

# Erfassung Kfz-bedingter Metallimmissionen mit Bioindikatoren an einer Autobahn

W. Nobel, R. Kostka-Rick, H. Bartholmeß

**Zusammenfassung** Um die aktuelle Belastung durch verkehrsbedingte Metallimmissionen an einer verkehrsreichen Autobahn wirkungsbezogen zu erfassen und die Effizienz standardisierter Bioindikationsmethoden bei der Überwachung typischer Verkehrsimmissionen zu ermitteln, wird seit 1997 eine Biomonitoringstudie an der Autobahn A 8 – Stuttgart-Ulm, Baden-Württemberg, ca. 75 000 Kfz/Tag – durchgeführt. In einjährig exponierten Flechten (*Hypogymnia physodes* nach VDI 3799 Blatt 2) und in standardisierten Graskulturen (*Lolium multiflorum* nach VDI 3957 Blatt 2) liegen die Gehalte an Antimon (Sb), Platin (Pt), Kupfer (Cu) und Blei (Pb) im Lee der Autobahn (Station Nord), bezogen auf die vorherrschende Windrichtung SW, höher als im Luv (Station Süd), nicht jedoch für Cadmium (Cd). In Flechten reichern sich deutlich höhere Metallgehalte an (für Pb bis 35-mal mehr, Pt zehnfach mehr) als in Graskulturen, wobei in beiden Bioindikatoren im Zeitverlauf sowohl rückläufige Trends (für Pb, Cd) als auch ansteigende Gehalte (für Sb) beobachtet werden. Im Vergleich zu Referenzwerten sind die Sb- und Pt-Gehalte deutlich, z. T. zehnfach erhöht, die Pb-Gehalte dagegen, im Kontrast zu Ergebnissen früherer Jahre, kaum und stammen eher aus wieder aufgewirbelten Ablagerungen zurückliegender Anreicherungen als aus aktuellen Emissionen. Antimon hat Blei als Kfz-typisches Tracerelement weitgehend abgelöst. Der Einsatz von pflanzlichen Bioindikatoren in Form standardisierter Verfahren liefert zuverlässige Ergebnisse und ermöglicht schlüssige Interpretationen, wenn belastbare Vergleichswerte aus der Literatur vorliegen und strenge Qualitätskriterien bei der Spurenanalytik erfüllt werden.

## 1 Einleitung

Um stoffliche Belastungen durch den Straßenverkehr zu erfassen, sind schon frühzeitig pflanzliche Bioindikatoren sowohl im passiven Monitoring unter Nutzung der gegebenen Vegetation am Standort [1 bis 3] als auch durch eigens ausgebrachte Pflanzen (aktives Monitoring) eingesetzt worden [4; 5]. Aufgrund geänderter Kraftstoffzusammensetzungen und neuer Werkstoffe im Automobilbau sowie durch Veränderungen bei Motortechnik und Abgasreinigung unterliegen die vom Straßenverkehr ausgehenden Stoffbelastungen einem ständigen quantitativen wie auch qualitativen Wandel. Standen früher neben organischen Verbindungen (z. B. polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe PAK [4]) vor allem Schwermetalle, insbesondere Blei [1; 3; 5] aus Motor-emissionen im Vordergrund, hat sich das untersuchte

Prof. Dr. Willfried Nobel,

Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (HfWU), Nürtingen.

Dr. Reinhard Kostka-Rick,

Biologisch Überwachen und Bewerten, Echterdingen.

Dr. Harald Bartholmeß,

Umweltberatung, Stuttgart.

## Assessment of air pollution by traffic-related metals near a motorway using bioindicators

**Abstract** In order to assess the recent impact by traffic-related metals close to a busy motorway and to evaluate the efficiency of standardized biomonitoring procedures to survey pollutants typically emitted from road traffic, a biomonitoring study is being conducted since 1997 at the Autobahn A 8 – Stuttgart-Ulm, Baden-Württemberg, Germany, 75 000 cars/day. In lichens (*Hypogymnia physodes*, VDI 3799 Part 2) exposed for 1 year, and in standardized grass exposures (*Lolium multiflorum*, VDI 3957 Part 2) at both sides of the 6-lane motorway, contents of antimony (Sb), platinum (Pt), copper (Cu) and lead (Pb) are higher at site "North" downwind from the motorway (prevailing winds from southwest) compared to site "South", but not so for cadmium (Cd). Lichens accumulate higher metal concentrations (up to 35fold for Pb, 10fold for Pt) than grass. Decreasing metal contents over time are found in both bioindicators for Pb and Cd, but increasing trends for Sb. For Sb and Pt, metal contents are much higher (about 10-times) close to the motorway than at reference sites (rural background) or in grass grown in filtered air. In contrast to findings from former years, Pb content is only slightly elevated and is most likely attributable to resuspended lead deposits from the past rather than to recent emissions. Antimony has taken over the role as a typical tracer metal for traffic pollution from lead. The use of biomonitoring plants using standardized procedures provides reliable results and allows conclusive interpretation in case robust reference data are available and quality assurance is strictly implemented in instrumental trace analysis.

