

Schwerpunktthema: Platin in Umweltkompartimenten

Platin in belasteten Gräsern: Anstieg der Emissionen aus PKW-Abgaskatalysatoren. Erster Trend aus direkten Umweltmessungen (1992-1995)
ECKARD HELMERS, NORBERT MERGEL (UWSF 9/3, 147-148, 1997)

Deposition, Verteilung sowie Bedeutung für den Menschen und sein Nahrungsnetz: Stand und Forschungsbedarf
SÖNNKE LUSTIG, RUDOLPH SCHIERL, FRIEDRICH ALT, ECKARD HELMERS, KLAUS KÜMMERER (UWSF 9/3, 149-152, 1997)

Verteilung von Platingruppenelementen (PGE) in den Umweltkompartimenten Boden, Schlamm, Straßenstaub, -kehrgut und Wasser:
Emission von PGE aus Kfz-Abgaskatalysatoren
FATHI ZEREINI, FRIEDRICH ALT, KAI RANKENBURG, JÖRG-MAGNUS BEYER, SABINE ARTELT (UWSF 9/4, 193-200, 1997)

Verteilung verkehrsbedingter Edelmetallimmissionen in Böden

Marijan Cubelic, Richard Pecoroni, Jörg Schäfer, Jörg-Detlef Eckhardt, Zsolt Berner, Doris Stüben

Institut für Petrographie und Geochemie (IPG) der Universität Karlsruhe, Kaiserstr. 12, D-76128 Karlsruhe

Korrespondenzautor: Dr. Jörg-Detlef Eckhardt; eMail: detlef.eckhardt@bio-geo.uni-karlsruhe.de
Internet: <http://www.uni-karlsruhe.de/~ipg>

Zusammenfassung

Die Verteilung verkehrsbedingter Platingruppenelemente (PGE) aus Kfz-Abgaskatalysatoren in straßennahen Böden wurde an verschiedenen Standorten untersucht. Entlang senkrecht zur Fahrbahn verlaufender Traversen (0,1-10 m) wurden Bodenproben aus drei unterschiedlichen Bodentiefen entnommen. Die Bestimmung der Gehalte an Platin, Rhodium und Palladium erfolgte nach Abtrennung und Anreicherung durch Nickelsulfid-Dokimasie und naßchemischem Aufschluß (HCl/H₂O₂) mittels ICP-MS. Die Platinkonzentrationen im straßennahen Boden liegen zwischen 250 µg/kg und den geogenen Hintergrundwerten. Die Platin/Rhodium-Verhältnisse in Straßensedimenten und kontaminierten Oberböden liegen bei 6:1 und entsprechen somit weitgehend den langjährig in der Katalysatorproduktion eingesetzten Mengenverhältnissen. Deutliche Abhängigkeiten der Immissionen von der Entfernung zur Fahrbahn, der Bodentiefe und Standortmerkmalen, wie Hauptwindrichtung, Barrieren durch Vegetation oder Morphologie sowie der Verkehrsdichte und Stauhäufigkeit zeichnen sich anhand der gemessenen Konzentrationsprofile ab.

Schlagworte: Abgaskatalysator, Edelmetalle, Emissionen; ICP-MS; Immissionen, Abgaskatalysator; Kfz-Emissionen, Abgaskatalysator; Nickelsulfid-Dokimasie; Palladium; Platin; Platingruppenelemente in Böden; Rhodium

Abstract

Contents and distribution of platinum-group-elements (PGE) in soils caused by automobile emissions were investigated at three transects perpendicular to the road at various depths. Concentrations of platinum, rhodium and palladium were determined by ICP-MS after separation and preconcentration by nickel-sulphide fire-assay. Platinum contents in roadside soils

range from 250 µg/kg to the local background values which are below 0.5 - 0.8 µg/kg. Ratios of platinum and rhodium (about 6:1) are similar to the ratios in catalytic converters. There is evidence for a significant correlation of PGE input and local parameters such as traffic-conditions, distance from the traffic-lane, prevailing wind direction, and barriers such as vegetation or morphology.

Keywords: Catalytic converters; emissions from catalytic converters; ICP-MS; nickel-sulphide fire-assay; noble metals, palladium; PGE; PGM, nickel-sulphide fire-assay; platinum-group-elements (PGE); platinum-group-metals (PGM) in soils, ICP-MS; platinum; rhodium

1 Einleitung

Der Betrieb von Kraftfahrzeugen führt zum Ausstoß erheblicher Mengen von Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffen, Stickoxiden, Ruß und anderen toxischen Substanzen wie Dioxinen, PAK und Schwermetallen, die in straßennahe Ökosysteme immittiert werden (HOFFMANN et al. 1989; GÄTH et al. 1990; GOLWER 1991; KOHL et al. 1993). Neben der Verbrennung fossiler Brennstoffe sind Abrieb (Straßenoberfläche, Reifen, Bremsen), Tropfverluste und Korrosion als Emissionsquellen zu nennen (→ *Tabelle 1*; MUSCHAK 1989; UNGER & PRINZ 1992).

Ein wesentlicher Schritt zur Reduktion der Hauptschadstoffe (Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe und Stickoxide) im Autoabgas war die Einführung von Abgaskatalysatoren, deren Bedeutung und Einsatz seit Mitte der achtziger Jahren stark zugenommen haben. Diese Katalysatoren enthal-

Tabelle 1: Emissionsquellen verkehrsbedingter Schadstoffe (verändert nach LICHTENTHÄLER & REUTTER 1987: 57)

	Verbrennung	Reifen- abrieb	Brems- belagabrieb	Straßen- abrieb	Korrosion	Tropf- verluste	Katalysator- abrieb
PGE							√
Zink		√		√	√	√	
Blei	√	√	√	√		√	
Kupfer		√	√	√		√	

ten zwei bis drei Gramm der katalytisch wirksamen Edelmetalle Platin, Palladium und Rhodium, die auf einen mit Aluminiumoxid beschichteten, wabenartigen Keramikträger aus Cordierit (Monolith) aufgebracht sind. Platin und Palladium unterstützen die Oxidation von Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffen zu Kohlendioxid und Wasser, während Rhodium die Reduktion der Stickoxide zu Stickstoff katalysiert.

Infolge mechanischer, thermischer und chemischer Belastungen beim Fahrbetrieb werden diese Edelmetalle emittiert und in Straßennähe abgelagert (HILL & MAYER 1977). Der in Motorstandversuchen unter verschiedenen Betriebsbedingungen nachgewiesene Platinaustrag entspricht Emissionsraten zwischen 0,8 und 65,3 ng pro gefahrenem Kilometer (HERTEL et al. 1990; KNOBLOCH 1993). Die emittierten Spezies wurden als metallisches Platin und Platinoxid identifiziert (INACKER & MALESSA 1992). Vergleichbare Daten für Rhodium oder Palladium liegen nicht vor. Experimente mit definierten Pt-Spezies (z.B. PtCl_6^{2-}) zeigten, daß diese bereits nach kurzem Kontakt mit aufbereiteten Bodenpartikeln in andere Spezies unterschiedlicher Stabilität übergehen (LUSTIG et al. 1996; MICHALKE & SCHRAMEL 1996). Schon heute ist ein deutlicher Anstieg der PGE-Gehalte entlang stark befahrener Straßen zu verzeichnen, wovon vor allem der oberste Bodenhorizont direkt neben der Fahrbahn betroffen ist (ECKHARDT & SCHÄFER 1997; HEINRICH et al. 1996; SCHÄFER et al. 1995; ZEREINI et al. 1993). HELMERS & MERGEL (1996) berichten über eine entfernungsabhängige Abnahme der Platingehalte ungewaschener Grasproben, die hauptsächlich die oberflächliche Deposition der Aerosole wiedergeben. Die Verdoppelung der Werte zwischen 1992 und 1995 wird in dieser Arbeit direkt auf den ebenfalls verdoppelten Anteil an Katalysator-bestückten Fahrzeugen zurückgeführt. Nach WÄBER et al. (1996) sind Platinimmissionen, ermittelt mit dem Verfahren der standardisierten Graskultur, nicht nur von der Verkehrsdichte sondern auch von Faktoren wie Fahrbahntfernung oder Exposition abhängig. In Übereinstimmung mit HELMERS (1996) weisen die Autoren auf die Korrelation der Platingehalte mit den Werten anderer Kfz-emittierter Elemente wie Blei, Chrom und Antimon hin. In innerstädtischen Straßenabflüssen kann Kfz-emittiertes Platin in Abhängigkeit vom Niederschlag nachgewiesen werden (LASCHKA et al. 1996), trägt allerdings neben anderen Quellen wie Medizin und Industrie nur teilweise zu den in Klärschlämmen derselben Stadt nachgewiesenen Platingehalten bei (LASCHKA & NACHTWEY 1996).

