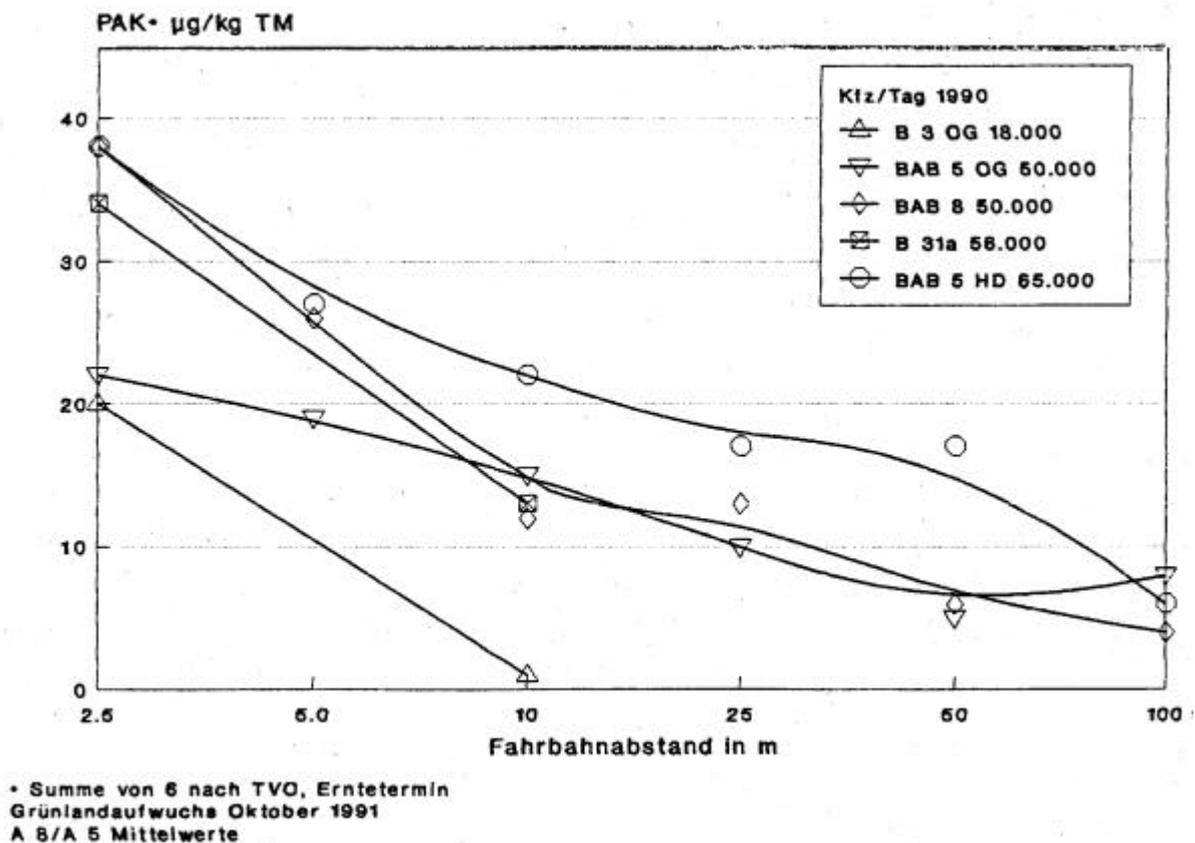
In 0-5 cm Bodentiefe liegen die PAK-Gehalte um den Faktor 1,5 höher als in 0-10 cm Tiefe.

Beim Grünlandaufwuchs wird auch aufgrund der niedrigeren Nachweisgrenzen der Kfz-Einfluß bis in 100 m Entfernung zur Fahrbahn deutlich (Abb.43).

Der Hintergrundgehalt von **<10 µg/kg TM** (vgl. Tab.40) wird an stark befahrenen Straßen ab folgenden Fahrbahntfernungen erreicht:

<b>B 3 OG</b>	18000	Kfz/ Tag 1990	5,0 – 10 m
<b>BAB 5 OG</b>	50000		50 m
<b>BAB 8</b>	50000		50 m
<b>B 31a</b>	56000		>10 m
<b>BAB 5 HD</b>	65000		100 m

Abb. 43: PAK in straßennahem Aufwuchs:



Mit zunehmender Fahrbahnnähe steigen die Gehalte kontinuierlich von 100 bis 2.5 m um den Faktor 8-10 an.

Grenz- und Richtwerte für Futtermittel existieren nicht. Eine Gefährdungsabschätzung kann nicht geleistet werden. Aufgrund bekannter kanzerogener Wirkungen von einigen PAK besteht hier dringend Nachholbedarf.

Zwar müssen die Kfz-Abgase als eine Hauptbelastungsquelle angesehen werden (vgl. Grimmer et al. 1977), doch kann der Fahrbahnabrieb von steinkohleteerhaltigen Straßenbelägen (vgl. Waibel 1976, Lehmann et al. 1984, Korte et al. 1987) ebenfalls von Bedeutung sein.

Kfz-Immissionen zeigten ein Ip/Bghip-Verhältnis von 0,44 (vgl. Lahmann et al. 1984), Kfz-Emissionen (Diesel- und Ottomotor) 0,27 (vgl. Grimmer et al. 1977) und Bitumen 0,06-0,22 (vgl. Bilitewski et al. 1990 zit. in Münch 1990).

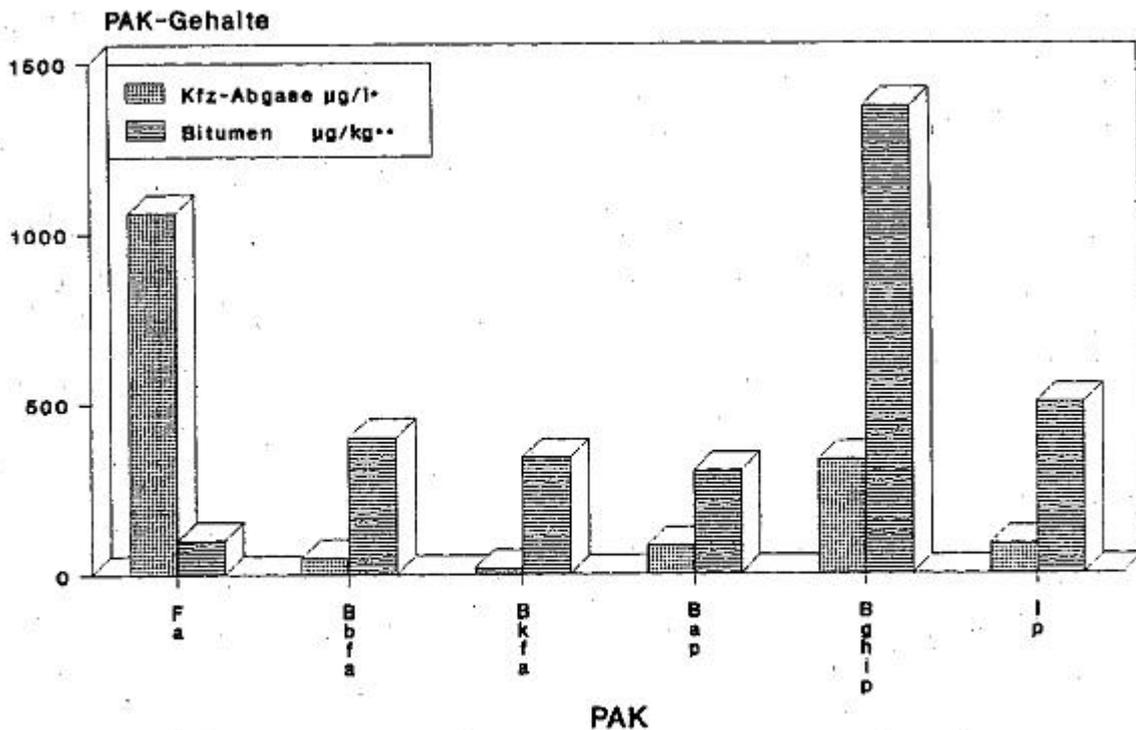
Zur Unterscheidung von Belastungen durch bituminösen Fahrbahnabrieb und Kfz-Emissionen kann das Fa/Bap-Verhältnis bessere Auskunft geben. Grimmer et al. (1977) ermittelten für Ottomotoren ein Verhältnis von 13 bis 33, für Dieselmotoren ein Verhältnis von 167. Bei Bitumen liegt das Verhältnis zwischen 0,3 und 2 (Neumann und Kaschani 1977, Bilitewski et al. 1990 zit. in Münch 1990). Abb.44 zeigt für potentielle Belastungsquellen (Kfz-Abgase und Asphalt) Profile der 6 untersuchten PAK.

Abb.45 zeigt typische PAK-Profile von ausgewählten Standorten.

Das Ip/Bghip-Verhältnis in Böden an der BAB 5 von 0,6 und Aufwuchs von 0,3 spiegelt den Einfluß der Kfz-Abgase wider. An Asphaltstraßen (L 99 Boden) spiegelt sich ein Verhältnis entsprechend dem Bitumen von 1,5 wider.

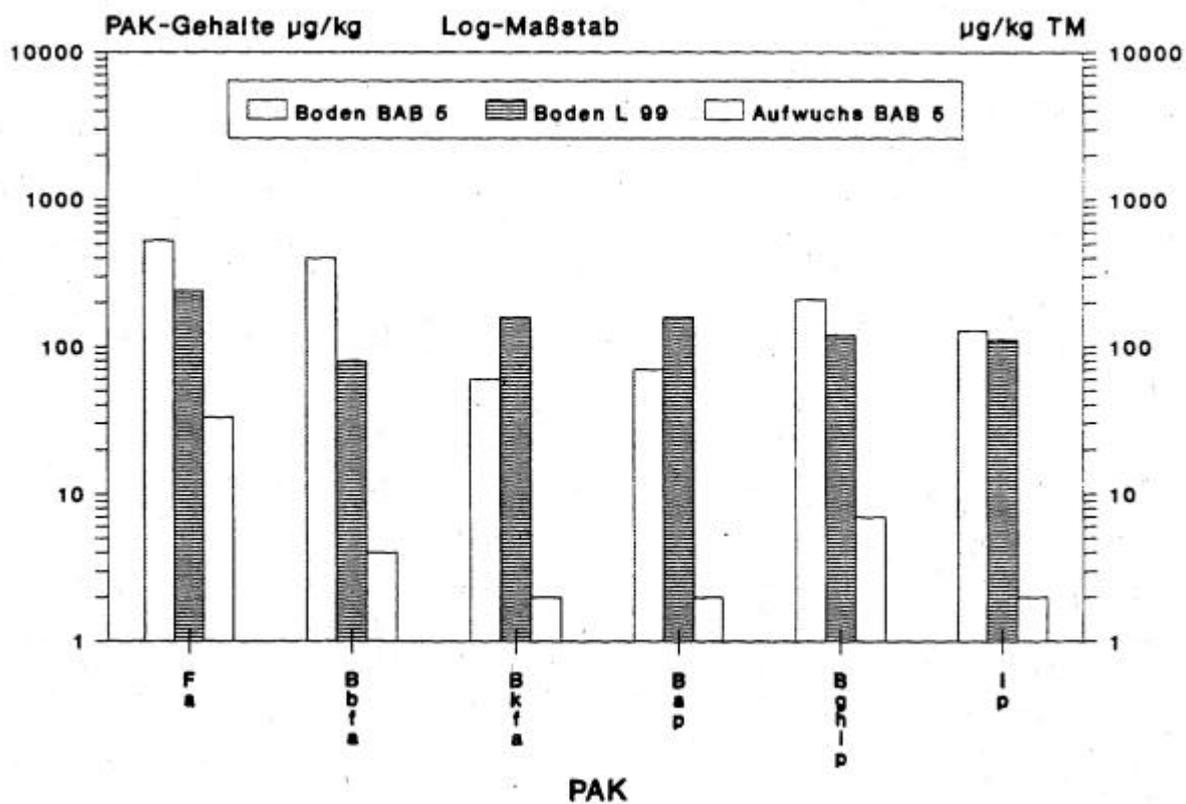
Im 1. Projektbericht wurde an Asphaltstraßen ein Fa/Bap-Verhältnis von  $<4$  (Abb.45, L 99 Boden 1,5) und an Betonstraßen bei hohem Verkehrsaufkommen von  $>6$  ermittelt. An der BAB 5 (Abb.45) liegt das Verhältnis in Böden bei etwa 8 und im Aufwuchs bei 17 entsprechend den Kfz-Abgasen.

**Abb. 44: PAK- Profile potentieller Quellen:**



\* Grimmer et al. 1977: PAK/I verbrauchten Kraftstoffes (Ottomotor)  
 \*\* Neumann u. Kaschani (1977)

Abb. 45: Vergleich von PAK- Profilen in straßennahen Aufwuchs:



## 6 1.8 BTX-Aromaten und Phenole

Die 'Niederländische Liste' (NL-Liste) nennt für die Aromaten als A-Wert jeweils **0,05 mg/kg**, als B-Werte 0,5 mg/kg (Benzol) bis 5 mg/kg (Xylol), für die Summe der Aromaten 7 mg/kg Boden (vgl. Tab.38 und 39).

An der B 3 OG wurde der höchste Benzol- und Gesamt-Aromaten- Gehalt gemessen. Mit 4,3 mg Benzol/kg Boden (0-5 cm) wird der C-Wert der NL-Liste von 5 mg/kg nur knapp unterschritten. An Toluol wurden dort 3,0 und an Xylole 1,5 mg/kg ermittelt. Bei Messungen handelt es sich jedoch um Einzelergebnisse, die an stärker befahrenen Straßen nicht erreicht wurden. Im größten Teil der untersuchten Bodenproben sind BTX-Aromaten nicht nachweisbar.

Zum Probennahmetermin sei auf Kapitel verwiesen. Die im Spätsommer gezogenen Proben der 2.Projektphase zeigten keinen Nachweis an Aromaten. Auf die weitere Analytik nach Phenolen wurde in der 2.Projektphase verzichtet (s. Kap. ).

Neben Kfz-Abgasen (vgl. Candeli et al. 1977) und Tropfverlusten, können bitumenhaltige Fahrbahnen sowie Reifenabrieb (vgl. Korte et al. 1987) Immissionen in Böden verursachen.

Die Aromaten lassen keine Abhängigkeit zum Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand erkennen. Lokal-spezifische Emissionen können unabhängig vom Verkehrsaufkommen Immissionen in Böden verursachen.

In Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften werden die Aromaten z.T. abgebaut, in Abhängigkeit lokal- und mikroklimatischer Bedingungen verflüchtigt und sie können in geringem Umfang versickern (Litz in Blume 1990, vgl. Ziechmann und Müller- Wegener 1990).

Während in den kühleren Jahreszeiten (ebenso Tag-/Nacht-Rhythmus) vermutlich eine Akkumulation in den obersten cm stattfindet, ist im Frühjahr und Sommer, besonders bei häufigem Wechsel von Feuchtigkeit und Trockenheit, mit einem verstärkten Abbau an Aromaten und vor allem mit höheren Verflüchtigungsraten in die Atmosphäre zu rechnen.

## 6. 1.9 Chlorbenzole (PCBz) und Chlorphenole (PCPh)

Durch Tropfverluste an Motorenölen sowie aufgrund möglicher Reaktion von organischen Verbindungen mit Chlor bei unvollständiger Kraftstoffverbrennung (vgl. Hoffmann et al. 1989) besteht die Möglichkeit einer Anreicherung in Straßennähe.

Die chlorierten Aromaten können außerdem Hinweise auf eine frühere Anwendung (>10 Jahre) von bestimmten Herbiziden geben.

Als Orientierungswerte werden für **PCBz 0,2 mg/kg** und für **PCPh 0,1 mg/kg** Boden (vgl. Tab.38) herangezogen. In sämtlichen Stichproben lagen die Konzentrationen unter den Nachweisgrenzen (0,005 bzw. 0,010 mg/kg). Der Kfz-Verkehr verursacht somit keine gravierenden Belastungen an PCBz und PCPh. Auf eine weitere Analytik wurde in der 2.Projektphase verzichtet.

### 6.1.10 Polychlorierte Biphenyle (PCB)

Nach Scheffer/Schachtschabel et al. (1989) wird ein Bodengrenzwert von 0,5 mg/kg für Gesamt-PCB diskutiert. Die novellierte AbfKlärV (1992) setzt für Klärschlamm einen Grenzwert von 0,2 mg/kg TM für **6** repräsentative **PCB** nach Ballschmiter fest. Zur Beurteilung der untersuchten Böden wird ein Leitwert von **0,05 mg/kg Boden** (vgl. Tab.38) herangezogen. Als Hintergrundgehalt sind <0,01 mg/kg Boden anzunehmen (vgl. Tab.39).

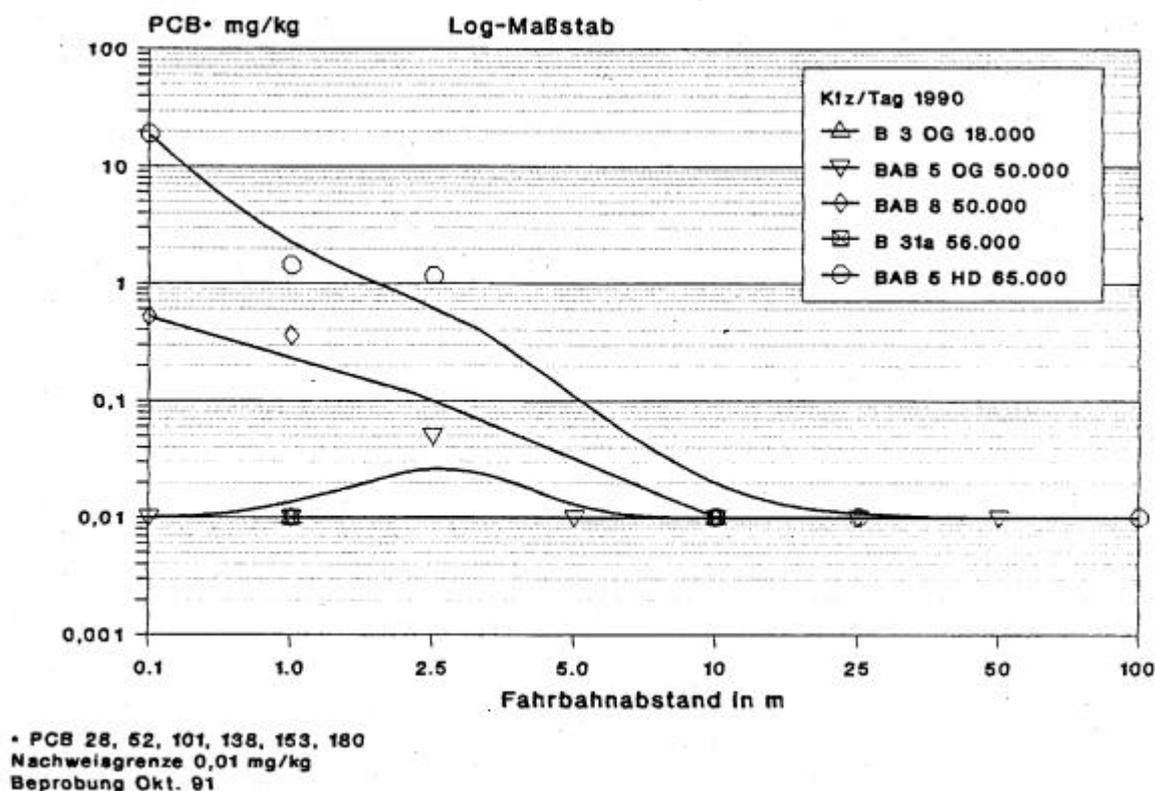
Der Orientierungswert von 0,05 mg/kg wird ab folgenden Fahrbahnabständen in Böden an stark befahrenen Straßen unterschritten (Abb.46):

<b>B 3 OG</b>	18000	Kfz/ Tag 1990	1,0 m
<b>BAB 5 OG</b>	50000		5,0 m
<b>BAB 8</b>	50000		5,0 m
<b>B 31a</b>	56000		1,0 m
<b>BAB 5 HD</b>	65000		5 - 10 m

An der BAB 5 HD wurden direkt am Fahrbahnrand 18,73 mg/kg Boden ermittelt, ab 10 m Entfernung <0,01 mg/kg. In der Niederländischen Liste wird für PCB ein Sanierungswert von 10 mg/kg angegeben, welcher weit überschritten wird. Eine Erklärung für diese hohe Konzentration konnte nicht gefunden werden, als Vermutung könnte PCB-haltiges Motorenöl in Frage kommen. Die PCB-Konzentrationen an der BAB 5 HD konnten an den anderen stark befahrenen Straßen in dieser Höhe nicht bestätigt werden.

Grundsätzlich steigen die PCB-Gehalte ab 10 m Fahrbahnabstand an sehr stark befahrenen Straßen (ab 50.000 Kfz/Tag) von Konzentrationen im Bereich des Hintergrundgehaltes bzw. der Nachweisgrenze (0,01 mg/kg) rasch zu Gehalten über dem Leitwert von 0,05 mg/kg an. Eine Beeinträchtigung nutzungsrelevanter Böden konnte nicht festgestellt werden.

**Abb. 46: PCB in straßennahen Böden in 0 – 10 cm Tiefe:**



### 6.1.11 Polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und polychlorierte Dibenzofurane (PCDD/F)

Der Richtwert für eine uneingeschränkte Bodennutzung beträgt 5 ng TE/kg (vgl. Tab.38), der mittlere Hintergrundgehalt für Grünlandböden im ländlichen Raum Baden-Württembergs liegt bei 0,7 ng TE/kg Boden (Median: 0,4 ng TE/kg, vgl. Tab.39).

An stark befahrenen Straßen wird der Richtwert von **5 ng TE/kg Boden** (unter Berücksichtigung der halben Nachweisgrenze bei der Äquivalenzberechnung) ab folgenden Abständen unterschritten (Abb.47 und 48, ITEF-Werte):

<b>B 3 OG</b>	18000	Kfz/ Tag 1990	5,0 m
<b>BAB 5 OG</b>	50000		10 m
<b>BAB 8</b>	50000		10 m
<b>B 31a</b>	56000		10 m
<b>BAB 5 HD</b>	65000		10 m

In 25 bis 100 m Fahrbahntfernung steigen die Bodenkonzentrationen von Werten im Bereich der Hintergrundbelastung, an der BAB 5 OG leicht erhöht, aber noch im Schwankungsbereich liegend, auf Gehalte, die um den Faktor 2 bis 24 über dem Richtwert liegen. In d-

rekter Straßennähe (bis 1 m) sind an sehr stark befahrenen Straßen (BAB 5 HD und BAB 8) Maximalgehalte von 120 und 126 ng TE/kg (ITEF) ermittelt worden. In 10 m Entfernung bewegen sich die Konzentrationen fast gleichmäßig um 2 ng TE/kg Boden (Abb.47).

Die Wiesennutzung an der BAB 8 (bis 5.0 m Entfernung, SW-Seite) ist durch leicht überhöhte Gehalte im Boden gekennzeichnet. Ansonsten beginnt eine landwirtschaftliche Nutzung ab 10 bis 15 m Entfernung im Bereich (leicht) erhöhter Bodenkonzentrationen (<5 ng TE/kg).

Ein Vergleich der Bodengehalte von 0-5 und 0-10 cm Tiefe (Abb. 49) zeigt an sehr stark befahrenen Straßen (ab 50.000 Kfz/Tag) in der obersten Bodenschicht bis 2.5 m Fahrbahnabstand um den Faktor 1,6 bis 2 höher Konzentrationen. Ab 5.0 m Fahrbahnentfernung bewegen sich die Gehalte in beiden Bodentiefen auf etwa gleichem Niveau, um dann in 25 und 50 m Entfernung zu einem umgekehrten Verteilungsbild zu gelangen. Die Konzentrationen sind hier in 0-10 cm Tiefe um den Faktor 4 höher als in 0-5 cm Tiefe. An der B 3 liegt schon ab 1.0 m Entfernung ein umgekehrtes Bild vor.

Der Haupteinflußbereich für Kfz-Emissionen bis 2.5 m Entfernung wird hier wiederum deutlich (vgl. Schwermetalle). Aufgrund der starken Bindung der PCDD/F an die organische Substanz im Boden, kann vermutet werden, daß der 'aktuelle' PCDD/F-Eintrag geringer geworden ist. Allerdings können durch Verdampfung aus den obersten mm bis cm eingetragene PCDD/F entweichen.

Abb. 47: PCDD/F (ITEF) in straßennahen Böden in 0 – 10 cm Tiefe:

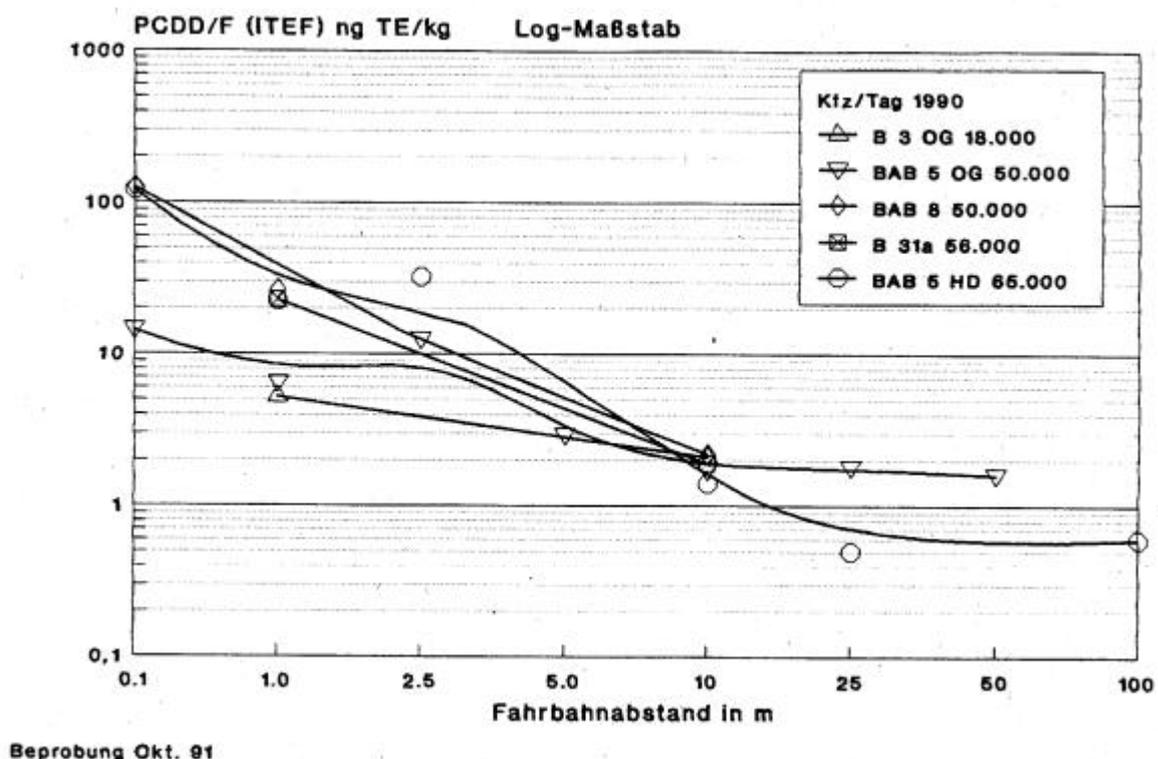
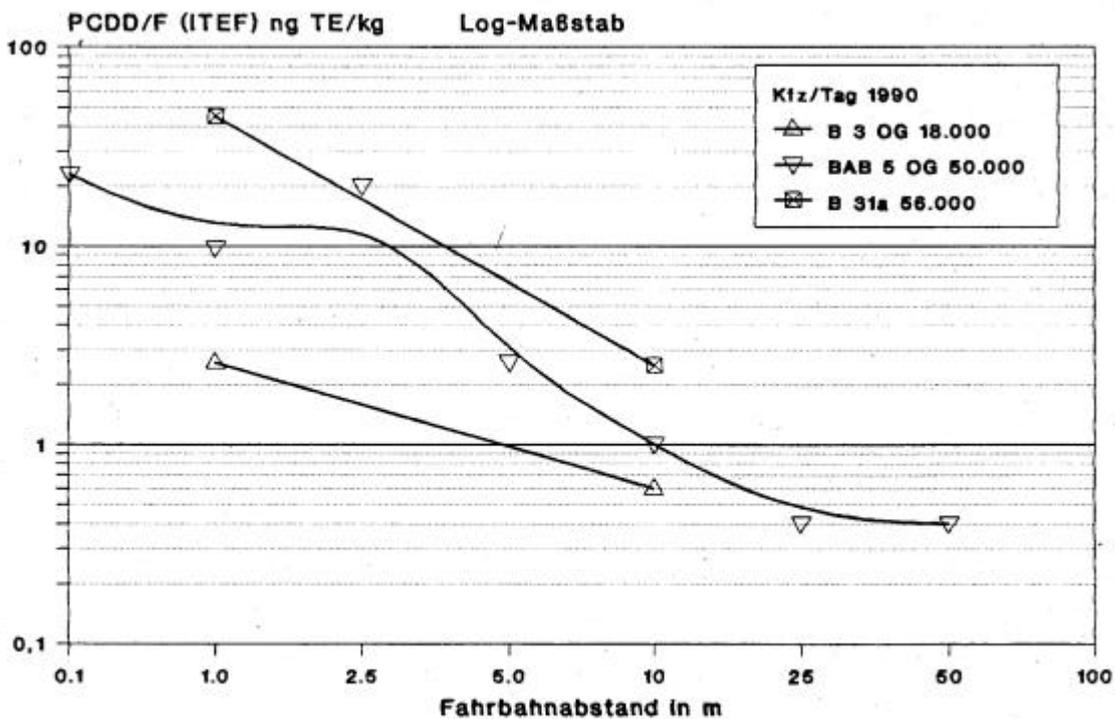
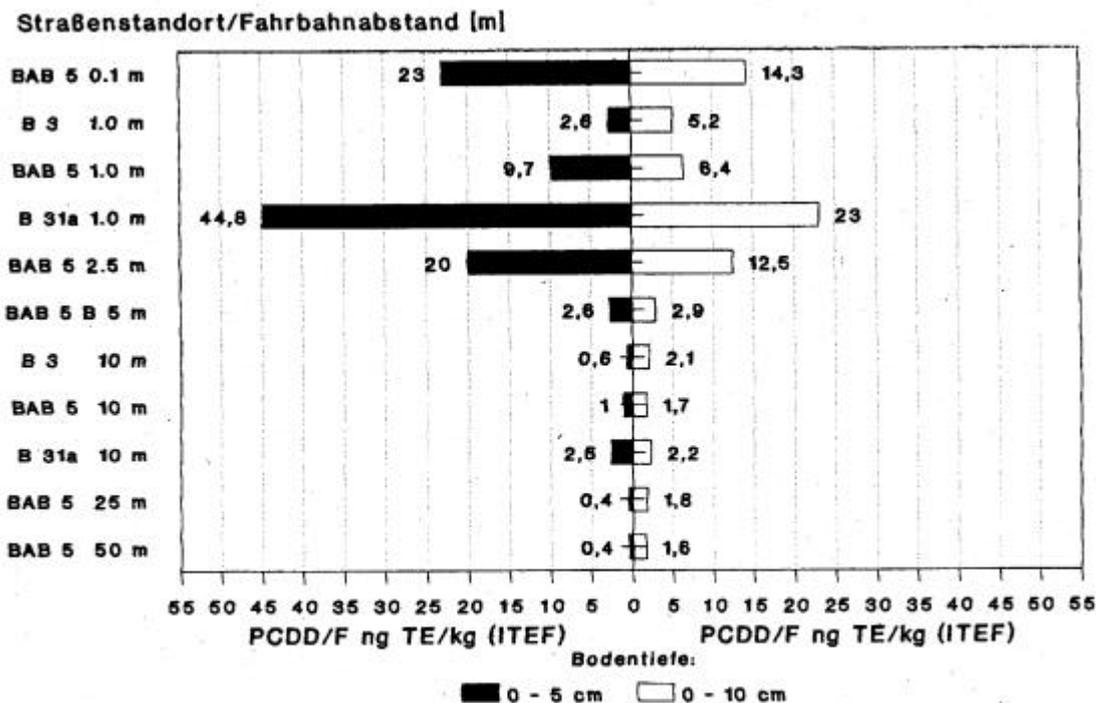


Abb. 48: PCDD/F (ITEF) in straßennahen Böden in 0 – 5 cm Tiefe:



Beprobung März 90

Abb. 49 PCDD/F (ITEF) in Böden – Vergleich 0 – 5 und 0 – 10 cm Tiefe:



B 3 OG 14.400 Kfz/Tag (1975-1990)  
 BAB 5 OG 41.200 Kfz/Tag  
 B 31a 43.600 Kfz/Tag

Die Abb.50 zeigt die laterale PCDD-, Abb.51 die laterale PCDF- Verteilung in straßennahen Böden.

Während bei den PCDF eine deutliche Konzentrationszunahme mit abnehmender Fahrbahnentfernung erkennbar wird, zeigen die PCDD-Gehalte nur zum Teil ein ähnliches Verhalten.

Besonders an der BAB 5 OG liegen die Bodenkonzentrationen an PCDD in 25 und 50 m Entfernung z.T. höher als am Fahrbahnrand.

Verschiedene Gründe (ähnlich wie bei den Schwermetallen Cr, Ni und z.T. Cd) können aufgeführt werden:

Abb. 50: PCDD in straßennahen Böden in 0 – 10 cm Tiefe:

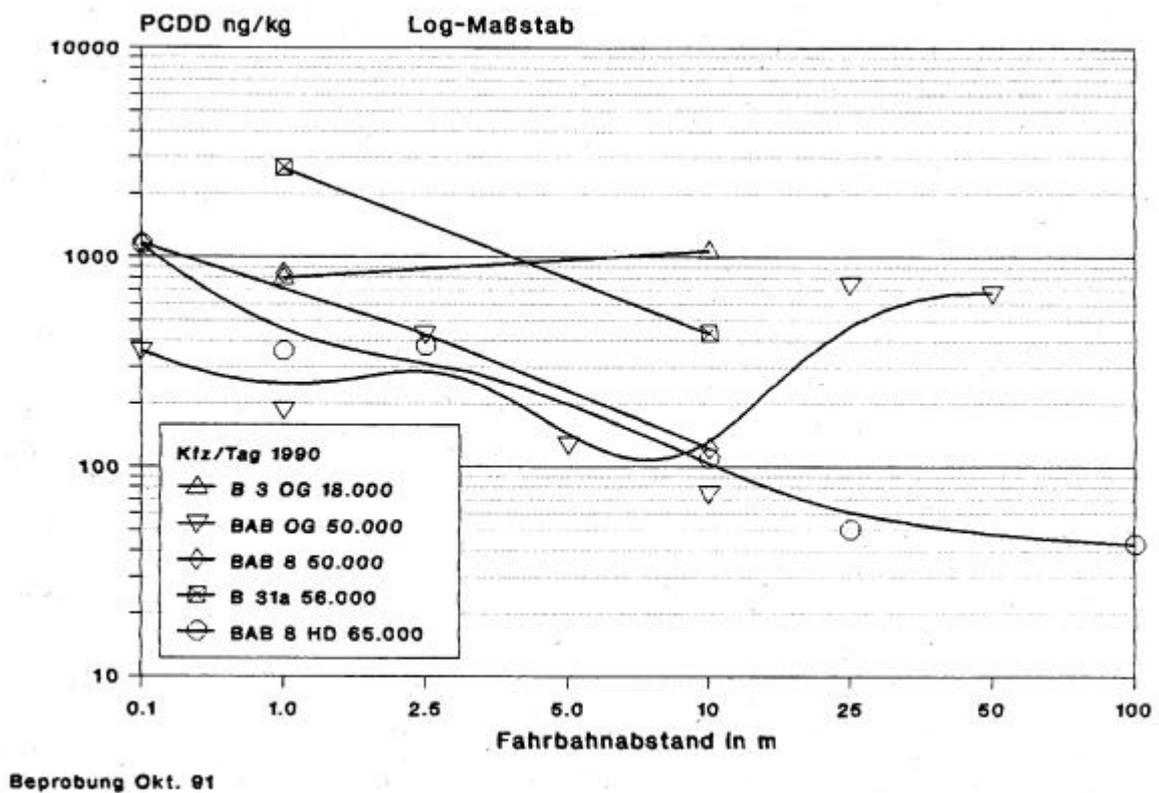
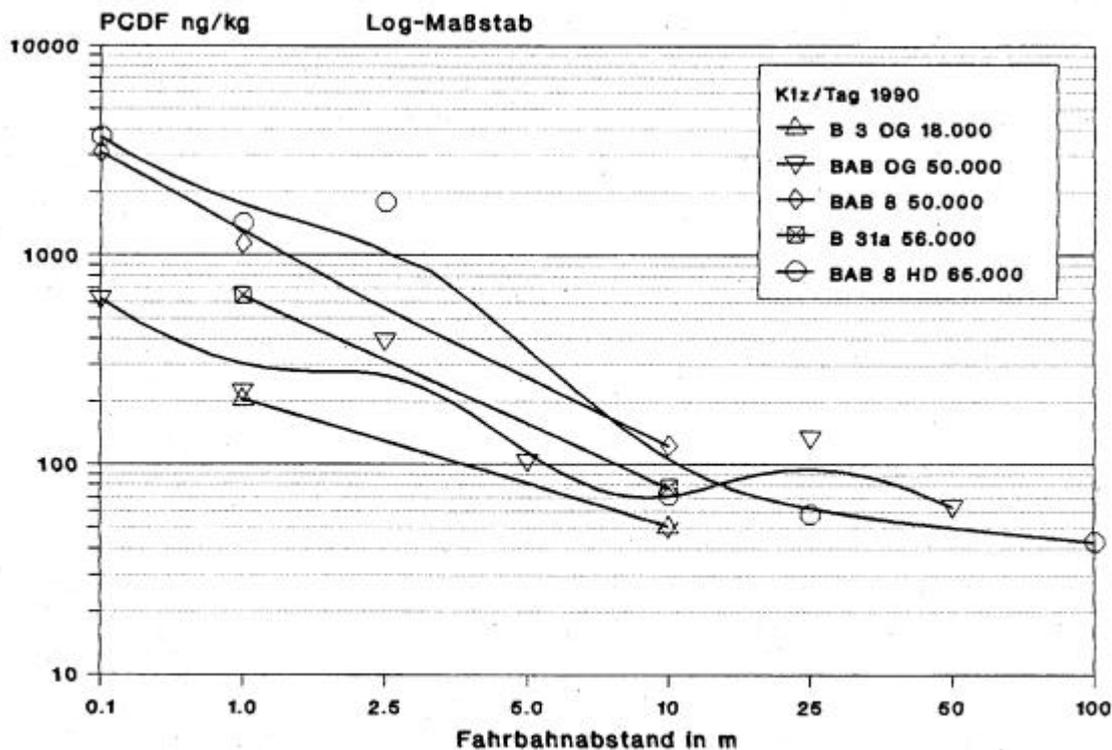


Abb. 51: PCDF in straßennahen Böden in 0 – 10 cm Tiefe:



Beprobung Okt. 91

- Klärschlammaufbringung in früherer Zeit zusätzlich zur Kfz-Belastung, da Gehalte in 0-5 cm Tiefe mit 57 und 62 ng/kg PCDD und 27 bis 70 ng/kg PCDF um den Faktor 2 (PCDF) bis 10 (PCDD) niedriger liegen als in 0-10 cm Tiefe
- Altersunterschied der Straßenbankett-Böden bis 10 m Entfernung zu den Grünlandböden ca. 30 Jahre und damit länger andauernder Eintrag von Immissionen

Für PCDD und PCDF sind Hintergrundkonzentrationen in Böden (0-10 cm) von jeweils 30 bis 50 ng/kg anzunehmen. Diese werden an der BAB 5 HD in 25 bis 100 m Entfernung mit jeweils 43 ng/kg erreicht. Hagenmaier (1987 zit. in Kaune und Fiedler 1991) ermittelte in Böden Baden-Württembergs ohne spezifische Kontamination PCDD-Gehalte von 30 bis 300 ng/kg, die PCDF-Gehalte lagen bei 10-20% dieser Konzentrationen.

