

Ergebnisbericht

Anreicherung von Platingruppenelementen aus Kfz-Abgaskatalysatoren im straßennahen Ökosystem

Zusammenfassende Darstellung

**Bearbeitet von:
Referat 23,
Biologische Umweltbeobachtung**

Datum: 24.04.2003



**Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg**

Inhalt

1 Einleitung und Auftrag

2 Ergebnisse

3 Bewertung

3.1 Umwelttoxikologische Bewertung

3.2 Humantoxikologische Bewertung

3.3 Forschungsbedarf

4 Fazit

Anhang

Methodik und Beschreibung der Standorte

Daten

Literatur

1 Einleitung und Auftrag

Seit Mitte der 1980er Jahre hat der Einsatz von Katalysatoren zur Abgasreinigung von Kraftfahrzeugen stark zugenommen. Platin (Pt) und die Platingruppenelemente Rhodium (Rh) und Palladium (Pd) sorgen im Abgaskatalysator für die weitgehende Beseitigung von Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffen und Stickoxiden. So wird die Freisetzung von Schadstoffen aus dem Straßenverkehr durch den Katalysator um über 90% vermindert. Damit trägt die Katalysatortechnik einen großen Anteil an der Verbesserung der Luftqualität trotz gesteigener Fahrleistung.

Neben diesem unbestrittenen Nutzeffekt ist die Abgasreinigung mit der Emission von Platinmetallen (Pt, Rh und Pd) verbunden, die durch Temperaturerhöhung und Erschütterung aus dem Katalysator freigesetzt werden und sich in der Umwelt anreichern. Bekannt ist, dass hohe Konzentrationen dieser Edelmetalle für den Menschen gesundheitschädlich sind. Unklar ist jedoch, ob die seit Mitte der achtziger Jahre ansteigenden Konzentrationen an Edelmetallen schädlich für die Natur und den Menschen sind.

Die LfU wurde deshalb 1998 vom Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg mit dem Ziel beauftragt,

- **die Anreicherung von Platin in straßennahen Ökosystemen zu dokumentieren,**
- **mögliche Gefährdungen für die Umwelt incl. der Bevölkerung zu überprüfen.**

In einer Pilotstudie wurde 1999 und 2000 die Anreicherung von Platin, Palladium und Rhodium an nach VDI-Richtlinie exponierten, standardisierten Graskulturen an der Autobahn nahe Karlsruhe (Standorte 1999: Tiefenau, Sandweier und Bruchhausen an der A5 und 2000 zusätzlich die Standort Pforzheim-Ost an der A8 sowie Forst an der A5) untersucht. Genaue Angaben zur Durchführung der Untersuchungen können dem Anhang entnommen werden.

Probleme bei der Analyse des Probenmaterials, die im Analyselabor der Universität Karlsruhe im Jahr 2000 durch Ausfall von Geräten und Umbauarbeiten am Gebäude entstanden waren, konnten durch Vergleichsmessungen 2001 behoben werden. Die Auswertung der Ergebnisse konnte somit aber erst im Jahr 2002 erfolgen.

2 Ergebnisse

Im Folgenden sind die Untersuchungsergebnisse beschrieben, wobei die Werte für das Jahr 1999 vor der Klammer, die Werte für das Jahr 2000 in der Klammer aufgeführt werden.

Vergleich der Edelmetallakkumulation in Entfernung vom Straßenrand

Direkt am Rand des Straßenbelages wurden für **Platin** im Mittel 7,2 (7,1) µg Pt/kg getrocknetes Gras gemessen. **Palladium**, das erst seit wenigen Jahren anstelle von Platin zur Bestückung von Katalysatoren verwendet wird, erreichte 2,9 (3,6) µg /kg, **Rhodium** 1,2 (1,0) µg /kg. Dies sind für **Palladium** 38% (2000: 48%) bzw. für **Rhodium** 16% (2000:14%) des Platinwertes.

Gegenüber 1999 war somit im Jahr 2000 ein Anstieg der Palladium-Konzentrationen und ein Abfall der Rhodium-Konzentrationen zu verzeichnen. Palladium war auf etwa die Hälfte der Platin-Werte angewachsen. Ein solcher Trend war aufgrund der zunehmenden Substitution des Platins im Katalysator durch das Palladium zu erwarten.

In 3 m Entfernung vom Straßenbelag hatten die Platinwerte auf 76% (2000: 72%) abgenommen, die Palladiumwerte auf 86% (2000: 78%) und die Rhodiumwerte auf 85% (2000: 72%).

Vergleich der Edelmetallakkumulation auf verschiedenen Niveaus über dem Erdboden

Die unterschiedliche Höhe der Graskulturen (direkt am Boden, 1,5 m hoch, 2,5 m hoch) wirkte sich dagegen nicht eindeutig auf die Anreicherung von Edelmetallen aus. Der Vergleich der Edelmetallkonzentrationen auf den verschiedenen Niveaus über dem Erdboden ergibt für das Jahr 2000 die höchsten Konzentrationen bei 1,5 m Höhe. Direkt über dem Boden und auf 2,5 m Höhe fallen die Werte dagegen etwas ab. Die Konzentrationsunterschiede sind jedoch so gering, dass diese Aussage der Absicherung durch weitere Messungen bedarf.

Die Verhältnisse Pt/Rh und Pt/Pd sind am größten direkt über dem Boden und am kleinsten auf 2,5 m Höhe. Rhodium und Palladium zeigen damit eher die Neigung einer Aufwirbelung über die unmittelbar bodennahe Luftschicht hinaus als das Platin. Dieses Ergebnis kann als Ausdruck einer höheren Mobilität der Elemente Rhodium und Palladium gedeutet werden, die aufgrund der fast doppelt so großen Massenzahl des Platins auch zu erwarten ist.

Die Gehalte aller drei Edelmetalle lagen (in Hauptwindrichtung) vor einem 5 m hohen Lärmschutzwand geringfügig höher (101% bis 125%) als am Kontrollstandort ohne Lärmschutzeinrichtung. Vor einer 18 m hohen Lärmschutzwand erreichten die Edelmetallgehalte zwischen 136% und 222% der Werte des Kontrollstandortes. Dieses Ergebnis konnte im Jahr 2000 nicht reproduziert werden und bedarf deshalb zur Absicherung weiterer Messungen.

Akkumulation anderer Metalle in Abhängigkeit vom Kfz-Verkehr

Zu Vergleichszwecken wurden auch andere Metalle gemessen. Die gute Korrelation der Edelmetallkonzentrationen mit anderen verkehrsbedingten Metallen (Antimon, Blei, Chrom, Kupfer, Nickel, Zink) belegt die Abhängigkeit der Anreicherung vom Kfz-Verkehr. An allen 5 Standorten herrschte mit ca. 60 000 Fahrzeugen pro Tag etwa die gleiche Verkehrsdichte. Die Kulturen, die an einem steil ansteigenden Autobahnstück aufgestellt waren, um den Effekt einer erhöhten Motorleistung zu messen, wiesen keine höheren Edelmetallgehalte auf als an anderen Standorten.