Elementspektrum inzwischen auf weitere Schwermetalle (z. B. Antimon [6]) und auf Edelmetalle, insbesondere die Platingruppenelemente (PGE) als Bestandteile von Abgaskatalysatoren, ausgedehnt [7].

## 2 Bioindikationsmessfeld Tachenhausen

An der Autobahn A 8 Stuttgart-Ulm werden rund 20 km südöstlich von Stuttgart zwischen den Anschlussstellen Wend-

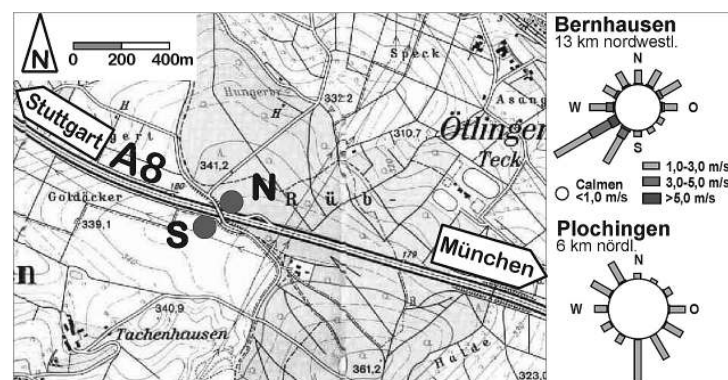


Bild 1. Lage des Standorts mit den beiden Stationen (N = Nord und S = Süd) an der Autobahn A 8 im Bereich Wendlingen-Kirchheim, 20 km südöstlich von Stuttgart. Die Windrosen repräsentieren die nächstgelegenen Messstationen.

(Datenquellen: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg – LUBW).

| Bioindikationsverfahren                             | Ermittelte Parameter                    | Expositions-dauer                            | Einsatzjahr         |
|---|---|--|---------------------|
| Standardisierte Graskultur VDI 3957 Blatt 2         | Anreicherung von Pb, Cd, Cu, Sb, Pt, Rh | 10 x 14 Tage<br>Mitte Mai bis Ende September | 1997 bis 2000; 2003 |
| Standardisierte Flechtenexposition VDI 3799 Blatt 2 | Anreicherung von Pb, Cd, Cu, Sb, Pt, Rh | 1 x 360 Tage<br>Oktober bis Oktober          | 1997 bis 2004       |

Tabelle 1. Eingesetzte Bioindikationsverfahren, ermittelte Parameter und Einsatzdauer während des Monitoringprogramms an der A 8 von 1997 bis 2004.

lingen und Kirchheim-West seit 1997 Immissionswirkungsmessungen mit Bioindikatoren durchgeführt. Die A 8 ist hier sechsspurig ausgebaut, die Verkehrsmengen betragen ca. 75 000 Kfz/24 Stunden (Stand 2005). Die A 8 grenzt unmittelbar an den landwirtschaftlichen Versuchsbetrieb Tachenhäuser der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (HfWU). Eingerichtet sind zwei Bioindikatorstationen, jeweils nördlich und südlich der Autobahn, in einem Abstand von ca. 5 m vom Fahrbahnrand. Die vorherrschenden Windrichtungen der nächstgelegenen Immissions- und Klimamessstationen Bernhausen und Plochingen (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg – LUBW) liegen um Süd bis Südwest (Bild 1).

### 3 Methoden

#### 3.1 Untersuchungsprogramm seit 1997

Das Untersuchungsprogramm seit 1997 mit den Verfahren der standardisierten Graskultur nach VDI 3957 Blatt 2 (Welches Weidelgras *Lolium multiflorum* var. *italicum*) [8] und der standardisierten Flechtenexposition nach VDI 3799 Blatt 2 (Blattflechte *Hypogymnia physodes*) [9], den erfassten Parametern und der jeweiligen Einsatzdauer ist in **Tabelle 1** zusammengestellt. In **Bild 2** sind die an der A 8 exponierten Flechten auf Flechtenbrettern und Flechtenrädern sowie exponierte Graskulturen dargestellt.