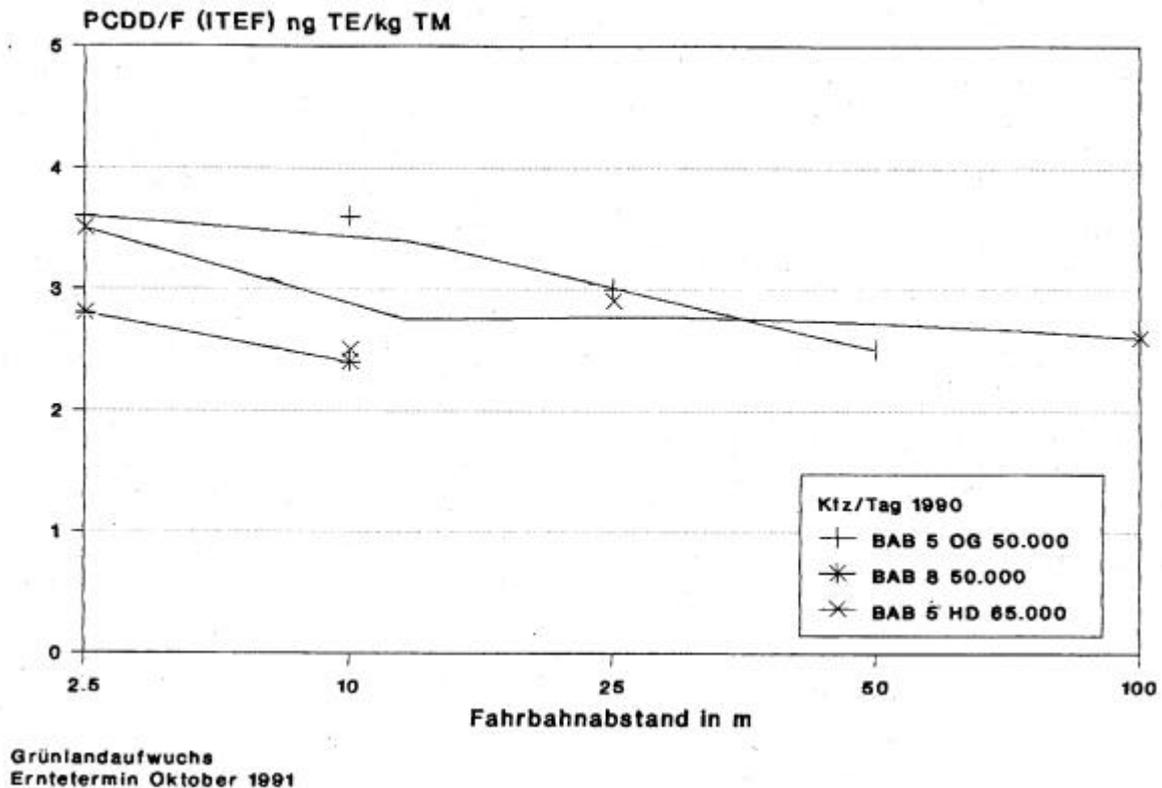
Außer an der BAB 5 OG, liegen die PCDD-Konzentrationen am Fahrbahnrand um den Faktor 6 (B 3) bis 60 höher als in 25 (B 31a) bis 100 m Entfernung. Die PCDF liegen von 0-2.5 m Entfernung zur Fahrbahn um den Faktor 4 (B 3) bis 80 (BAB 5 HD) höher als in 50 und 100 m Entfernung.

Die untersuchten **Aufwuchs**proben an sehr stark befahrenen Strassen (Abb.52) zeigen mit 2,5-3,6 ng TE/kg TM (ITEF) keine so deutlichen Konzentrationsunterschiede wie bei den Böden. Ein schwacher Anstieg zur Fahrbahn hin ist erkennbar.

Werte zur Hintergrundbelastung von PCDD/F im Grünlandaufwuchs liegen kaum vor. Hembrock-Heger (1990) ermittelte bei Bodengehalten von etwa 1-70 ng TE/kg (BGA) Konzentrationen im Gras von etwa 1-5 ng TE/kg. Im Chloraromaten-Meßprogramm von NRW (MURL NRW 1991) werden 0,54 (Ernte Ende Mai) bzw. 0,66 ng TE/kg TM (BGA) (Ernte Anfang Juli) angegeben, im Boden lagen die Gehalte zwischen 5 und 15 ng TE/kg (BGA). An einer ver-

kehrreichen Straße wurden 0,5-1,0 ng TE/kg TM nachgewiesen. Eine Abhängigkeit der Konzentrationen vom Erntetermin wurde bereits dokumentiert (vgl. Schwermetalle).

Abb. 52: PCDD/F in straßennahem Aufwuchs:



In Hessen wurden bei Bodengehalten von 1-2 ng TE/kg (BGA) gleiche Konzentrationen im Gras von 1-2 ng TE/kg TM gemessen (HLfU 1991).

Eine Bewertung der Konzentrationen des straßennahen Aufwuchses ist nur schwer möglich. Die ermittelten Gehalte von 2,5-3,6 ng TE/kg TM (ITEF) sind zumindest als erhöht einzustufen.

Bei einer differenzierten Betrachtung der Gehalte an PCDD und PCDF ist nur ein relativ schwacher Konzentrationsanstieg zur Fahrbahn hin zu erkennen. Die PCDD-Konzentrationen bewegen sich zwischen 145 und 451 ng/kg, die PCDF zwischen 75 und 154 ng/kg. In Richtung Fahrbahn kommt es generell zu einer Konzentrationserhöhung um den Faktor 1,5.

Der Weidegang ist von Neidhard (1990 zit. in Schulz 1992) als sehr empfindliche Nutzung zum Beitrag der Dioxinbelastung von Milch und Fleisch beschrieben. Bei einer Bodenbelastung von 6 und 40 ng TE/kg und Aufwuchskonzentrationen von 0,12 und 0,46 ng TE/kg errechnet Neidhard eine Belastung der Milch von 0,7 und 4,7 ng TE/kg Milchfett. Bei der Aufnahme von Milch (1 l/Tag bzw. Milchprodukten, c.p.) leitet sich somit eine Belastung des Menschen von 0,36 und 2,36 pg TE/kg Körpergewicht ab. Milch und Milchprodukte tragen etwa zu 1/3 (Beck 1990 zit. in Schulz 1992) zur Dioxinbelastung bei. Bei einer täglichen Di-

oxinaufnahme  $<1$  pg TE/kg Körpergewicht leiten Neidhard und Schulz einen Bodenrichtwert von ca. 6 ng TE/kg ab. Die Dioxinaufnahme beim Weidegang durch Bodenaufnahme ist u.U. höher einzustufen als der Pfad über die Futterpflanzen (i.d.R. etwa 2-16 %). Demnach ist in der Nähe von Emittenten von einem Weidegang abzuraten. Durch eine Mahd mit geringer Aufnahme von Bodenpartikeln kann nach Neidhard und Schulz eine Minderung des Dioxineintrages in die Nahrungskette erfolgen.

An der BAB 5 OG erfolgt ab 10 m Entfernung zur Fahrbahn eine Weidenutzung. Die Bodengehalte bewegen sich in 0-10 cm Tiefe um 2,0 ng TE/kg (ITEF), in 0-5 cm Tiefe von 0,4-1 ng TE/kg (ITEF) von 10 bis 100 m Fahrbahntfernung. Die Konzentrationen im Grünlandaufwuchs liegen zwischen 2,5 und 3,6 ng TE/kg TM (ITEF).

Legt man die gleichen Berechnungsgrundlagen wie Neidhard und Schulz zu Grunde, berechnet sich eine Belastung der Milch von 5,9 ng TE/kg Milchfett und eine Belastung von 2,95 pg TE/kg Körpergewicht (ITEF). Da eine Veränderung der PCDD/F-Gehalte von Grünlandaufwuchs während der Vegetationsperiode ähnlich wie bei Schwermetallen zu vermuten ist (vgl. Delschen et al. 1992), stellt diese Berechnung einen Maximalwert am Ende der Vegetationsperiode dar.

In NRW (dto.) wurde im Gras an einer Autobahn zu Beginn der Weideperiode (Mai) ein Wert von 0,5 ng TE/kg TM (BGA) gemessen. Dieser Wert würde zusammen mit Bodengehalten von 2 ng TE/kg zu einer Milchbelastung von 0,9 ng TE/kg Milchfett führen, die wiederum zu einer menschlichen Belastung von 0,45 pg TE/kg Körpergewicht führen kann.

Würde die Futteraufnahme von Kühen während des Weidegangs von Mai bis Oktober ausschließlich über die Weide an der BAB 5 in 10 bis 100 m Entfernung erfolgen, wäre mit einer Belastung der Milch zwischen 0,9 und 5,9 ng TE/kg Milchfett zu rechnen, bzw. mit einer menschlichen Belastung (nur Milch und Milchprodukte von der o.g. Weide) von 0,45 bis 2,95 pg TE/kg Körpergewicht.

Die Belastung sollte lt. BGA 1 pg TE/kg Körpergewicht nicht überschreiten. Die Umweltbehörde der USA empfiehlt sogar einen Richtwert von 0,006 pg TE/kg. Ein Weidegang an stark befahrenen Straßen wäre nach diesen Ausführungen nicht empfehlenswert und somit als kritisch zu beurteilen. Die Aufwuchskonzentrationen sollten demnach im Mittel der Vegetationsperiode bzw. des Weidegangs deutlich weniger als 1 ng TE/kg TM betragen (bei Bodengehalten von etwa 2 ng TE/kg). Intensivere Untersuchungen sind zu dieser Problematik notwendig.

Die möglichen Quellen der PCDD/F-Emissionen durch den Kfz-Verkehr wurden in Kap.2 ausführlich beschrieben.

Bei den Kfz-Abgasen ist mit einem Verhältnis von Furanen zu Dioxinen von 3:1 bis 10:1 zu rechnen (LfU 1992). An den stark befahrenen Straßen wurde bis 2.5 m Entfernung ein Verhältnis von etwa 3:1 ermittelt, was die Kfz-Abgase als Hauptverursacher vermuten lässt. Besonders an der B 31a werden zusätzlich andere Quellen als die Kfz-Abgase vermutet (Unger und Prinz 1991a und 1991b). Die PCDD sind hier um den Faktor 4 bis 5 stärker vertreten.

In Abb.53a und 53b werden Homologenprofile von Kfz-Abgasen (Hagenmaier et al. 1990) und Motorenöl (Rotard et al. 1987) dargestellt. Bei verbleitem Benzin nehmen die Konzentrationen von den TCDD/F zu den OCDD/F hin ab. Bei Motorenöl kommt es von TCDD zu OCDD zu einem Konzentrationsanstieg.

Während die 2,3,7,8-substituierten Isomere bei Kongenerenvergleichen eine Übereinstimmung zwischen Bodenproben und Abgasmessungen zeigen (Abb.54a und 54b), decken sich die Homologengruppen der PCDD (Abb.55 und Abb.56) eher mit denjenigen von Motorenöl. Infolge Verflüchtigung und Dechlorierung kommt es vermutlich in Böden in Abhängigkeit der Bodenparameter (z.B. Humusgehalt) und chemisch-physikalischer Eigenschaften der Dioxine und Furane (z.B. Dampfdruck) im Laufe der Zeit zu Veränderungen des Kongenerenmusters.

Abb. 53a: PCDD/F - Profile potentieller Quellen – Pb- Benzin, Motorenöl:

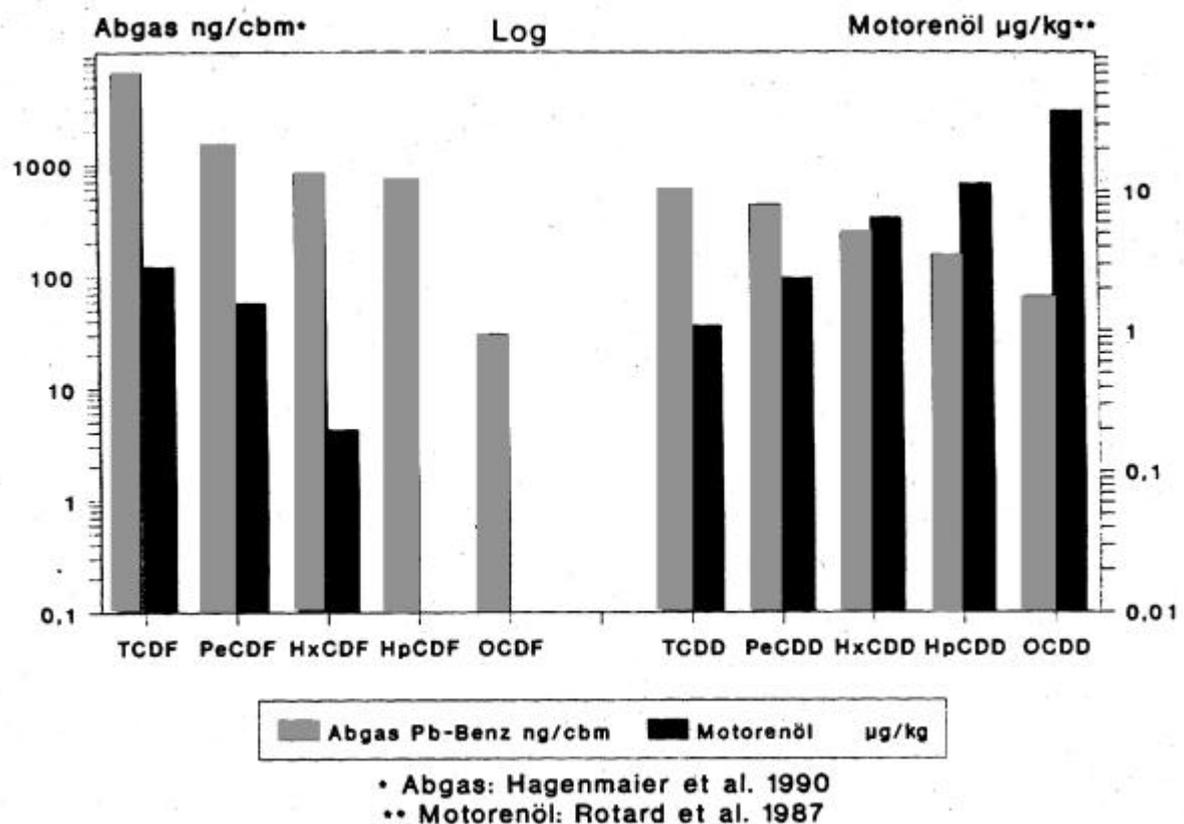
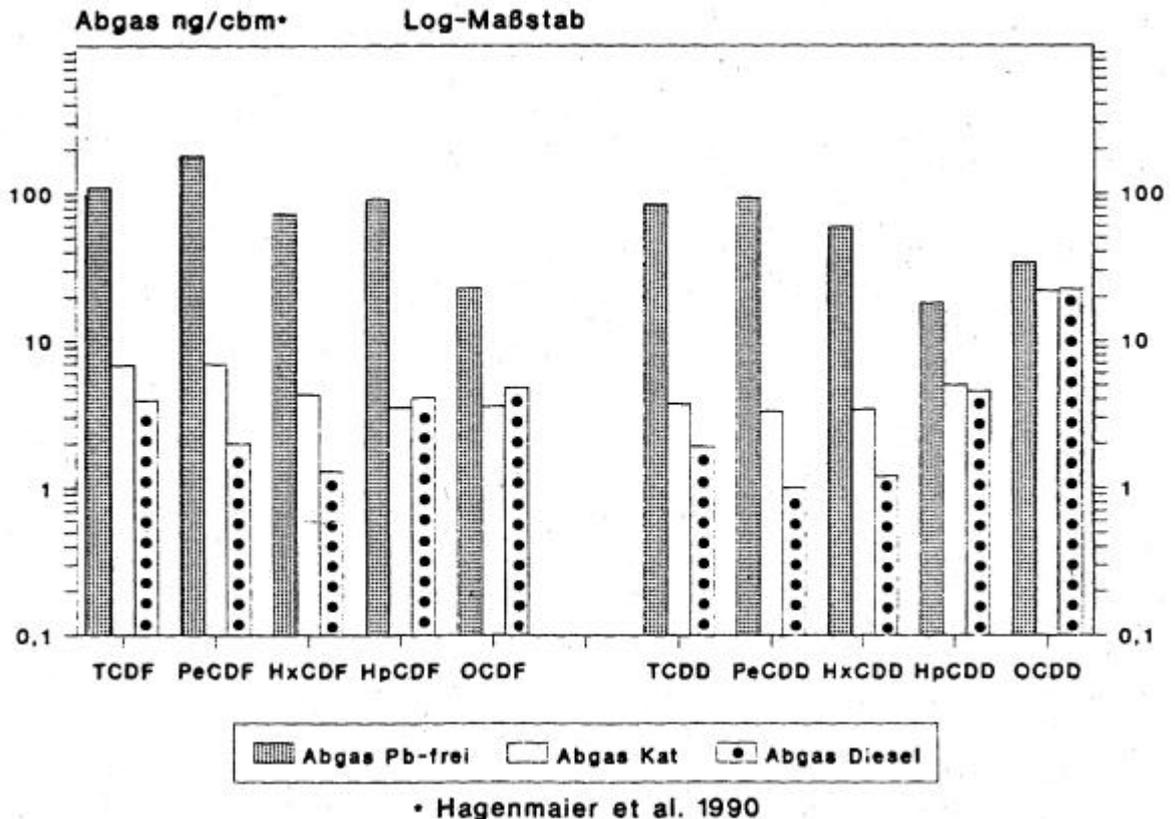


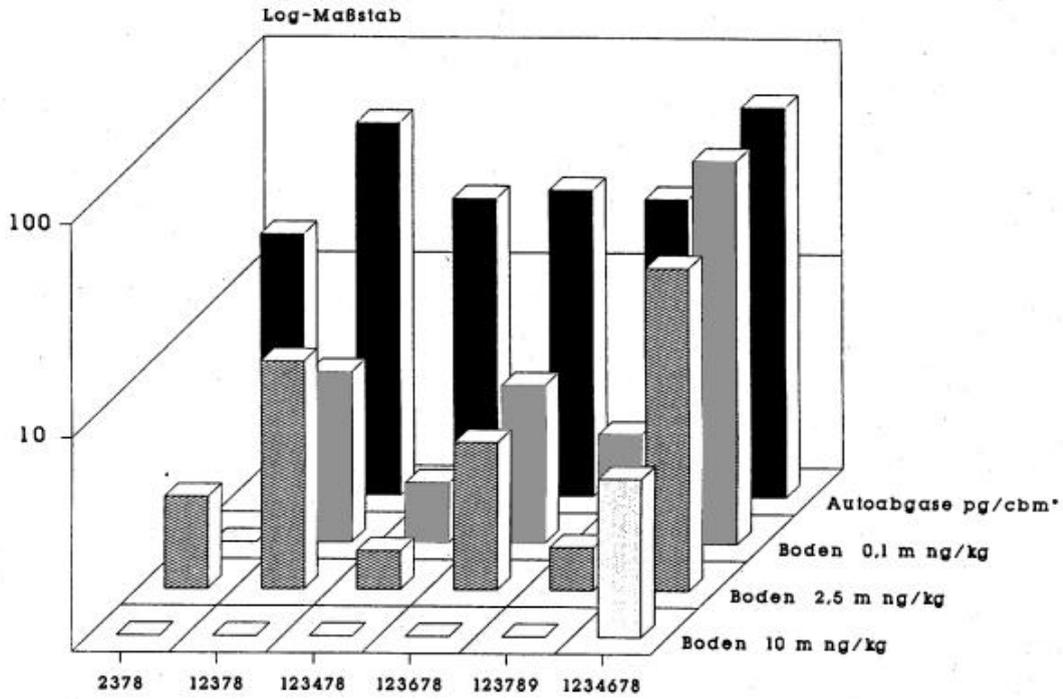
Abb. 53b: PCDD/F- Profile potentieller Quellen – Benzin Pb – frei, Kat, Diesel:



Eine intensivere Quellenanalyse könnte über ein breiteres analytisches Spektrum (Mono- bis OctaCDD/F, bromierte und gemischthalogenierte PHDD/F) erreicht werden. Weiterhin müßten Kongenerenmuster ('finger prints') für Kfz-Reifen, Materialien für Straßenoberflächen sowie für Brände und Löschwasser bei Kfz-Unfällen zum Vergleich vorliegen.

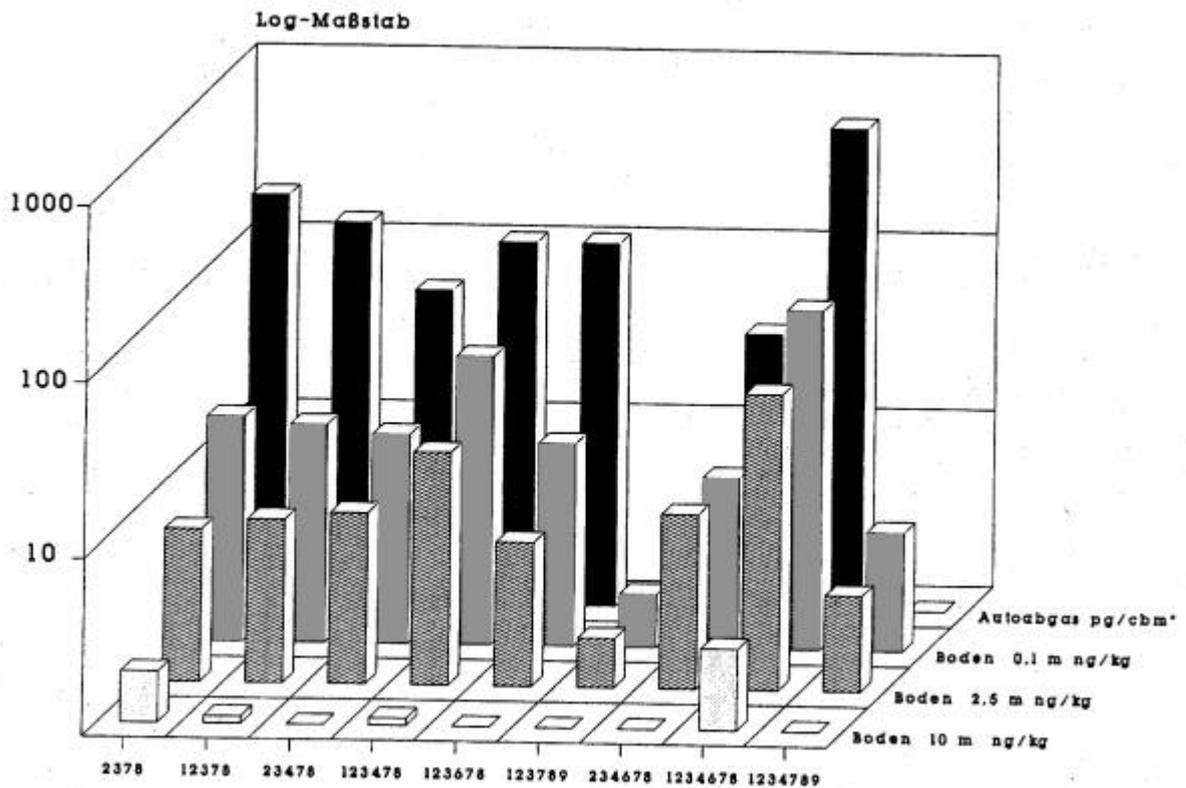
Vor allem in direkter Fahrbahnnähe sind die o.g. Quellen sicher nicht zu vernachlässigen.

Abb. 54a: PCDD – Kongenerenvergleich von straßennahen Böden und Kfz – Abgasen:



\* Hagenmaier et al. (1990)

Abb. 54b: PCDF – Kongenerenvergleich von straßennahen Böden und Kfz – Abgasen:



\* Hagenmaier et al. (1990)

Abb.55: PCDD/F- Homologen- Profile von Böden in direkter Straßennähe (0,1m):

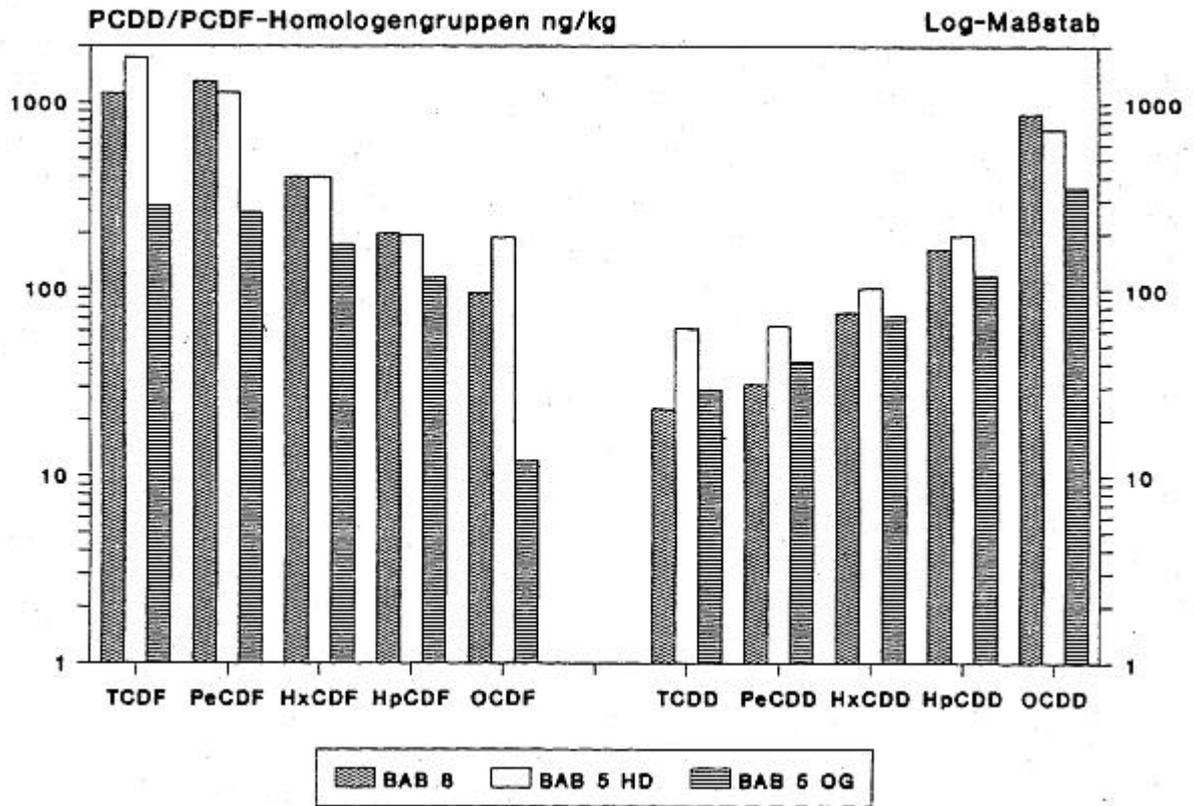
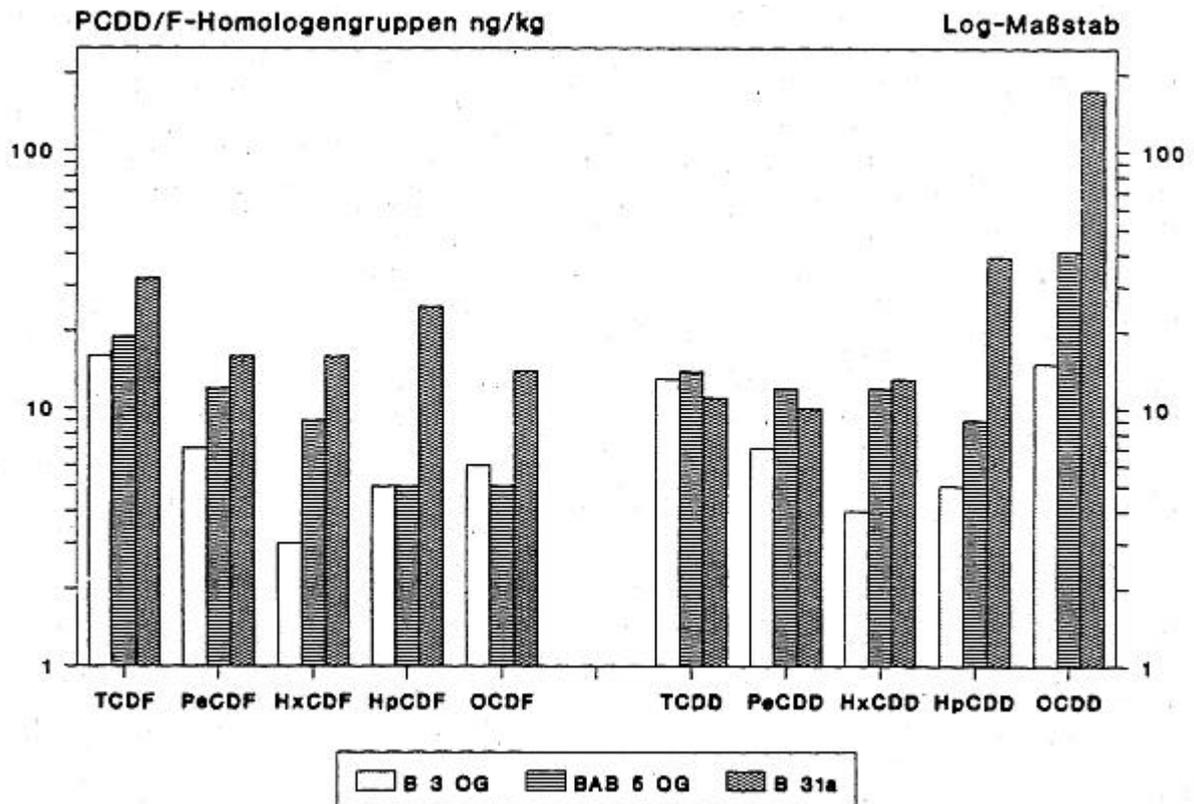


Abb.56: PCDD/F- Homologen- Profile von Böden in 10 m Abstand zur Fahrbahn:



## 6.1.12 Zusammenfassung der Reichweite der Stoffbelastung in straßennahen Böden

Die Abb.57 bis 60 zeigen zusammenfassend einen Überblick der Reichweiten der Stoffbelastung in straßennahen Böden, aufgeschlüsselt nach den folgenden Verkehrsaufkommensklassen (Kfz/Tag 1990):

- - bis 5.000 Kfz/Tag (Abb.63): L 99 und K 5326
- - 16.000 und 18.000 Kfz/Tag (Abb.64): B 3 FR und B 3 OG
- - 50.000 Kfz/Tag (Abb.65): BAB 5 OG und BAB 8
- - 56.000 und 65.000 (Abb.66): B 31a und BAB 5 HD

Die Reichweite der Bodenbelastung gibt diejenigen Fahrbahnabstände an, ab welchen eine Unterschreitung der Grenz- bzw. Richt- oder Orientierungswerte zu erwarten ist. Die Balken der Abb.57 bis 60 geben somit maximale Reichweiten mit einem gewissen Sicherheitsfaktor an.

Bei Pb und Cd kann, besonders beim Zusammenspiel mehrerer Emissionsquellen, noch in über 100 m Fahrbahnabstand an sehr stark befahrenen Straßen (älter als 25 Jahre) der Grenzwert der AbfklärV (1992) erreicht werden.

Die Ergebnisse der Bodenkonzentrationen in 0-5 cm wurden mit Hilfe der ermittelten Faktoren 0-5/0-10 cm Tiefe (B 3 OG, BAB 5 OG und B 31a) zu Stoffkonzentrationen in 0-10 cm Bodentiefe umgerechnet.

An Straßen mit Gehölzstreifen sind die im Kapitel 6.2 ermittelten prozentualen Veränderungen zu berücksichtigen. Die Abb. 57 bis 60 stellen die Situationen an Straßenstandorten mit freier Ausbreitungsmöglichkeit dar. Es handelt sich hier um maximale Reichweiten der Stoffbelastung von straßennahen Böden.

An Straßen mit (ehemaligem) hohem Bitumenanteil der Fahrbahndecke ist, bedingt durch mögliche Immissionen an mono- und polyzyklischen Aromaten, ein Sicherheitsabstand für eine Grünlandnutzung von 5 m zu wahren (Abb.57).

An Straßen von 16.000 und 18.000 Kfz/Tag sollte aufgrund der Cd- und PCDD/F-Gehalte (evtl. BTX-Aromaten) ein Abstand von etwa 5 m eingehalten werden (Abb.58).

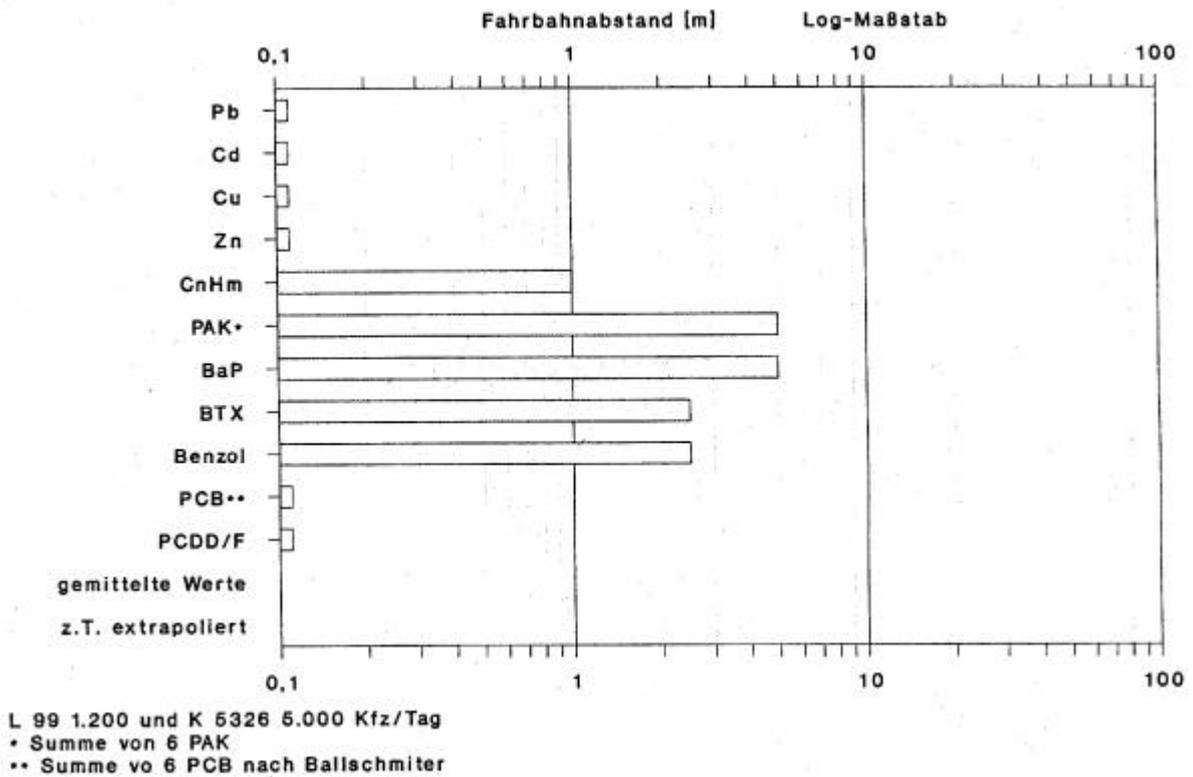
An sehr stark befahrenen Straßen (Abb.59 und Abb.60) ist besonders infolge der Konzentrationen an Pb, Cd, Zn und PCDD/F ein Sicherheitsabstand für Grünlandböden von 10 m zu einzuhalten.

Im Zusammenspiel mit anderen Emittenten kommt es auch über diese 10m-Marke hinaus (>100 m) zu (leicht) überhöhten Gehalten an Pb und Cd (B 31a Pb, evtl. BAB 5 HD und BAB 8 Cd).

Die Beurteilung der Belastungsgradienten berücksichtigt nur die Gehalte in straßennahen Böden, die >25 Jahre kfz-bedingten Immissionen ausgesetzt waren. Eine Belastung des Aufwuchses ist mit einer höheren Stichprobenzahl statistisch besser abzusichern. Die Beur-

teilung ist aufgrund fehlender Richtlinien schwierig, besonders bei organischen Verbindungen.