3 Bewertung

3.1 Umwelttoxikologische Bewertung Phytotoxizität

Untersuchungen einer Arbeitsgruppe des TÜV zur Wirkung von Platin auf Pflanzen belegen Ertragsverluste und Wachstumsbeeinträchtigungen von Wurzeln und Sproß sowie Schadsymptome an den Blättern erst bei sehr hohen Platinkonzentrationen im mg/kg-Bereich. Eine Studie zu den Wirkungen von Rhodium lässt erkennen, dass dieses Edelmetall in Konzentrationen von einigen hundert mg/kg die Ausbleichung von Versuchspflanzen (Kresse) induziert.

Die Messergebnisse der LfU belegen, dass eine Beeinträchtigung des Pflanzenwachstums bei den nachgewiesenen Konzentrationen von bis zu 10µg/kg nicht zu erwarten ist.

Die aus der Literatur bekannte Tatsache, daß Platin nur in unmittelbarer Emittentennähe in erhöhten Konzentrationen in Umweltproben gefunden wird und in einer Entfernung von nur wenigen Metern auf Hintergrundwerte zurückgeht, wurde bestätigt, soweit der sehr begrenzte Umfang der Untersuchungen dies zuließ.

Da lediglich Ergebnisse aus zwei aufeinanderfolgenden Jahren vorliegen, ist es für eine Aussage über mögliche Trends noch verfrüht. Es wurden jedoch mit diesem Pilotversuch Referenzwerte etabliert, die mit Hilfe künftig noch geplanter Untersuchungen ein Trend-Monitoring begründen können.

3.2 Humantoxikologische Bewertung Toxizität

Der menschliche Kontakt mit Platin beschränkte sich lange Zeit auf Produktions- und Verarbeitungsstätten (Schmuck, chemische Technik, Elektrodenmaterial) sowie den medizinischen Bereich. Deshalb stammen die ersten konkreten Angaben zur Toxizität des Platins aus der Arbeitsmedizin und der Pharmakologie, wobei der inhalativen Aufnahme die größte Bedeutung zukommt.

Akute Vergiftungen mit feinstverteiltem metallischem Platin äußern sich in Erkrankungen des Magen-Darm-Traktes, dagegen wirken die komplexen Platinsalze auf Nieren, Knochenmark und Nervensystem.

Bestimmte Bindungsformen bzw. Konfigurationen von Platin haben ein hohes cytotoxisches, mutagenes und krebserregendes Potential.

Allergische Reaktionen

Von metallischem Platin geht kein allgemeines Sensibilisierungsrisiko aus, auch zeigt Platin in dieser Form keine mutagenen oder karzinogenen Eigenschaften. Allerdings nimmt die Tendenz, chemische Reaktionen einzugehen und insbesondere durch Oxidation in lösliche Salze überführt zu werden, auch bei Edelmetallen um so mehr zu, je feiner sie verteilt sind.

Vom Arbeitsplatz her bekannte toxische Wirkungen nach Einatmen des Platinsalz-Staubes sowie Hautkontakt mit Feststoffen und Lösungen führen nach Sensibilisierung zu Allergien vom Soforttyp und setzen bei Platinkonzentrationen von 0,4 - 0,9 µg/m³ ein. Allergische Reaktionen des Atemtraktes (Rhinorrhoe, Halsschmerzen, Husten, Bronchitis, Bronchialasthma, Retrosternalschmerz) und der Haut (Dermatitis mit Juckreiz, Rötung, Quaddelbildung) sind als Platinsalzallergie beschrieben.

Die Wirkungsschwelle für eine Allergie durch lösliche Platinverbindungen muss man heute bei 1,5 ng/m³ Luft ansetzen. Unter der Annahme, dass nur 1% des von Kfz ausgestoßenen Platins wasserlöslich ist, ergibt sich ein **Schwellenwert für Gesamtplatin aus Katalysator-Emissionen** von 150 ng/m³ für durchschnittlich empfindliche Erwachsene, der durch einen Sicherheitsfaktor von 10 zur Berücksichtigung besonders empfindlicher Personen auf eine Beurteilungskonzentration von 15 ng/m³ reduziert wird.

Fachleute geben anhand von Ausbreitungsmodellen für ungünstige Verhältnisse Immissionskonzentrationen um 100 pg Pt/m³ Luft in Autobahnnähe an. Zwischen diesen beiden Konzentrationen ist also eine 150fache Sicherheitsmarge gegeben.

3.3 Forschungsbedarf

Platin: Auch wenn durch die Platin-Immission in Straßennähe keine unmittelbare Gefahr droht, ist es im Sinne der Prävention von Relevanz, mehr Informationen über die Aufnahmepfade und die Wirkung von Platinverbindungen in Lebewesen einschließlich des Menschen zu erhalten.

Platingruppenelemente (PGE): Zur Zeit besteht die Tendenz, Platin im Katalysator durch das billigere Palladium zu ersetzen. Dieses wird dann möglicherweise die ökotoxikologische und umweltmedizinische Bedeutung von Platin einholen. Um hier zu einer fundierten Beurteilung der Wirkung der PGE auf die belebte Umwelt zu gelangen, sind Studien zur Erforschung des ökotoxikologischen Potentials und vor allem der Wirkungsschwellen der PGE unerlässlich. Ihre Bioverfügbarkeit, Verteilung und Akkumulation in den verschiedenen Umweltkompartimenten sind ebenfalls weiter zu beobachten.

Diese Forderungen werden teilweise von drei BW-Plus-geförderten Vorhaben der Universität Karlsruhe mit einer maximalen Laufzeit bis 2004 aufgegriffen (Arbeitstitel: „Spezies der kfz-emittierten PGE und ihre toxikologische Wirkung, Teile A und B“ sowie „Untersuchungen zur Toxizität der Platingruppenelemente Pt, Pd und Rh“). Die nächste Untersuchungskampagne der LfU zur Immission von Edelmetallen an Straßenrändern ist für 2004 geplant.

4 Fazit

Emissionen aus Kfz-Katalysatoren stellen die größte Quelle für den Eintrag von Edelmetallen in die Umwelt dar, die - wie im vorliegenden Projekt an Autobahnen gemessen - zu Konzentrationen von maximal 10 µg Platin/kg Trockenmasse Gras führten. Bei Konzentrationen in dieser Höhe sind nach derzeitigem Kenntnisstand **keine Ertragsverluste und Wachstumsbeeinträchtigungen bei Nutzpflanzen** zu erwarten.

In ungünstigen Fällen am Rand stark befahrener Straßen treten Konzentrationen von maximal 100 pg Pt/m³ Luft auf. Derartige Konzentrationen sind nicht mit einem gesundheitlichen Risiko verbunden, da sie um ca. den Faktor 150 unter der Schwelle von 15 ng/m³ liegen, bei der mit der Auslösung von allergischen Reaktionen bei empfindlichen Personen zu rechnen ist.