Hinsichtlich der Mobilität und der Verfügbarkeit der PGE für umweltrelevante biologische Prozesse, die wesentlich von Spezies, Transformationsverhalten und Wechselwirkungen mit Komplexbildnern abhängen, besteht noch erheblicher Klärungsbedarf (LUSTIG et al. 1996; MICHALKE & SCHRAMEL 1996; NACHTIGALL et al. 1996). Eine Belastung von Mensch und Umwelt durch Edelmetalle war bislang nur auf Produktionsstätten beschränkt, so daß konkrete Angaben zur Toxizität von Platin für den menschlichen Organismus am ehesten aus der Arbeitsmedizin zu erwarten sind (MARQUARDT & SCHÄFER 1994; SCHIERL 1996). In Laborversuchen wurde die Löslichkeit von metallischem Platin und Palladium in biogenen Stoffen nachgewiesen (EHRENSTORFER-SCHÄFER et al. 1988; FREIESLEBEN et al. 1993). Darüberhinaus geben Labor- und Tierversuche deutliche Hinweise auf Pflanzenverfügbarkeit und Toxizität definierter Platinspezies (NOBEL & MICHENFELDER 1988; VELTZ et al. 1994; FARAGO & PARSONS 1994; BOGENRIEDER et al. 1992a, 1992b; KIRCHGESSNER et al. 1992a, 1992b; MESSERSCHMIDT et al. 1994; LUSTIG et al. 1996), woraus sich hinsichtlich der ökotoxikologischen Zusammenhänge weiterer Untersuchungsbedarf ableitet.

Diese Arbeit dient der näheren Untersuchung sowohl der aktuellen Gehalte von Platin, Rhodium und Palladium in Böden ausgewählter Straßenstandorte in Baden-Württemberg als auch der Auswirkung verschiedener Standortmerkmale auf die Verteilungsmuster dieser Elemente. Gemeinsamkeiten und Unterschiede in der räumlichen Verteilung der PGE und anderer verkehrsbedingt immittierter Schwermetalle wie Zink, Blei und Kupfer werden aufgezeigt.

2 Standortbeschreibung und Probenahme

In dieser Studie wurden die drei Standorte Stuttgart-Vaihingen (BAB 8), Walldorf (BAB 6) und Freiburg (B 31 A) aufgrund ihrer unterschiedlichen Eigenschaften ausgewählt (→ Tabelle 2) und im Sommer 1995 jeweils die Seitenstreifen beprobt. Die Autobahn BAB 6 bei Walldorf hat einen sehr hohen LKW-Anteil, da sie als Nord-Süd-Verbindung eine wichtige Verkehrsachse für den Gütertransport darstellt. Der im Ballungsraum Stuttgart liegende Standort Vaihingen weist mit seinem hohen Pendleraufkommen, neben der höchsten Verkehrsdichte eine überdurchschnittlich hohe Stauhäufigkeit auf. Der sehr geringe LKW-Anteil am Standort Freiburg ist darauf zurückzuführen, daß es sich um eine

Tabelle 2: Charakteristika der untersuchten Standorte

Standort	Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV)	Lkw-Anteil	Fahrspuren je Fahrtrichtung	Seitenstreifen		
				Breite	Morphologie	Vegetation
Stuttgart-Vaihingen (BAB 8)	ca. 120.000 Kfz	ca. 18 %	3	10 m	Mulde	Wiese, Waldrand 10 m
Walldorf (BAB 6)	ca. 85.000 Kfz	ca. 25 %	3	10 m (NO) 7 m (SW)	eben	Wiese
Freiburg (B 31 A)	ca. 56.000 Kfz	ca. 5 %	2	11 m	Böschung	Wiese

Bundesstraße handelt, deren Bedeutung als West-Ost-Verbindung für den Schwerlastverkehr aufgrund der geographischen Lage stark eingeschränkt ist.

Die Straßensedimente wurden von einem 20 cm breiten und 20 m langen Streifen am äußersten Rand der Asphaltdecke aufgelegt. Die Beprobung der Böden erfolgte entlang senkrecht zum Fahrbahnrand verlaufender Traversen in den Profiltiefen 0-2, 2-5 und 5-10 cm. Hierbei wurden mit einem Spaten quaderförmige Bodenproben ausgestochen und in die jeweiligen Profiltiefen unterteilt. Die Ränder wurden verworfen, um mögliche Fehler durch Verschleppungen zu vermeiden. Um eine repräsentative Probe zu erhalten, wurden jeweils ca. 500 g Boden entnommen. Der Feinboden (< 2 mm) wurde vom Skelett abgetrennt, homogenisiert, bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und bei 450 °C verascht.

3 Analytik

Um die zum Teil äußerst geringen Edelmetallgehalte analysieren zu können, ist eine Anreicherung der Edelmetalle notwendig. Nach Vorbereitung (Trocknung bei 105°C; Siebung < 2 mm) der Proben werden die PGE mit Hilfe der Nickelsulfid-Dokimasie von der Matrix abgetrennt, angereichert und anschließend selektiv aufgeschlossen. Hierbei werden 50 g der homogenisierten Probe zusammen mit einer Schmelzmischung aus 30 g Natriumcarbonat, 100 g Natriumtetraborat, 10 g Nickelpulver, 7,5 g Schwefel und 5 - 10 g Kieselgur eine Stunde bei 1140 °C geschmolzen. Mit fortschreitender Schmelzdauer kommt es zu einer Entmischung (Liquation) der Schmelze in eine silikatisch-boratische und eine sulfidische Phase. Das hierbei entstehende Nickelsulfid dient als Kollektor für die Platingruppenelemente, die eine starke Affinität zu dieser Phase besitzen (ROBERT et al. 1971; MCDONALD et al. 1994). Der erkaltete sulfidische Regulus enthält die PGE als Sulfide sowie als Legierungen mit oder ohne Nickel (ZEREINI et al. 1994; vgl.

auch ZEREINI et al 1997; URBAN et al. 1995). Nach mechanischer Zerkleinerung wird der Regulus mit konzentrierter Salzsäure behandelt. Bei diesem Lösungsprozess bleiben die Edelmetallverbindungen unangegriffen, während das Nickelsulfid vollständig in Lösung geht. Die Lösung wird über einen PTFE-Membranfilter unter Vakuum abgesaugt. Die PGE im Rückstand werden mit konzentrierter Salzsäure und Wasserstoffperoxid oxidativ gelöst. Anschließend wird diese Lösung über einen Papierfilter abfiltriert, um Schlackenreste zu entfernen und mit HNO₃ (1 %; s.p.) in einen 10 ml Meßkolben überführt und aufgefüllt. Die Edelmetallgehalte wurden mittels eines Quadrupol ICP-MS (FISONS PQ 2) bestimmt.

Zur Überprüfung der Richtigkeit und Reproduzierbarkeit des angewandten Verfahrens (NiS-Dokimasie/ICP-MS) wurden Versuchsreihen mit den Referenzmaterialien SARM 7 und WPR-1 sowie Aufstockungen unbelasteter Bodenproben mit Standardlösungen (z.B auf 10 µg/kg) durchgeführt. Die Wiederfindungsraten der PGE betragen zwischen 90 und 97 % der zertifizierten Werte bzw. der Aufstockung. Dies ist vor allem auf Verluste bei der Dokimasie zurückzuführen. Die relativen Standardabweichungen der Elementgehalte verschiedener Monitorproben liegen für den relevanten Konzentrationsbereich (2-100 µg/kg) zwischen 5 und 12 %. Die Nachweisgrenzen des beschriebenen Verfahrens, berechnet aus dem Mittelwert der Chemikalienblindwerte und der dreifachen Standardabweichung, betragen für Pt und Pd 0,4 µg/kg sowie für Rh 0,1 µg/kg.

