

## DIE SCHWERMETALLBELASTUNG ZWEIER AUTOBAHNSTANDORTE BEI UNTERSCHIEDLICHEN PFLEGEMASSNAHMEN

Uwe Wagner und Wolfgang Schmidt

### ABSTRACT

In 1986 the lead, zinc and copper contamination of two permanent plots on road sides in West-Germany was determined by analyzing representative samples of vegetation, litter and soil. On these plots we tested different vegetation managements in their influence on the heavy metal burden of the herbage. Enhanced heavy metal levels were found throughout. Highest accumulations occurred in the litter and top-soils. The heavy metal contents of the vegetation were related to traffic density and distance from the pavement. Strong modifying effects derived from the local topography and the plant communities. In general the contents increased slightly from June to August, so that mowing should be done during this period. The contamination of the upper soils were related to the duration of heavy metal input, although in a sandy soil losses from the top 20 cm through mobilization by soluble metall-organic complexes were evident. About 6-11 % of the whole lead emitted since the highways were opened have been accumulated in the soils (0-20 cm) of the first six meters from the edge of the pavement.

keywords: *heavy metal pollution, Roadside management, roadside plant communities, roadside soils*

### 1. EINLEITUNG

Zu den Umweltbelastungen, die vom Kraftfahrzeugverkehr ausgehen, gehören auch schwermetallhaltige Partikel sehr unterschiedlicher Zusammensetzung und Größe. Die seit den sechziger Jahren bekannte, massive Freisetzung von Blei-Schwebstäuben aus der Verbrennung von Blei-Tetraethyl-haltigem Benzin war trotz Reglementierung des Benzin-Blei-Gehaltes noch 1982 mit 60 % (= 3800 t/a) an den gesamten Blei-Emissionen in der Bundesrepublik Deutschland beteiligt (NÜRNBERG et al. 1983). Weniger beachtet wurden bisher die Kfz-bedingten Emissionen der ebenfalls toxischen Schwermetalle Cadmium, Nickel, Chrom, Zink und Kupfer (LAGERWERFF und SPECHT 1970, WARD et al. 1977). Sie stammen im Unterschied zum Blei aus verschiedenen Quellen (Reifen, Maschinen- und Chassisteile, Kraft- und Schmierstoffe) und entstehen zu einem höheren Anteil als Grobstäube aus mechanischen Abriebprozessen. Mengenmäßig bedeutend sind vor allem die Zink-Emissionen mit über 1200 t/a.

Die Kontamination der Straßenrandflächen mit Schwermetallen unterliegt einer erheblichen standörtlichen Variabilität, die durch eine Reihe komplex zusammenwirkender Faktoren bedingt ist. Im Rahmen eines Forschungsprojektes über "Pflegeversuche auf Straßenbegleitflächen" (MEDERAKE und SCHMIDT 1989) sollte daher im Jahr 1986 der aktuelle Belastungszustand von sieben Dauerversuchsflächen an Autobahnen ermittelt werden. Berücksichtigt werden konnten die Elemente Blei, Zink und Kupfer. Von besonderem Interesse war, inwieweit sich unterschiedliche Pflegemaßnahmen auf die Anreicherung der Schwermetalle in der Vegetation auswirken. Wichtige Ergebnisse sollen anhand zweier Versuchsflächen exemplarisch vorgestellt werden.

## 2. STANDORTE UND METHODEN

Die beiden ausgewählten Dauerversuchsf lächen Gütersloh und Warburg-N. repräsentieren weit verbreitete Standorte an Autobahnen in Ost-Nordrhein-Westfalen und in Nordhessen. Sie unterscheiden sich in wichtigen Strukturmerkmalen, im Alter und in der Verkehrsbelastung (Tab. 1).

Tab. 1: Standortmerkmale der Dauerversuchsf lächen Gütersloh und Warburg-N.