Diese Zusammenhänge lassen den Schluss zu, dass die ermittelten Konzentrationen von maximal 10 µg Platin/kg Trockenmasse Gras bisher **nicht für die menschliche Gesundheit relevant** sind.

Die Messung von Edelmetallimmissionen in der Nähe stark befahrener Straßen hat sich als sinnvoll zur Überwachung der Umweltauswirkungen der Katalysator-Technologie erwiesen. Sie sollte deshalb in das **Dauerbeobachtungs-Programm der LfU** aufgenommen werden. Unabhängig von dieser Erkenntnis besteht Forschungsbedarf hinsichtlich der Eintragspfade in die Umwelt und der Wirkung von Platingruppenmetallen auf Lebewesen einschließlich des Menschen.

Anhang

Methodik und Beschreibung der Standorte

Exposition von Graskulturen am Autobahnrand

In einer Pilotstudie wurde zunächst in den Jahren 1999 und 2000 die Anreicherung von Platin, Palladium und Rhodium an standardisierten Graskulturen gemessen. Das Verfahren basiert auf einer VDI-Richtlinie, deren Methodik von einem Arbeitskreis „Bioindikation“ der Landesanstalten und –ämter weiterentwickelt wurde. Die Kulturen wurden in Zusammenarbeit mit der Gesellschaft für Umweltmessungen und Umwelterhebungen mbH (UMEG) im Sommer 1999 am Rand der Autobahn A5 an den Standorten Tiefenau, Sandweier und Bruchhausen exponiert und anschließend auf die akkumulierten Metalle analysiert (Abb. 1). Die Position der Kulturen erfasste einen engen räumlichen Ausschnitt (von 3 m Breite und 2,5 m Höhe) einer Transsekte durch die Autobahntrasse in Lee der Hauptwindrichtung (Anlage 1: Versuchsplan). Dabei wurde auch der Frage nachgegangen, wie Lärmschutteinrichtungen die emittentennahe Immission beeinflussen.

Im Sommer 2000 kamen zu den genannten drei Standorten noch der Standort Forst an der A5 als Bodendauerbeobachtungsfläche der LfU und der Standort Pforzheim-Ost an der A8 hinzu, wo aufgrund einer starken Steigung erhöhte Motorleistungen erbracht werden und deshalb mit erhöhten Edelmetallemissionen aus Kfz-Katalysatoren zu rechnen ist (Abb. 1).

Versuchsplan für das Jahr 2000

Exposition von Graskulturen am Autobahnrand mit Kfz-Emissionen, insbesondere Platin

Der Autobahnrand wurde gewählt, um nennenswerte Konzentrationen an Edelmetallen aus Kfz-Katalysatoren zu erhalten, da die Edelmetall-Konzentration eine Funktion der Fahrzeugdichte ist und mit zunehmender Entfernung vom Straßenrand bekanntlich schnell abnimmt. Standard-Graskulturen werden je 4 Wochen am Rand der Autobahn exponiert und anschließend auf akkumulierte Metalle aus Kfz-Emissionen analysiert. Es sind 4 Erntezeitpunkte um die 25., 29., 33. und 37. Kalenderwoche 2000 geplant.

Räumliche Anordnung der Proben bei der Exposition

| Höhe | Anzahl an Graskulturkübeln für einen Erntezeitpunkt | Anzahl an Graskulturkübeln für einen Erntezeitpunkt |
|--------|---|---|
| 2,5 m | 3 | 3 |
| 1,5 m | 3 | 3 |
| 0,25 m | 3 | 3 |
| | 0 m | 3 m |

Entfernung vom Rand des Straßenbelages

Zur Messung von möglichem Ferntransport der Emissionen und dem Einfluß von Lärmschutzwällen werden fünf Standorte beprobt. An jedem Standort werden 6 Proben in 3 Höhen über dem Erdboden gewonnen, und zwar jeweils 3 Proben direkt am Fahrbahnrand (Übergang vom Asphalt oder Beton auf den lockeren Erdboden) und 3 Proben in 3 m Entfernung vom Fahrbahnrand. Die Höhen betragen jeweils 0,25 m, 1,5 m und 2,5 m über Gelände. Jede Probe soll mindestens 15 g Trockenmasse ergeben, so daß eine Probe sich jeweils aus 3 Kulturtöpfen von 14 cm Durchmesser zusammensetzt. Somit ergeben drei zeitlich und örtlich identisch exponierte Kulturen jeweils

eine Probe mit einer erhofften Ausbeute von mindestens 15 g Trockenmasse für die Metallanalysen.

Die Graskulturen stehen jeweils vier Wochen am Expositionsstandort, bevor sie geerntet werden. Es sind vier Expositionsperioden im Zeitraum zwischen der 20. und der 37. Kalenderwoche 2000 vorgesehen. Damit ergeben sich 30 Positionen und 4 Zeitpunkte, also insgesamt 120 Proben bzw. 360 Töpfe mit Graskulturen. Für die Exposition in 2,5 m Höhe sind insgesamt 10 Gestelle für jeweils 3 Töpfe aufzubauen. Für die Exposition in 1,5 m Höhe stehen die Töpfe auf Stahlstangen, die in den Boden gerammt werden (Standardausführung der UMEG). Für die Exposition in 0,25 m Höhe werden die Töpfe einfach auf den Boden über eine Plastikwanne gestellt. Die genannten 6 Proben pro Standort werden in identischer Weise an den fünf Standorten Tiefenau, Sandweier, Bruchhausen, Pforzheim Ost und Forst gewonnen. Damit ergeben sich 30 Proben pro Erntezeitpunkt und 120 Proben bestehend aus 360 Graskulturtöpfen über den ganzen Zeitraum der Exposition von der 20. bis zur 37. Kalenderwoche.

Von den 120 Grasproben werden 36 in der LfU analysiert, so daß 84 für die Universität KA verbleiben. Außerdem fallen 20 Straßenstaubproben an, die ebenfalls von der Universität analysiert werden. Damit ergibt sich eine Probenzahl von 104 für die Universität.

Beschreibung der Standorte (Abb. 1)

Nr. 1, **Tiefenau**, A5, Kilometer 660

Meßtischblatt TK 25, Nr. 7214; Rw: 3437 + 200 m, Hw 5404 + 475 m; Höhe über NN: ca. 122 m
Fahrbahnrichtung von SSW nach NNO, Basel --> Karlsruhe; Leitplanke 33 – 68 cm hoch, 45 cm von der Kante des Fahrbahnbelages; Fahrbahnbelag aus Beton.

Wirtschaftsgrünland, das sich in gleicher Höhe von der Autobahn in Richtung Hofgut "Tiefenau" etwa 100 m hinzieht. Standort **ohne Lärmschutzeinrichtung**.