Der Einfluß möglicher Masse-Interferenzen durch Strontium, Zirkon, Cadmium, Kupfer und Hafnium bei der PGE-Bestimmung mittels ICP-MS (Finnigan MAT 1995) wird durch gleichzeitige Messung dieser Elemente kontrolliert und gegebenenfalls rechnerisch korrigiert. Die Bestimmung der Oxidbildungsrate (BaO) sowie der Vergleich der Zählratenverhältnisse der detektierten Massen mit den natürlichen Isotopenhäufigkeiten dienen zusätzlich der Überprüfung der Interferenzbildung. Rhodium besitzt nur ein Isotop (¹⁰³Rh).

Cluster von ArCu^{1+} können die Bestimmung auf den Massen ^{103}Rh bzw. ^{105}Pd stören. Bei Parallelmessungen der Aufschlußlösungen mittels eines ICP-MS (Element; Finnigan MAT) war in der Hochoflösung ($m/\Delta m = 8000$) auf beiden Massen keine Interferenz durch ArCu^{1+} erkennbar. Störungen bei der Bestimmung von ^{195}Pt und ^{105}Pd durch Interferenzen von HfO^{1+} (LUSTIG et al. 1997) bzw. Oxiden von Yttrium, Strontium und Rubidium können wegen der geringen Konzentrationen dieser Elemente und niedrigen Oxidbildungsraten (z.B. $\text{BaO}/\text{Ba} < 0,1\%$) vernachlässigt werden.

Die Richtigkeit der ICP-MS-Analysen wurde durch Parallelbestimmungen mittels Graphitrohrföfen-Atomabsorptionsspektrometrie (GFAAS; PERKIN ELMER 4110 ZL) für Platin und Rhodium überprüft. Die Meßergebnisse dieser beiden Methoden stimmen gut überein. Die relativen Abweichungen zwischen den beiden Methoden liegen generell unter 10%, im optimalen Meßbereich kleiner 3% und im Mittel bei 7%.

Die Untersuchung der Schwermetallgehalte von Blei, Zink und Kupfer erfolgte mittels energiedispersiver Röntgenfluoreszenzanalyse (EDRFA; TRACOR X-ray Spectrace 5000). Hierfür wurden 20-30 g vorgetrockneten Feinbodens ($< 2 \text{ mm}$) entnommen und die Fraktion $< 80 \text{ mesh}$ ($= 177 \mu\text{m}$) als Pulverschüttprobe nach der Methode von KRAMAR & PUCHELT (1981) gemessen. Die Röhrenspannung betrug 50 kV, die Stromstärke 0,08 mA und die Meßzeit 400 s. Ein Pd-Filter zwischen Röntgenröhre und Probe sowie ein Detektor ($a = 30 \text{ mm}^2$) mit einer Energieauflösung von 145 eV bei 5,9 keV wurden verwendet.

4 Ergebnisse

4.1 Standort Freiburg

Das beprobte Straßensediment enthält 47,3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ Platin, 7,8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ Rhodium und 3,9 $\mu\text{g}/\text{kg}$ Palladium (\rightarrow Tabelle 3). Die PGE-Gehalte in der obersten Bodenschicht (0-2 cm) zeigen eine deutliche Entfernungsabhängigkeit (\rightarrow Abb. 1). Die exponentielle Abnahme der Werte beginnt am Straßenrand und verläuft bis zum Fuß der Böschung. Direkt unterhalb der Böschung treten höhere Gehalte auf (lokales Maximum), die wiederum mit zunehmender Entfernung abnehmen. Im zweiten Profilabschnitt (2-5 cm) liegen die PGE-Gehalte deutlich unter den Werten der obersten Bodenschicht (\rightarrow Tabelle 3). Die Palladiumgehalte liegen mit Werten um 0,5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ nur wenig über der Nachweisgrenze. Im untersten Profilabschnitt (5-10 cm) dieses Standortes befinden sich die PGE-Gehalte der untersuchten Proben unter den Nachweisgrenzen.

4.2 Standort Walldorf

Im Straßensediment südwestlich der Autobahn sind 93,3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ Platin, 15,3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ Rhodium und 3,5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ Palladium

enthalten (\rightarrow Tabelle 4). Im Boden treten die höchsten PGE-Gehalte in der Profiltiefe (0 - 2 cm) direkt neben der Fahrspur auf und sinken mit zunehmender Entfernung von der Fahrspur rasch ab (\rightarrow Abb. 1 und 2). In der zweiten untersuchten Bodenschicht (2-5 cm) sind die Edelmetallgehalte deutlich geringer als im obersten Horizont und zeigen ebenfalls eine starke Entfernungsabhängigkeit (\rightarrow Tabelle 4). Im dritten Profilabschnitt (5-10 cm) liegen nur die Platingehalte (zwischen 0,9 $\mu\text{g}/\text{kg}$ und 0,6 $\mu\text{g}/\text{kg}$) über der Nachweisgrenze. Eine Abhängigkeit zwischen den Konzentrationen und der Entfernung zur Fahrspur ist in dieser Bodentiefe nicht mehr erkennbar.

Tabelle 3: Edelmetallgehalte in Straßensediment- und Bodenproben am Standort Freiburg

Entfernung vom Fahrbahnrand [m]	Tiefe [cm]	Platin [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	Rhodium [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	Palladium [$\mu\text{g}/\text{kg}$]
Straßensediment		47,3	7,8	3,9
0,1	0-2	25,3	4,8	1,2
1,0	0-2	5,9	1,0	0,9
2,5	0-2	3,2	0,5	0,5
4,0	0-2	2,2	0,2	0,5
6,0	0-2	5,3	0,5	0,5
11,0	0-2	3,7	0,6	0,6
0,1	2-5	3,1	0,5	0,5
1,0	2-5	2,3	0,5	0,5
2,5	2-5	2,0	0,6	0,6
4,0	2-5	1,0	0,2	0,5
6,0	2-5	0,5	0,5	0,5
11,0	2-5	1,3	0,2	0,9
0,1	5-10	1,0	0,3	<0,4
1,0	5-10	0,6	0,3	<0,4
2,5	5-10	2,8	0,3	<0,4
4,0	5-10	3,1	0,2	<0,4
6,0	5-10	5,6	0,5	0,5
Nachweisgrenze [$\mu\text{g}/\text{kg}$]		0,4	0,1	0,4

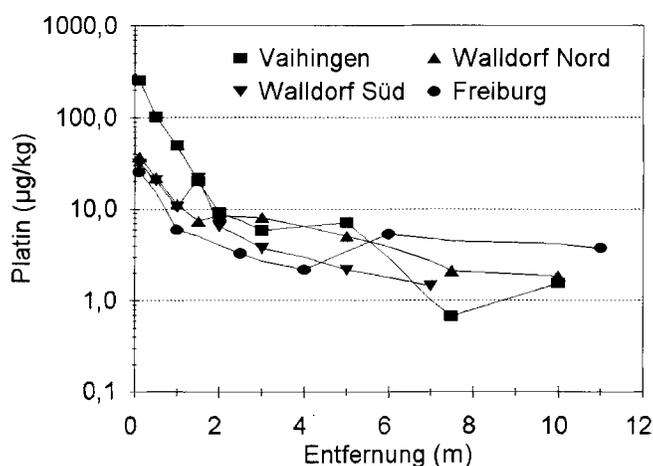


Abb. 1: Platingehalte (0-2 cm Bodentiefe) an den einzelnen Standorten

Das nordöstlich der Fahrspur gesammelte Straßensediment weist 74,3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ Platin, 12 $\mu\text{g}/\text{kg}$ Rhodium und 5,7 $\mu\text{g}/\text{kg}$ Palladium auf. Die Gehalte der drei untersuchten PGE sind auch hier in der obersten untersuchten Bodenschicht (0-2 cm) direkt neben der Fahrspur am höchsten und sinken im