**Abb. 57 Reichweite der Bodenbelastung an Straßen bis 5000 Kfz/ Tag – Grenz- und Richtwertüberschreitung:**



**Abb. 58 Reichweite der Bodenbelastung an Straßen mit 16000 und 18000 Kfz/ Tag – Grenz- und Richtwertüberschreitung:**

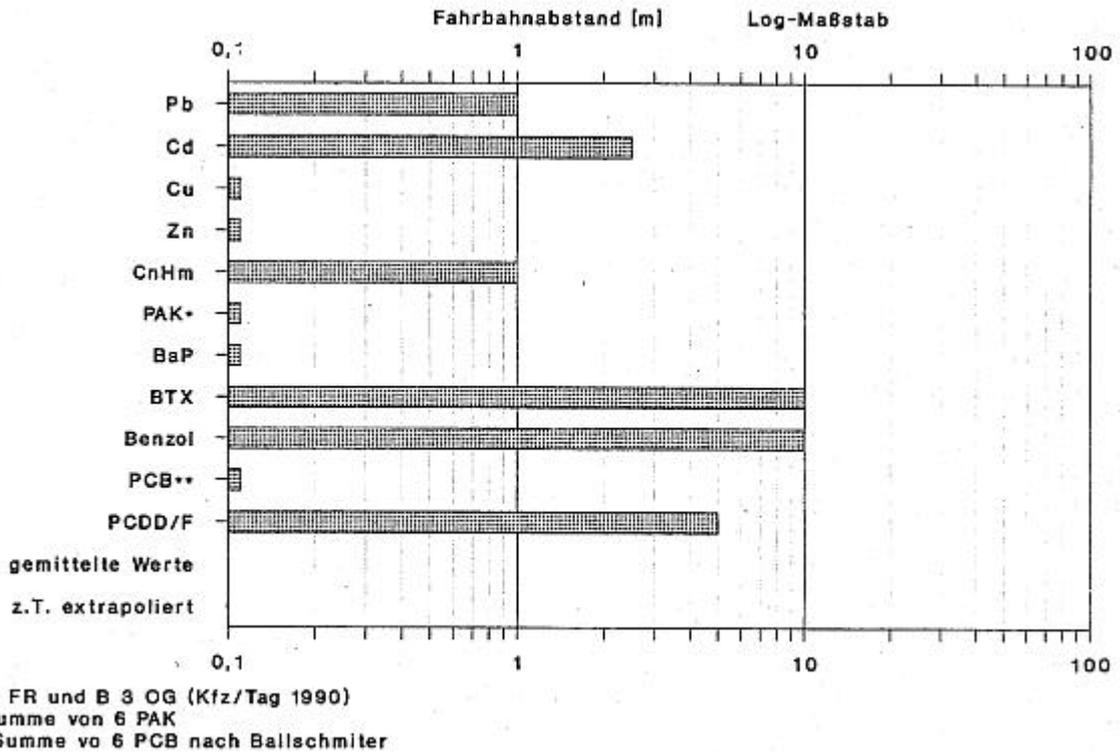


Abb. 59 Reichweite der Bodenbelastung an Straßen mit 50000 Kfz/ Tag – Grenz- und Richtwertüberschreitung:

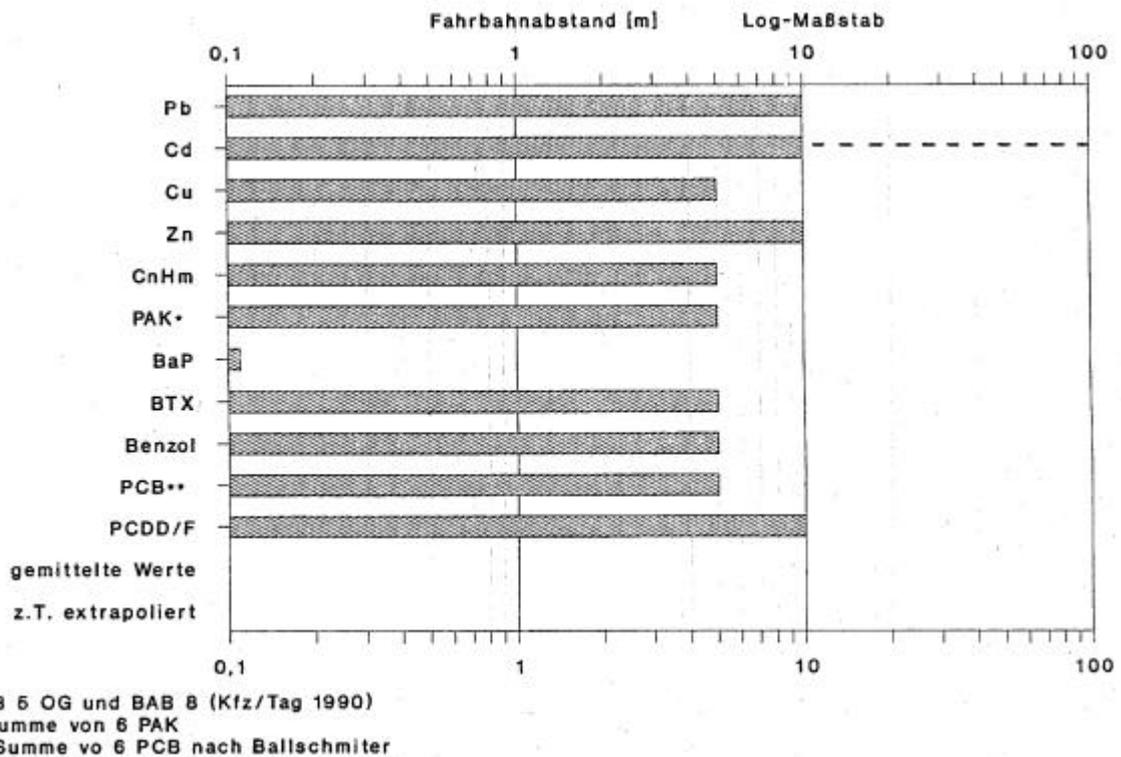
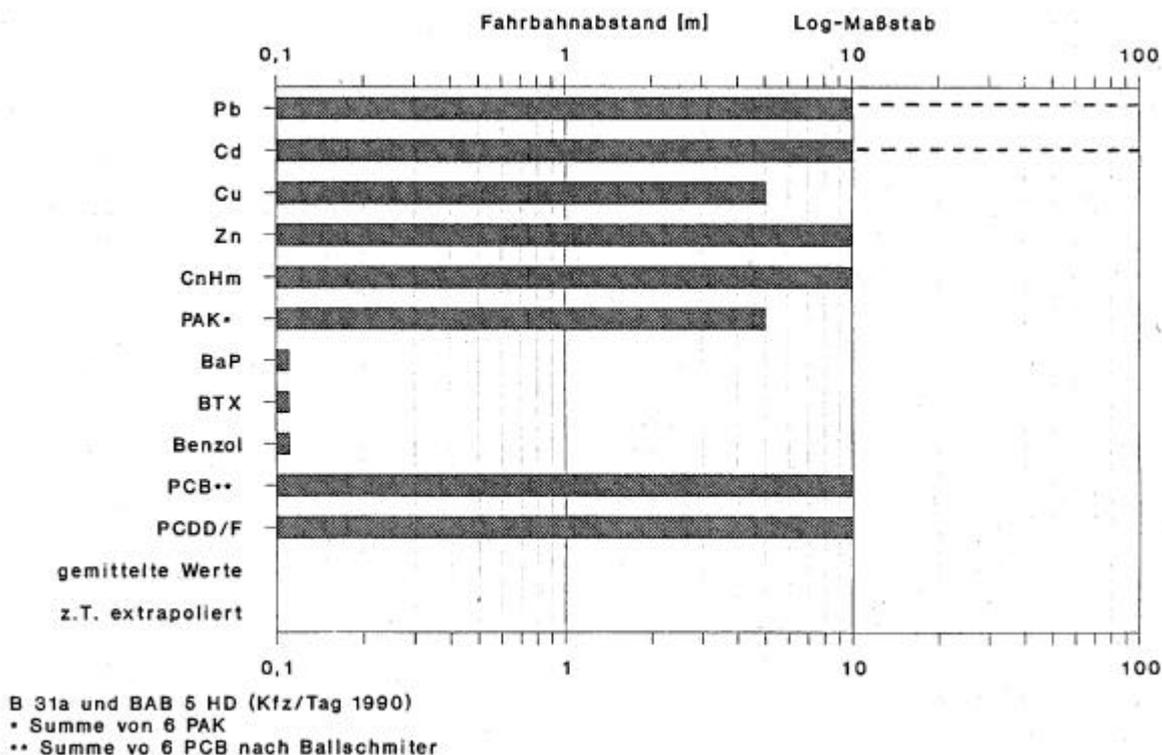


Abb. 60 Reichweite der Bodenbelastung an Straßen mit 56000 und 65000 Kfz/ Tag – Grenz- und Richtwertüberschreitung:



## 6.2 Auswirkung von Gehölzstreifen auf Stoffgehalte in Böden und Grünlandaufwuchs

An 2 verkehrsreichen Straßenstandorten (s. Kap.4) der BAB 5 (S 1: 65.000 Kfz/Tag und S 2: 50.000 Kfz/Tag 1990) werden die Stoffgehalte vor (2.5 m Fahrbahnabstand) und hinter Gehölzstreifen (10 und 25 m Abstand zur Straße) mit denjenigen der Standorte mit freier Ausbreitungsmöglichkeit verglichen. Das aus Laubgehölzen bestehende Straßenbegleitgrün ist etwa 400 m lang, ca. 5 m hoch und 6 m breit.

### 6.2.1 Schwermetalle

Durch aktive Bioindikation mittels Lolium-Kulturen konnte Steubing (1987) an einer stark befahrenen Straße von Mai bis September für Pb hinter 2 m hohen Brombeer- und Hainbuchenhecken eine Reduzierung um 16 (August) bis 62 % (Mai/Juni), für Cd um 34 (August) bis 68 % (Mai/Juni) sowie für Ni um 0 bis 47 % (Mai/Juni) feststellen.

Die Tab.41 gibt einen Überblick über die Auswirkung von Strassenrandgehölzen auf die **Schwermetallgehalte** in **Böden** (0-10 cm) und **Grünlandaufwuchs**.

Zusammenfassend ist für Schwermetalle vor **Gehölzstreifen** in Böden mit erhöhten Gehalten gegenüber freier Ausbreitungsmöglichkeit von 15 (Ni) bis 70 % (Cd), in Grünlandaufwuchs von 10 (Cr) bis 100 % (Zn) zu rechnen.

In 10 m Fahrbahntfernung kann hinter Gehölzstreifen eine Reduzierung in Böden von 15 (Cu, Cd) bis 30 % (Pb, Ni, Cr), in Pflanzen von 5 (Cu, Cr) bis 30 % (Cd) erreicht werden.

In 25 m Fahrbahnabstand sind in Böden sogar Reduzierungen zwischen 30 (Zn, Ni, Cr) und 60 % (Cu), in Pflanzen zwischen +/-0 (Cr) und 45 % (Cu) möglich.

Für Schwermetalle kann somit ein wirksamer Schutz vor Boden- und Pflanzenkontaminationen durch Gehölzstreifen erreicht werden, im Mittel eine Reduzierung um etwa 30 %. Die Schwermetallkonzentrationen liegen in Böden hinter den Straßenrandgehölzen generell unter den Grenz- und Richtwerten (vgl. Tab.38)

**Tab.41: Erhöhung der Schwermetallgehalte in straßennahen Böden\* und Grünlandaufwuchs\*\* vor und Reduzierung hinter Gehölzstreifen (Mittelwerte, %)**

Element	2,5m***	Gehölz	10m***	25m***
<b>Blei</b>	+50		-30	-35
	+40		-20	-35
<b>Cadmi- um</b>	+70		-15	-50
	+30		-30	-40
<b>Kupfer</b>	+35		-15	-60
	+15		-5	-45
<b>Zink</b>	+35		-25	-30
	+100		-10	-10
<b>Nickel</b>	+15		-30	-30
	+75		-25	-30
<b>Chrom</b>	+20		-30	-30
	+10		-5	+/- 0

\* 0-10 cm Tiefe

\*\* Ernte Oktober 1991

\*\*\***Fahrbahnabstand [m] und Veränderung zu freier Ausbreitungsmöglichkeit (+/ - %)**

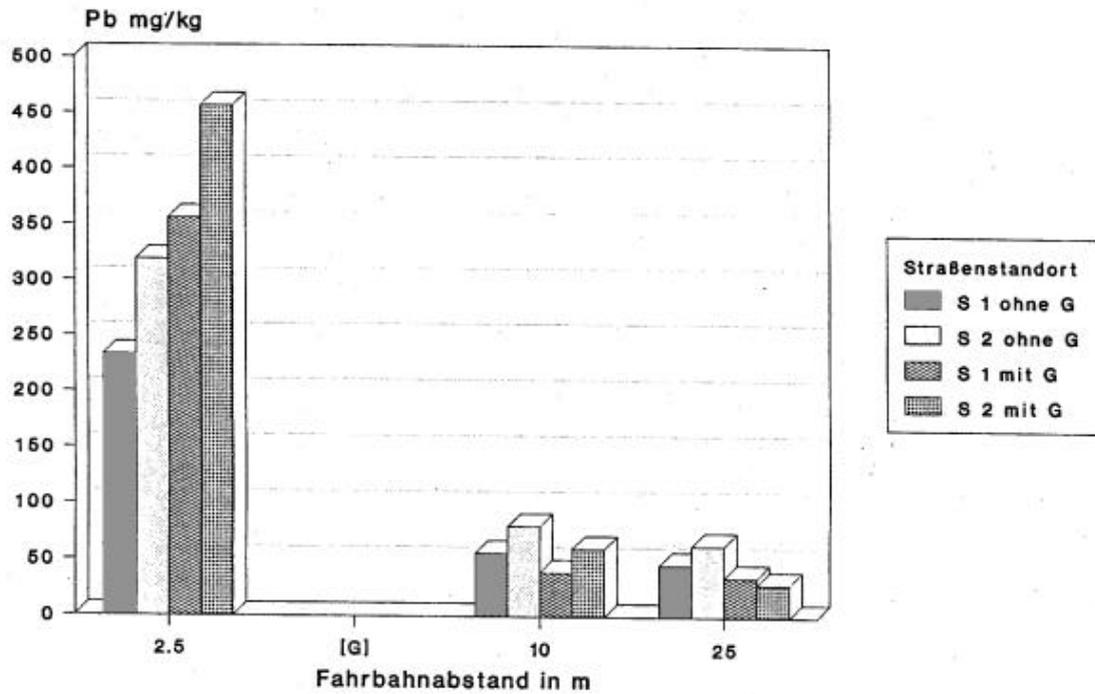
1.Reihe: Böden

2.Reihe: Aufwuchs

Beispielsweise kommt es bei Pb in den Böden (Abb.61) vor Gehölzen (2.5 m Fahrbahnabstand) zu Erhöhungen gegenüber den Standorten mit freier Ausbreitungsmöglichkeit von 40-60 %, in Grünlandaufwuchs (Abb.62) von 10-70 %. Hinter Gehölzen erreichen Böden Reduzierungen von 25-50 %, Aufwuchs von 10-40 %.

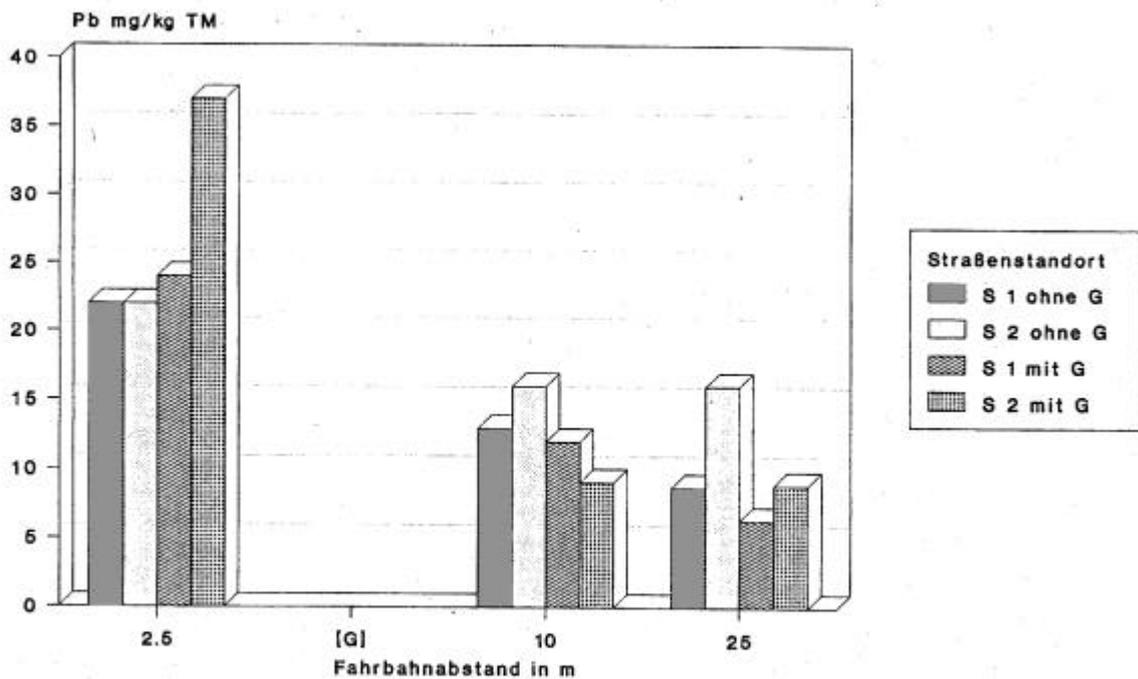
Vor Gehölzstreifen zeigen die Böden (Abb.63) Konzentrationsanstiege von Cd um 70 %, der Grünlandaufwuchs von 10-55 % (Abb.64). Hinter den Gehölzen waren in Böden Cd-Reduzierungen von 15-70 %, in Pflanzen von 10-70 % zu verzeichnen.

Abb. 61: Pb in Böden (0 – 10 cm )  
Auswirkung von Gehölzstreifen:



S 1 BAB 5 65.000 Kfz/Tag 1990 (25 Jahre)  
S 2 BAB 5 50.000 Kfz/Tag 1990 (32 Jahre)  
G: Gehölzstreifen

Abb. 62 :Pb in Grünlandaufwuchs  
Auswirkung von Gehölzstreifen (Ernte Oktober 1991):



S 1 65.000 Kfz/Tag 1990  
S 2 50.000 Kfz/Tag 1990  
G: Gehölzstreifen

Abb. 63: Cd in Böden (0 – 10 cm)  
Auswirkung von Gehölzstreifen:

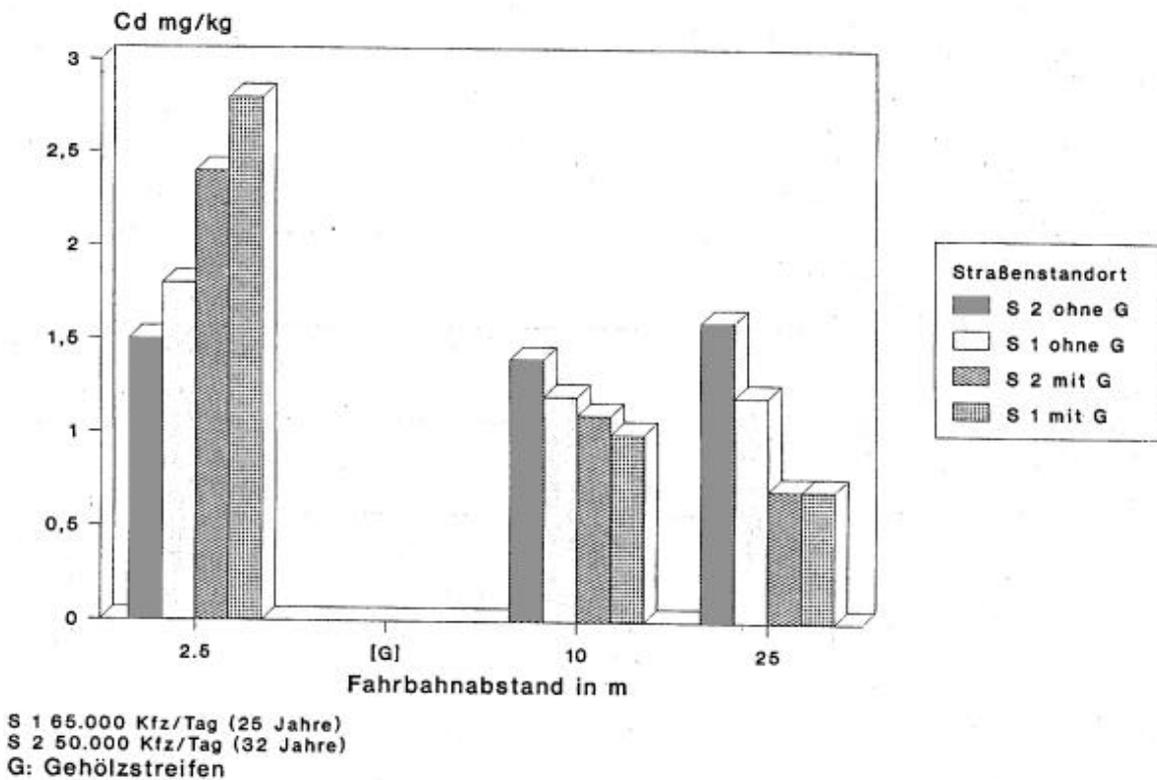
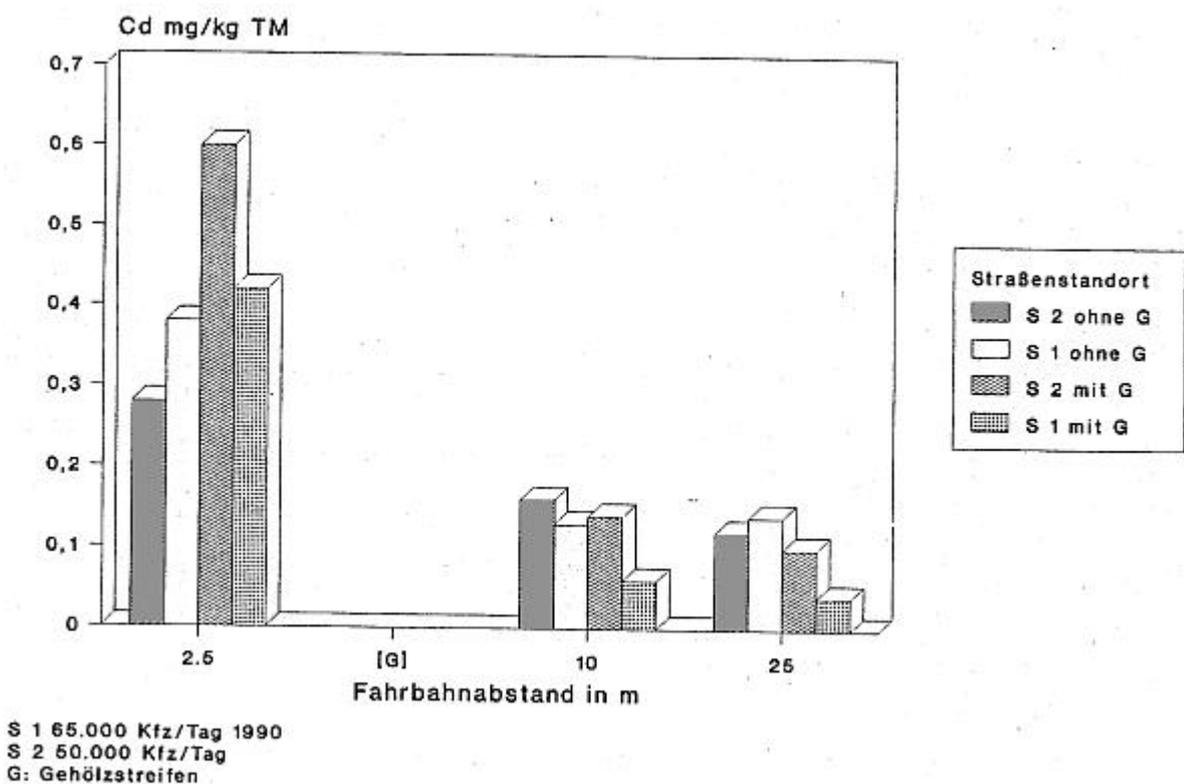


Abb. 64: Cd in Grünlandaufwuchs  
Auswirkung von Gehölzstreifen (Ernte Oktober 1991):



## 6.2.2 Organische Verbindungen

Fleischmann und Wilke (1991) konnten bei 20.000 Kfz/Tag in 0-3 cm Bodentiefe (0.25 m Abstand) vor einem Gehölzstreifen um den Faktor 3 höhere PAK-Gehalte als bei freier Ausbreitungsmöglichkeit nachweisen. In der Hecke selbst (1.0 m) lagen die Bodengehalte etwa genauso hoch wie in direkter Fahrbahnnähe, allerdings um den Faktor 5-10 höhere Gehalte im Vergleich zu freier Ausbreitungsmöglichkeit. In 4 m Fahrbahntfernung war hinter den Hecken kaum eine Reduzierung der Bodengehalte festzustellen.

Die Tab.42 gibt einen Überblick zu den Auswirkungen von **Gehölzstreifen** auf Boden- und Aufwuchskonzentrationen an **organischen Verbindungen** der untersuchten Standorte.

**Tab. 42: Erhöhung der Konzentrationen organischer Verbindungen in straßennahen Böden\* und Grünlandaufwuchs\*\* vor und Reduzierung hinter Gehölzstreifen (Mittelwerte, %)**

Stoffgruppe	2,5m***	Gehölz	10m***	25m***
<b>CnHm</b>	+35		-90	-35
	+50		-45	-70
<b>PAK</b>	--		--	--
	+100		-65	-10
<b>PCB</b>	+35		--	--
	--		--	--
<b>PCDD/F</b>	+25		-50	-15
<b>(ITEF)</b>	+75		--	--
<b>PCDD</b>	+10		-15	-80
	+15		-25	-40
<b>PCDF</b>	+40		-30	-45
	+20		--	--

\*\*\* **Fahrbahnabstand [m] und Veränderung zu freier Ausbreitungsmöglichkeit (+/- %)**

\* 0-10 cm Tiefe

\*\* Ernte Oktober 1991

-- keine Unterscheidung

1.Reihe: Böden

2.Reihe: Aufwuchs

In 2.5 m Fahrbahnabstand kommt es wie bei den Schwermetallen generell zu Erhöhungen der Boden- und Pflanzenkonzentrationen. Bei den Böden von 10 (PCDD) bis 40 % (PCDF), bei Pflanzen von 15 (PCDD) bis 100 % (PAK). Die PAK zeigen in Böden keine Erhöhung.

In 10 m Fahrbahnabstand kommt es hinter Gehölzstreifen zu einer Konzentrationsreduzierung in Böden von 15 (PCDD) bis 90 % (CnHm), in Pflanzen von 0-65 % (PAK). Bei den PAK und PCB zeigen wiederum die Böden keine Unterschiede mit und ohne Gehölzstreifen. Beim Aufwuchs lassen die PCDD/F (ITEF) keine Reduzierungen erkennen.

In 25 m Fahrbahntfernung erreichen Böden Verringerungen der Gehalte von 15 (PCDD/F-ITF) bis 80 % (PCDD), Pflanzen zwischen 40 (PCDD) und 100 % (PAK). Die Böden vor Gehölzen lassen bei den PAK und PCB keine Erhöhungen erkennen, bei den Pflanzen PCDD/F (ITF) und PCDF.

Beispielsweise liegen bei den Mineralöl-CnHm die Bodengehalte vor Gehölzstreifen (Abb.65) um 30-45 % über den Konzentrationen bei freier Ausbreitungsmöglichkeit, beim Aufwuchs 40-65 %. Hinter Gehölzen sind bei Böden Reduzierungen von 30-90 % zu erwarten, bei Pflanzen 40-110 %.

In Böden vor Gehölzstreifen sind keine PAK-Erhöhungen festzustellen, allerdings liegen hier die Aufwuchskonzentrationen um 10-200 % höher als an Standorten ohne Gehölzstreifen (Abb.66).

Hinter den Gehölzstreifen bewegen sich die PAK in Böden, wie an Standorten ohne Gehölze, unter der Nachweisgrenze. Bei Pflanzen kommt es zu einer Reduzierung um 50-140 %.

Bei den PCDD/F (ITF) kommt es in Böden vor Gehölzstreifen am Standort S 2 (Abb.67) zu keiner Erhöhung, am Standort S 1 zu einer Erhöhung um 75 % (TE-BGA 30 %). Die Summe der PCDD zeigt ein ähnliches Bild. Bei den PCDF sind Erhöhungen von 20-60 % zu verzeichnen.

Im Grünlandaufwuchs liegen die ITF-Werte vor Gehölzstreifen um 30-55 % höher als am Vergleichsstandort (TE-BGA keine Erhöhung). Bei den PCDD ist eine Erhöhung von 200-250 % feststellbar. Die PCDF liegen nur am Standort S 2 mit 55 % höher als beim Standort ohne Gehölz. Am Standort S 1 sind keine höheren Konzentrationen ermittelt worden (umgekehrtes Bild bei den Böden).

Hinter den Gehölzen reduzieren sich die Bodengehalte bei den ITF-Werten um 15-30 %. Die Summe der PCDD zeigt bis 85 % geringere Konzentrationen (S 2), die Summe der PCDF von 25-40 % geringere Konzentrationen. Im Grünlandaufwuchs zeigen die ITF-Werte keine Reduzierungen hinter den Gehölzstreifen. Bei den PCDD liegen um 25-40 % geringere Konzentrationen vor, bei den PCDF bis 25 %.

Abb. 65: CnHm in Böden (0 – 10 cm)  
Auswirkung von Gehölzstreifen:

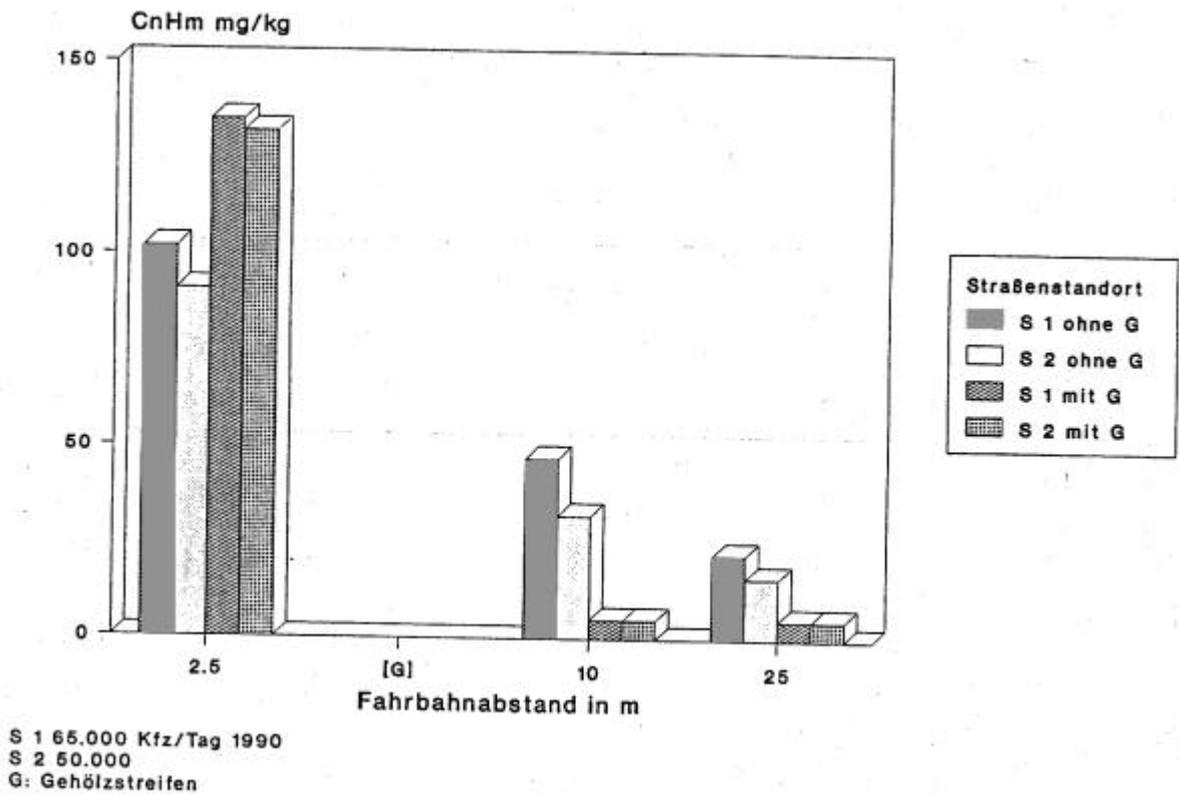


Abb. 66 : PAKin Grünlandaufwuchs  
Auswirkung von Gehölzstreifen (Ernte Oktober 1991):

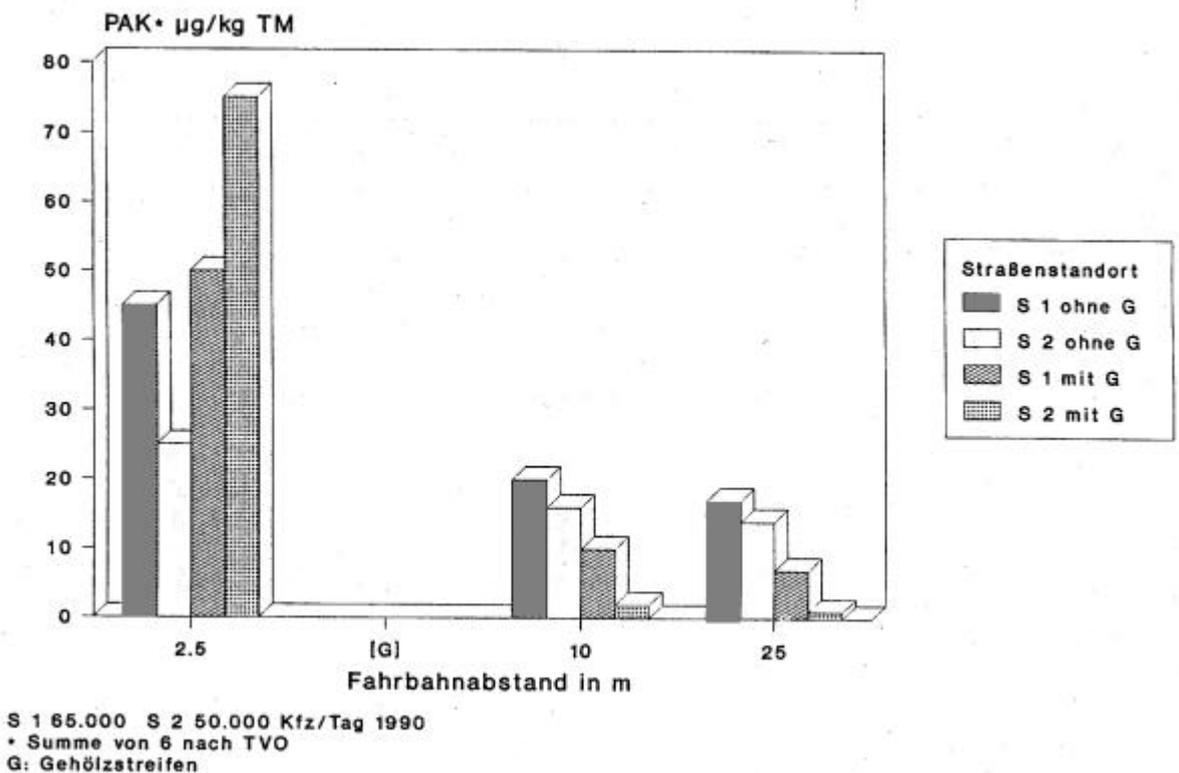
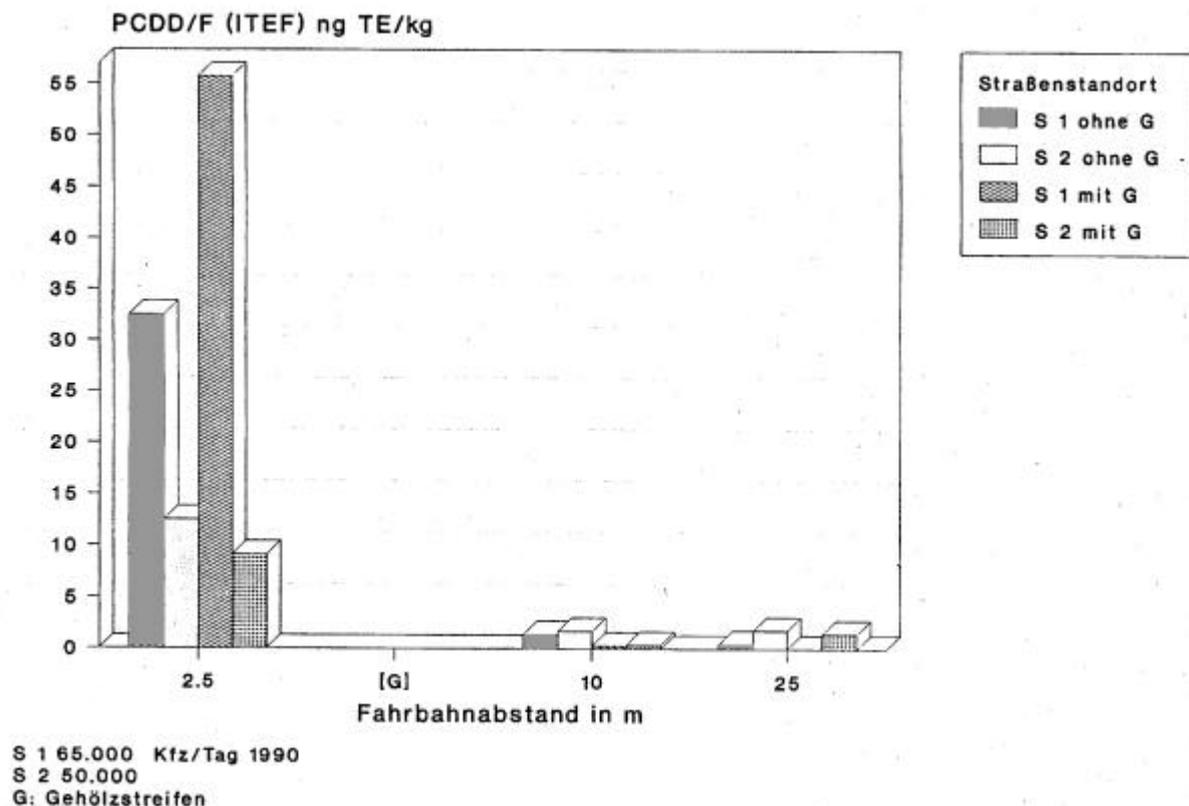


Abb. 67: PCDD/F (ITEF) in Böden (0 – 10 cm )  
Auswirkung von Gehölzstreifen:



## 6.3 Tiefenfunktionen in Böden an der BAB 5 bei Offenburg

An der BAB 5 bei Offenburg (50.000 Kfz/Tag 1990) wurden Schwermetalle und organische Verbindungen in Bodenprofilen bis maximal 50 cm Tiefe untersucht (Standortbeschreibung s. Kap.).

### 6.3.1 Schwermetalle

Eine Verlagerung von Schwermetallen in Böden erfolgt in Abhängigkeit von pH-Wert, Humusgehalt, Tongehalt, Gehalt an amorphen pedogenen Oxiden, Salzgehalt und Gesamtschwermetallgehalt.

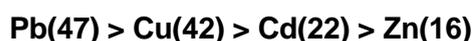
Der pH-Wert beeinflusst entscheidend die Löslichkeit von Schwermetallen in der nachfolgenden Reihenfolge (in Klammer: pH-Wert, ab welchem eine 'starke Bindung' in Böden nach Blume und Brümmer, 1987, stattfindet):



Bis 2.5 m Entfernung zur Fahrbahn bewegen sich die pH-Werte in den Oberböden (0-5 cm) an der BAB 5 OG zwischen 6,5 und 7,0, bis 10 m Abstand zwischen 5,5 und 6,2. Mit Ausnahme des Cd ist für die Schwermetalle mit einer 'starken Bindung' in den Oberböden zu rechnen.