Beschreibung der Anfahrt vom Umland aus:

Von Norden her kommend verläßt man die Autobahn **A5 an der Ausfahrt Baden-Baden** und wendet sich auf der **B500** Richtung Baden-Baden. In Baden-Baden biegt man auf die **B3** in Richtung Süden (Bühl, Offenburg) ab. Nach knapp 500 m biegt man wiederum rechts ab in den Ortsteil Kartung der Gemeinde Sinzheim. In **Kartung** folgt man etwa 1 km lang der **Durchgangsstraße** durch den Ort bis diese nach rechts in Richtung Westen umbiegt. Man bleibt auf der Durchgangsstraße und verläßt Kartung in westlicher Richtung. Etwa 1 km nach Ende der Bebauung überquert die Straße den Sandbach und knickt dann direkt hinter der Brücke vor dem Hofgut **Tiefenau** nach rechts ab. Man folgt der Straße am linken Ufer des Sandbaches etwa 150 m lang und knickt dann mit ihr wieder nach links ab. So wird das **Gut Tiefenau umfahren**. Hinter dem Gut verläuft die Straße auf einen Damm und dann über eine Brücke über die Autobahn. Vor dem Anstieg auf den Damm **mündet von links ein Weg ein**. Die **Graskulturen** stehen auf der Wiese, die durch den Winkel zwischen diesem einmündenden Weg und dem Damm begrenzt wird, am Autobahnrand, d.h. **gegenüber dem einmündenden Weg**. Bei nicht zu nasser Witterung dürfte die Wiese an ihrem linken (südlichen) Rand bis hin zu den Graskulturen befahrbar sein.

Nr. 3, **Sandweier**, A5, Kilometer 655,5

Meßtischblatt TK 25, Nr. 7115; Rw: 3440 + 150 m, Hw 5408 + 300 m; Höhe über NN: ca. 122 m
Fahrbahnrichtung von SW nach NO, Basel --> Karlsruhe; Leitplanke 50 – 80 cm hoch, 55 cm von der Kante des Fahrbahnbelages; Fahrbahnbelag aus Asphalt.

Der Probenahmestandort liegt dort, wo der **Lärmschutzdamm** zwischen der Autobahn und der Ortschaft Sandweier am höchsten ist. Autobahnseitig ist der Damm aus bewachsenen Beton-Lückensteinen im steilen Winkel von ca. 85° aufgebaut. Er besteht aus zwei Stufen von jeweils 9 m Höhe, die durch einen Bermenweg von 4 m Breite unterbrochen sind, so daß er sich insgesamt ca. 18 m über die Fahrbahn erhebt. Die Leeseite zur Ortschaft Sandweier hin bildet ein ca. 50° steiler, mit Stauden und Gras bewachsener Erdhang.

Nr. 4, **Bruchhausen**, A5, Kilometer 635,5

Meßtischblatt TK 25, Nr. 7016; Rw: 3453 + 125 m, Hw: 5420 + 670 m; Höhe über NN: ca. 117 m

Fahrbahnrichtung von SSW nach NNO, Basel --> Karlsruhe; keine Leitplanke; Fahrbahnbelag: Beton.

Der **Lärmschutzwall** ist ein mit Gras und locker mit Sträuchern bewachsener, etwa 5 m hoher Erddamm 50 m südlich der gering befahrenen Feldstraße über die Autobahn von Bruchhausen in westlicher Richtung zum Reiterhof.

Nr. 5, **Pforzheim-Ost**, A8, Kilometer 240,7

Meßtischblatt TK 25, Nr. 7018; Rw: 3482 + 040 m, Hw: 5421 + 700 m; Höhe über NN: ca. 280 m

Der Standort liegt an einer Steigung der A8 ca. 1 km hinter der Einfahrt Pforzheim-Ost in Fahrtrichtung Karlsruhe. Das Relief senkrecht zum Fahrbahnrand ist eben auf ca. 5 m und fällt dann steil ab. Standort **ohne Lärmschutzeinrichtung**.

Nr. 6, **Forst**, A5, Kilometer 601, nördlich der Raststätte Bruchsal

Meßtischblatt TK 25, Nr. 6817; Rw: 3469 + 840 m, Hw 5450 + 270 m; Höhe über NN: ca. 110 m

Der Standort befindet sich an der A5 ca. 25 km nördlich von Karlsruhe neben einer **Boden-Dauerbeobachtungsfläche** der LfU. Die ebene und grasbewachsene Bankette ist 14 m breit und trennt die Fahrbahn von einem Mischwald. Standort **ohne Lärmschutzeinrichtung**.

Daten

Ergebnisse des Jahres 1999 (Tab. 1 und Abb. 2)

Die Gehalte in **Bruchhausen** (vor einem 5 m hohen Wall) lagen für alle drei Edelmetalle geringfügig höher (101% bis 126%) als in Tiefenau am Kontrollstandort. Der Unterschied zwischen **Sandweier** und Tiefenau war deutlicher ausgeprägt: Vor der 18 m hohen Lärmschutzwand erreichten die Edelmetallgehalte zwischen 136% und 222% der Werte des **Kontrollstandortes Tiefenau** (Tab. 1). Dieses Ergebnis kann als Wirkung der Lärmschutzeinrichtungen nicht nur im Hinblick auf den Schallschutz sondern auch im Hinblick auf die Rückhaltefunktion für Schwermetallimmissionen interpretiert werden. Die Abhängigkeit der Effektivität der Lärmschutzeinrichtungen von ihrer Höhe wird dabei deutlich.

Tabelle 1: Vergleich der Standorte im Hinblick auf die Akkumulation von Edelmetallen

(1999). Angegeben ist der mittlere Gehalt der Graskulturen als Prozent vom Kontrollstandort und in Klammern die Streubreite der Proben in 0 Meter bzw. 3 Meter Abstand vom Straßenbelag.

| | Tiefenau | Bruchhausen | Sandweier |
|----|------------------|--------------------|-------------------|
| | Kontrollstandort | 5 m hoher Wall | 18 m hohe Wand |
| Pt | 100 % | 115 % (104-126 %) | 157 % (144-170 %) |
| Pd | 100 % | 115 % (105-125 %) | 179 % (136-222 %) |
| Rh | 100 % | 106 % (101-111 %) | 165 % (162-167 %) |

Ergebnisse des Jahres 2000 (Tab. 2 und Abb. 3)

Die **Platin**-Konzentrationen lagen im Jahr 2000 fast in gleicher Höhe wie im Vorjahr und betragen direkt am Rand des Straßenbelages im Mittel 7,1 µg Platin pro kg getrocknetes Gras und 5,1 µg/kg in drei Meter Abstand vom Straßenrand (Abb. 3). **Palladium** fand sich in den Graskulturen mit 3,4 µg/kg im Mittel (2,7 µg/kg in 3 m Abstand) und **Rhodium** mit 1,0 µg/kg im Mittel (0,7 µg/kg in 3 m Abstand).

