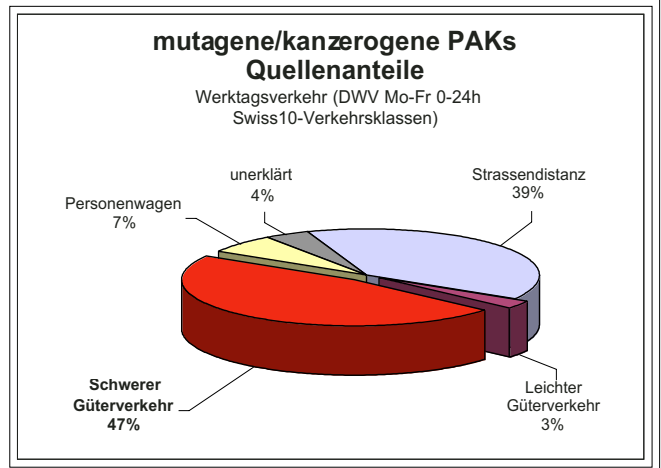
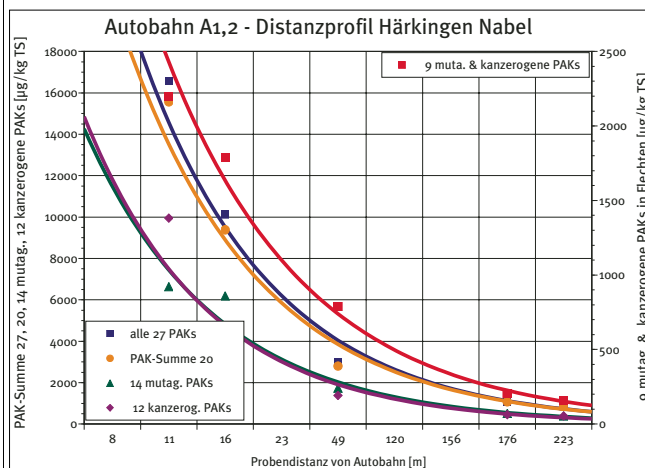
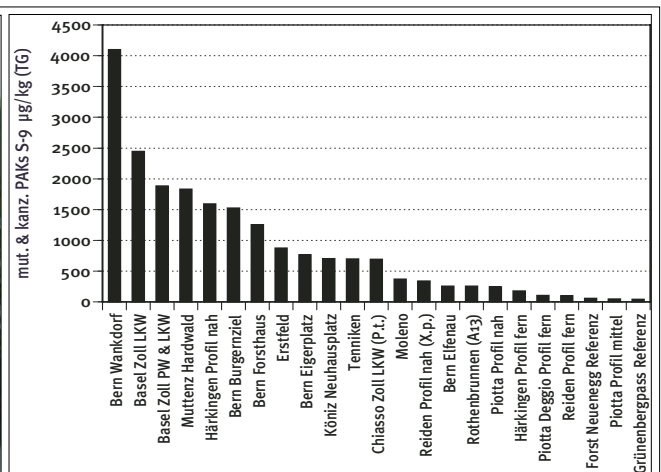


## Monitoring flankierende Massnahmen Umwelt (MfM-U)

### Biologisches Luftqualitätsmonitoring mit Flechten entlang der A2 und A13 und Zuweisung relevanter Luftschadstoffe zum Schwerverkehr



## Schlussbericht

Januar 2007

AGB - Dr. Rolf Herzig  
Arbeitsgemeinschaft für Bioindikation,  
Umweltbeobachtung und ökologische Planung  
3013 Bern

---

## **Impressum**

---

### **Projektbearbeitung**

*Dr. Rolf Herzig  
AGB, Arbeitsgemeinschaft für Bioindikation,  
Umweltbeobachtung und ökologische Planung  
Quartiergasse 12, CH 3013 Bern  
Tel. 031 / 332 66 29; e-mail: [rolf.herzig.agb@bluewin.ch](mailto:rolf.herzig.agb@bluewin.ch)*

*Spurenanalytik  
Anorganik: Prof. Dr. Peter Fodor, Szent Istvan University,  
Faculty of Food Science and Applied Chemistry, Budapest (H)  
Organik: Dr. Ivan Beranek Holinger AG und Envitec AG Zofingen*

---

### **Begleitung**

*Klaus Kammer, Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Oekonomie und  
Forschung, Sektion Umweltbeobachtung*

*unter freundlicher Mitwirkung von:*

*Patrick Jegge, Bundesamt für Strassen,  
Abteilung Strassennetze MISTRA + Verkehrsmonitoring, Bern*

*Dr. Karl-Heinz Gerber und Dr. Heribert Bürgy,  
Amt für Umweltschutz Stadt Bern*

*Dr. Gerrit Nejedly, Beco - Berner Wirtschaft, Immissionsschutz, Bern*

---

---

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>Zusammenfassung</b>	<b>I-IV</b>
<b>1. Ausgangslage, Auftrag und Zielsetzungen.....</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangslage.....	1
1.2 Auftrag und Zielsetzungen.....	3
<b>2. Untersuchungsmethoden.....</b>	<b>5</b>
2.1 Bioindikation und Biomonitoring der Luftbelastung mit Flechten.....	5
2.1.1 Bioindikation der Luftgesamtbelastung.....	6
2.1.2 Passives Biomonitoring der Einzelstoffbelastung der Luft mit Schwermetallen und polyzyklischen organischen Kohlenwasserstoffen PAKs.....	12
<b>3. Vorgehen, Untersuchungsgebiete und weitere Grundlagen.....</b>	<b>15</b>
3.1.1 Vorprojekt sichert Kontinuität mit laufenden Studien.....	15
3.2 Auswahl der Messstandorte.....	15
3.2 Ersterhebung der MfM-U-Standorte von 2003.....	18
3.2.1 Bestimmung der Gesamtbelastung der Luft (Flechtenbioindikation).....	18
3.3 Flechtenbiomonitoring zur Erfassung der Einzelstoffbelastung - anorganische und organische Einzelschadstoffe	18
3.3.1 Flechten-Probenahme, Stichprobenkonzept und Probenbanking.....	18
3.3.2 Multi-Elementanalysen - Schwermetalle.....	19
3.3.3 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAKs).....	21
3.4 Quellen, Verwendung und Umweltverhalten der untersuchten Substanzen.....	24
3.4.1 Schwermetalle u.a umwelt- und humantoxische Elemente.....	24
3.4.2 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAKs).....	26

<b>4.</b>	<b>Hauptergebnisse zur Gesamtbelastung der Luft.....</b>	<b>29</b>
4.1	Luftgesamtbelastung an den untersuchten MfM-U-Standorte - Ersterhebung 2003.....	29
<b>5.</b>	<b>Hauptergebnisse zur Einzelstoffbelastung der Luft.....</b>	<b>33</b>
5.1	Untersuchungsstandorte, Belastungsklassifikation und Charakterisierung der Einzelstoffbelastung für Schwermetalle und PAKs.....	35
5.2	Einzelstoffbelastung von Schwermetallen und PAKs mittels Stationstafeln - Exemplarisch Standortvergleiche.....	39
5.3	Fingerprints zur Charakterisierung der Schwermetallbelastung der MfM-U-Standorte.....	46
5.4	Schadstoffweise Charakterisierung des Belastungsmusters mit Standortvergleichen.....	49
5.4.1	Schwermetalle und Gesamtschwefel - Exemplarisch Standortvergleiche.....	49
5.4.1	Polyaromate PAKs - Exemplarisch Standortvergleiche.....	55
5.5	Abhängigkeit der Schwermetall- und PAK-Belastung vom Motorfahrzeugverkehr.....	61
5.5.1	Schadstoff-Distanzprofile zur Transitautobahn A2/13: Abhängigkeit der Schwermetall- und PAK-Belastung vom Strassenabstand .....	62
	Schadstoff-Distanzprofile in Härkingen-NABEL (SO).....	63
	Schadstoff-Distanzprofile in Reiden (LU).....	67
	Schadstoff-Distanzprofile im Raum Piotta-Faido-Deggio (TI).....	69
	Kombiniertes Schadstoff-Distanzprofil aller 27 PAKs zur Autobahn.....	71
5.6	Regressions- und varianzanalytische Analyse der Abhängigkeit der Einzelstoffbelastung vom Mfz-Verkehr.....	73
5.6.1	Vorläufige Analysen mit gering auflösenden längenklassierten Daten (LVC) des Wochentagsverkehrs.....	73
5.6.2	Vertiefte Analysen mit feiner aufgelösten und nach Fahrzeugtypen getrennt erfassten Daten des Werktagsverkehrs der Schweizerischen Strassenverkehrszählung (Swiss10)....	73
5.6.3	Der Ansatz der multiplen linearen Regression und Varianzanalyse mit nach Fahrzeugtypen klassierten Verkehrsdaten SWISS 10 mit dem Werktagsverkehr (DWV24).....	74



	<b>Seite</b>
5.6.4 Zwei exemplarische Beispiele:	
<i>Mutagene und kanzerogene PAKs (MUCAPAK) - Berechnung der Quellenanteile.....</i>	<i>75</i>
<i>Blei - Berechnung der Quellenanteile.....</i>	<i>79</i>
<b>6     Auswahl der aussagekräftigsten Verkehrstracer       « Top 25 Tracer » .....</b>	<b>83</b>
6.1.1 Tracer zur Indikation des schweren Güterverkehrs (Schwerverkehrs-Anteil).....	88
6.1.2 Tracer zur Indikation des «leichten Güterverkehrs» (Anteil leichter Güterverkehr).....	118
6.2 Tracer mit einer hohen Beeinflussung durch den gesamten Motorfahrzeugverkehr - Flottenmix.....	120
6.3 Tracer mit einer hohen Beeinflussung durch den PWV-Anteil.....	130
<b>7.     Schlussfolgerungen und Ausblick.....</b>	<b>139</b>
<b>8.     Glossar.....</b>	<b>141</b>
<b>9.     Literaturhinweise.....</b>	<b>143</b>
<b>10.    Anhang.....</b>	<b>149</b>
10.1 Einzelstoffbelastung von Schwermetallen und PAKs mittels Stationstafeln - alle Standortvergleiche.....	149
10.2 Schadstoffweise Charakterisierung des Belastungsmusters mit Standortvergleichen.....	198



# Zusammenfassung

## **Projekt: Monitoring flankierende Massnahmen Umwelt - «Luftqualitätsmonitoring mit Flechten entlang der A2 und A13 und Zuweisung relevanter Luftschadstoffe zum Schwerverkehr»**

Anhand von Flechtenanalysen entlang der Autobahnen A2 und A13 sowie an stark befahrenen innerstädtischen Verkehrsknoten am Beispiel der Stadt Bern wurde eine teilweise hohe Konzentration von Polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAKs) und Schwermetallen festgestellt.

Das Distanzprofil an der NABEL-Messstation Härkingen deutet darauf hin, dass die durch den Verkehr emittierten PAKs und Schwermetalle entlang intensiv befahrener Verkehrsachsen hauptsächlich innerhalb eines 50-100m breiten Streifens deponiert werden. Unter den Substanzen finden sich diverse Schwermetalle sowie mutagene und kanzerogene PAKs. Letztere werden vorwiegend von Diesel-Motoren ohne Partikelfilter und Katalysatoren emittiert.

Literatur-Recherchen zeigen, dass neben den Treibstoffen und Motoren-Emissionen auch Bremsbeläge und Additive in Motorenölen und Autopneus wichtige Schadstoff-Quellen des Mfz-Verkehrs darstellen. So stellen beispielsweise Bremsbeläge nach wie vor eine relevante Quelle von Antimon, Blei, Chrom, Eisen, Kupfer, Molybdän, Zink und Zinn dar.

Mit multivariaten statistischen Methoden wurden schliesslich die wichtigsten PAK- und Schwermetall-Tracer bestimmt, die für die schweren Güterfahrzeuge typisch sind.

### **Ziel der Untersuchung**

Die Untersuchung «Luftqualitätsmonitoring mit Flechten» wurde im Rahmen des Projektes «Monitoring flankierende Massnahmen Umwelt - MfM-U» durchgeführt. Als Ergänzung zu den Messstandorten der technischen Immissionsmessungen erlaubt das Luftqualitätsmonitoring mit Flechten der AGB gesicherte Rückschlüsse auf die Art, Menge und Ausbreitung der Luftschadstoffbelastung.

Mittels der seit vielen Jahren bewährten komplementären Methodik von Bioindikation und Biomonitoring mit Baumflechten wird sowohl die Luftgesamtbelastung als auch die Einzelstoffbelastung einer Vielzahl von anorganischen und organischen Luftschadstoffen genauer erfasst. Dank der Wahl von geeigneten «Tracern» können spezifische Aussagen zur Belastung des gesamten Verkehrs sowie des alpenquerenden Güterverkehrs gemacht werden. Diese wirkungsseitigen Luftimmissionserhebungen können auch als Grundlage für weitere medizinische und humantoxikologische Untersuchungen dienen. Mit den vorgesehenen Wiederholungsuntersuchungen an denselben Messstandorten (lufthygienische Erfolgskontrolle) können die verkehrsbedingten Luftqualitätsveränderungen in einigen Jahren präzise nachgewiesen werden.

Mehrere der gemessenen Schwermetalle und PAKs wurden bereits vor Jahren mit entsprechenden Immissionsdaten von technischen Messverfahren kalibriert, was gesicherte Rückschlüsse auf die Immissionsbelastung erlaubt (Herzig 1990, 1993, Umweltmaterialien Nr. 146, 2002).

Das Luftqualitätsmonitoring, welches im Herbst 2003 entlang den Transitachsen A2 und A13 in 11 Teilgebieten und an insgesamt 17 Messstandorten erstmals ausgeführt wurde, beinhaltet die folgenden Teiluntersuchungen:

### ***Gesamtbelastung der Luft mittels Bioindikation mit Flechten***

Die Luftgesamtbelastung wurde entlang der Autobahn A2 an den dafür geeigneten MfM-Stationen Tenniken, Reiden, Erstfeld, Moleno, bei den LKW-Checkpoints Basel-Weil und Chiasso-Progeda sowie in Piotta-Quinto in der oberen Leventina gemessen.

### ***Einzelstoffbelastung der Luft mittels Flechtenbiomonitoring***

Die Untersuchungen erfolgten mittels Multi-Elementanalysen von 17 verkehrsrelevanten Schwermetallen: Blei, Kupfer, Zink, Cadmium, Eisen, Molybdän, Chrom, Cobalt, Nickel, Vanadium, Arsen, Zinn, Antimon, Platin, Palladium, Cer und Gesamtschwefel sowie organischen Spurenanalysen von 27 Polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen, sogenannte PAKs, wie das Benzo(a)pyren, Chrysen und Benzo(b,k)fluoranthren.

Mit einer standardisierten Probenahme wurden die folgenden MfM-U-Standorte entlang der A2 und A13 untersucht: Hardwald, Tenniken, Reiden, Erstfeld, Moleno, Rothenbrunnen sowie die LKW-Checkpoints Basel-Weil und Chiasso-Progeda, Härkingen-Nabel, Piotta-Quinto und der Referenzstandort Forst-Neuenegg sowie für die PAKs zusätzlich an sechs Verkehrsstandorten der Stadt Bern, welche im Rahmen einer Erfolgskontrolle zeitgleich mit den MfM-U-Proben analysiert wurden.

### ***Profilanalysen***

In Härkingen-NABEL, Reiden-MfM-U und Piotta-Quinto wurden Profilanalysen quer zur Autobahn durchgeführt, welche zur Klärung der Reichweite der vertikalen und horizontalen Ausbreitung der Luftbelastungen dienen.

### ***Ermittlung aussagekräftigster Tracer für den Schwerverkehr***

Aufgrund spezifischer, verkehrsbezogener Analysen mittels Belastungsgradienten, Standortanalysen, multivariaten Regressions- und Varianzanalysen mit Swiss10-Verkehrsdaten und dem Vergleich mit motorensseitigen Emissions- und Immissionsdaten liessen sich besonders geeignete «Verkehrs-Tracer» für die einzelnen Fahrzeugkategorien, insbesondere für den Schwerverkehr bestimmen.

Dazu wurden die in Flechtenproben gemessenen Gehalte von Schwermetallen, Gesamtschwefel und PAKs mittels multivariaten Modellrechnungen geschätzt. Inputgrössen der Modellrechnungen waren: Die am Messstandort erfassten Swiss10-Verkehrsmengen (Schweizerische Strassenverkehrszählung, getrennt nach 10 Fahrzeugklassen; für die vorliegende Analyse aggregiert

als Anteile des Schwerverkehrs und «leichten Güterverkehrs» sowie der PWs) sowie die Probenahmendistanz zur Autobahn.

Anhand des Vergleichs von tatsächlich gemessenen und geschätzten Belastungswerten und der Güte und Signifikanz der Regressionsbeziehung wurde die Eignung und Trennschärfe dieser Tracersubstanzen zur Indikation des gesamten motorisierten Verkehrs umfassend untersucht. Von besonderem Interesse waren dabei diejenigen Tracer, welche sogar Rückschlüsse auf den Anteil des schweren Güterverkehrs (Schwerverkehrs) erlauben.

### ***Hauptaussagen der Ersterhebung von 2003***

#### ***Grosse verkehrsgeprägte Unterschiede in der PAK- und Elementbelastung der verschiedenen Untersuchungsstandorte***

Im Direktvergleich der untersuchten 17 Messstandorte (23 für die PAKs inkl. Stadt Bern) zeigen sich sowohl für die Luftgesamtbelastung wie auch für die Einzelstoffbelastung mit Schwermetallen, Gesamtschwefel und PAKs sehr grosse standörtliche Belastungsunterschiede:

- Eine geringe bis kritisch hohe Gesamtbelastung der Luft.
- Eine sehr geringe bis kritisch hohe kumulative Schwermetallbelastung mittels Schwermetallbelastungsindex SMI (13 luftbürtige Schwermetalle).
- Eine mehrheitlich hohe bis kritisch hohe Schwermetallbelastung aller untersuchten Verkehrsstandorte entlang der A2 und A13.
- Sehr hohe Belastungsgradienten zeigen sich für ausgeprägte Tracer des Mfz-Verkehrs wie für Platin mit 89 und Antimon mit 54. Für andere Metalle ergeben sich Belastungsgradienten von einem Faktor 6-20.
- Auffallend hohe Belastungsgradienten zeigen sich auch für mehrere mutagene und/oder kanzerogene PAKs, welche für Indeno(1,2,3-cd)pyren bis zu einem Faktor von 565 reichen.
- Die für die PAK-Analysen zusätzlich verwendeten Verkehrsstandorte der Stadt Bern zeigen unerwartet hohe PAK-Belastungen, die im Falle des Standortes Wankdorf (A6-Zufahrt mit hohem LKW-Anteil) die Belastung an der Autobahn A2 oftmals sogar noch übertreffen. Damit lässt sich erkennen, dass städtische Verkehrsstandorte mit häufigen Verkehrsstaus und schlechter lufthygienischer Durchlüftung zu den am stärksten mit PAKs belasteten Standorten gehören.

#### ***Profilmessungen zeigen eine starke Verkehrsabhängigkeit vieler PAKs und Schwermetalle***

Das Autobahn-Profil der A1/A2 in Härkingen-NABEL, im offenen und sehr stark frequentierten Mittelland, zeigt eine überaus deutliche Distanzabhängigkeit der in Flechtenproben gemessenen Schwermetall- und PAK-Konzentrationen zur Hauptverkehrsachse. Die Stärkstbelastungen finden sich in Fahrbahn-nähe. In nur 200m Distanz ist die Belastung für die meisten Substanzen bereits um einen Faktor 10 geringer. Weniger ausgeprägt ist das Schadstoffprofil in Reiden. Das A2-Profil in der oberen Leventina in der Tal- und Hanglage von Piotta bis Quinto zeigt im Nahbereich ebenfalls eine deutliche Distanzabhängigkeit, die in der Ausprägung zwischen jenem von Härkingen und Reiden liegt und für mehrere Schadstoffe Hinweise auf eine Höhenverlagerung gibt.

### ***Selektion und Evaluation der aussagekräftigsten Verkehrstracer und Quellenzuordnung***

Vorläufige Analysen mit längenklassierten Verkehrsdaten (LVC) belegten bereits, dass der motorisierte Verkehr entlang der Autobahnen A2 und A13 eine dominante Rolle an der Belastung mit zahlreichen PAKs und Schwermetallen hat.

Der Belastungsanteil des dieselpetriebenen Schwerverkehrs (Längenklassen >12.5m) erwies sich bei den Analysen für zahlreiche Einzel-PAKs und Schwermetalle als erheblich und liess sich varianzanalytisch grob beziffern.

Aufgrund dieser erfolgsversprechenden Ergebnisse hat das BAFU einer Projekterweiterung zugestimmt. Mit dem Vergleich der wesentlich feiner aufgelösten Swiss10-Verkehrsdaten mit den Biomonitoringdaten konnten die Aussagen verfeinert werden. Dazu wurde der sogenannte «Werktagsverkehr, DWV 24» (Mo-Fr) verwendet, welcher aufgrund des schweizerischen Sonntagsfahrverbots den Anteil des schweren Güterverkehrs weit präziser erfasst, als der bei den Testanalysen verwendete Wochentagsverkehr (Mo-So).

Auf der Basis dieser umfassenden multivariaten statistischen Feinanalyse und dem Einbezug von motorensseitigen Emissions- und Immissionsdaten sowie toxikologischen Befunden aus der Literatur wurden nun aus dem grossen Kollektiv von 44 verschiedenen luftbürtigen PAKs, Schwermetallen und Gesamtschwefel die aussagekräftigsten Tracer zum Nachweis der Luftbelastung des motorisierten Strassenverkehrs, und soweit möglich, sogar spezifisch für einzelne Fahrzeugkategorien (schwerer Güterverkehr) ermittelt.

Bei der Feinanalyse der mfz-relevanten Quellen hat sich deutlich gezeigt, dass heutzutage nebst der direkten Motoren-Emission auch hochvergütete Bremsbeläge, Additive von Motorenölen und sogar Abrieb von Autopneus wesentlich zur Luftbelastung mit Schwermetallen und Schwefel beitragen.

Das Ergebnis dieser umfassenden Evaluation aller in Flechtenproben analysierten 44 Luftschadstoffe ist nun eine nach Fahrzeugtypen differenzierte Liste der 25 aussagekräftigsten Mfz-Verkehrstracer.

### **«Top15-Liste» aussagekräftigste Tracer zum Nachweis der Luftbelastung durch den schweren Güterverkehr**

*(Lastwagen, Lastenzüge, Sattelzüge; Swiss10-Klassen: 8, 9, 10)*

Es handelt sich dabei, rangiert nach ihrer Relevanz für den Schwerverkehr, um die folgenden Substanzen:

***PAKs: Perylen, Chrysen, 9 mutagene und kanzerogene PAKs, Benzo(b,k)fluoranthren, Benz(a)anthracen, Indeno(1,2,3-cd)pyren, Benzo(c)phenanthren, Pyren sowie Benzo(b)fluoren.***

Der Schwerverkehrsanteil dieser PAKs reicht von 61% bis zu 33%. Emissionsmessungen an Motoren der EU 2002, 2005 sowie Messungen des Schwerverkehrsanteils im Gubrist-Tunnel von 1993 stützen diese neuartigen Erkenntnisse weitestgehend.

**Schwermetalle und Gesamtschwefel: Blei, Gesamtschwefel, Molybdän, Zink, Chrom und Nickel.**

Der Schwerverkehrsanteil dieser Schwermetalle und des Gesamtschwefels reicht ebenfalls von 71% bis zu 41%. Aktuelle Emissionsmessungen an Bremsbelägen, Motorenölen und Autoreifen der EU von 2005 und die weitere wissenschaftliche Literatur stützen diese neuartigen Erkenntnisse ebenfalls.

**Tracer zum Nachweis des «leichten Güterverkehrs»**

*(Lieferwagen, Lieferwagen mit Anhänger bzw. mit Auflieger; Swiss10-Klassen: 5,6,7)*

Die Verkehrsklassen 5,6,7 der SWISS10-Klassierung werden im folgenden als «leichter Güterverkehr» bezeichnet. Diese Bezeichnung darf nur mit Vorbehalt verwendet werden. Einerseits gibt es in diesen Verkehrsklassen Unschärfen zu übrigen Klassen, da teilweise auch Van's und Wohnmobile mitgezählt werden, andererseits werden bei weitem nicht alle Lieferwagen für Gütertransporte eingesetzt. Gemäss dem ARE (Güterverkehr durch die Schweizer Alpen 2005) werden als Lieferwagen nur Fahrzeuge mit Doppelbereifung oder mit Doppelachsen gezählt.

Ein einziger Tracer wurde gefunden zur Indikation des Belastungsanteils des «leichten Güterverkehrs». Es handelt sich um das Polyaromat **Dibenzo(a,l)pyren**, welches von der WHO als bis zu 100 mal toxischer als die bisherige Leitsubstanz Benzo(a)pyren eingestuft wurde. Der Anteil des «leichten Güterverkehrs» beträgt hohe 66%.

**Tracer zum Nachweis des gesamten Mfz-Verkehrs-Mixes**

*(Lastwagen, Lastenzüge, Sattelzüge, Lieferwagen, Lieferwagen mit Anhänger bzw. mit Auflieger, Personenwagen mit und ohne Anhänger; Swiss10-Klassen: 3,4,5,6,7, 8,9,10, ohne 1,2; Busse, Cars, Motorräder)*

Eine Reihe weiterer PAKs und Schwermetalle eignen sich zur Indikation des gesamten Mfz-Verkehrs-Mixes.

*Es sind dies die folgenden PAKs: **Phenanthren, Benzo(e)pyren, Benzo(a)pyren** sowie die Schwermetalle: **Eisen und Kupfer**.*

Der hohe Belastungsanteil der Dieselfahrzeuge wird ebenfalls bestätigt vom «Road Transport Emission Inventory der EU» und für Benzo(a)pyren von der Gubrist-Studie, welche einen hohen Schwerverkehrsanteil von 51% ermittelt hat, währenddem unsere Ergebnisse zu 19% gelangen. Auch für die Schwermetalle Eisen und Kupfer findet sich eine klare Bestätigung bei der hohen Emission von modernen Bremsbelägen.

**Tracer zum Nachweis des PW-Anteils**

*(Personenwagen mit und ohne Anhänger; Swiss10-Klassen: 3,4, jedoch ohne 1,2; Busse, Cars, Motorräder)*

Schliesslich zeigte sich auch eine Gruppe von PAKs und Schwermetallen, welche vorzugsweise den PW-Anteil indizieren.

*Es sind dies die Schwermetalle: **Zinn und Antimon**, welche beide in Bremsbelägen enthalten sind sowie die Katalysatormetalle **Platin und Palladium**.*

Das teurere Platin wird heute nur noch in Diesel-Katalysatoren verwendet, währenddem das billigere Palladium in modernen Benzin-Katalysatoren eingesetzt wird. Zinn indiziert einen hohen PW-Anteil von 76%. Für Platin, Antimon und Palladium ergeben sich PW-Quellenanteile von 29-52%. Das PAK Acenaphylen schliesslich zeigt einen PW-Anteil von 42%.

Eine Reihe weiterer PAKs und Schwermetalle zeigen ähnlich gute Tracer-Eigenschaften für den Motorfahrzeugverkehr (alle PAK-Summenparameter, Benzo(b)fluoranthren, Benzo(k)fluoranthren, Fluoren).

Daneben wurden auch Verkehrstracer gefunden, deren Herkunft aus dem Mfz-Verkehr noch nicht hinreichend geklärt sind. Ein solcher Fall stellt z.B. Arsen und das seitens der Stoffverordnung seit 1991 weitgehend verbotene Cadmium dar. Um die Liste der aussagekräftigsten Verkehrstracer möglichst klein zu halten wurden diese Substanzen im Bericht nicht näher vorgestellt. Solche Substanzen sollten aber in künftigen Erfolgskontrolluntersuchungen weiter verfolgt werden.

### **Ausblick**

Mit der vorliegenden statistisch und empirisch abgesicherten «Top 25-Selektion» konnten aus dem ursprünglich grossen Kollektiv von 44 Luftschadstoffen die 15 aussagekräftigsten «Schwerverkehrs-Tracer» zum Nachweis der Luftbelastung durch den schweren Güterverkehr extrahiert werden.

Im Sinne einer Differenzialdiagnose stehen weitere 10 PAKs und Schwermetalle zur Verfügung, die eine Trennung nach dem Anteil des leichten Güterverkehrs, des PW-Anteils sowie des gesamten Verkehrs-Mixes erlauben.

Im Rahmen der ersten Erfolgskontrolle des MfM-U Biomonitorings, welches vorzugsweise noch vor der Einführung der EURO 5-Norm (Verschärfung der Abgasnormen, 2008) durchgeführt werden sollte, kann nun die Umweltwirkung und der Anteil des alpenquerenden Güterverkehrs an der Luftbelastung umfassend abgeschätzt werden.



# 1. Ausgangslage, Auftrag und Zielsetzungen

## 1.1 Ausgangslage

Seit dem 1. Januar 2001 ist das Verkehrsverlagerungsgesetz in Kraft. Unter der Leitung des Bundesamtes für Verkehr (BAV) wurde im Laufe des Jahres 2001 eine Projektorganisation für das Monitoring der flankierenden Massnahmen (MfM) geschaffen. Der Projektausschuss untersucht die Wirksamkeit der Massnahmen und ist für die Erstellung des Verlagerungsberichts verantwortlich, der alle zwei Jahre erscheint. Der Projektausschuss hat die Monitoring-Aufgaben auf die Projektgruppen MfM-Verkehr und MfM-Umwelt (MfM-U) aufgeteilt. Das MfM-U betreibt unter Mitwirkung der A2- und A13-Anrainerkantone ein Messnetz von sechs Luft- und Lärmstationen entlang der Nationalstrassen A2 und A13. Dabei sollen die Auswirkungen des alpenquerenden Güterverkehrs auf die Umwelt dokumentiert werden.

### **Bioindikation der Luftgesamtbelastung mit Baumflechten**

Als Ergänzung zu den Messstandorten der technischen Immissionsmessungen und den Fichtennadelanalysen der WSL sowie als eigentliches Bindeglied zu den humanmedizinischen Untersuchungen erlaubt das Luftqualitätsmonitoring mit Flechten gesicherte Rückschlüsse auf die Art, Menge und Ausbreitung von Luftschadstoffen.

Flechten sind geeignet, als «*lebende Messgeräte*» die Wirkungen von komplexen Luftschadstoffgemischen auf Lebewesen aufzuzeigen. Flechten sind sehr sensible Symbioselebewesen (aus Pilzen und Algen bestehend), welche ihre Nährstoffe direkt aus der Atmosphäre (Luft, Regen, Nebel, Schnee) aufnehmen. Da die niedrig entwickelten Flechten kein spezifisches Abwehrsystem gegen toxische Stoffe besitzen wie höher entwickelte Organismen, nehmen sie Nähr- und Schadstoffe aus der Luft gleichermassen auf. Die aufgenommenen Schadstoffe hinterlassen bei den Flechten sicht- und messbare Schäden. Dies macht sich die Bioindikationsmethode zunutzen: Die Flechten zeigen die Gesamtwirkung der über längere Zeit vorhandenen Luftverschmutzung an.

Weil Flechten, ähnlich wie die menschliche Lunge eine aussergewöhnlich grosse aktive und zugleich sensible Oberfläche besitzen, gelten Baumflechten auch als «Frühwarnsystem der Luftverschmutzung» (Herzig, et al. 1986, Herzig 1990). Dank der schadstoff-integrierenden Wirkung erfassen Flechten die biologisch wirksame Gesamtverunreinigung der Luft, welche beim Menschen massgeblich zu Atemwegserkrankungen führen kann.

Luftgütedaten des Flechtenkatasters, verglichen mit Immissions- und epidemiologischen Daten bei vierjährigen Kindern in Duisburg und Dortmund, belegen signifikante Abhängigkeiten von der Anzahl von Pseudocrup- und obstruktiven Bronchitis-Fällen (Rabe & Beckelmann 1986). Leider fehlen solchermaßen vergleichende Studien bisher in der Schweiz. Seitens der Scarpol-Studie existieren aber sehr wertvolle Erkenntnisse über Atemwegserkrankungen bei sinkender Luftbelastungswerten bei Kindern (Bayer-Oglesby, et al., 2005).

Flechtenuntersuchungen ergänzen somit die punktuellen technischen Messungen von Einzelschadstoffen in sinnvoller Weise und ermöglichen zudem wertvolle humanmedizinische Aussagen und Vergleichsmöglichkeiten.

### ***Biomonitoring der Einzelstoffbelastung mit Baumflechten***

Da sich die «Kalibrierte Flechtenindikationsmethode» auf die quantitative Erfassung der Luftgesamtbelastung beschränkt, wird in der Transitverkehrsuntersuchung des MfM-U auch das komplementäre «Passive Biomonitoring» mit Flechten, als Methode zur Charakterisierung der Einzelstoffbelastung der Luft eingesetzt.

Das Passive Biomonitoring ermöglicht präzise quantitative Rückschlüsse auf eine Vielzahl von humantoxikologisch relevanten, anorganischen und organischen Luftschadstoffen, besonders von Schwermetallen, Schwefel- und Stickstoffverbindungen sowie persistenter organischer Schadstoffe wie Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAKs). Entwickelt wurde das Passive Biomonitoring zusammen mit der Kalibrierten Flechtenindikationsmethode als «Integriertes biologisches Messsystem der Luftverschmutzung» Mitte der Achtzigerjahre im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes 14 «*Lufthaushalt und Luftverschmutzung in der Schweiz*» in der Region Biel und an den NABEL-Stationen (Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe) (Herzig, Liebendörfer, Urech 1985, Herzig 1990, Herzig & Urech 1991).

In den vergangenen Jahren wurden die beiden sich ergänzenden Methoden in mehreren Gebieten der Schweiz erfolgreich eingesetzt (Herzig 1993, AGB 1992, 94, 97, 99, 2002,03,05) und stets weiter verbessert sowie auf die gleichzeitige Erfassung einer Vielzahl von organischen Luftschadstoffen aus den Stoffklassen der PAKs, PCBs, FCKWs, Chlorbenzole, Organochlorpestizide und von Dioxinen sowie Furanen ausgeweitet (AGB 1993, BAFU-Umweltmaterialien Nr. 146, 2002).

Beide Messverfahren sind seit vielen Jahren mit technischen Luftmessverfahren umfassend kalibriert, was gesicherte Rückschlüsse auf die Immissionsbelastung ermöglicht und gründen auf einer mittlerweile 20-jährigen Vergleichsbasis von zahlreichen Anwendungsprojekten und Erfolgskontrolluntersuchungen im In- und Ausland (Herzig 1990, Herzig 1993).

Mit den vorgesehenen Wiederholungsuntersuchungen (z.B. 2007) an denselben Messstandorten (Erfolgskontrolle) können die verkehrsbedingten Luftqualitätsveränderungen präzise nachgewiesen werden (AGB 2000, 01, 02, 03, 05).

## 1.2 Auftrag und Zielsetzungen

- Im Rahmen dieses Zusatzauftrags wird mit dem Luftqualitätsmonitoring mit Flechten an allen geeigneten MfM-U Messstationen sowohl die organische und anorganische Einzelstoffbelastung als auch die Gesamtbelastung der Luft detailliert untersucht.

Die MfM-U Messstandorte werden zusätzlich mit Untersuchungen an den LKW-Checkpoints Basel-Weil und Chiasso-Progeda, der NABEL-Station Härkingen sowie den Standorten, Forst-Neuenegg und Piotta-Quinto ergänzt, was zusätzliche Belastungsvergleiche mit der zwischen 1995-2000 realisierten POP-Studie für die Zeitperiode vor dem Transitabkommen ermöglicht.

- ***Mittels der komplementären Methodik von Bioindikation und Biomonitoring mit Flechten und der Wahl von geeigneten «Tracern» soll die durch den motorisierten Verkehr verursachte Luftgesamt- und Einzelstoffbelastung einer breiten Palette von Polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAKs) und Schwermetallen entlang der Transitautobahnen A2 und A13 genauer erfasst werden. Der Einfluss des Schwerverkehrs auf die Schadstoffbelastung soll, soweit möglich, abgeschätzt werden.***

Das Projekt beinhaltet die folgenden Teiluntersuchungen:

- ***Flechtenbioindikation für die Bestimmung der Gesamtbelastung der Luft***

Standardisierte Erfassung an den dafür geeigneten MfM-U-Stationen Tenniken (A2), Reiden (A2), Erstfeld (A2), Moleno (A2). Ergänzt werden die MfM-U-Stationen mit Messungen der Gesamtbelastung bei den LKW-Checkpoints Basel (A2) und Chiasso (A2) sowie in Piotta-Quinto (A2). Die Probenahme erfolgt mittels 5 repräsentativer Stichproben pro Standort.

***Flechtenbiomonitoring zur Erfassung der Einzelstoffbelastung von humantoxikologisch relevanten Schwermetallen und Polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen PAKs***

Standardisierte Probenahmen an den MfM-U-Stationen: Hardwald (A2), Tenniken (A2), Reiden (A2), Erstfeld (A2), Moleno (A2), Rothenbrunnen (A13). Ergänzt werden diese MfM-U-Stationen mit Messungen der Einzelstoffbelastung bei den LKW-Checkpoints Basel (A2) und Chiasso (A2), Härkingen, Forst-Neuenegg, Piotta-Quinto sowie an sechs städtischen Verkehrsstandorten aus der Stadt Bern und der Gemeinde Köniz.

Die zu untersuchenden Parameter der Einzelstoffbelastung sollen besonders schwerverkehrs-relevante Tracer enthalten. Gesundheitsrelevante anorganische und organische Luftschadstoffe sollen dabei mit Vorzug untersucht werden.

***Als anorganische Einzelschadstoffe*** werden besonders die **Schwermetalle: Pb, Cd, Cu, Zn, Fe, Mo, Cr, Co, Ni, V, As, Sn, Sb, Pt** sowie der **Gesamtschwefelgehalt (S-total)** untersucht.