Tabelle 4: Edelmetallgehalte in Straßensediment- und Bodenproben am Standort Walldorf

Entfernung vom Fahrbahnrand [m]	Tiefe [cm]	Platin	Rhodium	Palladium	Platin	Rhodium	Palladium
		[µg/kg]	[µg/kg]	[µg/kg]	[µg/kg]	[µg/kg]	[µg/kg]
		nordöstlich der Autobahn			südwestlich der Autobahn		
Straßensediment		93,3	15,3	3,5	74,3	12,0	5,7
0,1	0-2	37,2	6,3	7,0	31,1	5,6	1,8
0,5	0-2	22,0	3,8	2,0	20,4	3,9	3,2
1,0	0-2	11,3	2,1	1,7	10,5	1,6	0,7
1,5	0-2	7,3	1,3	0,7	12,6	2,4	1,9
2,0	0-2	8,4	1,5	1,3	12,9	2,8	1,5
3,0	0,2	8,0	1,8	2,7	2,5	0,5	0,7
5,0	0-2	3,6	0,8	0,6	2,2	0,3	<0,4
7,5	0-2	4,9	1,3	0,8	1,4	0,2	<0,4
10,0	0-2	1,9	0,3	0,5			
0,1	2-5	12,9	2,2	0,9	25,5	4,7	3,3
0,5	2-5	2,6	0,5	0,5	8,7	1,6	0,8
1,0	2-5	4,2	0,7	1,1	2,5	0,4	<0,4
1,5	2-5	7,0	1,2	1,7	2,1	0,3	<0,4
2,0	2-5	6,7	1,2	2,4	1,7	0,3	<0,4
3,0	2-5	1,3	0,2	1,0	1,7	0,2	1,0
5,0	2-5	0,8	0,2	0,5	1,1	0,2	<0,4
7,5	2-5	0,9	0,2	0,4	0,9	0,1	<0,4
10,0	2-5	1,3	0,3	0,6			
0,1	5-10	4,4	0,7	2,0	0,9	0,1	0,4
0,5	5-10	0,6	0,1	<0,4	0,6	<0,1	<0,4
1,0	5-10	2,8	0,5	0,5	0,8	0,1	<0,4
1,5	5-10	0,5	<0,1	<0,4	0,6	<0,1	<0,4
2,0	5-10	3,1	0,5	1,6	0,6	<0,1	0,4
3,0	5-10	1,6	0,2	0,9	1,4	<0,1	0,4
5,0	5-10	0,9	0,1	0,5	1,3	0,2	<0,4
7,5	5-10	0,4	<0,1	<0,4	0,8	0,2	<0,4
10,0	5-10	3,9	0,8	1,3			
Nachweisgrenze [µg/kg]		0,4	0,1	0,4	0,4	0,1	0,4

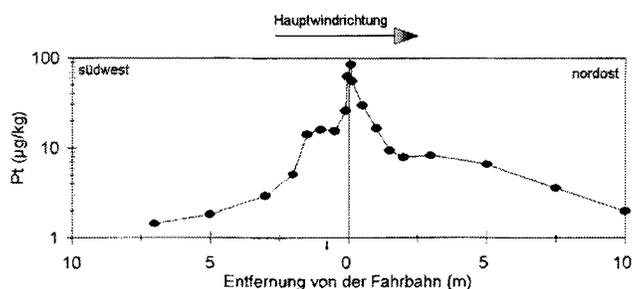


Abb. 2: Einfluß der Hauptwindrichtung auf die Platingehalte am Standort Walldorf (0-2 cm Bodentiefe)

Verlauf der Traverse schnell ab (→ Tabelle 4, Abb. 1 und 2). Die vertikale Abnahme der PGE-Gehalte wird im zweiten und dritten Profilabschnitt (2-5 cm bzw. 5-10 cm Boden-

tiefe) deutlich. Die Entfernungsabhängigkeit der Gehalte von Platin und Rhodium ist hier bei weitem nicht so signifikant wie in der obersten Profiltiefe, dennoch ist ein räumlicher Trend sowie ein deutlicher Gleichgang der Werte zu erkennen. Dies trifft für Palladium bei Werten knapp über der Nachweisgrenze kaum zu (→ Tabelle 4).

4.3 Standort Vaihingen

Die Edelmetallgehalte im Straßensediment betragen für Platin 198 µg/kg, für Rhodium 30,5 µg/kg und für Palladium 11,6 µg/kg (→ Tabelle 5). Der Boden zeigt im obersten Profilabschnitt (0-2 cm Profiltiefe) mit 253 µg/kg direkt neben der Fahrbahn eine extreme Anreicherung der Edelmetalle. Die PGE-Gehalte zeigen eine exponentielle Abnahme mit zunehmender Entfernung vom Fahrbahnrand. Platin und

Tabelle 5: Edel- und Schwermetallgehalte in Straßensediment- und Bodenproben am Standort Vaihingen

Entfernung vom Fahrbahnrand [m]	Tiefe [cm]	Platin [µg/kg]	Rhodium [µg/kg]	Palladium [µg/kg]	Zink [mg/kg]	Blei [mg/kg]	Kupfer [mg/kg]
Straßensediment		198,0	30,5	11,6	3180	472	517
0,1	0-2	253,0	39,7	12,5	1440	513	402
0,5	0-2	102,0	17,7	3,4	1610	639	307
1,0	0-2	43,2	8,6	19,3	760	462	207
1,5	0-2	20,0	2,9	1,4	323	299	101
2,0	0-2	9,0	1,5	1,3	325	334	94
3,0	0,2	5,9	1,0	<0,4	218	236	74
5,0	0-2	7,2	1,1	0,6	134	162	43
7,5	0-2	0,6	0,2	1,3	72	120	32
10,0	0-2	1,5	0,2	<0,4	67	136	21
0,1	2-5	97,7	18,2	5,3	1760	1080	642
0,5	2-5	15,2	2,4	2,4	1540	1220	477
1,0	2-5	7,8	1,3	<0,4	655	532	262
1,5	2-5	6,8	1,1	0,5	251	258	84
2,0	2-5	5,9	1,0	<0,4	267	295	83
3,0	2-5	3,1	0,5	<0,4	207	239	82
5,0	2-5	3,6	0,6	<0,4	88	108	43
7,5	2-5	1,5	0,2	<0,4	42	68	18
10,0	2-5	0,9	0,1	<0,4	66	133	24
0,1	5-10	3,7	0,7	2,7	1390	1260	562
0,5	5-10	1,6	0,2	0,5	273	257	109
1,0	5-10	1,0	0,1	<0,4	237	279	89
1,5	5-10	2,8	0,4	0,8	104	145	62
2,0	5-10	2,6	0,4	0,4	127	171	51
3,0	5-10	0,8	<0,1	<0,4	112	162	44
5,0	5-10	2,4	0,4	<0,4	30	44	38
7,5	5-10	0,5	<0,1	<0,4	30	77	16
10,0	5-10	1,0	<0,1	<0,4	58	133	25
Nachweisgrenze [µg/kg]		0,4	0,1	0,4	6	5	8

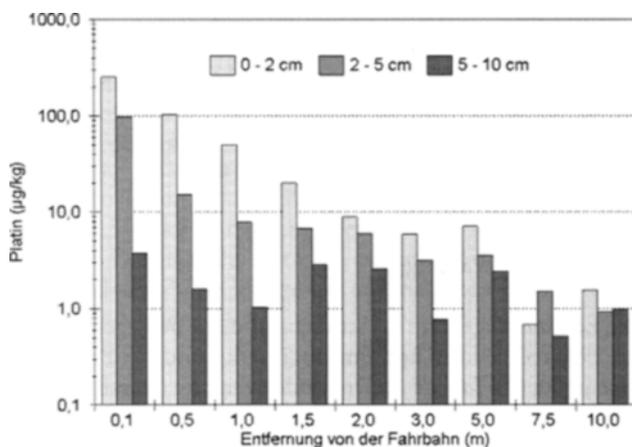


Abb. 3: Platingehalte am Standort Vaihingen in den einzelnen Bodentiefen

Rhodium weisen bereits nach 2 m nur noch ein Zehntel des Gehaltes am Fahrbahnrand auf. Palladium erreicht bereits in 3 m Entfernung die methodenspezifische Nachweisgrenze von 0,4 µg/kg (→ Tabelle 5, Abb. 1 und 3).