	GÜTERSLOH	WARBURG-N
Lage	A 2 Hannover - Dortmund, km 352,7 (Ostmünsterland; 75 mNN); Inbetriebnahme 1938; 35300 Kfz/24h (1981)	A 44 Kassel - Dortmund, km 43,3 (Hessisches Berg- und Senkenland; 215 mNN); Inbetriebnahme 1971; 13600 Kfz/24h (1981)
Struktur	6m breite <u>Dammböschung</u> vor Grünland; Exposition NO, Neigung 15'	14m breite <u>Einschnittböschung mit Gehölzstreifen</u> vor Feldweg und Acker; Exposition S, Neigung 15-20'
Vegetation	mäßig frische <u>Nöhren-Glatthafer-</u> und frische <u>Brennessel-Glatthafer-</u> Straßenböschung mit zum Teil hohen Anteilen an Giersch ( <i>Aegopodium</i> <i>podagraria</i> ); Gräseranteil 40-90%, Produktivität 2,5-5,3 t/ha	mäßig trockene <u>Nöhren-Glatthafer-Straßenböschung</u> , <u>Goldhafer-Variante</u> ; Ausbildung mit Margerite ( <i>Leucanthemum vulgare</i> ) und hohen Anteilen an Quecke ( <i>Agropyron repens</i> ); Böschungsbereich mit Magerkeitszeigern; Gräseranteil 55-80%, Produktivität 1,0-3,2 t/ha
Boden	tiefgründiger, in der U-Böschung ab etwa 70 cm grundwasserbeeinflusster <u>Sandboden</u> mit hohem pH auf quartärem Talsand; Corg. 1,8 - 2,0%, C/N 16 - 19	mittelgründiger, kalk- und tonreicher <u>Lehmboden</u> auf Kalkmergel/Liaston; Corg. 2,4 - 2,7%, C/N 10 - 12

Die Versuchsf lächen sind nach einem einheitlichen Schema rasterartig aufgebaut. Senkrecht zur Fahrbahn sind sechs ca. 10 m breite Pflegestreifen ausgepflockt, auf denen jeweils eine bestimmte Pflegevariante getestet wird (vgl. Abb. 1). Parallel zur Straße erfolgte eine Unterteilung in Teilf lächen, die die typische Vegetationszonierung berücksichtigen. Die Anzahl, Ausdehnung und Benennung der Entfernungszonen variiert daher von Standort zu Standort (vgl. Tab. 2). Untersuchungsschwerpunkte bilden die gehölzfreien Mulden und Böschungen.

Die Probenahme erfolgte im Juni und August 1986 nach Beendigung der Pflegearbeiten und der Biomassebestimmung. Auf den Teilf lächen der Hauptentfernungszonen wurden je 5 Mischproben von Mahdgut und Streuauflage entnommen, die nach Trocknung im Labor zu einer Mischprobe eingengt wurden. Die Bodenbeprobung erfolgte durch gleichmäßig über alle Pflegestreifen der Hauptentfernungszonen verteilte Einstiche mit dem Pürckhauer-Bohrer. Die Gehalte bringen somit eine mittlere Flächenbelastung zum Ausdruck. Die Untersuchung wurde durch die Einbeziehung von weiteren Entfernungszonen und von Vergleichsstandorten ergänzt. Aufarbeitung und chemischer Analysengang (HNO<sub>3</sub>-Druckaufschluß; Bodenextraktion mit 2M HNO<sub>3</sub> bei 100 °C und 0,025 M EDTA-Lösung; Atom-Absorptions-Spektrometrie) wurden durch umfangreiche Kontrollversuche auf systematische und zufällige Fehler überprüft.

### 3. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

#### 3.1 Überblick

Tab. 2: Die Blei-, Zink- und Kupfergehalte in den Dauerversuchsflächen Gütersloh und Warburg-N mit Angaben zur Grundbelastung sowie Richt- bzw. Grenzwerten für die betreffenden Elemente (MAYER 1981, KLOKE 1982, MERIAN 1984).