Als mögliche weitere Verkehrstracer kommen Ce und Pd in Betracht. Palladium, das in der neuesten Generation von Katalysatoren von benzinbetriebenen Fahrzeugen verwendet wird, sollen versuchsweise ebenfalls analysiert werden. Diese Probenahme erfolgt je mittels 5 repräsentativer Stichproben pro Standort. Zusätzlich wird ein kumulativer Schwermetallindex erhoben, welcher die gesamtheitliche Luftbelastung mit 13 luftbürtigen Schwermetallen ermöglicht (Herzig 1993).

**Als organische Einzelstoffe** wird die **Stoffklasse der Polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe PAKs** untersucht, welche zusammen mit Russpartikeln besonders von Dieselmotoren emittiert werden. Dazu werden vorzugsweise die 20 PAK-Einzelsubstanzen analysiert: **Naphthalen, Acenaphthylen, Acenaphthen, Fluoren, Phenanthren, Anthracen, Fluoranthren, Pyren, Benz(a)-anthracen, Chrysen, Benzo(b)fluoranthren, Benzo(k)fluoranthren, Benzo(e)pyren, Benzo(a)pyren, Perylen, Indeno(123-cd)pyren, Dibenz(ah)anthracen, Benzo(ghi)perylene, Anthanthren, Coronen** sowie geeignete PAK-Summenparameter zur Indikation der gesamtheitlichen Belastung mit PAKs gemäss POP-Studie Umwelt-Materialien 146. Die Probenahme der PAKs erfolgt mittels 3 repräsentativer Stichproben pro Standort.

Zusätzlich kommen 7 neue, bisher noch nie in Flechtenproben analysierte, jedoch humantoxikologisch hochgradig relevante PAKs (Dibenzo(a,l)-pyren, Dibenz(a,j)anthracen, Dibenz(a,h)pyren, mit einer im Vergleich zur Leitsubstanz Benzo(a)pyren bis zu 100fach erhöhten Toxizität sowie um 3,6-Dimethyl-phenanthren, Benzo(b)fluoren, Benzo(c)phenanthren und Benzo(b)-naphtho(1,2-d)thiophen, welche zusätzlich als geeignete Tracer für Dieselfahrzeuge dienen könnten (WHO-Europe 2003). Für diese Substanzen werden an geeigneten Flechtenproben Testanalysen zur Messbarkeit ausgeführt. Sofern möglich, werden diese neuartigen und relevanten PAKs in die Routineanalysen einbezogen.

### ● **Profilmessungen**

An den Standorten Härkingen, Reiden und Piotta-Quinto sollen zusätzlich Schadstoff-Profilmessungen für die oben erwähnten Messparameter durchgeführt werden. Diese dienen der Klärung der horizontalen und vertikalen Schadstoffausbreitung sowie der Klärung der ursächlichen Abhängigkeit dieser Luftbelastungen vom Mfz-Verkehr.

### ● **Schwerverkehrs-spezifische Tracer**

Dem Anteil des Schwerverkehrs (Diesel-LKWs) an den Luftbelastungen kommt dank der Auswahl von quellen-spezifischen Tracern und Probenahmetechniken eine besondere Bedeutung zu (AGB 2003, Umweltmaterialien Nr. 146).

In einem Vorprojekt wurde im Herbst 2003 eine eingehende Standort-evaluation durchgeführt und ein Realisierungskonzept ausgearbeitet. Der Abschlussbericht vom 5. September 2003 bildete die Grundlage für die Realisierung des hier beschriebenen Luftqualitätsmonitoring.

## 2. Untersuchungsmethoden

### 2.1 **Bioindikation und Biomonitoring der Luftbelastung mit Flechten**

Seit Jahrzehnten schon werden baumbewohnende Flechten als Bioindikatoren zur räumlichen Erfassung und Zonierung der Luftgesamtbelastung eingesetzt. Dabei macht man sich die aussergewöhnlich hohe Empfindlichkeit der Flechten gegenüber Luftschadstoffen zunutze: Als Symbioseorganismen (Pilz und Alge in Lebensgemeinschaft) stellen Flechten ein äusserst störungsanfälliges Gleichgewicht dar. Sie reagieren auf kleinste Beeinträchtigungen der Luftqualität. Im allgemeinen sind Flechten etwa zehnmal empfindlicher als höhere Pflanzen und gelten daher zu Recht als Frühwarnsystem der Luftverschmutzung.

Flechten eignen sich nicht nur zur Indikation der Gesamtbelastung der Luft (Herzig, et al. 1987), sondern gelten auch als effektive Akkumulationsorganismen (Speicherorganismen; sogenannte Biomonitoren) für Schwermetalle und weitere anorganische Luftschadstoffe (Lounamaa 1956, 1965, Nieboer et al. 1978, Herzig 1988, 89, 93). Diese erstaunliche Speichereigenschaft für Luftschadstoffe gründet auf der hochspezialisierten Ernährungsstrategie der Flechten, welche als «Filterorganismen» praktisch den gesamten Nährstoffbedarf aus der Luft, dem Regen und Nebel decken. Sowohl passive Stoffaufnahme wie auch aktive Ionenaustauschprozesse (Carrier-Proteine der Zellmembran) sind gleichermassen bei der Stoffaufnahme beteiligt (Puckett et al. 1973). Mit derselben Effektivität werden dabei nicht nur die lebensnotwendigen Nähr- und Spurenstoffe aufgenommen, sondern auch eine Vielzahl von Luftschadstoffen; dies namentlich in den lufthygienisch belasteten Gebieten.

Diese aussergewöhnlichen Akkumulationseigenschaften gewisser Flechtenarten für Schwermetalle hat sich auch das Community Bureau of Reference der EU zunutzen gemacht und ein Referenzmaterial (CRM482) aus einer Baumflechte für die europaweite Qualitätssicherung von Multi-Elementanalysen produzieren lassen (Quevauviller & Herzig 1996).

Die verschiedenen Verfahren zur Erfassung der Luftbelastung - technische Einzelschadstoffmessung, die Bioindikation der Luftgesamtbelastung und das Passive Biomonitoring mit Flechten zur Einzelschadstoffanalyse stellen einander sinnvoll ergänzende Messmethoden dar, keine kann durch die andere ersetzt werden.

Dazu sind allerdings mit Luftschadstoffen «kalibrierte» Bioindikations- und Monitoringsysteme, wie es das Flechtensystem darstellt, vorzuziehen (Herzig 1990). Liegt die Hauptanwendung der technischen Immissionsmessung in der zeitlich fein aufgelösten Erfassung, so bieten geeichte Bioindikations- und Monitoringverfahren interessante Anwendungsmöglichkeiten in der Früherkennung kritischer Belastungssituationen sowie der kostengünstigen und grossflächigen Überwachung der Luftbelastung und der Erfolgskontrolle (AGB 1999, 2001, 02, 03, 05).

### **2.1.1 Bioindikation der Luftgesamtbelastung**

Die «Kalibrierte Flechtenindikationsmethode» ist geeignet zur Untersuchung der ganzheitlichen Auswirkung der Luftverschmutzung auf Lebewesen. Als Zeigerorganismen werden baumbewohnende Flechten verwendet. Die Kalibrierte Flechtenindikationsmethode wurde Mitte der Achtzigerjahre von Mitarbeitern der AGB im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP14 «Lufthaushalt und Luftverschmutzung in der Schweiz» für die speziellen Verhältnisse im Schweizer Mittelland entwickelt. Diese Bioindikationsmethode resultiert aus einer breiten Evaluation verschiedener Flechtenzustandsparameter und einer Eichung (Kalibration) dieser Parameter mit technischen Luftmessdaten anhand von drei unabhängigen, geländedifferenzierten Messnetzen: Region Biel-Seeland, NABEL und Mittelland (Herzig et al. 1985, 88, 90, 91).

- **Als Mass für die Gesamtbelastung der Luft dient der «Gesamtbelastungsindikator IAP18» (Index of Atmospheric Purity).**

Die Kalibrierte Flechtenindikationsmethode basiert auf dem Gesamtbelastungs-Index IAP18. Ausgangspunkt dazu bildete der IAP-Wert (Index of Atmospheric Purity), der 1970 in Kanada von LeBlanc und DeSloover entwickelt wurde. Im NFP14-Projekt in den Achtzigerjahren wurde erstmals eine breit angelegte Evaluation und Kalibration von 20 verschiedenen Berechnungsvarianten des IAP-Indexes, welche fünf unterschiedliche Zustandsparameter (Deckungsgrad, Frequenz, Vitalität, Schädigungsgrad, Toxizität) der Flechtenvegetation in verschiedenen mathematischen Kombinationen enthielten, durchgeführt. Die Luftgüte-Berechnungsversion Nr.18 zeigte in multivariaten Analysen verglichen mit acht verschiedenen Luftschadstoffen der Stadt Biel die grösste statistische Übereinstimmung mit technischen Immissionsdaten auf.

Dieser Gesamtbelastungsindikator IAP18 beinhaltet die Häufigkeit (Summe der Frequenzwerte) von 50 potentiellen Flechtenarten, welche mit dem standardisierten Aufnahmeverfahren der Kalibrierten Flechtenindikationsmethode im Stammbereich von ausgewählten Laubbaumarten erfasst werden und nach untenstehender Vorschrift zur Frequenzsumme aggregiert werden.

**Abb. 1 Trägerbäume mit Frequenzgitter zur Messung des Luftgütwertes IAP18.**

**Links** Baum in ländlichem Gebiet mit üppigem Flechtenbewuchs.

**Rechts** Baum im Stadtgebiet, ohne Flechtenbewuchs, wird als «Flechtenwüste» bezeichnet.



Trägerbaum an immissionsarmen, ländlichen Standort mit üppigem Flechtenbewuchs mit 11 verschiedenen, auch immissions-empfindlichen Flechtenarten; IAP18 = 55.

Dieser Baum befindet sich in der «Übergangszone», was einer «geringen Gesamtbelastung» der Luft entspricht.



Trägerbaum in der Innenstadt ohne jeglichen Flechtenbewuchs; IAP18 = 0.

Dieser Baum befindet sich in der «Flechtenwüste», was einer «kritischen Gesamtbelastung» entspricht. Das am Baum fixierte Frequenzgitter definiert die standardisierte Aufnahmefläche der Luftqualitätsmessung.

$$\text{IAP18} = \sum_{i=1}^n F_i$$

$F_i$ : Frequenzwert der i-ten Flechtenart am Baum (Wert von null bis zehn)  
 $n$ : Anzahl der im IAP18 berücksichtigten Flechtenarten eines Baumes

Der IAP18 ist somit ein biologischer Luftgütwert, welcher sich aus den Daten der Flechtenerhebungen mittels Frequenzzählmethode berechnet. Die Flechten messen über ihre Wirkungsanzeige integrativ die Belastung aller flechten-toxischer Luftschadstoffe. Der IAP18 ist ein Mass der Gesamt-Immission, weshalb er auch als Gesamtbelastungsindikator IAP18 bezeichnet wird.

Für jeden untersuchten Trägerbaum wird der IAP18-Wert berechnet. Die Auswahl der zu untersuchenden, flächenrepräsentativen Bäume (Sommer- bzw. Winterlinde, Spitzahorn, Esche, Stiel- bzw. Traubeneiche und Berg-, bzw. Fehdahorn), sowie die Bestimmung des Luftgütwertes IAP18, erfolgt nach standardisierten Kriterien, wie sie durch die Kalibrierte Flechtenindikationsmethode gegeben sind (HERZIG et al. 1985, 88, 90).

Die Luftgütwerte des Gesamtbelastungsindikators IAP18 lassen sich wie folgt charakterisieren (Abb. 1): Je geringer die Luftschadstoffbelastung an einem Standort ist, desto mehr verschiedene Flechtenarten treten auf und desto häufiger sind diese, d.h. desto höher ist deren Frequenzwert.

Dies führt zu hohen IAP18-Werten, was einer hohen Luftqualität entspricht. Kahl dagegen sind die Baumstämme an Standorten sehr hoher Luftgesamtbelastung. Unter solchen Belastungsbedingungen vermögen empfindliche Flechtenarten nicht mehr zu überleben. Dies wiederum führt zu tiefen IAP18-Werten, was einer schlechten Luftqualität entspricht.

Die Kalibrierte Flechtenindikationsmethode unterscheidet fünf Zonen unterschiedlicher Flechtenschädigung (Wirkungskataster), welche dank der hohen multiplen Korrelation des IAP18 mit den relevanten, technisch gemessenen, Luftschadstoffen als Zonen unterschiedlicher lufthygienischer Gesamtbelastung (Gesamtimmissionszonen) gelten.

● <u>Wirkungs-Kataster</u>		<u>Gesamtimmissions-Kataster</u>	<u>Zonenfarbe</u>
Flechtenwüste	→	Kritische Gesamtbelastung	rot
Innere Kampfzone	→	Starke Gesamtbelastung	orange
Äussere Kampfzone	→	Mittlere Gesamtbelastung	gelb
Übergangszone	→	Geringe Gesamtbelastung	grün
Normalzone	→	Sehr geringe Gesamtbelastung	blau

In der Beschreibung der Luftgütekarten werden die Namen der einzelnen Belastungszonen als stehende Begriffe verwendet. Die Namen der Flechtenzonen des Wirkungskatasters, welche nach heutigem Sprachverständnis etwas «militärisch» tönen wurden von Botanikern anfang des 19. Jahrhunderts definiert und beschreiben im Falle der Kampfzonen den Überlebenskampf dem die sensiblen Flechten in luftbelasteten Gebieten ausgesetzt sind.

Die Kalibrierte Flechtenindikationsmethode eignet sich besonders für die grossräumige Erfassung von lufthygienischen Problemgebieten, welche Massnahmenpläne erfordern. Weiter ermöglicht sie einen raschen und detaillierten Überblick über das Gesamtimmissionsmuster eines Grossraumes im Sinne eines «Frühwarnsystems», welches schon reagiert, bevor für höhere Pflanzen, Tiere und Menschen irreversible Schäden entstehen.

Nebst der Langzeitüberwachung eines Grossraumes eignet sich die Methode besonders auch für die Erfolgskontrolle nach der Durchführung emissionsmindernder Massnahmen: Wiederholungen der Flechtendatenerhebungen ermöglichen den direkten Vergleich mit der Ausgangssituation. Sowohl Verschlechterungen wie Verbesserungen der lufthygienischen Gesamtbelastung können so räumlich differenziert angegeben und dadurch die immissionsseitige Wirksamkeit der getroffenen Sanierungsmassnahmen abgeschätzt werden.

In den vergangenen 20 Jahren wurden in mehreren Kantonen und Städten der Schweiz Luftqualitätsuntersuchungen mit der Kalibrierten Flechtenindikationsmethode durchgeführt, so auch in den Kantonen Bern, Luzern, Aargau, Solothurn, Appenzell A.Rh., Zürich, Schwyz, Zug sowie im Fürstentum Liechtenstein. In mehreren Fällen konnten auch bereits lufthygienische



Erfolgskontrolluntersuchungen (AGB 1999, 2002, 2005) durchgeführt werden. Diese Untersuchungsergebnisse lassen sich dank Methodenstandardisierung und Kalibration direkt miteinander vergleichen.

- ***Flechtenindikationsmethode umfassend kalibriert mit technischen Immissionsdaten***

Die im NFP14 (1991), den Studien Liechtensteins (1992) und der POPs (BUWAL 2002) unabhängig durchgeführten multivariaten Kalibrationsverfahren (Varianz- und Regressionsanalysen) der Messparameter der Flechtenindikations- und der Biomonitoringmethode mit technischen Immissionsmessungen haben ergeben, dass der Feinstaub und die darin enthaltenen toxischen Inhaltsstoffe (Schwermetalle, organische Schadstoffe wie z.B. Polyaromate PAKs) zusammen mit Stickoxiden, Schwefeldioxid und Ozon in der Erklärung der Varianzanteile der Regressionsmodelle die entscheidende Rolle spielen. Mit dem Gesamtbelastungsindikator IAP18 wird die Luftqualität als Luftgesamtbelastung (Gesamtimmersion) quantitativ ermittelt. Diese Luftgesamtbelastung umfasst die phytotoxischen Luftschadstoffe  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ , Ozon, Staub und Schwermetalle sowie organische Luftschadstoffe (z.B. PAKs, PCBs, Organochlorpestizide, Dioxine und Furane) in ihrer gesamtheitlichen Schadwirkung, wie sie für Pflanzen und auch für Menschen und Tiere wirksam sind (Herzig et al. 1985, 87, 88, 90, 93, 02, AGB 1992c, AGB 1994, AGB 1999, 03).

Dank der im NFP14 durchgeführten multivariaten Methodenkalibration mit technischen Luftschadstoffmessungen (Messnetz Biel:  $R^2=0.98$ ; 8 Schadstoffe:  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{Cl}$ , Staub,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Cu}$ ; sowie Messnetz NABEL Mittelland:  $R^2=0.92$ , 4 Schadstoffe:  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$ .) können mit der Kalibrierten Flechtenindikationsmethode statistisch gesicherte quantitative Rückschlüsse auf die **Gesamtbelastung der Luft** (lufthygienische Gesamtbelastung) gezogen werden.

- ***Zeitliche Repräsentanz der IAP18-Gesamtbelastungswerte***

Die im NFP14 (1991), den Studien Liechtenstein (1992) und POPs (1993, 2002) unabhängig durchgeführten Kalibrationsverfahren der Flechtenindikations- und der Biomonitoringmethode mit technischen Immissionsmessungen haben ergeben, dass der Feinstaub und die darin enthaltenen toxischen Inhaltsstoffe (Schwermetalle, organische Schadstoffe wie z.B. Polyaromate PAKs) zusammen mit Stickoxiden, Schwefeldioxid, Schwermetallen und Ozon die entscheidende Rolle spielen.

Univariate und multivariate Regressionsanalysen, welche im NFP-14 Projekt mit den IAP18-Gesamtbelastungswerten und den mit technischen Messgeräten gewonnenen Immissionswerten von  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , Ozon,  $\text{CO}$ , Schwebestaub, Staubbiederschlag und darin enthaltenen Schwermetallen durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass mit Jahresmittel, bzw. 3-Jahresmittelwerten die besten Übereinstimmungen bestehen.

Generell geringer war die statistische Übereinstimmung des IAP18 mit den Kurzzeitwerten nach LRV von SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub> und Ozon (Herzig et al. 91, 93).

Diese statistisch gesicherten Ergebnisse erlauben den Schluss, dass mit dem **Gesamtbelastungsindikator IAP18 die längerfristig wirksame Luftgesamtbelastung** erfasst wird, wie sie für Einzel-schadstoffe mit technischen Messgeräten in Form von Jahresmittelwerten gemessen wird. Die zeitliche Repräsentanz des IAP 18 entspricht somit mindestens einer ganzjährigen Belastung.

- **Vergleich der Gesamtimmissionszonen mit den Grenzwerten der Luftreinhalte-Verordnung LRV**

Der Zusammenhang zu den Immissionsgrenzwerten der Luftreinhalte-Verordnung (LRV 2000) des Bundes basiert auf einer 20-jährigen Vergleichserfahrung von über 50 erfassten technischen Messstandorten in allen Landesgegenden und zeigt sich wie folgt: In der Zone «kritische Gesamtbelastung» (rot) mit der stärksten Beeinträchtigung der Flechtenvegetation (sogenannte Flechtenwüste) muss nach der bisherigen Vergleichserfahrung angenommen werden, dass die Grenzwerte (Langzeit- und Kurzzeitgrenzwerte) der Schweizer Luftreinhalte-Verordnung LRV für Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) und bis Mitte der Achtzigerjahre auch für Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) mit grösster Wahrscheinlichkeit sehr deutlich überschritten werden. Auch in der Zone mit «starker Gesamtbelastung» (orange) sind in der Regel mässige Grenzwertüberschreitungen des Primärschadstoffes NO<sub>2</sub> durchaus zu erwarten. In der Zone mit «mittlerer Gesamtbelastung» (gelb) liegen die NO<sub>2</sub>-Jahresmittel in der Regel im Grenzwertbereich, währenddem in der Zone mit «geringer Gesamtbelastung» (grün) die NO<sub>2</sub>-Grenzwerte allgemein eingehalten werden können. In der Zone mit «sehr geringer Gesamtbelastung» (blau) können diese sogar komfortabel eingehalten werden.

Diese Vergleichserfahrung gründet auf einer Vielzahl untersuchter Messstandorte in allen Regionen der Schweiz und gilt für eine «durchschnittliche und allgemeine Immissionsbelastung», wie sie in Städten, Agglomerationen oder auch ländlichen Gebieten erfasst wird.

Für extrem strassenexponierte und hochfrequentierte Immissionsmessstandorte ergeben sich im unmittelbaren Strassenbereich oft deutlich abweichende Befunde und es ist bekannt, dass insbesondere die NO<sub>2</sub>-Jahresmittel auch in den Zonen mit mittlerer oder sogar geringer Gesamtbelastung überschritten werden können. Dieser methodenbedingte Unterschied ist einfach zu erklären und rührt daher, dass die biologische Erfassung der Luftgesamtbelastung flächen-repräsentativ in einem grösseren Umkreis um die jeweiligen technischen Messstandorte erfolgt.

Bedingt durch den bekannten starken Belastungsgradienten bei  $\text{NO}_2$  u.a. verkehrsbedingten Schadstoffen (PAKs, Schwermetalle) ist dieser Unterschied durchaus zu erwarten.

- Ozon zeigt als wichtigster Vertreter der Sekundärschadstoffe vielfach ein gegenläufiges Verhalten im Vergleich zu den Primärschadstoffen. Ozon kann nämlich in den Sommermonaten (Mai-September) und dies besonders in der Agglomeration von Städten den Immissionsgrenzwert (Kurzzeitgrenzwert) der LRV in allen fünf Gesamtbelastungszonen überschreiten, was folgendermassen erklärt werden kann: Das aus den Ausgangsstoffen Stickoxide und Kohlenwasserstoffe unter Einwirkung des starken Sonnenlichtes in städtischen Ballungsgebieten photolytisch gebildete Ozon wird von den Winden über die ganze Agglomeration verbreitet. In Städten und Agglomerationen ist die Grundbelastung an Stickoxiden und Kohlenwasserstoffen auch nachts meist so hoch, dass das zuvor gebildete Ozon teilweise abgebaut wird. Wogegen es in der Agglomeration und besonders in ländlichen Gebieten, mangels nächtlichem Ozonabbau, zu einer mehrtägigen Aufschaukelung der Ozonkonzentration kommen kann.
- Bildhaft lassen sich die Unterschiede der Gesamtimmissionsbelastung zwischen stark belasteten städtischen, bzw. industriell geprägten Gebieten und gering belasteten ländlichen Gebieten gut anhand einer Balkenwaage veranschaulichen:
  - ▣▣▣▣ Auf der Seite der städtisch, bzw. industriell geprägten Gebiete präsentiert sich eine Waagschale, welche mit zahlreichen gas- und partikelförmigen Primärschadstoffen in z.T. stark erhöhten Konzentrationen angefüllt ist. Auch Sekundärschadstoffe sind hier, zumindest zeitweise, in erhöhten Konzentrationen vorhanden.
  - ▣▣▣▣ Auf der Seite der schwach belasteten ländlichen Gebiete zeigt sich eine Waagschale, welche vor allem geprägt ist vom Sekundärschadstoff Ozon. Zwar sind auch hier Primärschadstoffe vertreten, aber in vergleichsweise deutlich geringeren Konzentrationen.
  - ▣▣▣▣ Das Ergebnis dieser «Wägung der Gesamtimmissionsbelastung» mit dem System der Flechten fällt damit eindeutig zu Ungunsten der durch sehr viele und in erhöhter Konzentration vorliegenden Luftschadstoffen belasteten städtisch, bzw. industriell geprägten Gebiete aus.

Da die Atmosphäre heute durch ein komplexes Gemisch verschiedenster Schadstoffe belastet wird, deren gesamtheitliche Auswirkungen auf Lebewesen beurteilt werden muss, ist es zweckmässig, wirkungsbezogene Systeme, wie es die empfindlichen Baumflechten darstellen, einzusetzen.

### 2.1.2 **Passives Biomonitoring der Einzelstoffbelastung der Luft mit Schwermetallen und Polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen PAKs**

Seit Jahrzehnten sind Flechten bekannt als gute Speicherorganismen, sogenannte «Biomonitoren» für Schwermetalle und weitere anorganische und organische Luftschadstoffe. Zwischen den in Flechten gespeicherten Gehalten von Schwermetallen und der mit technischen Messeinrichtungen erfassten Schwermetallbelastung der Luft bestehen sehr gute und statistisch gesicherte Zusammenhänge. Das Passive Biomonitoring ermöglicht somit die umfassende stoffbezogene Charakterisierung von Messstandorten.

Mitte der Achtzigerjahre wurde diese Biomonitoringmethode in der Region Biel und an den NABEL-Stationen (Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe) im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes NFP 14 «*Lufthaushalt und Luftverschmutzung in der Schweiz*» entwickelt. Zusammen mit der «*kalibrierten Flechtenindikationsmethode*» stellt das «**Passive Biomonitoring**» ein «*Integriertes biologisches Messsystem der Luftverschmutzung*» dar, welches sowohl detaillierte Angaben zur lufthygienischen Gesamtbelastung wie auch einzelschadstoffbezogene Aussagen ermöglicht (Herzig 1989, 1990, Herzig & Urech 1991, AGB 1994).

Basierend auf dem «Passiven Biomonitoring mit Flechten», wurde diese Biomonitoringmethode in verschiedenen Anwendungsprojekten, so im Fürstentum Liechtenstein, den Städten Bern und Biel, im Kanton Appenzell A.Rh. und bei emittenten-bezogenen Studien im Gebiet der KVA-Hagenholz in Zürich-Nord und der Regionalen Entsorgungsanlage Niedergösgen (RENI) sowie der KVA-Thun seither soweit verbessert, dass überregionale Direktvergleiche zur Einzelstoffbelastung erfolgen können (AGB 1994, 97, 2000, 2002, 2004).

In den frühen Neunzigerjahren wurde die Biomonitoringmethode auf die gleichzeitige Analyse von organischen Schadstoffen aus der Stoffklasse der PAH und PCB erweitert, verbunden mit einer umfassenden Standardisierung der Methode und einer Kalibration für PAKs (Herzig 1993, AGB 1993).

Eine Ausweitung des «Organischen Biomonitorings mit Flechten» auf «Persistente organische Schadstoffe POPs» aus den Stoffklassen: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe PAKs, Polychlorierte Biphenyle PCBs, leichtflüchtige-chlorierte Kohlenwasserstoffe LCKWs, Chlorbenzole, Polychlorierte Dibenzo-p-Dioxine/Furane PCDD/PCDFs sowie Organochlorpestizide (DDT, Aldrin, Endrin u.a.) wurde im Auftrag des BAFU an einem gesamtschweizerischen Messnetz mit gegen 100 Einzelsubstanzen (Herzig & Bieri 2002: Umweltmaterialien Nr. 146) durchgeführt.

### ● **Methodenkalibration im Schweizer Mittelland**

Bei der Methodenentwicklung des Passiven Biomonitorings im NFP14 hat sich gezeigt, dass die in Flechtenproben akkumulierten Gehalte der meisten Elemente nicht nur gute Korrelationen zum Luftgüteindikator IAP18 aufweisen, sondern dass mehrere Elemente eine gute Übereinstimmung zu technisch gemessenen Immissionswerten aufweisen (Herzig et al., 1989, 90, 91, AGB 1993, 94).

Für die beiden Schwermetalle Blei und Kupfer waren die Regressionsbeziehungen so gut, dass von den in Flechten gemessenen Blei- und Kupferkonzentrationen (Akkumulation) auf die Depositionswerte dieser Schwermetalle, gemessen mit dem technischen Staubmessverfahren «Bergerhoff», geschlossen werden kann. Die Kalibration für das Schwermetall Blei gründet auf insgesamt 17 Messstandorten der Blei-Deposition (Bergerhoff) in der Stadt Biel und dem NABEL-Messnetz im Schweizer Mittelland. Die Regressionsbeziehung ist hochsignifikant und zeigt ein gutes Bestimmtheitsmass von  $R^2 = 0.84$ . Die Kalibration für das Schwermetall Kupfer stützt sich auf 14 Messstandorte der Stadt Biel mit einem Bestimmtheitsmass von  $R^2 = 0.82$ .

Die Methodenkalibration für Blei und Kupfer erfolgte im NFP14 mit der Flechtenart *Hypogymnia physodes*. Da die Elementkonzentrationen bis zu einem gewissen Grad artspezifisch sind, dürfen die Ergebnisse der Regressionsbeziehungen nicht vorbehaltlos auf die in aktuellen Untersuchung in der Region Thunersee übertragen werden, welche mit der Art *Parmelia sulcata* erfolgte. Jedoch behält die hohe Güte der Übereinstimmung zwischen beiden Messverfahren auch für die aktuelle Untersuchung ihre Gültigkeit.

Im Rahmen der Studie AWZ (AGB 1994) führten Methodenvergleiche zwischen den in *Parmelia sulcata* akkumulierten Blei, Cadmium, Zink und Kupfer-Werten und der Bergerhoff-Deposition zu sehr guten Ergebnissen.

Eine weitere Studie im Fürstentum Liechtenstein (AGB 1992) ermöglichte den statistischen Vergleich zwischen den Gesamtstickstoff-Analysen in der Flechtenart *Parmelia sulcata* und der  $\text{NO}_2$ -Konzentration der Luft (Passivsammler). Das Regressionsmodell ist hochsignifikant und liefert ein gutes Bestimmtheitsmass von  $R^2 = 0.78$ .

Aus einer emittenten-bezogenen Biomonitoringstudie in Dänemark (Pilegaard 1979), bei der zum Vergleich mit Elementdaten der Flechte *Hypogymnia physodes* und technisch gemessene Depositionsdaten der Schwermetalle (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, V, Zn) zur Verfügung standen, sind vergleichbar gute Korrelationen mit Korrelationskoeffizienten zwischen 0.83 und 0.97 bekannt.

Aufgrund der in der Schweiz noch weitgehend fehlenden Immissionsmessnetzen von organischen Luftschadstoffen, beschränkt sich die Methodenkalibration des Passiven Biomonitorings mit Flechten bisher auf die Stoffklassen der gasförmigen Spezies  $\text{NO}_2$  und  $\text{SO}_2$ , von Schwermetalle und sowie PAKs.

Letzere wurde im Rahmen einer BAFU-Studie 1993 (Herzig, et al. 1993) an den bisher einzigen vier Messstandorten (Basel-Nord-Feldbergstrasse/BS, Allschwil/BL, Chur/GR und Jenaz/GR), welche damals einen Jahresgang von PAK-Immissions-Konzentrationsdaten (technische Stichprobenmessung) aufwiesen, vorgenommen. Mit High-Volume-Samplern wurden dabei orientierende Daten von sechs ausgewählten Einzel-PAKs analysiert (Tab. 1).

**Tab. 1 Korrelationsbeziehungen und Signifikanzniveau zwischen der technischen Immissionskonzentration von PAKs und der biologischen PAK-Erfassung.**

Mittels Passivem Biomonitoring mit Flechten.

Mit Graudruck sind für jedes der analysierten PAKs die besten Korrelationsbeziehungen hervorgehoben (oberer Teil der Tabelle).

Korrelationen, welche mindestens auf dem 95%-Niveau Signifikanz zeigen, sind in Graudruck hervorgehoben (unterer Tabellenteil).

PAKs: Bio-monitoring PAKs: High Volume Sampler	Benzo(b,k)fluoranthen	Benzo(e)pyren	Benzo(a)pyren	Indeno(123-cd)pyren	Dibenz(ah)anthracen	Benzo(ghi)perylene	Coronen	PAK Summe 2	PAK Summe 7
<b>Bestimmtheitsmass R<sup>2</sup></b>									
Jahresmittel	0.972	0.963	0.958	0.986	0.665	0.964	0.698	0.993	0.993
Median	0.999	0.983	0.997	0.996	0.819	0.957	0.699	0.990	0.996
Monats-Maxima	0.942	0.947	0.965	0.973	0.759	0.966	0.714	0.995	0.988
<b>Signifikanzniveau</b>									
Jahresmittel	0.004	0.030	0.021	0.007	0.062	0.013	0.154	0.007	0.007
Median	0.005	0.009	0.006	0.009	0.026	0.030	0.228	0.010	0.005
Monats-Maxima	0.011	0.042	0.006	0.031	0.063	0.000	0.125	0.005	0.013

Die dabei erzielten Ergebnisse zeigten für vier von sechs PAKs eine ausgezeichnete Übereinstimmung zwischen den technischen PAK-Analysen und den in Flechtenproben der Leitart *Parmelia sulcata* akkumulierten PAK-Gehalte (vgl. auch BAFU Umweltmaterialien Nr. 146, S.143ff).

Leider fehlen in der Schweiz Messnetze mit technischen Konzentrations- und Depositionsmessungen, welche es erlauben würden, die Methodenkalibration des Passiven Biomonitorings auf weitere Schadstoffe auszudehnen.

Dennoch dürfen die bisher durchgeführten Kalibrationen dahingehend interpretiert werden, dass heute schon ausreichend Sicherheit besteht, dass zwischen den in Flechten gemessenen Einzelstoffkonzentrationen, besonders von Schwermetallen und anderen lufthygienisch relevanten Elementen (S-total, N-total, PAKs) und den mit technischen Methoden gemessenen Schadstoffkonzentrationen, bzw. Depositionen sehr enge Beziehungen bestehen.

Die zeitliche Repräsentanz der anorganischen und organischen Einzelstoffanalysen mittels Passivem Biomonitoring mit Flechten beträgt ein bis drei Jahre.

### **3. Vorgehen, Untersuchungsgebiete und weitere Grundlagen**

#### **3.1.1 Vorprojekt sichert Kontinuität zu bereits laufenden Studien**

In einem Vorprojekt wurde im Herbst 2003 eine eingehende Standortevaluation durchgeführt und ein Realisierungskonzept ausgearbeitet. Der Abschlussbericht vom 5. September 2003 bildete die Grundlage für das hier beschriebene Luftqualitätsmonitoring.

#### **3.2 Auswahl der Messstandorte**

Die Auswahl der insgesamt zu untersuchenden 17 Messstandorte in 11 Untersuchungsregionen (Tab. 2) erfolgte, gestützt auf die Ergebnisse der Standortevaluation, welche im Vorprojekt in Spätsommer 2003 entlang der Transit-Autobahnen A2 und A13 durchgeführt wurde (Monitoring flankierende Massnahmen-Umwelt (MfM-U: Bericht des Vorprojektes z. H. des BAFU, Standortevaluation und Realisierungskonzept, Kurzbericht 5. Sept. 2003).


Diese Standortevaluation hat ergeben, dass von den insgesamt sieben MfM-U Standorten mit technischen Immissions- und Verkehrsmessungen das Flechtenbiomonitoring (Erfassung der anorganischen und organischen Einzelstoffbelastung) bis auf den Standort Camignolo (TI) überall ausgeführt werden kann.

Zur Realisierung eines Horizontalprofils wurde in erster Priorität der NABEL-Standort Härkingen (POP-Studie, BAFU 2002) vorgeschlagen. Der MfM-U-Messstandort Reiden (LU) wurde als Ergänzung vorgesehen. Das zu realisierende Vertikalprofil kann am besten am Standort Piotta-Quinto (TI) (ebenfalls Standort der POP-Studie) ausgeführt werden, wo gleichzeitig Profil-Untersuchungen der WSL zur Nadelchemie durchgeführt werden. Als besonders mfv-verkehrsrelevant erweisen sich die beiden Zollabfertigungsstandorte: LKW-Checkpoints Basel-Weil und Chiasso-Progeda. Durch die räumliche Triage des LKW- und PW-Verkehrs kann hier der Einfluss der dieselpbetriebenen LKWs differenziert untersucht werden sollen. Chiasso ersetzt zudem den wegen Flechtenmangels (absolute Flechtenwüste, kritische Gesamtbelastung der Luft) nicht untersuchbaren MfM-U-Standort Camignolo im lufthygienisch «hochbelasteten» Sottoceneri.

Stationsname	untersuchte Verkehrsstandorte	DTV 2003	Parameter
Basel-Weil Zoll (BS/D)	A2-Zollstation; Transitverkehr, PW LKW	DTV: 32680 (BS-Zollbrücke) LKW: 2448 (BS-Zollbrücke)	IAP, S-schwermetalle PAKs
Basel-Weil Zoll (BS/D)	A2-Zollstation; Transitverkehr, LKW	DTV: 74953 (BS-Rheinbrück) LKW: 7044 (BS-Rheinbrück)	IAP, S-schwermetalle PAKs
Muttenz- Hardwald (BL)	A2; Regio-,Transitverkehr, >LKW-Anteil	DTV: 116657 (Muttenz) LKW: 8033 (Muttenz)	S-schwermetalle PAKs
Tenniken (BL)	A2; Regio-,Transitverkehr, ländlich	DTV: 44966 (Eptingen) LKW: 5498 (Eptingen)	IAP, S-schwermetalle PAKs
Härkingen-NABEL (SO) Nahbereich N1 & 2	A1,2; Regio-,Transitverkehr, >LKW-Anteil	DTV: 73440 (Gunzgen) LKW: 5164 (Gunzgen)	S-schwermetalle PAKs
Härkingen-NABEL (SO) Fernbereich N1& 2	A1,2; Regio-,Transitverkehr, >LKW-Anteil	DTV: 73440 (Gunzgen) LKW: 5164 (Gunzgen)	S-schwermetalle PAKs
Reiden (LU) Nahbereich	A2-Regio-,Transitverkehr, ländlich	DTV: 43119 (Reiden) LKW: 5108 (Reiden)	IAP, S-schwermetalle PAKs
Reiden (LU) Mittel-Fern- bereich	A2-Regio-,Transitverkehr, ländlich	DTV: 43119 (Reiden) LKW: 5108 (Reiden)	IAP, S-schwermetalle PAKs
Erstfeld (UR)	A2-Nordportal; v.a. Transitverkehr	DTV: 21792 (Erstfeld) LKW: 2747 (Erstfeld)	IAP, S-schwermetalle PAKs
Piotta (TI) Nahbereich	A2-Südportal; v.a. Transitverkehr	DTV: 17212. (Gotthard) LKW: 2656 (Gotthard)	IAP, S-schwermetalle PAKs
Piotta (TI) Mittelbereich	A2-Südportal; v.a. Transitverkehr	DTV: 17212. (Gotthard) LKW: 2656 (Gotthard)	IAP, S-schwermetalle PAKs
Piotta (TI) Fernbereich	A2-Südportal; v.a. Transitverkehr	DTV: 17212. (Gotthard) LKW: 2656 (Gotthard)	IAP, S-schwermetalle PAKs
Moleno (TI)	A2-Regio-,Transitverkehr	DTV: 28'371 (Biasca) LKW: 2'822 (Biasca)	IAP, S-schwermetalle PAKs
Chiasso-Zoll (TI)	A2 v.a. Transitverkehr	DTV: 56'320 (Granchia) LKW: 2'781 (Granchia)	IAP, S-schwermetalle PAKs
Chiasso-Zoll (TI)	A2 v.a. Transitverkehr	DTV: 56'320 (Granchia) LKW: 2'781 (Granchia)	IAP, S-schwermetalle PAKs
Rothenbrunnen (GR)	A13-Regio-,Transitverkehr, ländlich	DTV: 15235 (Rothenbrunnen) LKW: 674 (Rothenbrunnen)	IAP, S-Metalle PAKs
Forst Neuenegg (BE)	ländlicher Referenzstandort	DTV: ca. 150, Schätzung LKW:	IAP, S-schwermetalle PAKs
<b>Zusatzstandorte Stadt Bern und Köniz</b>			
Bern-Wankdorf (BE)	A6; Regio-,Transitverkehr > LKW-Anteil	DTV: 32900 (Schermenweg)	IAP, PAKs
Bern-Forsthaus (BE)	A12; Regio-,Transitverkehr > LKW-Anteil	DTV: 14500 (Murten-Steigh.)	IAP, PAKs
Bern-Eigerplatz (BE)	Innerstädtisch, Lokal-,Pendlerverkehr	DTV: 13000 (Eigerplatz)	IAP, PAKs
Bern-Burgernziel (BE)	Innerstädtisch, Lokal-,Pendlerverkehr	DTV: 20680 (Burgernziel)	IAP, PAKs
Bern-Elfenau (BE)	Stadttrand < Lokalverkehr	DTV: 3980 (Brunnadernstr.)	IAP, PAKs
Köniz-Neuhausplatz (BE)	Innerstädtisch Lokal-,Pendlerverkehr	DTV: 15870 (Schwarzenbstr.)	IAP, PAKs

**Tab. 2 Untersuchte Verkehrsstandorte und ihre Messparameter.**

DTV nach Schweizerische Strassenverkehrszählung 2003, ASTRA, Hochbau- & Planungsamt Stadt Basel, bzw. Tiefbauamt der Stadt Bern.