Tabelle 2: Vergleich der Standorte im Hinblick auf die Akkumulation von Edelmetallen (2000). Angegeben ist der mittlere Gehalt der Graskulturen als Prozent vom Gehalt des Kontrollstandortes.

| | Tiefenau | Bruchhausen | Sandweier | Pforzheim Ost | Forst |
|----|------------------|--------------------|------------------|----------------------|--------------|
| | Kontrollstandort | 5 m hoher Wall | 18 m hohe Wand | Steiler Anstieg | Boden-DBF |
| Pt | 100 % | 175 % | 125 % | 109 % | 115 % |
| Pd | 100 % | 131 % | 118 % | 93 % | 129 % |
| Rh | 100 % | 158 % | 92 % | 76 % | 85 % |

Die Gehalte der Standorte Sandweier, Pforzheim Ost und Forst unterschieden sich nicht nennenswert von der Kontrolle (Tab. 2). Einzig in Bruchhausen waren die Graskulturen deutlich höher mit Platingruppenmetallen belastet als am Kontrollstandort. Damit widersprechen die Befunde in Bruchhausen teilweise den Erwartungen, insofern als ein 5 m hoher Wall der Windverdriftung eigentlich weniger Widerstand entgegensetzen sollte als eine 18 m hohe Wand. Infolgedessen sollten die Graskulturen vor dem Wall eine geringere Immission anzeigen als vor der wesentlich höheren Wand. Dafür konnte keine plausible Erklärung gefunden werden. Andererseits entsprechen die in Pforzheim Ost und Forst gemessenen Werte den Erwartungen recht gut und führen damit zu einer Validierung des Gesamtergebnisses.

Vergleich der beiden Messkampagnen 1999 und 2000 sowie der Höhenniveaus 0,3m, 1,5m und 2,5 m (Tab. 3, Tab. 4 und Abb. 4)

TABELLE 3: Vergleich der Edelmetallkonzentrationen 1999 und 2000

Die farbige Markierung erleichtert das Erkennen anwachsender Palladium-Werte und abfallender Rhodium-Werte im Jahr 2000.

Mittelwerte aller Standorte 1999

| Höhe | Boden | | 1,5 m | | 2,5 m | | Mittel über alle Niveaus | |
|-------------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|--------------------------|---------------|
| | Straßenrand | 3m Entfernung | Straßenrand | 3m Entfernung | Straßenrand | 3m Entfernung | Straßenrand | 3m Entfernung |
| Pt [µg/kg] | 7,33 | 4,85 | 7,27 | 5,80 | 7,00 | 5,77 | 7,20 | 5,47 |
| Pd [µg/kg] | 2,66 | 1,90 | 2,88 | 2,61 | 2,61 | 2,50 | 2,72 | 2,34 |
| Rh [µg/kg] | 1,16 | 0,70 | 1,12 | 1,19 | 1,09 | 0,97 | 1,12 | 0,95 |
| Pt/Rh | 6,3 | 6,9 | 6,5 | 4,9 | 6,4 | 6,0 | 6,4 | 5,8 |
| Pt/Pd | 2,8 | 2,6 | 2,5 | 2,2 | 2,7 | 2,3 | 2,6 | 2,3 |

Mittelwerte aller Standorte 2000

| Höhe | Boden | | 1,5 m | | 2,5 m | | Mittel über alle Niveaus | |
|-------------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|--------------------------|---------------|
| | Straßenrand | 3m Entfernung | Straßenrand | 3m Entfernung | Straßenrand | 3m Entfernung | Straßenrand | 3m Entfernung |
| Pt [µg/kg] | 7,41 | 4,57 | 7,8 | 6 | 6,16 | 4,71 | 7,12 | 5,09 |
| Pd [µg/kg] | 3,34 | 2,18 | 3,63 | 3,21 | 3,34 | 2,62 | 3,44 | 2,67 |
| Rh [µg/kg] | 0,95 | 0,56 | 1,05 | 0,86 | 0,92 | 0,69 | 0,97 | 0,70 |
| Pt/Rh | 7,8 | 8,2 | 7,4 | 7,0 | 6,7 | 6,8 | 7,3 | 7,3 |
| Pt/Pd | 2,2 | 2,1 | 2,1 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 2,1 | 1,9 |

grün: der im Jahresvergleich größere **Platin**-Wert
rot: der im Jahresvergleich größere **Palladium**-Wert
orange: der im Jahresvergleich kleinere **Rhodium**-Wert
hellblau: das im Jahresvergleich größere **Pt/Rh**-Verhältnis
blau: das im Jahresvergleich kleinere **Pt/Pd**-Verhältnis

TABELLE 4: Vergleich der Edelmetallkonzentrationen in verschiedenen Höhen über dem Erdboden

Die farbige Markierung erleichtert das Erkennen bevorzugter Immissionspfade. Die höchsten Edelmetall-Werte wurden in 1,5 m Höhe registriert; das Element mit der größten Atommasse (Pt) tendierte zur Akkumulation in Bodennähe, während Pd und Rh, deren Atommasse rd. die Hälfte der des Pt beträgt, im Vergleich dazu eher in Höhen bis 2,5 m über dem Boden gefunden wurden.

Mittelwerte aller Standorte 1999

| Höheniveau | Boden | | 1,5 m | | 2,5 m | |
|-------------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|
| | Straßenrand | 3m Entfernung | Straßenrand | 3m Entfernung | Straßenrand | 3m Entfernung |
| Pt [µg/kg] | 7,33 | 4,85 | 7,27 | 5,80 | 7,00 | 5,77 |
| Pd [µg/kg] | 2,66 | 1,90 | 2,88 | 2,61 | 2,61 | 2,50 |
| Rh [µg/kg] | 1,16 | 0,70 | 1,12 | 1,19 | 1,09 | 0,97 |
| Pt/Rh | 6,3 | 6,9 | 6,5 | 4,9 | 6,4 | 6,0 |
| Pt/Pd | 2,8 | 2,6 | 2,5 | 2,2 | 2,7 | 2,3 |