#### 3.2 Untersuchte Metalle und chemische Analytik

Die untersuchten Metalle können wie folgt charakterisiert werden [10]: Blei ist/war im Otto-Kraftstoff enthalten (Stand 1999). Cadmium entstammt Materialabrieb, z. B. von Reifen, Lacken oder Korrosionsschutz. Kupfer gilt allgemein als „Zivilisationsindikator“ und findet sich insbesondere in Brems- und Kupplungsbelägen. Antimon wird aus Brems-

und Kupplungsbelägen sowie Reifenabrieb freigesetzt. Die Edelmetalle Platin und Rhodium sind Elemente der Dreiwegkatalysatoren, in denen sie im Verhältnis 6 : 1 eingesetzt werden. Über Blei plus Cadmium plus Antimon kann der sog. städtische Belastungstyp (urban factor) beschrieben werden.

Zur chemischen Spurenanalytik werden die Gras- und Flechtenproben bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und anschließend mit einer Mikrowelle bei ca. 270 °C und 75 bar aufgeschlossen. Pb, Cd, Cu und Sb werden atomabsorptionsspektroskopisch bestimmt, Pt und Rh polarografisch mit Pulsinversvoltammetrie (DPCSV). Die chemischen Analysen führte das Steinbeis-Transferzentrum für Angewandte und Umweltchemie an der Hochschule Reutlingen durch.<sup>1)</sup>

#### 3.3 Berechnung und Auswertung der Ergebnisse

Aufgrund der deutlich vorherrschenden Windrichtung aus Süd bis Südwest liegt die Station Nord im Lee der Autobahn und ist damit den verkehrsbedingten Immissionen stärker ausgesetzt als die Station Süd.

Die Exposition der Graskulturen und Flechtenbretter (bis zum Jahr 2000) bzw. Flechtenräder (ab 2001) erfolgte jeweils ca. 5 m vom äußeren Rand des Standstreifens entfernt. Bei der Flechtenexposition bis 2000 wurden jeweils Mittelwerte der getrennt ermittelten Gehalte für die von der Fahrbahn zugewandten und abgewandten Flechtenbrettern berechnet.

Die Relation der Metallgehalte zwischen den Stationen Nord und Süd wurde auf der Basis von Jahreswerten berechnet und über alle Untersuchungsjahre gemittelt (geometrischer Mittelwert). Mit einem t-Test wurde die Abweichung von 1,0 geprüft (einseitiger Test, ungleiche Varianzen), wobei die Untersuchungsjahre als Wiederholungen genutzt wurden.

<sup>1)</sup> Wir danken Herrn Prof. Dr. Wolfgang Honnen und Dipl.-Ing. (FH) Thomas Blum.



Bild 2. An der Autobahn A 8 exponierte Flechten auf Flechtenbrettern (links) und auf Flechtenrädern (Mitte) sowie exponierte standardisierte Graskulturen (rechts).

Tabelle 2. Elementgehalte an Schwermetallen und Edelmetallen in exponierten Graskulturen und Flechten an zwei Stationen (Süd, Nord) im Nahbereich der Autobahn A 8 sowie Relation der Elementgehalte zwischen beiden Stationen, berechnet als geometrischer Mittelwert über vier Jahre (Graskultur) bzw. acht Jahre (Flechten). Durch Fettdruck hervorgehoben sind Nord/Süd-Relationen, die signifikant größer als 1,0 sind (t-Test,  $p < 0,05$ ). TG = Trockengewicht

| Metall  | Standardisierte Graskultur<br>1997 bis 2000 |                 |                   |                         | Standardisierte Flechtenexposition<br>1997 bis 2004 |                 |                   |                         |
|---------|---|-----------------|-------------------|-------------------------|---|-----------------|-------------------|-------------------------|
|         | Elementgehalt<br>in ng/g TG                 |                 | Relation Nord/Süd |                         | Elementgehalt<br>in ng/g TG                         |                 | Relation Nord/Süd |                         |
|         | Station<br>Süd                              | Station<br>Nord | Mittelwert        | Standard-<br>abweichung | Station<br>Süd                                      | Station<br>Nord | Mittelwert        | Standard-<br>abweichung |
| Blei    | 885   | 1278            | <b>1,50</b>       | 0,42                    | 29900   | 33800           | <b>1,13</b>       | 0,13                    |
| Cadmium | 418   | 412             | 1,04              | 0,19                    | 1050  | 1110            | 1,03              | 0,28                    |
| Kupfer  | 8190  | 9480            | <b>1,16</b>       | 0,03                    | 31400   | 42700           | <b>1,38</b>       | 0,29                    |
| Antimon | 385   | 630             | <b>1,56</b>       | 0,25                    | 2590  | 5300            | <b>2,05</b>       | 0,34                    |
| Platin  | 1,03  | 1,98            | 1,66              | 0,79                    | 15,4  | 23,6            | <b>1,52</b>       | 1,18                    |
| Rhodium | 0,15  | 0,13            | 0,90              | 0,39                    | 1,8   | 2,8             | <b>1,47</b>       | 0,95                    |