 MfM-U-Messstandorte mit technischer Immissions- und Verkehrsmessung sind grau hervorgehoben.

Ergänzend sahen wir die Durchführung von Untersuchungen an einem emittenten-fernen Standort mit Hintergrundbelastung im Schweizer Mittelland vor. Dazu eignet sich der längjährige AGB-Referenz- und POP-Messstandort Forst-Neuenegg (BE).



Analog zur Durchführung des Biomonitorings (Einzelstofffassung) empfehlen wir an den dafür geeigneten Standorten die gleichzeitige Erfassung der Gesamtbelastung der Luft (Bioindikation). Dies erlaubt es, die Standorte «gesamtheitlich» zu charakterisieren und auch kurzfristige Veränderungen in der Luftqualität rasch zu erkennen. Da die autobahnnahen Gebiete der Standorte Hardwald (BL), Härkingen (SO), Rothenbrunnen (GR) und Camignolo (TI) die strengen Methodenanforderungen der Gesamtbelastungsmethode nicht erfüllen, können diese nicht untersucht werden.

Damit gründet die Biomonitoring-Untersuchung an insgesamt 17 ausgewählten Standorten in 11 verschiedenen Untersuchungsgebieten entlang der Nationalstrassen A2 und A13 auf einem räumlich differenzierten und national repräsentativen Messnetz von Mfz-bezogenen Untersuchungsstandorten in den Raumnutzungs- und Belastungskategorien Stadt, Agglomeration, ländliche Standorte mit der Höhen- und Backgrounddimension. Dabei wurden geeignete Autobahnstandorte mit hohem Verkehrsaufkommen, besonders im Transitverkehr mit bedeutenden Schwerverkehrsanteilen, ausgewählt, wie die MfM-U-Standorte Muttenz, Reiden, Erstfeld, Moleno, Rothenbrunnen sowie der NABEL-Standort Härkingen-NABEL am A1,2 Abschnitt, welche je auch über technische Immissions- und Verkehrsdaten verfügten.

Bis auf Camignolo (TI) konnten alle MfM-U Standorte untersucht werden. Die Studie wurde ergänzt mit den Standorten LKW-Checkpoints an den Zollstationen Basel-Weil und Chiasso-Progeda, Forst-Neuenegg als Referenzstation Mittelland sowie der NABEL Station Härkingen, Piotta-Quinto an der A2-Südroute der oberen Leventina. Die Untersuchungsstandorte Erstfeld und Piotta decken die Gotthard-Transitachse A 2 ab.

In der anorganischen Teiluntersuchung wurden in 11 Untersuchungsgebieten an 17 Einzelstandorten insgesamt 91 standardisierte Mischproben der Flechtenart *Parmelia sulcata* entnommen. Für die organischen Biomointoringanalysen der PAKs wurden ebenfalls in 11 Untersuchungsgebieten an 16 Einzelstandorten insgesamt 53 standardisierte Mischproben derselben Monitoringart entnommen. Mit der Zusatzuntersuchung in der Stadt Bern erfolgten Flechtenprobenahmen für PAKs an weiteren sechs verkehrsbelasteten, städtischen Standorten.

Mit den Ergänzungsstandorten in der Stadt Bern ergeben sich somit für die Polyaromate (PAKs) insgesamt 23 Untersuchungsstandorte, währenddem die untersuchten Schwermetalle nur auf den 17 MfM-U-Standorten beruhen (Tab.2).

### **3.2 Ersterhebung der MfM-U-Standorte von 2003**

#### **3.2.1 Bestimmung der Gesamtbelastung der Luft (Flechtenbioindikation)**

Unmittelbar nach Auftragerteilung erfolgte im September und Oktober 2003 die Bestimmung der Gesamtbelastung der Luft (Flechtenbioindikation) in den in Tabelle 1 genannten sieben Untersuchungsgebieten an 12 Einzelstandorten und mit insgesamt 60 standardisierten IAP18-Luftgüte-Erhebungen. Diese Ergebnisse der kalibrierten Flechtenindikationsmethode erlauben einen integralen Vergleich mit den technischen Immissionsmessungen und Verkehrszählungen der Transit-Kantone sowie den einzelstoffbezogenen Erhebungen des biologischen Luftqualitätsmonitoring mit Flechten.

### **3.3 Flechtenbiomonitoring zur Erfassung der Einzelstoffbelastung - anorganische und organische Einzelschadstoffe**

#### **3.3.1 Flechten-Probenahme, Stichprobenkonzept und Probenbanking**

##### **Flechten-Probenahme**

Die Erstbeprobung der MfM-U Standorte erfolgte im Oktober und November 2003 und von Januar - März 2004 für die Ergänzungsstandorte in der Region Bern.

Es kam dieselbe «standardisierte Beprobungstechnik» mit drei repräsentativen Mischproben pro Standort» zum Einsatz, die bereits im Rahmen der BAFU-Untersuchung der PAKs und POPs verwendet wurde (Herzig 1993, Umweltmaterialien Nr. 146 2002). Diese Technik erlaubt u.a. Rückschlüsse auf die am Standort vorherrschenden Belastungsquellen. Die Analysen erfolgen mit der besonders geeigneten und in Mitteleuropa häufigsten Baumflechtenart *Parmelia sulcata* (Taylor), welche auch für das standardisierte Schwermetallmonitoring verwendet wird (Herzig 1990,93).

Die Probenahme der anorganischen Teiluntersuchung basiert auf 5 repräsentativen Stichproben, diejenige der PAKs mittels 3 repräsentativer Stichproben pro Standort.

Für jede Einzelprobe wurde ein Protokollblatt erstellt, das neben allg. Standortdaten und einer Detailskizze auch eine Bonitur der Standort- und Nutzungsverhältnisse bezüglich der Parameter Siedlungsraum, Verkehrsfläche, Strassenabstand und landwirtschaftliche Nutzung enthält. Dies ermöglicht spätere quellenspezifische Auswertungen der Daten.

In der anorganischen Teiluntersuchung von Schwermetallen und Gesamtschwefel wurden in 11 Untersuchungsgebieten an insgesamt 17 Einzelstandorten 91 standardisierte Mischproben der Flechtenart *Parmelia sulcata* entnommen.

Für die organischen Biomonitoringanalysen der PAKs wurden in 11 MfM-Untersuchungsgebieten an 16 Einzelstandorten weitere 53 standardisierte Mischproben von Flechten entnommen. Zusammen mit den sechs Berner Standorten ergab sich ein Gesamtkollektiv von 74 PAK-Proben.

Im Labor der AGB wurden alle Proben der Monitoringart *Parmelia sulcata* individuell aufbereitet (gesäubert von Fremdmaterial und Borkenteilen) danach bei schonender Temperatur von 30°C auf Gewichtskonstanz getrocknet und für die anorganischen und organischen Spurenanalysen separiert und portioniert.

### **Probenaufbereitung**

Vor dem Mahlvorgang wurden die Proben im Trockenschrank bei schonender Temperatur von 30°C (Vermeidung von Verlusten volatiler Spezies, Schwermetalle und PAKs) während 24h bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Der Mahlvorgang erfolgte mit einer Ultrazentrifugalmühle «Retsch ZM-1» mit Titanrotor und Titansieb 200µm. Titanrotor und -sieb garantieren eine bezüglich Schwermetallen absolut kontaminationsfreie Mahlung. Um mögliche geringfügige Kontaminationen infolge Probenverschleppung zu vermeiden, wurden die Proben entsprechend ihrem potentiellen Belastungsgrad abgearbeitet, begonnen mit den geringstbelasteten und endend mit den stärkstbelasteten Proben. Nach jeder Einzelprobe wurde die Mühle mit Pressluft sehr sorgfältig, und zwischen den einzelnen Messstandorten sogar zusätzlich noch mit Alkohol (60%), gereinigt. Die Schwermetalluntersuchungen erfolgten gemäss dem hochstandardisierten «Passiven Biomonitoring» (Herzig 1991, 1992, 1993).

### **3.3.2 Multi-Elementanalysen - Schwermetalle**

Die anorganischen Spurenanalysen wurden von Prof. Peter Fodor von der Szent Istvan University, Faculty of Food Science and Applied Chemistry, Budapest, ausgeführt. Peter Fodor war bereits bei der Zertifizierung der BCR-Referenzmaterialien CRM482 und BCR 679 (Flechte und Weisskohl) der EU beteiligt und kennt sich bestens aus mit den analytisch anspruchsvollen Flechtenproben. Er verfügt auch über einen modernst ausgerüsteten Messpark mit hochauflösender ICP-MS.

Das Labor zählt europaweit zu den führenden Labors für anorganische Spurenanalytik und ist es gewohnt, Analysen auch von schwierigsten Materialien und Elementen auf dem absoluten «State of the Art-Niveau» auszuführen.

Alle Analysen wurden als unabhängige, d.h. «echte» Doppelbestimmungen ausgeführt. Die Druckaufschlussanalysen erfolgten auf einem Milestone Mirowellen-Gerät ETHOS PLUS mit einer Einwaage von 100mg Probenmaterial und 6ml HNO<sub>3</sub> und 1.5ml HF unter Verwendung von PFA-Gefässen. Mit dieser materialschonenden Stichprobe ist bereits nach 2-3 Jahren wieder genügend Flechtenmaterial vorhanden, so dass erste Erfolgskontrollen erfolgen können.

Die Elementgehalte aller 16 Schwermetalle sowie von Schwefel der schwierig zu analysierende Flechtenmatrix wurden nach einer eingehenden Methodenoptimierung mit einem neuen höchstauflösenden Agilent 7500a IC-MS-Analyzer; Analysen noch ohne Collision Cell (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) quantitativ analysiert.

Die Quantifizierung erfolgte mit den folgenden Isotopen:

<sup>34</sup>S, <sup>51</sup>V, <sup>52</sup>Cr, <sup>57</sup>Fe, <sup>59</sup>Co, <sup>60</sup>Ni, <sup>63</sup>Cu, <sup>66</sup>Zn, <sup>75</sup>As, <sup>95</sup>Mo, <sup>105</sup>Pd, <sup>111</sup>Cd, <sup>118</sup>Sn, <sup>121</sup>Sb, <sup>140</sup>Ce, <sup>195</sup>Pt und <sup>208</sup>Pb.

Für die folgenden Isotope: <sup>95</sup>Mo, <sup>105</sup>Pd, <sup>106</sup>Pd, <sup>108</sup>Pd, <sup>195</sup>Pt und <sup>208</sup>Pb wurden in der Flechtenmatrix Interferenzen festgestellt und vorgängig Korrekturfaktoren bestimmt, mit welchen die Analyseresultate korrigiert wurden. Zusammen mit verschiedenen Archiv- und Referenzmaterialien wurden insgesamt 99 Einzelproben als «echte» Doppelbestimmungen quantitativ vermessen. Überständiges Probenmaterial wird zur Qualitätssicherung und für nachfolgende Erfolgskontrollen von der AGB tiefgefroren aufbewahrt (Probenbanking).

### **Qualitätssicherungsmassnahmen**

Gestützt auf die bereits vorhandene Erfahrung mit dem BCR-Flechtenreferenzmaterial CRM482 wurden aufwändige Qualitätssicherungsmassnahmen getroffen, damit die Spurenanalysen auf dem höchsten Qualitätslevel erfolgen konnten. So wurden u.a. elementspezifische Vierpunktkalibrationen mit zusätzlicher, externer Standardaddition sowie stündlicher Überwachung von möglichen Messgeräte-Drifts vorgenommen. Obschon die Flechtenproben noch ohne die trennschärfere «Collision Cell» vermessen wurden, erfolgten unmittelbar nach der Inbetriebnahme der Collision Cell Vergleichsanalysen, welche belegen, dass die entsprechenden Messwerte der Analyse ohne Collision Cell qualitativ sehr hochwertig sind.

Die Validierung der Messergebnisse erfolgte unter Einsatz der folgenden zertifizierten Referenzmaterialien von BCR: CRM482, BCR 679 und BCR723 (Flechte, Weisskohl, Road Dust).

### **3.3.3 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAKs)**

#### **Probenvorbereitung, chemische Spurenanalytik und Qualitätssicherung**

Die Durchführung der analytisch anspruchsvollen PAK-Analysen der Berner Proben erfolgten zusammen mit der MfM-U-Probenserie unter der Supervision von Dr. R. Herzig AGB im akkreditierten Spurenlabor der Holinger AG von den beiden Analytikerinnen B. Grogg und R. Sacher unter der fachlichen Leitung von Dr. I. Beranek und R. Hosp, welche bereits im POP-Auftrag die organischen Spurenanalysen von PAKs und weiteren POPs ausführten und auch die hochkomplizierte Extraktions- und Cleanup-Methode sowie GC-MS-Methodik zur quantitativen Analysen von PAHs in Flechtenproben mitentwickelt haben. Dabei wurde zuerst getestet, welche der sieben neuartigen und toxikologisch besonders kritischen PAKs (WHO 2003) analysiert und eventuell sogar in die Routineanalysen miteinbezogen werden können.

Die provisorischen Analysenergebnisse der vollständigen Serie wurden der AGB im August 2004 zur Verfügung gestellt. Nach Abschluss von Verifikationsanalysen wurden die definitiven Ergebnisse Ende Oktober 2004 von der AGB zur Auswertung übernommen werden.

#### **Probenvorbereitung, Extraktion und Cleanup**

Im Gegensatz zu den anorganischen Totalaufschlüssen erfolgen organische Spurenanalysen durch Extraktion der Ausgangsproben mit spezifischen Lösungsmitteln, welche je nach Stoffklasse unterschiedlich sind. Dies führt methodenbedingt zu gewissen Verlusten bei den gemessenen Gehalten. Dementsprechend sind Extraktionsmethoden stets mit einem etwas grösseren Messfehler behaftet als Totalaufschlüsse. Die Analyseergebnisse von Extraktionsmethoden werden generell durch Bestimmung der Wiederfindungsraten (Recovery-Werte) verifiziert, d.h. durch Zugabe von geeigneten Tracern (deuterierte, bzw. nicht-deuterierte Standards), welche den Proben während der Extraktion zugegeben werden.

Die PAK-Spurenanalysen (inkl. Probenextraktion & Cleanup) erfolgten im Labor der Holinger AG in Aarau, unter strikter Einhaltung von QS-Vorschriften. Das Labor ist nach ISO 9001 zertifiziert und nach ISO 17025 akkreditiert (STS 142).

Die Spurenanalysen aller Messparameter wurden entsprechend der geringen, vor Ort verfügbaren Probenmenge als Einfachbestimmungen, basierend auf einheitlicher Homogenisation, Extraktion und anschließendem Cleanup mittels GC-MS-Analyse ausgeführt.

Die dabei erzielten Nachweisgrenzen für die einzelnen PAKs sind in Tab. 3 zu finden. Diese gelten unter der Berücksichtigung einer Proben

Die gesamte Probenmenge wurde während 10-15h vorsichtig bei 40°C getrocknet und anschliessend mit einer Schlagmühle homogenisiert. Danach wurden 1.5 g Flechtenhomogenat in vorextrahierte Filterhülsen eingewogen. Die Extraktion erfolgte mittels eines Soxtec-Extraktors in Serien von 5 Proben mit je einer Blindprobe während 4h in Hexan/Toluol (1:1); 3.5h «heiss», 0.5h «kalt». Der Cleanup erfolgte sequenziell, zuerst über eine Silicagel-Kolonne, danach zur Nachreinigung über eine Sulfonsäure-Kolonne, durch Spülung mit 3x1ml Hexan/Toluol (1:1) und unter Zugabe von 250µl ISTD- (deut. PAK-Standard) auf die Kolonne. Der klare Extrakt wurde mittels N2/IR auf Endvolumen von 0.2 - 0.3 ml eingengt und in Autosampler-Röhrchen überführt.

### **GC-MS-Analysen und Quantifizierung**

Mittels GC-MS wurden die folgenden 16 Einzel-PAKs gemäss EPA 8100 analysiert: Naphthalin, Acenaphthylen, Acenaphthen, Fluoren, Phenanthren, Anthracen, Fluoranthren, Pyren, Benz(a)anthracen, Chrysen, Benzo(b)fluoranthren, Benzo(k)fluoranthren, Benzo(a)pyren, Indeno(123-cd)pyren, Dibenzo(a,h)anthracen, Benzo(g,h,i)perylene. Vier weitere PAKs, Benzo(e)pyren, Perylen, Anthanthren und Coronen, welche nicht in der EPA-Richtlinie enthalten sind, werden von uns schon seit 10 Jahren ebenfalls analysiert.

Im Rahmen der PAK-Analysen für das MfM-U und die Berner Erfolgskontrolle wurden erstmals und versuchsweise sieben weitere humantoxikologisch relevante Spezies analysiert. Es handelt sich dabei um die besonders kritischen Dibenzo-PAKs: Dibenzo(a,j)anthracen, Dibenzo(a,l)pyren, Dibenzo(a,h)pyren, mit einer im Vergleich zur Leitsubstanz Benzo(a)pyren bis zu 100fach erhöhten Toxizität sowie um 3,6-Dimethylphenanthren, Benzo(b)fluoren, Benzo(c)phenanthren und Benzo(b)naphtho(1,2-d)thiophen.

Die Analysen erfolgten mittels Ion Trap-GC/MS, bestehend aus GC Varian CP3800 und MS Varian Saturn 2000 und einer DB-5ms-Trennsäule (30m x 0.25mm, 0.25µm Film, 1ml/min He im SIM-Modus (selective ion monitoring)).

Die Identifizierung und Quantifizierung der Einzel-PAKs am GC-MS erfolgte aufgrund der in Tabelle 3 genannten Massen und unter Berücksichtigung der PAK-spezifischen Rf-Werte nach Integration der betreffenden Peaks durch Vergleich ihrer Flächen mit den 20 deuterierten internen Standards (ISTD-Gemisch), welche den Flechtenextrakten vorgängig zugegeben wurden. Die sieben Einzel-PAKs: Anthanthren, 3,6-Dimethylphenanthren, Benzo(b)fluoren, Benzo(c)phenanthren, Benzo(b)naphtho(1,2-d)thiophen, Dibenzo(a,l)pyren und Dibenzo(a,h)pyren, für welche keine deuterierten Standards existieren, wurden auf benachbarte ISTD quantifiziert.

**Tab. 3 Erreichbare Nachweisgrenzen für PAKs in Flechtenproben,** unter Berücksichtigung einer Probeneinwaage von 1.5g (T.S).

Verwendete deuterierte und nicht-deuterierte interne Standards, welche vor der Extraktion den Eluaten beigegeben wurden zur optimalen Quantifizierung der Konzentrationen der Einzel-PAKs in den Flechtenproben.

PAK- Nachweisgrenze	µg/kg [T.S.]	Standard	Name	Suplier	Ion Quantific.
Naphthalen	< 2	D8 10ng/µl	PAH-Mix 9 deuterated	Dr. Ehrendorfer	128
Acenaphthylen	< 2	D8 10ng/µl	PAH-Mix 9 deuterated	Dr. Ehrendorfer	152
Acenaphthen	< 2	D10 10ng/µl	PAH-Mix 9 deuterated	Dr. Ehrendorfer	153 & 154
Fluoren	< 2	D10 10ng/µl	PAH-Mix 9 deuterated	Dr. Ehrendorfer	165 & 166
Phenanthren	< 2	D10 10ng/µl	PAH-Mix 9 deuterated	Dr. Ehrendorfer	178
Anthracen	< 2-5	D10 10ng/µl	PAH-Mix 9 deuterated	Dr. Ehrendorfer	178
Fluoranthren	< 2	D10 10ng/µl	PAH-Mix 9 deuterated	Dr. Ehrendorfer	202
Pyren	< 2-5	D10 10ng/µl	PAH-Mix 9 deuterated	Dr. Ehrendorfer	202
Benz(a)anthracene	< 5	D12 10ng/µl	PAH-Mix 9 deuterated	Dr. Ehrendorfer	226:229
Chrysen	< 5	D12 10ng/µl	PAH-Mix 9 deuterated	Dr. Ehrendorfer	228
Benzo(b)fluoranthren	< 5	D12 10ng/µl	PAH-Mix 9 deuterated	Dr. Ehrendorfer	252
Benzo(k)fluoranthren	< 5	D12 10ng/µl	PAH-Mix 9 deuterated	Dr. Ehrendorfer	252
Benzo(e)pyren	< 5	D12 10ng/µl	single, deuterated	CDN-Isotopes	252
Benzo(a)pyren	< 5	D12 10ng/µl	PAH-Mix 9 deuterated	Dr. Ehrendorfer	252
Perylen	< 5	D12 10ng/µl	single, deuterated	Dr. Ehrendorfer	252
Indeno(123-cd)pyren	< 5	D12 10ng/µl	PAH-Mix 9 deuterated	Dr. Ehrendorfer	276 & 277
Dibenz(ah)anthracen	< 20	D10 10ng/µl	PAH-Mix 9 deuterated	Dr. Ehrendorfer	278
Benzo(ghi)perylen	< 8	D14 10ng/µl	PAH-Mix 9 deuterated	Dr. Ehrendorfer	275 & 276 & 277
Anthanthren	< 5	10ng/µl	single, non-deuterated	Dr. Ehrendorfer	276
Coronen	< 10	D12 10ng/µl	single, deuterated	CDN-Isotopes	300
3,6-Dimethylphenanthren	< 5	10ng/µl	single, non-deuterated	Dr. Ehrendorfer	190
Benzo(b)fluoren	< 5	10ng/µl	single, non-deuterated	Dr. Ehrendorfer	215
Benzo(c)phenanthren	< 5	10ng/µl	single, non-deuterated	Dr. Ehrendorfer	228
Benzo(b)naphtho(1,2-d)thiophen	< 5	10ng/µl	single, non-deuterated	Dr. Ehrendorfer	234
Dibenzo(a,j)anthracen	< 5	10ng/µl	single, deuterated	Dr. Ehrendorfer	278
Dibenzo(a,l)pyren	< 10	10ng/µl	single, non-deuterated	Dr. Ehrendorfer	302
Dibenzo(a,h)pyren	< 10	10ng/µl	single, non-deuterated	Dr. Ehrendorfer	302

Die analytisch erzielten Nachweisgrenzen für die verschiedenen PAKs sind in Tab. 3 zu finden. Diese gelten unter Berücksichtigung einer Probeneinwaage von 1.5g und bezogen auf die Trockenmasse (T.S).

### Qualitätssicherungsmassnahmen für PAKs

Die Proben-Extraktion sowie der Clean-up erfolgten unter strenger Ausschaltung von verfahrenstechnischen Kontaminationsquellen (Vorextraktion Soxtec, inkl. Papierhülsen unter Verwendung von vorher getesteten Extraktionsmitteln zur Rückstandsanalyse, Konditionierung aller Glaswaren; Spülen in Hexan und 15h ausheizen bei 250°C). Auch wurden die Proben entsprechend ihrer erwarteten Belastung gruppenweise abgearbeitet, um probenbedingte Verschleppungseffekte in der Extraktion möglichst gering zu halten. Zur Vermeidung systematischer Fehler wurde in jeder Probenserie eine Blindprobe analysiert und nachträglich eine Blindwertkompensation der Daten durchgeführt.

Zur Qualitätssicherung erfolgten zusätzlich an ausgewählten Einzelproben unabhängige Doppelbestimmungen. Zum Zeitpunkt der Analysen standen zur Absicherung der PAK-Analysen die beiden Referenzmaterialien NIST-Standard CRM 1649, Urban dust; und IAEA 1400C, Seaweed *Fucus sp.*) zur Verfügung, welche je mit unabhängigen Doppelbestimmungen, basierend auf vollständig getrennten Clean-Up, mehrmals analysiert wurden.

### **3.4 Quellen, Verwendung und Umweltverhalten der untersuchten Substanzen**

#### **3.4.1 Schwermetalle u.a umwelt- und humantoxische Elemente**

Die Grundlagen zu den Hauptemissionsquellen und das allgemeine Umweltverhalten der analysierten Schwermetalle und weiterer toxischer Elemente wurden aus der einschlägigen Fachliteratur sowie eigenen Analysen und Spezialauswertungen in verschiedenen landesweiten Biomonitoringprojekten gewonnen. Soweit bekannt, wurden die relevanten Emissionsquellen aus den Bereichen der gewerblich/industriellen Tätigkeit, der Energienutzung, der Verkehrstechnik sowie der Intensivlandwirtschaft bezeichnet (Tab. 4).

Diese Angaben basieren auf einer Auswertung der wissenschaftlichen Fachliteratur, auf Rücksprachen mit Fachleuten und eigenen Erkenntnissen, welche aus dem Vergleich der in Flechtenproben gemessenen Elementgehalte mit den verschiedenen Nutzungsklassen am Probenahmestandort (Siedlung, Verkehrsvolumen, Strassenabstand, Landwirtschaft) resultieren. Gleichzeitig wurden für die einzelnen Schadstoffe auch die Hauptaufnahmepfade der Schadstoffbelastung beim Menschen genannt und sofern bekannt, ergänzt mit Angaben zur Phyto- und Humantoxizität (Giftigkeit für Pflanze und Mensch).

Bei der Bewertung muss folgendem Umstand gebührend Rechnung getragen werden: Geringste Konzentrationen einiger Schwermetalle sind durchaus lebensnotwendig (essentiell), währenddem nur geringfügig höhere Konzentrationen bereits zu Vergiftungserscheinungen bei Pflanze, Tier und Mensch führen können.

*Die Sichtung der Fachliteratur basiert insbesondere auf den folgenden Autoren, resp. Werken:*

BACCINI, P. et al. 1992; BRUNNER, P. H., ZOBRIST, J., 1983; DIETL, C. et al., 1996 u. 97; FALBE, J., REGITZ, M., 1996-99; FÖRSTNER, 1991; HAPKE, H.-J., 1990; HERZIG & BIERI 2002; JÄCKLE, H., EMPA, Abteilung Betriebsstoffe, 1991; KÜNZLER & ANDREE, 1991; MATSCHULLAT, J., TOBSCHALL, H.J., VOIGT, H.-J. 1991; MERIAN, E., 1991; OZOLINS, G., 1989; RENNER, H., SCHMUCKLER, G., 1991; VON STEIGER, B., OBRIST, J., SCHÄRER, F., 1991; WEDEPOHL, K.H., 1991; ZEREINI, F., ALT, F., 1999; Verkehrsbezogene Immissionen und Immissionswirkungen von Antimon und anderen Metallen 1998, Bayer. Landesamt für Umweltschutz, Schriftenreihe 153. Die Schwermetallbelastung des Bodens in der Umgebung von Kehrlichtverbrennungsanlagen im Kanton St. Gallen, 1991; Die Bodenbelastung in der Umgebung von Kehrlichtverbrennungsanlagen des Kantons Zürich, 1992; Verkehrsbezogene Immissionen und Immissionswirkungen von Antimon und anderen Metallen, 1998; Wegleitung für die Probenahme und Analyse von Schadstoffen im Boden, 2002; Multi-Elementanalysen mit Passivem Biomonitoring im Fürstentum Liechtenstein, in Zürich-Nord (KVA-Hagenholz) und der Regionalen Entsorgungsanlage RENI in Niedergösgen, dem Kanton Appenzell A.Rh., den Städten Bern und Biel und der Region Thun-Spiez (KVA) (AGB, 92, 93, 94, 99, 01, 02, 03, 05).



Luftschadstoff	Symbol	Hauptemittenten (Quellen)	Haupt-Aufnahmewege / Mensch	Wirkungsmechanismus Pflanze / Mensch
<b>Anorganische Schadstoffe, Schwermetalle u.a. Elemente (Partikel)</b>				
<b>Antimon</b>	Sb	Asbestersatz in Bremsbelägen, Schmiermitteladditiv, Metallverarbeitung, Glas-/ Keramikindustrie, Chemie, Kunststoffe, Elektronik, KVAs, Pflanzenschutzmittel	Sb-Sulfid aus Bremsbelägen; Luft bes. bei exponierten Arbeitern, Nahrungsmittel, Medikamente	stark humantoxisch; bes. Sb(III), Sb (V) und Organo-Sb; Leber, Blut, Reproduktion
<b>Arsen</b>	As	Erzabbau/Verhüttung, Glasindustrie, Pflanzenschutzmittel, Kohle- und Geothermische Kraftwerke	Luft bes. bei exponierten Arbeitern, Nahrungsmittel (Tabak, Wein)	mässig phytotoxisch, stark humantoxisch: z.T. Carzinogen: Lunge, Leber, Haut
<b>Cer</b>	Ce	Additiv von Diesel-Partikelfilter (Eolyt)	Luft	unklar
<b>Blei</b>	Pb	verbleites Benzin, Schmiermitteladditiv, Bremsbeläge, metallverarbeitende Industrie (Giessereien), Kohle, Kehrlichtverbrennung (Batterien), Klärschlamm	Luft, Nahrungsmittel, Medikamente	sehr phytotoxisch, mässig humantoxisch, jedoch Akkumulation! Blutbild, Nervensystem, Krebsverdacht
<b>Cadmium</b>	Cd	Pneumabrieb, Kohle, Heizöl, Kehrlichtverbrennung (Batterien), kunststoff- und metallverarbeitende Industrie (Galvanik), Elektronik, Phosphatdünger, Klärschlamm	Luft, Boden, Nahrungsmittel, Wasser	mässig phyto- und humantoxisch, jedoch Akkumulation Nieren-, Leberdegradation, Bluthochdruck
<b>Chrom</b>	Cr	metallverarbeitende Industrie (Galvanik, Giessereien), Kehrlichtverbrennung, Kohle, Klärschlamm, Bremsbeläge, Schmiermitteladditiv	Luft bes. bei exponierten Arbeitern, Nahrungsmittel, Medikamente	sehr toxisch: Allergien, hohe Krebsgefährdung durch Cr (VI); Lungenkrebs
<b>Cobalt</b>	Co	metallverarbeitende Industrie, Kohle, Schmiermitteladditiv, Klärschlamm	Luft bes. bei exponierten Arbeitern	essentiell (Bestandteil von Vitamin B12), Krebsverdacht: Lungen, Herz, Haut
<b>Eisen</b>	Fe	Bremsbeläge, metallverarbeitende Industrie (Stahlwerke, Giessereien), Korrosion (Rost), Kohle, Heizöl, Schmiermitteladditiv	Luft, Boden, Wasser, Nahrungsmittel	essentiell; Blutbildner, generell geringe Toxizität; Zellgift bei hoher Konzentration
<b>Kupfer</b>	Cu	Bremsbeläge, Stromleitungen, metallverarbeitende Industrie, Heizöl, Kohle, Schmiermitteladditiv, Kehrlichtverbrennung, Klärschlamm, Pflanzenschutz (Weinbau), Schweinegülle	Luft, Boden, Wasser, Nahrungsmittel (Wein)	sehr phytotoxisch; Zellgift mässig humantoxisch
<b>Mangan</b>	Mn	metallverarbeitende Industrie, Kohle, Kehrlichtverbrennung	Luft, Nahrungsmittel, Wasser	in Spuren essentiell, gering phyto- und humantoxisch
<b>Molybdän</b>	Mo	Heizöl, Kohle, Schmiermitteladditiv, Bremsbeläge	Luft bes. bei Berufsarbeitern, Nahrungsmittel	in Spuren essentiell; Phyto- und Humantoxizität unklar!
<b>Nickel</b>	Ni	metallverarbeitende Industrie (Giessereien, Galvanik), Bremsbeläge, Kohle, Heizöl, KVA, Klärschlamm	Luft bes. bei exponierten Arbeitern, Nahrungsmittel, Edelstahlpfannen	mässig phytotoxisch, stark humantoxisch: Allergien, Asthma, Krebsverdacht: Lungen
<b>Platin</b>	Pt	Katalysatoren 1. Gen. & Dieselskats, Kernkraftanlagen: leichte Pt-Nuklide	Luft	Allergien, Krebsverdacht
<b>Palladium</b>	Pd	Katalysatoren der 2. Generation für Benzin PWs	Luft	Allergien, Krebsverdacht
<b>Quecksilber</b>	Hg	Elektrolyse, Kehrlichtverbrennung (Batterien), Krematorien (Amalgam), Heizöl, Pflanzenschutzmittel	Luft, Nahrungsmittel (bes. Meertiere)	sehr stark phyto- und humantoxisch; besonders Methylenquecksilber
<b>Thallium</b>	Tl	Zementindustrie, Ziegeleien, KVA	Luft, Wasser, Nahrung	sehr phyto- & humantoxisch
<b>Vanadium</b>	V	metallverarbeitende Industrie, Raffinerien, Kehrlichtverbrennung, Heizöl, Kohle	Luft bes. bei exponierten Arbeitern	in Spuren essentiell, mässig phyto- und human-toxisch
<b>Zink</b>	Zn	metallverarbeitende Industrie (Zinkerien) Kohle, Heizöl, Kehrlichtverbrennung (Batterien), Schmiermitteladditiv, Bremsbeläge, Klärschlamm	Luft, Wasser, Nahrungsmittel	in Spuren essentiell, mässig phytotoxisch, gering humantoxisch
<b>Zinn</b>	Sn	metallverarbeitende- und Farbindustrie, Kohle, Kehrlichtverbrennung, Scavanchers im Benzin, Schmiermittel-Additiv, Bremsbeläge, Pflanzenschutz	Luft, Nahrungsmittel, (u.a. Weissblechdosen)	gering phyto- und humantoxisch; Organozinnverbindungen jedoch sehr humantoxisch
<b>Brom</b>	Br	Scavancher im Benzin; mit Pb und Sn, Kunststoffe Feuerlöscher (Halone)	Luft	sehr phyto- und humantoxisch; starkes Atemgift

**Tab. 4 Stoffeigenschaften, Hauptemittenten und Umweltverhalten der analysierten Schwermetalle.**

 analysiert im MfM-U-Biomonitoring mit Flechten 2003.

### 3.4.2 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAKs)


Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe PAKs bestehen aus zwei- bis mehrfach kondensierten Benzolringstrukturen und entstehen generell als Nebenprodukte bei unvollständiger Verbrennung von organischen Materialien ( $> 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), Treib- und Brennstoffen, in Kokkereien oder bei Pyrolyseprozessen und insbesondere von Dieselfahrzeugen ohne Partikelfilter. Sie sind in geringeren Konzentrationen jedoch auch Bestandteile natürlicher Emissionen von Pflanzen und Bakterien. Dementsprechend breit ist das Vorkommen von PAKs, welche sich besonders in Steinkohlenteer, Schieferöl, beim Asphaltieren (Bitumen), in Russ, Autoabgasen, Weichmacherölen von Autopneus und im Tabakrauch finden. Nur wenige Stoffe werden in reiner Form synthetisiert, der Grossteil der PAK-Rohstoffe wird aus dem Steinkohlenteer isoliert. Diese dienen zur Herstellung von Kunststoffen, Herbiziden, Pharmazeutika, Farbstoffen, Sprengstoffen, Isolationsflüssigkeiten, Weichmachern, Gerbstoffen und Beizmitteln. Kokkereien, anodische Schmelzwerke und die Graphitherstellung gelten als Quellen sehr hoher PAK-Emissionen (PETRY et al., 1996). Weitere Angaben zu den Stoffeigenschaften, Quellen, Produktion und Verwendung von PAKs finden sich in Tabelle 5.

Lufthygienisch bedeutungsvoll ist die Tatsache, dass die Emission von PAKs grösstenteils an Russpartikel adsorbiert erfolgt und über den Feinstaub PM<sub>10</sub> verbreitet wird. Sind die Russpartikel kleiner als  $10\mu\text{m}$  oder noch kleiner und als Nanopartikel vorliegend, wie das bei Dieselaabgasen teilweise der Fall ist, so werden diese mit PAK-beladenen Partikel bis in die tiefsten Lungenregionen eingeatmet und gefährden diese hochempfindlichen Gewebe in besonderem Masse. Generell sind die Luftkonzentrationen von PAKs im Winter deutlich höher als im Sommer.