Mittelwerte aller Standorte 2000

| Höheniveau | Boden | | 1,5 m | | 2,5 m | |
|-------------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|
| | Straßenrand | 3m Entfernung | Straßenrand | 3m Entfernung | Straßenrand | 3m Entfernung |
| Pt [µg/kg] | 7,41 | 4,57 | 7,8 | 6 | 6,16 | 4,71 |
| Pd [µg/kg] | 3,34 | 2,18 | 3,63 | 3,21 | 3,34 | 2,62 |
| Rh [µg/kg] | 0,95 | 0,56 | 1,05 | 0,86 | 0,92 | 0,69 |
| Pt/Rh | 7,8 | 8,2 | 7,4 | 7,0 | 6,7 | 6,8 |
| Pt/Pd | 2,2 | 2,1 | 2,1 | 1,9 | 1,8 | 1,8 |

rot: der im Niveauvergleich **höchste** Wert

violett: der im Niveauvergleich **mittlere** Wert

blau: der im Niveauvergleich **niedrigste** Wert

Edelmetalle 1999

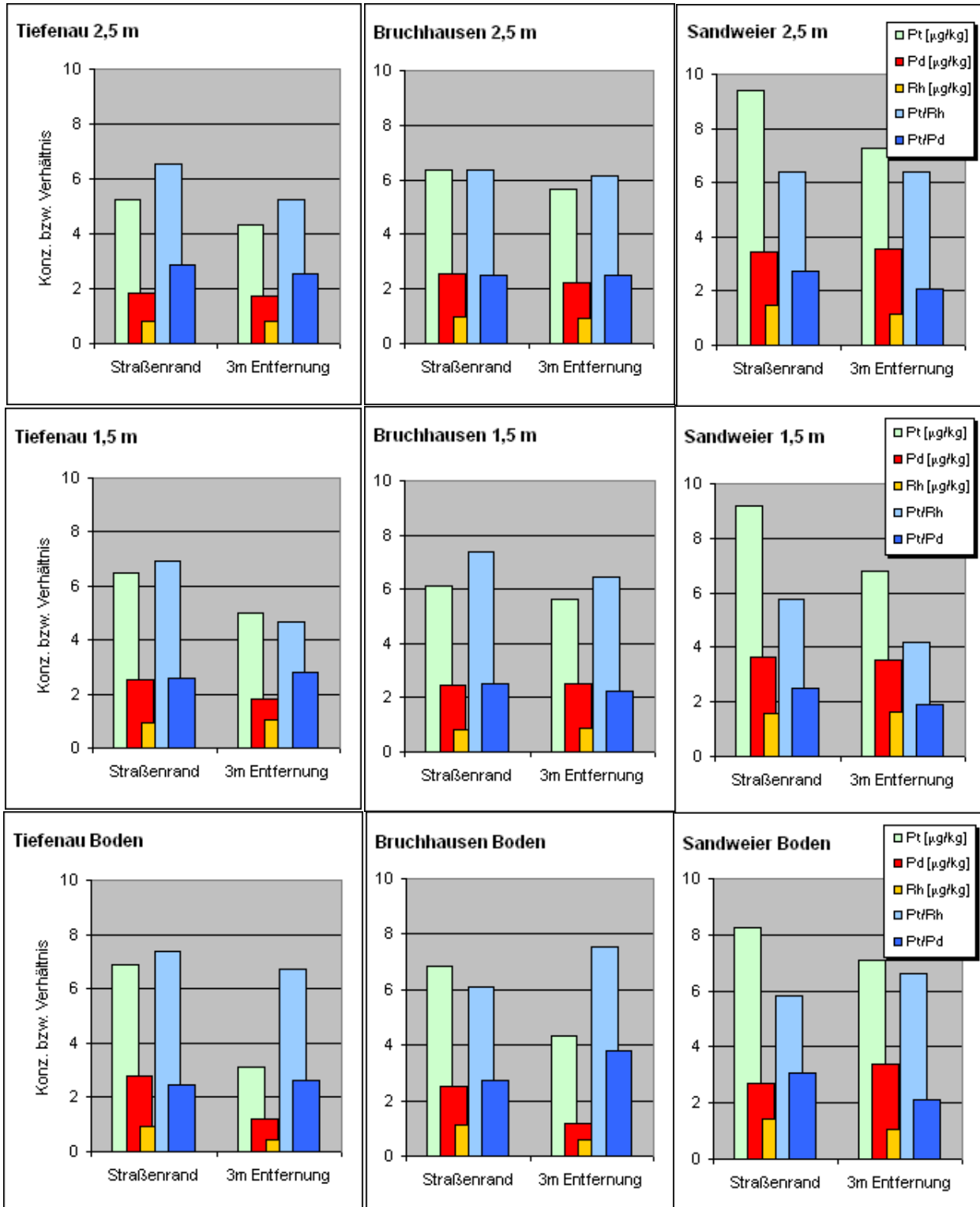


Abb. 2: Anreicherung von Platingruppenelementen in Graskulturen am Rand der A5 südlich Karlsruhe. Dargestellt sind die Mittelwerte von 4 Erntezeitpunkten im Sommer 1999. Die Konzentrationen sind in µg/kg trockener Blattmasse für Platin (Pt), Palladium (Pd) und Rhodium (Rh) angegeben.

Standort **Tiefenau**: Ohne Lärmschutzeinrichtung; Standort **Bruchhausen**: Position der Graskulturen zwischen dem Straßenrand und einem 5 m hohen Wall; Standort **Sandweier**: Position der Graskulturen zwischen dem Straßenrand und einer 18 m hohen Lärmschutzwand. Verkehrsaufkommen: ca. 60.000 Kfz/Tag