Im zweiten Profilabschnitt (2-5 cm Profiltiefe) sind die Edelmetallgehalte deutlich niedriger als an der Bodenoberfläche. Auch in dieser Zone ist ein signifikantes Konzentrationsgefälle mit zunehmender Entfernung vom Fahrbahnrand gegeben. Palladium erreicht in dieser Bodentiefe die methodenspezifische Nachweisgrenze bereits nach 1 m Entfernung zur Fahrbahn (→ Tabelle 5, Abb. 3).

Der unterste Profilabschnitt (5-10 cm Profiltiefe) zeigt mit Abstand die niedrigsten Edelmetallgehalte. Eine Entfernungsabhängigkeit der Gehalte ist nicht mehr zu erkennen: In diesem Profilabschnitt liegen die Palladiumgehalte deutlich über den Rhodiumgehalten. Für Palladium wird die

methodenspezifische Nachweisgrenze nach 2 m, für Rhodium (0,1 µg/kg) nach 3 m Entfernung vom Fahrbahnrand erreicht (→ *Tabelle 5, Abb. 3*). Zwischen der mittleren und untersten Bodenschicht tritt für Platin und Rhodium die stärkste Abnahme in den Gehalten auf.

Im Straßensediment wurden Zink-Gehalte von 3180 mg/kg sowie Blei- und Kupfergehalte von 472 mg/kg bzw. 420 mg/kg gemessen (→ *Tabelle 5*). Die höchsten Zink-, Blei- und Kupfergehalte im Boden treten unmittelbar am Fahrbahnrand in den beiden unteren Profilabschnitten (2-5 cm bzw. 5-10 cm Profiltiefe) auf und liegen teilweise deutlich über den Maximalwerten des obersten Abschnittes (→ *Abb. 4*). Die Gehalte an Zink, Blei und Kupfer zeigen in allen drei Profiltiefen eine exponentielle Abnahme mit zunehmender Entfernung vom Fahrbahnrand, wobei die Maximalwerte für Zink und Blei in den beiden oberen Profilabschnitten meistens in 0,5 m Entfernung von der Fahrbahn auftreten. In 10 m Entfernung weisen alle drei Profilabschnitte nur noch geringfügige Unterschiede in ihren Gehalten auf.

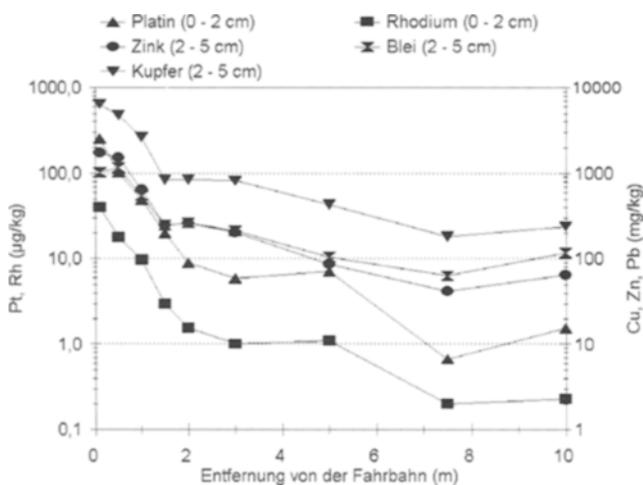


Abb. 4: Edel- und Schwermetallgehalte am Standort Vaihingen

5 Diskussion

In Straßennähe wird der Boden über Straßenoberflächenabfluß, Spritzwasser sowie Staubdeposition mit PGE und Schwermetallen stark kontaminiert. Anhand der Verteilungsmuster der Edel- und Schwermetalle läßt sich neben typischen Verteilungsmustern der Schadstoffe besonders der Einfluß standortspezifischer Merkmale auf die Ausbreitung im Straßenrandbereich aufzeigen.

Die Ergebnisse zeigen für den Standort Walldorf einen klaren Einfluß der Hauptwindrichtung auf die Verteilung der Edelmetallkonzentration im Boden. Dieser Standort bietet aufgrund seiner Eigenschaften (ebenes Gelände, keine morphologischen Hindernisse, senkrecht zur Hauptwindrichtung verlaufende Streckenführung) die Voraussetzung für eine

typische und ungestörte Ausbreitung der verkehrsbedingten Schadstoffe. Es zeigen sich deutlich unterschiedliche Luv- und Leeverteilungen der Edelmetallgehalte im Boden. So zeigt die Abnahme der Konzentrationen im Boden nordöstlich der Fahrspur einen flacheren und gleichmäßigeren Verlauf als südwestlich der Autobahn (→ *Abb. 2*). Die Verteilung der PGE-Immisionen wird also nicht nur durch Abspülung von der Fahrbahn und verkehrsbedingte Turbulenzen (LUNG 1996), sondern auch deutlich durch die Hauptwindrichtung beeinflusst. Diese Abhängigkeit wurde von REINIRKENS (1991) anhand von Boden- und Sickerwasseruntersuchungen ebenfalls für die wesentlich höher konzentrierten verkehrstypischen Schwermetalle (Pb, Zn, Cu, Cd) aufgezeigt.

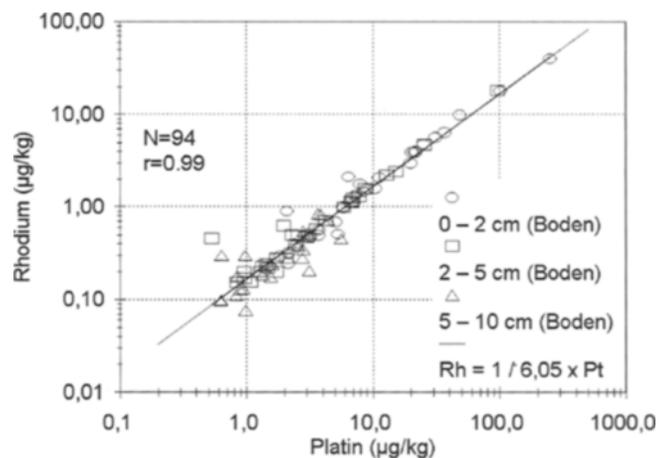


Abb. 5: Rhodium- gegen Plattingehalte der untersuchten Proben. Die über die Regression definierte Funktion $Rh = 1/6,05 \times Pt$ drückt das in den Proben gefundene Pt/Rh-Verhältnis von 6 zu 1 aus.

Als eine weitere Einflußgröße für die Schadstoffverteilung muß die Morphologie in unmittelbarer Fahrbahnnähe betrachtet werden. Der Einfluß einer Böschung auf die laterale Edelmetallverteilung im Boden wird am Standort Freiburg deutlich (→ *Abb. 1*). Die PGE-Gehalte auf dem ebenen Seitenstreifen direkt neben der Fahrbahn zeigen die erwarteten Gehalte und die typische Abnahme mit der Entfernung. Die Edelmetallkonzentrationen im Bereich der Böschung nehmen ebenfalls mit der Entfernung ab, sind jedoch vergleichsweise niedrig. Am Fuß der Böschung in 5 m Entfernung zur Fahrbahn, tritt ein sprunghafter Anstieg der Edelmetallgehalte auf. Die niedrigen Gehalte im Bereich der Böschung weisen auf einen Lee-Effekt hin, was durch den Anstieg der Werte unterhalb der Böschung zusätzlich belegt wird. Die Verlagerung der immittierten Partikel durch oberflächliche Abspülung im Bereich der Böschung würde ein ähnliches Verteilungsmuster erzeugen, erscheint aber aufgrund der Bodenbeschaffenheit und des dichten Grasbewuchses als sehr unwahrscheinlich. Der weitere Verlauf der Gehalte im ebenen Abschnitt der Traverse (6-11 m Entfernung) stimmt sehr gut mit den Verteilungsmustern anderer, morphologisch neutraler (ebener) Standorte überein, ist also unabhängig von den nahe der Fahrbahn statt-

findenden Transportprozessen. HEINRICH et al. (1996) beschreiben einen ähnlichen Einfluß der Morphologie auf verkehrsbedingte Platin- und Palladiumgehalte an einer Entwässerungsrinne an der BAB 3.