## 4 Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Metallanalysen in den Flechtenexponaten und Graskulturen sind in **Tabelle 2** zusammengestellt. Neben den Elementgehalten an der Stationen „Nord“ und „Süd“ sind auch die Relationen zwischen beiden Stationen angegeben. Ist dieses Verhältnis signifikant größer als 1, haben die Bioindikatoren nördlich der Autobahn mehr angereichert als südlich, womit ein Hinweis auf die Autobahn als Quelle gegeben ist.

### 4.1 Flechten

Die Ergebnisse der Metallgehalte in den Flechtenexponaten sind als Zeitreihen der einzelnen Elemente in **Bild 3** dargestellt.

Als Vergleichswerte (straßennah vs. Hintergrund) für die Metallgehalte in Flechten (*Hypogymnia physodes* bzw. verschiedene Blattflechtenarten) wurden veröffentlichte Daten aus Untersuchungen herangezogen, die seit 1997 durchgeführt worden waren [11], ergänzt durch neuere Quellen [12 bis 18]. Im Vergleich zu älteren Studien (1982 bis 1996) lagen die Mittel- bzw. Medianwerte dieser aktualisierten Vergleichsdaten um rund 20 % (Pb), 28 % (Sb) bzw. 36 % (Cd) niedriger, für Cu waren sie weitgehend unverändert (nicht grafisch dargestellt). Für Pt lagen nur Vergleichsdaten aus der Zeit nach 1997 vor, für Rh-Gehalte in Flechten wurden keine entsprechenden Vergleichsdaten gefunden.

Die **Bleigehalte** unterscheiden sich zwischen Nord und Süd stets nur geringfügig, dennoch sind die Relationen N/S signifikant von 1,0 verschieden ( $p = 0,012$ ). Der abnehmende Trend ist nur schwach, die Hauptabnahme der Bleibelastung lag eindeutig vor dem Jahr 1997. Die Vergleichsdaten belegen, dass sich die Pb-Gehalte vom typischen Niveau straßennaher Belastungen (Vergleichsdaten von 1997 bis ca. 2000) zunehmend in den Konzentrationsbereich der Hintergrundgehalte bewegen.

Die Unterschiede der **Cadmiumgehalte** zwischen Nord und Süd sind nicht signifikant ( $p = 0,29$ ). Die Cd-Gehalte zeigen zwischen 1997 und 2001 einen unerwartet deutlichen abnehmenden Trend; seither finden sich weitgehend konstante Gehalte. Die aktuellen Gehalte liegen im Bereich typischer Cd-Gehalte in straßennahen Flechten, die erstaunlicherweise eher etwas niedriger sind als die Hintergrundgehalte. Dies alles spricht dafür, dass Cd kein Kfz-bürtiges Element ist.

Die **Kupfergehalte** sind an der Nord-Station statistisch gesichert ( $p = 0,0027$ ) höher als an der Süd-Station. Zwischen 1997 und 2004 ist ein leicht positiver Trend der Cu-Gehalte zu beobachten. Die Gehalte liegen im Bereich typischer Cu-Gehalte straßennaher Flechten; die Cu-Hintergrundgehalte liegen deutlich (Faktor 3) niedriger. Kupfer ist deutlich Kfz-bürtig; Quellen für partikuläres Kupfer sind u. a. – ähnlich wie bei Antimon – Abrieb von Brems- und Kupplungsbelägen, die erhebliche Cu-Anteile enthalten [19 bis 22].

Die **Antimongehalte** zeigen die deutlichste Differenzierung zwischen den Stationen Nord und Süd ( $p < 0,0001$ ). Zudem unterliegen sie einem deutlich ansteigenden Trend, vor allem bis 2001. Seither bleiben sie eher konstant. Die Werte liegen im oberen Bereich von straßennahen Referenzwerten oder darüber. Gegenüber Hintergrundgehalten in Flechten sind die Sb-Gehalte um das Zehn- bis über 20-fache erhöht.