Bei den mit \*/+ gekennzeichneten Gehalten im Magdgut handelt es sich um Mittelwerte über alle erfaßten Pflegevarianten mit n = 6 für \* und n = 3 für + (vergl. Abb. 1). Die Gehalte in der Streuauflage wurden im August in den organischen Auflagen der Mulch-Varianten ermittelt (2 Monate = Mulchen Juni 1986; 1 Jahr = Mulchen August 1985). Die Bodengehalte beziehen sich auf die Fraktion < 3 mm und wurden durch Extraktion mit 2M HNO<sub>3</sub> bei 100 °C ermittelt. Nach ANDERSSON (1976) und eigenen Kontrollversuchen werden damit für Blei und Kupfer etwa 90 % und für Zink 80-85 % der Gesamtgehalte erfaßt.

GÜTERSLOH			Versuchsfläche	WARBURG-N					
Unter-Böschung	Ober-Böschung	Ban-kett	Entfernungs-zone	Ban-kett	Mulde	Böschung	Saum	Gehölz	Saum
2,5m	2,5m	1m	Breite	1,2m	2,2m	2,2m	1,2m	5m	2m
-----µg/g TrS.-----				-----µg/g TrS.-----					
26*	52*	96	Mahdgut	40	25*	30*	44+	29	9
54*	65*	120	Blei	77	39*	40*	47+	46	24
			Zink						
			Streuauflage						
			(2 Monate)						
158	232	--	Blei	--	57	40	125	--	--
119	160	--	Zink	--	66	54	89	--	--
			Streuauflage						
			(1 Jahr)						
--	433	--	Blei	--	--	161	--	--	--
--	279	--	Zink	--	--	170	--	--	--
			Boden (0-10 cm)						
107	150	318	Blei	84	53	49	--	42	29
97	134	262	Zink	143	83	83	--	68	55
14	22	73	Kupfer	43	32	32	--	30	23
			Boden (10-20 cm)						
71	92	87	Blei	39	36	43	--	38	26
73	85	85	Zink	75	70	75	--	61	50
12	14	24	Kupfer	25	30	29	--	29	24

Grundbelastung: Vegetation (µg/g TrS.):	Blei	5	Zink	15 - 25 (grasreiche Bestände)
Boden (µg/g TrS.):				
Sand	Blei	10	Zink	20 - 30
Kalkmergel	Blei	20 - 25	Zink	40 - 50
			Kupfer	9
			Kupfer	20 - 25
EG-Futtermittelrichtwert (µg/g 88% TrS.):	Blei	10		
Bodengrenzwert Klärschlammverordnung (µg/g TrS.):	Blei	100	Zink	300
			Kupfer	100

In beiden Versuchsflächen wird eine deutliche, weitgehend parallel verlaufende Anreicherung der betrachteten Schwermetalle beobachtet, deren Ausmaß in der Reihenfolge Blei > Zink >> Kupfer abnimmt (Tab. 2). In der Streuauflage und in den oberen Bodenzentimetern sind die Schwermetalle besonders konzentriert. Das höhere Belastungsniveau der älteren und

stärker frequentierten Fläche Gütersloh kommt in den Gehalten der ersten beiden Entfernungszonen klar zum Ausdruck. Die häufig beschriebene exponentielle Abnahme von Schadstoffgehalten mit zunehmender Entfernung vom Emittenten ist auf dem Damm in nahezu typischer Weise realisiert. Auf der Einschnittsböschung Warburg ist die Abnahme der Streu- und Bodengehalte weit weniger ausgeprägt. Im Mahdgut steigen die Gehalte von der Mulde zum Saum sogar leicht an. Unmittelbar hinter dem Gehölzstreifen wird ein steiler Abfall bis in den Bereich der Grundbelastung gefunden. In 4 - 6 m Entfernung liegt auf beiden Flächen trotz eines erheblichen Unterschiedes im Verkehrsaufkommen eine vergleichbare Schwermetallbelastung des Mahdgutes vor.