Entsprechend besitzen Barriere- oder Auskämmeffekte z.B. an einem Waldrand einen deutlichen Einfluß auf den lateralen Transport der Aerosole. So führt am Standort Vaihingen der in 10 m Entfernung einsetzende Waldrand zu einem Anstieg der Platin- und Schwermetallgehalte im Boden (→ *Abb. 1* und *3*; *Tabelle 5*). Dieser Trend ist jeweils in den am stärksten kontaminierten Horizonten am deutlichsten zu erkennen, bei den Edelmetallen in 0-2 cm und bei den Schwermetallen in 2-5 cm Bodentiefe (→ *Abb. 4*), wie unten diskutiert wird. Die Schadstoffe werden als trockene Deposition auf den Blättern abgelagert, anschließend gelangen sie durch Niederschlag und Blattfall in die Streu und schließlich in den Boden (SCHÄFER et al. 1995).

Die Höhe bzw. Menge der Edelmetallimmissionen ist nicht nur von der Verkehrsdichte abhängig, wie der Vergleich der Gehalte zwischen den einzelnen Standorten zeigt (→ *Abb. 1*). Bemerkenswert sind die sehr hohen Edelmetallgehalte in Vaihingen, die sich nicht allein durch das Verkehrsaufkommen erklären lassen, sondern wahrscheinlich auf die hier überdurchschnittlich hohe Stauhäufigkeit und -dauer zurückzuführen sind. Hieraus läßt sich eine starke Abhängigkeit der PGE-Emissionen von den Fahrbedingungen ableiten. Ein häufiges Anfahren im Stau oder an Straßenkreuzungen verursacht vermutlich Emissionen, die die in Motorstandexperimenten für typische Fahrtzyklen ermittelten Werte (ROSNER et al. 1991; KÖNIG et al. 1992) deutlich überschreiten.

Die Herkunft der in dieser Arbeit dargestellten Edelmetallimmissionen läßt sich nicht nur durch die diskutierten Verteilungsmuster sondern auch durch das charakteristische um 6 zu 1 streuende Platin-Rhodium-Verhältnis belegen (→ *Abb. 5*). Diese Korrelation von Platin und Rhodium zeigt sich standortunabhängig in allen untersuchten Probenotypen mit erhöhten Edelmetallgehalten. Das Elementverhältnis resultiert aus der Zusammensetzung der Katalysatoren mit dem gebräuchlichen Verhältnis von 5 zu 1 und Entwicklungen mit variablen Platin-Rhodium-Palladium-Belegungen (ABTHOFF et al. 1994; FARAGO et al. 1996; JOHNSON MATTHEY 1996; ECKHARDT & SCHÄFER 1997).

Die weitgehend übereinstimmenden Elementverhältnisse der PGE in Straßensediment und Boden stützen die Annahme, daß eine Fraktionierung der einzelnen Edelmetalle während des partikulären Transports infolge unterschiedlicher physikalischer Eigenschaften allenfalls eine untergeordnete Rolle spielen kann. Liegt das Platin/Rhodium-Verhältnis in den beiden oberen, stärker kontaminierten Bodenschichten eng um den Wert 6 zu 1 (SCHÄFER et al. 1995), so ist im dritten Profilabschnitt und in größerer Entfernung zur Fahrbahn eine Verschiebung hin zu Werten um 8 zu 1 zu verzeichnen. Dieser Anstieg der Platin-Rhodium-Verhältnisse geht mit der Abnahme der Kontamination des Bodens auf einen Bruchteil der Maximalgehalte in Fahrbahnnähe einher. Es läßt sich möglicherweise aus der Annäherung der Gehalte

an geogene Hintergrundwerte, die jedoch unterhalb der methodenspezifischen Nachweisgrenzen im Bereich <0,1-0,5 µg/kg liegen, erklären. Am Standort Vaihingen läßt sich im zweiten und dritten Profilabschnitt eine relative Zunahme der Palladiumgehalte gegenüber den Rhodiumgehalten zeigen. Dies entspricht Elementverhältnissen, wie sie aus allgemeinen Angaben über die mittleren Gehalte in der Erdkruste bzw. der kontinentalen Kruste von Palladium (2 µg/kg bzw. 0,4 µg/kg) und Rhodium (0,4 µg/kg bzw. 0,06 µg/kg) (SCHMIDT & PALME 1997; WEDEPOHL 1995) hervorgehen.

Besonders auffällig ist die bis heute geringe vertikale Verlagerung der Edelmetalle, die sich an allen Untersuchungsstandorten zeigt. Bereits nach 5 cm Bodentiefe wird der asymptotische Kurvenverlauf aufgelöst (→ *Abb. 3*). Die als metallisches Platin und Platinoxide auf washcoat-Material (ROSNER & HERTEL 1986) emittierten PGE werden vermutlich partikulär mit den versickernden Niederschlägen oder durch Bioturbation in tiefere Bodenschichten weiterverfrachtet.

Im Gegensatz zur Vertikalverteilung der PGE treten bei den untersuchten Schwermetallen (Cu, Zn, Pb) die Maximalgehalte im zweiten und dritten Profilabschnitt auf (→ *Abb. 4*). Die chemische Verlagerung von Schwermetallen in fahrbahnnahen Böden wird durch die hohen pH-Werte (ca. 7-8) erschwert (MIKKELSEN et al. 1995).

Die Edelmetalle sind aufgrund der erst kurzen und der damit verbundenen Emission noch nicht so tief verfrachtet, wie die über Jahrzehnte eingetragenen, verkehrsbedingten, unedlen Schwermetalle (PUCHELT et al. 1993). Darüberhinaus kommen unterschiedliche Transportmechanismen in Betracht, da Zink und Kupfer nach wie vor hauptsächlich als Reifen- bzw. Bremsbelagabrieb emittiert werden (BLUME 1992), während die Emission von Blei mit dem Abgasstrom durch die der Edelmetalle abgelöst wird.

Danksagung

Die vorliegenden Untersuchungen erfolgten in Zusammenarbeit mit der Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) Baden-Württemberg. Wir danken B. ARNDT, G. PREUß und H. PHILIPP für ihren Einsatz bei der Analytik.