- **In städtischen Gebieten und entlang von Hauptverkehrsachsen sind heutzutage Dieselfahrzeuge ohne Partikelfilter mit Abstand die grössten Emittenten von PAKs.**

Im süddeutschen Raum wurde anhand von Autobahnprofilen eine klare Distanzabhängigkeit von einzelnen PAKs aufgezeigt (Nobel & Michelfelder, 1986). Von besonderer Bedeutung sind dabei Dieselfahrzeuge, welche bedeutende Frachten von PAKs (z.B. Phenanthren, Fluoranthren, Pyren, Benzo(a)pyren) emittieren (Blumer, 1976, Williams et al., 1986). Auch Kehrlichtverbrennungsanlagen ohne weitergehende Rauchgasreinigung und Feuerungen sowie die illegale Abfallverbrennung zählen zu den relevanten PAK-Emittenten. Viele PAKs werden von Pflanzen sehr gut akkumuliert. Als geeignete Biomonitore für PAKs haben sich Grünkohl und Flechten schon mehrfach bewährt. Untersuchungen in der Schweiz mittels Passivem Biomonitoring mit der Flechtenart *Parmelia sulcata* in verschiedenen Landesgegenden zeigen sehr deutliche Konzentrationsunterschiede und eine deutliche Abhängigkeit zur Siedlungsintensität und insbesondere zur Motorfahrzeugdichte für die meisten der PAK-Einzelkomponenten und den PAK-Summenparameter (AGB 1991, 93, 2002, 05 und HERZIG 1993). Vgl. auch Tab. 5.

**Tab. 5**  
**Stoffeigen-**  
**schaften,**  
**Hauptemit-**  
**ten und**  
**Umwelt-**  
**verhalten**  
**der analy-**  
**sierten**  
**PAKs.**

 In Flech-

tenpro-

ben quanti-

tativ analy-

sierte PAKs,

gemäss

erweiterter

EPA-Liste und

geordnet

nach abneh-

mender

Flüchtigkeit.

Für die feh-

lenden sie-

ben erstmals

analysierten

PAKs beste-

hen noch

kaum Grund-

lagen zur

Toxikologie

und dem

Umwelt-

verhalten.

Polyzyklische aromatische Kohlenwasser- stoffe (PAKs)	Chemische Formel	US-EPA-Liste	Chemische Eigenschaften	Verwendung und Quellen
Naphthalen	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	X	Bis zu 5-6% in Steinkohleteer enthal-	Grosstechn. Ausgangsprodukt für Farb-, Gerbstoffe-, ten. Feststoff von penetrantem Ge- ruch. Hohe Flüchtigkeit und Wasser- löslichkeit; hochgradig lipoidlöslich, Pthalate, Pflanzenschutz-, Kautschukchemie, Weich- geringe Bio- und Geoakkumulation. macher, Lösungs-, Beizmitteln, Fussbodenreinigern, Terpentin-Ersatz sowie als Abgase von Motorfahr- zeugen. Kockereien, anod. Schmelzwerke.
Acenaphthylen	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	X	Hohe Flüchtigkeit/Wasserlöslichkeit; geringe Bio- und Geoakkumulation.	Emission von Kockereien, anod. Schmelzwerke. Abgase von Dieselfahrzeugen.
Acenaphthen	C <sub>12</sub> H <sub>8</sub>	X	Relativ hohe Flüchtigkeit und Wasser- löslichkeit; geringe Bio- und Geoakku- mulation.	Zwischenprodukt bei Farben- und Plastikherstellung sowie als Fungizid verwendet. Emission von Kokke- reien, anod. Schmelzwerke; Motorfahrzeuge.
Fluoren	C <sub>13</sub> H <sub>10</sub>	X	Rel. hohe Flüchtigkeit/Wasserlöslich- keit; geringe Bio-/Geoakkumulation.	Emission von Kockereien, anod. Schmelzwerke. Abgase von Motorfahrzeugen.
Phenanthren	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	X	Isomer mit Anthracen, aus Anthracen- öl des Steinkohleteers isoliert. Rel. hohe Flüchtigkeit/Wasserlöslichkeit; geringe Bio- und Geoakkumulation.	Als Ausgangsstoff zur Herstellung von Kunststoffen, Herbiziden, Pharmaka, Farbstoffen und Spreng- stoffen. Keine Verwendung im techn. Massstab. Abgase von Motorfahrzeugen, Kockereien, anodi- sche Schmelzwerke.
Anthracen	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	X	Isomer mit Phenanthren, wird aus An- thracenöl des Steinkohleteers isoliert. Rel. geringe Flüchtigkeit und Wasser- löslichkeit; rel. hohe Bio- und Geoak- kumulationstendenz.	Hilfsmittel für Beizenfärberei, Herstellung von sauren Farb-, Beizenstoffen und Dispersionsfarben, neuer- dings Zusatzstoff bei Holzaufschlüssen zur Steige- rung der Celluloseausbeute. Emission von Kokke- reien, anod. Schmelzwerke, Motorfahrzeuge.
Fluoranthren	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	X	Ubiquitär. Relativ geringe Flüchtigkeit und Wasserlöslichkeit; relativ hohe Bio- und Geoakkumulationstendenz.	Technisch-chem. Zwischenprodukt bei der Herstel- lung von Farbstoffen und Pharmazeutika. Freiset- zung durch Abgase von Verbrennungsmotoren und Heizanlagen. Kockereien, anod. Schmelzwerke.
Pyren	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	X	Im Erdöl zu 2-11mg/kg enthalten. Synthese durch Ankondensieren ei- nes Benzolrings an Phenanthren. Rel. geringe Flüchtigkeit und Wasser- löslichkeit; rel. hohe Bio- und Geo- akkumulationstendenz.	Technisch-chem. Zwischenprodukt bei Herstellung von Farbstoffen und Bestandteil von Isolatorflüssig- keit in Transformatoren. In Teer, Anstrichmitteln, Zigarettenrauch enthalten. Freisetzung durch Autoab- gase (30-120µg/l Kraftstoff), von Heizanlagen, Kok- kereien, anod. Schmelzwerke.
Benz(a)anthracen	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	X	Aus Steinkohleteer gewonnen. Geringe Flüchtigkeit und Wasserlös- lichkeit, hohe Bio- /Geoakkumulation.	Pyrolyse organischer Materialien. Keine kommerziel- le Verwendung. Emission von Kockereien, anod. Schmelzwerken, Motorfahrzeugen, Tabakrauch.
Chrysen	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	X	Aus Steinkohleteer gewonnen. Geringe Flüchtigkeit & Wasserlöslich- keit, hohe Bio- u. Geoakkumulation.	In geringen Mengen für UV-Filter, Sensibilatoren, Farbstoffe verwendet. Emission von Kockereien, anod. Schmelzwerken, Motorfahrzeugen.
Benzo(b)fluor- anthren	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	X	Geringe Flüchtigkeit und Wasserlös- lichkeit, hohe Bio- u. Geoakkumula- tionstendenz.	Freisetzung durch Abgase von Verbrennungsmoto- ren und Heizanlagen. Keine Verwendung im techn. Massstab. Kockereien, anod. Schmelzwerke.
Benzo(k)fluor- anthren	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	X	Ubiquitär. Sehr geringe Flüchtigkeit und Wasserlöslichkeit, sehr hohe Bio- und Geoakkumulationstendenz.	Keine Verwendung im techn. Massstab. Freisetzung durch Abgase von Verbrennungsmotoren und Heiz- anlagen. Kockereien, anod. Schmelzwerken.
Benzo(e)pyren	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	X	Geringe Flüchtigkeit/Wasserlöslich- keit, hohe Bio-/Geoakkumulation.	Freisetzung durch Abgase von Verbrennungs- motoren.
Benzo(a)pyren	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	X	Bis zu 1.5% in Steinkohleteer enthal- ten. Geringe Flüchtigkeit und Wasser- löslichkeit, hohe Bio- und Geoakku- mulationstendenz; teratogen.	Ubiquitär. Keine Verwendung im techn. Massstab. Freisetzung durch Abgase von Verbrennungsmoto- ren und Heizanlagen. Kockereien, anod. Schmelz- werken.
Perylen	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>		Sehr geringe Flüchtigkeit/Wasserlös- lichkeit, hohe Bio-/Geoakkumulation.	Im Steinkohleteer, Farbpigment-Produktion. Abgase von Verbrennungsmotoren und Feuerungsanlagen.
Indeno(123-cd)- pyren	C <sub>22</sub> H <sub>14</sub>	X	Sehr geringe Flüchtigkeit/Wasserlös- lichkeit und hohe Lipidlöslichkeit; sehr hohe Bio- und Geoakkumulation.	Keine Verwendung im techn. Massstab. Freisetzung durch Abgase von Verbrennungsmotoren und Heiz- anlagen, Kockereien, anod. Schmelzwerken.
Dibenz(ah)anthra- cen	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>	X	Geringe Flüchtigkeit/Wasserlöslich- keit; hohe Bio- und Geoakkumulation.	Freisetzung durch Abgase von Verbrennungsmoto- ren, Heizanlagen, Kockereien, anod. Schmelzwerken.
Benzo(ghi)perylene	C <sub>22</sub> H <sub>14</sub>	X	Sehr geringe Flüchtigkeit/ Wasserlös- lichkeit und hohe Lipidlöslichkeit; sehr hohe Bio-/Geoakkumulation.	Keine Verwendung im techn. Massstab. Freisetzung durch Abgase von Verbrennungsmotoren und Heiz- anlagen. Kockereien, anod. Schmelzwerken.
Anthanthren	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>		Geringe Flüchtigkeit/Wasserlöslich- keit; hohe Bio- /Geoakkumulation.	Freisetzung durch Abgase von Verbrennungs- motoren.
Coronen	C <sub>24</sub> H <sub>12</sub>	X	Sehr geringe Flüchtigkeit/ Wasserlös- lichkeit; hohe Bio-/Geoakkumulation.	Freisetzung durch Abgase von Verbrennungsmoto- ren und im Tabakrauch enthalten.



## 4. Hauptergebnisse zur Gesamtbelastung der Luft - Luftgüte

### 4.1 Luftgesamtbelastung der untersuchten MfM-U-Standorte - Ersterhebung 2003

Im Herbst 2003 erfolgte die Bestimmung der Gesamtbelastung der Luft (Flechtenbioindikation) in sieben Untersuchungsgebieten bzw. 12 Einstandorten und mit insgesamt 60 standardisierten IAP18-Luftgüte-Erhebungen.

Die Gesamtbelastung der Luft, welche mit der Flechtenbioindikation kungsseitig erfasst wurde, zeigt die integrale Belastung einer Vielzahl primären und sekundären Luftschadstoffen (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, Ozon, Stäube, Schwermetalle, Organische Schadstoffe). Diese Luftgesamtbelastung wird eingeteilt in fünf Wirkungsklassen abnehmender Flechtenschädigung (Flechtenwüste, Äussere und Innere Kampfzone, Übergangszone, Normalzone). Dank der erfolgten Methoden-Kalibration mit technimmissionsmessungen, können gesicherte Rückschlüsse auf das Mass Gesamtimmission gezogen werden. Die Klassen der Flechtenschädigung entsprechen einer fünfstufigen Skala abnehmender Gesamtimmission, welche als «kritische», «starke», «mittlere», «geringe» und «sehr Gesamtbelastung» ausgewiesen wird.

#### ● Luftgesamtbelastung von 2003

Eine **kritisch hohe» Gesamtbelastung** zeigt sich an beiden LKW-Abfertigungsstellen Chiasso-Progeda und Basel-Weil (Abb. 2), welche am stärksten vom Mfz-Verkehr beeinflusst sind und hohe LKW-Anteile weisen.

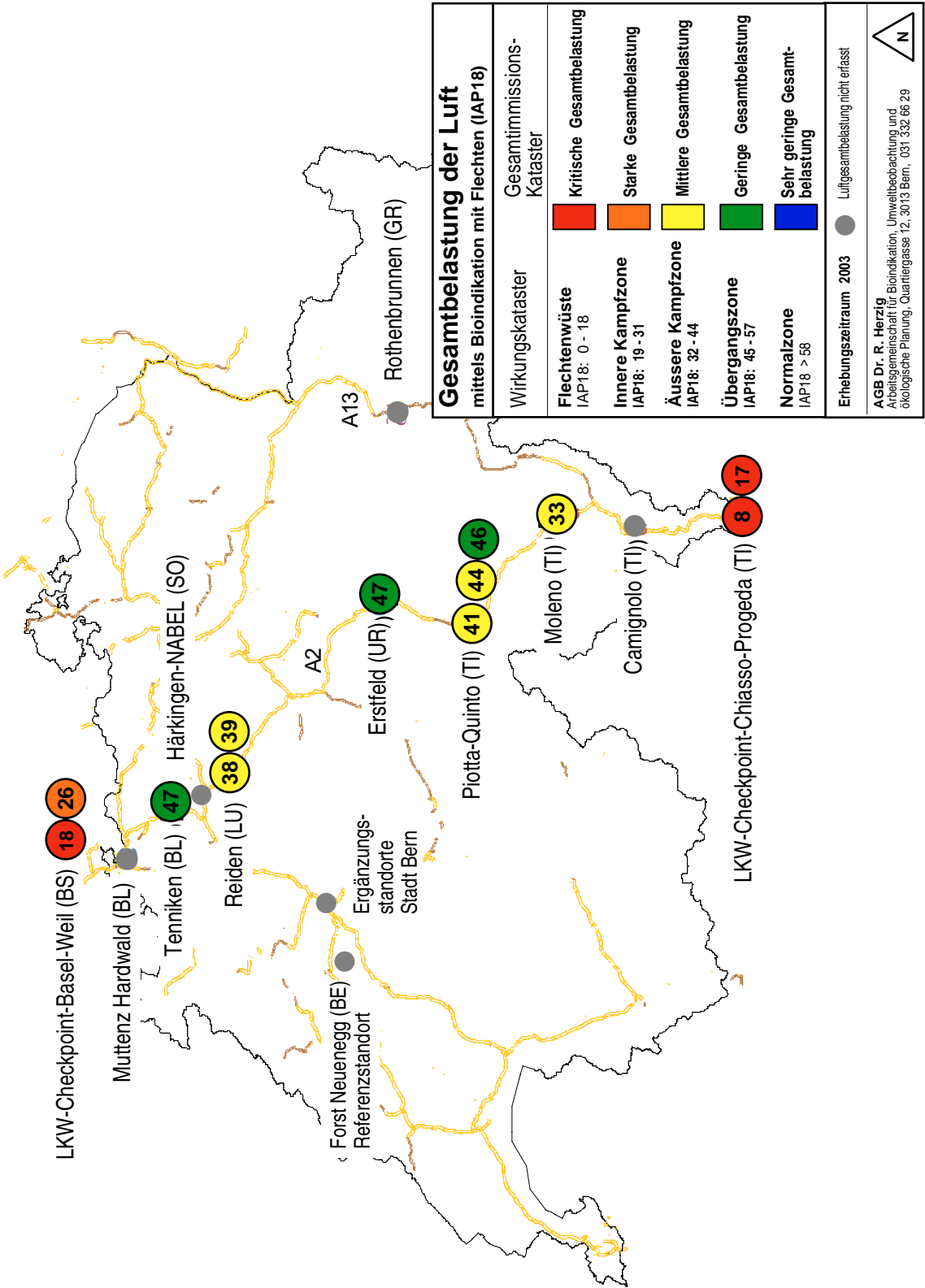
Eine **starke» Gesamtbelastung** weist der leicht vom LKW-Transitverkehr abgewandte Parkplatz für Personenfahrzeuge am Zoll-Basel-Weil auf.

Eine **mittlere» Gesamtbelastung** weisen die beiden MfM-U-Standorte Reiden und die beiden Standorte Piotta sowie Moleno auf.

Eine **geringe» Gesamtbelastung** der Luft zeigt sich an den MfM-Standorten Tenniken, Erstfeld und am Höhenstandort Piotta-Deggio.

Die MfM-U-Standorte Hardwald, Camignolo und Rothenbrunnen konnten bezüglich der Luftgesamtbelastung nicht untersucht werden, weil sie strengen Anforderungen der IAP-Methode bei der Baumauswahl nicht sprachen, bzw. im Falle von Camignolo gar keine Flechten mehr aufwiesen (absolute Flechtenwüste; kritische Gesamtbelastung), was die vorgesehenen Monitoringanalysen verunmöglicht.

Luftgesamtbelastung an den MfM-U-Standorten - Ersterhebung 2003



**Abb. 2 Luft-Gesamtbelastung (IAP18) mit Hilfe der Bioindikation mit Flechten an den MfM-U-Standorten 2003**  
Übersicht der untersuchten Standorte entlang der Nationalstrassen A2 und A13 von 2003 mit ihrer Luftgesamtbelastung.

**Tab. 6 Vergleich der Luftgüte (Luftgesamtbelastung IAP18) mit Immissions- und Verkehrsdaten 2003.**

Standorte mit kritischer und starker Gesamtbelastung der Luft weisen auch die stärkste Immissions- und Verkehrsbelastung auf.

### ● Vergleich der Luftgesamtbelastung mit den technischen Immissionswerten und Grenzwerten der Luftreinhalte-Verordnung LRV

Aufgrund einer umfangreichen statistischen Vergleichserfahrung aus zahlreichen Anwendungsprojekten und Immissionsmessstandorten in allen Landesteilen ist wohl bekannt, dass die Immissionsgrenzwerte der LRV für NO<sub>2</sub> in den Zonen kritische und starke Gesamtbelastung in aller Regel deutlich überschritten werden, bzw. im Grenzwertbereich liegen (starke Gesamtbelastung). Dieses erwartete Abhängigkeitsverhalten zeigt sich auch an den untersuchten MfM-U-Standorten (Tab.6).

Vergleich von Luftgüte mit Immissions- und Verkehrsbelastung von 2003							
Messstandort	Luftgüte		Immission				Verkehr
	IAP18		NO <sub>2</sub>	PM10	Russ	Ozon >120	DTV
LRV-Grenzwert			30	20	n.a.	1/a	
Basel-Weil Zoll	18	kritisch	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	32680
Basel-Weil Zoll	26	stark	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	32680
Muttenz-Hard - MfM-U	n.a.	n.a.	60	28	4.3*	6	116657
Tenniken - MfM	47	gering	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	44966
Härkingen-NABEL	n.a.	n.a.	44	32	n.a.	405	73440
Reiden-nah - MfM-U	38	mittel	35	29	2.5*	134	43119
Reiden-mittel-fern - MfM-U	39	mittel	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	43119
Erstfeld - MfM-U	47	gering	45	22	2.3*	134	21792
Piotta-Nah POP	41	mittel	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	17212
Piotta-Mittel	44	mittel	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	17212
Piotta-Quinto-Fern	46	gering	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	17212
Moleno- MfM-U	33	mittel	49	29	5.5*	378	28371
Camignolo - MfM-U	(0)	n.a.	65*	29*	4.8*	371*	n.a.
Chiasso-Progeda-nah	8	kritisch	44	48	n.a.	1645	56320
Chiasso-Progeda-mittel	17	kritisch	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	56320
Rothenbrunnen - MfM-U	n.a.	n.a.	28	19	1.9*	31	15235
Forst-Neuenegg-Ref.	(61)	s. gering	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	ca. 150

Grenzwertüberschreitung gemäss LRV

**Abb. 2 Luft-Gesamtbelastung (IAP18) mit Hilfe der Bioindikation mit Flechten an den MfM-U-Standorten 2003.**

Übersicht der untersuchten Standorte entlang der Nationalstrassen A2 und A13 von 2003 mit Resultaten zur Luftgesamtbelastung.

Gegenüberliegende Seite

Bei der eingehenderen Analyse zeigt sich aber auch die in Kap. 2.2.1 erwähnte Einschränkung dieses Verhaltens, dass streng genommen nur für Messstandorte mit einer «durchschnittlichen und homogenen Immissionsbelastung» gilt.

### ● Grenzwertvergleiche für NO<sub>2</sub> und PM10

Für extrem strassenexponierte und hochfrequentierte Immissionsmessstandorte ergeben sich im unmittelbaren Strassenbereich oft abweichende Befunde und es ist bekannt, dass insbesondere die NO<sub>2</sub>-Jahresmittel auch in den Zonen mit mittlerer oder sogar geringer Gesamtbelastung überschritten werden können.

Ein solchermassen abweichendes Abhängigkeitsverhalten zeigt sich in Reiden und Moleno, wo je eine mittlere Luftgesamtbelastung indiziert wird, die NO<sub>2</sub>-Grenzwerte jedoch leicht bis deutlich überschritten werden. In Reiden wird auch der PM10-Grenzwert überschritten.

In Erstfeld erbringt die Bioindikation mit Flechten sogar eine nur geringe Luftgesamtbelastung, dies bei einer deutlichen Grenzwertüberschreitung des NO<sub>2</sub>-Jahresmittels.

### ● **Grenzwertvergleich für Ozon**

Der Vergleich mit den LRV-Grenzwerten für Ozon ergibt das allgemeine Phänomen, dass der maximale Stundenmittelwert von >120µg/m<sup>3</sup>, welcher gemäss LRV nur einmal pro Kalenderjahr überschritten werden darf, an fast allen Messstandorten mehrmals bis fast permanent überschritten wird.

Offensichtlich ist jedoch die Feststellung, dass die Grenzwerte für Ozon in eher ländlichen Verkehrsstandorten des Mittellandes (Härkingen > Reiden, Erstfeld) und ganz besonders im Tessin (Chiasso > Moleno, Camignolo) massiv überschritten werden. Es ist bekannt, dass die hohe und persistente Belastung mit Sekundärschadstoffen und bes. mit Ozon signifikant zur Flechtenschädigung beiträgt (Herzig & Urech, 1991), was sich auch in geringeren Messwerten für die Luftgüte des Gesamtbelastungsindikators IAP18 niederschlägt.

### ● **Methodenbedingte Unterschiede zwischen Bioindikation und technischer Immissionserfassung sind zu beachten**

Diese festgestellten methodenbedingten Unterschiede sind plausibel zu erklären und rühren daher, dass die biologische Erfassung der Luftgesamtbelastung flächen-repäsensativ, d.h. in einem grösseren Umkreis um die jeweiligen technischen Messstandorte erfolgen.

Bedingt durch den bekannten starken Belastungsgradienten bei NO<sub>2</sub> u.a. verkehrsbedingten Luftschadstoffen (PAKs, Schwermetalle) ist dieser Unterschied an stärkst verkehrsexponierten Untersuchungsstandorten also durchaus zu erwarten und darf nicht als Unsicherheit in der ganzheitlichen Immissionsabschätzung mittels der Bioindikation mit Flechten missverstanden werden.



## 5. Hauptergebnisse zur Einzelstoffbelastung der Luft

***In den Kapiteln 5.1 - 5.6 wird der Ist-Zustand der Einzelstoffbelastung der Luft mit 44 verschiedenen Schwermetallen und PAKs von 2003 an den 17 MfM-U sowie an 6 zusätzlichen Berner Untersuchungsstandorten wie folgt dargestellt:***


- In Kapitel 5.1 wird die Methodik der Belastungsklassifikation für Schwermetalle und PAKs erläutert, welche in den Stationstafeln und allen weiteren Auswertungen als Vergleichsbasis dient.
- Mittels drei exemplarischen «Stationstafeln» erfolgt in Kapitel 5.2 die Charakterisierung der aktuellen Belastungsmuster und -stärken einer Vielzahl von Schwermetallen, Gesamtschwefel und von Polyaromaten.  
Die vollständige Übersicht aller 17 MfM-U-Standorte sowie der 6 Ergänzungsstandorte in der Region Bern findet sich hingegen im Anhang, im Kapitel 10.1.
- In Kapitel 5.3 charakterisiert anhand von vergleichenden Fingerprints die Einzelstoffbelastung sowie der kumulativen Schwermetallbelastung (Schwermetall-Belastungsindex) aller Untersuchungsstandorte.
- Das Kapitel 5.4 vergleicht anhand von ausgewählten Schwermetallen und PAKs die mittlere Belastungsstärke aller Untersuchungsstandorte anhand von Standortgrafiken.  
Die vollständige Übersicht aller 17 MfM-U-Standorte sowie der 6 Ergänzungsstandorte in der Region Bern findet sich ebenfalls im Anhang, im Kapitel 10.2.
- Das Kapitel 5.5, welches die Ergebnisse von drei Schadstoff-Profilen enthält sowie die Kapitel 5.6. und 6, analysieren die Abhängigkeiten der in den Flechtenproben gemessenen Belastungen von 44 Schwermetallen, Gesamtschwefel und PAKs vom Mfz-Verkehr.  
Dazu dienen der Probenabstand von der Autobahn sowie die nach den Verkehrskategorien (Schwerer, bzw. leichter Güterverkehr, PW-Anteil) differenzierten Messungen des sogenannten mittleren täglichen Wochentagsverkehrs (DWV) von Montag bis Freitag, 0-24h.

- Das Kapitel 5.6 beinhaltet multivariate regressions- und varianzanalytische Verfahren von Verkehrs- und Biomonitoringdaten und macht den Versuch, quellen- und fahrzeugtypen-spezifische PAKs, Schwermetalle u.a. Elemente zu erkennen, die als eigentliche Zeiger (Tracer) für den motorisierten Verkehr und insbesondere für den Schwerverkehr dienen können.
- Im Hauptkapitel 6 schliesslich erfolgt eine Synthese aller diesbezüglichen Ergebnisse mit einer Gesamtbewertung der verschiedenartigen Quellenabhängigkeiten aller verkehrsrelevanten Einzelschadstoffe mit dem Ziel, die für den Nachweis des motorisierten Verkehrs und insbesondere für den Schwerverkehr aussagekräftigsten und trennschärfsten «Tracer» zu extrahieren.

## 5.1 Untersuchungsstandorte, Belastungsklassifikation und Charakterisierung der Einzelstoffbelastung für Schwermetalle und PAKs

**Tab. 7 Untersuchungsstandorte der Einzelstoffbelastung.**

Übersicht der 23 beprobten Untersuchungsstandorte entlang der Nationalstrassen A2 und A13 sowie der Ergänzungsstandorte in der Stadt Bern.

 *MfM-U-Messstandorte mit technischer Immissions- und Verkehrsmessung sind grau hervorgehoben.*

Die Biomonitoring-Untersuchung erfolgte an 17 ausgewählten Standorten entlang der Nationalstrassen A2 und A13 sowie an 6 Standorten der Stadt Bern. Bis auf Camignolo (TI) konnten alle MfM-U Standorte untersucht werden. Die Studie wurde ergänzt mit den Standorten LKW-Checkpoints am Zoll in Basel-Weil und Chiasso-Progeda, der NABEL Station Härkingen, Forst-Neuenegg als Referenzstation Mittelland sowie Piotta-Quinto. Letzterer ermöglicht zusätzliche Belastungsvergleiche mit der POP-Studie 1995-2000 für die Zeitperiode vor dem Transitabkommen. Für jeden der 17 Untersuchungsstandorte des MfM-U sowie der sechs Ergänzungsstandorte in der Region Bern wurde eine Stationstafel erstellt. Die folgende tabellarische Zusammenstellung (Tab. 7) zeigt die Untersuchungsstandorte inklusive ihrer Standortcharakteristik. In der Biomonitoring-Untersuchung wurden anhand vergleichender chemischer Spurenanalysen von Flechtenproben eine breite Palette von 44 verkehrsrelevanten Einzelschadstoffen, besonders von Schwermetallen und PAKs, untersucht.

Standort-Nr.	Standortbezeichnung	Standortcharakteristik
1a	Basel-Weil Zoll LKW-Checkpoint	hochfrequentierter Verkehrsstandort
1b	Basel-Weil Zoll (PW und LKW gemischt)	hochfrequentierter Verkehrsstandort
2	Muttenz Hardwald - MfM-U	stärkst frequentierter Verkehrsstandort
3	Tenniken	Mfz-Verkehr, ausserhalb von Städten
4a	Härkingen-NABEL - Profilmessung Nahbereich	Mfz-Verkehr, ausserhalb von Städten
4b	Härkingen-NABEL - Profilmessung Fernbereich	Mfz-Verkehr, ausserhalb von Städten
5a	Reiden - Profilmessung mit <i>P. sulcata</i> - MfM-U	Mfz-Verkehr, ausserhalb von Städten
5b	Reiden - Profilmessung mit <i>X. parietina</i> - MfM-U	Mfz-Verkehr, ausserhalb von Städten
6	Erstfeld - MfM-U	Mfz-Verkehr, ausserhalb von Städten
7a	Piotta - Profilmessung Nahbereich	Mfz-Verkehr, ausserhalb von Städten
7b	Piotta - Profilmessung Mittelbereich	Mfz-Verkehr, ausserhalb von Städten
7c	Piotta - Profilmessung Fernbereich	ländlicher Höhenstandort oberhalb A2-Trasse
8	Moleno - MfM-U	Mfz-Verkehr, ausserhalb von Städten
9a	Chiasso (LKW-Checkpoint & Via Volta)	hochfrequentierter Verkehrsstandort
9b	Chiasso (LKW-Checkpoint, Via Volta); <i>Ph. tenella</i>	hochfrequentierter Verkehrsstandort
10	Rothenbrunnen (A13) - MfM-U	Mfz-Verkehr, ausserhalb von Städten
11	Forst-Neuenegg (Referenz Mittelland)	Ländlich, weit entfernt von Emissions-Quellen
<b>Ergänzungsstandorte Region Bern</b>		
12	Bern-Wankdorf	hochfrequentierter städtischer Verkehrsstandort
13	Bern-Forsthaus	hochfrequentierter städtischer Verkehrsstandort
14	Bern-Eigerplatz	hochfrequentierter städtischer Verkehrsstandort
15	Bern-Burgernziel	hochfrequentierter städtischer Verkehrsstandort
16	Köniz-Neuhausplatz	hochfrequentierter städtischer Verkehrsstandort
17	Bern-Elfenau Stadtgärtnerei	Naherholungsgebiet Stadt Bern

Die zweiseitigen Stationstafeln umfassen alle wesentlichen Untersuchungsergebnisse, die zur Einzelstoff-Charakterisierung des Untersuchungsstandortes notwendig sind. Dieses standardisierte Auswertungs- und Darstellungsverfahren hat die einheitliche Bewertung von Multielementdaten zum Ziel und erlaubt dadurch Direktvergleiche der Messergebnisse untereinander.

Um rasch einen ersten Eindruck über die Höhe und das Belastungsmuster der verschiedenen Untersuchungsstandorte zu gewinnen, empfiehlt es sich, die Standorte bezüglich ihrer belastungsproportionalen Piktogramme miteinander zu vergleichen, die aufgrund eines **standardisierten Klassifikationsverfahrens** berechnet wurden.

### **Klassifikationsverfahren für die Elementbelastung**

Die Charakterisierung der Belastungssituation der Elementkonzentration am Untersuchungsstandort erfolgte auf Basis einer eigens entwickelten Klassifikation der Standortmittelwerte aller gemessenen Elemente in sechs konzentrationsabhängigen Belastungsklassen (Herzig 1993, AGB 1992d).

Der Klassifikation liegt ein «normatives Konzept» zu Grunde, welches in derselben Art und Weise für alle Elemente angewendet wurde.

Die Klasse 1 repräsentiert die geringste, Klasse 6 die höchste Kategorie der Einzelelement-Belastung resp. -Versorgung.

Diese Klassifikation hat zum Ziel, Quervergleiche der Multi-Elementbelastung zwischen verschiedenen Untersuchungsstandorten und -regionen zu ermöglichen. Dazu ist es notwendig, die Elementkonzentration auf einen einheitlichen Massstab zu beziehen, was, gestützt auf diese etablierte 6-stufige Klassifikation, möglich ist.

### **Schwermetall-Belastungsindex**

Der Schwermetall-Belastungs-Index (engl. **Heavy Metal Index; HMI**) ermöglicht eine gesamtheitliche Charakterisierung der Belastung eines Standortes mit Schwermetallen (Abb. 3).

Mittels eingehender Analysen wurde abgeklärt, welche Elemente sich zur Berechnung des Schwermetall-Belastungs-Indexes eignen.

Entsprechend den Ergebnissen dieser Analysen umfasst der Schwermetall-Belastungs-Index die 13 Schwermetalle, welche je Untersuchungsstandort entsprechend ihrer Belastungsklasse zu einem Index aufaddiert werden.

Der theoretische Minimalwert des Schwermetall-Belastungs-Indexes beträgt 13 (13 Elementen mal Belastungsklasse 1), der Maximalwert 78 Einheiten (13 Elemente mal Belastungsklasse 6).

In den Stationstafeln sind alle Schwermetalle, die zur Berechnung des Schwermetall-Belastungs-Indexes verwendet werden mit Rasterung hervorgehoben, ebenso der Wert des Schwermetall-Belastungs-Indexes in der untersten Zeile der Stationstafel.

**Abb. 3 Schwermetall-Belastungs-Index.**

Vorschrift zur Berechnung des Schwermetall-Belastungs-Indexes zur gesamtheitlichen Bewertung der Schwermetallbelastung.  
Gemessen mittels Passivem Biomonitoring mit der Flechtenart *Parmelia sulcata*.

$n$

**Schwermetall-Belastungs-Index HMI** =  $\sum_{i=1}^n Bk_i$

(Heavy Metal Index; HMI)  $i=1$

Bk: Wert der Belastungsklasse eines Elementes; 1, 2, 3, 4, 5, 6

n: 13 Schwermetalle, welche zur Berechnung des Schwermetall-Belastungs-Indexes verwendet werden, nämlich:  
Zn, Cu, Fe, Mo, Pb, Cd, Cr, Co, Ni, V, As, Sn, Sb

### Piktogramm der Belastungssituation

Da Zahlen von Belastungsklassen in der hier dargebotenen Fülle für das menschliche Auge nur schwer zu erfassen sind, wurde die Zahleninformation als Piktogramm in einer Kreisdarstellung umgesetzt, in welchem die Kreisgrösse dem Wert der Belastungsklasse entspricht (Tab. 8). Belastungsklasse 1 entspricht dabei dem geringsten, und Klasse 6 der Klasse mit dem höchsten Konzentrationswert für das entsprechende Element. Mit einem Blick lässt sich dank dieser graphischen Umsetzung das Belastungsmuster und die Höhe der Belastung rasch erfassen und erlaubt einfache Quervergleiche zwischen Untersuchungsstandorten.

**Tab. 8 Belastungs- resp. Versorgungs-Klasse.**

Entsprechungen der Indikatoren der Belastungssituation zur Bewertung der Einzelstoffbelastung.  
Gemessen mit Passivem Biomonitoring mit Flechten.

Belastungs- resp. Versorgungs-Klasse	Piktogramm der Belastungs- resp. Versorgungs-klasse	Prädikat der Belastungs- resp. Versorgungs-klasse
6	●	kritisch hoch
5	●	sehr hoch
4	●	hoch
3	●	mittel
2	●	gering
1	●	sehr gering

**Tab. 9 Kategorien und Farbskala des Schwermetall-Belastungs-Indexes.**

Zur Indikation der gesamtheitlichen Schwermetallbelastung; gemessen mittels Passivem Bio-monitoring mit der Flechtenart *Parmelia sulcata*.

### Kategorien des Schwermetall-Belastungs-Indexes

Auch der Schwermetall-Belastungs-Index wurde in sechs aequidistante Belastungskategorien gegliedert und mit Piktogramm und Belastungs- resp. Versorgungs-Prädikat versehen (Tab. 9).

Diese Angabe zum Schwermetall-Belastungs-Index findet sich in der untersten Zeile der Stationstafel; sie ist ebenfalls mit Rasterung versehen.

Kategorie des Schwermetall-Belastungs-Index	Belastungs- resp. Versorgungs-Klasse	Piktogramm des Schwermetall-Belastungs-Index	Prädikat des Schwermetall-Belastungs-Index	Farb-Prädikat des Schwermetall-Belastungs-Index
55.6 - 78.0	6	●	kritisch hoch	magenta
48.9 - 55.5	5	●	sehr hoch	rot
42.2 - 48.8	4	●	hoch	orange
35.6 - 42.1	3	●	mittel	gelb
28.9 - 35.5	2	●	gering	grün
13.0 - 28.8	1	●	sehr gering	blau

### Vereinfachte Belastungscharakterisierung für organische Luftschadstoffe der PAKs

Für die Polyaromate PAKs und andere organische Luftschadstoffe existiert bisher noch keine solche einheitliche Belastungsklassifikation wie für die Schwermetalle, welche sich für gebietsübergreifende Belastungsanalysen und Erfolgskontrollen seit Jahren sehr bewähren.

Für die bevorstehenden Erfolgskontrollanalysen im MfM-U-Projekt wäre eine derartige Belastungsklassifikation der PAKs von grossem Wert. Diese könnte jetzt bereits mit dem bestehenden Kollektiv der MfM-U-Standorte und möglichst ergänzt durch das Kollektiv der 33 Schweizer Standorte der POP-Studie realisiert werden.

In Ermangelung dieser einheitlichen Klassifikation erfolgen die Belastungsvergleiche bei den PAKs in den Stationstafeln und nachfolgenden Kapiteln aufgrund von Standortmittelwerten.

## 5.2 Einzelstoffbelastung von Schwermetallen und PAKs mittels Stationstafeln - Exemparische Standortvergleiche

Die nachfolgenden zweiseitigen Stationstafeln umfassen alle wesentlichen Untersuchungsergebnisse, die zur Charakterisierung der Einzelstoffbelastung an Schwermetallen und PAKs der Untersuchungsstandorte notwendig sind.

Für **Schwermetalle u.a. andere toxische Elemente** basiert dieses standardisierte Auswertungs- und Darstellungsverfahren auf der in Kapitel 5.1 beschriebenen **standardisierten Klassifikation der Messdaten** und erlaubt somit gebietsübergreifende Belastungsvergleiche (Herzig 1993, AGB 1992d).

Um rasch einen **ersten Eindruck über die Höhe und das Belastungsmuster der verschiedenen Untersuchungsstandorte** zu gewinnen, empfiehlt es sich, die Standorte bezüglich ihrer belastungsproportionalen **Piktogramme** miteinander zu vergleichen, die aufgrund eines standardisierten Klassifikationsverfahrens berechnet wurden.