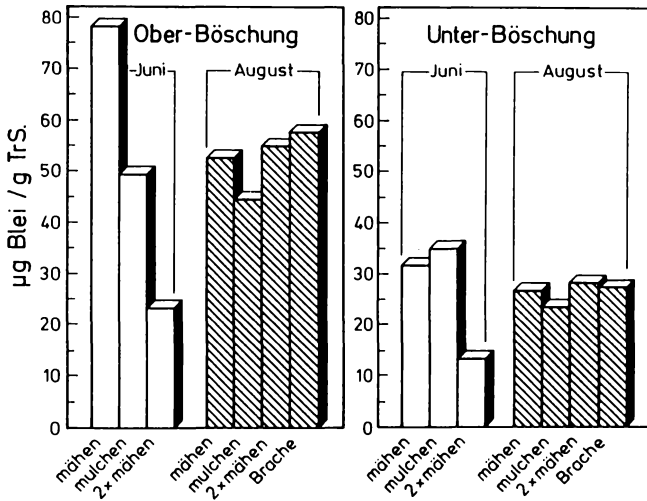
Bei den ermittelten Gehalten erscheinen direkte Vegetationsschädigungen noch wenig wahrscheinlich. Sie stellen aber sicherlich einen zusätzlichen Streßfaktor dar, der z.B. die Etablierung empfindlicher Arten erschweren kann. In den Banketten und in der Ober-Böschung von Gütersloh können zudem Wachstumsdepressionen nicht ausgeschlossen werden.

### 3.2 Mahdgut

Bei näherer Betrachtung der Blei-Gehalte im Mahdgut der einzelnen Pflegevarianten (Abb. 1) wird deutlich, daß im Einschnitt Warburg-N. der Augustschnitt der Böschung vergleichsweise stärker belastet ist. Demgegenüber bestehen in der besser wasserversorgten Mulde keine sicherbaren Unterschiede in der Blei-Belastung des Juni- und Augustschnittes. Ähnliches gilt auch auf dem "frischeren" Damm von Gütersloh. Hier zeigt sich eine deutliche Abstufung innerhalb der im Juni gepflegten Teilflächen, die auffällig parallel mit Unterschieden in der Artenzusammensetzung der Pflegevarianten verläuft. Ein hoher Deckungsanteil an krautiger Vegetation, vor allem an Giersch (*Aegopodium podagraria*) hat eine überproportional hohe Blei-Belastung zur Folge (Variante "Mähen Juni" der Ober-Böschung), während die Gras-Dominanzbestände sehr niedrig belastet sind (Variante "2 x Mähen" der Ober- und Unter-Böschung). Auffallend in beiden Versuchsflächen sind die vergleichsweise hohen Gehalte im Sommer-Aufwuchs der "2 x Mähen"-Variante. Sie liegen deutlich über denen des Frühsummer-Aufwuchses und überschreiten trotz wesentlich kürzerer Expositionsdauer zum Teil das allgemeine Belastungsniveau der August-Mahd.

Die schwermetallhaltigen Partikel und Aerosole gelangen zum Teil mit dem Spritz- und Abflußwasser in die Randflächen. Vorherrschend ist jedoch die trockene Deposition aus der Luft, die primär zu einer Oberflächenkontamination der Vegetation führt. Besondere Bedeutung kommt dabei der Raumstruktur und ihrem Einfluß auf die atmosphärische Verteilung der Aerosole zu. Im Fall der Einschnittsböschung mit Gehölzstreifen ist die Depositionsrate vor dem Gehölzstreifen durch intensiveren Kontakt von schadstoffbeladener Luft mit adsorbierenden pflanzlichen Oberflächen stark erhöht, dahinter jedoch erniedrigt. Ähnliche Effekte können von der Lage zur Hauptwindrichtung ausgehen. Das Depositionsgeschehen wird weiterhin von dem Volumen-/Flächenverhältnis und der Oberflächenbeschaffenheit der Vegetation, also deren Filterwirkung, beeinflusst. Die unterschiedliche Belastung der im Juni gepflegten Teilbestände der Fläche Gütersloh ist im Zusammenhang mit der Blattstellung und der effektiven Blattfläche der bestandesbildenden Kraut- und Grasarten zu sehen. Auch rauhbältige und/oder behaarte Arten binden mehr Schwermetalle (VETTER 1982). Durch Wachstums- und Degenerationsprozesse verändern sich die Oberflächeneigenschaften der Vegetation ebenfalls, so daß sich charakteristische Jahresgänge in der Schwermetallbelastung ergeben (CRUMP und BARLOW 1982, FRÜCHTENICHT und VETTER 1982). Insbesondere gealterte, an der Kutikula geschädigte Blätter haben eine höhere Aufnahme- und Speicherkapazität für schwermetallhaltige Aerosole. Im Herbst und Winter steigen die Schwermetallgehalte daher stark an, während sie in Zeiten hoher Zuwachsraten abnehmen. Auf der expositionsbedingt trocken-warmen Böschung der Fläche Warburg kann die früh eintretende Vertrocknung eine mögliche Ursache der hier beobachteten stärkeren Belastung des Augustschnittes sein. Bei ausreichender Wasserversorgung kann sich dagegen über die Sommermonate eine Art Gleichgewichtszustand zwischen trockener Deposition und "Abwaschverlusten" durch Niederschläge einstellen. Die im Verhältnis zur Expositionsdauer hohe Belastung des Sommer-Aufwuchses der "2 x Mähen"-Variante resultiert aus geringerem Massenzuwachs. Je ungünstiger die Aufwuchsbedingungen sind, desto stärker belastet ist der zweite Schnitt.