Edelmetalle 2000

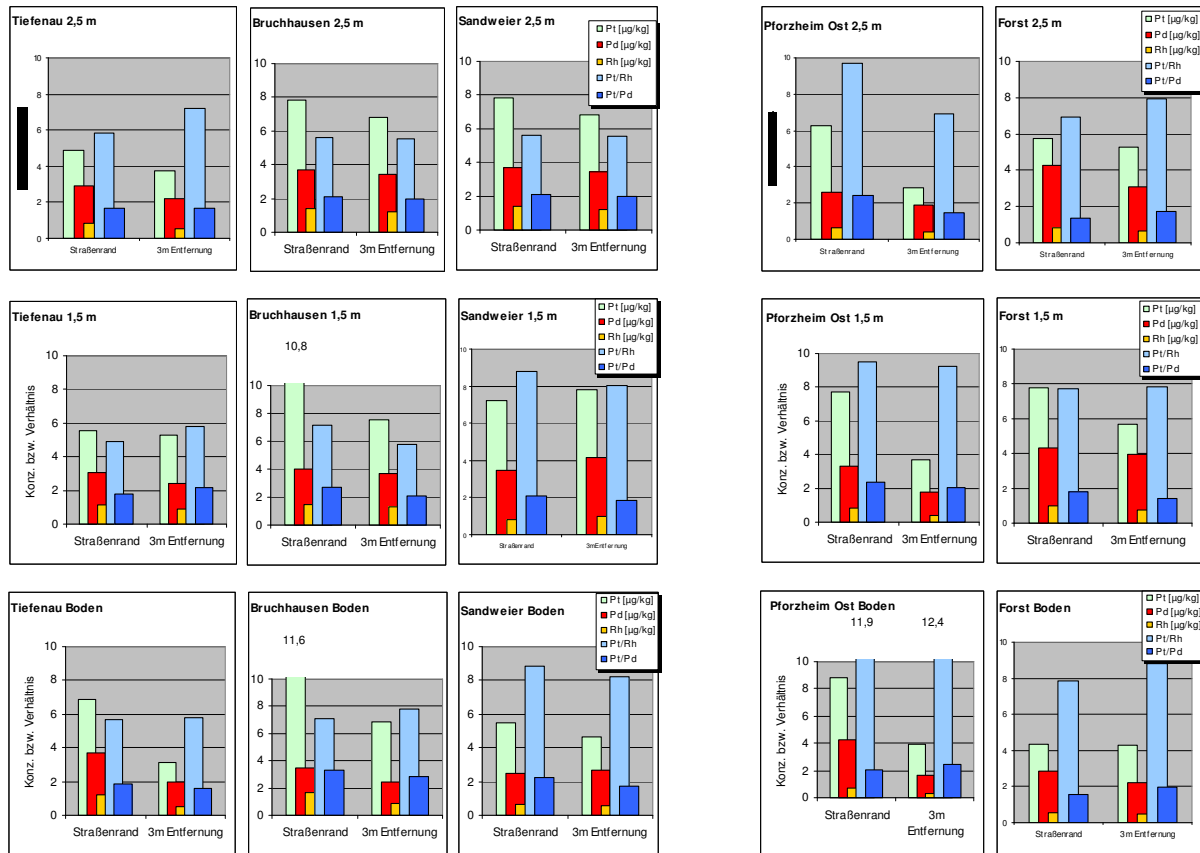


Abb. 3: Anreicherung von Platingruppenelementen in Graskulturen am Autobahnrand in der Region um Karlsruhe. Dargestellt sind die Mittelwerte von 4 Erntezeitpunkten im Sommer 2000. Die Konzentrationen sind in $\mu\text{g/kg}$ trockener Blattmasse für Platin (Pt), Palladium (Pd) und Rhodium (Rh) angegeben.

Standort **Tiefenau** (A5): Ohne Lärmschutteinrichtung; Standort **Bruchhausen** (A5): Position der Graskulturen zwischen dem Straßenrand und einem 5 m hohen Wall; Standort **Sandweier** (A5): Position der Graskulturen zwischen dem Straßenrand und einer 18 m hohen Lärmschutzwand; Standort **Pforzheim Ost** (A8): Starke Steigung; Standort **Forst** (A5): Bodendauerbeobachtungsfläche.

Verkehrsaufkommen: ca. 60.000 Kfz/Tag

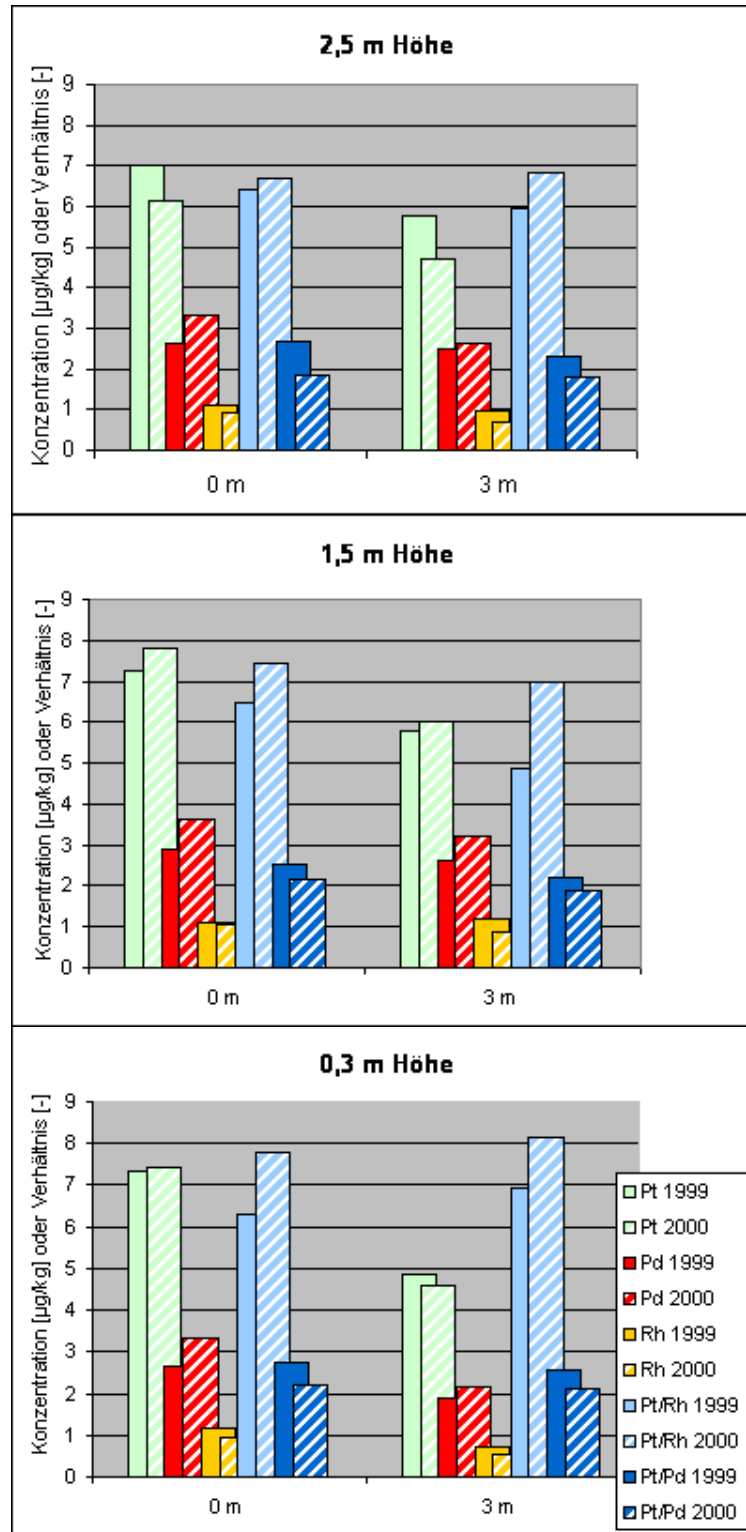


Abb. 4: Vergleich der Jahre 1999 und 2000: Platingruppenelemente auf Graskulturen am Autobahnrand in der Region um Karlsruhe. Dargestellt sind die Mittelwerte aller Standorte getrennt nach den Jahren 1999 (einfarbige Balken) und 2000 (schraffierte Balken). Die Konzentrationen sind in µg/kg trockener Blattmasse für Platin (Pt - grün), Palladium (Pd - rot) und Rhodium (Rh - gelb) angegeben. Während von 1999 auf 2000 nahezu die gleiche Platin-Immission zu konstatieren ist, verdeutlichen die Konzentrationsverhältnisse Pt/Rh (hellblau) und Pt/Pd (dunkelblau) die geringere Immission an Rhodium und die angestiegene Immission an Palladium im Jahr 2000 gegenüber dem Vorjahr. Beprobte wurden in 1999 die Standorte **Tiefenau, Bruchhausen** und **Sandweier** und in 2000 die Standorte **Tiefenau, Bruchhausen, Sandweier, Pforzheim Ost** und **Forst**. Verkehrsaufkommen: jeweils ca. 60.000 Kfz/Tag