Die **Platingehalte** liegen meist – aber nicht konstant – an der Station Nord höher als an der Station Süd. Aufgrund der im Zeitverlauf starken Schwankungen der N/S-Relation ist diese nur schwach signifikant größer als 1,0 ( $p = 0,046$ ). Im Zeitverlauf zeigt sich bis 2001 ein deutlicher Anstieg, dann aber ein unerwarteter Rückgang auf das Niveau von 1997. Die Werte liegen im (oberen) Bereich von Vergleichswerten straßennaher Flechten oder darüber und deutlich (Faktor 3 bis 20) über den Hintergrundgehalten.

### 4.2 Graskultur

Die Ergebnisse der Metallgehalte in den Graskulturen sind als Zeitreihen der einzelnen Elemente in **Bild 4** dargestellt. Reinluftwerte für Graskulturen wurden in gefilterter Luft (Staubfilter, Aktivkohlefilter) in Open-Top-Kammern ermittelt. Quellen für Vergleichsdaten in Graskulturen finden sich in [23 bis 26].

Die **Bleigehalte** zeigen bis 2000 noch Unterschiede zwischen Nord und Süd, konvergieren danach jedoch bei leicht rückläufigem Niveau und liegen zunehmend im Bereich der Hintergrundwerte. Mit rund 0,5 bis 1,4  $\mu\text{g/g}$  TG liegen sie sehr deutlich unter den Werten, wie sie in früheren Jahrzehnten an verkehrsnahen Standorten mit 16,5 bis 74  $\mu\text{g/g}$  TG (1972 [5]), 20 bis 36  $\mu\text{g/g}$  TG (1984 [27]) bzw. 2 bis 11  $\mu\text{g/g}$  TG (1992 bis 1995 [6; 28; 29]) gemessen wurden.

Bei **Antimon** sind – ähnlich wie bei der Flechtenexposition – die Unterschiede zwischen Nord und Süd am deutlichsten ausgeprägt. Die Sb-Gehalte liegen sehr deutlich (Faktor

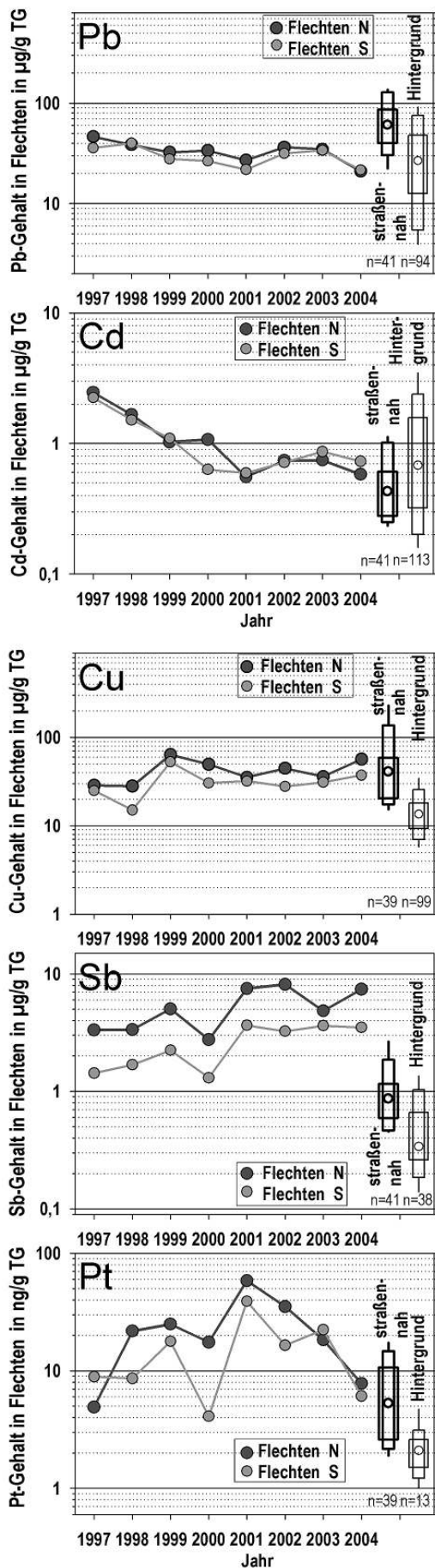


Bild 3. Metallgehalte in exponierten Flechten an den Stationen N (= Nord im Lee der Autobahn) und S (= Süd im Luv der Autobahn) im Verlauf der Untersuchungsjahre von 1997 bis 2004. Vergleichsdaten aus der Literatur (straßennahe Standorte, Hintergrund) sind als Box-Whisker-Plots dargestellt (von oben nach unten: 95-, 90-, 75-, 25-, 10-, 5-Perzentil; Kreissymbol: Median). TG = Trockengewicht