## GÜTERSLOH



## WARBURG-N

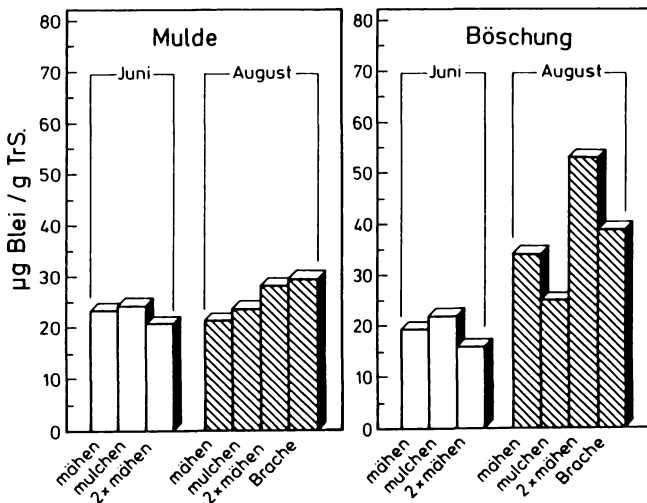


Abb. 1: Die Blei-Gehalte im Mahdgut der einzelnen Pflegevarianten in den Hauptentfernungszonen der Dauerversuchsflächen Gütersloh und Warburg-N.

Eine vergleichsweise starke Oberflächenkontamination mit Schwermetallen ist vor allem in den weitverbreiteten, nitrophilen Straßenrandgesellschaften, etwa den Brennessel-Glatthafer- und Brennessel-Böschungen (STOTTELE und SCHMIDT 1988), mit hohen Anteilen an großblättrigen Ruderal-, Grünland- und Saumarten zu erwarten, insbesondere wenn diese, wie bisher üblich, sehr spät im Jahr gemäht werden ("Reinigungsschnitt"). Wenig, aber ebenfalls hoch belastetes Mahdgut fällt in den trocken-mageren Ausbildungen der Möhren-Glatthafer-Straßenböschungen an. Grasreiche Gesellschaften mit geringer Blattflächenentwicklung wie z.B. Rotschwingel-Dominanzbestände reichern dagegen wenig Schwermetalle an. Im Verlauf der Vegetationsentwicklung sind die niedrigsten Gehalte nach Abschluß des größten Massenzuwachses, also lange vor der Samenreife zu erwarten. Tritt kein Wassermangel auf, sind die Veränderungen im Schwermetallgehalt der Vegetation im Zeitraum von Mitte Juni bis Mitte August relativ gering. Zur Gewinnung eines möglichst niedrig belasteten Mahdgutes sollten die Pflegetermine daher in dieser Zeit liegen. Mulchen ist wegen der starken Schwermetall-Konzentrierung in der Streuauflage eher negativ zu beurteilen. Aus der Sicht der Schwermetallbelastung sollte das Mahdgut aus dem Bankettbereich vielbefahrener Straßen nicht kompostiert werden.