Literatur

- B. Abbas, B. Jurkutat, W. Kratz (2001) Verkehrsbedingte Immissionen - Stoffbericht Palladium. Entwurfsfassung für den **LA-UA Wirkungsfragen**; 36 Seiten, 71 Literaturstellen
- A. Breitenstein, F. Darlau, Th. Mayer, A. Möller, K. Rahtkens, H.-P. Straub, K.T. v.d. Trenck, R. Umlauff-Zimmermann, R. Kostka-Rick (1999) Wirkungen von Emissionen des Kfz-Verkehrs auf Pflanzen und die Umwelt - **Literaturstudie** - . Red. A. Breitenstein, R. Umlauff-Zimmermann, Hrsg.: **Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg**, Karlsruhe, 1999
- A. Breitenstein, H.-P. Straub, K.T. v.d. Trenck (2000) Untersuchungen an Verkehrswegen. In: **"Umweltdaten 2000"**, S. 216-220. Ministerium für Umwelt und Verkehr BW und LfU BW, Hrsg., Karlsruhe, Sept. 2000
- M. Cubelic, R. Pecoroni, J. Schäfer, J.-D. Eckhardt, Z. Berner, D. Stüben (1997) Verteilung verkehrsbedingter Edelmetallimmissionen in Böden. **UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox.** **9**(5) 249-258
- J.-D. Eckhardt & J. Schäfer (1997) PGE-Emissionen aus Kfz-Abgaskatalysatoren. In: J. Matschullat, H.J. Tobschall, H.-J. Voigt, Hrsg., **„Geochemie und Umwelt“**, 181-188. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg
- J.C. Ely, C.R. Neal, C.F. Kulpa, M.A. Schneegurt, J.A. Sedler, J.C. Jain (2001) Implications of platinum-group element accumulation along U.S. roads from catalytic-converter attrition. **Environmental Science & Technology** **36**(19), 3816-3821
- H. Gebhardt, M. Marten, H.-P. Straub, K.T. v.d. Trenck (2000) Ökologisches Wirkungskataster und ökologische Umweltbeobachtung. Kurzdarstellung an das Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg (mit fünf Fallbeispielen und der Beantwortung von acht Fragen). Landesanstalt für Umweltschutz, Karlsruhe, 6. 12. 2000
- GSF (1997) Edelmetallemissionen. **Abschlußpräsentation** des BMBF-Forschungsverbundes am 18.-19.10. 1996 in Hannover. Hrsg.: GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH, München
- E. Helmers, N. Mergel, R. Barchet (1994) Platin in Klärschlammasche und an Gräsern. **UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox.** **6**(3) 130-134
- E. Helmers & K. Kümmerer (1999) Anthropogenic platinum fluxes: Quantification of sources and sinks, and outlook. **ESPR – Environ. Sci. & Pollut. Res.** **6**(1), 29-36
- J. Lehr, C.F. Schölz, C.F. Gasser (1999) Ursachen des „bleaching“ durch das Katalysatormetall Rhodium bei *Lepidum sativum*. Vortrag auf dem 6. Edelmetall-Forum, 28. 9. 1999 am Zentrum für Umweltforschung der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität, Frankfurt/Main
- LfU (1995) Einträge von Platingruppenelementen (PGE) aus Kfz-Abgaskatalysatoren in straßennahe Böden. Von H. Puchelt, J.-D. Eckhardt, J. Schäfer, Institut für Petrographie und Geochemie der Universität Karlsruhe im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU), Karlsruhe. Redaktion: Th. Nöltner, M. Schöttle; in der Reihe **„Texte und Berichte zum Bodenschutz“** der LfU, Karlsruhe
- S. Lustig, R. Schierl, F. Alt, E. Helmers, K. Kümmerer (1997) Platin in Umweltkompartimenten - Deposition, Verteilung sowie Bedeutung für den Menschen und sein Nahrungsnetz. **UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox.** **9**(3) 149-152
- W. Maier-Reiter & B. Sommer (1997) Wirkungsmessungen von Platin aus katalysatorbetriebenen Kfz mit pflanzlichen Bioindikatoren (Nahrungs- und Futterpflanzen). In GSF (1997), S. 77-80
- G. Rosner, S. Artelt, I. Mangelsdorf, R. Merget (1998) Platin aus Automobilabgaskatalysatoren: Umweltmedizinische Bewertung auf Basis neuer Expositions- und Wirkungsdaten. **Umweltmed. Forsch. Prax.** **3**, 365-375
- J. Schäfer (1998) Einträge und Kontaminationspfade Kfz-emittierter Platin-Gruppen-Elemente (PGE) in verschiedenen Umweltkompartimenten. 165 Seiten, 40 Abbildungen, **Karlsruher Geochemische Hefte**, Schriftenreihe des Instituts für Petrographie und Geochemie der Universität (TH) Karlsruhe
- J. Strähle & M. Schwenk (1996) Der aktuelle Stoff: Platin, ein Gesundheitsrisiko? **Umed Info** **6**, 54-55, Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg, Stuttgart
- B. Sures, F. Thielen, S. Zimmermann (2002) Untersuchungen zur Bioverfügbarkeit Kfz-emittierter Platingruppenelemente (PGE) für die aquatische Fauna unter besonderer Berücksichtigung von Palladium. **UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox.** **14**(1) 30-36
- K.T. v.d. Trenck & Th.-T. Dao Trong (1998) Platin im Ökosystem. **Bericht** der Landesanstalt für Umweltschutz an das Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Karlsruhe, 28. 1. 98, unveröffentlicht
- K.T. v.d. Trenck (1999) Anreicherung von Platin im Ökosystem. **Statusbericht** der Landesanstalt für Umweltschutz an das Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Karlsruhe, 23. 7. 99, unveröffentlicht

K.T. v.d. Trenck (2001) Environmental Platinum - A Current Problem? Poster presented on the 3rd Hohenheim Workshop on **"Bioindication and Air Quality in European Cities - Research, Application, Communication"** at the power plant Altbach-Deizisau, 8 - 10 / 3 / 2001

K.T. v.d. Trenck & H. Jaroni (2001) Vergleichende Bewertung von Umweltschadstoffen anhand von Risiko-Kennlinien. In: G. Rippen, Hrsg., **"Handbuch Umweltchemikalien"**, Band 1, II-1.2.1, S. 1-116 + Anhang (56. Erg. Lfg. 9/01), ecomed Verlag, Landsberg

UBA (1998) Evaluierung des Gefährdungspotentials bisher wenig beachteter Stoffeinträge in Böden. **UBA-Texte 60/98**; von Tilo Kaiser, Winfried Schwarz, Matthias Frost und Wilfried Pestemer, Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für ökologische Chemie, Berlin und *Öko-Recherche, Büro für Umweltforschung und -beratung, Frankfurt/M; Redaktion: Prof. Dr. K. Terytze, Hrsg.: Umweltbundesamt, Berlin

WHO (1991) Platinum. Environmental Health Criteria 125. International Programme on Chemical Safety, World Health Organization, Genf