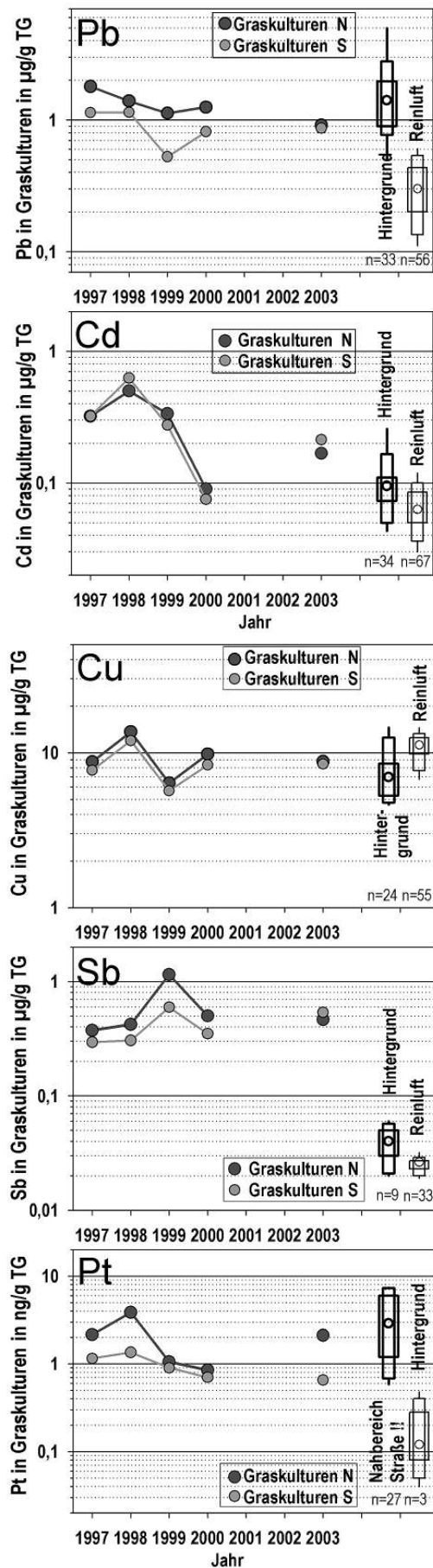


Bild 4. Metallgehalte in exponierten Graskulturen an den Stationen N (= Nord im Lee der Autobahn) und S (= Süd im Luv der Autobahn) im Verlauf der Untersuchungsjahre von 1997 bis 2000 (fünf Serien) und 2003 (zwei je vierwöchige Serien). Vergleichsdaten aus der Literatur (unbelasteter Hintergrund; für Pt: Daten aus Nahbereich Straße bzw. Autobahn) und von Graskulturen unter Reinluftbedingungen (Open-Top-Kammer; für Pt: straßenferne Hintergrundwerte) sind als Box-Whisker-Plots dargestellt (vgl. Bild 3). TG = Trockengewicht

≥ 10) über Hintergrundwerten und noch deutlicher über Reinluftwerten.

Bei **Platin** wurden aufgrund fehlender Daten aus Reinluftbedingungen als Vergleichsdaten einerseits Hintergrundwerte (nur wenige,  $n = 3$ ) und andererseits Werte aus straßennah exponierten Graskulturen des Bayerischen Landesamts für Umweltschutz [24 bis 26] herangezogen: Die ermittelten Pt-Gehalte stimmen gut mit den veröffentlichten Werten überein. Hintergrundwerte liegen um einen Faktor (10 bis) 20 niedriger.

## 5 Fazit und Ausblick

Die Immissionswirkungsmessungen Kfz-bedingter Schadstoffe mit Bioindikatoren an der Autobahn A 8 von 1997 bis 2004 lassen folgende Schlussfolgerungen zu:

1. Exponierte Blattflechten (*Hypogymnia physodes*) akkumulieren die Metalle deutlich stärker als Graskulturen (Pb: 35 x, Pt, Rh: 8 bis 13 x, Cd, Cu, As: 3,5 bis 6 x).
2. Blei und Cadmium zeigen im Zeitverlauf rückläufige Akkumulationsgehalte, Platin- und Kupfergehalte verändern sich während der Untersuchungsdauer nicht signifikant, während Antimon eine deutlich zunehmende Tendenz aufweist.
3. Insgesamt zeigen Antimon (7 bis 10 x) und Platin (8 x) ein deutlich erhöhtes, Kupfer (2,4 x) ein erkennbar erhöhtes An-

reicherungsniveau in Blattflechten gegenüber (ländlichen) Hintergrundgehalten, nicht aber Blei (1,1 x) und Cadmium (1,4 x).