### 3.3 Boden

Mit dem Alter der Straßenrandflächen gewinnt die Bodenbelastung zunehmend an Bedeutung. Bei den im allgemeinen hohen pH-Werten in Straßenrandböden herrschen spezifische Sorptionsprozesse an Mineraloberflächen und an funktionellen Gruppen der organischen Substanz vor, die zu einer stabilen Bindung führen. Die Schwermetalle werden zum überwiegenden Teil bereits in den oberen Bodenzentimetern festgelegt und reichern sich dort kontinuierlich an. Der Schwermetall-Transfer im System Boden-Pflanze kann bei gleichen Bodengehalten sehr verschieden sein und muß differenziert betrachtet werden. Die Aufnahme aus dem Boden ist stark von der Pflanzenart, der Bindungsform und dem pH-Wert sowie dem Bodentyp, insbesondere dem Humus- und Tongehalt, abhängig (VETTER 1982). Daneben bestehen große elementspezifische Unterschiede. Blei wird unter vergleichbaren Bodenbedingungen in wesentlich geringerem Umfang aufgenommen als Zink oder Cadmium.

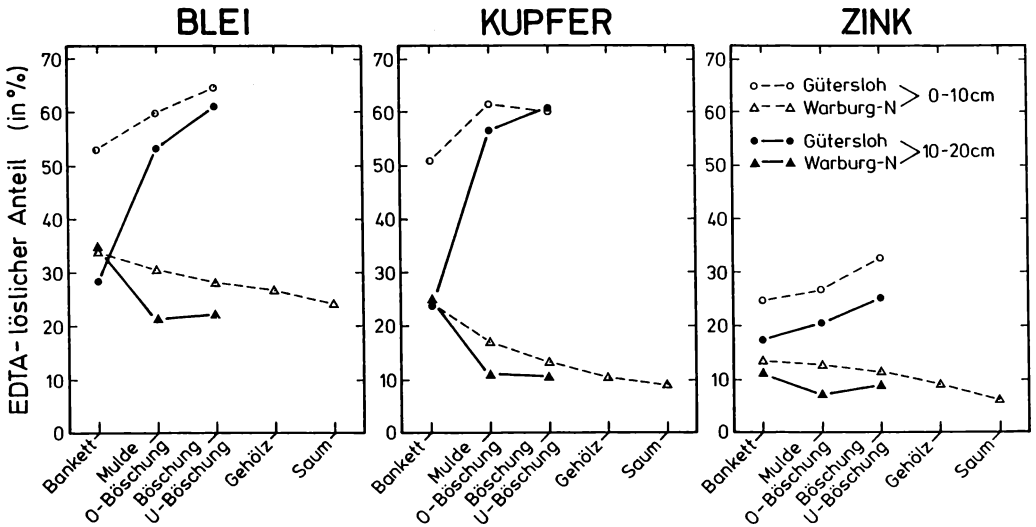


Abb. 2: Die EDTA-löslichen Blei-, Kupfer- und Zink-Anteile in den Böden der Dauerversuchflächen Gütersloh und Warburg-N (in % der angenäherten Gesamtgehalte; vgl. Anm. Tab. 1).

Als spezifisch für die im Humus fixierten Schwermetalle gelten Bodenextraktionen mit EDTA-Lösungen. Im Vergleich zu unkontaminierten Böden liegen die mittels EDTA extrahierbaren Anteile sehr hoch, wobei vor allem im Sandboden der Fläche Gütersloh der Humus entscheidend an der Bindung der Schwermetall-Immissionen beteiligt ist (Abb. 2). Auch die unterschiedlichen Bindungsprioritäten der Elemente Blei, Zink und Kupfer werden erkennbar. Blei und Kupfer haben eine höhere Affinität zur organischen Substanz als Zink, das stärker in der Tonfraktion gebunden wird. BRÜMMER et al. (1986) stufen die mit EDTA extrahierbaren Mengen als Schätzwert des Gesamtvorrates an potentiell pflanzenverfügbarem Metall ein. Beim Vergleich der beiden Böden ist dieses Potential im Sandboden wesentlich größer, als es die Gesamtgehalte zum Ausdruck bringen. Bei starker Beteiligung des Humus an der Schwermetall-Fixierung steigt auch im neutralen bis alkalischen Reaktionsbereich die Gefahr von Verlagerungsprozessen, da komplexierend wirkende organische Substanzen oberhalb eines pH von 6-7 verstärkt in Lösung gehen (HERMS u. BRÜMMER 1978). Es darf vermutet werden, daß in dem tiefgründig-humosen Sandboden der Fläche Gütersloh erhebliche Schwermetall-Mengen bereits in Form metall-organischer Komplexe in Richtung Grundwasser verlagert worden sind. Hierfür spricht ebenfalls, daß in einem lehmigen Boden an der A7 (Kassel - Göttingen) bei vergleichbarer Immissionsdauer und Verkehrsbelastung noch 2-3fach höhere Gehalte ermittelt wurden.