Für die **Polyaromate PAKs** und andere organische Luftschadstoffe existiert bisher noch keine solche einheitliche Belastungsklassifikation wie für die Schwermetalle, welche sich für gebietsübergreifende Belastungsanalysen und Erfolgskontrollen seit Jahren sehr bewähren. In Ermangelung dieser einheitlichen Klassifikation erfolgen die Belastungsvergleiche bei den PAKs in den Stationstafeln und nachfolgenden Kapiteln aufgrund von Standortmittelwerten.

### ● Reihenfolge der Stationstafeln

Im exemplarischen Sinne werden nachfolgend drei Stationstafeln von unterschiedlich mit Schwermetallen und Polyaromaten belasteten Standorten gezeigt:

Nr. 2: MuttENZ Hardwald MfM-U,

Nr. 4a: Härkingen - Profilmessung Nahbereich

Nr. 11: Forst-Neuenegg als sehr geringbelasteter Referenzstandort.

**Die Stationstafeln aller 23 Untersuchungsstandorte finden sich im Anhang, Kapitel 10.1, Seiten 149-199.**

Die Präsentation erfolgt geordnet entlang der Nordsüdachse der Transitautobahn A2 und A13, mit Beginn am Grenzposten Basel-Weil und endend in Chiasso-Progeda sowie Rothenbrunnen an der A13.

Die Ergänzungsstandorte der regionalen Erfolgskontrolluntersuchung in der Stadt Bern im Zeitraum 1990-2004 werden ganz am Schluss gezeigt.

Der Ergänzungsstandort 18: Habkern-Grünebergpass dient als subalpiner Referenzstandort für Hintergrundbelastung. Er weist ein noch leicht geringeres Belastungsmuster auf als der für das Schweizer Mittelland repräsentative Referenzstandort Forst-Neuenegg, welcher seit den Achzigerjahren untersucht wird.



**Standort 2: MuttENZ Hardwald**  
Kontinuierliche Immissions- und Verkehrsmessung direkt in der Strassenschnelseite der A2 belegen extrem hohe Werte für NO<sub>2</sub>, Partikelzahl und die Verkehrsbelastung mit einem DTV<sub>O<sub>3</sub></sub> von 116'700 bei 8'033 LKW's.

**Nähere Umgebung:** Verkehrsstandort der N-S-Transitachse in Wald-schneise.

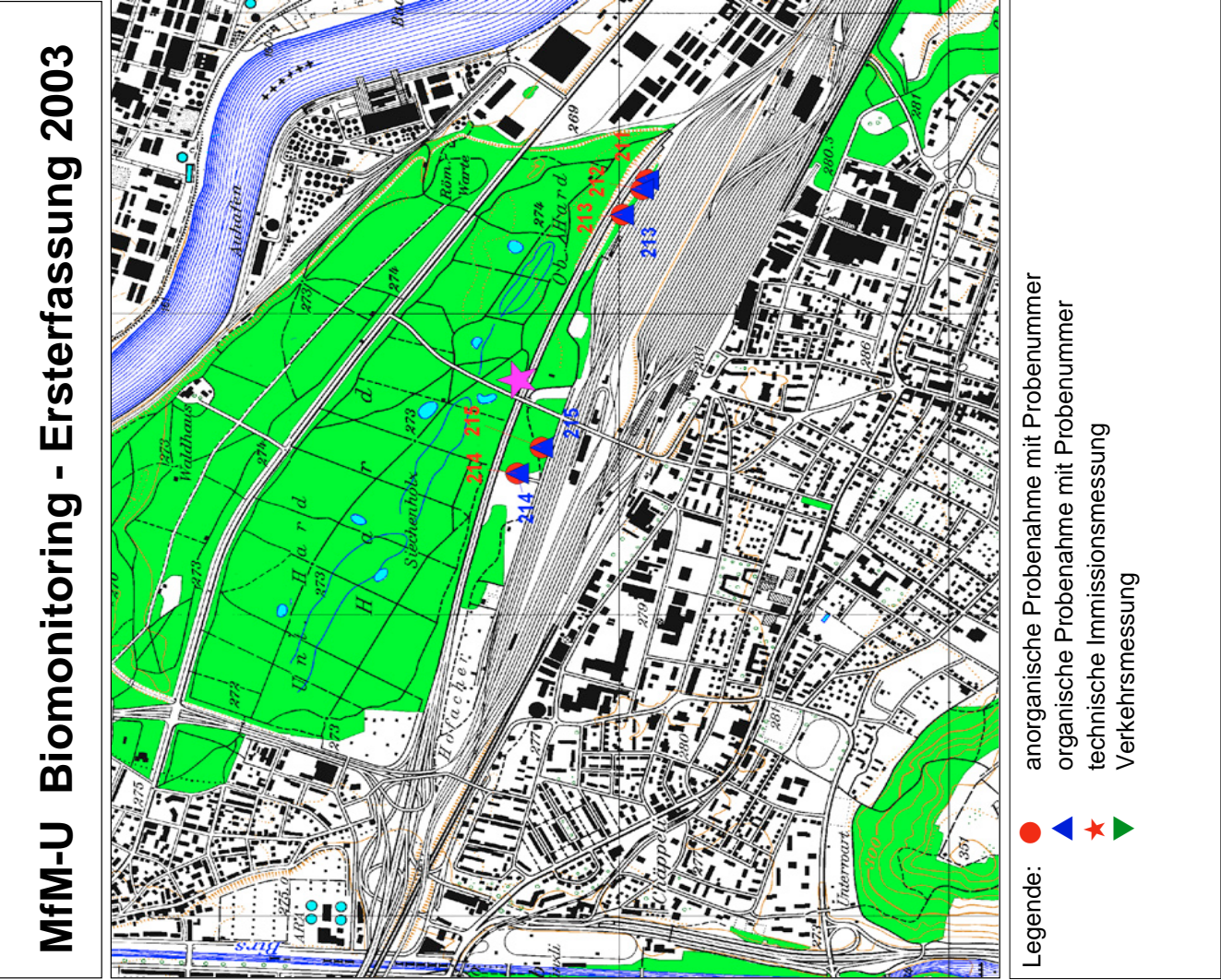
**Standortcharakteristik:** stärkst frequentierter Verkehrsstandort.

**Besonderheiten:** meist kritisch hohe Belastungswerte für fast alle Schwermetalle, besonders der Verkehrstracer Platin, Antimon, Arsen, Vanadium, Nickel, Cobalt, Chrom; zweithöchster Schwermetallbelas-tungsindex aller erfassten MfM-U-Standorte; kritisch hoch. Sehr hohe Bela-stung auch für die meisten Polyaromate, inkl. der mutagenen und kanzero-genen PAKs sowie der PAKs-Summenwerte. Ohne Luftgesamtbelastung.

Biomonitoring Kenngrößen			
Schwermetalle	mg/kg	Prädikat	Polyaromate PAKs
Schwermetall-Belastungsindex	69	kritisch hoch	PAK-Summe 27
Antimon	3.5		Summe mutagener PAKs m
Molybdän	3.7		Summe kanzerogener PAKs k
Vanadium	5.8		Summe mut./kanz. PAKs m, k
Platin	0.0392		Benzo(b,k)fluoranthen k,m
Cer	2.76		Benzo(a)pyren k,m
Luftgesamtbelastung (IAP18)	nd		Indeno(1,2,3-cd)pyren k
			7218
			4205
			3919
			1832
			780
			676
			1542



Standort Nr. 2: MuttENZ Hardwald





Standort 2: Muttenz Hardwald

Kategorie 4: Verkehr, a. Siedlungen

Anorganische Luftschadstoffe: Schwermetalle				Belastungssituation			
PNr.	211	212	213	214	215	Klas- se	Kürzel
Elemente	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	1-6	
Blei	93.7	127.5	93.4	97.4	48.5	5	Pb
Cadmium	0.72	0.45	0.49	0.42	0.72	5	Cd
Kupfer	66.1	66.1	71.0	48.1	33.3	6	Cu
Zink	165	180	228	167	282	6	Zn
Eisen	5585	5434	5082	5612	3410	6	Fe
Molybdän	3.9	3.8	4.8	3.7	2.2	6	Mo
Chrom	22.2	21.6	23.6	25.6	15.6	6	Cr
Cobalt	1.33	1.02	1.09	1.42	0.93	5	Co
Nickel	12.9	11.5	11.6	13.0	8.2	6	Ni
Vanadium	5.7	5.9	4.8	8.6	4.0	3	V
Arsen	1.48	1.35	1.51	1.97	1.62	6	As
Zinn	3.99	2.51	3.18	1.79	1.52	3	Sn
Antimon	3.5	3.9	5.4	2.9	2.0	6	Sb
Platin	0.015	0.145	0.020	0.010	0.006	6	Pt
Palladium	0.035	0.036	0.048	0.035	0.024	5	Pd
Cer	2.45	2.68	3.00	3.99	1.69		Ce
Gesamt- schwefel	2635	2398	2263	2013	1659	4	S-total
Gesamtbel.							/AP18
Schwermetall-Belastungs-Index							69
Schwermetall-Belastungs-Index							69

Luftimmission: Muttenz-Hard (A2), LHA, MfM-U				Feinstaub (PM10)				Ozon (O3)				LRV IGW	
Stickstoffdioxid (NO2)	LRV IGW	Feinstaub (PM10)	Feinstaub (PM10)	Feinstaub (PM10)	Feinstaub (PM10)	Feinstaub (PM10)	Feinstaub (PM10)	Feinstaub (PM10)	Feinstaub (PM10)	Feinstaub (PM10)	Feinstaub (PM10)	Feinstaub (PM10)	Feinstaub (PM10)
Jahresmittel [µg/m³]	59	30	Jahresmittel [µg/m³]	31	20	Jahresmittel [µg/m³]	31	Jahresmittel [µg/m³]	31	Jahresmittel [µg/m³]	31	Jahresmittel [µg/m³]	31
max. Tagesmittel [µg/m³]	113	-	max. Tagesmittel [µg/m³]	116	-	max. Tagesmittel [µg/m³]	116	max. Tagesmittel [µg/m³]	116	max. Tagesmittel [µg/m³]	116	max. Tagesmittel [µg/m³]	116
Anzahl Tage > 80 µg/m³	43	1	Anzahl Tage > 50 µg/m³	13*	1	Anzahl Tage > 50 µg/m³	13*	max. Stundenmittel [µg/m³]	154	max. Stundenmittel [µg/m³]	154	max. Stundenmittel [µg/m³]	154

Verkehrsmenge: Muttenz-Hard (A2), ASTRA-Zählstelle 081				Toxikologie der PAKs			
Personen- wagen	Güterverkehr (K1,4,6,7)	Schwererkehr (K5,6,7)	Personen- wagen	Güterverkehr (K1,4,6,7)	Schwererkehr (K5,6,7)	Personen- wagen	Güterverkehr (K1,4,6,7)
98017	17145	8033	98017	17145	8033	98017	17145
116657	17145	8033	116657	17145	8033	116657	17145

Organische: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe									
PAK-Substanzen, Tox.	PNr.	211	213	215	Mean	SD	Median	N	Kürzel
µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg		
Naphthalin	k?	92	64	25	60	34	64	3	Napt
Acenaphthylen	m?	26	32	13	24	10	26	3	Aceny
Acenaphthen	m?	n.n	n.n	n.n	n.n	.	.	0	Acene
Fluoren	-	31	50	15	32	18	31	3	Fluo
Phenanthren	m?k	621	637	281	513	201	621	3	Phe
Anthracen	-	57	101	19	59	41	57	3	Antrc
3,6-Dimethylphenanthren		n.n	n.n	n.n	n.n	.	.	0	36Dip
Fluoranthren	k?,m	900	897	373	723	303	897	3	Fluoa
Pyren	m?k?	499	582	228	436	185	499	3	Pyr
Benzo(b)fluoren	m?,k?	18	44	.	31	19	31	2	Bzbf
Benzo(c)phenanthren	km	40	37	11	30	16	37	3	Bzoph
Benz(a)anthracen	k,m	101	153	38	97	58	101	3	Bzaant
Chrysen	k,m	243	323	89	218	119	243	3	Chry
Benzo(b)fluoranthren	km	523	622	189	445	227	523	3	Bzbfla
Benzo(k)fluoranthren	km	330	529	146	335	192	330	3	Bekfla
Benzo(b,k)fluoranthren	km	852	1151	335	780	413	852	3	Bzbkfla
Benzo(b)naptho-(1,2-d)thiophen		10	12	n.n	11	1	11	2	Bz12t
Benzo(e)pyren	k?,m	761	1488	423	890	544	761	3	BeP
Benzo(a)pyren	km	609	1169	251	676	463	609	3	BaP
Perylen	m	103	105	91	100	7	103	3	Pery
Dibenz(a,h)anthracen	?	102	750	9	287	403	102	3	Dibahp
Indeno(123-c,d)pyren	k	1173	3356	97	1542	1660	1173	3	I123py
Dibenz(a,h)anthracen	km	22	56	14	31	22	22	3	Diaha
Benzo(g,h,i)perylene	m	576	725	89	463	332	576	3	Bghip
Anthanthren	-	n.n	n.n	n.n	n.n	.	.	0	Anta
Dibenz(a,h)pyren	km?	46	n.n	48	47	2	47	2	Dibahp
Coronen	k?,m	199	331	60	197	136	199	3	Cor
Dibenz(a,h)pyren	km	n.n	n.n	n.n	n.n	.	.	0	Dibahp
PAK Summe 27		7081	12064	2508	7218	4779	7081	3	PAK27
PAK Summe 20		6866	11222	2440	6843	4391	6866	3	PAK20
14 mutagener PAKs	m	4406	6436	1774	4205	2337	4406	3	PAK14
12 kanzerogener PAKs	k	3708	6883	1164	3919	2865	3708	3	PAK12
9 mut. & kanz.PAKs	m,k	1868	2890	738	1832	1077	1868	3	PAK9



# Standort Nr. 4a: Härkingen - Profilmessung Nahbereich

Kategorie 4: Verkehr, a. Siedlungen

Anorganische Luftschadstoffe: Schwermetalle										Organische: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe									
PNr.	411	412	413	414	415	Belastungssituation				PNr.	412	413	415						
Elemente	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	Klas- se	Pikto- gramm	Belastungs- Prädikat	Kürzel	PAK-Substanzen, Tox.	µg/kg	µg/kg	µg/kg	Mean	SD	Median	N	Kürzel	
Blei	104.4	60.9	55.7	48.4	103.3	4	●	hoch	Pb	Naphthalin	K?	52	93	33	59	31	52	3	Napt
Cadmium	0.53	0.28	0.26	0.27	0.27	3	●	mittel	Cd	Acenaphthylen	m?	38	41	20	33	11	38	3	Aceny
Kupfer	105.3	80.0	54.3	48.5	32.6	6	●	kritisch hoch	Cu	Acenaphthen	m?	n.n	n.n	n.n	n.n	.	.	0	Acene
Zink	394	334	201	197	133	6	●	kritisch hoch	Zn	Fluoren	-	33	40	20	31	10	33	3	Fluo
Eisen	6740	3736	3458	2732	1345	6	●	kritisch hoch	Fe	Phenanthren	m?,k	750	702	339	597	225	702	3	Phe
Molybdän	8.3	6.2	5.0	4.9	2.0	6	●	kritisch hoch	Mo	Anthracen	-	111	94	107	104	9	107	3	Antrc
Chrom	40.5	31.1	26.8	25.8	10.3	6	●	kritisch hoch	Cr	3,6-Dimethylphenanthren		n.n	26	15	20	8	20	2	36Dip
Cobalt	1.94	1.14	1.12	0.90	0.76	5	●	sehr hoch	Co	Fluoranthren	k?,m	1233	1023	534	930	358	1023	3	Fluo
Nickel	19.3	15.4	14.6	14.0	6.4	6	●	kritisch hoch	Ni	Pyren	m?,k?	999	777	397	724	305	777	3	Pyr
Vanadium	8.7	5.2	5.4	4.4	2.5	2	●	gering	V	Benzo(b)fluoren	m?,k?	53	39	20	37	17	39	3	Bzbf
Arsen	1.66	1.12	1.14	0.92	0.51	3	●	mittel	As	Benzo(c)phenanthren	km	79	62	32	58	24	62	3	Bzoph
Zinn	3.55	2.13	1.75	1.34	0.53	3	●	mittel	Sn	Benzo(a)anthracen	k,m	295	203	100	199	98	203	3	Bzaant
Antimon	11.7	7.4	6.1	4.8	1.8	6	●	kritisch hoch	Sb	Chrysen	k,m	603	467	225	432	191	467	3	Chry
Platin	0.008	0.016	0.006	0.003	0.003	6	●	kritisch hoch	Pt	Benzo(b)fluoranthren	km	476	544	255	425	151	476	3	Bzbf
Palladium	0.059	0.035	0.031	0.028	0.014	5			Pd	Benzo(k)fluoranthren	km	358	218	50	209	154	218	3	Bekfla
Cer	5.63	3.24	3.11	2.65	1.14	5			Ce	Benzo(b,k)fluoranthren	km	833	762	305	633	286	762	3	Bzbkfla
Gesamt- schwefel	2803	2764	3094	2627	2164	5	●	sehr hoch	S-total	Benzo(b)napththo-(1,2-d) thiophen		21	14	n.n	17	5	17	2	Bz12t
Gesamtbel.						0			IAP18	Benzo(e)pyren	k?,m	351	281	86	239	137	281	3	BeP
Schwermetall-Belastungs-Index										Benzo(a)pyren	k,m	286	266	106	219	99	266	3	BaP
										Perylen	m	99	184	35	106	75	99	3	Pery
										Dibenz(a,h)anthracen	?	712	218	30	320	352	218	3	Dibahp
										Indeno(123-c,d)pyren	k	6874	1431	173	2826	3562	1431	3	I123py
										Dibenz(a,h)anthracen	km	102	29	20	50	45	29	3	Diaha
										Benzo(g,h,i)perylene	m	2700	2536	112	1783	1449	2536	3	Bghip
										Anthanthren	-	151	80	n.n	116	51	116	2	Anta
										Dibenz(a,h)pyren	km?	126	377	83	195	159	126	3	Dibahp
										Coronen	k?,m	53	374	187	204	161	187	3	Cor
										Dibenz(a,h)pyren	km	n.n	n.n	n.n	n.n	.	.	0	Dibahp
										PAK Summe 27		16554	10119	2976	9883	6792	10119	3	PAK27
										PAK Summe 20		15563	9384	2798	9248	6384	9384	3	PAK20
										14 mutagener PAKs	m	6633	6188	1742	4854	2705	6188	3	PAK14
										12 kanzerogener PAKs	k	9949	4300	1382	5210	4355	4300	3	PAK12
										9 mut. & kanz.PAKs	m, k	2198	1790	788	1592	726	1790	3	PAK9

## Luftimmission: Härkingen NABEL 2003

Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )		Feinstaub (PM10)		Ozon (O <sub>3</sub> )		LRV IGW	
Jahresmittel	44	Jahresmittel	32	Jahresmittel		Jahresmittel	
max. Tagesmittel		max. Tagesmittel		Anz. Stundenmittel			
Anzahl Tage > 80 µg/m <sup>3</sup>	1	Anzahl Tage > 50 µg/m <sup>3</sup>	1	max. Stundenmittel			

## Verkehrsmenge: Gunzgen A1 Astra Zählstelle 060

DTV Total	Personen- wagen (K3)	Güterverkehr (K1,4,6,7)	Schwerenverkehr (K5,6,7)	%-Anteil PW-Verkehr (K3)	%-Anteil Güterverkehr (K1,4,6,7)	%-Anteil Schwerenverkehr (K5,6,7)	%-Anteil Busse, Cars (K1)	%-Anteil Motorrad (K2)	Messdauer Jan.-Dez. 03
73440	57132	9272	5169	77.8	12.6	7.0			

**Toxikologie der PAKs**  
m?: gesichert mutagen  
m?: vermutlich mutagen  
k?: gesichert kanzerogen  
k?: vermutlich kanzerogen  
Quelle: WHO, 1998, 2003. Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution.



**Standort Nr. 11: Forst-Neuenegg (Referenz Mittelland)**  
Referenzmessstation der Biomonitoring-Methode für Hintergrundbelastung der Luft.

**Nähere Umgebung:** Aufforstungsstandort mit jungen Acer pseudoplatanus Bäumen (Flechtenprobe) weit entfernt von Emissionsquellen. 15km westlich von Bern. Typische Hintergrundsituation für das Schweizer Mittelland. mit Werten für «Luftgesamtbelastung IAP18»; Multielement-Belastung. inkl. einzelne Schwermetalle und «Heavy Metal Index HMI» sowie Belastung von POPs.

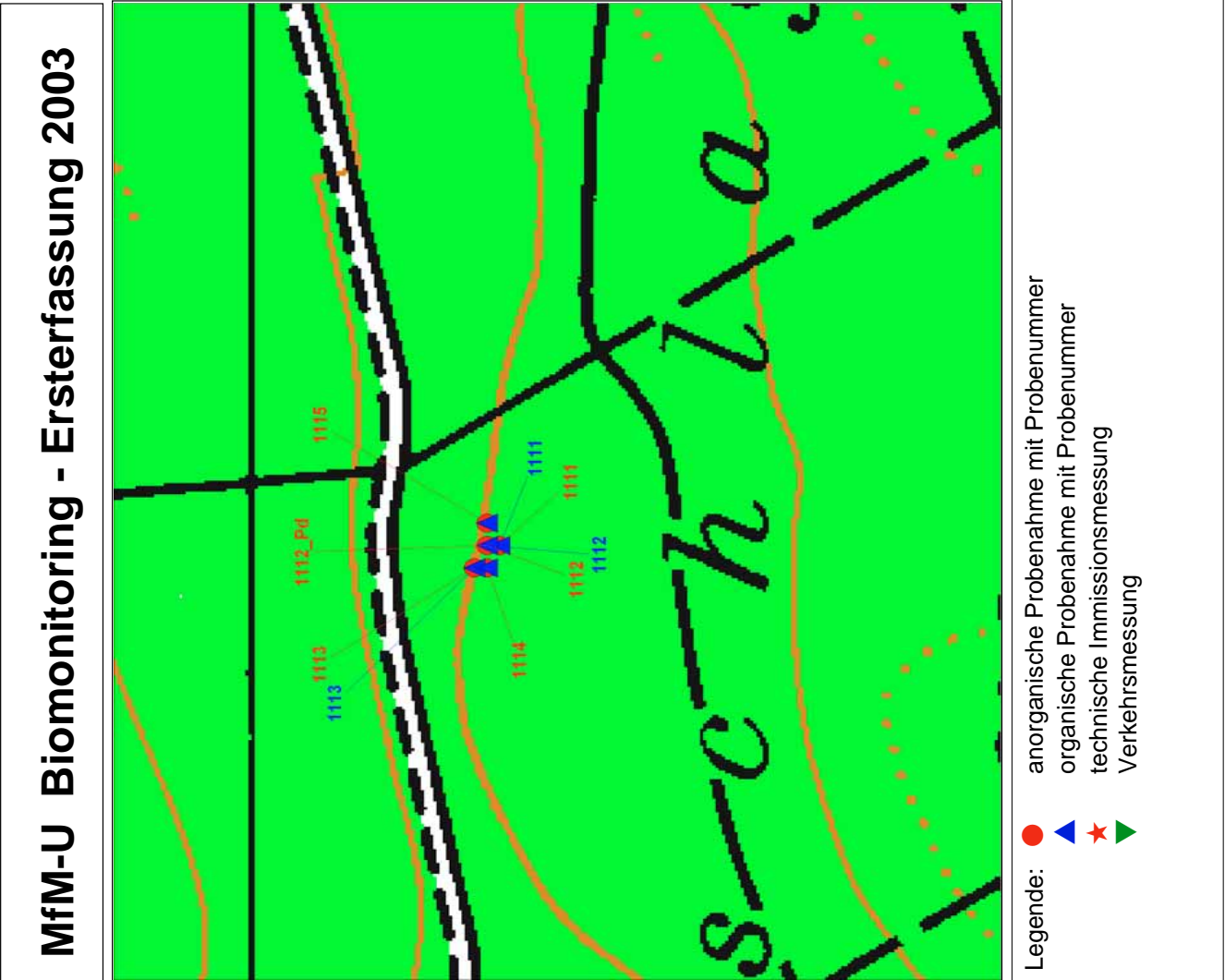
**Standortcharakteristik:** Ländlich, weit entfernt von Emissions-Quellen

**Besonderheiten:** Fast alle Minimwerte der Schwermetalle, POP-Einzelsubstanzen und  $\Sigma$ Parameter.

Biomonitoring Kenngrößen			
Schwermetalle	mg/kg	Prädikat	Polyaromate PAKs
Schwermetall-Belastungsindex	21	sehr gering	PAK-Summe 27
Antimon	0.2		Summe multigener PAKs m
Molybdän	0.5		Summe kanzerogener PAKs k
Vanadium	1.4		Summe mut./kanz. PAKs m, k
Platin	0.0004		Benzo(b,k)fluoranthen k,m
Cer	0.52		Benzo(a)pyren k,m
Luftgesamtbelastung (IAP18)		sehr gering	Indeno(1,2,3-cd)pyren k
			<5



Standort Nr. 11: Forst-Neuenegg - emittentenferner Hintergrundbelastung im Schweizer Mittelland



## Standort Nr. 11: Forst-Neuenegg (Referenz Mittelland)

## Kategorie 6: Hintergrund

Anorganische Luftschadstoffe: Schwermetalle										Belastungssituation			
PNr.	1111	1112	1113	1114	1115	Klas- se	Pikto- gramm	Belastungs- Prädikat	Kürzel				
Elemente	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	Mean	SD	Median	N				
Blei	9.8	13.0	8.1	13.6	12.2	11.3	2.3	12.2	5				
Cadmium	0.27	0.11	0.11	0.11	0.13	0.15	0.07	0.11	5				
Kupfer	6.1	4.6	4.5	5.7	5.8	5.3	0.7	5.7	5				
Zink	72	33	34	38	45	45	16	38	5				
Eisen	323	360	400	455	462	400	60	400	5				
Molybdän	0.46	0.52	0.53	0.65	0.59	0.55	0.07	0.53	5				
Chrom	4.3	4.0	3.6	5.1	4.7	4.3	0.6	4.3	5				
Cobalt	0.14	0.15	0.19	0.20	0.23	0.18	0.04	0.19	5				
Nickel	2.5	2.2	2.2	2.7	3.0	2.5	0.3	2.5	5				
Vanadium	1.2	1.3	1.2	1.8	1.5	1.4	0.3	1.3	5				
Arsen	0.23	0.35	0.40	0.38	0.43	0.36	0.08	0.38	5				
Zinn	0.16	0.34	0.19	0.27	0.36	0.26	0.09	0.27	5				
Antimon	0.15	0.18	0.22	0.24	0.23	0.20	0.04	0.22	5				
Platin	0.0002	0.0002	0.0009	0.0006	0.0003	0.0004	0.000	0.0003	5				
Palladium	0.018	0.007	0.006	0.009	0.01	0.010	0.00	0.009	5				
Cer	0.41	0.46	0.54	0.60	0.62	0.52	0.09	0.54	5				
Gesamt- schwefel	719	900	774	1109	924	885	151	900	5				
Gesamtbel.	Esterhebung Stadt Bern 1990				61		.		0				
Schwermetall-Belastungs-Index										21			

Luftimmission:									
Stickstoffdioxid (NO2)	LRV IGW	Feinstaub (PM10)			LRV IGW	Ozon (O3)			LRV IGW
Jahresmittel [µg/m³]	30	Jahresmittel [µg/m³]			20	Jahresmittel [µg/m³]			-
max. Tagesmittel [µg/m³]	-	max. Tagesmittel [µg/m³]			-	Anz. Stundenmittel > 120 µg/m³			1
Anzahl Tage > 80 µg/m³	1	Anzahl Tage > 50 µg/m³			1	max. Stundenmittel [µg/m³]			-

Verkehrsmenge:					Toxikologie der PAKs				
DTV Total	Personen- wagen (K3)	Güterverkehr (K1,4,6,7)	Schwerverkehr (K5,6,7)	Schätzang	10	%	Anteil PV-/Verkehr (K3)	%	Anteil Schwerverkehr (K5,6,7)
		Güterverkehr (K1,4,6,7)	Schwerverkehr (K5,6,7)						
150	110	30	10	Messdauer					

Organische: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe										
PNr.	1111	1112	1113	Statistische Werte			PNr.	1111	1112	1113
PAK-Substanzen, Tox.	µg/kg	µg/kg	µg/kg	Mean	SD	Median	N	Mean	SD	Median
Naphthalin	K?	7	23	15	8	15	3	15	8	15
Acenaphthylen	m?	8	8	7	0	8	3	7	0	8
Acenaphthen	m?	n.n	n.n	n.n	.	.	0	n.n	.	.
Fluoren	.	21	21	19	20	1	21	20	1	21
Phenanthren	m?,k	97	112	82	97	15	97	97	15	97
Anthracen	-	71	99	116	95	23	99	95	23	99
3,6-Dimethylphenanthren		n.n	n.n	n.n	n.n	.	0	n.n	.	.
Fluoranthen	k?,m	81	85	73	80	6	81	80	6	81
Pyren	m?,k?	41	40	38	40	1	40	40	1	40
Benzo(b)fluoren	m?,k?	n.n	n.n	n.n	n.n	.	0	n.n	.	.
Benzo(c)phenanthren	km	n.n	n.n	n.n	n.n	.	0	n.n	.	.
Benz(a)anthracen	k,m	n.n	n.n	13	13	.	13	13	.	13
Chrysen	k,m	n.n	n.n	20	20	.	20	20	.	20
Benzo(b)fluoranthen	k,m	34	30	23	29	6	30	29	6	30
Benzo(k)fluoranthen	k,m	23	7	19	16	8	19	16	8	19
Benzo(b,k)fluoranthen	km	57	38	42	46	10	42	46	10	42
Benzo(b)napththo-(1,2-d)thiophen		n.n	n.n	n.n	n.n	.	0	n.n	.	.
Benzo(e)pyren	k?,m	n.n	n.n	n.n	n.n	.	0	n.n	.	.
Benzo(a)pyren	k,m	11	n.n	n.n	11	.	11	11	.	11
Perylen	m	.	37	n.n	37	.	37	37	.	37
Dibenz(a,j)anthracen	?	n.n	n.n	n.n	n.n	.	0	n.n	.	.
Indeno(123-c,d)pyren	k	n.n	n.n	n.n	n.n	.	0	n.n	.	.
Dibenz(a,h)athracen	k,m	n.n	n.n	n.n	n.n	.	0	n.n	.	.
Benzo(g,h,i)perylene	m	n.n	n.n	n.n	n.n	.	0	n.n	.	.
Anthanthren	-	n.n	n.n	n.n	n.n	.	0	n.n	.	.
Dibenz(a,l)pyren	k,m?	n.n	n.n	n.n	n.n	.	0	n.n	.	.
Coronen	k?,m	n.n	n.n	n.n	n.n	.	0	n.n	.	.
Dibenz(a,h)pyren	k,m	n.n	n.n	n.n	n.n	.	0	n.n	.	.
PAK Summe 27		393	463	425	427	35	425	427	35	425
PAK Summe 20		393	463	425	427	35	425	427	35	425
Σ mutagener PAKs	m	148	159	149	152	6	149	152	6	149
Σ kanzerogener PAKs, k	k	164	150	157	157	7	157	157	7	157
Σ mut. & kanz.PAKs m,k	m,k	67	38	76	60	20	67	60	20	67

## Luftimmission:

Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )	LRV IGW	Feinstaub (PM <sub>10</sub> )	LRV IGW	Ozon (O <sub>3</sub> )	LRV IGW
Jahresmittel	30	Jahresmittel	20	Jahresmittel	-
max. Tagesmittel	-	max. Tagesmittel	-	Anz. Stundenmittel > 120 µg/m <sup>3</sup>	1
Anzahl Tage > 80 µg/m <sup>3</sup>	1	Anzahl Tage > 50 µg/m <sup>3</sup>	1	max. Stundenmittel	-

## Verkehrsmenge:

DTV Total	Personen- wagen (K <sub>3</sub> )	Güterverkehr (K <sub>1,4,6,7</sub> )	Schwerverkehr (K <sub>5,6,7</sub> )	%-Anteil PW-Verkehr (K <sub>3</sub> )	%-Anteil Güterverkehr (K <sub>1,4,6,7</sub> )	%-Anteil Schwerverkehr (K <sub>5,6,7</sub> )	%-Anteil Busse, Cars (K <sub>1</sub> )	%-Anteil Motorrad (K <sub>2</sub> )	Messdauer
150	110	30	10	Schätzang					

## Toxikologie der PAKs

m: gesichert mutagen  
m?: vermutlich mutagen  
k: gesichert kanzerogen  
k?: vermutlich kanzerogen  
Quelle: WHO, 1998, 2003. Health risks  
of persistent organic pollutants from  
long-range transboundary air pollution.

### 5.3 Fingerprints zur Charakterisierung der Schwermetallbelastung der MfM-U-Standorte

Generell fällt in der Standortübersicht mittels Fingerprints von Abbildung 4 auf, dass die sowohl die Schwermetall-Einzelstoff-, als auch Gesamtbelastung fast aller untersuchten Standorte hohe bis kritisch hohe Belastungswerte aufweisen, was die hohen Verkehrsbelastung zum Ausdruck bringt. Diese erreicht am Standort Muttenz Hardwald mit einem DTV von von 2003 von 117'000 Fahrzeugen/Tag den Maximalwert (vgl. Tab 6).

#### ● **Die Schwermetall-Gesamtbelastung der Standorte**

##### **Kritisch hohe Schwermetall-Gesamtbelastung**

Bezüglich der kritisch hohen Schwermetall-Gesamtbelastung (13 luftbürtigen Schwermetalle; SMI) nimmt der Verkehrsstandort Chiasso Zoll mit einem SMI den Spitzenwert von 70. Weiter folgen die Standorte Muttenz Hardwald, Basel Zoll, Härkingen Nahbereich, Moleno, Piotta-Nahbereich und Erstfeld, welcher noch einen SMI von 58 aufweist.

##### **Sehr hohe Schwermetall-Gesamtbelastung**

Die drei Standorte Piotta-Profil-Mittelbereich, Piotta-Profil-Fernbereich und Rothenbrunnen weisen mit einem SMI von 49-54 eine sehr hohe Schwermetall-Gesamtbelastung auf.

##### **Hohe Schwermetall-Gesamtbelastung**

Für die beiden Standorte Härkingen-Profil-Fernbereich und Reiden-Profil-Nahbereich zeigt sich mit einem SMI von 44-45 eine hohe Schwermetall-Gesamtbelastung.

##### **Mittlere Schwermetall-Gesamtbelastung**

In Tenniken und Reiden-Profil-Fernbereich zeigt sich mit einem SMI von 41 eine mittlere Schwermetall-Gesamtbelastung.

##### **Sehr geringe Schwermetall-Gesamtbelastung**

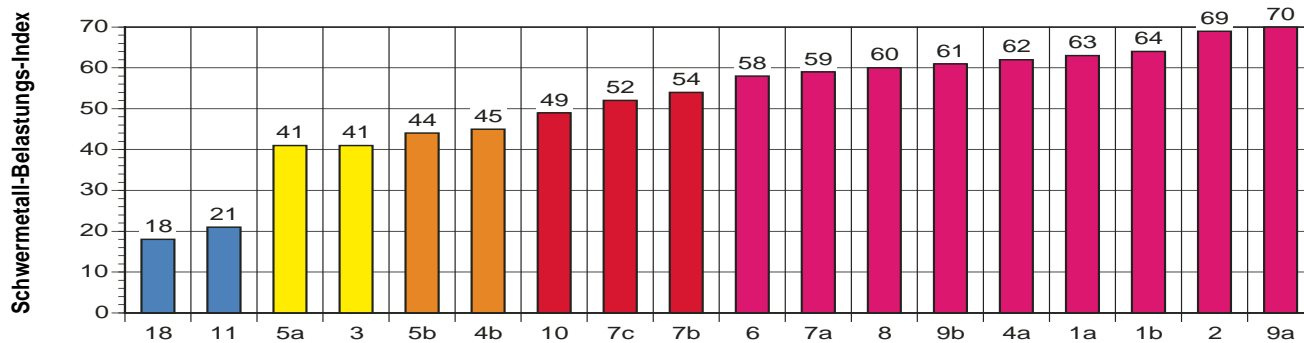
Die beiden Referenzstandorte für Hintergrundbelastung Forst-Neuenegg (CH-Mittelland) und Habkern-Grünenbergpass (subalpin) weisen mit einem SMI von 18-21 erwartungsgemäss nur eine sehr geringe Schwermetall-Gesamtbelastung auf, welche am Standort Grünenbergpass mit 18 Einheiten nur wenig über dem theoretischen Minimumwert von 13 liegt.

**Abb. 4 Fingerprints zur Charakterisierung der Schwermetall-Einzelstoff- und Gesamtbelastung aller MfM-Untersuchungsstandorte von 2003.**

Gegenüberliegende Seite

## Fingerprints der Schwermetall-Einzelstoff- und Gesamtbelastung

	18	11	5a	3	9	5b	10	7c	7b	6	7a	8	9b	4a	1a	1b	2	9a
	Habkern Grüenbergpass (subalpine Referenz)	Forst-Neuenegg (Referenz Mittelland)	Reiden - Profilmessung Mittel/Fernbereich - P. s.	Tenniken	Reiden - Profilmessung Nahbereich - X. p.	Härkingen - Profilmessung Fernbereich	Rothenbrunnen (A13)	Piotta-Deggio - Profilmessung - Fernbereich	Piotta - Profilmessung - Mittelbereich	Erstfeld	Piotta - Profilmessung - Nahbereich	Moleno	Chiasso Progeda LKW Checkpoint & Via Volta - Ph. t.	Härkingen - Profilmessung Nahbereich	Basel Weil Zoll LKW- Checkpoint	Basel Weil Zoll (PW und LKW gemischt)	MuttENZ Hardwald	Chiasso Progeda LKW Checkpoint & Via Volta - P. s.
Blei	.	.	.	●	.	●	.	●	.	●	●	.	.	●	●	●	●	●
Cadmium	.	.	.	.	.	.	.	●	.	●	●	.	.	●	●	●	●	●
Kupfer	.	.	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Zink	.	.	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Eisen	.	.	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Molybdän	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Chrom	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Cobalt	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Nickel	.	.	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Vanadium	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	●
Arsen	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	●	.	●	●	●	●
Zinn	.	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Antimon	.	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Platin	.	.	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Palladium																		
Cer																		
Gesamt- schwefel	.	.	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Luftgüte																		
SMI-Piktogramm	.	.	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
SM-Index	18	21	41	41	44	45	49	52	54	58	59	60	61	62	63	64	69	70



Standort-Nr.