4. Aufgrund der signifikant höheren Anreicherung in den Flechten- und Graskulturproben nördlich der Autobahn gegenüber denen südlich können Kupfer und Antimon, eingeschränkt auch Blei und Platin, dem Kfz-Verkehr zugeschrieben werden, nicht jedoch Cadmium. Blei ist nicht länger als verkehrstypisches Element zu betrachten, Antimon hat diese Rolle als quellentypisches Metall übernommen.
5. Mit Flechten als Bioindikatoren können Aussagen über eine Belastung der Vegetation im Allgemeinen getroffen werden, mit der standardisierten Graskultur über die Futtermittelkette auch eine Abschätzung der Belastung von Tieren, insbesondere von landwirtschaftlichen Nutztieren.
6. Standardisierte Bioindikationsverfahren bieten eine herausragende, langjährig bewährte und belastbare Möglichkeit für ein Langzeitmonitoring im Sinne einer ökologischen bis ökosystemaren Umweltbeobachtung und Umweltüberwachung.
7. Hervorzuheben ist die Notwendigkeit, durch ausreichende Probenumfänge einschließlich Parallelproben statistisch valide Ergebnisse zu erhalten. Dies schließt die zuverlässige Einhaltung der Qualitätsstandards der instrumentellen Spurenanalytik, insbesondere die Genauigkeit, Reproduzierbarkeit und Richtigkeit der Ergebnisse, ein.

### Literatur

- [1] Page, A. L.; Ganje, T. J.; Joshi, M. S.: Lead quantities in plants, soil, and air near some major highways in Southern California. *Hilgardia* 41 (1971) Nr. 1, S. 1-31.
- [2] Wirth, V.; Brinckmann, B.: Statistical analysis of the lichen vegetation of an avenue in Freiburg (South-West Germany) with regard to injurious anthropogenous influences. *Oecologia* 28 (1977), S. 87-101.
- [3] Laaksovirta, K.; Olkkonen, H.; Alakuijala, P.: Observations on the lead content of lichen and bark adjacent to a highway in southern Finland. *Environm. Pollut.* 11 (1976), S. 247-255.
- [4] Hettche, H. O.: Pflanzenwache als Sammler für polyzyklische Aromaten in der Luft von Wohngebieten. *Staub – Reinh. Luft* 31 (1971) Nr. 2, S. 72-76.
- [5] Scholl, G.: Ermittlung über die Belastung der Vegetation durch Schwermetalle in verschiedenen Immissionsgebieten. *Staub – Reinh. Luft* 34 (1974) Nr. 3, S. 89-92.
- [6] Peichl, L.; Wäber, M.; Reifenhäuser, W.: Schwermetallmonitoring mit der Standardisierten Graskultur im Untersuchungsgebiet München – Kfz-Verkehr als Antimonquelle? *UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox.* 6 (1994) Nr. 2, S. 63-69.
- [7] Helmers, E.; Mergel, N.; Barchet, R.: Platin in Klärschlamm- asche und an Gräsern. *UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox.* 6 (1994) Nr. 3, S. 130-134.
- [8] VDI 3957 Blatt 2: Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Bioindikation). Verfahren der standardisierten Graskultur. Berlin: Beuth 2003.
- [9] VDI 3799 Blatt 2: Messen von Immissionswirkungen. Ermittlung und Beurteilung phytotoxischer Wirkungen von Immissionen mit Flechten. Verfahren der standardisierten Flechtenexposition. Berlin: Beuth 1991/2003.
- [10] Wirkungen von Emissionen des Kfz-Verkehrs auf Pflanzen und die Umwelt – Literaturstudie. Hrsg.: LfU – Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. Ökologische Umweltbeobachtung Bd. 1. Karlsruhe 1999.
- [11] Kostka-Rick, R.; Leffler, U. S.; Markert, B.; Herpin, U.; Lusche, M.; Lehrke, J.: Biomonitoring zur wirkungsbezogenen Ermittlung der Schadstoffbelastung in terrestrischen Ökosystemen. *UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox.* 13 (2001) Nr. 1, S. 5-12.
- [12] Jeran, Z.; Jacimovic, R.; Batic, F.; Smodis, B.; Wolterbeek, H. T.: Atmospheric heavy metal pollution in Slovenia derived from results for epiphytic lichens. *Fresenius J. Anal. Chem.* 354 (1996), S. 681-687.
- [13] Bennett, J. P.: Statistical baseline values for chemical elements in the lichen *Hypogymnia physodes*. In: Agrawal, S. B.; Agrawal, M. (Hrsg.): *Environmental pollution and plant responses*, S. 343-353. Boca Raton: Lewis 2000.
- [14] Garty, J.; Tomer, S.; Levin, T.; Lehr, H.: Lichens as biomonitors around a coal-fired power station in Israel. *Environm. Res.* 91 (2003), S. 186-198.
- [15] Augusto, S.; Branquinho, C.; Pereira, M. J.; Soares, A.; Catarino, F.: Evaluation of atmospheric air pollution using lichens: A multi-pollutant approach. 3rd International Workshop on Biomonitoring of Atmospheric Pollution, Bled, Slovenia, Sept. 21-25 2003, S. 201.1.
- [16] Polcnik, H.; Ribaric, L.; Batic, F.: Monitoring of short term heavy metal deposition by accumulation in epiphytic lichens (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.). 3rd International Workshop on Biomonitoring of Atmospheric Pollution, Bled, Slovenia, Sept. 21-25 2003, S. 218.1.
- [17] Cuny, D.; Davranche, L.; Thomas, P.; Kempa, M.; Van Haluwyn, C.: Comparison of trace element concentrations (between 1995 and 2002) in lichens collected in a highly industrialized area in northern France – Intergration in risk assessment strategy. 3rd International Workshop on Biomonitoring of Atmospheric Pollution, Bled, Slovenia, Sept. 21-25 2003, S. 501.1.