6 Literatur

- ABTHOFF, J.; W. ZAHN; G. LOOSE; A. HIRSCHMANN (1994): Serieneinsatz von Palladium in Drei-Wege-Katalysatoren mit hoher Leistungsfähigkeit. *MTZ Motortechn. Z.* 55: 292-297
- BLUME, H.-P. (1992): *Handbuch des Bodenschutzes*, 2. Auflage, 794 S.; Landsberg/Lech (ecomod Verlagsgesellschaft)
- BOGENRIEDER, A.; A.M. REICHLMAYR-LAIS; M. KIRCHGESSNER (1992a): Einfluß von alimentärem PtCl₄ und PtO auf Wachstum; hämatologische Parameter und auf Reproduktionsleistung. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 68: 281-288

- BOGENRIEDER, A.; A.M. REICHLMAYR-LAIS; M. KIRCHGESSNER (1992b): Pt-Retention in maternalen Geweben nach unterschiedlich hoher PtCl₄- und PtO- Ingestion. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* **69**: 143-150
- ECKHARDT, J.-D.; J. SCHÄFER (1997): PGE-Emissionen aus Kfz-Abgaskatalysatoren. In: Matschullat, J.; Tobschall, H.J. & Voigt, H.-J. [Hrsg.]: *Geochemie und Umwelt*: 181-188, Heidelberg (Springer)
- EHRENTORFER-SCHÄFERS, E.; H. HARTL; W. BECK (1988): Bildung wasserlöslicher Histidin-Platin-Komplexe aus metallischem Platin und Histidin. *Z. Naturforsch.* **43b**: 499-500
- FARAGO, M.E.; P.J. PARSONS (1994): The effects of various platinum metal species on the water plant *Eichhornia crassipes* (MART.) Solms. *Chem. Spec. Bioavail.* **6**(1): 1-12
- FARAGO, M.E.; P. KAVANAGH; R. BLANKS; J. KELLY; G. KAZANTZIS; I. THORNTON; P.R. SIMPSON; J.M. COOK; S. PARRY; G.M. HALL (1996): Platinum metal concentrations in urban road dust and soil in the United Kingdom. *Fresenius J. Anal. Chem.* **354**: 660-663
- Finnigan MAT (1995): ICP-MS Interferenz-Tabelle, Vers.2.-Finnigan MAT, Bremen
- FREISSLER, D.; B. WAGNER; H. HARTL; W. BECK (1993): Auflösung von Palladium- und Platinpulver durch biogene Stoffe. *Z. Naturforsch.* **48b**: 847-848
- GÄTH, S.; M. STERNHEIM; H.-G. FREDE (1990): Einfluß des Kraftfahrzeugverkehrs auf den Schwermetallgehalt von Straßenabflußwasser. *Forum Städte-Hygiene* **41**: 235-238; Berlin, Hannover (Patzner)
- GOLWER, A. (1991): Belastung von Böden und Grundwasser durch Verkehrswege. *Forum Städte-Hygiene* **42**: 266-276; Berlin, Hannover (Patzner)
- HEINRICH, E.; G. SCHMIDT; K.-L. KRATZ (1996): Determination of Platinum-Group-Elements (PGE) from catalytic converters in soil by means of docimasy and INAA. *Fresenius J. Anal. Chem.* **354**: 883-885; Heidelberg (Springer)
- HELMERS, E.; N. MERGEL (1997): Platin in belasteten Gräsern - Anstieg der Emissionen aus PKW-Abgaskatalysatoren. *UWSF - Z. Umweltchem. Ökotox.* **9** (3): 147-148
- HELMERS, E. (1996): Elements accompanying platinum emitted from automobile catalysts. *Chemosphere* **33**: 405-419
- HERTEL, R.F.; H.P. KÖNIG; O. INACKER; R. MALESSA (1990): Nachweis der Freisetzung und Identifizierung von Edelmetallen im Abgasstrom von Katalysatorfahrzeugen. In: *Ökologische Forschung, Zwischenbericht "Edelmetallemissionen"*, BMFT: 16-21
- HILL, R. F.; W.J. MAYER (1977): Radiometric determination of platinum and palladium attrition from automotive catalysts. *JEEE Transact. Nucl. Sci. NS - 24* (6): 2549-2554
- HOFFMANN, G.; W. SCHOLL; A. TRENKLE (1989): Schadstoffbelastung von Böden durch Kraftfahrzeugverkehr. *Agrar- und Umweltforschung Bad.-Württ.* **19**, 74 S.
- INACKER, O.; R. MALESSA (1992): Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben "Experimentalstudie zum Austrag von Platin aus Automobilabgaskatalysatoren und dessen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt". *Naturwiss. u. Med. Inst. d. Univ. Tübingen*
- Johnson-Matthey (1996): *Platinum 1996*. Johnson Matthey Public Limited Company, Hatton Garden, London
- KIRCHGESSNER, M.; A. BOGENRIEDER; A.M. REICHLMAYR-LAIS (1992a): Pt-Retention in verschiedenen Organen von Ratten nach alimentärer Applikation von Pt-II-Phytochelatin-Komplex. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* **68**: 205-208
- KIRCHGESSNER, M.; A. BOGENRIEDER; A.M. REICHLMAYR-LAIS (1992b): Pt-Retention in der fetoplazentalen Einheit von graviden Ratten nach unterschiedlich hoher PtCl₄- und PtO- Ingestion. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* **69**: 151-155
- KNOBLOCH, S. (1993): Bestimmung von Platin in katalysiertem Autoabgas mittels ICP-MS.- Dissertation, 110 S., Fachber. Chemie, Univ. Hannover
- KÖNIG, H.P.; R.F. HERTEL; W. KOCH; G. ROSNER (1992): Determination of Platinum Emissions from a three-way Catalyst-equipped Gasoline Engine. *Atmospheric Environment* **26A**: 741-745
- KOHL, R.; TH. NÖLTNER; M. SCHÖTTE (1993): Erfassung und Überwachung des Zustands der Böden in Baden-Württemberg durch Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF). *Mitt. dt. bodenkundl. Ges.* **72**, 977-980
- KRAMAR, U.; H. PUCHELT (1981): Applications of radionuclide energy-dispersive X-ray fluorescence analysis in geochemical prospecting. *J. Geochem. Expl.* **15**: 597-612
- LASCHKA, D.; T. STRIEBEL; J. DAUB; M. NACHTWEY (1996): Platin im Regenabfluß einer Straße. *UWSF - Z. Umweltchem. Ökotox.* **8** (3): 124-129
- LASCHKA, D.; M. NACHTWEY (1996): Platin in den kommunalen Kläranlagen einer Großstadt. In: Lustig, S. & Schramel, P. [Hrsg.]: *Proc. 3. Platin-Anwendertreffen*: 54-61
- LUNG, T. (1996): Screening-Modell zur Ausbreitungssimulation von Kfz-Emissionen in locker bebautem Gelände. In: *WLB Wasser, Luft und Boden* **1**, 2/1996: 51-54
- LUSTIG, S.; S. ZANG; B. MICHALKE; B. SCHRAMEL; W. BECK (1996): Transformation behaviour of different platinum compounds in a clay-like humic soil: speciation investigations. *Sci. Total Environment* **188**: 195-204
- LUSTIG, S.; S. ZANG; B. MICHALKE; P. SCHRAMEL (1997): Platinum determination in nutrient plants by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) with special respect to the hafnium oxide interference. *Fresenius J. Anal. Chem.*, in press
- MARQUARDT, H.; S.G. SCHÄFER: *Lehrbuch der Toxikologie*, BI-Wiss.-Verl., Mannheim, 1003 S.
- MCDONALD, I.; R.J. HART; M. TREDoux (1994) Determination of the platinum-group elements in South African kimberlites by nickel sulphide fire-assay and neutron activation analysis. *Anal. Chim. Acta* **289**: 237-247
- MESSERSCHMIDT, J.; F. ALT; G. TÖLG (1994): Platinum species analysis in plant material by gel permeation chromatography. *Anal. Chim. Acta* **291**: 161-167
- MICHALKE, B.; P. SCHRAMEL (1996): Kopplung von CE mit ICP-MS als elementspezifischer Detektor für die Pt-Speziation. In: Lustig, S. & Schramel, P. [Hrsg.]: *Proc. 3. Platin-Anwendertreffen*: 5-18
- MIKKELSEN, P.S.; M. HÄFLIGER; M. BOLLER (1995): Kontamination in zwei schweizerischen Anlagen zur Versickerung von Straßenabwasser. *Versickerung von Meteorwasser*, Mod. 6, EAWAG-Forschungsschwerpunkt 1993-1997 "Nachhaltige Ressourcenbewirtschaftung - am Beispiel Gewässer und anthropogene Sedimente", EAWAG, Zürich; 75 S.
- MUSCHAK, W. (1989): Pollution of Street Run-Off by Traffic and Local Conditions. In: *Highway Pollution. The Third International Symposium - Munich, Germany, Draft Proceedings*; 18.-22. September 1989
- NACHTIGALL, D.; H. KOCK; S. ARTELT; K. LEVSEN; G. WÜNSCH; T. RÜHLE; R. SCHLÖGL (1996): Platinum solubility of a substance designed as a model for emissions of automobile catalytic converters. *Fresenius J. Anal. Chem.* **354**: 742-746
- NOBEL, W.; K. MICHENFELDER (1988): Wirkungen von Platin auf Pflanzen. In: *BMFT [HRSG]: Abschlußbericht des TÜV Süd-west e.V.*, 103 S.
- PUCHELT, H.; U. KRAMAR; G.L. CUMMING; D. KRSTIC; TH. NÖLTNER; M. SCHÖTTE; V. SCHWEIKLE (1993): Anthropogenic Pb