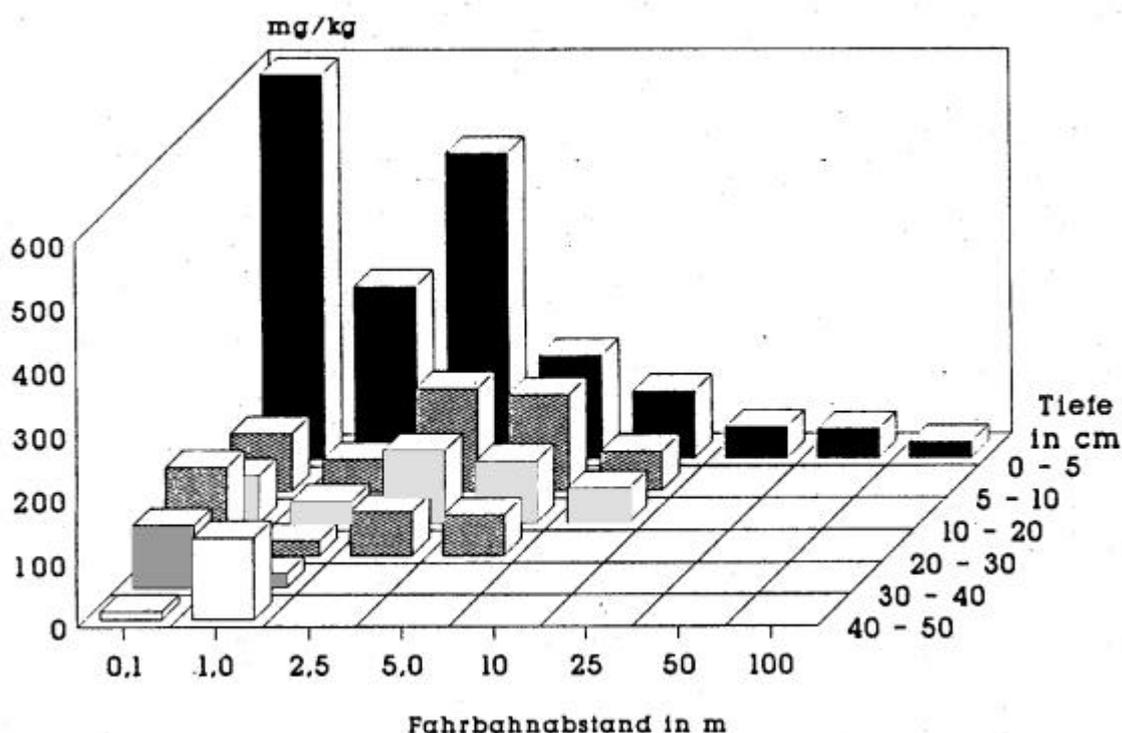
Sehr starke Humusgehalte (>8 %) und hohe Feinkornanteile unterstützen eine Akkumulation in den obersten Bodenhorizonten und damit nur eine geringe Verlagerung der Schwermetalle.

Gegenüber den niedrigsten Konzentrationen in 0-50 cm Bodentiefe direkt am Fahrbahnrand werden die Schwermetalle in umgekehrter Reihenfolge zu ihrer Bindungsstärke (pH-Wert) in den Oberböden (0-5 cm) angereichert (in Klammer: **Anreicherungsfaktor**):



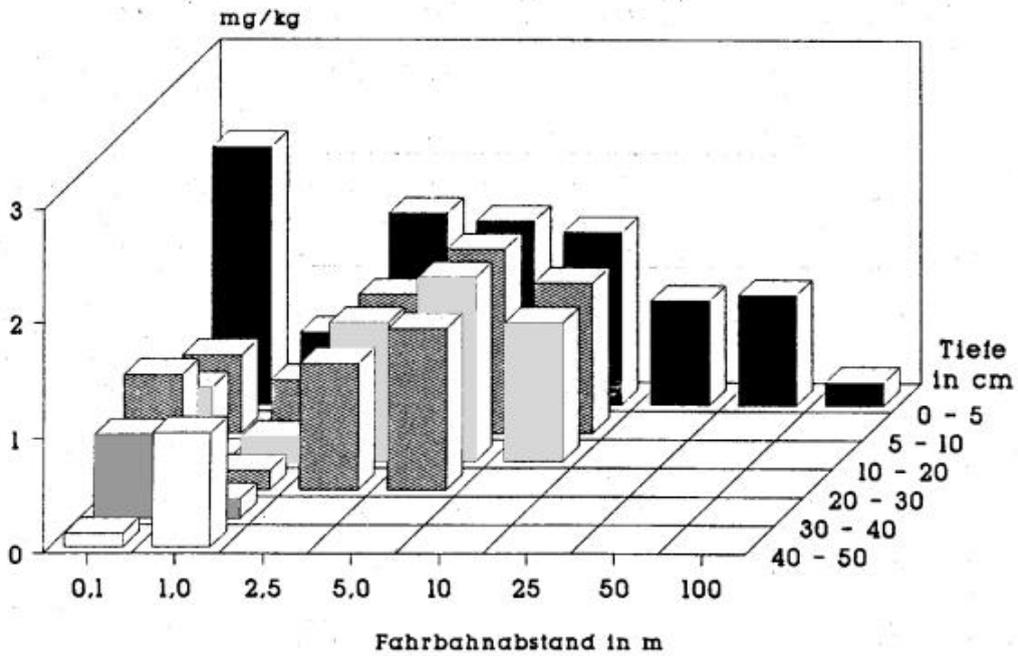
Grundsätzlich zeigen Pb, Cd, Cu und Zn (Abb.68-71) eine kontinuierlich abnehmende Tiefenfunktion (s. Kap.5.2). Lediglich die fossilen Oberböden verursachen eine Konzentrationszunahme. Die Begründung liegt in der ehemaligen Straßengeometrie der Vorläufertrasse (s. Kap.5.2), ebenso für die Gehalte in 40-50 cm Tiefe in 1 m Fahrbahntfernung. In 40-50 cm Tiefe werden am Fahrbahnrand die 'normalen' Schwermetallgehalte der Böden erreicht. Eine gravierende Verlagerung in grundwassernahe Bereiche ist somit z.Zt. nicht zu vermuten. Lysimeterversuche könnten hierüber genauere Auskunft geben.

Abb. 68 : Pb in Böden an der BAB 5  
Tiefenfunktion und Belastungsgradient:



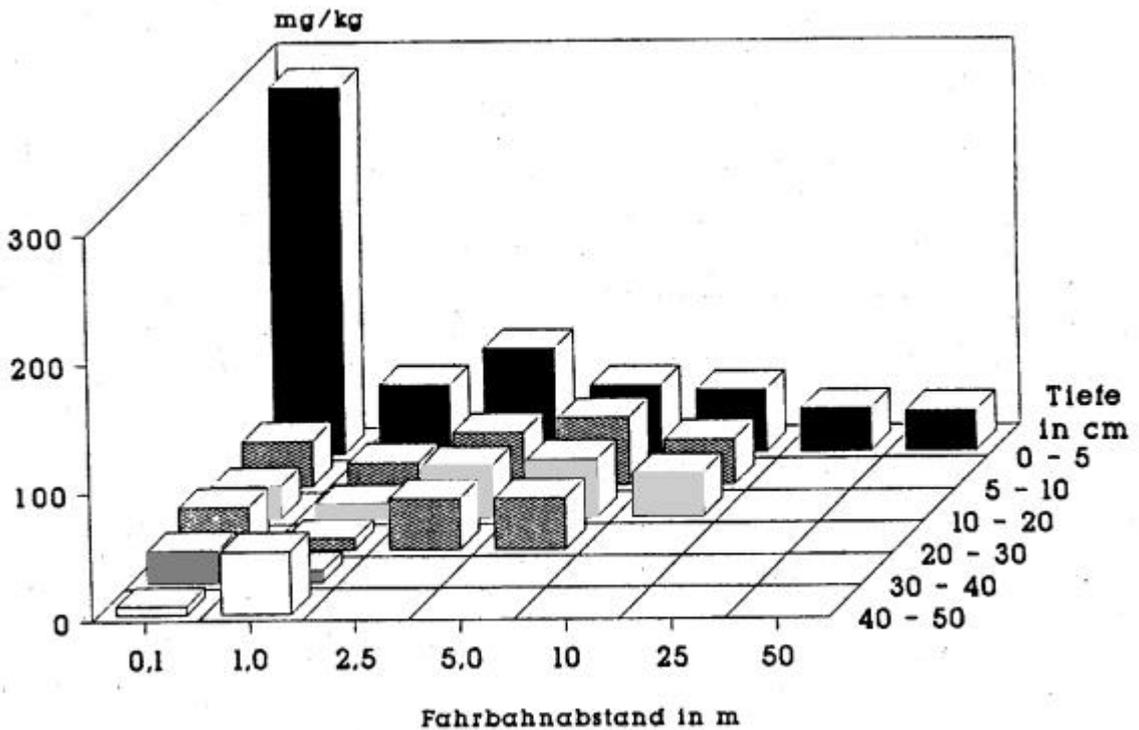
\* fAh-Horizont

Abb. 69 : Cd in Böden an der BAB 5  
Tiefenfunktion und Belastungsgradient:



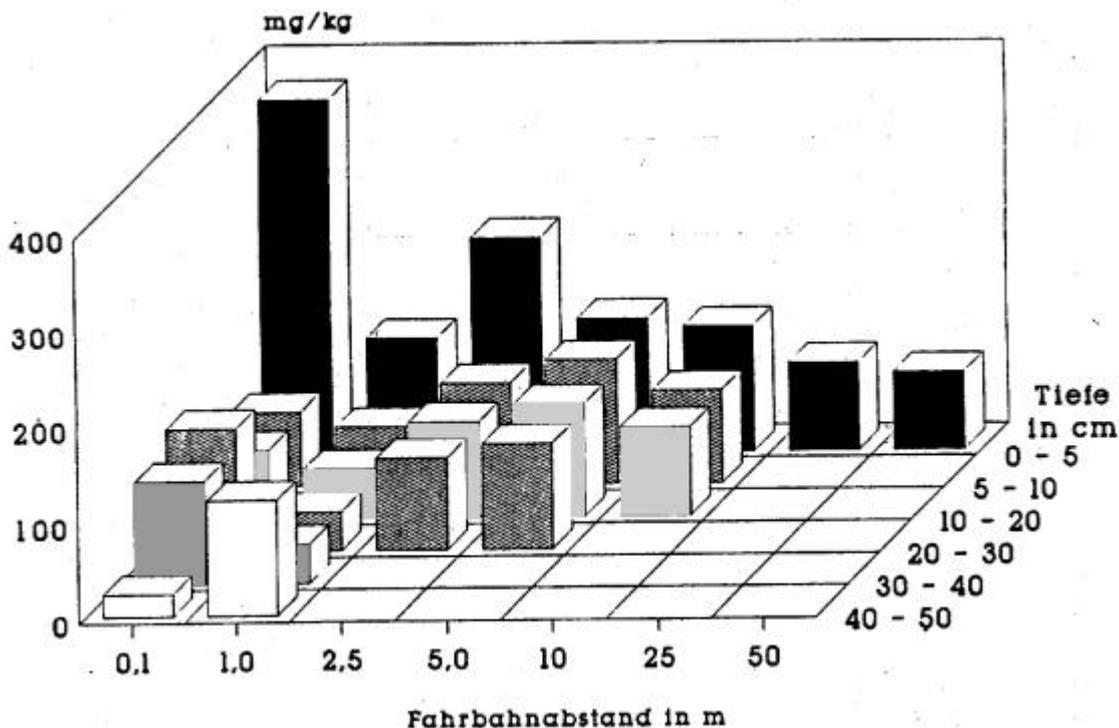
\* IAh-Horizont

Abb. 70 : Cu in Böden an der BAB 5  
Tiefenfunktion und Belastungsgradient:



\* IAh-Horizont

Abb. 68 : Zn in Böden an der BAB 5  
Tiefenfunktion und Belastungsgradient:



\* IAh-Horizont

### 6.3.2 Organische Verbindungen

Die organischen Verbindungen sind generell durch eine geringe Wasserlöslichkeit in Abhängigkeit der Bodeneigenschaften gekennzeichnet. Durch den  $K_{OC}$ -Wert wird das Löslichkeits- und Adsorptionsverhalten in Bezug zum Gehalt an organischer Substanz angegeben (Scheffer/Schachtschabel et al. 1989). Die Werte bewegen sich zwischen <50 (geringe Bindung, z.B. Benzol) und >50000 (z.B. einige PAK).

Organische Fremdstoffe können bereits in der Luft und auf der Bodenoberfläche, je nach Persistenzeigenschaften, fotochemisch und fotolytisch (UV-Strahlung des Sonnenlichts) abgebaut bzw. in ihrer Struktur verändert werden. Die Fixierung an Bodenbestandteile (organische Substanz, Tonminerale etc.) und ein möglicher mikrobieller Abbau (z.B. Mineralöle) verhindern eine intensive Verlagerung in tiefere Bodenhorizonte.

Besonders die chlororganischen Verbindungen (z.B. PCDD/F) werden in Böden kaum abgebaut und zeichnen sich durch eine sehr hohe Persistenz aus (Ottow 1991).

Im Gegensatz zu den Schwermetallen besitzen Böden für viele organische Chemikalien bei (stark) saurer Bodenreaktion eine höhere Pufferkapazität.

Chemikalien mit hohem Dampfdruck und hoher Persistenz haben eine Tendenz zur Disper- sion. Es kann sowohl ein gasförmiger Austrag aus den oberen Bodenschichten, als auch

eine Umverteilung im Boden durch Diffusion stattfinden. Die Intensität wird überwiegend vom Sorptionsvermögen, der Porengrößenverteilung sowie (mikro-) klimatischen Einflüssen bestimmt.

Die sehr starken Humusgehalte und hohen Feinkornanteile bewirken in den straßennahen Böden an der BAB 5 ähnlich den Schwermetallen eine Akkumulation in den Oberböden (Abb.72-75). Eine kontinuierliche Konzentrationsabnahme, vorwiegend parallel zum Humusgehalt, ist grundsätzlich gegeben (s. Kap.5.2). Deshalb bilden auch hier die fossilen Oberböden (fAh-Horizonte, 20-30 cm Tiefe) eine Ausnahme.

In 40-50 cm Tiefe sind die **CnHm** mit 9 und 14 mg/kg und **Phenole** mit 0,3 mg/kg im Gegensatz zu den **PAK** noch nachweisbar. Bemerkenswert sind die hohen PAK-Gehalte (16 nach EPA) im fossilen Oberboden in 20-30 cm Tiefe mit 11 mg/kg Boden (Bap 1 mg/kg). Das Verhältnis Fa:Bap von 3:1 läßt den Einfluß durch Steinkohleteer (Bitumen) vermuten.

**Abb. 72 : CnHm in Böden an der BAB 5  
Tiefenfunktion und Belastungsgradient:**

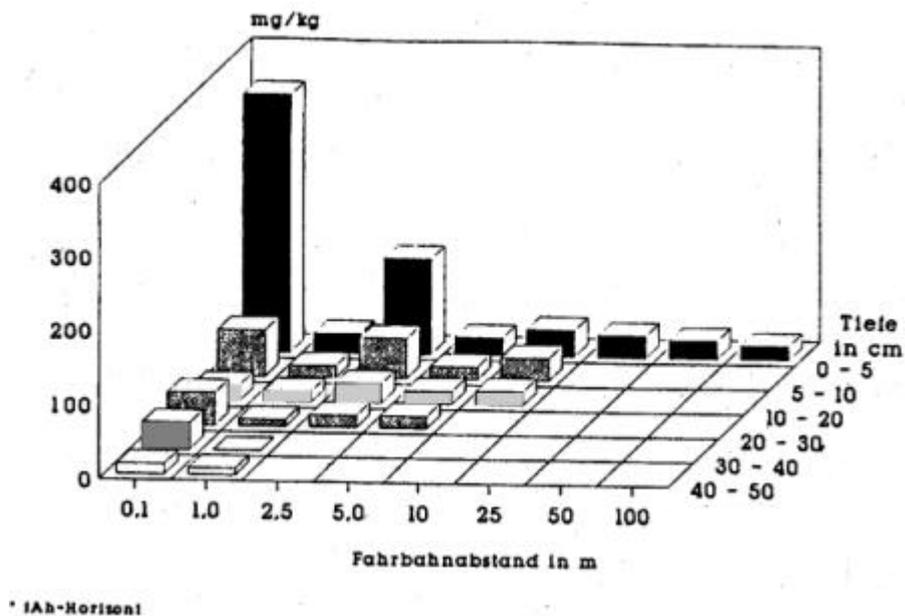


Abb. 73 : PAK in Böden an der BAB 5  
Tiefenfunktion und Belastungsgradient:

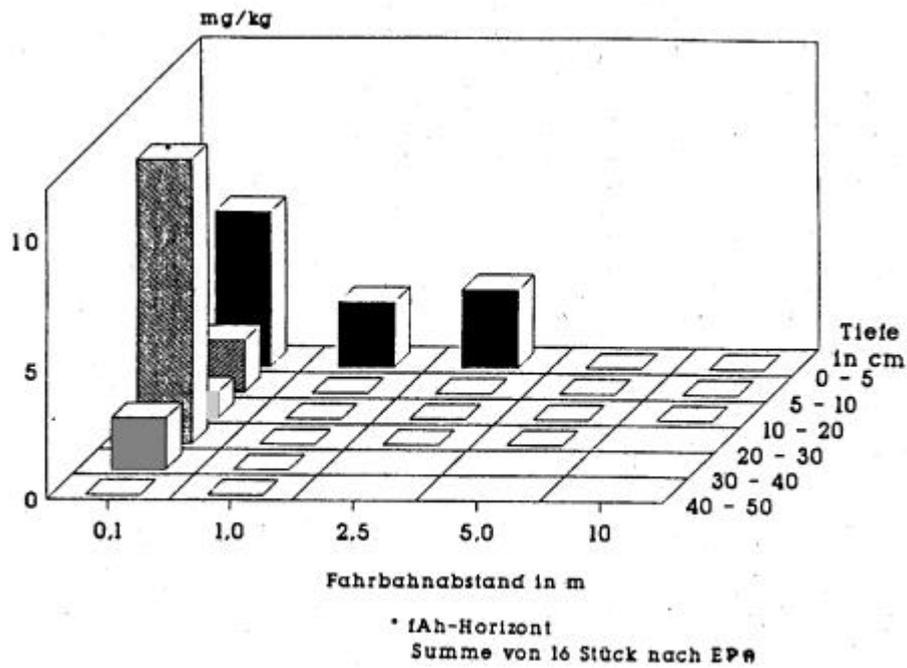


Abb. 74 : PCDD in Böden an der BAB 5  
Tiefenfunktion und Belastungsgradient:

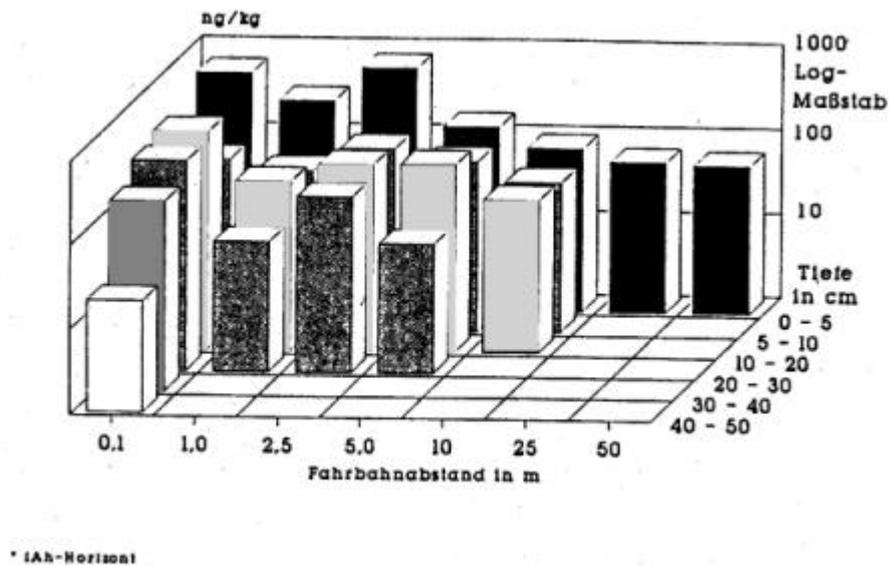


Abb. 75 : PCDF in Böden an der BAB 5  
Tiefenfunktion und Belastungsgradient:

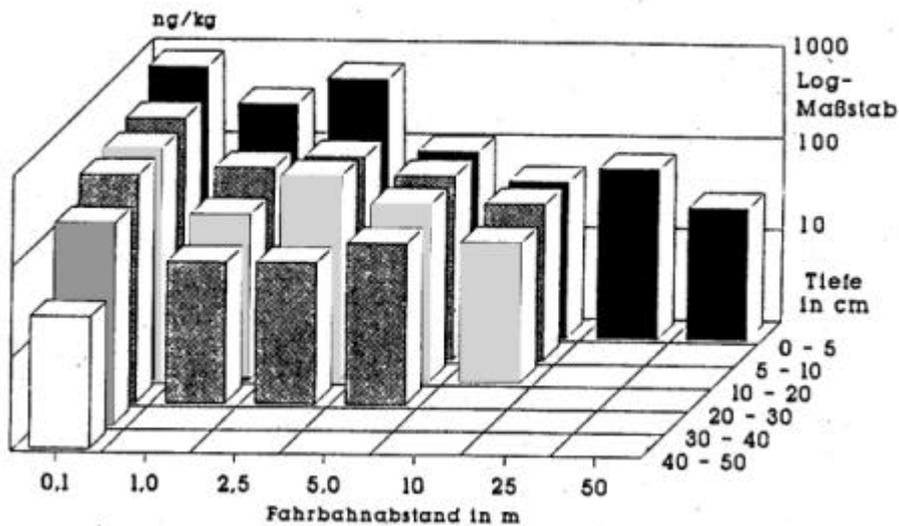
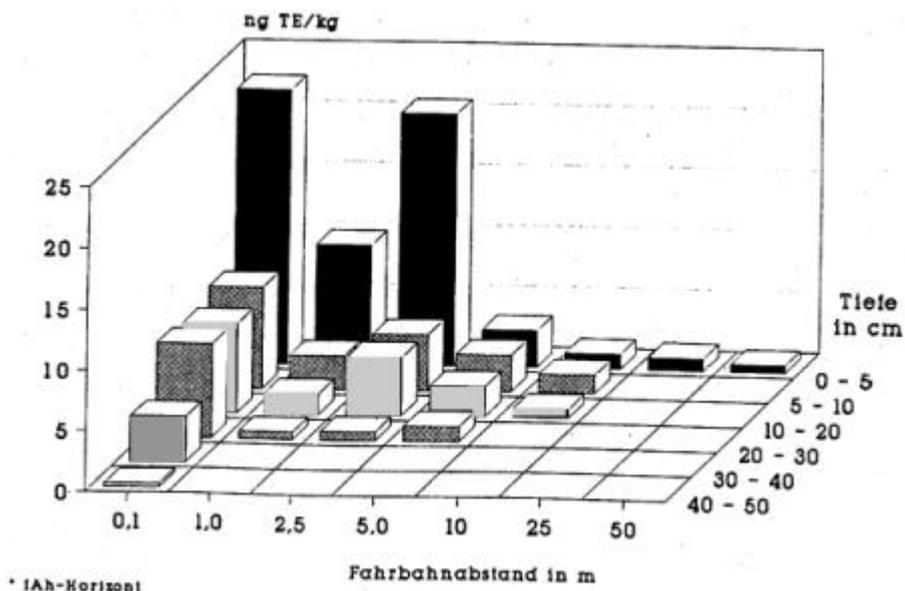


Abb. 76 : PCDD/F in Böden an der BAB 5  
Tiefenfunktion und Belastungsgradient:



Bei den **PCDD/F** (ITEF) sinken die Gehalte am Fahrbahnrand von 23,0 (0-5 cm) auf 0,1 ng TE/kg in 40-50 cm Tiefe (Abb.76). Die PCDD und PCDF (Abb.74 und 75) sind im Oberboden jeweils um den Faktor 30 höher als im Unterboden. Wie bei den o.g. organischen Verbindungen ist mit einer sehr geringen Verlagerung zu rechnen.

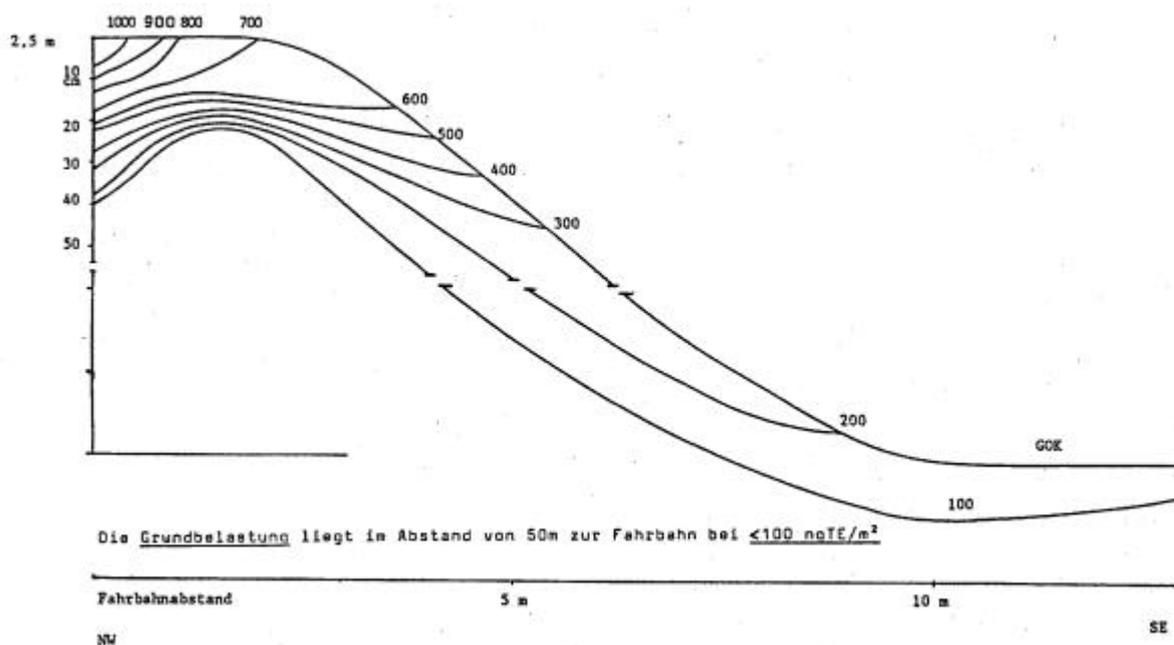
Im fAh-Horizont kommt es jedoch zu einem 2. Konzentrationsmaximum von 8,6 ng TE/kg Boden. Damit wird einerseits die starke Bindung der PCDD/F an die organische Substanz ( $\log K_{OC}$  ca. 7, Kaune und Fiedler 1991), andererseits eine geringe Abbaurate demonstriert. Die Homologenprofile der oberen 0-5 cm (Ah-Horizont) und in 20-30 cm Tiefe (fAh-Horizont) sind sehr ähnlich. In den Unterböden verändern sich die Homologen etwas zugunsten der höherchlorierten PCDF und niederchlorierten PCDD.

Die Bindungsintensität nimmt mit zunehmendem Chlorierungsgrad der Kongenere zu (vgl. Hüttermann et al. 1989). Ein fotolytischer Abbau und Verluste durch Verdampfen können in den obersten mm bis wenigen cm eine gewisse Rolle spielen (Yanders et al. 1990). Chemischer und mikrobieller Abbau sind als vernachlässigbar gering anzunehmen (vgl. Freeman und Schroy 1985). Bilanzierungsrechnungen mit radioaktiv markierten Chemikalien haben gezeigt, daß allgemein ein Abbau von schwerflüchtigen Organohalogenverbindungen nicht bis zu den Endprodukten Kohlendioxid und Wasser erfolgt, sondern es entstehen nur geringfügig veränderte Substanzen. Bei den Dechlorierungsprodukten von OCDD überwiegen TCDD und PeCDD, welche toxischer als das Ausgangsprodukt sind (Kieatiwong et al. 1990, Miller et al. 1989 zit. in Kaune und Fiedler 1991). Im Verlaufe einer natürlichen Humusbildung kommt es überwiegend zur Festlegung derartiger Substanzen.

Der Transport mit dem Sickerwasser ist auch in Anwesenheit von Fulvo- und Huminsäuren sehr gering. Bei hohen Durchlässigkeitswerten (sand- und kieshaltige Böden) können allerdings Verlagerungen bis in mehrere m Tiefe stattfinden. Die Wasserlöslichkeit der PCDD nimmt mit steigendem Chlorierungsgrad zu, während die Volatilität geringer wird (Shiu et al. 1988).

Die Abb.77 verdeutlicht die Isolinien gleicher Frachtmengen an PCDD/F (ng TE/m<sup>2</sup>) in Böden des Straßenbanketts, ab 10 m Fahrbahntfernung Viehweide. In 40-50 cm Tiefe am Fahrbahnrand erreichen die PCDD/F Werte von <100 ng TE/m<sup>2</sup>, wie sie sonst als Hintergrundgehalte für Oberböden üblich sind. Ab etwa 10-20 m Fahrbahnabstand werden diese Frachtmengen in den Oberböden bis 10 cm Tiefe erreicht.

**Abb.77: PCDD/F-Gehalte in Böden einer Straßenböschung mit angrenzender Weidenutzung (10 m) an der BAB 5 zwischen Offenburg und Lahr**  
Frachtmengen der Toxizitätsäquivalente in ng TE/m<sup>2</sup> bezogen auf ein Bodenvolumen von 1 cbm –



## 6.4 Schwermetallgehalte in Blättern von Straßenrandgehölzen

Um den Abwaschungseffekt durch Niederschläge zu überprüfen, wurde eine **Hainbuchen-Hecke** an der BAB 5 bei Heidelberg (65.000 Kfz/Tag 1990) vor (Ende August) und nach einer Niederschlagsperiode (Anfang Oktober) jeweils in 4 verschiedenen Höhenstufen bis 2 m beprobt und nach Schwermetallen untersucht (vgl. Rentschler 1981). Dem entgegen wirkt eine Konzentrationszunahme mit fortschreitender Vegetationsperiode (s. Kap.6.1).

Bei **Pb** (Abb.78) und **Cd** (Abb.79) kommt es im August zu einer Konzentrationszunahme in 50 bis 200 cm Heckenhöhe. Die Elemente **Cu**, **Zn**, **Ni** und **Cr** nehmen in ihren Konzentrationen von 50 bis 200 cm ab. Diese Feststellung kann auch ein Indiz dafür sein, daß Pb und Cd, an feinere Staubpartikel gebunden, höher und damit auch weiter von der Emissionsquelle Kfz-Verkehr entfernen kann.

Im Oktober kommt es generell bei den Schwermetallen zu einer Konzentrationsabnahme von 50 bis 200 cm, mit Ausnahme von Chrom.

Ein Abwaschungseffekt durch Regen führte bei Pb im Oktober in 100 und 200 cm Heckenhöhe zu 10-25 % geringeren Konzentrationen in Hainbuchenblättern. In 50 cm Höhe kommt es zu einer Zunahme um 50 %. Die tieferen Bereiche der Hecke wurden von den Niederschlägen kaum erreicht, so daß es zu einer weiteren Akkumulation von Pb auf den Hainbuchenblättern kommen konnte. Weiterhin ist zu vermuten, daß das abgewaschene Pb nicht nur in den Boden, sondern auch z.T. von den oberen Heckenbereichen zu den tieferen durch Abtropfen gelangt ist.

Bei Cd wurden in 50 bis 200 cm im Oktober um 10-35 %, vor allem in 50 cm Höhe, höhere Konzentrationen ermittelt. Ein Abwaschungseffekt konnte hier nicht beobachtet werden. Cd wird zu einem großen Teil aus dem Boden über Wurzel aufgenommen, so daß von Niederschlägen nur geringe Anteile abwaschbar sind.

Bei Cu und Zn ist in 200 cm Heckenhöhe ein Abwaschungseffekt im Oktober von 25-30 % zu verzeichnen. Während die Gehalte in 100 und 150 cm Höhe jeweils annähernd gleich geblieben sind, kommt es, wie bei Pb und Cd, in 50 cm Höhe aus den o.g. Gründen zu einem Konzentrationsanstieg um jeweils 30 %.

Bei Nickel ist in 150 und 200 cm Höhe ein Abwaschungseffekt von 25-30 % erkennbar. In 50-150 cm Heckenhöhe steigen die Ni-Gehalte bis Oktober um 5-200 % an.

Das Element Cr zeigt keinen Abwaschungseffekt, sondern gleichbleibendes Niveau bis zu einer Konzentrationszunahme von mehreren 100 % in 150 cm Heckenhöhe.

Die Untersuchung an Gehölzen zeigt, daß die Stoffkonzentrationen von Pflanzen in Emissionennähe entscheidend von den Niederschlagsereignissen beeinflusst werden können. Es kann nach einer länger andauernden niederschlagsfreien Periode zu Abwaschungseffekten von 25 (Pb) bis 40 % (Zn) kommen.

Die Ergebnisse decken sich auch mit den Resultaten aus Berechnungsversuchen mit Grünlandaufwuchs (Kowalewsky und Vetter 1982). Durch ausgebrachte Wassermengen von 10.000 l/ha (1 mm) bis 100.000 l/ha (10 mm) konnte der Pb-Gehalt um 11 bis 35 % reduziert werden. Der Versuch fand in 1 km Entfernung eines Emittenten statt.

Zwar können organische Verbindungen eher infolge ihres lipophilen Charakters durch die Kutikula und über die Gasphase in Pflanzen eindringen, doch grundsätzlich ist bei ihnen ein ähnlicher Abwaschungseffekt über Staubpartikel wie bei den Schwermetallen zu vermuten, da sie kaum über die Wurzel aus dem Boden aufgenommen werden.

In niederschlagsärmeren Perioden und Regionen ist somit ein höherer potentieller Schadstoffgehalt von Pflanzen zu erwarten (c.p.), als in Regionen mit relativ hohen Niederschlägen bzw. generell nach Niederschlagsperioden .

**Abb. 78: Pb in Blättern eines Straßenrandgehölzes (Hainbuche) in unterschiedlicher Höhe bei 65000 Kfz/ Tag 1990\*:**

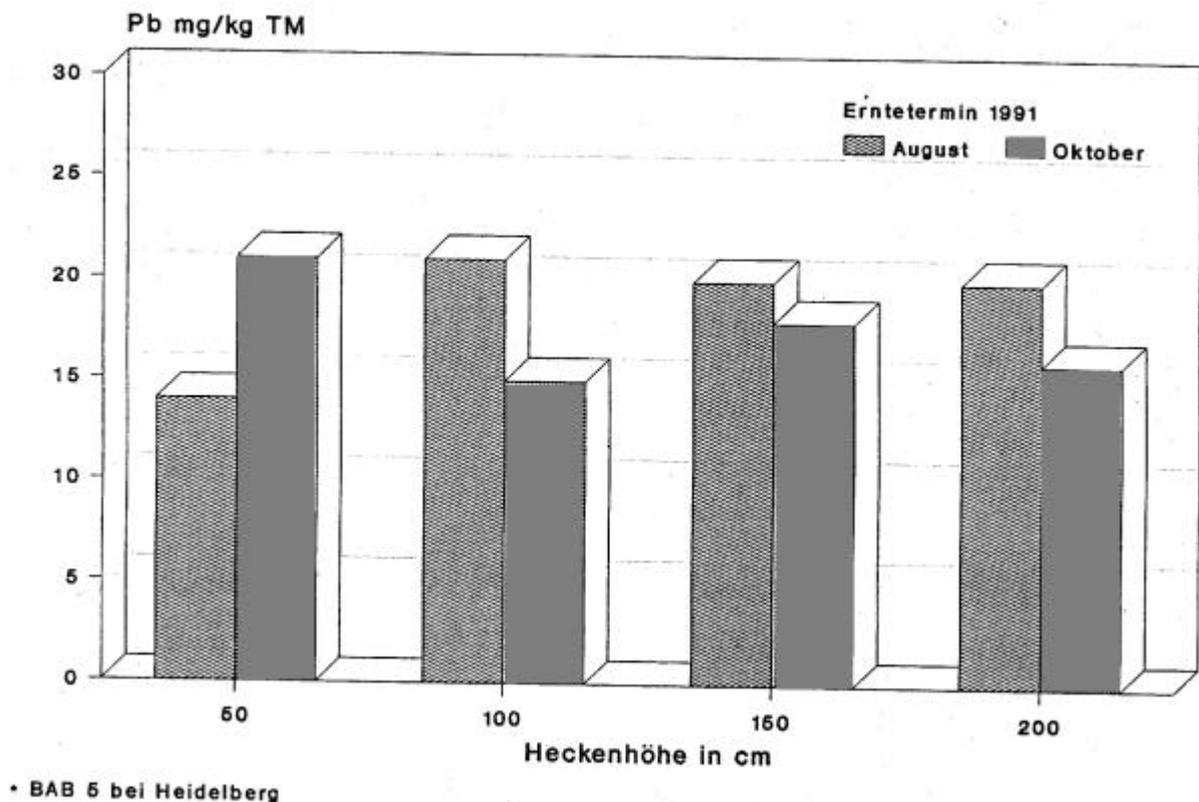
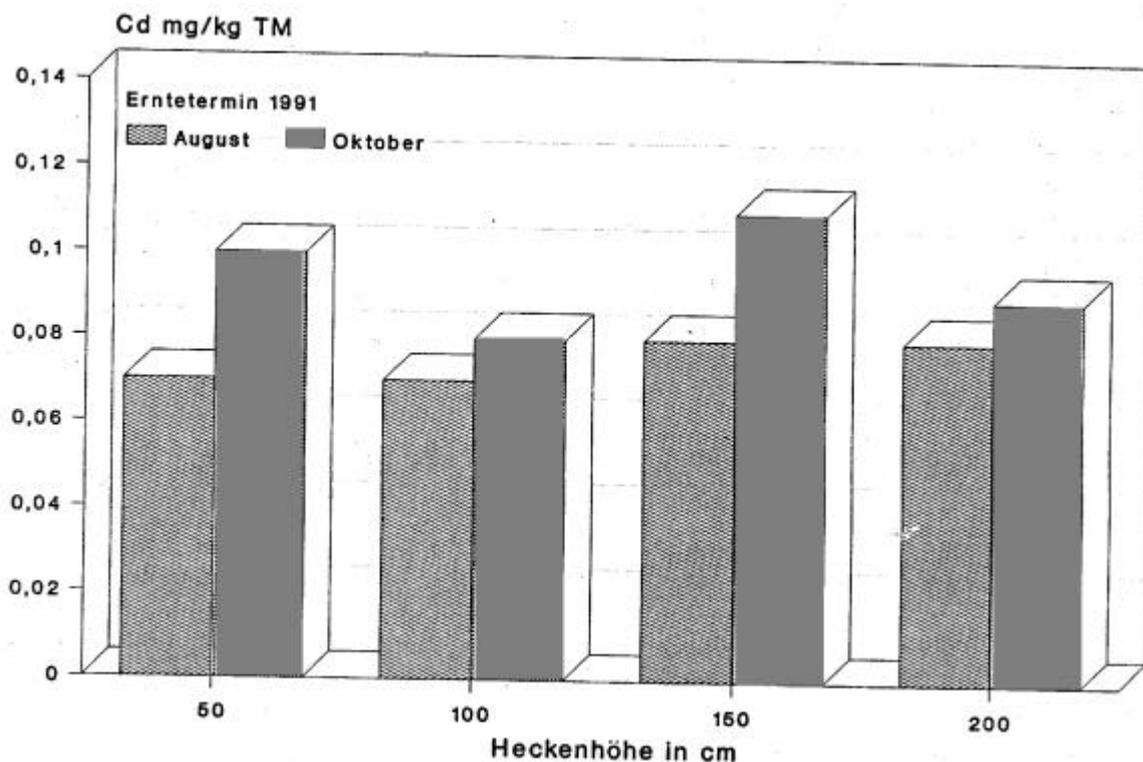


Abb. 79: Cd in Blättern eines Straßenrandgehölzes (Hainbuche) in unterschiedlicher Höhe bei 65000 Kfz/ Tag 1990\*:



• BAB 5 bei Heidelberg

## 6.5 Schwemmmaterial

Für eine Beurteilung des Schwemmmaterials können die A-,B- und vor allem die C-Werte der Niederländischen Liste (NL) neben den Grenzwerten der AbfklärV sowie den Richt- und Orientierungswerten (Tab.38) und die Werte der Hintergrundgehalte von Böden (Tab.39) herangezogen werden. Nach Straßenreinigungen ist zu prüfen, ob eine spezielle Deponierung/Abfallbehandlung notwendig ist.