Piktogramm	.	●	●	●	●
Belastungs-Kategorie	13.0-28.8	35.6-42.1	42.2-48.8	48.9-55.5	55.6 - 78.0
Belastungs-Prädikat	sehr gering	mittel	hoch	sehr hoch	kritisch hoch

- **Die Schwermetall-Einzelstoffbelastung der Untersuchungsstandorte**

Auch bezüglich der Einzelstoffbelastung mit 16 luftbürtigen Schwermetallen und Gesamtschwefel fällt als Erstes die auffallend hohe Belastung der meisten Untersuchungsstandorte auf (Abb. 4), welche ebenfalls die hohen Verkehrsbelastung widerspiegelt. Diese erreicht am Standort Muttenz Hardwald mit einem DTV-2003 von 117'000 Fahrzeugen/Tag den Maximalwert. Der vergleichbare DTV von Härkingen beträgt 73'440, in Reiden 43'119, in Erstfeld 21'792, in Moleno 28'371 und in Rothenbrunnen 15'235 Fahrzeuge/Tag (vgl. Tab 6).

Bei eingehender Betrachtung der Fingerprints fallen vier verschiedene Elementgruppen von Schwermetallen, bzw. Gesamtschwefel auf:

- **Schwermetalle mit hoher bis kritisch hoher Schwermetall-Einzelstoffbelastung**

Die Schwermetalle **Molybdän** und **Chrom** und mit geringerer Ausprägung auch **Nickel**, **Zink**, **Eisen** und **Antimon**, zeigen an allen stark belasteten Verkehrsstandorten mit sehr hoher bis kritisch hoher Schwermetallgesamtbelastung (SMI-Index) auch eine hohe bis kritisch hohe Einzelstoffbelastung. Für Molybdän und Chrom trifft diese Aussage sogar bis in die mittlere Gesamtbelastungskategorie zu.

Die Schwermetalle **Kupfer**, **Cobalt**, **Arsen** und **Platin** zeigen an den stärkst verkehrsbelasteten Standorten mit einer kritisch hohen Schwermetallgesamtbelastung ebenfalls eine starke bis kritisch starke Einzelstoffbelastung.

**Blei** zeigt seine Stärkstbelastung besonders am stärkst verkehrsbelasteten Standort Muttenz-Hardwald, gefolgt von Härkingen Profil-Nahbereich und Tenniken, wobei der Fernbereich von Härkingen auf ein Metallwerk und nicht auf den Mfz-Verkehr zurückzuführen ist.

Für **Gesamtschwefel** zeigen sich Stärkstbelastungen ebenfalls im Nahbereich der frequentiertesten Verkehrsstandorte.

- **Schwermetalle mit geringer bis kritisch hoher Schwermetall-Einzelstoffbelastung**

Auch **Cadmium**, **Vanadium** und **Zinn** weisen besonders im Nahbereich der frequentiertesten Verkehrsstandorte erhöhte Belastungswerte auf, jedoch auf einem insgesamt wesentlich tieferen Belastungsniveau.

Für die erstmalig analysierten Schwermetalle **Palladium** und **Cer** existiert noch gar keine Belastungsklassifikation.



## **5.4 Schadstoffweise Charakterisierung des Belastungsmusters mit Standortvergleichen**

Im exemplarischen Sinne stellt Kapitel 5.4 eine Auswahl von 11 verkehrsrelevanten Schwermetallen und PAKs mit ihren Standortmittelwerten vor. **Die Darstellung aller hier nicht gezeigten Schwermetalle und PAKs findet sich im Anhang, Kapitel 10.2, Seiten 198-226.**

Die Schwermetalle und PAKs sind je in einem Unterkapitel dargestellt: Kapitel 5.4.1 behandelt die Schwermetalle. Kapitel 5.4.2 enthält die PAKs.

In jedem Unterkapitel sind als erstes die Summenparameter: Schwermetall-Belastungsindex (SMI) und diverse PAK-Summenwerte dargestellt. Anschliessend folgen die Einzelsubstanzen in abnehmender Reihenfolge ihres Belastungsgradienten. Dieser wird berechnet aus dem Quotienten zwischen Maximalwert und dem Wert des langjährigen Hintergrundstandortes Forst Neuenegg, wo mehrheitlich der Minimalwert vorliegt. Der Belastungsgradient gibt Auskunft über die Verkehrsrelevanz der jeweiligen Luftschadstoffe.

### **5.4.1 Schwermetalle und Gesamtschwefel Exemplarisch Standortvergleiche**

#### **Allgemeine Grundlagen zu den Quellen und dem Umweltverhalten der Schwermetallbelastung**

Im Kapitel 3.4.1 wurde in Kursivschrift das derzeit vorhandene allgemeine Wissen zu den Hauptemissionsquellen von 16 relevanten Schwermetallen sowie von Gesamtschwefel dargestellt (Tab. 4). Soweit bekannt, wurden die relevanten Emissionsquellen aus den Bereichen der gewerblich/industriellen Tätigkeit, der Energienutzung, der Verkehrstechnik sowie der Intensivlandwirtschaft bezeichnet.

Diese Angaben basieren auf einer Auswertung der wissenschaftlichen Fachliteratur, auf Rücksprachen mit Fachleuten und eigenen Studien, welche aus dem Vergleich der in Flechtenproben gemessenen Elementgehalte mit den verschiedenen Nutzungsklassen am Probenahmestandort (Siedlung, Verkehrsvolumen, Strassenabstand, Landwirtschaft) resultieren. Gleichzeitig wurden für die einzelnen Schadstoffe auch die Hauptaufnahme-pfade der Schadstoffbelastung beim Menschen genannt und, sofern bekannt, ergänzt mit Angaben zur Phyto- und Humantoxizität (Gifigkeit für Pflanze und Mensch). Bei der Bewertung muss folgendem Umstand gebührend Rechnung getragen werden: Geringste Konzentrationen einiger Schwermetalle sind durchaus lebensnotwendig (essentiell), währenddem nur geringfügig höhere Konzentrationen bereits zu Vergiftungserscheinungen bei Pflanze, Tier und Mensch führen können.

## Platin (Pt)

### Allgemeine Grundlagen nach Literatur

#### Hauptemittenten und Quellen

Erste Generation von benzinbetriebenen Katalysator-Fahrzeugen und heutzutage in neuen dieselbetriebenen Kat-Fahrzeugen. Allgemein wichtige Anwendung in der Abgaskatalysatoren-Technik von Motorfahrzeugen und Grossfeuerungen. Elektronik, Herstellung von medizinischen Geräten und Laborgeräten, Glasindustrie, Schmuckherstellung.

Sehr deutliche Korrelation mit Mfz-Dichte und Strassenabstand.

#### Hauptaufnahmepfade beim Menschen

Luft, besonders bei exponierten Arbeitern, Medikamente.

#### Wirkungsmechanismus bei Pflanze und Mensch

Humantoxikologisch unbedenklich ist metallisches Platin, jedoch können organische Platin-Verbindungen, wie z.B. Hexachlorplatinate, bei exponierten Personen allergische Reaktionen auslösen.

### Platin-Belastung der MfM-U Standorte von 2003

Der mit Abstand höchste Platin-Standortwert zeigt sich am stärksten frequentierten Verkehrsstandort MuttENZ Hardwald (Abb. 5). Die nächstfolgenden hohen Platin-Werte wurden an den beiden Basler Zoll Standorten gemessen. Die tiefsten Platin-Standortwerte wurden am Referenzstandort Forst Neuenegg, gefolgt von Rothenbrunnen (A13) und Reiden Profil fern gemessen.

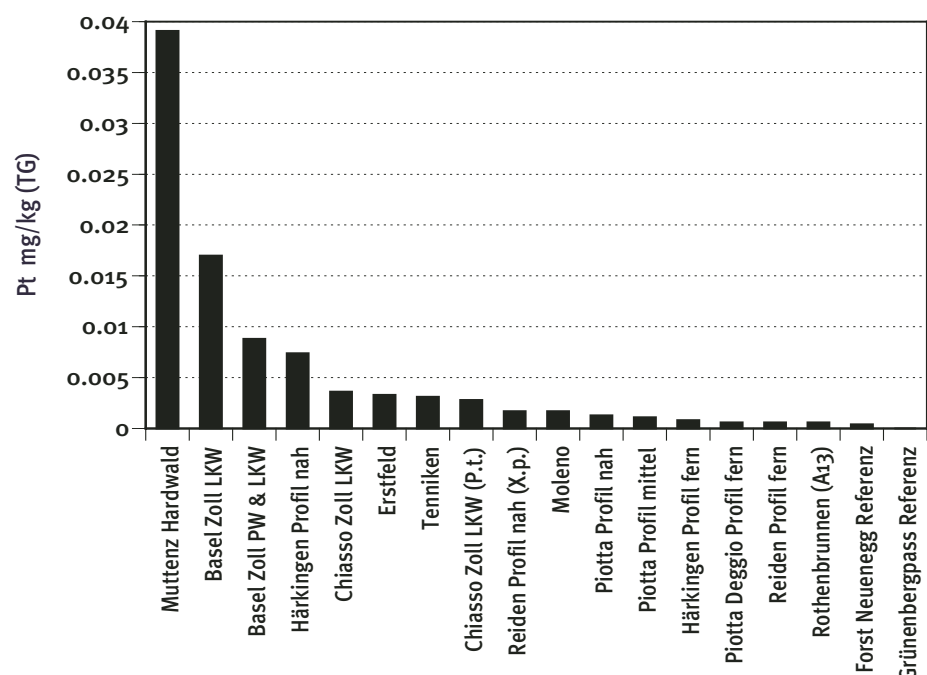
**Mit 89 liegt für Platin der für Schwermetalle stärkste Belastungsgradient vor.**

Platin eignet sich aufgrund unserer Quellenanalysen als zuverlässiger Tracer für dieselbetriebene Kat-Fahrzeuge sowie früher, als Tracer der ersten Generation von Benzinfahrzeugen.

**Abb. 5 Platin-Belastung der MfM-U Standorte von 2003.**

Der weitaus höchste Platin-Mittelwert wurde beim Standort MuttENZ Hardwald gemessen, der tiefste am Hintergrundstandort Forst Neuenegg.

Für Platin liegt der überhaupt grösste Belastungsgradient von 89 vor.



## Antimon (Sb)

### Allgemeine Grundlagen nach Literatur

#### Hauptemittenten und Quellen

Wichtiges Additiv von heutigen Bremsbelägen, Motorenschutz- und Schmiermitteladditiv, Additiv in der Gummi-Vulkanisation, Metallverarbeitung, Munitionsherstellung und Schiessplätze, Glas- und Keramikindustrie, Chemische Industrie, Kunststoffe, Elektronik, KVAs ohne moderne Rauchgasreinigung sowie die illegale Abfallverbrennung.

Auffallende Korrelation mit Mfz-Dichte und Strassenabstand.

#### Hauptaufnahmeefade beim Menschen

Luft, besonders bei exponierten Arbeitern, Nahrungsmittel, Medikamente.

#### Wirkungsmechanismus bei Pflanze und Mensch

Stark humantoxisch; besonders Sb (III), Sb (V) und Organo-Sb; Herz, Leber, Lunge, Blut, Reproduktion. Antimon-Trioxide sind kanzerogen (Tierexperiment).

### Antimon-Belastung der MfM-U Standorte von 2003

Der mit Abstand höchste Antimon-Wert wurde in Basel Zoll PW & LKW festgestellt, gefolgt von Basel Zoll LKW und Härkingen Profil nah (Abb. 6).

Die tiefsten Antimon-Werte befinden sich am Referenzstandort Forst Neuenegg, gefolgt von Piotta Deggio Profil fern und Reiden Profil fern.

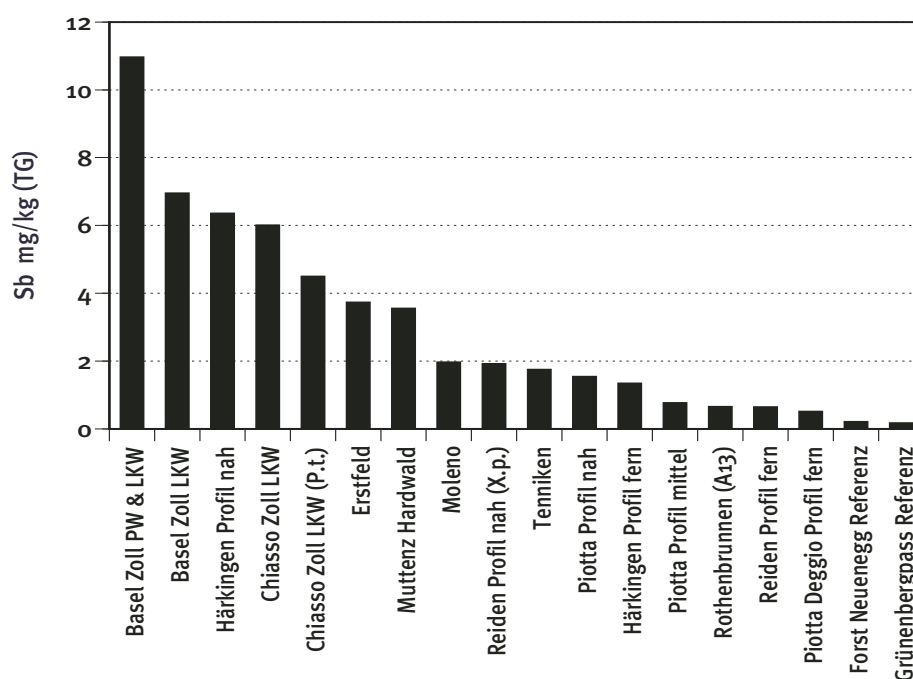
Zwischen Maximal- und Minimalwert liegt mit einem Faktor von 54 ein sehr starker Belastungsgradient vor.

Antimon eignet sich aufgrund unserer Quellenanalysen als zuverlässiger Verkehrstracer und weist besonders auf Bremsbeläge hin.

**Abb. 6 Antimon-Belastung der MfM-U Standorte von 2003.**

Der maximale Mittelwert am Standort Basel Zoll PW & LKW liegt um ein 54-faches über dem tiefsten Mittelwert am Hintergrundstandort Forst Neuenegg.

Auch Antimon zeigt einen starken Belastungsgradient von einem Faktor 54.



## Molybdän (Mo)

### Allgemeine Grundlagen nach Literatur

#### Hauptemittenten und Quellen

Schmiermittelladditiv, Heizöl, Kohle, Klärschlamm, illegale Abfallverbrennung.  
Korrelation mit Mfz-Dichte und Strassenabstand.

#### Hauptaufnahmepfade beim Menschen

Luft, besonders bei Berufsarbeitern, Nahrungsmittel.

#### Wirkungsmechanismus bei Pflanze und Mensch

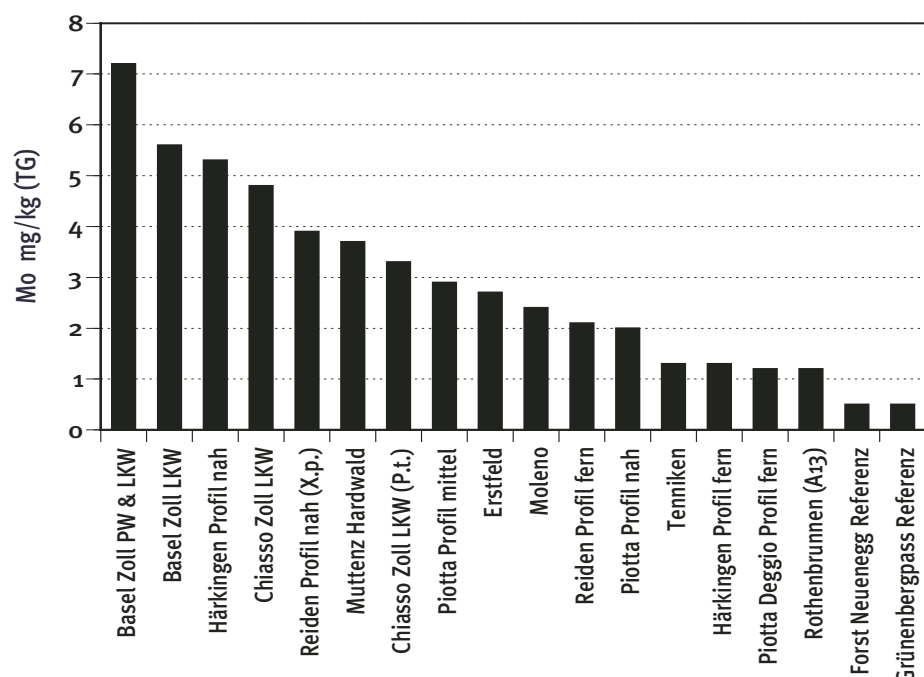
In Spuren essentiell; Phyto- und Humantoxizität unklar.

### Molybdän-Belastung der MfM-U Standorte von 2003

Die höchsten Standortwerte von Molybdän wurden durchwegs an den frequentiertesten Verkehrsstandorten gefunden (Abb. 7). Der Standort Basel Zoll PW & LKW zeigt den höchsten Molybdän-Mittelwert, gefolgt von Basel Zoll LKW, Härkingen Profil nah, Chiasso Zoll LKW und Muttenz Hardwald.

Die tiefsten Belastungswerte von Molybdän befinden sich am Referenzstandort Forst Neuenegg. Tiefe Belastungswerte wurden aber auch in Rothenbrunnen (A13), Piotta Deggio Profil fern, Härkingen Profil fern und Tenniken gemessen.

Mit einem Faktor von 13 liegt für Molybdän ein sehr starker Belastungsgradient vor. Molybdän eignet sich aufgrund unserer Quellenanalysen als zuverlässiger Verkehrstracer und weist besonders auf den Schwerverkehr hin.



**Abb. 7 Molybdän-Belastung der MfM-U Standorte von 2003.**

Der maximale Mittelwert am Standort Basel Zoll PW & LKW liegt um ein Dreizehnfaches über dem tiefsten Mittelwert des Hintergrundstandortes Forst Neuenegg.

## Blei (Pb)

### Allgemeine Grundlagen nach Literatur

#### Hauptemittenten und Quellen

Heutzutage wichtiges Additiv von Bremsbelägen, früher verbleites Benzin (bis 1986; Katalysatorobligatorium für Neufahrzeuge die wichtigste Quelle in der Schweiz). Daneben metallverarbeitende Industrie (Giessereien, Metallurgie, Lot, Legierungsbestandteil, Batterien), Schiessplätze, Verunreinigungen von Kohle, Erdöl u.a. Energieträgern, in Farbpigmenten, Klärschlamm, Kehrlichtverbrennung ohne moderne Rauchgasreinigung (Batterien) sowie die illegale Abfallverbrennung. Korrelation mit Mfz-Dichte und Strassenabstand.

#### Hauptaufnahmeefade beim Menschen

Luft, Nahrungsmittel, Medikamente.

#### Wirkungsmechanismus bei Pflanze und Mensch

Phytotoxisch, mässig humantoxisch, jedoch mit Akkumulationsgefahr. Blutbild, neurotoxische Wirkungen.

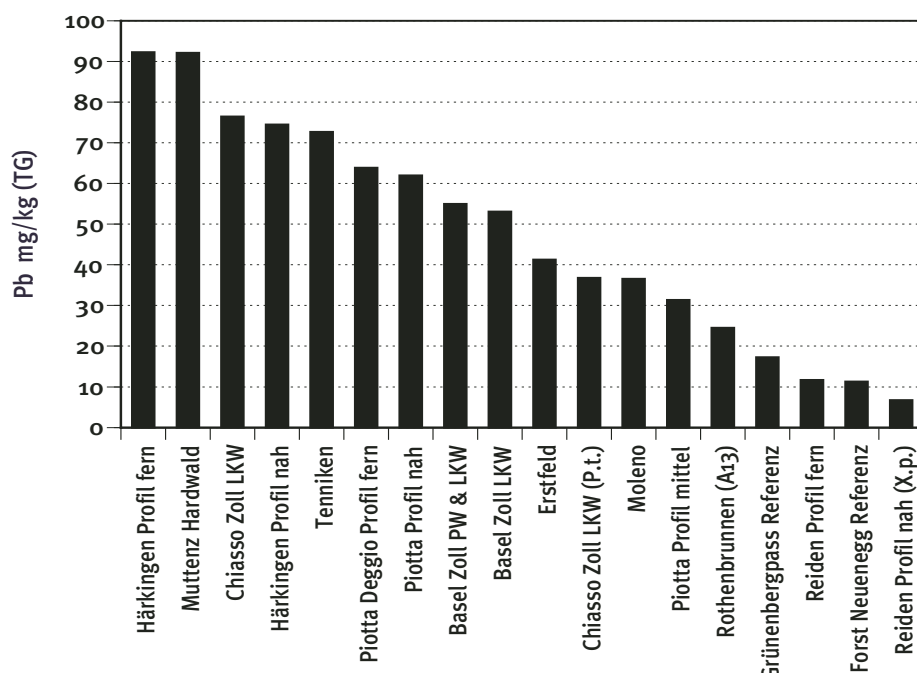
### Blei-Belastung der MfM-U Standorte von 2003

Die höchsten Bleiwerte wurden erwartungsgemäss an den Verkehrsstandorten MuttENZ Hardwald, Chiasso Zoll LKW und Härkingen Profil nah festgestellt (Abb. 8). Der absolute Höchstwert liegt jedoch in Härkingen Profil fern. Der hohe Wert ist vor allem auf eine erhöhte Probe zurückzuführen. Der Verdacht auf eine Punktquelle drängt sich hier auf. Die tiefsten Blei-Standortwerte wurden wiederum am Referenzstandort Forst Neuenegg, gefolgt von Reiden Profil fern festgestellt. Für Blei liegt ein Belastungsgradient von 8 vor.

Blei eignet sich aufgrund unserer Quellenanalysen als zuverlässiger Verkehrstracer und weist besonders auf den Schwerverkehr hin.

**Abb. 8 Blei-Belastung der MfM-U Standorte von 2003.**

Der maximale Mittelwert in Härkingen fern, zusammen mit MuttENZ Hardwald liegt um ein Achtfaches über dem tiefsten Mittelwert am Hintergrundstandort Forst Neuenegg.



## Gesamtschwefel (S-total)

### Allgemeine Grundlagen nach Literatur

#### Hauptemittenten und Quellen

Hauptsächlich bei der Verbrennung schwefelhaltiger Energieträger ( $\text{SO}_2$ ). Schwefel wird aber auch von Dieselmotoren (derzeit 350mg/kg) emittiert und ist in relevanten Konzentrationen in heutigen Bremsbelägen sowie als Vulkanisationsadditiv in Autoreifen enthalten.

Korrelation mit Mfz-Dichte und Strassenabstand.

#### Hauptaufnahmeptide beim Menschen

Vor allem Luft, Nahrungsmittel.

#### Wirkungsmechanismus bei Pflanze und Mensch

Makroelement der Pflanzenernährung in geringen bis mittleren Konzentrationen, mässig phytotoxisch in stark erhöhten Konzentrationen. Starke Humantoxizität, besonders für Atemwegserkrankungen.

### Gesamtschwefel-Belastung der MfM-U Standorte von 2003

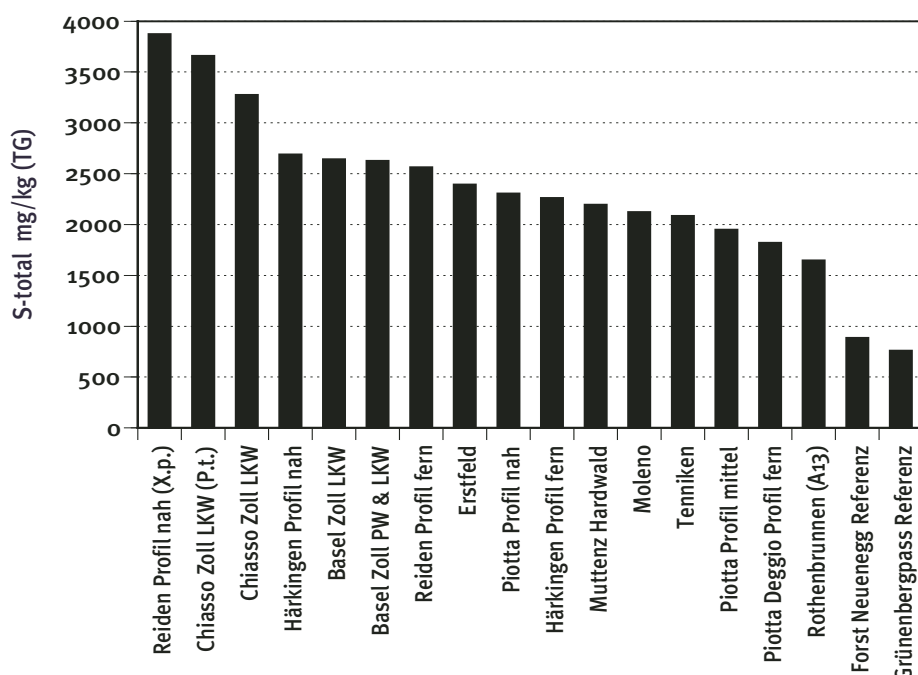
Die höchsten Standortwerte von Gesamtschwefel wurden an den Standorten Chiasso Zoll LKW, Härkingen Profil nah sowie den beiden Basler Zollstandorten festgestellt (Abb. 9).

Die mit Abstand tiefste Gesamtschwefel-Belastung zeigt sich am Referenzstandort Forst Neuenegg, gefolgt von Rothenbrunnen (A13). Der Belastungsgradient von 3.7 ist deutlich.

Gesamtschwefel eignet sich aufgrund unserer Quellenanalysen als zuverläss-

**Abb. 9 Belastung von Gesamtschwefel der MfM-U Standorte von 2003.**

Der maximale Mittelwert am Standort Chiasso Zoll LKW liegt um ein knapp Vierfaches über dem tiefsten Mittelwert am Hintergrundstandort Forst Neuenegg.



### 5.4.2 PAKs im Standortvergleich

Ebenfalls im exemplarischen Sinne stellt dieses Kapitel eine Auswahl der aussagekräftigsten, verkehrsrelevanten PAKs mit ihren Standortmittelwerten vor. Diese Zusammenstellung integriert auch die Grundlagen zu den Stoffeigenschaften und Hauptemissionsquellen aus Kapitel 3.4.2.

**Die Darstellung aller hier nicht gezeigten PAKs findet sich ebenfalls im Anhang, Kapitel 10.2, Seiten 221-226.**

### Belastungssumme der 9 mutagenen und kanzerogenen PAKs

Neun der 27 analysierten PAKs weisen erwiesenermassen sowohl eine mutagene als auch kanzerogene Wirkung auf und werden deshalb zur Belastungssumme der 9 mutagenen und kanzerogenen PAKs zusammengefasst.

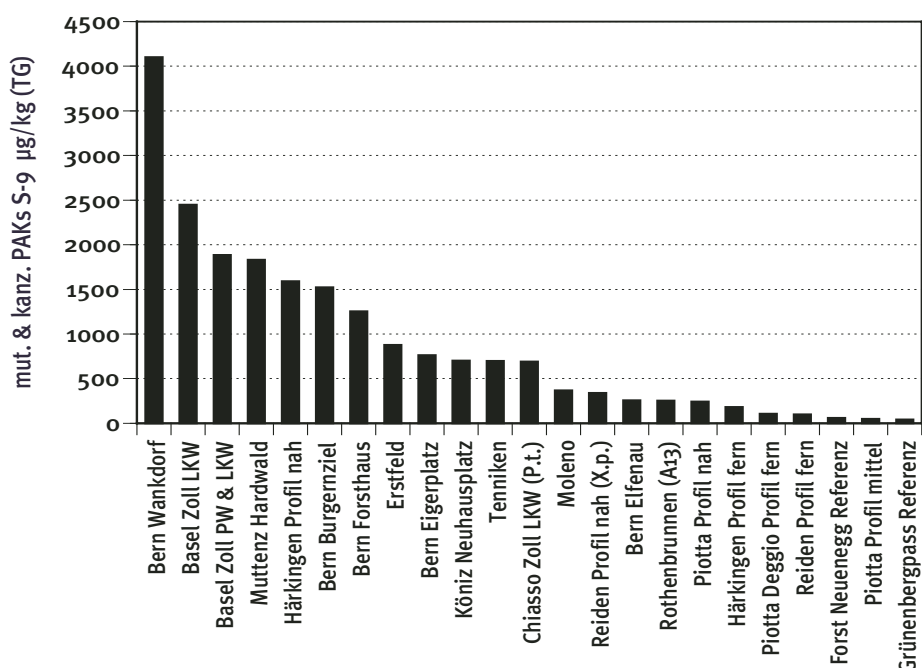
Dabei handelt es sich um die folgenden 9 Einzelsubstanzen: *Benz(a)anthracen*, *Benzo(a)pyren*, *Benzo(b)fluoranthren*, *Benzo(c)phenanthren*, *Benzo(k)fluoranthren*, *Benzo(b,k)fluoranthren*, *Chrysen*, *Dibenzo(a,h)pyren* und *Dibenz(a,h)anthracen*. Diese Grösse erlaubt einen toxikologisch gestützten Standortvergleich bezüglich der mutagen und kanzerogen wirkenden PAK-Belastung.

Der mit Abstand höchste Standortmittelwert liegt am Stadtberner Verkehrsstandort Wankdorf (Abb. 10). Die nächstfolgenden hohen Belastungssummen der 9 muta- und kanzerogenen PAKs zeigen sich an den stark frequentierten Verkehrsstandorten Basel Zoll LKW, Basel Zoll PW & LKW, MuttENZ Hardwald, Härkingen Profil nah, Bern Burgernziel und Bern Forsthaus. Die tiefste Belastungssumme wurde am Standort Piotta 9a Profil mittel festgestellt, gefolgt vom Referenzstandort Forst Neuenegg und dem subalpinen Grünenbergpass (BE).

Mit einem Faktor von 68 liegt für die Belastungssumme der 9 mutagenen und kanzerogenen PAKs der grösste Belastungsgradient aller vier Summenparameter vor. Die Belastungssumme der 9 mutagenen und kanzerogenen PAKs eignet sich aufgrund unserer Quellenanalysen als zuverlässiger Verkehrstracer und weist besonders auf den Schwerverkehrsanteil hin.

**Abb. 10 Belastungssumme der 9 mutagenen und kanzerogenen PAKs der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003.**

Der weitaus höchste Summenwert mutagener und kanzerogener PAKs wurde beim Standort Bern Wankdorf gemessen, die tiefsten an den Standorten Forst Neuenegg und Piotta Profil mittel. Es liegt mit einem Faktor von 68 ein sehr hoher Belastungsgradient vor.





## Indeno(123-c,d)pyren

### Allgemeine Grundlagen nach Literatur

#### Hauptemittenten und Quellen

Freisetzung durch Abgase von Verbrennungsmotoren und Heizanlagen. Kokereien, anode Schmelzwerke. Keine Verwendung im technischen Massstab. Korrelation mit Mfz-Dichte und Strassenabstand.

#### Hauptaufnahmeptide beim Menschen

Massgeblich sind Luft und Nahrungsmittel.

#### Wirkungsmechanismus bei Pflanze und Mensch

Kanzerogen.

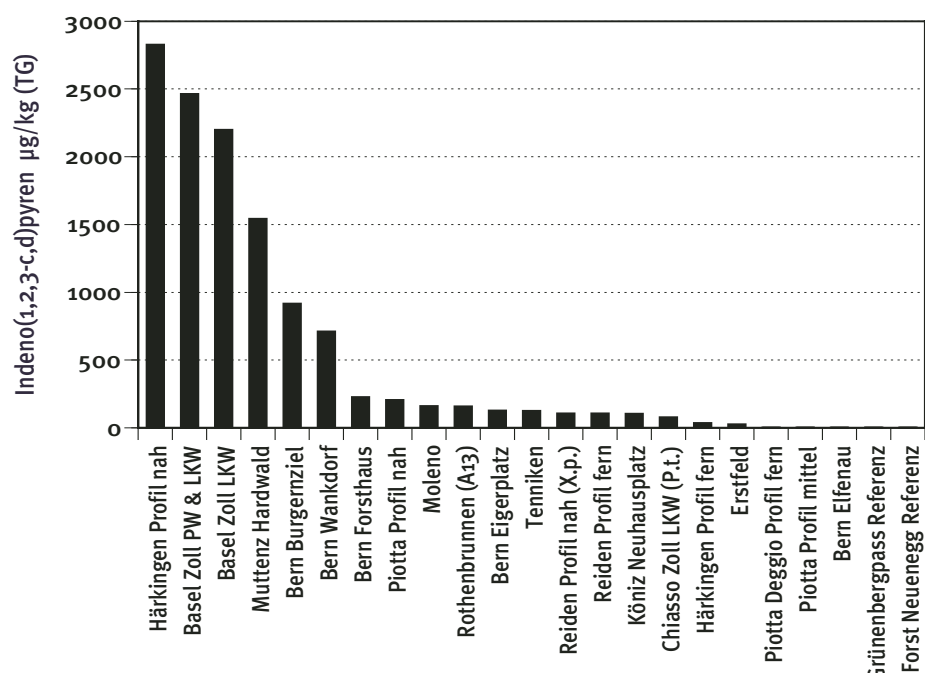
### Indeno(123-c,d)pyren-Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003

Der höchste Standortwert von Indeno(123-c,d)pyren liegt am Verkehrsstandort Härkingen Profil nah vor (Abb. 11). Auch die beiden Basler Zoll Standorte zeigen sehr hohe Werte, gefolgt auf tieferem Niveau von MuttENZ Hardwald, Bern Burgernziel und Bern Wankdorf. Die tiefsten Standortwerte (Nachweisgrenze) liegen beim Referenzstandort Forst Neuenegg, gefolgt in Bern Elfenau, Piotta Profil mittel und Piotta Deggio Profil fern vor.

Für Indeno(123-c,d)pyren zeigt sich ein extrem grosser Unterschied zwischen dem stärkst belasteten Standort Härkingen Profil-nah und dem Referenzstandort Forst Neuenegg.

**Indeno(123-c,d)pyren weist mit 565 den mit Abstand grössten je festgestellten Belastungsgradienten auf.**

Indeno(123-c,d)pyren eignet sich aufgrund unserer Quellenanalysen als zuverlässiger Verkehrstracer und weist besonders auf den Schwerverkehr hin.



**Abb. 11 Indeno(123-c,d)pyren-Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003.**

Zwischen Härkingen Profil nah mit maximalem Mittelwert und dem tiefst belasteten Hintergrundstandort Forst Neuenegg liegt mit einem Faktor von 565 der grösste je festgestellte Belastungsgradient vor.



## Benzo(b)fluoranthen

### Allgemeine Grundlagen nach Literatur

#### Hauptemittenten und Quellen

Freisetzung durch Abgase von Verbrennungsmotoren und Heizanlagen. Kokereien, anode Schmelzwerke. Keine Verwendung im technischen Massstab. Korrelation mit Mfz-Dichte und Strassenabstand.

#### Hauptaufnahmeefade beim Menschen

Massgeblich sind Luft und Nahrungsmittel.

#### Wirkungsmechanismus bei Pflanze und Mensch

Kanzerogen und mutagen.

### Benzo(b)fluoranthen-Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003

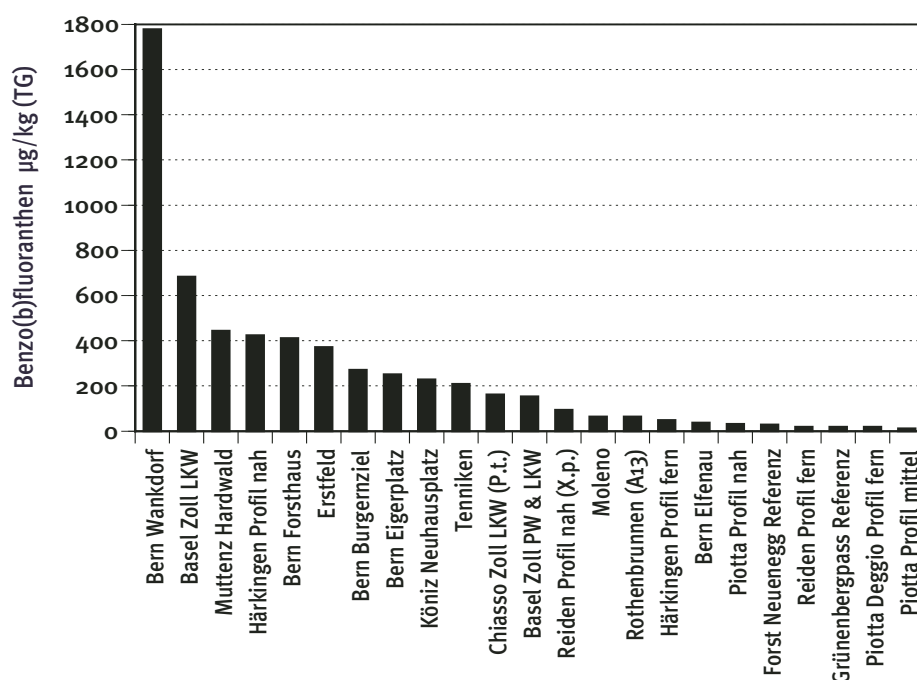
Der überaus höchste Benzo(b)fluoranthen-Standortwert wurde in Bern Wankdorf festgestellt (Abb. 12). Auf viel tieferem Niveau folgen Basel Zoll LKW, Muttentz Hardwald, Härkingen Profil nah, Bern Forsthaus und Erstfeld.

Die tiefsten Standortwerte fanden sich in Piotta Profil mittel, gefolgt von Piotta Deggio Profil fern, Reiden Profil fern und dem Referenzstandort Forst Neuenegg.

Benzo(b)fluoranthen zeigt einen sehr starken Belastungsgradient von 139 und erweist sich aufgrund unserer Quellenanalysen als geeigneter Tracer für den Motorfahrzeugverkehr, insbesondere für den schweren Güterverkehr.