- contamination of soils, southwest Germany. In: Applied geochemistry, Suppl. Issue No. 2: 71-73; Oxford, New York (Pergamon)
- REINIRKENS, P. (1991): Ermittlung und Beurteilung straßenbedingter Auswirkungen auf die Landschaftsfaktoren Boden und Wasser. *Forsch. Straßenbau u. Straßenverkehrstechnik* 626, Geograph. Inst. Univ. Bochum, 144 S.
- ROBERT, R.V.D.; E. VAN WYK; R. PALMER (1971): Concentration of noble metals by a fire-assay technique using nickel-sulphide as the collector. In: *Nat. Inst. Metall. Report* 1371: 1-16; Johannesburg
- ROSNER, G.; R.F. HERTEL (1986): Gefährdungspotential von Platinemissionen aus Automobilabgaskatalysatoren. *Staub-Reinhold. Luft* 46: 281-285
- ROSNER, G.; H.P. KÖNIG; W. KOCH; H. KOCK; R.F. HERTEL; H. WINDT (1991): Motorstandexperimente zur Untersuchung der Platin-Akkumulation durch Pflanzen. *Angew. Botanik* 65: 127-132
- SCHÄFER, J.; J.-D. ECKHARDT; H. PUCHELT (1995): Einträge von Platingruppenelementen (PGE) aus Kfz-Abgaskatalysatoren in straßennahe Böden. *Texte und Berichte zum Bodenschutz* 2, Landesanstalt für Umweltschutz Bad.-Württ., Karlsruhe, 14 S.
- SCHIERL, R. (1996): Biomonitoring von Platin in der Arbeitsmedizin. In: Lustig, S. & Schramel, P. [Hrsg.]: *Proc. 3. Platin-Anwendertreffen*: 81-82
- SCHMIDT, G.; H. PALME (1997): Abundance of Os, Ir, Ru, Rh, Pt and Pd in the Earth's crust. EAG-Workshop: The Origin and Fractionation of Highly Siderophile Elements in the Earth's Mantle, Abstracts: 71-72; Max-Planck Institut, Mainz
- UNGER, H.-J.; D. PRINZ (1992): Verkehrsbedingte Immissionen in Bad.-Württ. Schwermetalle und organische Fremdstoffe in straßennahen Böden und Aufwuchs. Umweltministerium Baden-Württemberg, Stuttgart, 191 S.
- URBAN, H.; F. ZEREINI; B. SKERSTUPP; M. TARKIAN (1995): The determination of platinum-group elements (PGE) by nickel sulfide fire-assay: Coexisting PGE-phases in the nickel sulfide button. *Fresenius J. Anal. Chem.* 352: 537-543
- VELTZ, I.; F. ARSAC; J. BOUILLLOT; P. COLLERY; F. HABETS; H. LECHENAULT; J.C. PAICHELER; G. VERNET (1994): Ecotoxicological study of platinum using an experimental food chain. Preliminary results. In: Collery, P.; Poirier, L.A.; Littlefield, N.A. & Etienne, J.C. [Hrsg.]: *Metal Ions in Biology and Medicine*. John Libbey Eurotext, Paris: 241-245
- WÄBER, M.; D. LASCHKA; L. PEICHL (1996): Biomonitoring verkehrsbedingter Platin-Immissionen. *UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox.* 8 (1): 3-7
- WEDEPOHL, K.H. (1995): The composition of the continental crust. *Geochim. Cosmochim. Acta*: 59(7): 1217-1232
- ZEREINI, F.; C. ZIENTEK; H. URBAN (1993): Konzentrationen und Verteilung von Platingruppenelementen (PGE) in Böden – Platinmetall-Emissionen durch Abrieb des Abgaskatalysator-materials. *UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox.* 5 (3): 130-134
- ZEREINI, F.; B. SKERSTUPP; H. URBAN (1994): Comparison between the Use of Sodium and Lithium Tetraborate in Platinum-Group Element Determination by Nickel Sulphide Fire-Assay. *Geostandards Newsletter* 18 (1): 105-109

Neues Forum: Graue Literatur

Hrsg.: Dr. Monica Wäber, Umweltmonitoring, Plinganserstraße 114b, D-81369 München
(Tel.: +49-89-72 43 00-85; Fax: -86; eMail: UmInFo-Mailbox, Regionalknoten München)

1. Fachhochschule Rheinland Pfalz

Die Abteilung in Bingen der Fachrichtung Umweltschutz wartet 1996 und 1997 mit 10 Diplomarbeiten zu Fragestellungen und Methoden **Bioindikation/Biomonitoring** im *aquatischen* wie im *terrestrischen* Bereich auf. Die jüngste Arbeit von H. DREWS befaßt sich mit der "Kartierung der epiphytischen Flechtenflora zur Beurteilung der Luftqualität in Koblenz".

Informationen: Prof. Dr. Ralf-D. Zimmermann, FH, FB Umweltschutz, Berlinstr. 109, D-55411 Bingen, Tel.: +49-6721/409-359; Fax: -110.

2. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

Das Bayerische Landesamt für Umweltschutz (LfU) unterhält seit 1972 eine **Schriftenreihe**, seit 1981 in einheitlicher Form. Die Berichte zu Themenkreisen wie Immissionsschutz, Abfall und Altlasten, Strahlenschutz, Natur und Landschaft sind weit gefächert und reichen über themenbezogene Jahresberichte (z.B. der Lufthygienische Jahresbericht) und regelmäßige Beiträge (z.B. Beiträge zum Artenschutz) bis hin zu Berichten über Forschungs- und Entwicklungsprojekte und Sonderstudien. Ein Beispiel hierfür wurde in der ersten Ausgabe unserer neuen Rubrik vorgestellt (*UWSF* 4/97, S. 237).

Informationen: LfU, PF 810129, D-81901 München, Tel.: +49-89/9214-0; Fax: -3281

3. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg

Die Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) hat zwei neue Leitfäden veröffentlicht:

1. Umweltmanagement für Energieerzeugungs- und Verteilungsunternehmen
2. Umweltmanagement für Verkehrsbetriebe

Bezugsadresse: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Bibliothek, Postfach 21 07 52, D-76157 Karlsruhe, Tel.: +49-721/983-1428; Fax: -1456 (Unkostenbeitrag für jeden Leitfaden DM 21,- zzgl. einer Porto- und Versandpauschale von DM 5,-)

Informationen: Tel.: +49-721/983-1301; -1501; -1300; Fax: -1324
Internet: <http://www.uis-extern.um.bwl.de/lfu/>

4. Universität Bayreuth

Diplomarbeit am LS für Ökologische Chemie und Geochemie "Ökobilanz von Stahlbetonfertigteiltbauten"

Christopher MARR

Informationen: Prof. Dr. Otto Hutzinger, LS für Ökologische Chemie und Geochemie, Universität Bayreuth, D-95440 Bayreuth, Tel.: +49-921/55-2254; -552155; Fax: -55-2334; -54626

5. Fraunhofer Institut Lebensmitteltechnologie und Verpackung

Das Fraunhofer ILV in Freising informiert in seinem **Jahresbericht** über Leistungen und Ergebnisse, Projekte und Veröffentlichungen. Das Verzeichnis der Veröffentlichungen 1996 beinhaltet fast 50 Zitate.

Informationen: Luitgard Röder, Fraunhofer ILV, Giggenhauser Str. 35, D-85354 Freising, Tel.: +49-8161/491-0; Fax: -491