Der organische Kohlenstoffgehalt liegt zwischen 3,9 und 6,6 %. An relativ schwach befahrenen Asphaltstraßen (<5.000 Kfz/Tag 1990) liegt der pH-Wert im schwach bis sehr schwach sauren Bereich. An stark befahrenen Straßen mit überwiegend Betonoberflächen bewegt er sich im schwach sauren bis schwach alkalischen Bereich.

An stark befahrenen Straßen kommt es zu Anreicherungen gegenüber der am geringsten befahrenen Straße (L 99) mit 1.200 Kfz/ Tag (1990) und gegenüber Hintergrundbelastungen von Böden (Tab.43).

Bei Pb wird der C-Wert von 600 mg/kg (Sanierungswert) ab 16.000 Kfz/Tag überschritten (Abb.80). Cd erreicht den B-Wert von 5 mg/kg der NL-Liste nicht. Der neue Grenzwert von 1,5 mg/kg Boden wird ab 16.00 Kfz/Tag überschritten (Abb.81). Cu (Abb.82) liegt ab 16.000 Kfz/Tag über dem B-Wert von 100 mg/kg, ebenso Zn mit 500 mg/kg (Abb.82). Ni und Cr liegen um den Faktor 2 über den Hintergrundgehalten von Böden.

Die CnHm-Gehalte bewegen sich ab 50.000 Kfz/Tag über dem B-Wert von 1000 mg/kg (Abb.83). Die PAK-Gehalte liegen größtenteils unter dem Orientierungswert für Böden (vgl. Tab.38) von 0,5 mg/kg (Abb.84). An Asphaltstraßen kann dieser Wert erreicht werden. Die BTX-Aromaten können ab 18.000 Kfz/Tag den B-Wert von 7 mg/kg überschreiten. Ab 50.000 Kfz/Tag kommt es zu PCB-Konzentrationen über dem Orientierungswert von 0,05 mg/kg (vgl. Tab.38).

Bei den PCDD/F wird der Bodenrichtwert von 5 ng TE/kg ab 16.000 Kfz/Tag überschritten. Maximal wurden 13,1 ng TE/kg (ITEF) ermittelt (Abb.85). Rippen et al. (1992) ermittelten im Strassensediment eines Autobahnkreuzes 4 ng TE/kg und im Straßenkehricht einer Großstadt 72 ng TE/kg. Eine Staubprobe einer Tiefgarage ergab 21,5 ng TE/kg, eine Staubprobe aus einem Autobahntunnel 12,8 ng TE/kg (LfU 1992). Besonders kritische Gehalte im Schwemmaterial wurden an den untersuchten Straßenstandorten nicht gefunden.

Die PCDD zeigen einen deutlicheren Zusammenhang zum Verkehrsaufkommen (außer B 3 16.000 Kfz/Tag) als die PCDF (Abb.86).

Ein Kongenerenvergleich mit Abgasmessungen zeigte eine gute Übereinstimmung.

**Tab.43: Stoffanreicherungen im Schwemmaterial von Straßen**

#### **Anreicherungs-faktoren an stark befahrenen Straßen**

<b>Stoff/ Stoff- gruppe</b>	<b>L 99 - 1200 Kfz/ Tag 1990</b>	<b>Hintergrund- gehalte in Böden</b>
<b>Pb</b>	9	38
<b>Cd</b>	16	> 12
<b>Cu</b>	6	18
<b>Zn</b>	6	12
<b>Ni</b>	*	1,5
<b>Cr</b>	*	1,8
<b>CnHm</b>	27	580
<b>PAK</b>	**	2 – 12**
<b>BTX</b>	4	240
<b>PCB</b>	90	90
<b>PCDD/F (ITEF)</b>	4	33

\*keine Untersuchung

\*\*PAK-Gehalte sind an gering befahrenen Asphaltstraßen höher als an stark befahrenen Straßen mit Asphaltbeton- und Betonoberfläche

Abb. 80: Pb im Schwemmaterial von Straßen mit unterschiedlichen Verkehrsaufkommen:

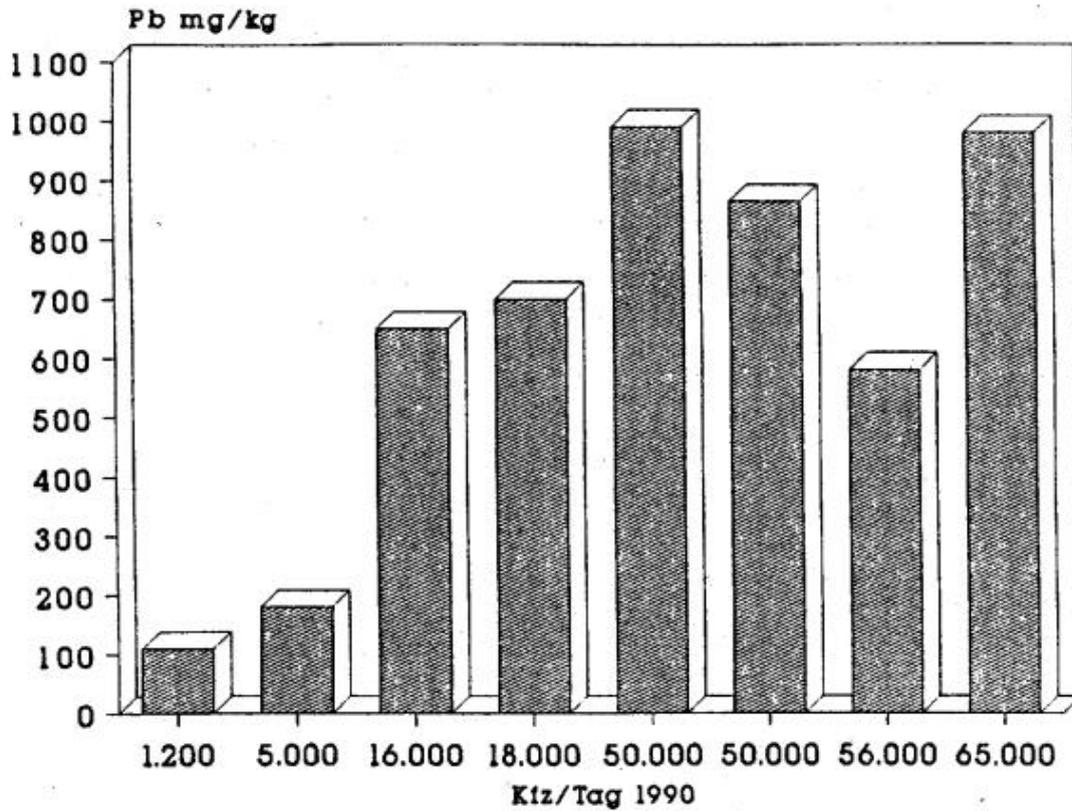


Abb. 81: Cd im Schwemmaterial von Straßen mit unterschiedlichen Verkehrsaufkommen:

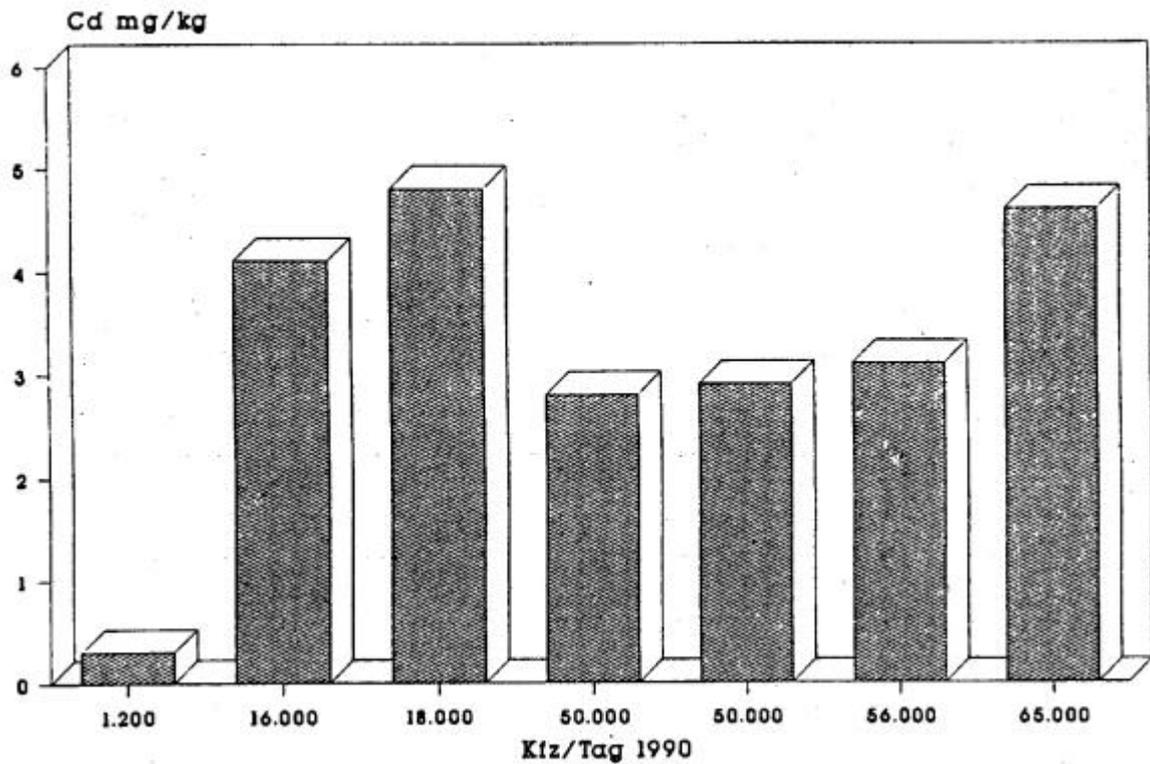


Abb. 82: Zn und Cu im Schwemmaterial von Straßen mit unterschiedlichen Verkehrsaufkommen:

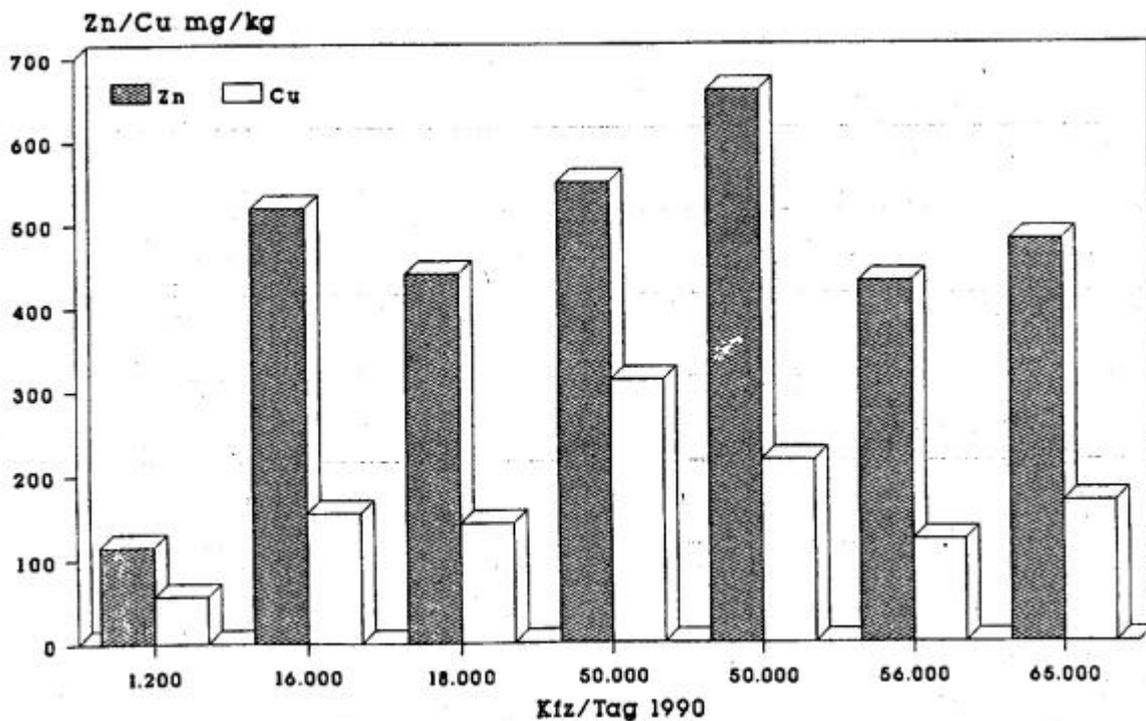


Abb. 83: Mineralöl – CnHm im Schwemmaterial von Straßen mit unterschiedlichen Verkehrsaufkommen:

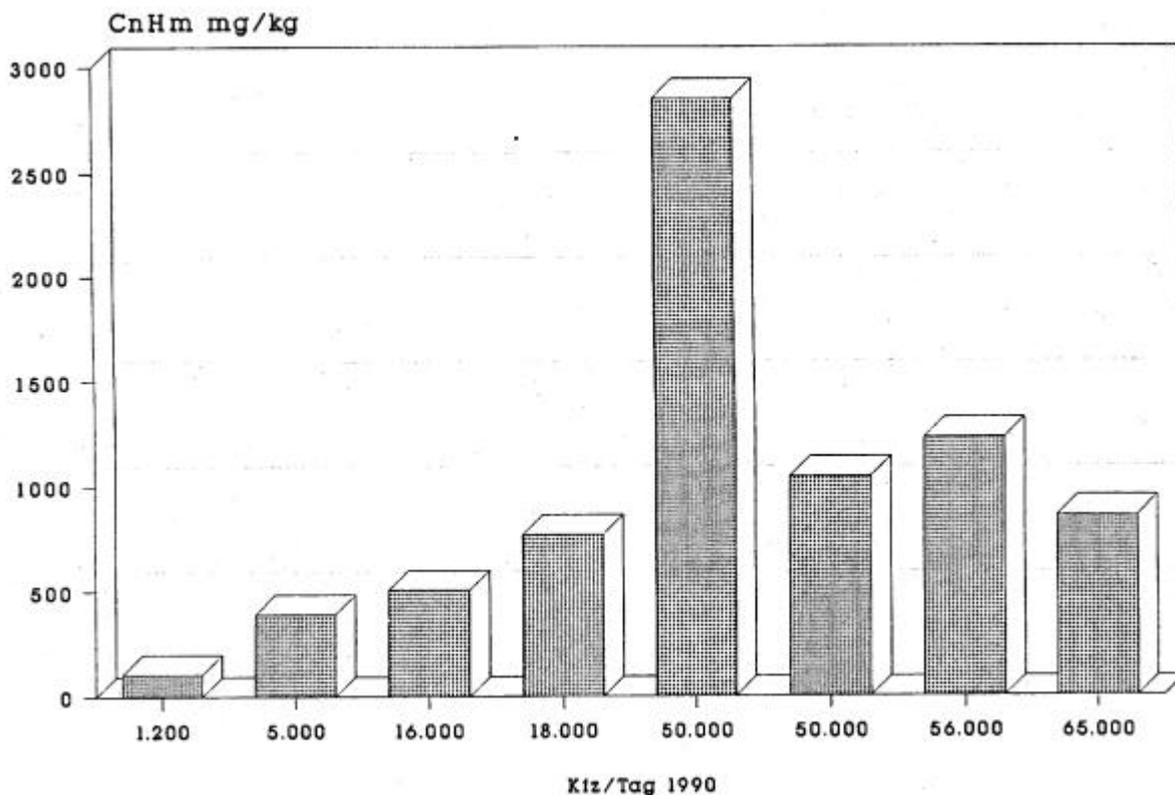
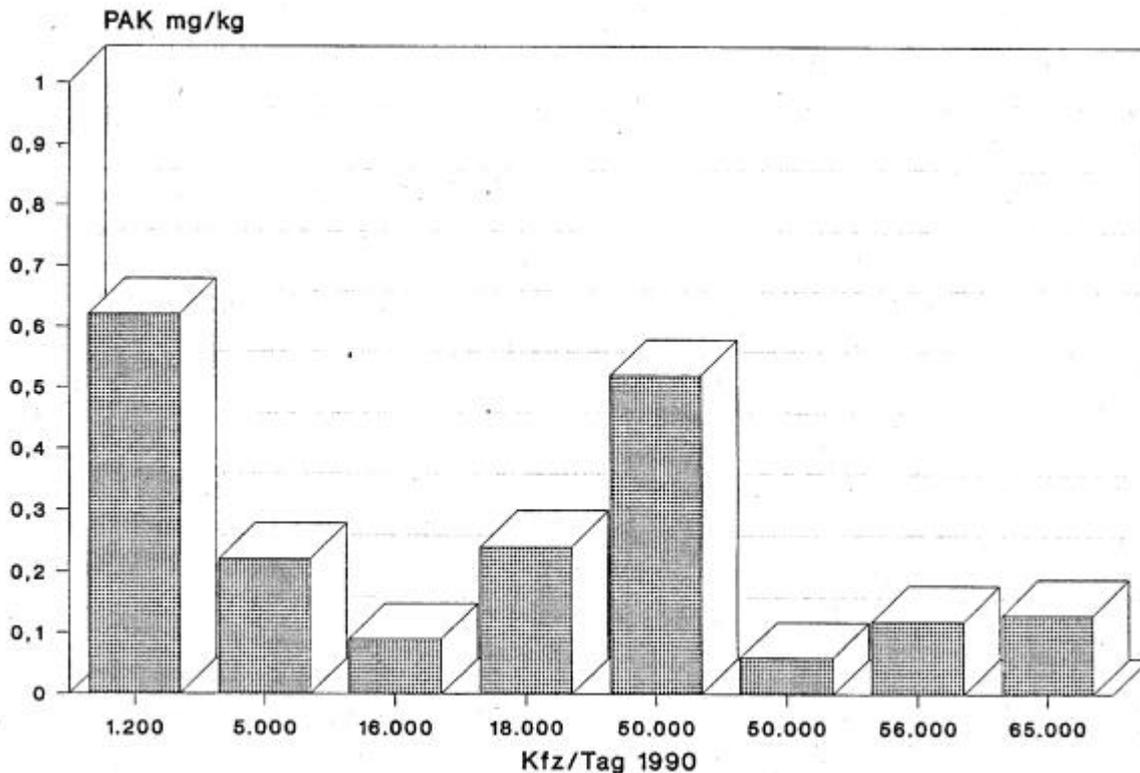


Abb. 84: PAK im Schwemmaterial von Straßen mit unterschiedlichen Verkehrsaufkommen:



Summe von 6 PAK

Abb. 85: PCDD/F im Schwemmaterial von Straßen mit unterschiedlichen Verkehrsaufkommen:

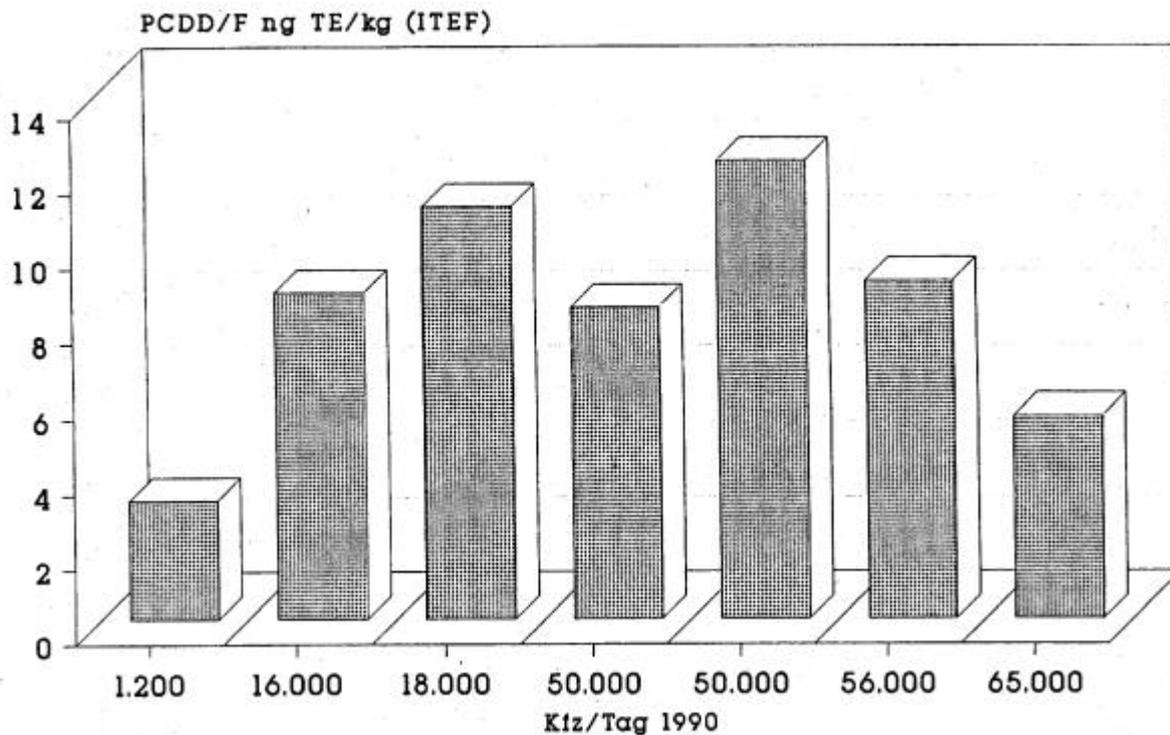
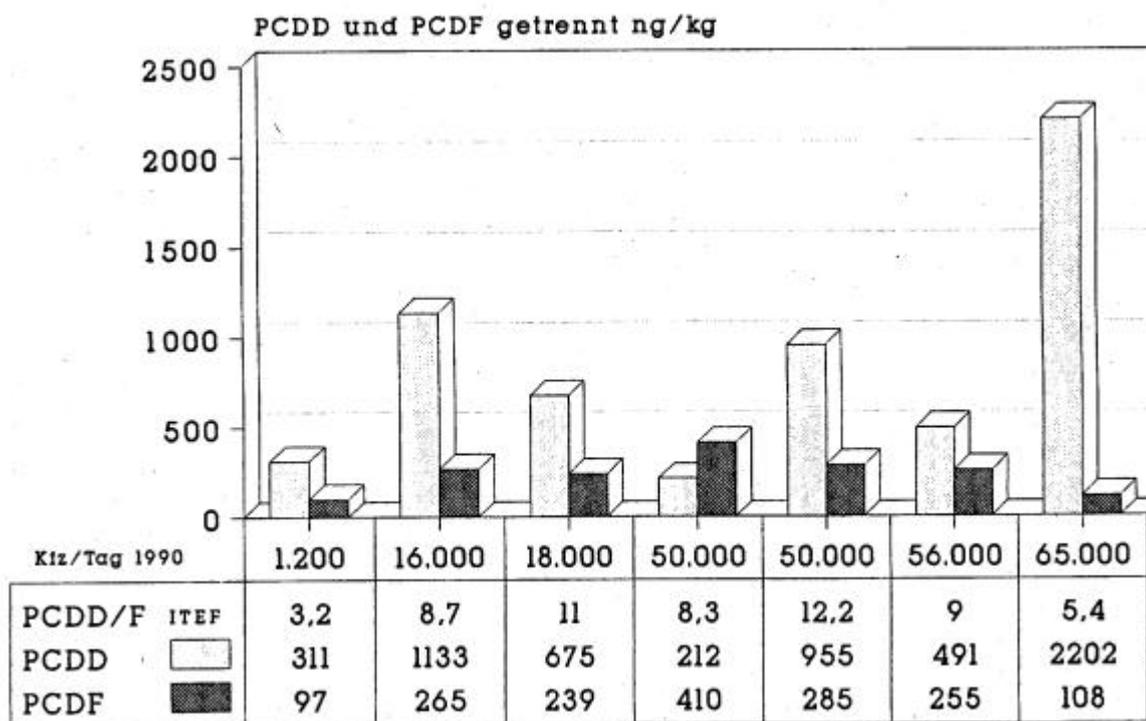


Abb. 86: PCDD und PCDF im Schwemmaterial von Straßen mit unterschiedlichen Verkehrsaufkommen:



## 7. Leitparameter für Dioxine und Furane in straßennahen Böden

Ein Auftrag des Projektes war die Ermittlung eines Leitparameters für PCDD/F in straßennahen Böden. Zu den Ergebnissen der 1. Projektphase wurden bereits **Korrelationen** der PCDD/F mit Schwermetallen und Mineralöl-CnHm durchgeführt. Die erste Berechnung berücksichtigte 22 Oberbodenproben. Es konnten signifikante positive Korrelationen der Schwermetalle und CnHm mit den PCDD/F aufgezeigt werden. Allerdings war die Sicherheit der Aussage durch eine relativ geringe Stichprobenzahl eingeschränkt. Es fehlten vor allem Bodenstichproben mit hohen Konzentrationen der o.g. Stoffe.

Die Fortführung des Projekts in einer 2. Phase ermöglichte mit insgesamt 42 Proben eine bessere Aussagekraft der Zusammenhänge zu erreichen. Die Ergebnisse und Tendenzen der 1. Projektphase werden generell bestätigt.

Die folgenden Stoffe weisen auf bestimmte **Emissionsquellen** (s. Kap.2), verursacht durch den Kfz-Verkehr, hin:

**Pb:** überwiegend von Abgasen bleihaltigen Benzins; untergeordnet auch von Tropfverlusten; Abrieb von Bremsbelägen, Reifenabrieb

- Zn:** überwiegend von Reifenabrieb und Tropfverlusten an Öl
- Cd:** überwiegend von Reifenabrieb , untergeordnet auch von Dieselabgasen
- Cu:** überwiegend durch Abrieb von Bremsbelägen, untergeordnet von Reifenabrieb und Tropfverlusten an Öl
- CnHm:** überwiegend von Abgasen und Tropfverlusten (Öl und Benzin)

Unter der Annahme, daß PCDD/F in straßennahen Böden hauptsächlich verursacht durch Scavenger (z.B. Dichlorethan) im bleihaltigen Benzin emittiert werden (Hagenmaier et al. 1990), ist eine Abhängigkeit der PCDD/F-Gehalte zu den Pb-Konzentrationen in straßennahen Böden zu erwarten. Ähnliche Ausbreitungsbedingungen werden vorausgesetzt.

Die Elemente bzw. Stoffgruppen Ni, Cr, PAK, BTX-Aromaten, Phenole, Chlorbenzole, Chlorphenole und PCB lassen keine signifikanten Abhängigkeiten von den PCDD/F-Gehalten in Böden erkennen.

Die Bodenkonzentrationen an Schwermetallen, CnHm und PCDD/F sind annähernd normalverteilt. Die Verteilungskurven zeichnen sich i.d. R. durch einen ausgeprägten linksschiefen Verlauf aus. Die Stoffkonzentrationen zeigen ein deutliches Maximum in den Klassen niedrigster Konzentrationen mit einem schnellen Absinken zu den Klassen höherer Gehalte.

Die statistischen Merkmale der 42 Oberbodenproben sind in Tab.44 dargestellt.

Tab. 44: Mittelwerte ( $\bar{x}$ ), Standardfehler ( $s_{\bar{x}}$ ) und Variationskoeffizienten (V) der für die Korrelationsrechnung verwendeten Bodenproben

Stoff	$\bar{x}$ mg/ kg ng/ kg*	$s_{\bar{x}}$ mg/ kg ng/ kg*	V %	n = 42
Pb	180	30	109	
Cd	1,1	0,2	97	
Cu	53	10	117	
Zn	158	22	89	
CnHm	96	30	205	
TE- BGA*	12,1	3,4	183	
ITEF	13,3	4,3	209	
PCDD	383	75	127	
PCDF	522	140	173	
PCDD/ PCDF	905	183	131	
TCDD	19	3	100	
PeCDD	20	3	113	
HxCDD	31	6	124	
HpCDD	56	12	140	
OCDD	255	59	150	
TCDF	224	67	195	
PeCDF	172	50	189	
HxCDF	53	14	171	
HpCDF	38	7	124	
OCDF	27	5	122	

Tab. 45 :Rang- Korrelationskoeffizienten nach Spearman- Korrelationsmatrix von Stoffgehalten in Böden

VARIABLES:									
1 Pb	1.000000								
2 Cd	.609005	1.000000							
3 Cu	.732249	.515363	1.000000						
4 Zn	.935063	.602816	.704344	1.000000					
5 CnHm	.827452	.554878	.531310	.789169	1.000000				
6 TE/BGA	.868288	.491835	.502125	.825117	.766763	1.000000			
7 ITEF	.841555	.468007	.494903	.792973	.760851	.963131	1.000000		
8 PCDD	.650322	.342559	.422194	.667004	.507564	.782934	.724955	1.000000	
9 PCDF	.842161	.482459	.467159	.801767	.760596	.967209	.936445	.743517	1.000000
10 PCDD/F	.768053	.426539	.426921	.762260	.641496	.922442	.879922	.940886	.896479
	1.000000								
11 TCDD	.573157	.244892	.491148	.574184	.541208	.606708	.586586	.479061	.582137
	.542548	1.000000							
12 PeCDD	.780524	.342098	.546728	.732966	.638091	.833447	.828764	.634251	.798686
	.742505	.848395	1.000000						
13 HxCDD	.795393	.400501	.465103	.749077	.669400	.909479	.914534	.793918	.868857
	.886096	.527780	.833645	1.000000					
14 HpCDD	.580819	.360188	.365805	.589796	.476583	.747919	.688440	.919231	.696266
	.879420	.361097	.550120	.755712	1.000000				
15 OCDD	.580733	.292644	.354609	.596838	.451124	.701860	.630203	.966082	.667018
	.885971	.336053	.483709	.697936	.921127	1.000000			
16 TCDF	.845574	.451742	.471552	.785471	.787604	.927451	.939011	.608794	.944438
	.797455	.589277	.806436	.832407	.579122	.532831	1.000000		
17 PeCDF	.845689	.457622	.457862	.781496	.766580	.929737	.939175	.660152	.937675
	.828562	.553142	.810508	.887139	.632771	.590437	.970717	1.000000	
18 HxCDF	.826209	.445173	.433389	.750406	.754019	.928339	.906986	.705017	.909040
	.842417	.558466	.806838	.881895	.682290	.656311	.918391	.952881	1.000000
19 HpCDF	.814848	.515784	.459553	.775948	.729111	.918333	.853857	.777593	.947674
	.889674	.542555	.706633	.819186	.738838	.743084	.853538	.858529	.869560
	1.000000								
20 OCDF	.651989	.462341	.383570	.652378	.586252	.805715	.779099	.651869	.828712
	.765476	.470034	.621945	.706159	.578076	.556056	.721423	.698422	.647596
	.793863	1.000000							

	1 Pb	2 Cd	3 Cu	4 Zn	5 CnHm	6 TE/BGA	7 ITEF	8 PCDD	9 PCDF
10 PCDD/F									
11 TCDD									
12 PeCDD									
13 HxCDD									
14 HpCDD									
15 OCDD									
16 TCDF									
17 PeCDF									
18 HxCDF									
19 HpCDF									
20 OCDF									

n = 42  
 5 %-Niveau: 0.30  
 1 %-Niveau: 0.39  
 0.1 %-Niveau: 0.49

Tab. 46 : Korrelationskoeffizienten nach Pearson- Korrelationsmatrix von Stoffgehalten in straßennahen Böden

VARIABLES:		n = 42							
1 Pb	1.000000								
2 Cd	.805939	1.000000							
3 Cu	.822458	.625313	1.00000						
4 Zn	.884652	.739642	.867168	1.00000					
5 CnHm	.816299	.702722	.855015	.964366	1.00000				
6 TE/BGA	.857268	.767873	.661987	.888381	.867679	1.00000			
7 IYEF	.852190	.796803	.696127	.909424	.898496	.984773	1.000000		
8 PCDD	.421764	.345841	.332293	.445267	.391156	.480534	.476318	1.00000	
9 PCDF	.811719	.727020	.557656	.808797	.773781	.976509	.934044	.403335	1.000000
10 PCDD/F	.791330	.695728	.561018	.798674	.749854	.940968	.906854	.716494	.927321
	1.00000								
11 TCDD	.534931	.356683	.307014	.336065	.292836	.450916	.402056	.241339	.444457
	.437587	1.000000							
12 PeCDD	.673846	.346233	.389121	.439852	.361491	.536506	.479729	.343896	.522666
	.539139	.840319	1.00000						
13 HxCDD	.716989	.422076	.454039	.566423	.465424	.575885	.549203	.520255	.536361
	.621695	.629190	.870026	1.000000					
14 HpCDD	.421536	.380504	.346180	.438968	.391070	.469476	.465205	.985726	.395200
	.704461	.188093	.285450	.459018	1.00000				
15 OCDD	.306279	.275415	.268050	.370980	.334436	.393599	.397084	.985117	.312972
	.641512	.109539	.189724	.378111	.978548	1.000000			
16 TCDF	.739045	.668414	.443596	.687349	.660962	.921024	.851921	.351216	.973236
	.885616	.476851	.523319	.462008	.350567	.265580	1.000000		
17 PeCDF	.778330	.675701	.567509	.840467	.810881	.964524	.933860	.381968	.978748
	.902364	.371964	.470537	.541028	.364008	.297776	.920805	1.000000	
18 HxCDF	.919789	.813875	.799315	.931154	.924389	.955469	.963351	.500274	.889008
	.882330	.462832	.554294	.599385	.506582	.414892	.815872	.871982	1.000000
19 HpCDF	.938450	.805196	.803187	.939473	.893631	.928570	.926735	.559096	.872714
	.893974	.431161	.556027	.653395	.566119	.470377	.784785	.859423	.970772
	1.00000								
20 OCDF	.724642	.812355	.476445	.689170	.663271	.795829	.815838	.446508	.764192
	.765219	.364698	.386612	.440121	.457895	.386038	.716998	.720168	.795089
	.784333	1.000000							
	1 Pb	2 Cd	3 Cu	4 Zn	5 CnHm	6 TE/BGA	7 IYEF	8 PCDD	9 PCDF
10 PCDD/F	11 TCDD	12 PeCDD	13 HxCDD	14 HpCDD	15 OCDD	16 TCDF	17 PeCDF	18 HxCDF	
19 HpCDF	20 OCDF								

Da nicht alle Variablen hinreichend normalverteilt sind wird neben der Berechnung der Korrelationskoeffizienten nach Pearson auch eine Rangkorrelation nach Spearman durchgeführt, welche zur Bewertung der Zusammenhänge herangezogen wird.

In Tab.45 sind die Korrelationskoeffizienten nach Spearman, in Tab.46 diejenigen nach Pearson dargestellt. Die Grundtendenz ist bei beiden Berechnungen sehr ähnlich.

Schwermetalle und CnHm zeigen generell signifikante positive Korrelationen mit den **PCDD/F**. Für **Pb, Zn** und Mineralöl-**CnHm** kann für fast alle PCDD und PCDF ein hochsignifikanter Zusammenhang aufgezeigt werden.

Die ermittelten Relationen werden durch Kongenerenvergleiche unterstützt (s. Kap.6.1.11).

Für die PCDD/F wurden **Korrelationskoeffizienten** mit Schwermetallen und Mineralöl-CnHm in folgenden Rangfolgen berechnet (vgl. Tab.45):

<b>TE – BGA:</b>	Pb (0.87) > Zn (0.83) > CnHm (0.77) > Cu (0.50) > Cd (0.49)
<b>ITEF:</b>	Pb (0.84) > Zn (0.79) > CnHm (0.76) > Cu (0.50) > Cd (0.47)
<b>PCDD:</b>	Zn (0.67) > Pb (0.65) > CnHm (0.51) > Cu (0.42) > Cd (0.34)
<b>PCDF:</b>	Pb (0.84) > Zn (0.80) > CnHm (0.76) > Cd (0.48) > Cu (0.47)
<b>PCDD/ F:</b>	Pb (0.77) > Zn (0.76) > CnHm (0.64) > Cu und Cd (0.43)
<b>TCDD:</b>	Zn und Pb (0.57) > CnHm (0.54) > Cu (0.49) > Cd (0.25)
<b>PeCDD:</b>	Pb (0.78) > Zn (0.73) > CnHm (0.64) > Cu (0.55) > Cd (0.34)
<b>HxCDD:</b>	Pb (0.80) > Zn (0.75) > CnHm (0.70) > Cu (0.47) > Cd (0.40)
<b>HpCDD:</b>	Zn (0.59) > Pb (0.58) > CnHm (0.48) > Cu (0.37) > Cd (0.36)
<b>OCDD:</b>	Zn (0.60) > Pb (0.58) > CnHm (0.45) > Cu (0.36) > Cd (0.29)
<b>TCDF:</b>	Pb (0.85) > CnHm und Zn (0.79) > Cu (0.47) > Cd (0.45)
<b>PeCDF:</b>	Pb (0.85) > Zn (0.78) > CnHm (0.77) > Cu und Cd (0.46)
<b>HxCDF:</b>	Pb (0.83) > CnHm und Zn (0.75) > Cd (0.45) > Cu (0.43)
<b>HpCDF:</b>	Pb (0.82) > Zn (0.78) > CnHm (0.73) > Cd (0.52) > Cu (0.46)
<b>OCDF:</b>	Zn und Pb (0.65) > CnHm (0.59) > Cd (0.46) > Cu (0.38)

Wie in Kapitel schon angedeutet, lassen die Korrelationskoeffizienten neben den **Abgasen** aus bleihaltigem Kraftstoffbetrieb eine andere, fast gleichwertige Quelle erkennen. Die hochsignifikanten Relationen mit Zn und CnHm lassen entweder Tropfverluste durch **Motorenöle** oder Reifenabrieb vermuten. Doch der relativ geringe Zusammenhang mit Cd und Cu läßt jedoch den Reifenabrieb (auch den Abrieb durch Bremsvorgänge) als Hauptquelle weitgehend ausscheiden (vgl. Rippen et al. 1992). Der hochsignifikante Zusammenhang zwischen Pb und Zn ( $r=0.94$ ) unterstützt die Hypothese, daß Motorenöle mit als Hauptquelle besonders in direkter Fahrbahnnähe in Betracht gezogen werden müssen. Inwieweit Zn durch Kfz-

Abgase emittiert wird ist nicht bekannt. In der Literatur fanden sich diesbezüglich keine Hinweise.

Wie zu erwarten war, zeigen die PCDD/F ( $r=0.84$ ) die deutlichsten Zusammenhänge mit Pb. Die hochsignifikanten Relationen mit den Tetra- bis HeptaCDF ( $r=0.82-0.85$ ) lassen vor allem auf Kfz-Abgase (Pb-Benzin) schließen. Als PCDD-Quelle ist Motorenöl den Kfz-Abgasen mindestens gleichzustellen, besonders die höherchlorierten Homologen.