- [18] *Herzig, R.*: Biologisches Luftqualitätsmonitoring Region Thun-Spiez 2001/02 – Istzustand der aktuellen Luftbelastung als Grundlage für die Erfolgskontrolle der Luftreinhaltemaßnahmen. Kurzfassung des Schlussberichtes mit spezieller Berücksichtigung von Spiez. AVAG Stadt Thun 2003.
- [19] *Muschak, W.*: Pollution of street run-off by traffic and local conditions. *Sci. Total Environm.* 93 (1990), S. 419-431.
- [20] *Garg, B. D.; Cadle, S. H.; Mulawa, P. A.; Groblicki, P. J.; Laroo, C.; Parr, G. A.*: Brake wear particulate matter emissions. *Environm. Sci. Technol.* 34 (2000), S. 4463-4469.
- [21] *Sternbeck, J.; Sjödin, A.; Andreasson, K.*: Metal emissions from road traffic and the influence of resuspension – results from two tunnel studies. *Atmos. Environm.* 36 (2002), S. 4735-4744.
- [22] *Hjortenkrans, D.*: Diffuse metal emissions to air from road traffic – A case study of Kalmar, Sweden. *ESS Bulletin* 1 (2003) Nr. 1, S. 4-19.
- [23] VDI 3957 Blatt 1: Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Bioindikation). Grundlagen und Zielsetzung. Berlin: Beuth 1999.
- [24] *Laschka, D.; Nachtwey, M.; Wäber, M.; Dietl, C.; Peichl, L.*: Biomonitoring verkehrsbedingter Platin-Immissionen. – In: *Zereini, F.; Alt, F.* (Hrsg.): Emissionen von Platinmetallen – Analytik, Umwelt- und Gesundheitsrelevanz, S. 181-189. Berlin: Springer 1999.
- [25] *Von der Trenck, K.-T.; Erhardt, W.*: Environmental platinum – A current problem? In: *Klumpp, A.; Ansel, W.; Klumpp, G.* (Hrsg.): Urban air pollution, bioindication and environmental awareness, S. 315-320. Göttingen: Cuvillier 2004.
- [26] *Wäber, M.; Laschka, D.; Peichl, L.*: Biomonitoring verkehrsbedingter Platin-Immissionen – Verfahren der standardisierten Graskultur im Untersuchungsgebiet München. *UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox.* 8 (1996) Nr. 1, S. 3-7.
- [27] *Steubing, L.*: Bioindikation von Schwermetallen in verschiedenen Ökosystemen. VDI-Berichte 609, S. 351-366. Düsseldorf: VDI 1987.
- [28] *Wäber, M.; Dietl, C.; Köhler, J.; Peichl, L.*: Bioakkumulation und Deposition von Antimon, Blei und polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoff-Immissionen. *UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox.* 10 (1998) Nr. 5, S. 276-280.
- [29] *Dietl, C.; Wäber, M.; Peichl, L.; Vierle, O.*: Monitoring of airborne metals in grass and depositions. *Chemosphere* 33 (1996) Nr. 11, S. 2101-2111.