### 3.4 Vorratsmengen in Mahdgut und Boden

Die unterschiedlichen Biomassen bestimmen die Schwermetall-Vorräte im Mahdgut entscheidend mit. In den Beständen des Muldenbereichs der Fläche Warburg wird insgesamt etwa die doppelte Blei- und Zink-Menge festgelegt wie in der niedrig wüchsigen Böschung (Tab. 3). Auf dem Damm in Gütersloh ist die Unter-Böschung die produktivere Entfernungszone. Trotz größerer Entfernung zur Fahrbahn werden hier annähernd die gleichen Schwermetall-Mengen gebunden wie in der Ober-Böschung. In beiden Versuchsflächen lassen sich keine Unterschiede zwischen Juni- und August-Mahd bzw. ein- oder zweimaliger Mahd absichern. Die Bodenvorräte liegen um einen Faktor 1.000 - 3.000 über denen des Mahdgutes.

**Tab. 3:** Die Blei-, Zink- und Kupfervorräte in den Dauerversuchsflächen Gütersloh und Warburg-N im Vergleich zu Schätzwerten der Grundvorräte unbelasteter Standorte. Die Vorräte im Mahdgut sind als Mittelwerte über alle Pflegevarianten mit Standardabweichung angegeben. Zur Abschätzung der Grundvorräte wurden die in Tab. 2 angegebenen Gehalte der Grundbelastung zugrundegelegt; die Angabe erfolgt als Spanne anhand der geringsten und höchsten Biomassen- bzw. Trockenraumdichten ohne Berücksichtigung der Entfernungszonen.

Grundvorrat	GÜTERSLOH			Versuchsfläche	WARBURG-N			Grundvorrat
	Unter-Böschung	Ober-Böschung	Ban-kett	Entfernungszone	Ban-kett	Mulde	Böschung	
	2,5m	2,5m	1m	Breite	1,2m	2,2m	2,2m	
	mg/m <sup>2</sup>				mg/m <sup>2</sup>			
1,3- 2,7 5,1-15,9	11,6 ± 4,4	16,0 ± 5,6		Mahdgut				0,7-1,6 3,0-6,4
	23,1 ± 6,0	20,8 ± 6,1		Blei	6,3 ± 1,1	3,4 ± 1,2		
				Zink	10,2 ± 2,4	5,1 ± 1,5		
	g/m <sup>2</sup>				g/m <sup>2</sup>			
2 - 2,2 4 - 7 2 - 2,2	17,6 16,6 2,6	25,5 23,5 3,8	38,5 33,2 9,2	Boden (0-20cm)				
				Blei	13,0	10,8	10,3	4- 5
				Zink	23,0	18,6	17,9	8-11
				Kupfer	7,0	7,6	6,9	4- 5