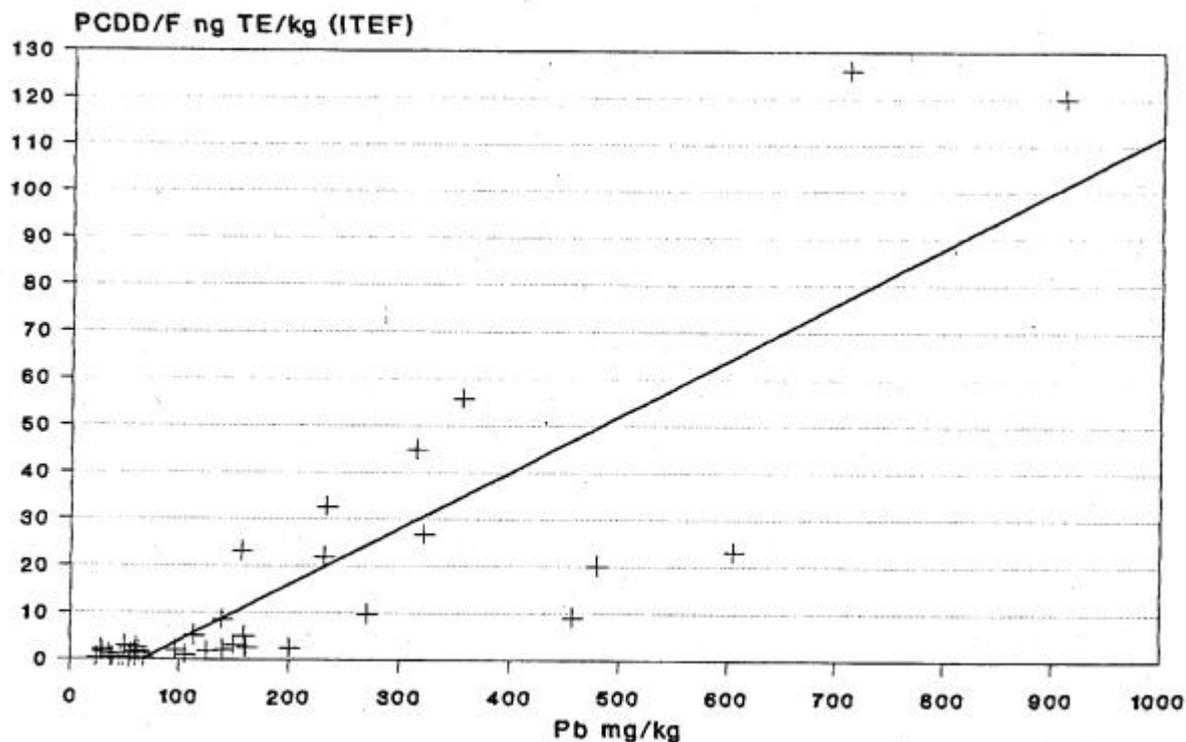
Die durchgeführten Korrelationen haben gezeigt, daß mit Hilfe von Pb, Zn und CnHm Rückschlüsse auf PCDD/F-Gehalte in straßennahen Böden gezogen werden können. Dabei stellte sich heraus, daß die Bodenbelastungen nicht ausschließlich durch Kfz-Abgase verursacht werden. Unfälle mit Brandfolge sind zusätzlich als Ursache zu vermuten, allerdings fehlen hier noch genaue Untersuchungen sowie ein geeigneter Leitparameter.

Der Zusammenhang zwischen Pb und PCDD/F (ITEF) wird in Abb.87 deutlich. Die ermittelte **Regressionsgleichung** lautet:

(1)	<b>PCDD/F (ITEF) = 0.12Pb - 8.4</b>
	<b>(ng TE/kg) (mg/kg)</b>

Bei einem **Pb-Gehalt** von **100 mg/kg** Boden (AbfklärV 1992) ist demnach mit einem **PCDD/F-Gehalt** von **3,6 ng TE/kg** (ITEF) zu rechnen. Bei den untersuchten straßennahen Böden hatte keine Probe mit <100 mg/kg Pb Dioxin- und Furangehalte >5 ng TE/kg.

Abb. 87: Zusammenhang zwischen Pb- und PCDD/F – Gehalten (ITEF) in straßennahen Böden:



Für die PCDD/F-Äquivalente nach BGA zeigt sich folgender Zusammenhang:

(2)	$PCDD/F (BGA) = 0.10Pb - 5.3$
	(ng TE/kg) (mg/kg)

Bei 100 mg/kg Pb errechnen sich für PCDD/F (BGA) 4,7 ng TE/kg Boden.

Die Abb.88 und Abb.89 sowie die Regressionsgleichungen (3) und (4) zeigen die Zusammenhänge zwischen **PCDD** bzw. **PCDF** und **Pb** ( $r=0.65$  bzw.  $r=0.84$ ).

(3)	$PCDD = 1.10Pb + 195$
	(ng TE/kg) (mg/kg)

(4)	$PCDF = 3.70Pb - 151$
	(ng /kg) (mg/kg)

Der Zusammenhang mit **Zn** wird in den Gleichungen (5) bis (8) dargestellt:

(5)	$PCDD/F \text{ (ITEF)} = 0.18Zn - 15$
	$(ng \text{ TE/kg}) \quad (mg/kg)$

(6)	$PCDD/F \text{ (BGA)} = 0.14Zn - 10$
	$(ng \text{ TE/kg}) \quad (mg/kg)$

(7)	$PCDD = 1.50Zn + 141$
	$(ng /kg) \quad (mg/kg)$

(6)	$PCDF = 5.20Zn - 297$
	$(ng /kg) \quad (mg/kg)$

Bei etwa **115 mg/kg Zn** im Boden ist mit **5 ng TE/kg PCDD/F** zu rechnen.

Die Zusammenhänge zwischen **CnHm** und PCDD/F zeigen die Regressionsgleichungen (9) bis (12):

(9)	$PCDD/F \text{ (ITEF)} = 0.13CnHm + 10$
	$(ng \text{ TE/kg}) \quad (mg/kg)$

(10)	$PCDD/F \text{ (BGA)} = 0.10CnHm + 2.8$
	$(ng \text{ TE /kg}) \quad (mg/kg)$

(11)	$PCDD = 1.00CnHm + 290$
	$(ng /kg) \quad (mg/kg)$

(12)	$PCDF = 3.60CnHm + 181$
	$(ng /kg) \quad (mg/kg)$

Abb. 88: Zusammenhang zwischen Pb- und PCDD – Gehalten in straßennahen Böden:

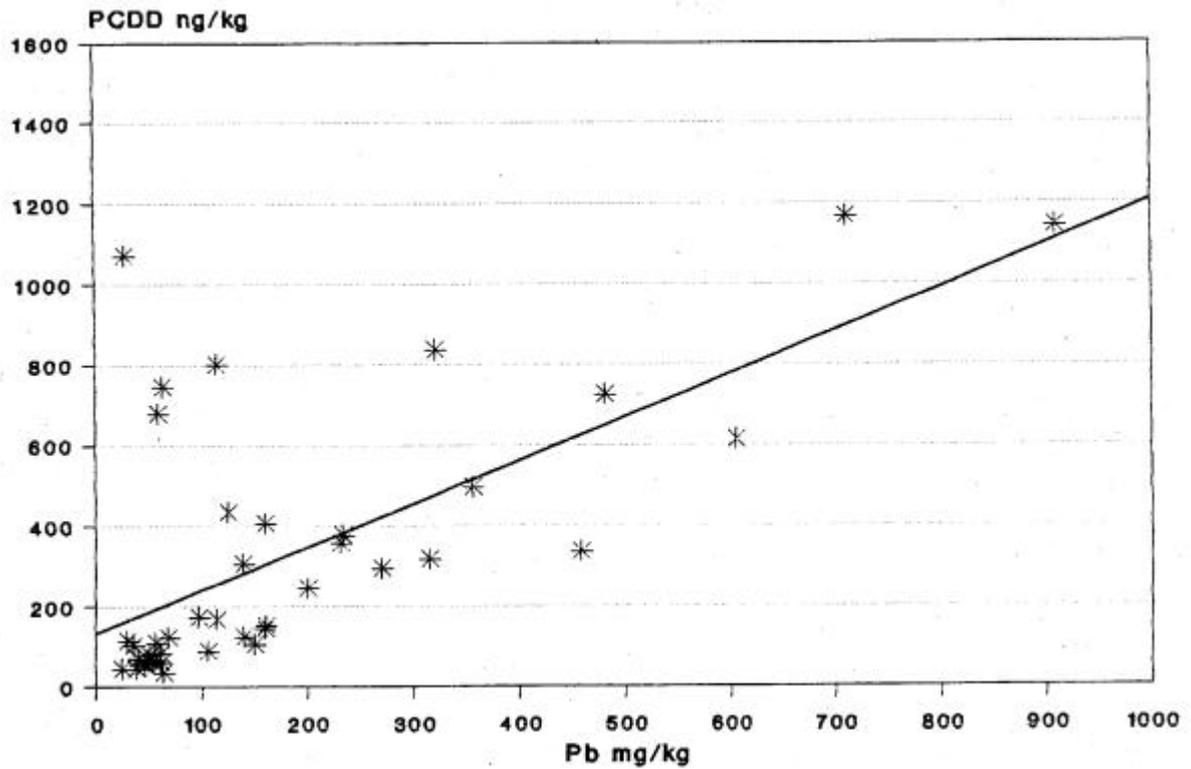
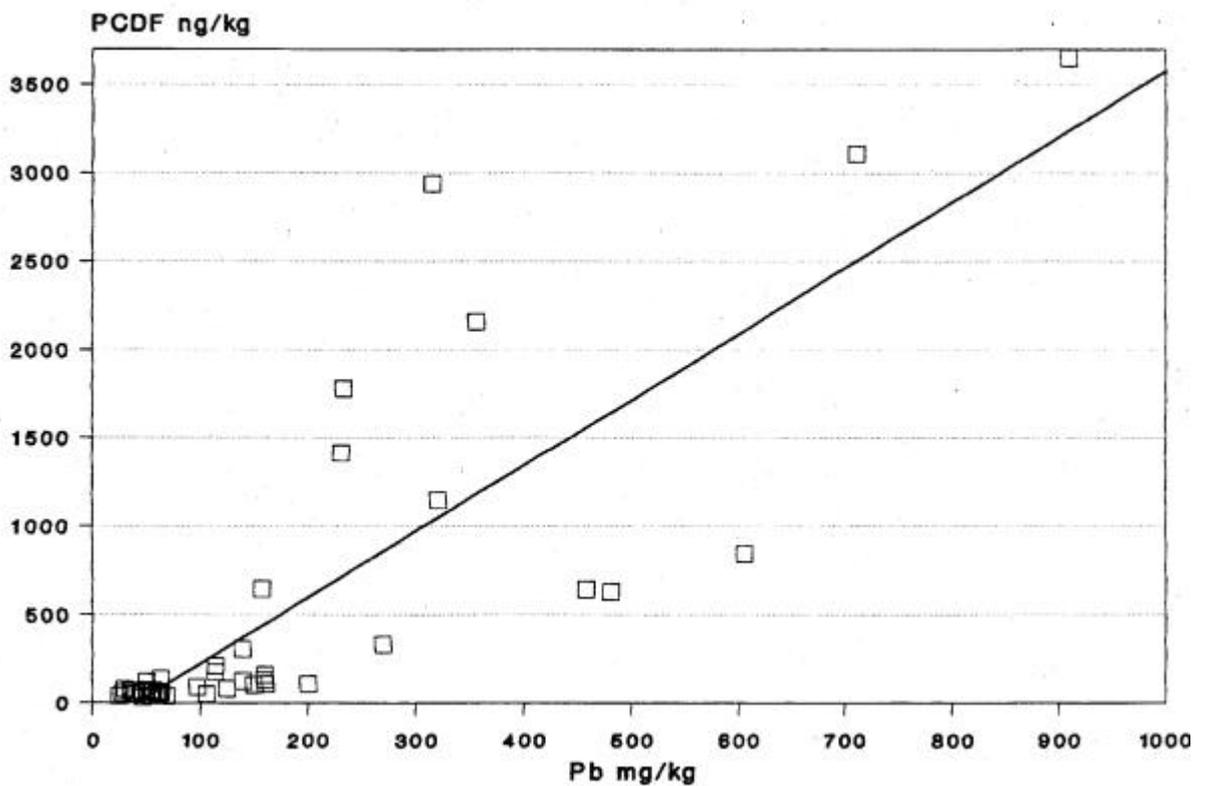


Abb. 89: Zusammenhang zwischen Pb- und PCDF – Gehalten in straßennahen Böden:



Bei etwa **30 mg/kg CnHm** ist in straßennahen Böden mit **5 ng TE/kg PCDD/PCDF** zu rechnen.

Infolge der hochsignifikanten Zusammenhänge der PCDD/F mit Pb, Zn und CnHm bietet sich eine **multiple lineare Regressionsrechnung** an.

Die Regressionsgleichungen (13) bis (16) zeigen die Relationen:

(13)	<b>PCDD/F (ITEF) =</b>	<b>0.043Pb + 0.034Zn + 0.068CnHm – 6.4</b>
	<b>(ng TE/kg)</b>	<b>(mg/kg)</b>

(14)	<b>PCDD/F (BGA) =</b>	<b>0.045Pb + 0.026Zn + 0.043CnHm – 4.2</b>
	<b>(ng TE /kg)</b>	<b>(mg/kg)</b>

(15)	<b>PCDD =</b>	<b>0.134Pb + 2.957Zn – 1.179CnHm + 5</b>
	<b>(ng /kg)</b>	<b>(mg/kg)</b>

(16)	<b>PCDF =</b>	<b>2.217Pb + 1.251Zn + 0.885CnHm - 160</b>
	<b>(ng /kg)</b>	<b>(mg/kg)</b>

Mit den o.g. Konzentrationen an **Pb** (100 mg/kg), **Zn** (115 mg/kg) und **CnHm** (30 mg/kg) sind **PCDD/F**-Konzentrationen in Böden von 4 ng TE/kg zu erwarten.

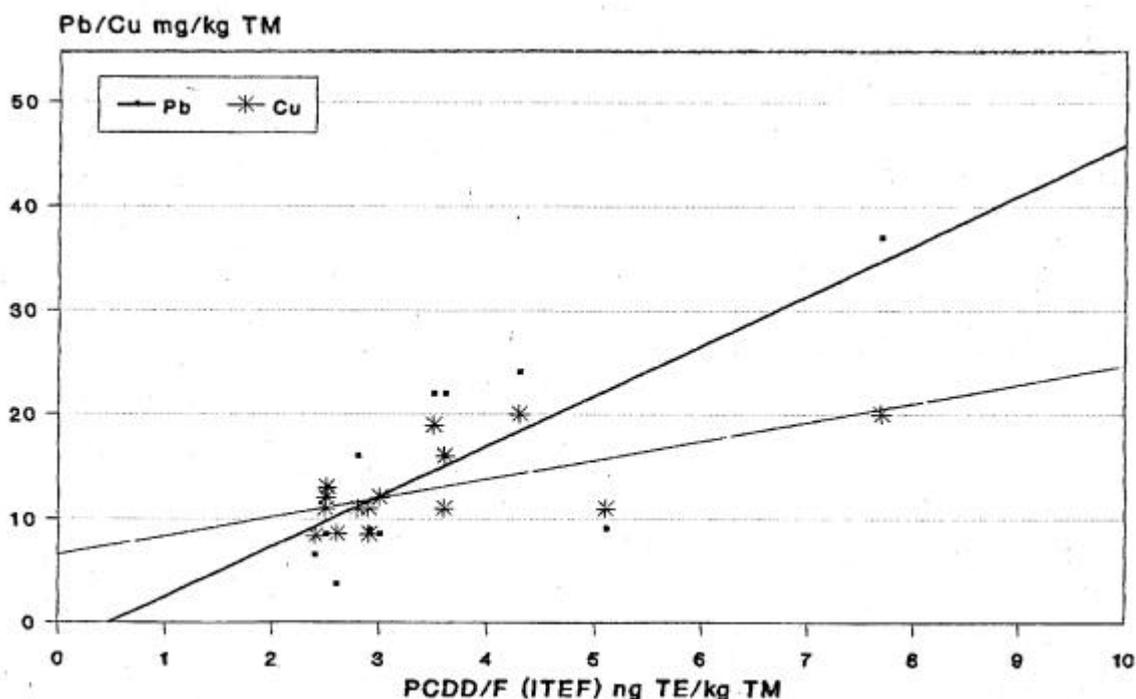
Die gezeigten Zusammenhänge besitzen nur für straßennahe Böden Gültigkeit, die >25 Jahre Kfz-Immissionen ausgesetzt und ohne weiteren Emittenteneinfluß waren.

Im Gegensatz zu den Berechnungen der 1. Projektphase berücksichtigen die o.g. Regressionsgleichungen nicht nur Kfz-Abgase, sondern auch Emissionen durch Tropfverluste an Motorenölen.

Die Gleichungen und Abbildungen können als Hilfsmittel zur Abschätzung von PCDD/F-Gehalten in straßennahen Böden ohne großen Kostenaufwand dienen. Die Stichprobenanalytik auf PCDD/F kann damit wesentlich verringert werden.

Für die Aufwuchsproben wurden keine Korrelationsrechnungen durchgeführt (n=15). Die Abb.90 gibt einen ersten Eindruck über einen möglichen Zusammenhang von PCDD/F-Konzentrationen und Schwermetallen im straßennahen Grünlandaufwuchs. Bei 10 mg Pb/kg TM ist etwa mit 2,5 ng TE/kg TM PCDD/F (ITEF) zu rechnen (Ernte im Oktober).

Abb. 90: Zusammenhang zwischen Pb-/ Cu- und PCDD/F- Gehalten in straßennahem Grünlandaufwuchs (Trend):



Erntetermin Oktober 1991

## 8. Durchschnittliches Verkehrsaufkommen für die Akkumulation kritischer Gehalte an Dioxinen und Furanen in straßennahen Böden

Im folgenden Kapitel wird über **Korrelationsanalysen** versucht, richtwertüberschreitende **PCDD/F**-Gehalte von Böden in verschiedenen Fahrbahnabständen im Zusammenhang mit dem Verkehrsaufkommen (Mittelwerte von 1975 bis 1990) zu beurteilen.

Den PCDD/F gilt ein besonderes Interesse, da für diese Stoffgruppe bisher nur sehr wenige Untersuchungen vorliegen. Analysen einer den statistischen Regeln entsprechende Anzahl von Proben erscheinen aus Kostengründen kaum durchführbar. Es bietet sich daher an, über die in Kapitel 7 ermittelten Zusammenhänge (Korrelationen), besonders mit Pb, Rückschlüsse auf PCDD/F-Gehalte in Böden unterschiedlicher Fahrbahnabstände zu ziehen.

Die Abb.91 und 92 zeigen Trends der PCDD/F (ITEF)- und PCDF- Gehalte in 1.0 und 10 m Fahrbahnabstand in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen. Für jeden Fahrbahnabstand liegen nur 5 Untersuchungen vor. Die Aussagekraft ist relativ gering. Die Trendkurven zeigen ab ca. 16.000 Kfz/Tag (Mittel von 1975 bis 1990) eine Überschreitung des vom BGA empfohlenen Richtwertes für eine uneingeschränkte Bodennutzung von 5 ng TE/kg. Die 10 m-Werte liegen alle auf etwa gleichem Niveau um 2 ng TE/kg. Der Kfz-Verkehrseinfluß scheint

hier kaum noch nachweisbar zu sein. Für die PCDD ist keine Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen mittels der Trendberechnung feststellbar.

Es soll nun geprüft werden, inwieweit über die **Pb**-Gehalte in Böden eine Abschätzung der PCDD/F-Gehalte erzielt werden kann.

Es wurden insgesamt 120 Oberbodenproben in verschiedenen Fahrbahnabständen an 8 Straßenstandorten beidseitig analysiert. Für jeden Fahrbahnabstand liegen somit 16 Pb-Untersuchungen vor. Zunächst wird über eine Korrelationsanalyse der Zusammenhang zwischen Pb in verschiedenen Fahrbahnabständen und dem Verkehrsaufkommen ermittelt.

**Abb. 91: PCDD/F (ITEF) in straßennahen Böden in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen Fahrbahnabstand 1,0 und 10 m**

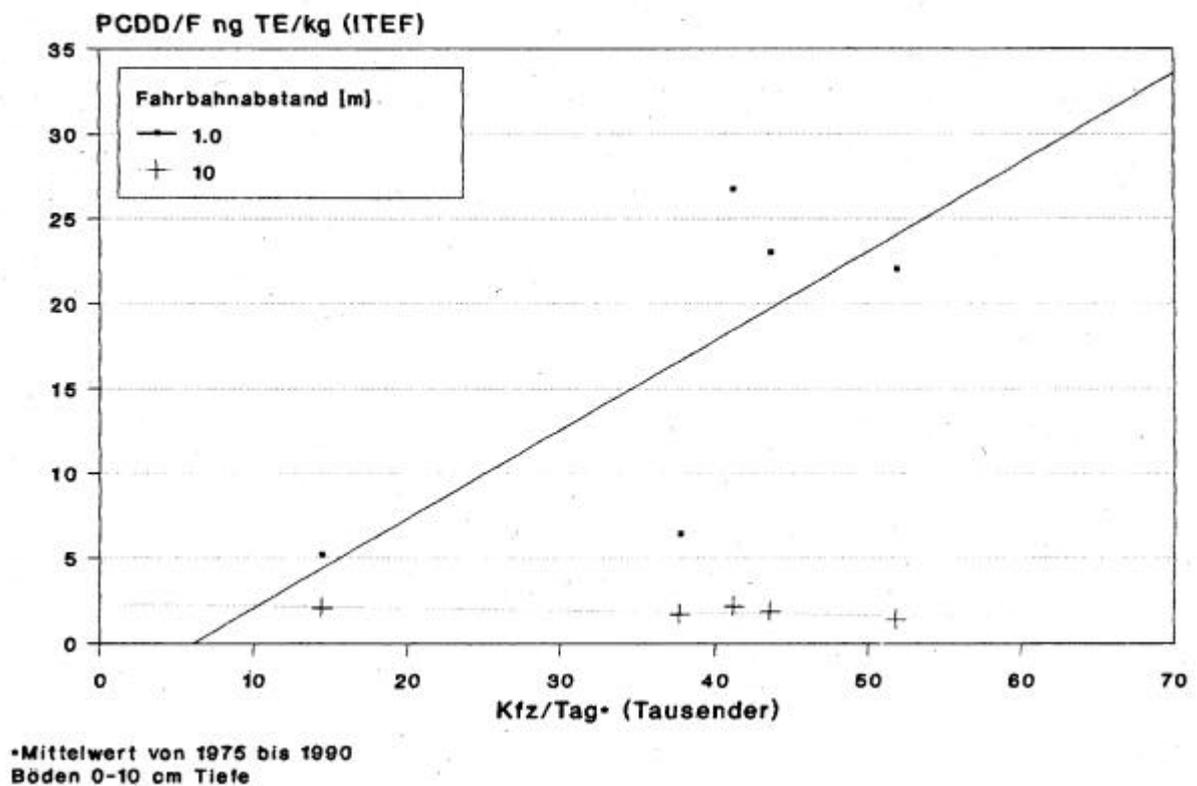
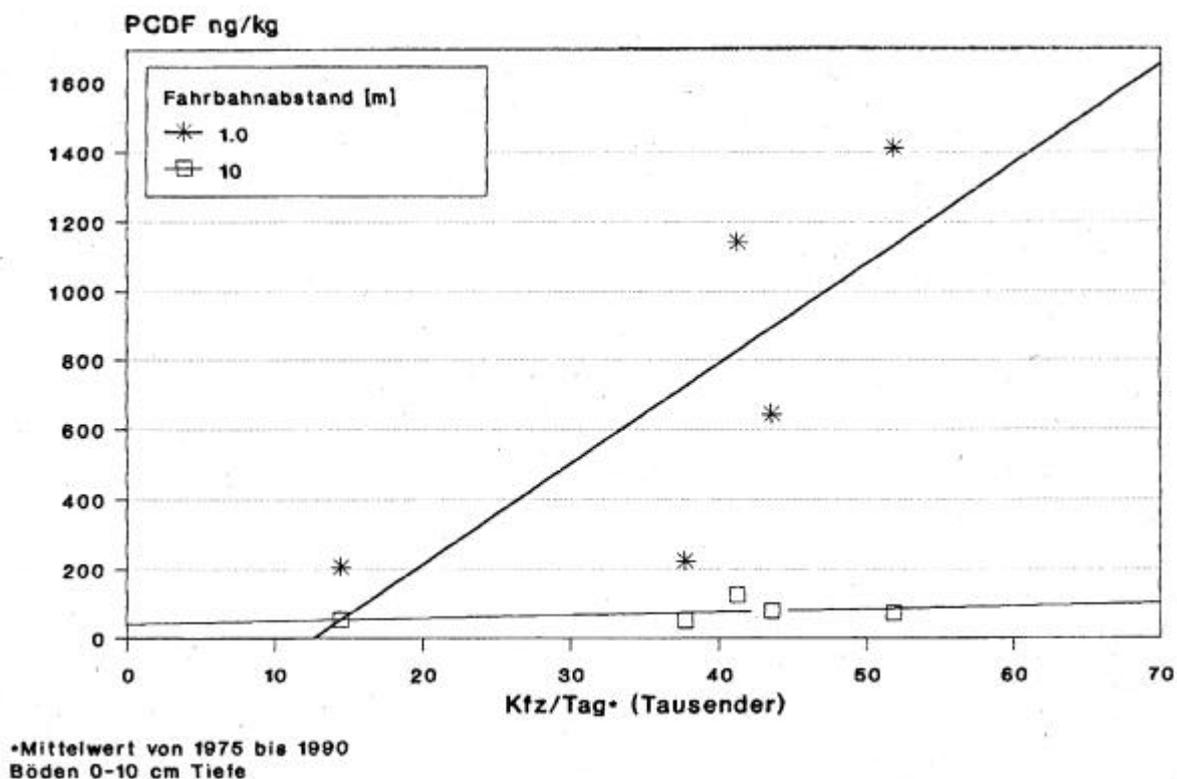


Abb. 92: PCDF in straßennahen Böden in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen  
 Fahrbahnabstand 1,0 und 10 m



In Tab.47 sind die statistischen Merkmale der Variablen aufgelistet.

Tab.47 : Mittelwerte  $\langle x \rangle$ , Standardfehler ( $s \langle x \rangle$ ) und Variationskoeffizient (V) von Verkehrsaufkommen und Pb-Gehalten in Böden

		$\langle x \rangle$	$s \langle x \rangle$	V %
	<b>Kfz/ Tag*</b>	<b>26000</b>	<b>4800</b>	<b>74</b>
<b>Pb</b>	0,1 m**	329	74	91
	1,0 m	133	27	82
	2,5 m	115	27	94
	5,0 m	72	15	85
	10 m	55	7	52
	25 m	42	4	36
	50 m	37	3	32
	100 m	36	3	33

\* Mittelwert von 1975-1990

\*\* mg/kg Boden (0-10 cm)

Bis 5.0 m Fahrbahnabstand entsprechen die Variationskoeffizienten der Pb-Bodengehalte etwa demjenigen des Verkehrsaufkommens. Der Haupteinflußbereich wird hier wiederum deutlich.

Die Tab.48 zeigt die Korrelationskoeffizienten nach Spearman (1.Reihe) und nach Pearson (2.Reihe).

Bis 5.0 m Fahrbahnabstand ist nach der Rangkorrelation nach Spearman eine signifikante Abhängigkeit zum Verkehrsaufkommen festzustellen.

Die Korrelation nach Pearson zeigt eine Beziehung zwischen **Pb** und **Verkehrsaufkommen** am deutlichsten. Signifikante Korrelationen reichen bis 50 m Entfernung und nehmen mit zunehmender Fahrbahntfernung ab.

**Tab.48: Korrelation von Pb-Gehalten im Boden (0-10 cm) in verschiedenen Fahrbahnabständen mit dem Verkehrsaufkommen (Kfz/Tag 1975-1990)**

Fahrbahnabstand	Kfz/ Tag
0,1 m	0,81*
	0,83*
1,0 m	0,42
	0,65+
2,5 m	0,47
	0,75*
5 m	0,63+
	0,64+
10 m	0,20
	0,56´
25 m	0,47
	0,56´
50 m	0,31
	0,56´
100 m	0,30
	0,53

5 % - Niveau            0,50´

1 % - Niveau            0,62+

0,1 % - Niveau        0,74\*

0 – 50 m: n = 16

100 m n = 12

1. Reihe Spearman

2. Reihe Pearson

Weitere Untersuchungen können diese Zusammenhänge besser absichern. Eine beidseitige Beprobung und Analytik vor allem auf Schwermetallen (Pb, Zn) etwa 8-10 zusätzlicher Straßenstandorte mit unterschiedlichem Verkehrsaufkommen wäre zu empfehlen.

Die gezeigten Abhängigkeiten zwischen Pb und Verkehrsaufkommen werden in den Abb.93 bis 95 verdeutlicht. Es sei nochmals darauf hingewiesen, daß die ermittelten Zusammenhänge für >25 Jahre alte Straßen mit freier Ausbreitungsmöglichkeit und ohne zusätzlichen Emittenteneinfluß Gültigkeit besitzen.

Über die Regressionsgleichungen (1) und (2) in Kapitel 7 lassen sich die PCDD/F-Gehalte (TE) errechnen bzw. gut abschätzen. Ein Pb-Gehalt von 100 mg/kg (Grenzwert nach AbfklärV) läßt mit sehr großer Wahrscheinlichkeit einen PCDD/F-Wert von <5 ng TE/kg Boden erwarten.

Der Wert von 100 mg Pb/kg kann somit als Leitparameter für die Einhaltung des vom BGA empfohlenen Richtwertes dienen.

In 0.1 m Fahrbahntfernung (Abb.93) wird der Pb-Grenzwert von 100 mg/kg im Mittel ab etwa 8.000 Kfz/Tag (Mittelwert der Verkehrsentwicklung von 1975-1990) überschritten.

In 1.0 m Entfernung trifft dies für ein Kfz-Aufkommen/Tag von etwa 17.000 zu (Abb.93). Dies bestätigt sehr gut den Trend in Abb.91.

In 2.5 m Entfernung werden 100 mg/kg Pb ab ca. 22.000 Kfz/Tag erreicht (Abb.93).

Bei etwa 39.000 Kfz/Tag wird in 5.0 m Entfernung der Pb-Grenzwert überschritten (Abb.94).

Ab 10 m Fahrbahntfernung werden 100 mg Pb/kg im Mittel nicht mehr erreicht (Abb.94 und Abb.95). Dies entspricht wiederum dem Trend in Abb.91.

Der Grenzwert für **Pb** von **100 mg/kg Boden** kann somit für straßennahe Böden ohne zusätzlichen Emittenteneinfluß sehr gut als **Leitparameter** für die Einhaltung des Richtwertes von **5 ng TE/kg** Boden herangezogen werden. Die untersuchten Straßenstandorte zeigten ab 10 m Fahrbahnabstand generell Pb-Werte <100 mg/kg (Ausnahme B 31a mit hohen Hintergrundgehalten) und somit eine Unterschreitung von 5 ng TE/kg PCDD/F.

Das umfangreiche Datenmaterial konnte im Rahmen des vorgegebenen Projektzeitraumes nicht vollständig ausgewertet werden. Beispielsweise läßt die Abb.96 aufgrund der Trendkurven Zusammenhänge zwischen dem Verkehrsaufkommen und **PAK**-Gehalten im Grünsandaufwuchs erkennen. Ab etwa 37.000 Kfz/Tag wäre mit PAK-Konzentrationen >10 µg/kg TM in 10 m Fahrbahnabstand zu rechnen.

Abb. 93: Pb in straßennahen Böden in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen  
 Fahrbahnabstand 0,1; 1,0; 2,5 m:

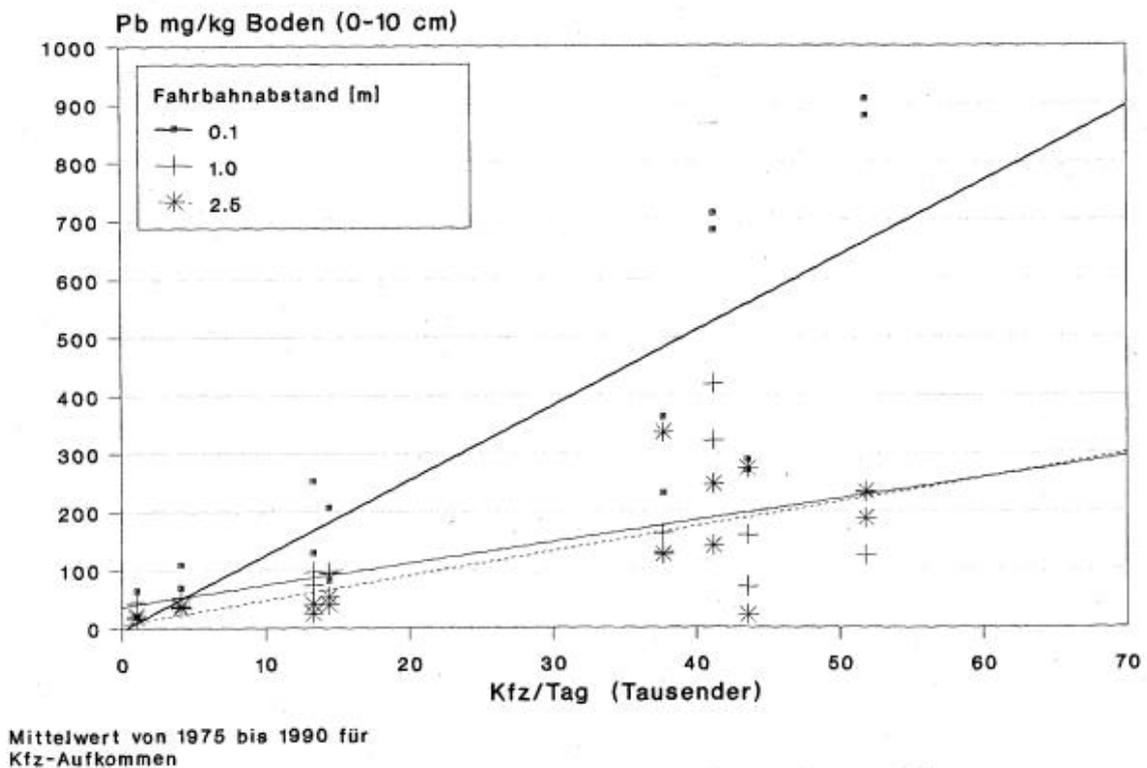


Abb. 94: Pb in straßennahen Böden in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen  
 Fahrbahnabstand 5,0 und 10 m:

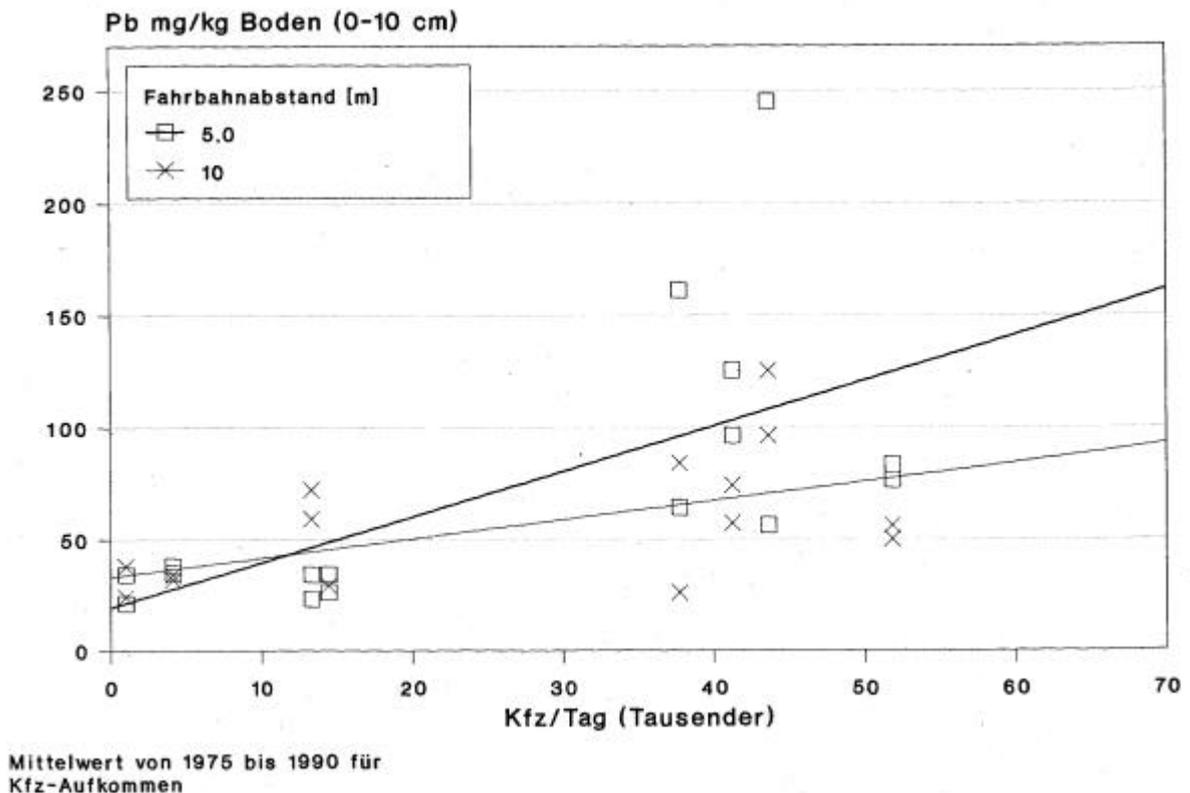


Abb. 95: Pb in straßennahen Böden in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen  
 Fahrbahnabstand 25, 50 und 100 m:

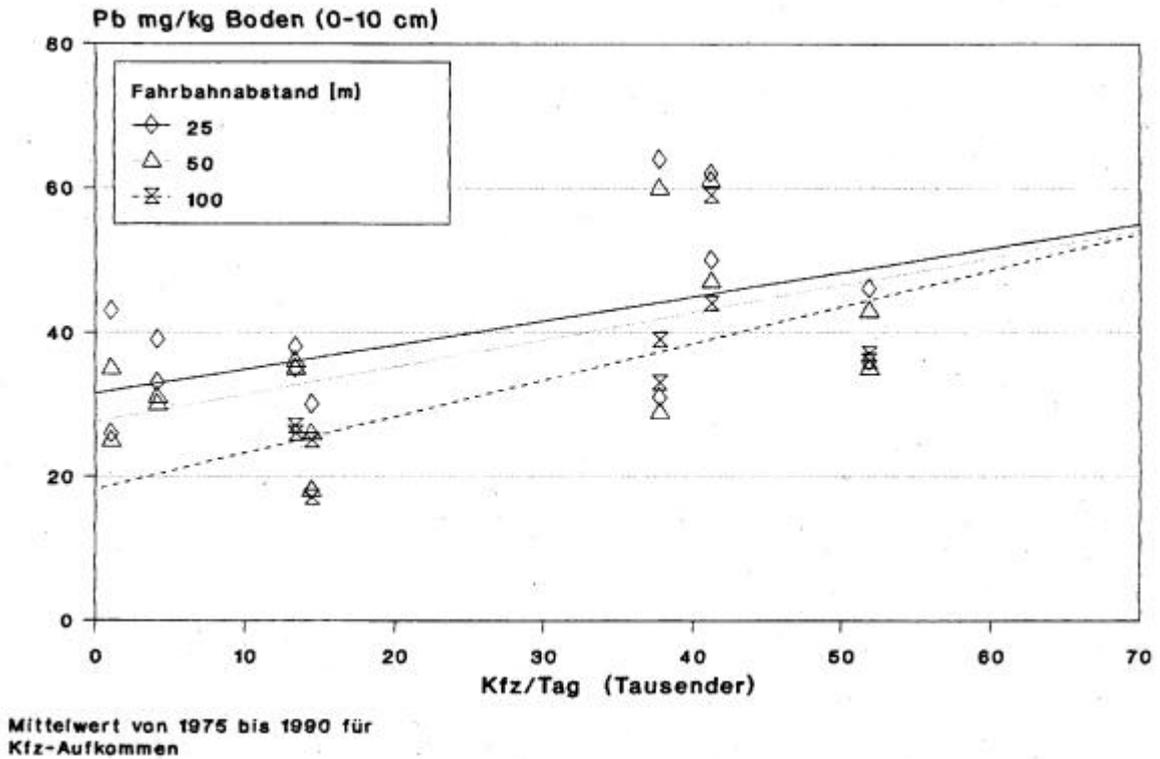
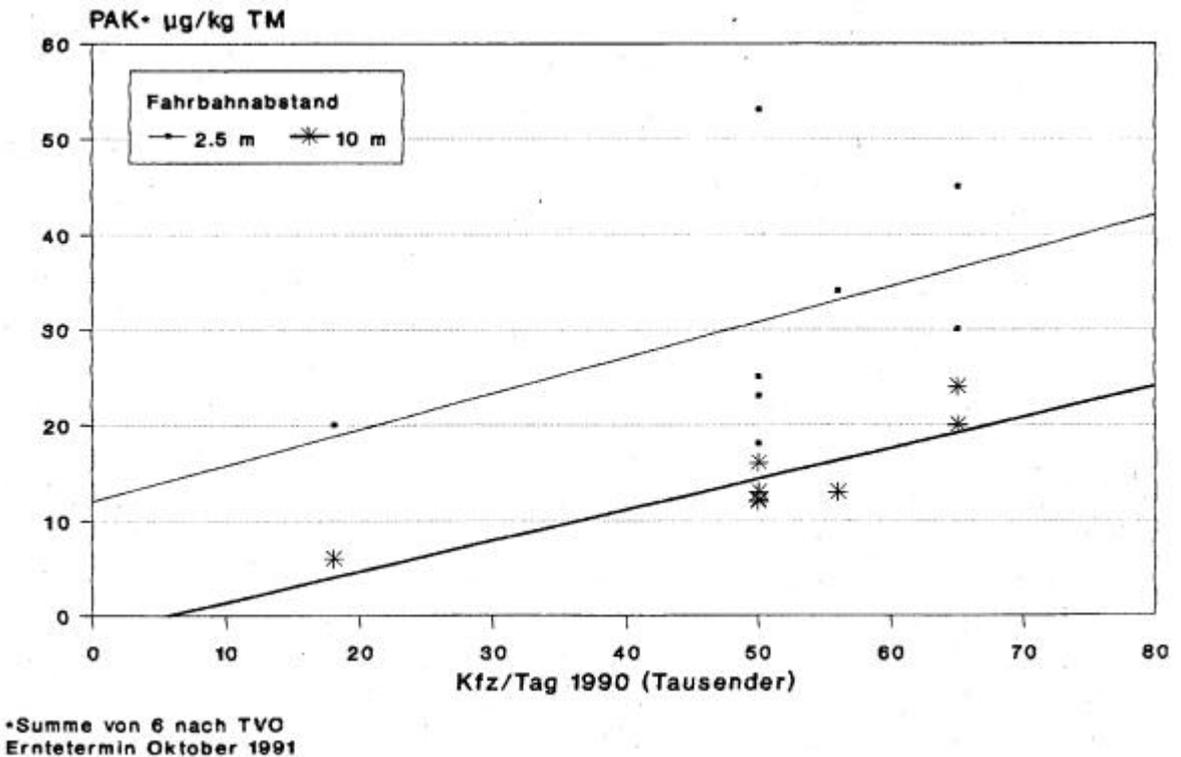


Abb. 96: Zusammenhang zwischen PAK\*-Gehalten im Grünlandaufwuchs und dem Kfz-Verkehrsaufkommen (Trend):



## 9. Weitere Untersuchungen

Es ist zu empfehlen, die vorhandenen Untersuchungen straßennaher Böden und entsprechendem Grünlandaufwuchs an etwa 8-10 Standorten zu verdichten. Aufgrund der nachgewiesenen Beziehungen zwischen Pb-Gehalt in Böden und PCDD/F-Konzentrationen sind grundsätzlich nur Analysen nach den ermittelten Leitparametern, besonders Pb, Zn und CnHm, notwendig. Über diese Leitparameter kann mit Hilfe vereinzelter Stichprobenanalysen auf PCDD/F das kritische Verkehrsaufkommen für bestimmte Abstandsbereiche besser abgesichert werden (Randstreifen mit Nutzungsbeschränkungen).