**Abb. 12 Benzo(b)fluoranthen - Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003.**

Für Benzo(b)fluoranthen liegt zwischen maximalem Mittelwert am Standort Bern Wankdorf und dem geringst belasteten Standort Piotta Profil mittel ein sehr starker Belastungsgradient von 139 vor.



## Chrysen

### Allgemeine Grundlagen nach Literatur

#### Hauptemittenten und Quellen

Emission von Motorfahrzeugen. Kockereien, anodische Schmelzwerke. In geringen Mengen für UV-Filter, Sensibilatoren und Farbstoffe verwendet.  
Korrelation mit Mfz-Dichte und Strassenabstand.

#### Hauptaufnahmeptide beim Menschen

Massgeblich sind Luft und Nahrungsmittel.

#### Wirkungsmechanismus bei Pflanze und Mensch

Kanzerogen und mutagen.

### Chrysen-Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003

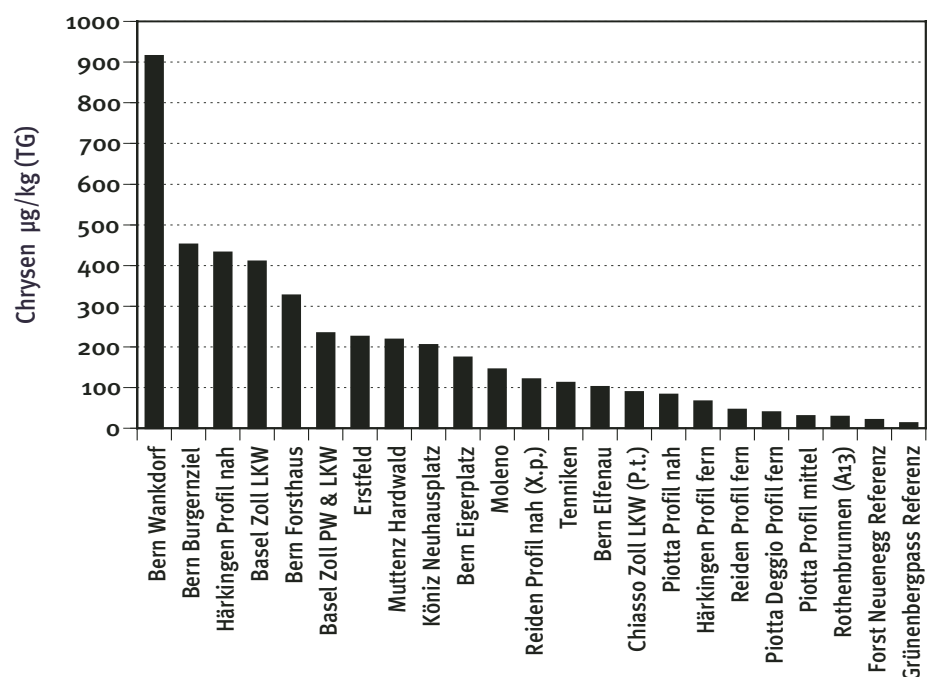
Der mit Abstand höchste Chrysen-Standortwert befindet sich in Bern Wankdorf (Abb. 13). Hohe Belastungswerte zeigen sich auch an den Standorten Bern Burgernziel, Härkingen Profil nah und Basel Zoll LKW.

Die tiefsten Chrysen-Werte zeigen sich am Referenzstandort Forst Neuenegg, gefolgt von Rothenbrunnen (A13), Piotta Profil mittel, Piotta Deggio Profil fern und Reiden Profil fern.

Chrysen weist mit einem Faktor von 45 einen mittelstarken Belastungsgradienten auf und eignet sich aufgrund unserer Quellenanalysen als zuverlässiger Tracer für den dieselbetriebenen Schwerverkehr.

**Abb. 13 Chrysen - Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003.**

Der maximale Mittelwert am Standort Bern Wankdorf liegt um ein Fünfundvierzigfaches über dem tiefsten Mittelwert des Hintergrundstandortes Forst Neuenegg.



## Benzo(a)pyren

### Allgemeine Grundlagen nach Literatur

#### Hauptemittenten und Quellen

Ubiquitär. Freisetzung durch Abgase von Verbrennungsmotoren und Heizanlagen. Kockereien, anode Schmelzwerke. Keine Verwendung im technischen Masstab. Korrelation mit Mfz-Dichte und Strassenabstand.

#### Hauptaufnahmeefade beim Menschen

Massgeblich sind Luft und Nahrungsmittel.

#### Wirkungsmechanismus bei Pflanze und Mensch

Kanzerogen und mutagen.

### Benzo(a)pyren-Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003

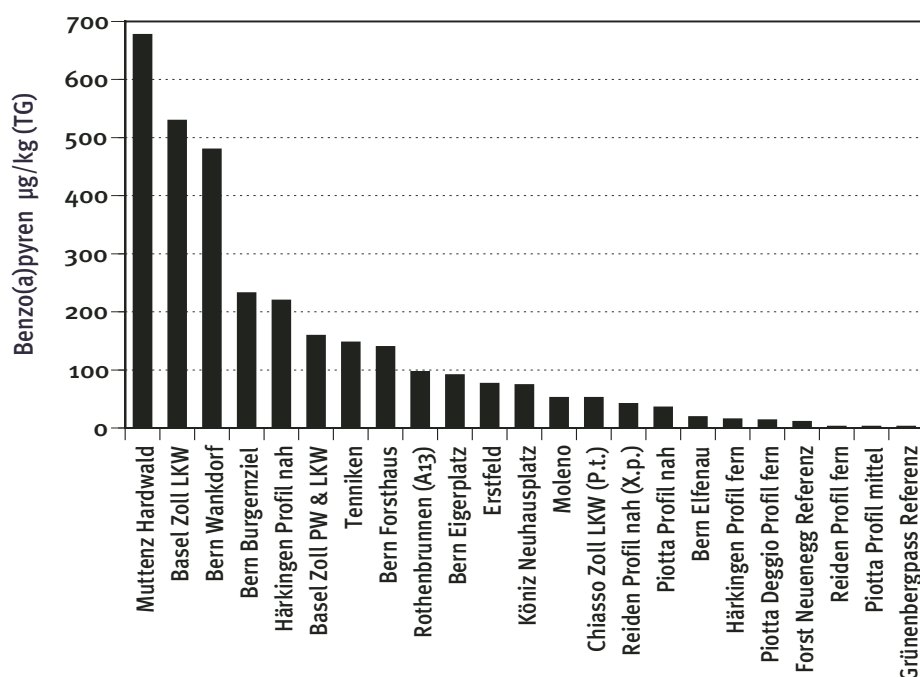
Die drei höchsten Standortwerte von Benzo(a)pyren wurden an den Verkehrsstandorten Muttentz Hardwald, Basel Zoll LKW und Bern Wankdorf festgestellt (Abb. 14). An diesen Standorten liegt auch ein überdurchschnittlicher Schwer- und Güterverkehr vor.

Die tiefsten Standortwerte zeigen sich in Piotta Profil mittel und Reiden Profil fern (Nachweisgrenze), sowie am Referenzstandort Forst Neuenegg, Piotta Deggio Profil fern und Härkingen Profil fern. Mit einem Faktor von 63 liegt ein sehr starker Belastungsgradient vor.

Benzo(a)pyren eignet sich aufgrund unserer Quellenanalysen als sehr guter Tracer für dieselbetriebene Motorfahrzeuge.

**Abb. 14 Benzo(a)pyren-Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003.**

Zwischen Muttentz Hardwald mit maximalem Mittelwert und dem Hintergrundstandort Forst Neuenegg liegt mit einem Faktor von 63 ein sehr deutlicher Belastungsgradient vor.



## Dibenzo(a,l)pyren

### Allgemeine Grundlagen nach Literatur

#### Hauptemittenten und Quellen

Freisetzung durch Abgase von Verbrennungsmotoren und Heizanlagen.

#### Hauptaufnahmeptide beim Menschen

Massgeblich sind Luft und Nahrungsmittel.

#### Wirkungsmechanismus bei Pflanze und Mensch

Kanzerogene und mutagene Wirkung. Laut WHO-Studie 2003 belegen zwei Autoren für Dibenzo(a,l)pyren eine bis zu 100 mal höhere Toxizität als die bisher allgemein anerkannte Leitsubstanz Benzo(a)pyren.

### Dibenzo(a,l)pyren-Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003

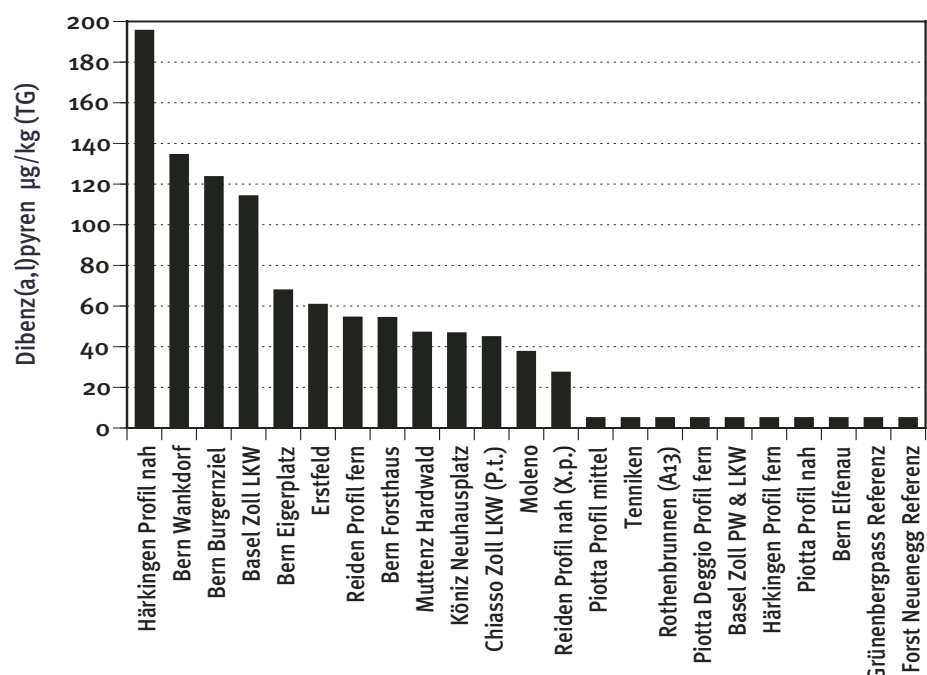
Für Dibenzo(a,l)pyren wurde nur an 13 der 23 Standorte ein Messwert erzielt (Abb. 15). Dibenzo(a,l)pyren zeigt seine maximalen Standortwerte ebenfalls an den stark frequentierten Verkehrstandorten in Härkingen Profil nah, gefolgt von Bern Wankdorf, Bern Burgernziel und Basel Zoll LKW. An 10 Standorten konnte kein Dibenzo(a,l)pyren gemessen werden (Nachweisgrenze), unter anderem am Referenzstandort Forst Neuenegg.

Mit einem Faktor von 19.5 liegt für Dibenzo(a,l)pyren ein immer noch deutlicher Belastungsgradient vor.

Dibenzo(a,l)pyren eignet sich aufgrund unserer Quellenanalysen als geeigneter Tracer für den «leichten Güterverkehr».

**Abb. 15 Dibenzo(a,l)pyren - Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003.**

Zwischen der Maximalbelastung am Standort Härkingen Profil nah und dem Hintergrundstandort Forst Neuenegg (minimaler Mittelwert) liegt mit einem Faktor von 19.5 ein deutlicher Belastungsgradient vor.



## **5.5      *Abhängigkeit der Schwermetall- und PAK-Belastung vom Motorfahrzeugverkehr***

In diesem und in den Kapiteln 5.6 und 6 werden die offensichtlichen Abhängigkeiten der in Flechtenproben gemessenen Einzelstoffbelastungen von toxischen Schwermetallen und Polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen PAKs von der Art und Menge des Motorfahrzeugverkehrs analysiert.

Dabei kommen in Subkapitel 5.5.1 deskriptive Analysenmethoden in Form von Schadstoff-Distanzprofilen zur Anwendung, welche die Distanzabhängigkeit der Einzelstoffkonzentration vom Autobahntrasse grafisch veranschaulicht.

Andererseits kommt in Kapitel 5.6 und 6 ein regressions- und varianz-analytischer statistischer Ansatz zum Einsatz, welcher im mehrdimensionalen Raum, Einzelstoffbelastungen von Schwermetallen und PAKs an den Untersuchungsstandorten mit entsprechenden Verkehrsdaten und dem Strassenabstand der Flechtenprobenahme, vergleicht.

Das Ziel dieser varianzanalytischen Analysen ist es, die verkehrsbedingten Belastungsanteile der verschiedenen Fahrzeugtypen (PW, Güterverkehr, Diesel- und Benzinmotoren) an der analysierten Einzelstoffbelastung abzuschätzen. Dabei von besonderer Bedeutung ist der Nachweis des schwerverkehrsbedingten Anteils, welcher mit diesem multivariaten statistischen Ansatz dank dem Einbezug von fahrzeugtypen-klassierten Verkehrsdaten, abgeschätzt werden kann.

Der Vergleich dieser wirkungsbezogenen statistischen Ergebnisse des MfM-U-Flechtenbiomonitorings mit anderweitig vorhandenen Emissionsmessungen von Motoren- und Fahrzeugtypen (Literaturdaten) sowie mit strassen- und fahrzeugklassen-bezogenen SWISS 10 Verkehrsdaten, erlauben es in Hauptkapitel 6, die best geeigneten Mfz-Tracer von Schwermetallen und PAKs für den Motorfahrzeugverkehr und insbesondere für den diesel-betriebenen Schwerverkehr zu extrahieren und für spätere Erfolgskontrolluntersuchungen im MfM-U nutzbar zu machen.

### **5.5.1 Distanzprofile zur Transitautobahn A2/13: Abhängigkeit der Schwermetall- und PAK-Belastung vom Strassenabstand**

In diesem Subkapitel werden mittels Distanzprofilen die offensichtliche Distanzabhängigkeit der in Flechtenproben gemessenen Einzelstoffbelastung von toxischen Schwermetallen und polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen PAKs vom Strassenabstand analysiert.

Dabei kommen deskriptive Analysenmethoden in Form von Schadstoffprofilen zur Anwendung, welche die Distanzabhängigkeit der Einzelstoffkonzentration vom Autobahntrasse und der Verkehrsmenge in Form von Verlaufsgrafiken veranschaulichen.

Der Nachweis einer eindeutigen Distanzabhängigkeit zu einer vermuteten Punkt- oder Linienquelle gilt seit Jahrzehnten als die erste notwendige Voraussetzung für den Nachweis einer Kausalität zwischen Emittent und in Umweltproben analysierten Belastungen von Spurensubstanzen.

Für die Stoffklasse der PAKs existieren von Nobel & Michenfelder (1986) solche Distanzprofile für ausgewählte PAKs an der Autobahn A8 in Süddeutschland, welche mittels Flechtenbiomonitoring realisiert wurden. Auch für eine Reihe von Schwermetallen ist aus skandinavischen und kanadischen Studien von Pilegaard (1979) und Nieboer, Richardson & Tomssini (1978) die Distanzabhängigkeit der Elementbelastung von Zinkschmelzwerken klar nachgewiesen.

Seit den Achtzigerjahren und der Untersuchung von Regionen mit lufthygienisch noch nicht sanierten Kehrlichtverbrennungsanlagen und Stahlwerken, verfügen wir auch in der Schweiz und dem Fürstentum Liechtenstein über entsprechende Analysen, die diesen Sachverhalt klar betätigen (Herzig, Liebendörfer, Urech, 1985, Herzig et al. 1989, Herzig, 1993, AGB, 1994, 1999, 2001, 2002, 2005, 2005).

#### **Schadstoff-Distanzprofile zur Transitautobahn A2**

Im Rahmen der Standortevaluation 2003 entlang der Transitautobahnen A1 und A13 wurde nach geeigneten Standorten für die Etablierung solcher Schadstoffprofile gesucht. Dazu war es notwendig, dass wir quer zum Autobahntrasse von unmittelbarer Stassenähe bis einige hundert Metern ins Hinterland über die geeigneten Laubbäume für die Flechtenprobenahme vorfanden.

- ***Obschon solche naturgegebenen Situationen sehr selten sind, konnten entlang der Autobahn A2 in Härkingen, Reiden und Piotta-Quinto-Deggio solche Schadstoff-Distanzprofile realisiert werden.***

## Schadstoff-Distanzprofile in Härkingen-NABEL

Das in jeder Hinsicht am besten geeignete Distanzprofil konnte am Standort der NABEL-Messtation Härkingen an der A1 und A2 realisiert werden. Dieser Standort wurde bereits im Rahmen der nationalen POP-Studie 1995 erstmals beprobt für POP-Substanzen.

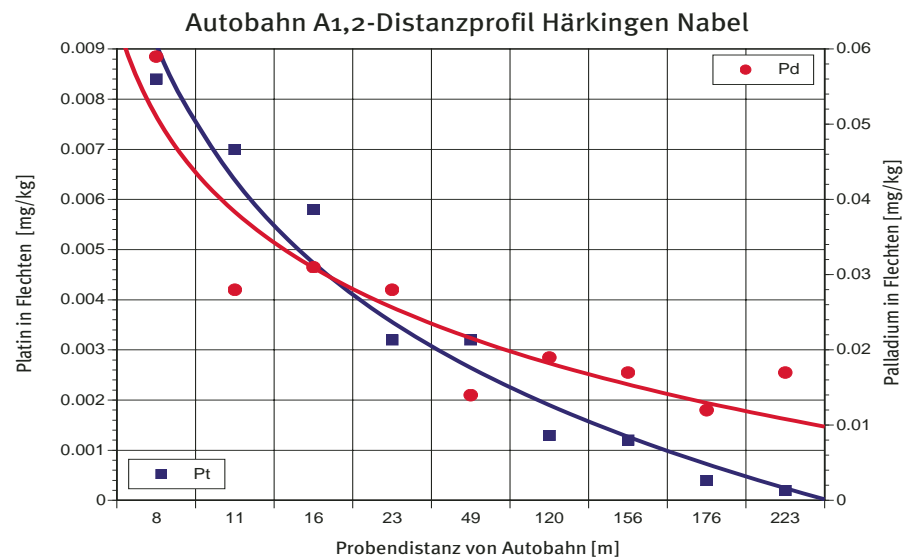
### Exemplarische Schadstoff-Distanzprofile zur A1,2 in Härkingen von Schwermetallen mit einer Bindung zum Mfz-Verkehr

Die beiden Edelmetalle Platin und Palladium, welche beide in Abgaskatalysatoren verwendet werden, zeigen eine auffallende Distanzabhängigkeit zum Motorfahrzeugverkehr (Abb. 16). In nur 50 m Distanz vom Autobahntrasse sinkt die Palladium- und Platinbelastung bereits um einen Faktor 4-6 und in 200m Distanz um einen Faktor 6-30.

Währenddem Platin das Katalysatormetall der ersten Generation von Autokatalysatoren ab 1986 darstellte und heute wegen seinem hohen Preis nur noch für Dieselmotorkatalysatoren verwendet wird, kommt das preisgünstigere Palladium heute bei allen neuen benzinbetriebenen PWs und leichteren Lieferfahrzeugen < 3.5t zum Einsatz.

**Abb. 16 Distanzprofil Härkingen für die beiden Katalysatormetalle Platin (Dieselfahrzeuge mit Partikelfilter) und Palladium (Benzinfahrzeuge).**

Es zeigt sich für beide Katalysatormetalle eine eindeutige und stetige Distanzabhängigkeit zur Autobahn A1, bzw. A2.



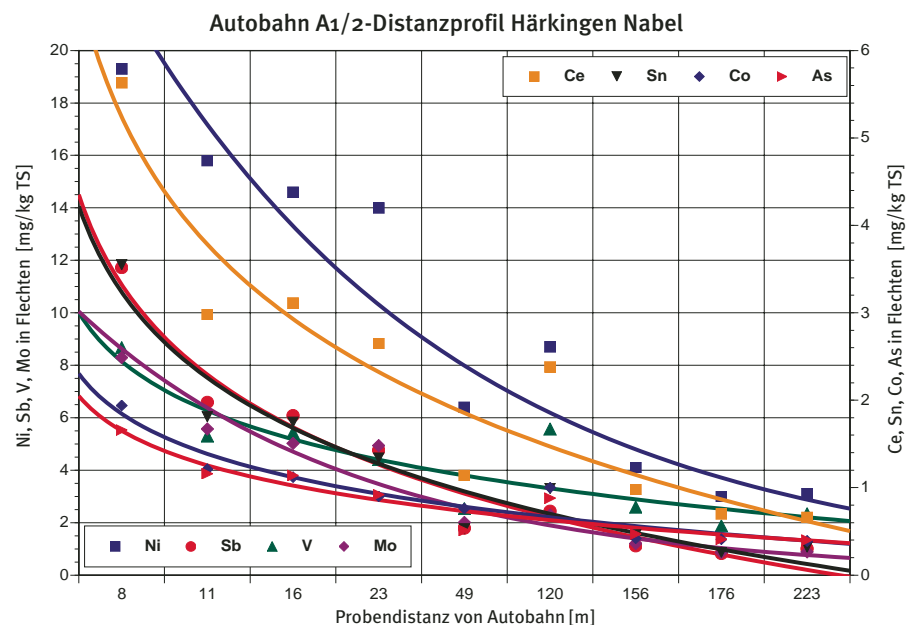
Dank dieser Trennung nach Fahrzeugtypen ist Palladium heute ein geeigneter Tracer für alle benzinbetriebenen Fahrzeuge, währenddem Platin in zunehmender Weise zum Tracer der dieselmotorkatalysierten Fahrzeuge mit Partikelfilter wird. Letztere erfordern aufgrund der wesentlich höheren Partikelmenge im Abgasstrom zwingend Platin als Katalysatormetall.

Mehrere weitere Schwermetalle, wie Chrom, Zink und Kupfer sowie die in Abbildung 17 gezeigten Metalle Nickel, Antimon, Vanadium, Molybdän, Zinn, Cobalt, Arsen und Cer zeigen ebenfalls eine deutliche Distanzabhängigkeit zur Linienquelle Motorfahrzeugverkehr.

All diese Schwermetalle werden bekannterweise als temperaturbeständige Additive von Bremsbelägen (Westlund 2001) und/oder korrosionsbeständige, gehärtete Motorenteile, wie Ventile, Kolben und Zylinderköpfe eingesetzt. Das Lanthanoid Cer schliesslich dient neuerdings als Additiv von neuartigen Partikelfiltern bei Dieselfahrzeugen als Katalysator bei der zyklischen Verbrennung des Russes im Partikelfilter.

**Abb. 17 Distanzprofil Härkingen für weitere mfz-verkehrsrelevante Schwermetalle.**

Eine Reihe weiterer Schwermetalle, welche im Fahrzeugbau als Legierungsmetalle und Additive von Bremsbelägen verwendet werden, wie Chrom, Zink und Kupfer sowie Nickel, Antimon, Vanadium, Molybdän, Zinn, Cobalt, Arsen und Cer, zeigen ebenfalls eine klare Distanzabhängigkeit zur Autobahn A1/A2.



### **Exemplarische Schadstoff-Distanzprofile zur A1/2 in Härkingen von PAKs mit einer starken Bindung zum Mfz-Verkehr**

Auch bei einer Vielzahl der analysierten Einzelsubstanzen von PAKs sowie deren Summenparameter zeigen sich sehr eindeutige Distanzabhängigkeiten zum Motorfahrzeugverkehr.

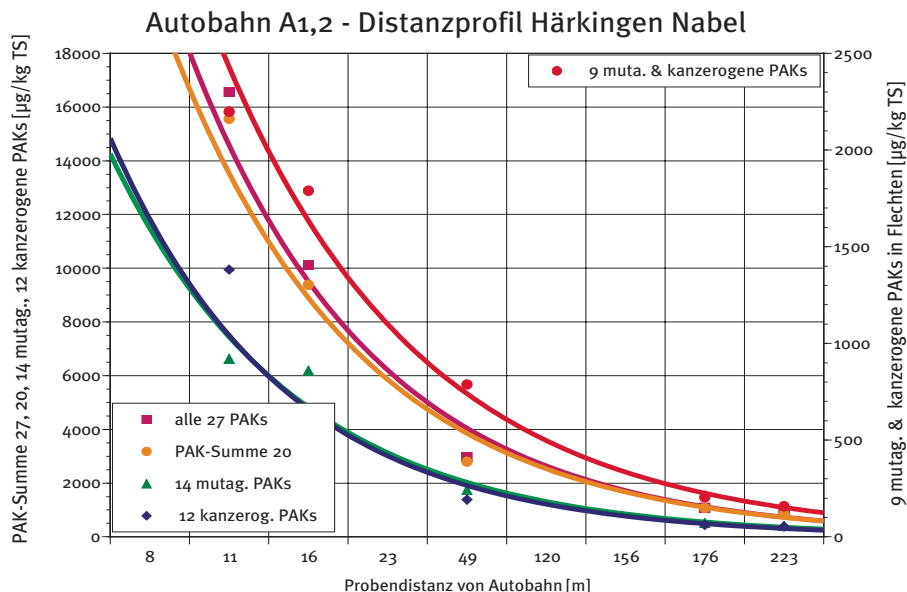
Diese klare Verkehrsabhängigkeiten zeigen sich sowohl für die PAK-Summenparameter (Abb. 18) wie auch für mehrere PAK-Einzelsubstanzen (Abb. 19-21).

Das Distanzprofil von Härkingen für mfz-verkehrsrelevante PAK-Summenparameter zeigt für alle fünf Summenparameter eine hochgradige Distanzabhängigkeit zur Autobahn A1, bzw. A2 mit Bestimmtheitsmassen der Regressionsanalyse von  $R^2 = 0.94-0.99$  (Abb. 18).



**Abb. 18 Distanzprofil Härkingen für mfz-verkehrsrelevante PAK-Summenparameter.**

Für alle fünf Summenparameter der PAK-Belastung zeigt sich in Härkingen eine hochgradige Distanzabhängigkeit zur Autobahn A1/2.

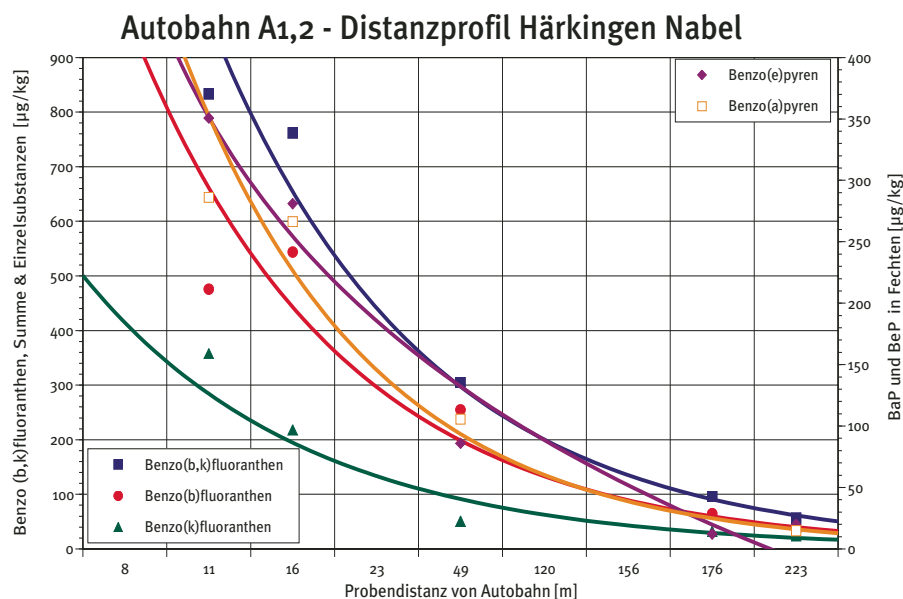


Dabei handelt es sich um alle 27 gemessenen PAKs, die PAK-Summe 20; identisch zur POP-Studie, die 14 mutagenen PAKs, die 12 kanzerogenen PAKs sowie die 9 sowohl mutagen wie auch kanzerogen wirkenden PAKs in Abb. 18.

Diese eindeutigen Verkehrsabhängigkeiten zeigen sich auch für mehrere mutagen, bzw. kanzerogen wirkende PAK-Einzelsubstanzen (Abb. 19), wie für Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen und der Summe Benzo(b,k)fluoranthen sowie für Benzo(e)pyren und Benzo(a)pyren. Benzo(a)pyren gilt heute noch in der toxikologischen Risikoforschung als eigentliche Leitsubstanz für durch PAKs verursachte kanzerogene und mutagene Erkrankungen.

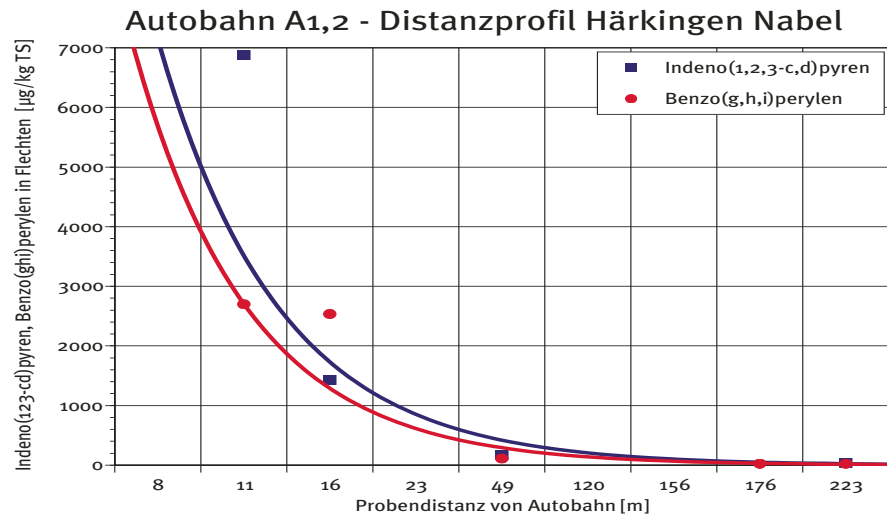
**Abb. 19 Distanzprofil Härkingen für mfz-verkehrsrelevante Einzel-PAKs.**

Für alle fünf PAK-Substanzen: Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen und der Summe Benzo(b,k)fluoranthen sowie für Benzo(e)pyren und Benzo(a)pyren zeigen sich in Härkingen hochgradige Distanzabhängigkeiten zur Autobahn A1/A2. Benzo(a)pyren, welches besonders von Dieselfahrzeugen emittiert wird, gilt auch heute noch als eigentliche Leitsubstanz für die toxikologische Risikoforschung für durch PAKs verursachte kanzerogene und mutagene Erkrankungen.



**Abb. 20 Distanzprofil Härkingen für mfz-verkehrsrelevante PAKs.**

Indeno(1,2,3-cd)pyren und Benzo(g,h,i)perylen, zwei Vertreter der kanzerogen bzw. mutagen wirkenden PAKs zeigen in Härkingen eine aussergewöhnlich starke Distanzabhängigkeit zur Autobahn.



Eine aussergewöhnlich starke Verkehrsabhängigkeit zeigt sich für die beiden kanzerogen, bzw. mutagen wirkenden PAKs Indeno(1,2,3-cd)pyren und Benzo(g,h,i)perylen (Abb. 20). In den ersten 50m Distanz vom Autobahntrasse sinken die Belastungswerte beider Einzel-PAKs bereits um einen Faktor 20-40.

Auch für weitere mutagen, bzw. kanzerogen wirkende PAKs wie Dibenzo(a,j)anthracen, Dibenz(a,l)pyren, Chrysen, Dibenzo(a,h)anthracen und Anthanthren zeigt sich diese Distanzabhängigkeit zum Mfz-Verkehr ebenfalls sehr deutlich (Abb. 21).

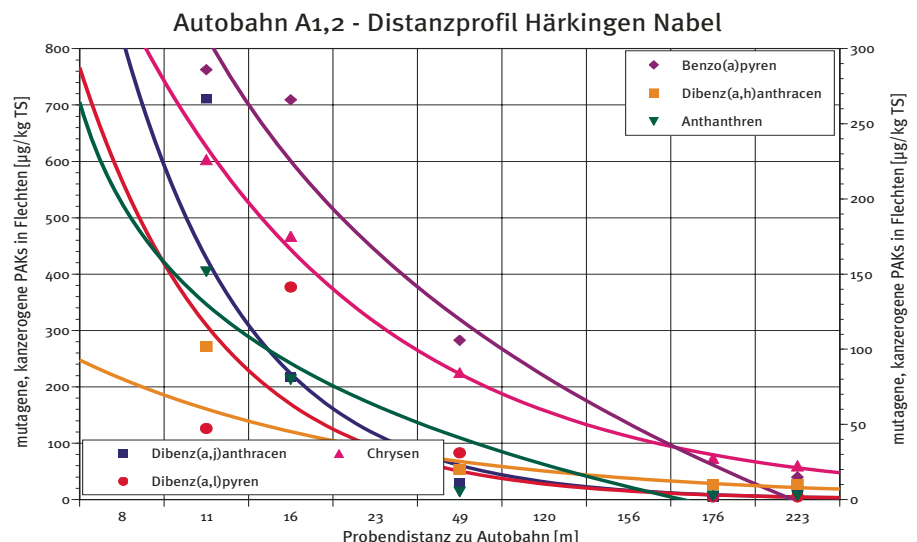
Die beiden in dieser Studie erstmals in Flechtenproben analysierten PAKs: **Dibenzo(a,j)-anthracen** und **Dibenzo(a,l)pyren**, gehören gemäss neuesten toxikologischen Befunden zu denjenigen PAKs mit einer stark erhöhten Toxizität, die gemäss der aktuellen WHO-Studie (2002) um einen Faktor 10-100 höher liegen als bei der Leitsubstanz Benzo(a)pyren, welche bisher stets mit dem höchsten relativen Toxizitätsfaktor von 1.0 definiert wurde.

Diese toxikologisch besonders bedenklichen Substanzen lassen sich in den Flechtenproben gut bestimmen und zeigen ebenfalls eine Abhängigkeit vom Motorfahrzeugverkehr.

**Abb. 21 Distanzprofil Härkingen für weitere mfz-verkehrsrelevante PAKs mit mutagener, bzw. kanzerogener Wirkung.**

Dibenzo(a,j)anthracen, Dibenz(a,l)pyren, Chrysen; linke Grafikachse und Benzo(a)pyren, Dibenzo(a,h)anthracen und Anthanthren; rechte Grafikachse, zeigen in Härkingen ebenfalls klare Distanzabhängigkeiten zur Autobahn A1/A2.

**Dibenzo(a,j)anthracen**, **Dibenzo(a,l)pyren** zählen zu den erstmalig in Flechtenproben analysierten PAKs mit einer stark erhöhten relativen Toxizität, die um einen Faktor 10-100 höher liegen als bei der bisherigen toxikologischen Leitsubstanz Benzo(a)pyren.



## Schadstoff-Distanzprofile zur A2 in Reiden

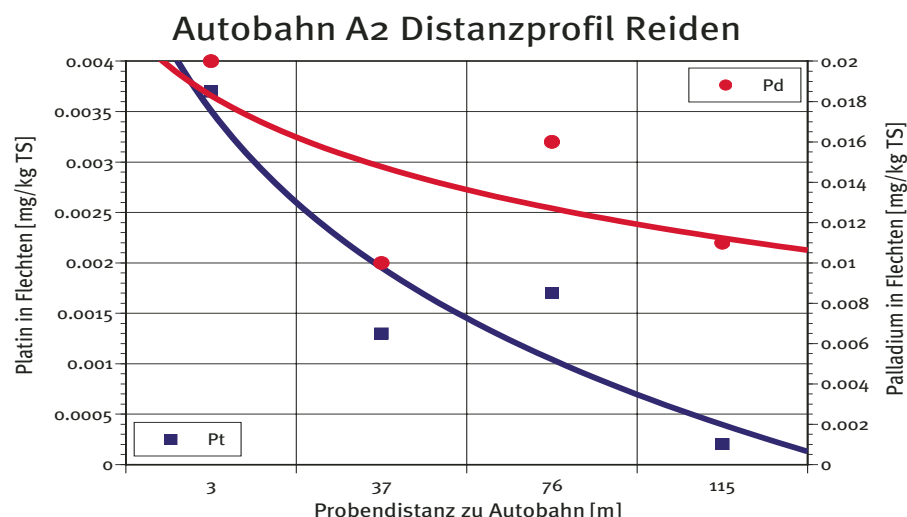
### Schwermetalle

In Reiden musste für das Distanzprofil neben der Biomonitoring-Leitart *Parmelia sulcata* auf eine zweite Blattflechtenart *Xanthoria parietina* ausgewichen werden, damit auch der unmittelbare Nahbereich um die MfM-U-Messtation der technischen Immissionsmessung untersucht werden konnte. Im exemplarischen Sinne werden im Folgenden nur die Ergebnisse im Nahbereich der Messtation mit der Flechtenart *Xanthoria parietina* dargestellt.

Die Abbildung 22 zeigt das Distanzprofil von Reiden für die beiden Katalysatormetalle Platin (Dieselfahrzeuge mit Partikelfilter) und Palladium (Benzinfahrzeuge) mit der Distanzabhängigkeit zur A2, welche aber weniger ausgeprägt ist als im stärker mfv-belasteten Härkingen.

**Abb. 22 Distanzprofil Reiden für die beiden Katalysatormetalle Platin (Dieselfahrzeuge mit Partikelfilter) und Palladium (Benzinfahrzeuge).**

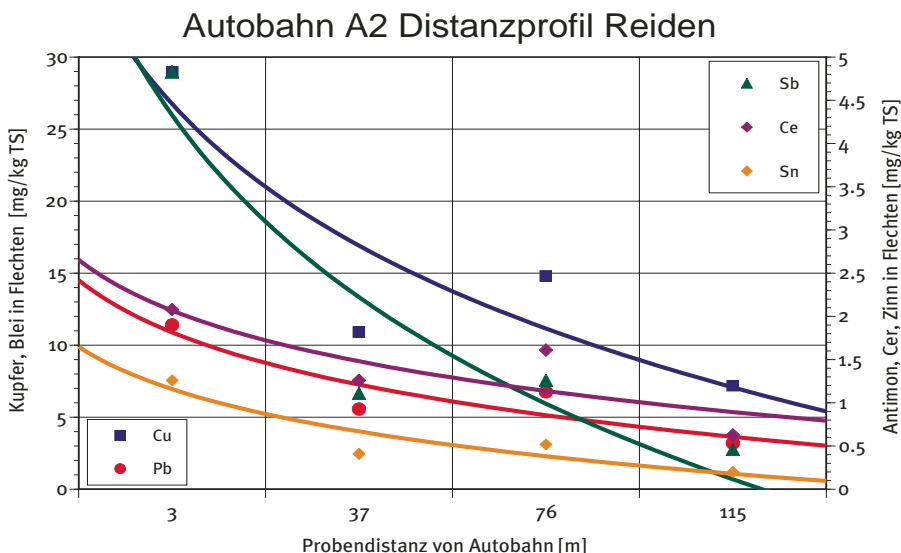
Es zeigt sich für beide Katalysatormetalle eine deutliche Distanzabhängigkeit zur Autobahn A2.