In einer Übersichtsrechnung können die unter dem Verkehrseinfluß akkumulierten Mengen (= Vorrat - Grundvorrat) einer Abschätzung der im gleichen Zeitraum erfolgten Gesamtemissionen gegenübergestellt werden. Dabei werden im Mahdgut nur maximal 0,5 % der von April bis Juni/August durch Kraftfahrzeuge freigesetzten Blei- und Zink-Mengen wiedergefunden. Die Blei-Wiederfindungsrate im Boden (0-20 cm Bodentiefe, Fahrbahnabstand 0-6 m) liegt in Warburg-N. bei etwa 11 % der seit Inbetriebnahme erfolgten Emission, in Gütersloh dagegen nur etwa bei 6 %. Die Differenz kann auf Verlagerungsprozesse und die unterschiedliche Raumstruktur zurückgeführt werden. Zink wird zu einem über doppelt so hohen Prozentsatz im Boden wiedergefunden, vermutlich weil beim Reifenabrieb als Hauptquelle der Zink-Freisetzung mehr Partikel mit relativ großem Durchmesser entstehen, die weniger gut luftgängig sind und straßennah abgelagert werden. Die Zahlen belegen, daß die Kfz-bedingten Schwermetall-Emissionen zu einem erheblichen Anteil großräumig in der Atmosphäre verteilt werden und so z.B. auch zur Belastung abgelegener Wälder beitragen (MAYER 1981).

## LITERATUR

- ANDERSSON A., 1976: On the determination of ecologically significant fractions of some heavy metals in soils. - Swedish J.agric. Res. 6: 19-25.
- BRÜMMER G.W., GERTH J., HERMS U., 1986: Heavy metal species, mobility and availability in soils. - Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 149: 382-398.
- CRUMP D.R., BARLOW P.J., 1982: Factors controlling the lead content of a pasture grass. - Environ. Pollut. Ser. B 3: 181-192.
- FRÜCHTENICHT K., VETTER H., 1982: Charakterisierung der Schwermetallbelastung durch Messung der Schwermetallgehalte in Pflanzen. - Landw. Forsch. SH 39: 154-164.
- HERMS U., BRÜMMER G., 1978: Einfluß organischer Substanzen auf die Löslichkeit von Schwermetallen. - Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges. 27: 181-192.
- KLOKE A., 1982: Erläuterungen zur Klärschlammverordnung. - Landw. Forsch. SH 39: 302-308.
- LAGERWERFF J.V., SPECHT A.W., 1970: Contamination of roadside soil and vegetation with cadmium, nickel, lead and zinc. - Env. Sci. Technol. 4: 583-586.
- MAYER R., 1981: Natürliche und anthropogene Komponenten des Schwermetallhaushaltes von Wald-Ökosystemen. - Göttinger Bodenkundl. Ber. 70.
- MEDERAKE R., SCHMIDT W., 1989: Pflegeversuche auf Straßenbegleitflächen. - Natur und Landschaft 64 (11): 499-506.
- MERIAN E. (Hrsg.), 1984: Metalle in der Umwelt: Verteilung, Analytik und biologische Relevanz. - Weinheim (Verlag Chemie).
- NÜRNBERG H.W., VALENTA P., NGUYEN V.D., 1983: The wet deposition of heavy metals from the atmosphere in the Federal Republic of Germany. - In: Proc. Int. Conf. Heavy Metals In The Environment, Vol. 1. Edinburgh (CEP Consultants Ltd.): 115-123.
- STOTTELE T., SCHMIDT W., 1988: Flora und Vegetation an Straßen und Autobahnen der Bundesrepublik Deutschland. - Forschung, Straßenbau u. Straßenverkehrstechnik 529 (im Druck).
- VETTER H., 1982: Schwermetalle in der Nahrungskette - Belastungsgrenzen für Pflanzen. - Landw. Forsch. SH 39: 12-27.
- WARD N.I., BROOKS R.R., ROBERTS E., BOSWELL C.R., 1977: Heavy metal pollution from automotive emissions and its effect on roadside soils and pasture species in New Zealand. - Environ. Sci. Technol. 11: 917-920.

## ADRESSE

Dipl.-Biol. Uwe Wagner  
Amalienstr. 7  
D-W-3500 Kassel

Prof. Dr. Wolfgang Schmidt  
Systematisch-Geobotanisches Institut der  
Universität Göttingen  
Untere Karspüle 2  
D-W-3400 Göttingen



# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1990

Band/Volume: [19\\_2\\_1990](#)

Autor(en)/Author(s): Wagner Uwe, Schmidt Wolfgang

Artikel/Article: [Die Schwermetallbelastung zweier Autobahnstandorte bei unterschiedlichen Pflegemassnahmen 624-631](#)