Die gleiche Vorgehensweise könnte die Zusammenhänge zwischen Stoffgehalten im Grünlandaufwuchs und PCDD/F-Konzentrationen deutlicher als bisher (geringe Probenzahl) aufzeigen.

Es ist weiterhin zu empfehlen, auch aufgrund der aktuellen Diskussion, die potentiell pflanzenverfügbaren bzw. verlagerbaren Schwermetallfraktionen zu ermitteln. Im Zusammenhang mit einer Feststellung des abwaschbaren Anteils von Schwermetallen in Pflanzen, könnten auf diese Weise die Pfade der Kontamination über die Luft bzw. den Boden deutlicher differenziert werden. Daraus könnten auch Maßnahmen für straßennahe Nutzungen abgeleitet werden.

Als sehr wichtig und bisher nur wenig untersucht erscheinen die Stoffkonzentrationen von Pflanzen, besonders Grünlandaufwuchs, im Laufe einer Vegetationsperiode. Der Erntetermin kann über Konzentrationsunterschiede um den Faktor 10 entscheiden. Für organische Verbindungen sind diesbezüglich kaum Untersuchungen durchgeführt worden.

Der Belastungspfad 'Weide - Kuh - Mensch' sollte bezüglich der PCDD/F an Straßen einer genaueren Analyse unterzogen werden.

Zur Ermittlung extremer Immissionssituationen könnten besonders stark exponierte Straßenstandorte untersucht werden, z.B. Standorte mit häufigen Staus, mit starker Steigung, mit häufigen Unfällen (Brände, Löschwasser), mit bekannten Bodenkontaminationen durch Unfälle mit besonders überwachungsbedürftigen Stoffen sowie im Zusammenspiel mit zusätzlichen Emittenten (z.B. Siedlungsgebiete).

Aufgrund des stark zunehmenden Schwerverkehrsaufkommens (Bsp. BAB 8 und BAB 5 OG, Bild 2) sowie der zukünftig zu erwartenden Steigerung des Lkw-Aufkommens (EG-Markt, Grenzöffnung nach Osteuropa) wäre die Eruiierung dessen Anteils an den Immissionen von großem Interesse.

Inwieweit der Anbau von Nahrungspflanzen durch Straßennähe beeinträchtigt wird, konnte in diesem Projekt nicht untersucht werden. Bei der Standortsuche konnte in manchen Fällen eine Nutzung bis etwa 5 m zum Fahrbahnrand bei sehr stark befahrenen Straßen (BAB 8 bei Stuttgart, Bild 3) beobachtet werden. Landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzte Böden

sollten im Zusammenhang mit verschiedenen Kulturpflanzen vor allem auf organischen Verbindungen (PCDD/F, PAK), aber auch Schwermetallen (s.o.) untersucht werden.

Zur Auswirkung von Kfz-Immissionen auf Pflanzen über den Luftpfad ist ein aktives Biomonitoring sehr gut geeignet (vgl. Debus et al. 1989). Durch das Ausbringen bestimmter Pflanzen als Bioindikatoren (Grünkohl für Schwermetalle und Organika, Klon-Fichten für die gleiche Stoffpalette, Tabak und/oder Brennessel für Ozon, Weidelgras für Schwermetalle, Weizen für Organika und besonders Schwermetalle) in Einheitssubstrat sowie an einem Vergleichsstandort mit gereinigter Luft, könnte der Luftpfad quantifiziert werden. Eine Anpflanzung der gleichen Bioindikatoren im Standortboden könnte über einen Vergleich den Bodenpfad für Schwermetalle und Organika quantifizieren. Wichtig wäre noch zu unterscheiden zwischen humusarmen Sandböden mit saurem pH-Wert und humusreichen Lehmböden mit annähernd neutraler Bodenreaktion.

Die potentielle Verlagerbarkeit organischer Verbindungen, besonders von PCDD/F, und Schwermetalle sollte an möglichst ungestörten, älteren (>50 Jahre) Standorten (z.B. BAB 8) mit relativ hohen Bodenkonzentrationen überprüft werden. Untersuchungen mittels Lysimeter könnten Aufschlüsse über die Belastung des Sickerwassers geben.

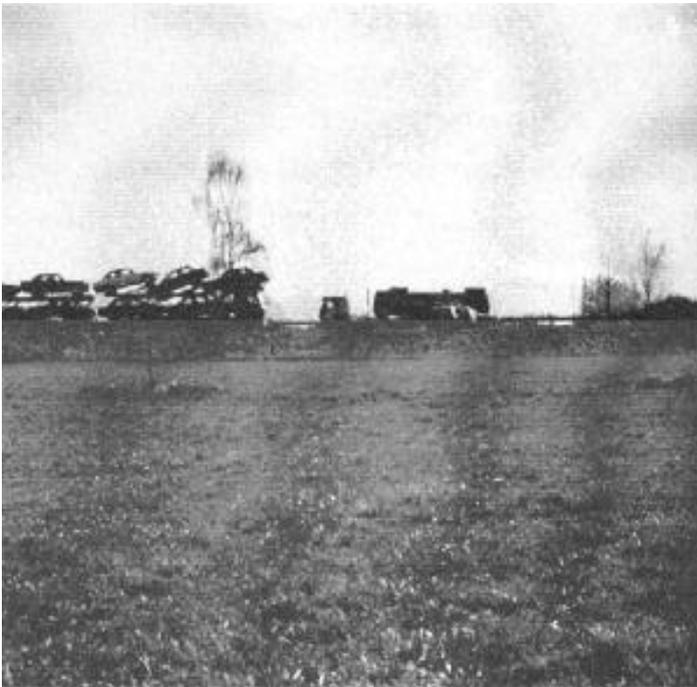
An sehr stark befahrenen Straßen wäre eine detaillierte PHDD/F-Analytik dringend zu empfehlen. Die bromierten und gemischt-halogenierten Dioxine und Furane wurden bisher in noch geringerem Umfang analysiert als die chlorierten Verbindungen.

Außerdem wäre im Sinne einer gezielten Quellenanalyse (Abgase, Motorenöle, Reifen- und evtl. Fahrbahnabrieb etc.) die Analytik nicht nur der Tetra- bis Octa-CDD/F, sondern auch der Mono- bis Tri-CDD/F angebracht. Mit deren Hilfe lassen sich Quellen besser spezifizieren. Für die genannten potentiellen Dioxin- und Furanquellen (nicht nur Kfz-Abgase) wären z.T. noch Leitparameter bzw. Kongenerenprofile zu ermitteln.

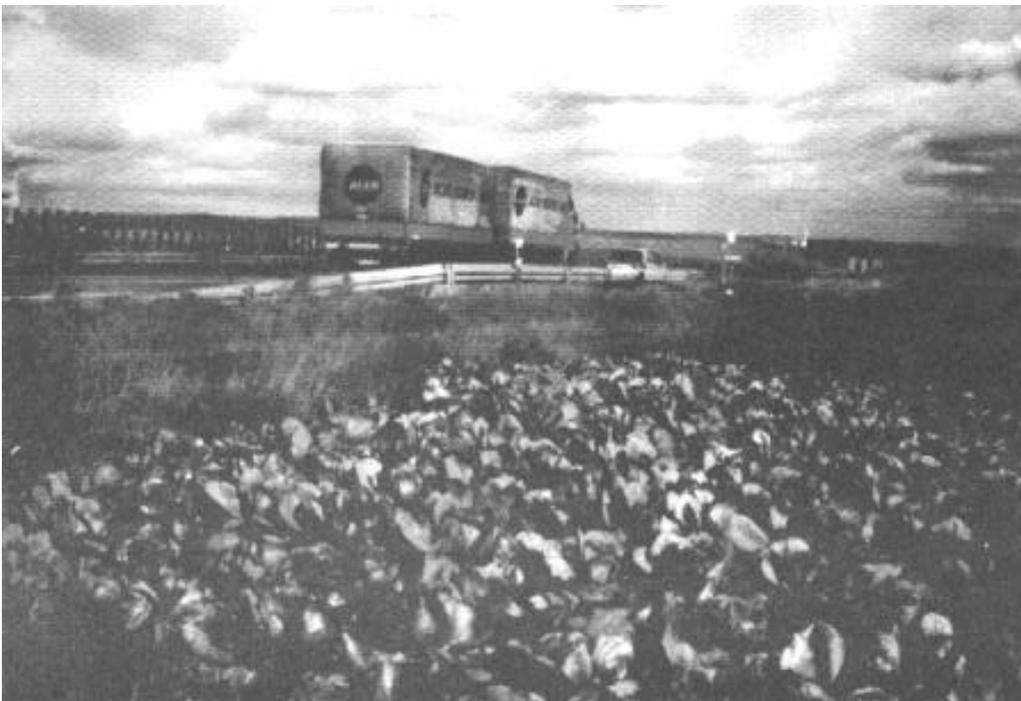
Inwieweit das im Sommer 1992 in Kraft getretene Verbot für Scavenger eine Reduzierung der PCDD/F-Gehalte besonders in straßennahen Pflanzen auswirkt, wäre bezüglich der PCDD/F-Einträge in die Nahrungskette von besonderem Interesse.

Generell könnte eine neu eröffnete bzw. noch junge Straße über die Auswirkungen der Pb- und PCDD/F-Reduzierung Auskunft geben. Diese könnte als Dauerbeobachtungsfläche mit Bodenanalysen in 5-Jahres-Abständen sowie jährlichen Pflanzenanalysen, unter Berücksichtigung der Konzentrationsveränderungen während der Vegetationsperiode, dienen. Eine Untersuchung der zeitlichen Entwicklung der Stoffanreicherung in Böden würde eine bessere Abschätzung der Belastungssituation an nicht untersuchten Straßen erlauben.

**Bild 2:** Hohes Schwerverkehrsaufkommen an der BAB 5 bei Offenburg und Weidenutzung ab etwa 10 m Fahrbahntfernung:



**Bild 3:** Kritischer Anbau von Nahrungspflanzen an der BAB 8 bei Stuttgart bis etwa 5 m Fahrbahnabstand:



## 10. Zusammenfassung

Die Empfindlichkeit von Grünlandökosystemen in Straßennähe, besonders unter Weidenutzung, wird dokumentiert. Die Kfz-Emissionen lagern sich in den obersten Bodenschichten ab. Durch eine Anreicherung in und auf Pflanzen sowie infolge Bodenaufnahme durch Weidetiere können diese über die Nahrungskette zurück zum Menschen gelangen.

Aufgrund einer Literaturrecherche und eines Screenings wurden von den Schwermetallen Blei (Pb), Cadmium (Cd), Zink (Zn) und Kupfer (Cu) sowie von den organischen Verbindungen Mineralöl-Kohlenwasserstoffe (CnHm), polyzyklische Aromaten (PAK), polychlorierte Biphenyle (PCB) und polychlorierte Dibenzopdioxine und Dibenzofurane (PCDD/F) als kfz-relevante Immissionen in straßennahe Böden und Aufwuchs erachtet. Auf die Notwendigkeit zusätzlicher Untersuchungen zur Identifikation weiterer Stoffgruppen wird verwiesen.

Ein besonderes Augenmerk galt den ökotoxischen organischen Verbindungen. Hier standen die PCDD/F im Mittelpunkt der Betrachtungen.

Das System 'Boden-Pflanze' stellt einen zentralen Regelungsmechanismus für potentielle Schadstoffe innerhalb der Nahrungskette dar. Verkehrsstrasse und Nahrungs- bzw. Futtermittelproduktion in unmittelbarer Nachbarschaft zueinander (Nutzungsbeginn ab 5 bis 15 m Fahrbahnabstand) führen i.d.R. zu Nutzungskonflikten.

Zwar wurden für Futtermittel keine Grenzwertüberschreitungen ermittelt, doch erhöhte und z.T. kritische Gehalte konnten bis 100 m Fahrbahnabstand nachgewiesen werden. Bei Pb ist eine deutliche Konzentrationsreduzierung im Grünlandaufwuchs gegenüber früheren Untersuchungen aufgrund des geringeren Anteils an bleihaltigen Kraftstoffen zu verzeichnen. Während die Pflanzen eher den 'aktuellen Stoffeintrag' in Ökosystemen wiedergeben, dokumentieren Böden die Gesamtbelastung über mehrere Jahrzehnte (historischer Gesamteintrag in Ökosysteme).

Die Bodengehalte nehmen generell von 0 bis 2.5 m Fahrbahnabstand relativ rasch ab, um dann weniger stark in 5 bis 10 m Entfernung den Bodengrenzwert der Klärschlammverordnung (Schwermetalle) bzw. Richt- und Orientierungswerte (organische Verbindungen) i.d.R. zu unterschreiten. Leicht erhöhte oder sogar überhöhte Bodenwerte können besonders dann auftauchen, wenn zusätzlicher Emittenteneinfluß (außer Kfz-Verkehr) bzw. ein hoher Hintergrundgehalt gegeben ist.

Blei, Kupfer und Zink zeigen deutliche Konzentrationszunahmen von Gehalten im Bereich der Hintergrundgehalte bis zu überhöhten Gehalten in Fahrbahnnähe (ab ca. 50.000 Kfz/Tag) mit Grenzwertüberschreitungen in Böden um den Faktor 4 (Zn), 5 (Cu) und 9 (Pb). Dies betrifft allerdings nur in Ausnahmefällen nutzungsrelevante Bereiche.

Cadmium kann an sehr stark befahrenen Straßen (ab 50.000 Kfz/Tag) unter bestimmten Umständen noch in >50 m Fahrbahnabstand den neuen Bodengrenzwert von 1,0 bzw. 1,5 mg/kg erreichen bzw. sogar überschreiten. In Fahrbahnnähe kommt es zu einer Grenzwertüberschreitung um den Faktor 4 bis 7.

Die Elemente Cr und Ni zeigen keine kfz-bedingten Grenzwertüberschreitungen in straßennahen Böden.

Der Orientierungswert von 100 mg/kg Mineralöl-Kohlenwasserstoffe wird an sehr stark befahrenen Straßen ab ca. 5 m Abstand unterschritten.

Zu einer Überschreitung von PAK-Orientierungswerten (Summe von 6 PAK) kommt es in nutzungsrelevanten Bereichen nicht. Auf die Besonderheit von Asphaltstraßen bezüglich der PAK-Bodengehalte wird hingewiesen.

Ein PCB-Gehalt (6 Ballschmitter-Kongenere) von  $<0,05$  mg/kg Boden wird an sehr stark befahrenen Straßen spätestens ab 5 m Abstand erreicht.

Der vom Bundesgesundheitsamt empfohlene PCDD/F-Bodenrichtwert für eine uneingeschränkte Nutzung von 5 ng TE/kg wird an sehr stark befahrenen Straßen ab 10 m Abstand unterschritten. Der Richtwert für eine eingeschränkte landwirtschaftliche Nutzung von 40 ng TE/kg Boden wird spätestens in 5 m Fahrbahntfernung nicht mehr erreicht (TE-BGA und ITEF). Eine Äquivalentberechnung mit halber Bestimmungsgrenze wurde berücksichtigt.

Für landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzte Böden ist an stark befahrenen Straßen ein Abstand von 10 m zur Fahrbahn das Minimum. Die Auswirkungen von Kfz-Emissionen auf pflanzliche Futter- und Nahrungsmittel müßten intensiver untersucht werden, um den letztendlich notwendigen Sicherheitsabstand zur Gewährleistung einer qualitativ einwandfreien und gesundheitlich unbedenklichen Bodennutzung herauszufinden.

Durch den Schutz von Straßenrandgehölzen kann für Schwermetalle und organische Verbindungen in Böden und Grünlandaufwuchs eine mittlere Reduzierung um 30 % gegenüber freier Ausbreitungsmöglichkeit der Immissionen erreicht werden. Vor den schützenden Hecken und Bäumen kommt es allerdings zu einer Erhöhung um etwa den gleichen Anteil.

In Bodenprofilen direkt am Fahrbahnrand (50.000 Kfz/Tag 1990) sinken die Gehalte an Schwermetallen von Anreicherungen um die Faktoren 47(Pb), 42(Cu), 22(Cd) und 16(Zn) auf 'normale' Bodenkonzentrationen in 40-50 cm Tiefe. Die organischen Verbindungen zeigen sehr ähnliche Tiefenfunktionen, geringe Verlagerungstendenzen konnten aufgezeigt werden. Die PCDD und PCDF sind in den Oberböden jeweils um den Faktor 30 höher als in 40-50 cm Tiefe.

Die Gehalte sinken von 23,0 auf 0,1 ng TE/kg (ITEF). In einem überdeckten, ebenfalls straßennah gelegenen Oberboden kommt es generell zu einem Konzentrationsanstieg, besonders bei den PAK (16 nach EPA) mit 11 mg/kg Boden, bei PCDD/F mit 8,6 ng TE/kg (ITEF).

Für PCDD/F in straßennahen Böden konnten kostengünstige Leitparameter ermittelt werden. Besonders Blei, aber auch Zink, Mineralöl-Kohlenwasserstoffe, in geringerem Maße Kupfer und Cadmium, zeigen hochsignifikante Korrelationen mit PCDD/F-Gehalten in Böden. Mit sehr großer Wahrscheinlichkeit kann angenommen werden, daß die Einhaltung des Blei-Grenzwertes für landwirtschaftlich genutzte Böden von 100 mg/kg mit einer Unterschreitung des Richtwertes von 5 ng TE/kg für Dioxine und Furane einhergeht.

Aufgrund dieser Zusammenhänge können Rückschlüsse auf das durchschnittliche Verkehrsaufkommen für die Akkumulation kritischer PCDD/F-Gehalte gezogen werden. In 0.1 m Entfernung liegt es bei etwa 8.000 Kfz/Tag, in 1.0 m Entfernung bei ca. 17.000 Kfz/Tag, in 2.5 m Fahrbahntfernung bei ca. 22.000 Kfz/Tag und in 5.0 m Entfernung bei etwa 39.000 Kfz/Tag. Ab 10 m Abstand kommt es grundsätzlich zu keinen Grenzwertüberschreitungen für Blei und damit auch zu keiner Überschreitung des Richtwertes für Dioxine und Furane.

Die Untersuchung von Hainbuchenblättern von Gehölzstreifen auf Schwermetalle erfolgte im August und Oktober. Die Anreicherungen während einer langandauernden niederschlagsfreien Periode sowie der Abwaschungseffekt durch einsetzende Niederschläge wurden untersucht. Bei den Elementen Blei, Kupfer, Zink und Nickel kommt es infolge der Abwaschung kontaminierter Staubpartikel zu Reduzierungen um etwa 20 %.

Im Schwemmaterial (Straßensediment) kommt es an sehr stark befahrenen Straßen zu Anreicherungen um den Faktor 6 bis 16 bei Schwermetallen und bis um den Faktor 4 bis 90 bei organischen Verbindungen gegenüber weniger stark befahrenen Straßen.

## 11. Literaturverzeichnis

- /1/ Akeredolu,F. (1989): Atmospheric Environment Problems in Nigeria - An Overview.- Atmos.Envirou., 23 Nr.4: 783-792
- /2/ Beck,H. (1990): Dioxine in Lebensmitteln.- Bundesgesundheitsblatt 3/90: 99-104
- /3/ Bilitewski,B., A.Gewiese, G.Härdtle und K.Marek (1990): Bauschutt- und Asphaltrecycling.- Beihefte zu Müll und Abfall 30: 1-95
- /4/ Blume,H.-P. [Hrsg.] (1990): Handbuch des Bodenschutzes.ecomed-Verlag Landsberg/Lech, 686 S.
- /5/ Blume,H.-P. und Brümmer,G. (1987): Prognose des Verhaltens von Schwermetallen in Böden mit einfachen Feldmethoden.- Mitteilungen d. Dt. Bodenkdl. Ges. 53: 111-117
- /6/ Blumer,M., W.Blumer und T.Reich (1977): Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soils of a Mountain Valley - Correlation with Highway Traffic and Cancer Incidence.- Environ.Sci. Technol., 11 Nr. 12: 1082-1084
- /7/ BKK3 (1982), Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde der Geologischen Landesämter der BR Deutschland: Bodenkundliche Kartieranleitung.- 3.Aufl., 331 S., Hannover
- /8/ Bröker,G., B.Schilling und P.Kirschmer (1990): Chlorierte und bromierte Dioxine und Furane aus Kraftfahrzeugen.- Aus der Tätigkeit der LIS 1989: 31-34
- /9/ Broman,D., C.Naef, C.Rolff und Y.Zebühr (1990): Analysis of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins (PCDD) and Polychlorinated Dibenzofurans (PCDF) in Soil and Digested Sewage Sludge from Stockholm, Sweden.- Chemosphere, 21, Nr.10-11: 1213-1220
- /10/ BodSchG B-W (1991) - Gesetz zum Schutz des Bodens (Bodenschutzgesetz) Baden-Württemberg vom 20. Juni 1991.- Gbl.: 434-440
- /11/ Bodenschutzprogramm '86 Baden-Württemberg vom 1.12.1986
- /12/ Brunner,P.G. (1975): Die Verschmutzung des Regenabflusses im Trennverfahren.- Ber. aus Wassergütwirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen TU München, H.9
- 13/ BGA/UBA - Bundesgesundheitsamt/Umweltbundesamt (1990): Dioxinsymposium und Anhörung.- Erster Sachstandsbericht und Maßnahmenkatalog, 41 S.
- /14/ 19.BImSchV (1992): Verordnung über Chlor- und Bromverbindungen als Kraftstoffzusatz.- Bundesgesetzblatt Teil I, Nr.3: 75
- /15/ Burguera,J.L., M.Burguera und C.Rondon (1988): Lead in Roadside Soils of Merida City, Venezuela.- Sci.Total Environ. 77: 45-49
- /16/ Candeli,A., G.Morozzi und L.Zoccolillo (1977): Effect of Fuel Composition on the Emission of Phenols in the Exhaust Gas from a European Car.- Zbl.Bakt.Hyg., I.Abt.Orig.B 164: 303-313
- /17/ Christmann,W., W.Rotard, A.Lattner, W.Mann, A.Reichert, S.Reiß und V.Schinz (1987): Analytical Procedure in the Analysis of Mineral Oils and Related Matrices for PCDD an PCDF.- Chemosphere 16, Nr.8/9: 1649-1653
- /18/ Collin,G. und H.Köhler (1977): Steinkohlenteerpech.- Erdöl u.Kohle ver.m. Brennst.-Chemie 30, H.6: 257-263
- /19/ Däßler,H.-G. (1991): Einfluß von Luftverunreinigungen auf die Vegetation.- G.Fischer Verlag Jena, 266 S.
- /20/ Debus,R., B.Dittrich, P.Schröder und J.Volmer (1989): Biomonitoring organischer Luftschadstoffe - Aufnahme und Wirkung in Pflanzen - Literaturstudie.- ecomed Verlag Landsberg /Lech, 64. S.

- /21/ DIN 38 409 Teil 18 (1981): Bestimmung von Kohlenwasserstoffen
- /22/ Delschen, T., D. Hein, G.H.M. Krause und P. Fürst (1992): PCDD/F-Gehalt von Grünlandaufwuchs.- UWSF-Z. Umweltchem. Ökotox. 4 (2): 102
- /23/ Dinter, S. und K. Moritz (1989): Untersuchungen zur Schnittgutverwertung.- Forsch. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen Nr.7, 90 S.
- /24/ Dörr, H., K.O. Münnich, A. Mangini und W. Schmitz (1990): Gasoline Lead in West German Soils.- Naturwiss. 77: 428-430
- /25/ Dulson, W. (1986): Kohlenwasserstoff-Immissionen in Köln.- in Seifert, B.: Luftverunreinigungen durch Kraftfahrzeuge.- Schr.Reihe WaBoLu 67: 185-198
- /26/ Eikmann, Th. und A. Kloke (1991): Nutzungs- und schutzbezogene Orientierungswerte für (Schad-)Stoffe in Böden.- in Rosenkranz, Einsele, Harreß: Bodenschutz - Ergänzendes Handbuch: 8781
- /27/ Einax, J., B. Machelett und K. Danzer (1991): On the Description of Lead Pollution in Plants Caused by Traffic under Application of Robust Statistics.- Fresenius J. Anal. Chem., 339 Nr. 3: 169-172
- /28/ Eßer, J. (1982): Untersuchungen über die Abgasbelastung an Autobahnen in Abhängigkeit von der Meteorologie sowie dem strassennahen Umfeld.- BASt 47 S.
- /29/ Fidora, B. (1972): Der Bleigehalt von Pflanzen verkehrsnaher Standorte in Abhängigkeit von der Vegetationsperiode.- Ber. Deutsch. Bot. Ges., 85 Nr. 5/6: 219-227
- /30/ Fischer, P. und M. Jauch (1987): Schwermetallbelastung von Böschungsmähgut in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen. VDLUFA-Schr. Reihe, 23. Kongreßband 1987: 1015-1027
- /31/ Fiedler, H. und W. Mücke (1990): Nitro-PAK aus Verbrennungsmotoren - Analytik und Emissionsverhalten.- UWSF-Z. Umweltchem. Ökotox. 2 (4): 170-176
- /32/ Fiedler, H., O. Hutzinger und A. Kaune (1991): Literaturstudie: Polychlorierte Dibenz-p-dioxine und Dibenzofurane (PCDD/PCDF).- Organohalogen Compounds Vol.5, 87 S.
- /33/ Fleischmann, S. und B.M. Wilke (1991): PAKs in Straßenrandböden. Mitteilungen d. Dt. Bodenkdl. Ges. 63: 99-102
- /34/ Freeman, R.A. und J.M. Schroy (1985): Environmental Mobility of TCDD.- Chemosphere Vol.14, Nr.6/7: 873-876
- /35/ Früchtenicht, K. und H. Vetter (1982): Charakterisierung der Schwermetallbelastung durch Messung der Schwermetallgehalte in Pflanzen.- Landwirtsch. Forsch., Sonderh. 39, Kongreßband 1982: 154-164
- /36/ FVO (1981): Futtermittelverordnung v. 08.04.1981.- Bundesgesetzblatt Teil I: 352-367; Ergänzungen aus dem Entwurf einer 6.VO zur Änderung der FVO, Stand 01.10.1987
- /37/ Gäth, S., M. Sternheim und H.-G. Frede (1990): Einfluß des Kraftfahrzeugverkehrs auf den Schwermetallgehalt von Straßenabflußwasser.- Forum Städte-Hygiene 41: 235-238
- /38/ Golwer, A. und W. Schneider (1983): Untersuchungen über die Belastung des unterirdischen Wassers mit anorganischen toxischen Spurstoffen im Gebiet von Straßen. Untersuchungen über die Belastung des Grundwassers mit organischen Stoffen im Bereich von Straßen. Forsch. Straßenbau und Straßenverkehrstechnik H.391, 47 S.
- /39/ Grimmer, G., H. Böhnke und A. Glaser (1977): Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe im Abgas von Kraftfahrzeugen. Erdöl u. Kohle - Erdgas - Petrochem. ver.m. Brennst.Chemie, 30 Nr.9: 411-417
- /40/ Grünhage, L., U. Hertstein, U. Dämmgen und H.J. Jäger (1992): Arbeits- und Meßkonzept zur Beurteilung möglicher Wirkungen luftgetragener Stoffe im Ökosystem Grünland.- in

- Grünhage, L. und H.J. Jäger (Hrsg.): Auswirkungen luftgetragener Stoffe auf ein Grünlandökosystem - Ergebnisse siebenjähriger Ökosystemforschung - Teil I, Landbauforschung Völkensrode, Sonderh.128: 16-32
- /41/ Hachen, J. (1985): Verwertung von festen Verbrennungsrückständen.- LWA-Materialien Nr.4: Beseitigung und Verwertung von festen sowie flüssigen Rückständen bei kohlebefeuerter Kraftwerken und bei Abfallverbrennungsanlagen.- S.159-175
- /42/ Hagenmaier, H. (1987): Belastung der Umwelt mit Dioxinen.- Institut für Organische Chemie, Universität Tübingen, zit. in: Kaune, A. und H. Fiedler: Ein Überblick über Eintrag und Verhalten von PCDD/F in Böden.- Organohalogen Compounds 7: 275-284
- /43/ Hagenmaier, H. (1989): Polychlorierte Dibenzodioxine und polychlorierte Dibenzofurane - Bestandsaufnahme und Handlungsbedarf.- VDI-Berichte 745: 939-978
- /44/ Hagenmaier, H., N. Dawidowsky, U. Weberruß, O. Hutzinger, K.H. Schwind, H. Thoma, U. Essers, U. Bühler und R. Greiner (1990): Emission of Polyhalogenated Dibenzodioxins and Dibenzofuranes from Combustion-Engines.- Organohalogen Compounds vol.2: 329-334
- /45/ Harres, H.P., H. Friedrich, M. Höllwarth und O. Seuffert (1985): Schwermetallbelastung städtischer Böden und ihre Beziehung zur Bioindikation.- Geol.Jb.Hessen 113: 251-270
- /46/ Heinrich, G. und H. Güsten (1978): Belastung der Atmosphäre durch polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe und Blei im Raum Karlsruhe.- Staub-Reinhalt.Luft 38 Nr.3: 94-100
- /47/ HLFU - Hessische Landesanstalt für Umwelt (1991): Dioxine und Furane in der hessischen Umwelt.- Schr.Reihe der HLFU 126, 154 S.
- /48/ Hembrock-Heger, A. (1990): PCDD/F-Levels in Soils and Plants of Northrhine-Westfalia.- Organohalogen Compounds Vol.1: 475-478
- /49/ Ho, Y.B. und K.M. Tai (1988): Elevated Levels of Lead and other Metals in Roadside Soil and Grass and their Use to Monitor Aerial Metal Depositions in Hongkong.- Environ.Poll., 49, Nr.1: 37-51
- /50/ Hoffmann, G., W. Scholl und A. Trenkle (1989): Schadstoffbelastung von Böden durch Kraftfahrzeugverkehr.- Agrar- und Umweltforschung in Baden Württemberg, 19, 103 S.
- /51/ Hurre, H. (1983): Über den Einfluß des früheren Bergbaus auf die Schwermetallgehalte in den Bachsedimenten des Südschwarzwaldes.- Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, H. 25: 43-54
- /52/ Hüttermann, A., D. Loske und A. Maicherzyk (1989): Biologischer Abbau von Organohalogenverbindungen im Boden, Wasser und in der Abluft.- VDI-Berichte 745: 911-926
- /53/ Hutzinger, O., H. Hagenmaier, U. Essers, E. Bessy, K.H. Schwind, H. Thoma, N. Dawidowsky, U. Weberuß, U. Betz, U. Bühler, und R. Greiner (1992): Untersuchungen zur Emission halogener Dibenzodioxine und Dibenzofurane aus Verbrennungsmotoren beim Betrieb mit handelsüblichen Betriebsstoffen.- Abschlußbericht BMFT, Dtsch. Wiss. Ges. f. Erdöl, Erdgas u. Kohle e.V. und der Forsch. Ver. Verbrennungskraftmaschinen e.V., 224 S.
- /54/ Israel, G., R. Freise und H.W. Bauer (1986): Der Verkehrsanteil an der Immission von Gesamtstaub und PAKs in deutschen Großstädten.- in Seifert (1986) s. Lit. Dulson (1986)
- /55/ Jäger, J., M. Wilken und B. Zeschmar-Lahl (1991): Dioxin- und Furan-Emissionen in Berlin - Eine Hochrechnung - Organohalogen Compounds Vol.7: 179-190
- /56/ Joneck, M. und R. Prinz (1991): Dioxine in Böden Bayerns.- GLA-Fachberichte 7, 58. S.
- /57/ Jost, P. (1984): Modellierung von Ausbreitungsverhältnissen für Kfz-Emissionen in Straßen.- Staub-Reinhalt.Luft 44 Nr.9:383-386
- /58/ Kampe et al. (1988): Organische Schadstoffe in Böden und Pflanzen nach langjährigen, intensiven Klärschlammanwendungen.- VDLUFA Schr.Reihe, 23: 507-532

- /59/ Kasperowsky, E. und E. Frank (1990): Bodenbelastung durch Kfz- Verkehr am Beispiel der Tauernautobahn-Scheitelstrecke. VDI-Berichte 837: 197-208
- /60/ Kaune, A. und H. Fiedler (1991): Ein Überblick über Eintrag und Verhalten von PCDD/F in Böden.- Organohalogen Compounds Vol.7: 275-284
- /61/ Kietiwong, S., L.V. Nguyen, V.R. Hebert, M. Hackett, G.C. Miller, M.J. Miille und R. Mitzel (1990), Environ.Sci.Technol. 24: 1575-1580, zit. in Kaune, A. u. H. Fiedler (1991)
- /62/ Klärschlammverordnung (1992): AbfklärV vom 15. April 1992, Bundesgesetzblatt, Teil I: 912-934
- /63/ Kloke, A. und K. Riebartsch (1964): Verunreinigungen von Kulturpflanzen mit Blei aus Kraftfahrzeugabgasen.- Naturwiss. 51, Nr. 15: 367-368
- /64/ Kloke, A. (1980): Richtwerte '80 - Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturböden. Mitt. VDLUFA, H. 1-3: 9-11
- /65/ König, W. und A. Hembrock (1989): Vorkommen und Transfer persistenter chlorierter Schadstoffe in Böden, Nutzpflanzen und Nahrung.- VDI-Berichte 745: 423-439
- /66/ König, W. (1990): Untersuchung zur Beurteilung von Kulturböden bei der Gefährdungsabschätzung von Altlasten.- in: Rosenkranz, Einsele, Harreß: Bodenschutz Ergänzendes Handbuch: 3550
- /68/ Kördel, W. und U. Wahle (1990): Pilotprojekt zur Entwicklung eines allgemeingültigen Analyse-schemas für organische Chemikalien im Boden.- Forschungszentrum Jülich GmbH: Bodenbelastung und Wasserhaushalt, Jülich Spezial 560, 88 S.
- /69/ Kowalewsky, H.H. und H. Vetter (1982): Möglichkeiten zur Herabsetzung der Schwermetallbelastung in Futter und Nahrung.- Landwirtsch.Forsch. 35: 165-175
- /70/ Korte, F., P. Spitzauer, U. Dörfler und M. Spitzauer (1987): Wirkungsuntersuchungen für die Belastungsgebiete Erlangen-Fürth-Nürnberg und Ingolstadt-Neustadt-Kehlheim - Teil II: Monographien, Literatur.- Hrsg.: Bayer. Staatsmin. für Landesentwicklung und Umweltfragen, Materialien 48 Bd.2,
- /71/ Kuhlmann, F. (1985): Zum Vorkommen von polychlorierten Biphenylen und Polychlordibenzodioxinen/-furanen in Alt- und Motorenöl.- Müll und Abfall 12: 412-417
- /72/ Kunte, H. (1977): PAK in landwirtschaftlich genutzten Böden. Zbl. Bakt. Hyg., I. Abt. Orig. B 164: 469-475
- /73/ Krauth, K. [Hrsg.] (1979): Beeinflussung der Gewässergüte durch die Regenabflüsse von Straßen.- Stuttgarter Ber. zur Siedlungswasserwirtschaft Bd.64
- /74/ Krauth, H. und H. Klein (1982): Untersuchungen über die Beschaffenheit des Oberflächenwassers von Bundesautobahnen.- Forsch. Straßenbau und Straßenverkehrstechnik H.363, Bonn
- /75/ Lahmann, E., I. Steinbach, L. Zhao, W. Siggelkow und B. Seifert (1984): Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe in der Stadtluft von Berlin (West).- WaBoLu-Hefte 1/84
- /76/ Lehmann, E., J. Auffarth und J. Häger (1984): Bestimmung ausgewählter PAKs in Steinkohlenteer-, -teerpech- und teerölhaltigen Produkten.- Staub-Reinhalt. Luft 44, 10: 453-455
- /77/ LfU - Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Arbeitsgruppe Bodenschutz (1989): Dioxinbelastung von Böden durch Straßenverkehr.- Sachstandsber.1
- /78/ LfU (1990): Schwermetallgehalte von Böden aus verschiedenen Ausgangsgesteinen in Baden-Württemberg.- Sachstandsber.4
- /79/ LfU (1992): mündliche Mitteilung

- /80/ Landtag von Baden-Württemberg (1991), Drucksache 10/5673 vom 07.08.1991, Kleine Anfrage und Antwort: Umgang mit belasteten Böden im unmittelbaren Randbereich vielbefahrener Straßen.- 4 S.
- /81/ Lawrey, J.D. und M.E.Hale (1988): Lichen Evidence for Changes in Atmospheric Pollution in Shenandoah National Park, Virginia.- The Bryologist, 91, Nr. 1: 21-23
- /82/ Leh, H.-O. (1966): Verunreinigungen von Kulturpflanzen mit Blei aus Kraftfahrzeugabgasen.- Gesunde Pflanze 18, H.2: 21-24
- /83/ Lichtenthäler, U. und O.Reutter (1987): Die Seitenstreifen-Altlast - indirekte Flächeninanspruchnahme des Kraftfahrzeugverkehrs durch Schadstoffbelastung der Böden entlang von Straßen.- ILS-Schriften 7: 56-64, Dortmund
- /84/ Lux, C. (1986): Einfluß der atmosphärischen Verunreinigungen und Verkehrsbelastungen auf den Schmutzvorrat auf Oberflächen unterschiedlicher Einzugsgebiete.- Dipl.Arbeit Inst. Für Wasserwirtschaft, Uni Hannover, zit. in Schönberger, H. (1990)
- /85/ Mayer, R. (1984): Veränderungen von Bodeneigenschaften durch Luftverunreinigungen.- Z.f.Kulturtechn.u.Flur. 25: 214-226
- /86/ Miller, G.C., V.R.Hebert, M.J.Miille, R.Mitzel und R.G.Zepp(1989), Chemosphere 18: 1265-1274, zit. in Kaune, A. u. H.Fiedler (1991)
- /87/ MfU B-W, Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg (1991): Richtwerte für dioxinbelastete Böden.- Erlaß vom 01.10.1992
- /88/ MURL NRW, Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft Nordrhein-Westfalen (1991): NRW-Meßprogramm, Chloraromaten - Herkunft und Transfer.- 374 S.
- /89/ Münch, D. (1990): Bodenkontamination durch polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe und Schwermetalle unter Asphaltstraßen.- INFU Werkstattreihe H.20, 128 S.
- /90/ Münch, D. (1992): Naturschutzgebiete in der Großstadt und ihre Bodenkontamination durch polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH).- Natur und Landschaft 67, H.4: 153-157
- /91/ Muschak, W. (1988): Belastung des Gewässers durch Straßenoberflächenwasser.- Umweltbundesamt Berlin
- /92/ Muschak, W. (1989): Straßenoberflächenwasser - eine diffuse Quelle der Gewässerbelastung.- Vom Wasser 72: 267-282
- /93/ Neidhard, H. (1990): Modellrechnung zur potentiellen Dioxinbelastung des Menschen über den Weidepfad.- Unveröffentlicht zit. in Schulz (1992) s.u.
- /94/ Neumann, H.J. und D.T.Kaschani (1977): Bestimmung und Gehalt von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in Bitumen.- Wasser, Luft und Betrieb 21
- /95/ NL - Niederländische Liste (1988), zit. in: Bavinck, H.F. (1989): The Dutch Reference Values for Soil Quality.in: Dechema-Fachgespräche Umweltschutz (1989): 87-95
- /96/ Okamoto, S., M.Hayashi, M.Nakajima, Y.Kainuma und K.Shiozawa (1990): A Factor Analysis-Multiple Regression Model for Source Apportionment of Suspended Particulate Matter.- Atmos.EnvIRON. Bd.24A, Nr.8: 2089-2097
- /97/ Ottow, J.C.G. (1991): Mikrobiologische und chemisch-physikalische Wechselwirkungen beim Abbau organischer Schadstoffe in Böden.- Mitteilungen d. Dt. Bodenkdl. Ges. 63: 19-25
- /98/ Pläßmann, E. (1986): Abgas-Emissionen des Kfz-Verkehrs.- in Seifert, B. [Hrsg.] (1986), s. Lit. Dulson (1986)

- /99/ Puchelt,H., U.Kramar, G.L.Cumming, D.Krstic, T.Nöltner, M.Schöttle und V.Schweikle (1991): Anthropogenic lead contamination of soils - lead mobility and isotopic recognition - Applied Geochemistry Suppl.2, im Druck
- /100/ Radtke,U., R.Gaida und K.-H.Sauer (1990): Verteilung von Blei und Zink in autobahnnahen Podsolen und Parabraunerden.- VDI-Berichte 837: 129-150
- /101/ Reinirkens,P. (1990): Zur Erfassung verkehrsbedingter Emissionen in straßenbegleitenden Böden und deren Auswirkungen auf das Sickerwasser.- VDI-Berichte 837: 783-797
- /102/ Rentschler,I. (1981): Der Blei- und Bromgehalt verschiedener Pflanzen an einem verkehrsreichen Standort.- Staub - Reinhalt. Luft, 41, Nr.3: 98-102
- /103/ RAL - Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V. (1992): Güte- und Prüfbestimmungen für die Aufbereitung zur Wiederverwendung von kontaminierten Böden und Bauteilen.- RAL - RG 501/2 (Ausgabe August 1991) in:Rosenkranz, Einsele, Harreß: Bodenschutz – Ergänzendes Handbuch: 9500
- /104/ Rippen,G., R.Gihr, I.Renner und W.Klöppfer (1992): Polychlorierte Dibenzop-dioxine und Dibenzofurane (PCDD/F) - Bodenbelastung durch Abfallverbrennung, Kraftfahrzeugverkehr, landwirtschaftliche Klärschlammnutzung, Kleinf Feuerungsanlagen und photochemische Prozesse.- UWSF-Z. Umweltchem.Ökotox. 4 (1): 30-35
- /105/ Rotard,W., W.Christmann, A.Lattner, W.Mann, A.Reichert, S.Reiss und V.Schinz (1987): Occurrence of PCDD and PCDF in Motor Oils and Contaminated Soils.- Chemosphere 8/9 (16): 1847-1849
- /106/ Rübelt,C., R.Schweisfurth und W.Zimmermann (1967): Experimentaluntersuchungen über die Verschmutzung von Grundwasser durch Mineralölprodukte.- gwf-Wasser/Abwasser 108, H.32: 893-900
- /107/ Sauerbeck,D. (1989): Der Transfer von Schwermetallen in die Pflanze.- in: Dechema-Fachgespräche Umweltschutz: Beurteilung von Schwermetallkontaminationen im Boden: 281-316
- /108/ Scheffer/Schachtschabel; Schachtschabel,P., H.-P.Blume, G. Brümmer, K.-H.Hartge und U.Schwertmann (1989): Lehrbuch der Bodenkunde.- 12., neu bearbeitete Auflage, 491 S., Enke Verlag Stuttgart
- /109/ Schmid,G., A.Rosopulo und H.Weigelt (1974): Grundsatzfragen einer gesunden Ernährung; Mitteilungen II: Einfluß von Kraftfahrzeugabgasen auf den Blei- und Cadmiumgehalt von Grünfütter, Milch und Exkrementen.- Landwirtsch. Forsch.,Sonderh. 31, Kongreßband 1974: 150-159
- /110/ Schönberger,H. (1990): Klärschlamm - Kontamination auf Raten.- Institut für ökologisches Recycling, Berlin, 217 S.
- /111/ Schulz,D. (1992): Dioxine im Boden.- in: Rosenkranz, Einsele, Harreß: Bodenschutz - Ergänzendes Handbuch: 1700
- /112/ Schürmann,D., H.Klingenberger, K.-H.Lies und J.Schulze (1989): Nicht limitierte Automobil-Abgaskomponenten.- Automobil- Industrie 5/89: 637-654
- /113/ Schwind,K.H., H.Thoma, O.Hutzinger, N.Dawidowsky, U.Weberuß, H.Hagenmaier, U.Bühler, R.Greiner, U.Essers und E.Bessey (1991):Emission halogener Dibenzdioxine (PXDD) und Dibenzofurane (PXDF) aus Verbrennungsmotoren.- UWSF - Z. Umwelt- chem. Ökotox. 3 (5): 291-298
- /114/ Shiu,W.Y., W.Doucette, F.A.P.C.Gobas, A.Andren und D.Mackay (1988): Physical-Chemical Properties of Chlorinated Dibenzodioxines.- Environ.Sci.Technol. 6 (22): 651-656
- /115/ Spilok,G. (1992): Bodenschutzgesetz Baden-Württemberg.- Verlag W.Kohlhammer Stuttgart, Berlin, Köln, 115 S.

- /116/ Steinhäuser, K.G., C.Kunz, W.Amann und I.Schlößer (1989): Chemische Zusammensetzung und Leuchtbakterientoxizität wässriger Auszüge von Mineralölprodukten und Teererzeugnissen.- Vom Wasser 72: 93-108
- /117/ Steubing, L. (1987): Bioindikation von Schwermetallen in verschiedenen Ökosystemen.- VDI-Berichte 609: 351-366
- /118/ Straßenbauverwaltung Baden-Württemberg (1975, 1980, 1985, 1990): Karten der Verkehrszählungen
- /119/ Tebaay, R.H., G.Welp und G.W.Brümmer (1991): Gehalte an Polycyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen in Böden unterschiedlicher Belastung.- Mitteilungen d. Dt. Bodenkundlichen Gesellschaft, 63: 157-160
- /119/ Thompson, T.S., R.E.Clement, R.S.Mercer und J.A.Townsend (1990): Formation and Emission of CDDs and CDFs from Accidental Combustion of Automobile Tire.- 'Dioxin 90', Organohalogen Compounds Vol.3: 425-427
- /120/ UVF - Umlandverband Frankfurt (1991): Umweltschutzbericht Teil V Bodenschutz, Band 1: Bodenschutzkonzept des UVF und Bericht über die verkehrsbedingte Bodenschwermetallbelastung im Verbandsgebiet.- Bearbeitung: W.Du Bois, P.Stock, K.Friedrich und L.Lehmann, 72 S.
- /121/ UBA - Umweltbundesamt (1976): Luftqualitätskriterien für Blei.- Berichte 3/76, 128 S., Berlin
- /122/ UBA (1979): Luftqualitätskriterien für ausgewählte polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe.- Berichte 1/79, 270 S., Berlin
- /123/ UBA (1982): Luftqualitätskriterien für Benzol.- Berichte 6/82 144 S., Berlin
- /124/ UBA (1986): Daten zur Umwelt 1986/87.- E.Schmidt Verlag, Berlin /125/ UBA (1987): Jahresbericht 1986
- /126/ UBA (1988): Jahresbericht 1987
- /127/ UBA (1992): Daten zur Umwelt 1990/91.- E.Schmidt Verlag, Berlin
- /128/ Unger, H.-J. und D.Prinz (1991a): Dioxine und Furane in straßennahen Böden Baden-Württembergs.- Mitteilungen d. Dt. Bodenkdl. Ges., 63: 161-164
- /129/ Unger, H.-J. und D.Prinz (1991b): Verkehrsbedingte PCDD/PCDF-Immissionen in straßennahen Böden Baden-Württembergs.- Dioxin-Informationsveranstaltung 11.-13. November 1991 Augsburg, Bd.2, Organohalogen Compounds Vol.7: 335-346
- /130/ VDI - Verein Deutscher Ingenieure (1983): Maximale Immissionswerte für Blei zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere.- Entwurf VDI-Richtlinie 2310 Blatt 27
- /131/ VDI (1990): Maximale Immissionswerte für Cadmium zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere.- Entwurf VDI-Richtlinie 2310 Blatt 28
- /132/ VDI (1991a): Maximale Immissionswerte für Nickel zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere.- VDI-Richtlinie 2310 Blatt 30
- /133/ VDI (1991b): Maximale Immissionswerte für Zink zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere.- VDI-Richtlinie 2310 Blatt 31
- /134/ Waibel, M. (1976): Luft- und Gewässerverunreinigung durch 3,4-Benzopyren-haltigen Straßenabrieb.- Zentr.Bl.Bakt., Par., Infekt. Hyg. Abt. I: Orig. B., 163 Nr.5-6: 458-469
- /135/ Walker, D.A. und K.R.Everett (1987): Road Dust and its Environmental Impact on Alaskan Taiga and Tundra.- Arctic and Alpine Res., 19, Nr.4: 479-489
- /136/ Yanders, A.F., S.Kapila, Y.-H.Lo, R.Puri und S.Cerlesi (1990): Persistence of Tetrachlordibenzo-p-dioxin in Soil: Times Beach Case Study.- 'Dioxin 90' Bayreuth, Organohalogen Compounds Vol.3: 339-342

- /137/ Yang,S.Y., D.W.Connell, D.W.Hawker und S.I.Kayal (1991): Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Air, Soil and Vegetation in the Vicinity of an Urban Roadway.- Sci. Total Environ.,102: 229-240
- /138/ Zehringer,M., C.Hohl, A.Schneider und M.R.Schüpbach (1989): Untersuchung zur Verteilung von Metallen in Schwebstäuben.- Staub-Reinhalt.Luft 49: 439-443
- /139/ Ziechmann,W. und U.Müller-Wegener (1990): Bodenchemie.- Wissenschaftsverlag Mannheim, Wien, Zürich, 326 S.

## Indexverzeichnis

Blei		in straßennahen Profilen	68
verkehrsbedingtes Vorkommen	87	verkehrsbedingtes Vorkommen	55, 110
Boden		Polychlorierte Biphenyle	
in Straßennähe	3	verkehrsbedingtes Vorkommen	55, 111
in Straßennähe, anthropogen geprägt	63	Polychlorierte Dibenzofurane	
BTX-Aromaten		verkehrsbedingtes Vorkommen	112
verkehrsbedingtes Vorkommen	54, 110	Polychlorierte Dibenzo-p-dioxine	
Cadmium		verkehrsbedingtes Vorkommen	112
verkehrsbedingtes Vorkommen	36, 91	Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe	
Chlorbenzol		in straßennahen Profilen	68
verkehrsbedingtes Vorkommen	55, 110	verkehrsbedingtes Vorkommen	50, 104
Chlorphenol		Schadstoffe	
verkehrsbedingtes Vorkommen	55, 110	an Verkehrswegen	13
Chrom		Schadstoffe, verkehrsbedingt	
verkehrsbedingtes Vorkommen	44, 98	Eintrag in Grünlandökosysteme	80
Dioxine		Schwemmaterial	
Akkumulation kritischer Gehalte in straßennahen Böden	159	verkehrsbedingte Immissionen	143
Leitparameter in straßennahen Böden	148	Schwermetalle	
verkehrsbedingtes Vorkommen	57	in Blättern von Straßenrandgehölzen	141
Emissionen		in Böden und Grünlandaufwuchs, Beurteilung	101
verkehrsbedingte	8	in straßennahem Schwemmaterial	78
Furane		in straßennahen Böden	3, 126
Akkumulation kritischer Gehalte in straßennahen Böden	159	in straßennahen Gehölzstreifen	77
Leitparameter in straßennahen Böden	148	in straßennahen Profilen	66
verkehrsbedingtes Vorkommen	57	Reichweite der Stoffbelastung in straßennahen Böden	123
Immissionen		straßennahe Böden	
verkehrsbedingte	3, 8	Akkumulation kritischer Gehalte an Dioxinen und Furanen	159
Kupfer		Empfehlungen für Untersuchungen	166
verkehrsbedingtes Vorkommen	39, 95	Leitparameter für PCDD/F	148
Leitparameter		verkehrsbedingte Immissionen	3
für PCDD/F in straßennahen Böden	148	Auswirkungen von Gehölzstreifen auf Stoffgehalte in Böden	126
Mineralöl-Kohlenwasserstoffe		Empfehlungen für Untersuchungen	166
in straßennahen Profilen	68	Leitparameter für PCDD/F in straßennahen Böden	148
verkehrsbedingtes Vorkommen	46, 102	Schwemmaterial	143
Nickel		untersuchte Straßenstandorte	17
verkehrsbedingtes Vorkommen	42, 98	Verlagerung von organischen Verbindungen	136
PAK		Verlagerung von Schwermetallen	133
in straßennahen Profilen	68	Zink	
verkehrsbedingtes Vorkommen	50, 104	verkehrsbedingtes Vorkommen	40, 95
PCB			
verkehrsbedingtes Vorkommen	55		
Phenole			

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Potentielle Emissionsquellen von Kraftfahrzeugen (Muschak 1988):.....	9
---	---

Karte 1: Straßenstandorte der 1. Projektphase 1 bis 6 Maßstab 1 : 500.000 (Übersichtskarte Baden-Württemberg, 1990):.....	17
Karte 2 und 3: Straßenstandorte der 2. Projektphase 7 und 8 Maßstab 1 : 500.000 (Übersichtskarte Baden-Württemberg, 1990):.....	19
Bild 1: Straßenrandgehölze an der BAB 5 zwischen Weinheim und Heidelberg (65.000 Kfz/Tag 1990):.....	20
Abb. 2a: Entwicklung des Verkehrsaufkommens der untersuchten Straßenstandorte:.....	22
Abb. 2b: Entwicklung des Schwerverkehrsaufkommens der untersuchten Straßenstandorte: .....	23
Profil 1: Anthropogen geprägte Böden an der Bundesautobahn A 5 zwischen Offenburg und Lahr:.....	63
Abb. 3a bis 3e: Bodenprofile 1 bis 5 an der BAB 5 in 0,1 bis 10 m Fahrbahntfernung:.....	64
Abb. 4: Tiefenfunktionen der Schwermetallgehalte in straßennahen Böden der A5 zwischen Offenburg und Lahr - Profil 1: 0,1 m entfernt vom Fahrbahnrand – .....	67
Abb. 5: Tiefenfunktionen der Schwermetallgehalte in straßennahen Böden der A5 zwischen Offenburg und Lahr - Profil 2: 1,0 m entfernt vom Fahrbahnrand – .....	67
Abb. 6: Tiefenfunktionen der Schwermetallgehalte in straßennahen Böden der A5 zwischen Offenburg und Lahr - Profil 3: 2,5 m entfernt vom Fahrbahnrand – .....	67
Abb. 7: Tiefenfunktionen der Schwermetallgehalte in straßennahen Böden der A5 zwischen Offenburg und Lahr - Profil 4: 5,0 m entfernt vom Fahrbahnrand – .....	68
Abb. 8: Tiefenfunktionen der Schwermetallgehalte in straßennahen Böden der A5 zwischen Offenburg und Lahr - Profil 5: 10 m entfernt vom Fahrbahnrand – .....	68
Abb. 9: Tiefenfunktionen der organischer Gruppenparameter in straßennahen Böden der A5 zwischen Offenburg und Lahr - Profil 1: 0,1 m entfernt vom Fahrbahnrand – .....	69
Abb. 10: Tiefenfunktionen der organischer Gruppenparameter in straßennahen Böden der A5 zwischen Offenburg und Lahr - Profil 2: 1,0 m entfernt vom Fahrbahnrand –....	69
Abb. 11: Tiefenfunktionen der organischer Gruppenparameter in straßennahen Böden der A5 zwischen Offenburg und Lahr - Profil 3: 2,5 m entfernt vom Fahrbahnrand –....	70
Abb. 12: Tiefenfunktionen der organischer Gruppenparameter in straßennahen Böden der A5 zwischen Offenburg und Lahr - Profil 4: 5,0 m entfernt vom Fahrbahnrand –....	70
Abb. 13: Tiefenfunktionen der organischer Gruppenparameter in straßennahen Böden der A5 zwischen Offenburg und Lahr - Profil 5: 10 m entfernt vom Fahrbahnrand –....	70
Abb. 14: Tiefenfunktionen der PCDD/F-Summenwerte von Profil 1 (0,1 m):.....	72
Abb. 15: Tiefenfunktionen der PCDD/F-Summenwerte von Profil 2 (1 m):.....	73
Abb. 16: Tiefenfunktionen der PCDD/F-Summenwerte von Profil 3 (2,5 m):.....	74
Abb. 17: Tiefenfunktionen der PCDD/F-Summenwerte von Profil 4 (5 m):.....	75
Abb. 18: Tiefenfunktionen der PCDD/F-Summenwerte von Profil 5 (10 m):.....	76
Abb. 19: Deposition von Immissionen in Grünlandökosysteme ( aus: Grünhage et. Al. 1992) .....	81
Abb. 20: Schadstoff-Einwirkungspfad Boden -> Nutzpflanze (-> Nutztier) -> Mensch (aus: König 1990):.....	81
Abb. 21: Streuung der Bleigehaltswerte um die Trennkurve beim Grünlandaufwuchs in 2 – 2,5 km Entfernung von der Bleihütte in Nordenham 1981 – 1982 (Früchtenicht und Vetter 1982).....	82
Abb. 22: Pb in straßennahen Böden in 0 – 10 cm Tiefe:.....	88
Abb. 23: Pb in straßennahen Böden in 0 – 5 cm Tiefe:.....	88
Abb. 24: Pb in strassennahem Aufwuchs:.....	89
Abb. 25: Pb in Böden – Vergleich 0 – 5 und 0 – 10 cm Tiefe:.....	90
Abb. 26: Cd in straßennahen Böden in 0 - 10 cm Tiefe:.....	91
Abb. 27: CD in straßennahen Böden in 0 – 5 cm Tiefe: .....	92
Abb. 28: Cd in straßennahem Aufwuchs*:.....	93
Abb. 29 Cd in Böden – Vergleich 0 – 5 und 0 – 10 cm Tiefe:.....	94
Abb. 30: Cu in straßennahen Böden in 0 – 10 cm Tiefe:.....	96
Abb. 31: Cu in straßennahem Aufwuchs: .....	97

Abb. 32: Zn in straßennahen Böden in 0 – 10 cm Tiefe:.....	97
Abb. 33: Zn in straßennahem Aufwuchs:.....	98
Abb. 34: Ni in straßennahen Böden in 0 – 10 cm Tiefe:.....	99
Abb. 35: Ni in straßennahem Aufwuchs:.....	99
Abb. 36: Cr in straßennahen Böden in 0 – 10 cm Tiefe:.....	100
Abb. 37: Cr in straßennahem Aufwuchs:.....	100
Abb. 38: CnHm in straßennahen Böden in 0 – 10 cm Tiefe:.....	102
Abb. 39: CnHm in straßennahen Böden in 0 – 5 cm Tiefe:.....	103
Abb. 40: CnHm in straßennahem Aufwuchs:.....	103
Abb. 41: PAK in straßennahen Böden in 0 – 10 cm Tiefe:.....	106
Abb. 42: PAK in straßennahen Böden in 0 – 5 cm Tiefe:.....	106
Abb. 43: PAK in straßennahem Aufwuchs:.....	107
Abb. 44: PAK- Profile potentieller Quellen:.....	108
Abb. 45: Vergleich von PAK- Profilen in straßennahen Aufwuchs:.....	109
Abb. 46: PCB in straßennahen Böden in 0 – 10 cm Tiefe:.....	111
Abb. 47: PCDD/F (ITEF) in straßennahen Böden in 0 – 10 cm Tiefe:.....	113
Abb. 48: PCDD/F (ITEF) in straßennahen Böden in 0 – 5 cm Tiefe:.....	113
Abb. 49 PCDD/F (ITEF) in Böden – Vergleich 0 – 5 und 0 – 10 cm Tiefe:.....	114
Abb. 50: PCDD in straßennahen Böden in 0 – 10 cm Tiefe:.....	115
Abb. 51: PCDF in straßennahen Böden in 0 – 10 cm Tiefe:.....	115
Abb. 52: PCDD/F in straßennahem Aufwuchs:.....	117
Abb. 53a: PCDD/F - Profile potentieller Quellen – Pb- Benzin, Motorenöl:.....	119
Abb. 53b: PCDD/F- Profile potentieller Quellen – Benzin Pb – frei, Kaz, Diesel:.....	120
Abb. 54a: PCDD – Kongenerenvergleich von straßennahen Böden und Kfz – Abgasen: ...	121
Abb. 54b: PCDF – Kongenerenvergleich von straßennahen Böden und Kfz – Abgasen:....	121
Abb. 55: PCDD/F- Homologen- Profile von Böden in direkter Straßennähe (0,1m):.....	122
Abb. 56: PCDD/F- Homologen- Profile von Böden in 10 m Abstand zur Fahrbahn:.....	122
Abb. 57 Reichweite der Bodenbelastung an Straßen bis 5000 Kfz/ Tag – Grenz- und Richtwertüberschreitung:.....	124
Abb. 58 Reichweite der Bodenbelastung an Straßen mit 16000 und 18000 Kfz/ Tag – Grenz- und Richtwertüberschreitung:.....	124
Abb. 59 Reichweite der Bodenbelastung an Straßen mit 50000 Kfz/ Tag – Grenz- und Richtwertüberschreitung:.....	125
Abb. 60 Reichweite der Bodenbelastung an Straßen mit 56000 und 65000 Kfz/ Tag – Grenz- und Richtwertüberschreitung:.....	125
Abb. 61:Pb in Böden (0 – 10 cm ) Auswirkung von Gehölzstreifen:.....	128
Abb. 62 :Pb in Grünlandaufwuchs Auswirkung von Gehölzstreifen (Ernte Oktober 1991):..	128
Abb. 63:Cd in Böden (0 – 10 cm ) Auswirkung von Gehölzstreifen:.....	129
Abb. 64: Cd in Grünlandaufwuchs Auswirkung von Gehölzstreifen (Ernte Oktober 1991):..	129
Abb. 65: CnHm in Böden (0 – 10 cm ) Auswirkung von Gehölzstreifen:.....	132
Abb. 66 : PAKin Grünlandaufwuchs Auswirkung von Gehölzstreifen (Ernte Oktober 1991): .....	132
Abb. 67: PCDD/F (ITEF) in Böden (0 – 10 cm ) Auswirkung von Gehölzstreifen:.....	133
Abb. 68 : Pb in Böden an der BAB 5 Tiefenfunktion und Belastungsgradient:.....	134
Abb. 69 : Cd in Böden an der BAB 5 Tiefenfunktion und Belastungsgradient:.....	135
Abb. 70 : Cu in Böden an der BAB 5 Tiefenfunktion und Belastungsgradient:.....	135
Abb. 68 : Zn in Böden an der BAB 5 Tiefenfunktion und Belastungsgradient:.....	136
Abb. 72 : CnHm in Böden an der BAB 5 Tiefenfunktion und Belastungsgradient:.....	137
Abb. 73 : PAK in Böden an der BAB 5 Tiefenfunktion und Belastungsgradient:.....	138
Abb. 74 : PCDD in Böden an der BAB 5 Tiefenfunktion und Belastungsgradient:.....	138
Abb. 75 : PCDF in Böden an der BAB 5 Tiefenfunktion und Belastungsgradient:.....	139
Abb. 76 : PCDD/F in Böden an der BAB 5 Tiefenfunktion und Belastungsgradient:.....	139

Abb. 77: PCDD/F-Gehalte in Böden einer Straßenböschung mit angrenzender Weidenutzung (10 m) an der BAB 5 zwischen Offenburg und Lahr Frachtmengen der Toxizitätsäquivalente in ng TE/m <sup>2</sup> bezogen auf ein Bodenvolumen von 1 cbm –	140
Abb. 78: Pb in Blättern eines Straßenrandgehölzes (Hainbuche) in unterschiedlicher Höhe bei 65000 Kfz/ Tag 1990*:	142
Abb. 79: Cd in Blättern eines Straßenrandgehölzes (Hainbuche) in unterschiedlicher Höhe bei 65000 Kfz/ Tag 1990*:	143
Abb. 80: Pb im Schwemmaterial von Straßen mit unterschiedlichen Verkehrsaufkommen:	145
Abb. 81: Cd im Schwemmaterial von Straßen mit unterschiedlichen Verkehrsaufkommen:	145
Abb. 82: Zn und Cu im Schwemmaterial von Straßen mit unterschiedlichen Verkehrsaufkommen:	146
Abb. 83: Mineralöl – CnHm im Schwemmaterial von Straßen mit unterschiedlichen Verkehrsaufkommen:	146
Abb. 84: PAK im Schwemmaterial von Straßen mit unterschiedlichen Verkehrsaufkommen:	147
Abb. 85: PCDD/F im Schwemmaterial von Straßen mit unterschiedlichen Verkehrsaufkommen:	147
Abb. 86: PCDD und PCDF im Schwemmaterial von Straßen mit unterschiedlichen Verkehrsaufkommen:	148
Abb. 87: Zusammenhang zwischen Pb- und PCDD/F – Gehalten (ITEF) in straßennahen Böden:	155
Abb. 88: Zusammenhang zwischen Pb- und PCDD – Gehalten in straßennahen Böden: ...	157
Abb. 89: Zusammenhang zwischen Pb- und PCDF – Gehalten in straßennahen Böden: ...	157
Abb. 90: Zusammenhang zwischen Pb-/ Cu- und PCDD/F- Gehalten in straßennahem Grünlandaufwuchs (Trend):	159
Abb. 91: PCDD/F (ITEF) in straßennahen Böden in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen Fahrbahnabstand 1,0 und 10 m	160
Abb. 92: PCDF in straßennahen Böden in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen Fahrbahnabstand 1,0 und 10 m	161
Abb. 93: Pb in straßennahen Böden in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen Fahrbahnabstand 0,1; 1,0; 2,5 m:	164
Abb. 94: Pb in straßennahen Böden in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen Fahrbahnabstand 5,0 und 10 m:	164
Abb. 95: Pb in straßennahen Böden in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen Fahrbahnabstand 25, 50 und 100 m:	165
Abb. 96: Zusammenhang zwischen PAK*-Gehalten im Grünlandaufwuchs und dem Kfz-Verkehrsaufkommen (Trend):	165
Bild 2: Hohes Schwerverkehrsaufkommen an der BAB 5 bei Offenburg und Weidenutzung ab etwa 10 m Fahrbahntfernung:	168
Bild 3: Kritischer Anbau von Nahrungspflanzen an der BAB 8 bei Stuttgart bis etwa 5 m Fahrbahnabstand:	168

## Tabellenverzeichnis

Tab.1:	Quellen für kfz-spezifische Emissionen und ihre Ausbreitung in straßennahen Böden (aus: Lichtenthäler und Reutter 1987).....	12
Tab. 2:	Entwicklung des durchschnittlichen täglichen Verkehrsaufkommens (DTV) der untersuchten Straßenstandorte:.....	21
Tab. 3:	Straßenstandorte - Trassenalter und Beschaffenheit der Fahrbahnoberfläche.....	22
Tab. 4	Pb - Konzentrationen in straßennahen Böden (0-10 cm Tiefe) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand.....	33
Tab. 5:	Pb Konzentrationen in straßennahen Böden (mg/kg in 0-5 cm Tiefe) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand.....	34
Tab. 6	Pb Gehalte in straßennahem Grünlandaufwuchs (mg/kg TM) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand.....	35
Tab. 7:	Pb Auswirkung von Gehölzstreifen auf Konzentrationen in Böden (0-10 cm Tiefe) und Grünlandaufwuchs (mg/kg TM) an stark befahrenen Straßen .....	35
Tab. 8:	Cd in straßennahen Böden (mg/kg in 0-10 cm Tiefe) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand.....	36
Tab. 9:	Cd Konzentrationen in straßennahen Böden (mg/kg in 0-5 cm Tiefe) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand.....	37
Tab. 10:	Cd in straßennahem Grünlandaufwuchs (mg/kg TM) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand.....	38
Tab. 11:	Cd Auswirkung von Gehölzstreifen auf Konzentrationen in Böden (0-10 cm Tiefe) und Grünlandaufwuchs (mg/kg TM) an stark befahrenen Straßen .....	38
Tab. 12:	Cu in straßennahen Böden (0-10 cm Tiefe) und Grünlandaufwuchs (mg/kg TM) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand .....	39
Tab. 13	Cu Auswirkung von Gehölzstreifen auf Konzentrationen in Böden (0-10 cm Tiefe) und Grünlandaufwuchs (mg/kg TM) an stark befahrenen Straßen .....	40
Tab. 14:	Zn in straßennahen Böden (0-10 cm Tiefe) und Grünlandaufwuchs (mg/kg TM) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand .....	41
Tab. 15 :	Zn Auswirkung von Gehölzstreifen auf Konzentrationen in Böden (0-10 cm Tiefe) und Grünlandaufwuchs (mg/kg TM) an stark befahrenen Straßen .....	41
Tab. 16:	Ni in straßennahen Böden (0-10 cm Tiefe) und Grünlandaufwuchs (mg/kg TM) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand .....	43
Tab. 17:	Ni Auswirkung von Gehölzstreifen auf Konzentrationen in straßennahen Böden (0-10 cm Tiefe) und Grünlandaufwuchs (mg/kg TM) an stark befahrenen Straßen.....	44
Tab. 18:	Cr in straßennahen Böden (0-10 cm Tiefe) und Grünlandaufwuchs (mg/kg TM) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand .....	45
Tab. 19:	Cr Auswirkung von Gehölzstreifen auf Konzentrationen in Böden (0-10 cm Tiefe) und Grünlandaufwuchs (mg/kg TM) an stark befahrenen Straßen .....	46
Tab. 20:	CnHm in straßennahen Böden (mg/kg in 0-10 cm Tiefe) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand.....	47
Tab. 21	CnHm in straßennahen Böden (mg/kg in 0-5 cm Tiefe) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand.....	48
Tab. 22 :	CnHm in straßennahem Grünlandaufwuchs (mg/kg TM) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand.....	49
Tab. 23:	CnHm Auswirkung von Gehölzstreifen auf Gehalte in Böden (0-10 cm Tiefe) und Grünlandaufwuchs (mg/kg TM) an stark befahrenen Straßen .....	50
Tab. 24:	PAK* in straßennahen Böden (mg/kg in 0-10 cm Tiefe) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand.....	51
Tab. 25:	PAK*in straßennahen Böden (mg/kg in 0-5 cm Tiefe) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand.....	52
Tab. 26:	PAK* in straßennahem Grünlandaufwuchs (µg/kg TM) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand.....	53

Tab. 27: PAK* Auswirkung von Gehölzstreifen auf Gehalte in straßennahen Böden (0-10 cm Tiefe) und Grünlandaufwuchs (mg/kg TM) an stark befahrenen Straßen.....	54
Tab. 28: PCB*in straßennahen Böden (0-10 cm Tiefe, mg/kg) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand.....	56
Tab. 29: PCB* Auswirkung von Gehölzstreifen auf Gehalte in Böden (0-10 cm Tiefe, mg/kg) an stark befahrenen Straßen.....	57
Tab. 30: PCDD/F in straßennahen Böden (0-10 cm Tiefe, ng/kg) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand.....	58
Tab. 31: PCDD/FKonzentrationen in straßennahen Böden (0-5 cm Tiefe in ng/kg) in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und Fahrbahnabstand .....	60
Tab. 32: PCDD/F Gehalte in straßennahem Grünlandaufwuchs an stark befahrenen Straßen in Abhängigkeit von der Fahrbahntfernung (ng/kg TM) .....	61
Tab. 33: PCDD/FAuswirkug von Gehölzstreifen auf Gehalte in Böden (0-10 cm Tiefe in ng/kg) an stark befahrenen Straßen .....	62
Tab. 34a: PCDD/F Auswirkung von Gehölzstreifen auf Gehalte in Grünlandaufwuchs (ng/kg TM) an stark befahrenen Straßen .....	62
Tab. 34b: PCDD/F Tiefenfunktionen in straßennahen Böden (ng/kg) an der BAB 5 zwischen Offenburg und Lahr mit 50.000 Kfz/Tag 1990.....	71
Tab. 35: Schwermetallein Hainbuchen-Blättern eines Gehölzstreifens an einer stark befahrenen Bundesautobahn* - Beprobung in unterschiedlichen Höhen vor und nach einer Regenperiode - .....	77
Tab. 36: Schwermetalle im Schwemmaterial von Straßen mit unterschiedlichem Verkehrsaufkommen: .....	78
Tab. 37: Organische Verbindungen im Schwemmaterial von Straßen mit unterschiedlichem Verkehrsaufkommen: .....	79
Tab. 38: Grenz-, Richt- und Orientierungswerte zur Beurteilung von Böden.....	84
Tab. 39: Hintergrundgehalte zur Beurteilung von Böden.....	85
Tab. 40: Kritische Konzentrationen von Schwermetallen und Hintergrundgehalte von organischen Verbindungen in Pflanzen zur Beurteilung des Grünlandaufwuchses	86
Tab. 41: Erhöhung der Schwermetallgehalte in straßennahen Böden* und Grünlandaufwuchs** vor und Reduzierung hinter Gehölzstreifen (Mittelwerte, %) 127	127
Tab. 42: Erhöhung der Konzentrationen organischer Verbindungen in straßennahen Böden* und Grünlandaufwuchs** vor und Reduzierung hinter Gehölzstreifen (Mittelwerte, %) .....	130
Tab. 43: Stoffanreicherungen im Schwemmaterial von Straßen .....	144
Tab. 44: Mittelwerte (x), Standardfehler (sx) und Variationskoeffizienten (V) der für die Korrelationsrechnung verwendeten Bodenproben .....	150
Tab. 45 :Rang- Korrelationskoeffizienten nach Spearman- Korrelationsmatrix von Stoffgehalten in Böden .....	151
Tab. 46 : Korrelationskoeffizienten nach Pearson- Korrelationsmatrix von Stoffgehalten in straßennahen Böden .....	152
Tab. 47 : Mittelwerte $\langle x \rangle$ , Standardfehler ( $s_{\langle x \rangle}$ ) und Variationskoeffizient (V) von Verkehrsaufkommen und Pb-Gehalten in Böden .....	161
Tab. 48: Korrelation von Pb-Gehalten im Boden (0-10 cm) in verschiedenen Fahrbahnabständen mit dem Verkehrsaufkommen (Kfz/Tag 1975-1990).....	162