Ähnliche Verhältnisse mit einer deutlich ausgeprägten Distanzabhängigkeit zur Autobahn A2 zeigen sich auch für weitere Schwermetalle wie z. B. für Blei, Kupfer, Antimon, Cer und Zinn (Abb. 23). Wobei auch hier nicht die Belastungsstärken von Härkingen erreicht werden.

**Abb. 23 Distanzprofil Reiden für die Schwermetalle Kupfer, Blei, Antimon, Cer und Zinn.**

Antimon, das sich bisher in allen unseren verkehrsrelevanten Studien als einer der wichtigsten Verkehrstracer herausgestellt hat, zeigt auch in Reiden eine deutliche Distanzabhängigkeit. Auch Cer und Zinn zeigen eine leichtere Distanzabhängigkeit zum Mfv-Verkehr im Nahbereich der A2.



Eine recht deutliche Verkehrsabhängigkeit zu Autobahn A2 zeigt sich am Profilstandort Reiden auch für die PAK-Summenparameter (Abb. 24) sowie für mehrere PAK-Einzelsubstanzen (Abb. 25).

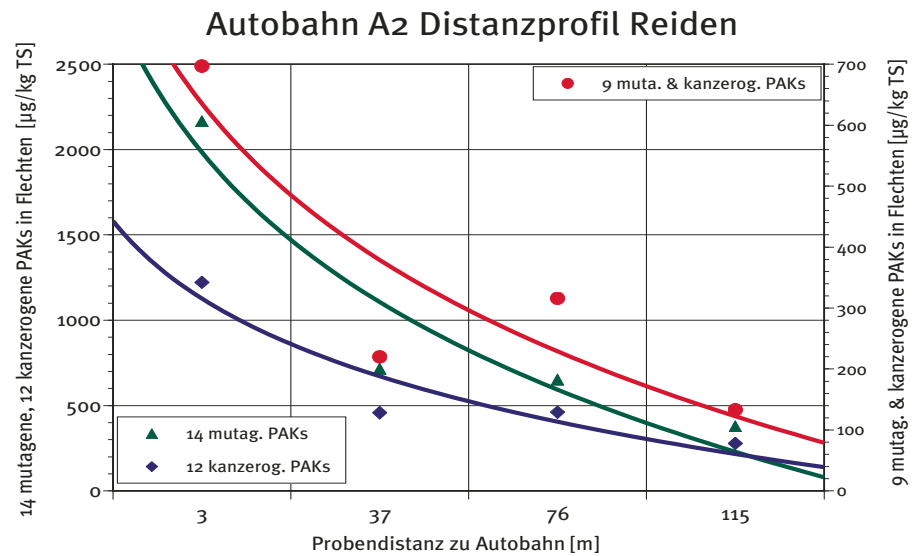
### Polyaromate PAKs

Das Distanzprofil von Reiden zeigt auch für die mutagenen und kanzerogenen PAKs eine deutliche Belastungsabnahme von einem Faktor 4-6 in den ersten 100m von der Autobahn A2. Die Bestimmtheitsmasse der Regressionsanalyse für die Kurvenfits betragen  $R^2 = 0.8-0.9$  (Abb. 24).

**Abb. 24 Distanzprofil Reiden für mfz-verkehrsrelevante PAK-Summenparameter.**

Für die Summenparameter von mutagen und kanzerogen wirkenden PAKs zeigt sich auch in Reiden eine deutliche Distanzabhängigkeit zur Autobahn A2. Allerdings erreichen die Belastungsstärken nicht das Ausmass von Härkingen.

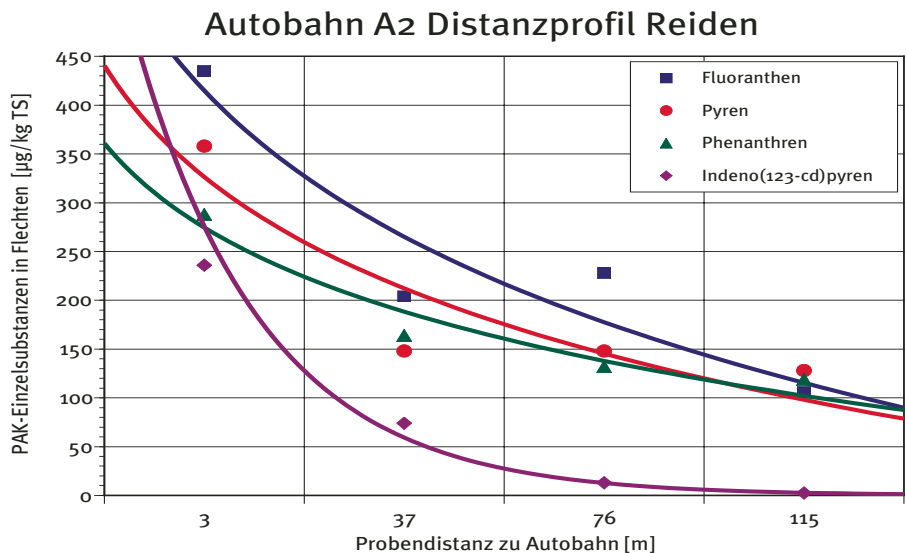
Entsprechend verhält sich in Reiden auch die mittlere tägliche Verkehrsbelastung (Werktagsverkehr; SWISS 10), welche für die Anteile der PWs und des leichten Güterverkehrs um einen Faktor 1.8 - 2.8 und für den schweren Güterverkehr um einen Faktor 1.5 geringer ausfällt als in Härkingen.



Am Profilstandort Reiden zeigen sich auch für weitere mutagen, bzw. kanzerogen wirkende PAK-Einzelsubstanzen recht deutliche Verkehrsabhängigkeiten wie für Fluoranthren, Pyren, Phenanthren und Indeno(1,2,3-cd)pyren (Abb. 25). Am Deutlichsten fällt diese Distanzabhängigkeit bei Indeno(1,2,3-cd)pyren aus, wo die Belastungsstärke in den ersten 50 m von der Autobahn bereits um einen Faktor 13 und in 100m Distanz um das 60-fache sinkt.

**Abb. 25 Distanzprofil Reiden für weitere mutagen, bzw. kanzerogen wirkende PAKs.**

Eine recht deutliche Distanzabhängigkeit zur Autobahn A2 zeigen in Reiden auch Fluoranthren, Pyren, Phenanthren und Indeno(1,2,3-cd)pyren. Für Letzteres sinkt die Belastung in den ersten 50 m von der Autobahn bereits um das 13-fache.



## Schadstoff-Distanzprofile zur A2 im Raum Piotta-Faido-Deggio (TI)

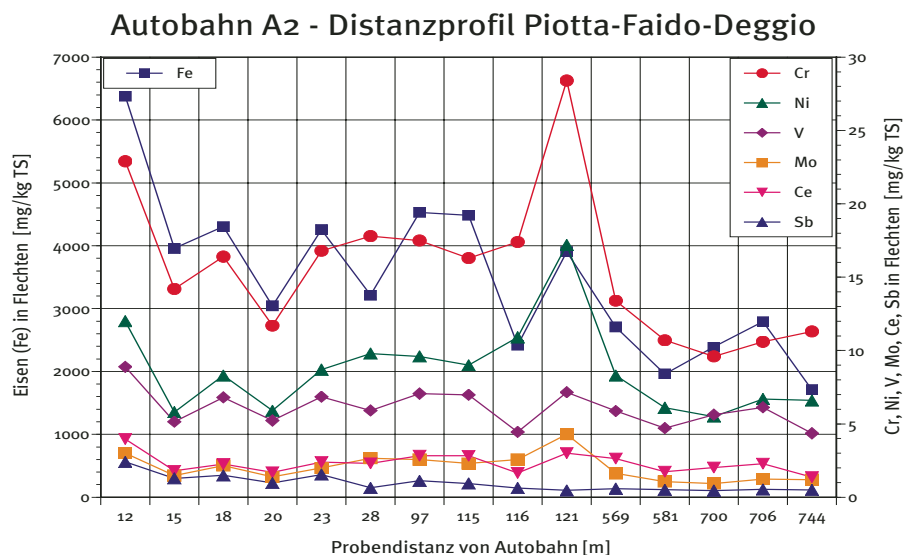
### Schwermetalle

Auf der Alpensüdseite der Transitautobahn A2 konnte im Raum Piotta-Faido-Deggio (TI) ein Horizontal- und Vertikalprofil, bestehend aus einem Nah-, Mittel- und Fernbereich zur A2 errichtet werden.

Die Abbildung 26 zeigt das Schadstoff-Distanzprofil von Piotta-Faido-Deggio für sieben ausgewählte verkehrsrelevante Schwermetalle. Im unmittelbaren Nahbereich der ersten 20m zur A2 zeigt sich erneut eine recht deutliche Distanzabhängigkeit, die jedoch bereits im Mittelbereich, welcher vom Fluss Ticino und einem Auenwaldsaum deutlich von der A2 getrennt ist, nicht mehr zu sehen ist. Für die Probe im Mittelbereich in 121m Distanz (PNR.121), welche direkt an einer viel befahrenen Bergstrasse liegt, ergeben sich deutlich erhöhte Belastungswerte, die aber insgesamt auf eine klare Verkehrsprägung der Schwermetalle Chrom, Nickel, Vanadium, Molybdän und Cer hinweisen. Alles Schwermetalle, die in Bremsbelägen, Motorenölen und hochlegierten Motorenteilen eingesetzt werden. Cer dagegen dient heute als Katalysatormetall in gewissen Modellen von Dieselpartikelfiltern.

**Abb. 26 Distanzprofil im Raum Piotta-Faido-Deggio für mfz-verkehrsrelevante Schwermetalle.**

Für alle sieben Schwermetalle zeigt sich im unmittelbaren Nahbereich der ersten 20m zur Autobahn A2 eine deutliche Distanzabhängigkeit, währenddem im Mittelbereich in Distanzen von 90-120m ein PKW-Parkplatz und eine Bergstrasse erwartungsgemäss zu erhöhten Belastungswerten führen.



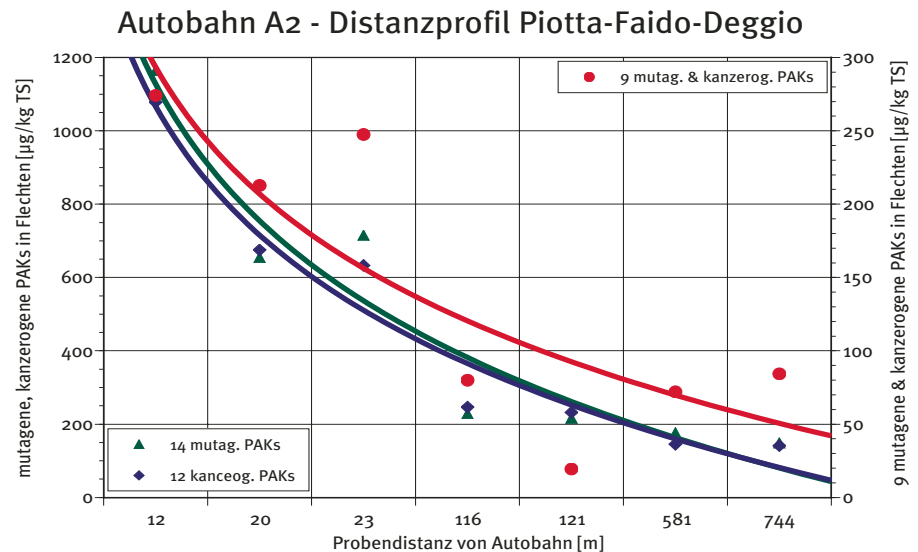
### Polyaromate PAKs

Die Abbildung 27 zeigt das Distanzprofil für die mutagenen und kanzerogenen PAK-Summenparameter. Hier zeigt sich eine wesentlich deutlichere Belastungsabnahme mit zunehmendem Strassenabstand als bei den Schwermetallen. Allerdings zeigen sich bei PAKs und einzelnen Schwermetallen auch Hinweise auf eine Fernverfrachtung von Luftschadstoffen (Hangwindssysteme) am ca. 300 m höher gelegenen Standort Deggio.



**Abb. 27 Distanzprofil von Piotta-Faido-Degio für mfz-verkehrsrelevante, mutagene und kanzerogene PAK-Summenparameter.**

Für die Summenparameter von mutagen und kanzerogen wirkenden PAKs zeigt sich auch in Piotta eine deutliche Distanzabhängigkeit zur Autobahn A2. Allerdings erreichen die Belastungsstärken bei Weitem nicht das Ausmass von Härkingen.

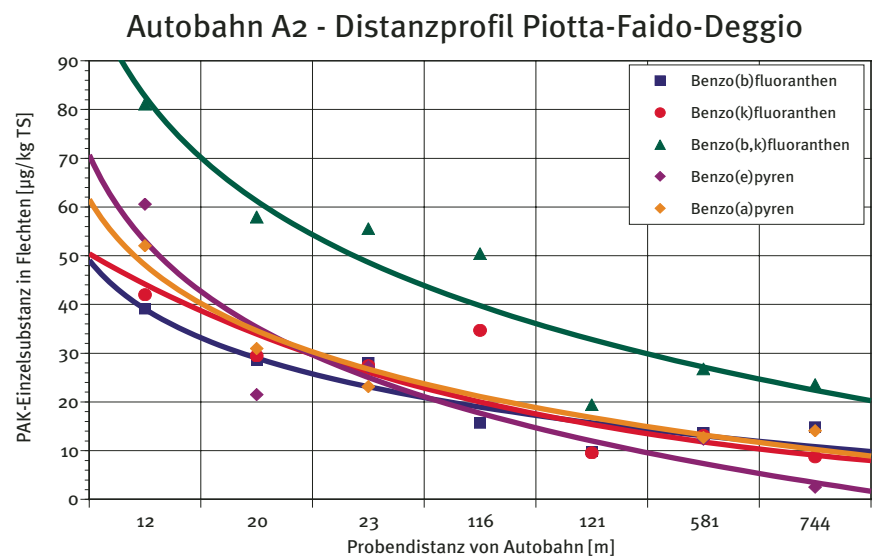


Auch für die fünf mutagen, bzw. kanzerogen wirkenden PAKs: Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Benzo(b,k)fluoranthen, Benzo(e)pyren und Benzo(a)pyren von Abbildung 28 bestätigt das Distanzprofil von Piotta-Faido-Degio die bereits festgestellte Distanzabhängigkeit zur Autobahn A2.

**Abb. 28 Distanzprofil von Piotta-Faido-Degio für mfz-verkehrsrelevante Einzel-PAKs.**

Auch die fünf mutagen, bzw. kanzerogen wirkenden PAKs: Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Benzo(b,k)fluoranthen, Benzo(e)pyren und Benzo(a)pyren zeigen die bereits festgestellte Distanzabhängigkeit zur Autobahn A2. Allerdings erreichen auch hier die Belastungsstärken bei Weitem nicht die Werte von Härkingen.

Entsprechend geringer fällt in Piotta auch die mittlere tägliche Verkehrsbelastung (Werktagsverkehr; SWISS 10) aus, welche für den PW-Anteil um einen Faktor 4.8, für den schweren Güterverkehr um einen Faktor 2.7 und für den «leichten Güterverkehr» um einen Faktor 11.5 geringer ausfällt als in Härkingen.



Allerdings erreichen auch hier die Belastungsstärken bei Weitem nicht die Werte von Härkingen, welches eine wesentlich stärkere Verkehrsbelastung aufweist.

Der Untersuchungsstandort Härkingen-NABEL, bzw. sein Verkehrsmessstandort «060-Gunzgen (A1)» weist nämlich bezogen auf den Werktagsverkehr (Mo-Fr. 0-24 h) der SWISS 10 Daten einen 4.8 mal höheren Belastungsanteil an PWs, einen 2.7 mal höheren Schwerverkehrsanteil sowie einen 11.5 mal höheren Anteil am «leichten Güterverkehr» auf, als an der Verkehrsmessstelle «150-Gotthardtunnel», welcher auch für Piotta repräsentativ ist.

## Kombiniertes Schadstoff-Distanzprofil aller 27 PAKs zur Autobahn

Durch Kombination der Distanzprofile der drei Untersuchungsregionen Härkingen, Reiden und Piotta und der Hinzunahme von weiteren, geeigneten Standorten an der A2 in der Region Basel sowie der A6 in Bern, entstehen kombinierte Distanzprofile, welche die Schadstoffabhängigkeit vom Mfz-Verkehr und den Verkehrsmengen noch deutlicher aufzeigen können.

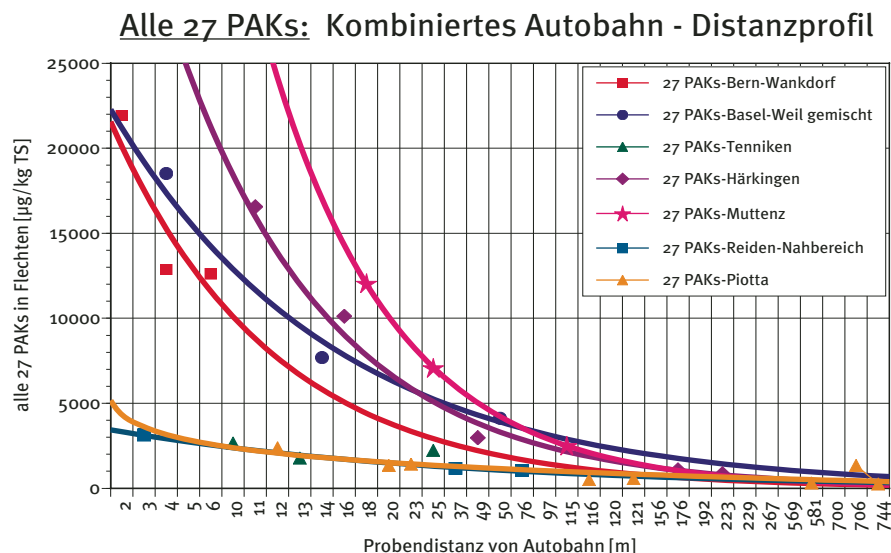
Im exemplarischen Sinne zeigt Abbildung 29 dieses kombinierte Schadstoff-Distanzprofil für die Summenparameter aller 27 analysierten PAKs mit der Kurvenlinienschar der neun geeigneten Untersuchungsstandorte: Bern-Wankdorf A6, Basel-Weil Zoll A2, Tenniken A2, Muttenez MfM-U A2, Härkingen-NABEL A1/2, Reiden MfM-U A2 und Piotta A2.

**Abb. 29 kombiniertes Distanzprofil aller 27 PAK-Substanzen.**

Die mit Abstand höchste Summenbelastung aller 27 analysierten PAKs wurde am Standort Bern-Wankdorf an der A6 gemessen. Dieser Standort gilt als Hauptzubringer der Stadt Bern und weist einen hohen LKW-Anteil auf.

Aber auch in Härkingen, Muttenez und Basel-Weil Zoll wurden hohe bis sehr hohe Summenwerte aller 27 PAKs gemessen.

Vergleichsweise gering fallen die entsprechenden Belastungswerte in Tenniken, Reiden und Piotta aus.



Die mit Abstand höchste Summenbelastung aller 27 PAKs von bis zu 20'000µg/kg in den Flechtenproben wurde am Standort Bern-Wankdorf an der A6 gemessen. Dieser Standort gilt als wichtiger Hauptzubringer der Stadt Bern und weist einen hohen LKW-Anteil und eine standörtlich gegebene eingeschränkte Durchlüftung auf.

Aber auch in Härkingen, Muttenez und Basel-Weil Zoll wurden hohe bis sehr hohe Summenwerte aller 27 PAKs gemessen. Vergleichsweise gering fallen die entsprechenden Belastungswerte in Tenniken, Reiden und Piotta aus und veranschaulichen in Abb. 29 die deutlich verschiedene Verkehrsbelastung an den Messstandorten.

### **Vergleich mit den Verkehrsmengen und Zusammensetzung**

Der Verlauf und die Steilheit der Kurvenlinienschar der untersuchten Standorte ergibt sich direkt aus der Verkehrsbelastung und dem Strassenabstand der Probenahme (Abb. 29).

Bezogen auf den Werktagsverkehr (Mo. - Fr. 0-24h) der SWISS 10 Verkehrsdaten von 2003 weist der Standort MuttENZ mit einem mittleren täglichen Werktagsverkehr DWV von 124'000 Fahrzeugen/Tag den Spitzenwert auf, gefolgt von Härkingen mit einem DWV von 75'600, Reiden von 40'000, Bern-Wankdorf von 34'600 und Piotta von 15'500.

Ähnlich verhalten sich auch die Anteile des schweren Güterverkehrs mit einem Spitzenwert von 10'800 Fahrzeugen/Tag in MuttENZ, 9'300 in Härkingen, 6'170 in Reiden und 3'400 in Piotta.

Diese augenfälligen Abhängigkeiten der Schwermetall- und PAK-Belastungen von der Verkehrsmenge und ihrer Zusammensetzung wird in den nachfolgenden Kapiteln 5.6 und 6 mit regressionsstatistischen und varianzanalytischen Analysenverfahren eingehend untersucht.

Dieser Vergleich der Luftbelastung von 44 Schwermetallen und PAKs des Flechtenbiomonitorings mit fahrzeugklassen-differenzierten Verkehrsdaten (SWISS10) in Hauptkapitel 6 hat zum Ziel, die **best geeigneten Mfz-Tracer von Schwermetallen und PAKs für den Motorfahrzeugverkehr und insbesondere für den dieselbetriebenen Schwerverkehr zu extrahieren** und für spätere Erfolgskontrolluntersuchungen im MfM-U nutzbar zu machen.



## **5.6 Regressions- und varianzanalytische Analyse der Abhängigkeit der Einzelstoffbelastung vom Mfz-Verkehr**

In diesem Kapitel werden die offensichtlichen Abhängigkeiten der in Flechtenproben gemessenen Einzelstoffbelastungen von toxischen Schwermetallen und Polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen PAKs von der Art und Menge des Motorfahrzeugverkehrs mit dem statistischen Ansatz der multivariaten Regressions- und Varianzanalyse untersucht.

### **5.6.1 Vorläufige Analysen mit gering auflösenden längenklassierten Daten (LVC) des Wochentagsverkehrs**

Vorläufige Analysen mit gering auflösenden längenklassierten Verkehrsdaten (LVC) mit dem Wochentagsverkehr (Mo-So) belegten bereits, dass der motorisierte Verkehr entlang der Transitstrecken eine dominante Rolle an der Belastung mit zahlreichen PAKs und Schwermetallen hat. Der Belastungsanteil des dieselbetriebenen Schwerverkehrs (Längenklassen >12.5m) erwies sich bei diesen vorläufigen Analysen für zahlreiche Einzel-PAKs und Schwermetalle als erheblich und liess sich varianzanalytisch grob beziffern.

### **5.6.2 Vertiefte Analysen mit feiner aufgelösten und nach Fahrzeugtypen getrennt erfassten Daten des Werktagsverkehrs der Schweizerischen Strassenverkehrszählung (Swiss10)**

Augrund dieser erfolgsversprechenden Ergebnisse hat das BAFU einer Projekterweiterung zugestimmt, mit der wesentlich feiner aufgelöste und nach Fahrzeugtypen getrennt erfasste Verkehrsdaten der Schweizerischen Strassenverkehrszählung (Swiss10) mit den Biomonitoringdaten verglichen werden konnten. Dazu wurde der sogenannte «Werktagsverkehrs» (Mo-Fr) verwendet, welcher aufgrund des schweizerischen Sonntagsfahrverbots den Anteil des schweren Güterverkehrs weit präziser erfasst, als der bei den Voranalysen verwendete undifferenzierte Wochentagsverkehr (Mo-So).

Auf der Basis dieser umfassenden multivariaten statistischen Feinanalyse und dem Einbezug von motorensseitigen Emissions- und Immissionsdaten sowie von toxikologischen Befunden aus der Literatur wurden nun aus dem grossen Kollektiv von 44 verschiedenen luftbürtigen PAKs, Schwermetallen und Gesamtschwefel die aussagekräftigsten Tracer zum Nachweis der Luftbelastung des motorisierten

Strassenverkehrs und, soweit möglich, sogar spezifisch für einzelne Fahrzeugkategorien, wie den schweren Güterverkehr ermittelt. Trotz der Verwendung feiner aufgelöster Swiss10 Daten sind wir uns möglicher kleinerer systembedingter Fehler bei der Verkehrskategorisierung durchaus bewusst.

Bei dieser Feinanalyse der mfz-relevanten Quellen hat sich deutlich gezeigt, dass heutzutage nebst der direkten Motoren-Emission auch hochvergütete Bremsbeläge, Motorenöle und z. T. sogar der Abrieb von Autopneus wesentlich zur Luftbelastung mit Schwermetallen und Schwefel beitragen.

Das Ergebnis dieser umfassenden Evaluation aller in Flechtenproben analysierten 44 Luftschadstoffe ist die in Kapitel 6 gezeigte und nach Fahrzeugtypen differenzierte Liste der 25 aussagekräftigsten Mfz-Verkehrstracern mit 15 spezifischen Tracern zum Nachweis der Umweltwirkung des schweren Güterverkehrs.

### 5.6.3 Der Ansatz der multiplen linearen Regressions und Varianzanalyse mit nach Fahrzeugtypen klassierten Verkehrsdaten SWISS 10 mit dem Werktagsverkehr

Das den Analysen zugrundeliegende statistische Modell geht von der Annahme aus, dass die Einzelstoffbelastung der Flechten ( $Y_i$ ; Estimate) mit Polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAKs), bzw. Schwermetallen (SM) als Linearkombination von den in Tab. 10 gezeigten vier Messgrössen  $x_{i1}$ ,  $x_{i2}$ ,  $x_{i3}$ ,  $x_{i4}$ : Schwerverkehrsanteil ( $SGV_{DWV}$ ), «leichter Güterverkehr» ( $LGV_{DWV}$ ), PW-Anteil ( $PW_{DWV}$ ), Probenahmedistanz zum Autobahntrasse (HDist) sowie einer allgemeinen Fehlervariable  $e_i$  (unerklärter Anteil Varianz) berechnet werden kann.

**Tab 10 Modellansatz der multiplen linearen Regressionsanalyse zur Berechnung der Abhängigkeit der PAK- und Schwermetallbelastung in Flechtenproben von den verschiedenen Kategorien des Mfz-Verkehrs und der Strassendistanz.**

#### **Ansatz der multiplen linearen Regression und Varianzanalyse mit Fahrzeugtypen-klassierten Verkehrsdaten SWISS 10 mit dem Werktagsverkehr (DWV24; Mo-Fr 0-24h)**

$$PAK = \beta_1(SGV_{DWV}) + \beta_2(LGV_{DWV}) + \beta_3(PW_{DWV}) + \beta_4(HDIST) + e_i$$

$$SM = \beta_1(SGV_{DWV}) + \beta_2(LGV_{DWV}) + \beta_3(PW_{DWV}) + \beta_4(HDIST) + e_i$$

SM, PAK = Estimate: Schwermetall-, bzw. PAK-Wert in Flechtenprobe

$SGV_{DWV}$  = Schwerverkehrsanteil (Swiss10-Klassen 8, 9, 10)

$LGV_{DWV}$  = «leichter Güterverkehr»: (Swiss10-Klassen K5, 6, 7)

$PW_{DWV}$  = PW-Anteil (Swiss10-Klassen K3, 4, ohne 1, 2)

HDist = Hauptdistanz zu Autobahntrasse

$e_i$  = Fehlervariable; unerklärter Anteil Varianz

Die Beurteilung der Güte der Regressionsbeziehungen erfolgt mit den üblichen statistischen Kenngrößen wie Globalhypothesen, Partialhypothesen,  $R^2$ . Letzteres gibt die Güte der multiplen Korrelation an, d.h. wieviel Varianzanteile (%) der in den Flechtenproben gemessenen Schadstoffbelastung alleine von den vier unabhängigen Verkehrsvariablen erklärt werden kann.

Mit Hilfe der Varianzanalyse kann für jeden Schadstoff zusätzlich der Belastungsanteil der vier Verkehrsvariablen [Schwerverkehrsanteil ( $SGV_{DWV}$ ), leichter Güterverkehr ( $LGV_{DWV}$ ), PW-Anteil ( $PW_{DWV}$ ), Probenahmedistanz zum Autobahntrasse (HDist)] einzeln abgeschätzt und in Form von sogenannten Piecharts grafisch dargestellt werden. Diese Berechnung der Quellenanteile erfolgt mit den Summenquadrate der einzelnen Verkehrsvariablen und den Partialhypothesen der Regressionsmodelle.

- Auf den ersten Blick mag erstaunen, dass die Variable Proben-distanz, welche in reziprokem Verhältnis zur Einzelschadstoffbelastung der Flechtenproben steht, in den multivariaten Regressionsmodellen ebenfalls als Linearkombination verwendet wird. Die multiple Regressionsanalyse errechnet jedoch im mehrdimensionalen Raum aufgrund der Gewichtung der  $\beta$ -Faktoren automatisch die beste Kurvenanpassung. Dies entspricht einem allgemein üblichen Vorgehen in der Regressions- und Varianzanalyse mehrdimensionaler Daten.

Das ganze Vorgehen wird nachfolgend anhand von zwei exemplarischen Beispielen für ein Polyaromat und ein Schwermetall genauer erläutert.

#### 5.6.4 Zwei exemplarische Beispiele:

##### **Mutagene und kanzerogene PAKs (MUCAPAK) - Multivariate Regressionsanalyse**

Das zugrundeliegende Regressionsmodell für die 9 mutagenen und kanzerogenen PAKs (MUCAPAK) besagt:

$$MUCAPAK = \beta_1(SGV_{DWV}) + \beta_2(LGV_{DWV}) + \beta_3(PW_{DWV}) + \beta_4(HDIST) + e_i$$

Das Regressionsmodell betrachtet die Distanzvariable (HDist), welche für alle Proben derselben Messstation messbedingt dieselben Messwerte für den Schwerverkehrsanteil ( $SGV_{DWV}$ ), «leichter Güterverkehr» ( $LGV_{DWV}$ ), PW-Anteil ( $PW_{DWV}$ ) aufweisen als sogenannte «Categorical Variable». Die Regressionsmodelle enthält aus varianzanalytischen Gründen zudem keine Konstante ( $\beta_0$ ).

PNR	ESTIMATE	MUCAPAK	RESIDUAL	HDIST	PW <sub>DWV</sub>	LGV <sub>DWV</sub>	SGV <sub>DWV</sub>
111	4641.5	4647	5.5	35	30027	451	3933
113	727.5	733	5.5	70	30027	451	3933
115	1956.5	1962	5.5	6	30027	451	3933
117	4344.5	4350	5.5	4	30027	451	3933
118	753.5	759	5.5	14	30027	451	3933
119	544.5	550	5.5	50	30027	451	3933
211	1586.5	1868	281.5	25	101001	10221	10771
213	2884.5	2890	5.5	18	101001	10221	10771
215	1059.4	738	-321.4	115	101001	10221	10771
312	1166.8	1105	-61.8	10	30743	4885	7262
314	682.1	534	-148.1	25	30743	4885	7262
315	453.5	459	5.5	13	30743	4885	7262
412	2192.5	2198	5.5	11	51520	13476	9307
413	1603.1	1790	186.9	16	51520	13476	9307
415	1030.6	788	-242.6	49	51520	13476	9307
419	198.5	204	5.5	176	51520	13476	9307
420	152.5	158	5.5	223	51520	13476	9307
512	-46.9	100	146.9	115	28551	4751	6166
516	691.5	697	5.5	3	28551	4751	6166
517	214.5	220	5.5	37	28551	4751	6166
518	310.5	316	5.5	76	28551	4751	6166
519	-46.9	133	179.9	115	28551	4751	6166
612	849.5	855	5.5	19	14706	1782	3576
613	992.5	998	5.5	36	14706	1782	3576
614	601.9	777	175.1	12	14706	1782	3576
711	227.8	248	20.2	23	10738	1171	3400
712	227.8	213	-14.8	23	10738	1171	3400
714	569.4	274	-295.4	12	10738	1171	3400
716	13.5	19	5.5	121	10738	1171	3400
717	74.5	80	5.5	116	10738	1171	3400
722	66.5	72	5.5	581	10738	1171	3400
724	78.5	84	5.5	744	10738	1171	3400
725	160.5	166	5.5	706	10738	1171	3400
811	156.5	162	5.5	82	18311	2386	3607
812	764.2	427	-337.2	46	18311	2386	3607
814	764.2	518	-246.2	46	18311	2386	3607
816	764.2	1353	588.8	46	18311	2386	3607
817	2587.5	2593	5.5	63	18311	2386	3607
911	838.7	906	67.3	10	53373	5423	4522
912	353.9	226	-127.9	25	53373	5423	4522
913	388.5	394	5.5	105	53373	5423	4522
917	702.5	708	5.5	270	53373	5423	4522
920	1386.5	1392	5.5	350	53373	5423	4522
921	237.5	243	5.5	212	53373	5423	4522
1011	207.5	213	5.5	47	11077	1478	1238
1012	-123.1	125	248.1	49	11077	1478	1238
1015	422.5	428	5.5	58	11077	1478	1238
1111	61.5	67	5.5	20	135	10	8
1112	219.5	38	-181.5	16	135	10	8
1113	-49.8	76	125.8	12	135	10	8
1211	36.5	42	5.5	5	0	2	0

**Tab 11 Abhängigkeit der Belastung der 9 mutagenen und kanzerogenen PAKs von den Messwerten der verschiedenen Verkehrskategorien und der Strassendistanz.**

Berechnet mittels der multiplen linearen Regressionsanalyse.

Multiple General Linear Model (MGLH)

$$\text{MUCAPAK} = \beta_1(\text{SGV}_{\text{DWV}}) + \beta_2(\text{LGV}_{\text{DWV}}) + \beta_3(\text{PW}_{\text{DWV}}) + \beta_4(\text{HDIST}) + e_i$$

Swiss10-Daten 2003: Werktagsverkehr N 51, ohne Bern

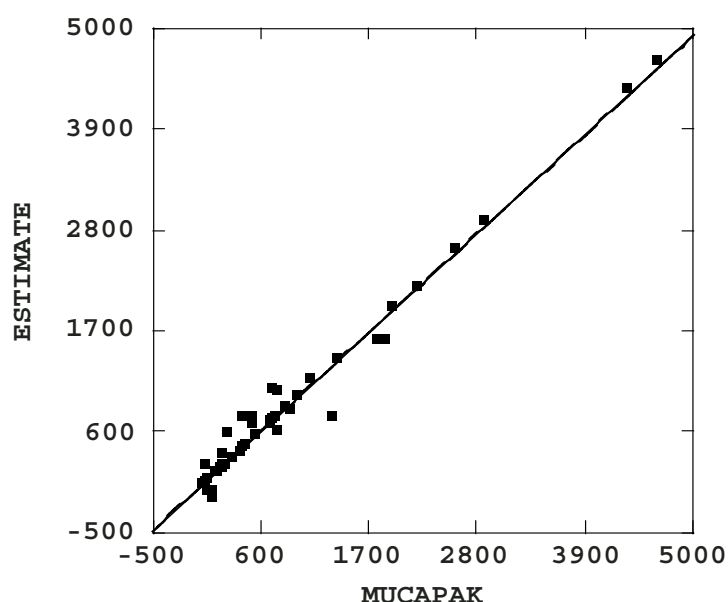
HDIST2 Categ. Variable

Mit diesem multiplen Regressionsmodell wird aus den vier unabhängigen Verkehrsvariablen [Schwerverkehrsanteil (SGV<sub>DWV</sub>), «leichter Güterverkehr» (LGV<sub>DWV</sub>), PW-Anteil (PW<sub>DWV</sub>) sowie der Probenahmedistanz zum Autobahntrasse (HDIST)] die Belastung von MUCAPAK (Estimate) für alle 51 Flechtenproben berechnet und mit den tatsächlichen Messwerten (MUCAPAC) verglichen (Tab.11).

Das multiple Regressionsmodell erlaubt es die Belastung der mutagenen und kanzerogenen PAKs (MUCAPAK) allein aus den vier Verkehrsvariablen mit einer hohen Güte zu schätzen. Dies lässt sich daran erkennen, dass die alleine aus den Verkehrsvariablen berechneten MUCAPAK-Estimate und die in den Flechtenproben tatsächlich gemessenen MUCAPAK-Belastungswerte in Abbildung 55 alle sehr nahe auf der Regressionsgeraden liegen und diese fast identisch mit der Winkelhalbierenden verläuft, welche die «ideale Regressionsgerade» darstellt. Das Bestimmtheitsmass fällt mit  $R^2=0.987$  sehr hoch aus, womit das Regressionsmodell die Varianz der in den Flechtenproben gemessenen Belastung von MUCAPAK fast vollständig erklärt.

**Abb. 55 Multiple Korrelation für die 9 mutagenen und kanzerogenen PAKs.**

Die in den Flechtenproben entlang der Autobahn A2 gemessene Belastung von 9 mutagenen und kanzerogenen PAKs lässt sich fast vollständig erklären von der gemessenen Verkehrsbelastung (Anteile schwerer und leichter Güterverkehr, PVV-Anteil und Strassenabstand), gemessen als sog. Werktagsverkehr (Mo. - Fr. 0-24 Uhr).



### **Mutagene und kanzerogene PAKs (MUCAPAK) - Bestimmung der prozentualen Quellenanteile mittels multivariater Varianzanalyse**

Mit Hilfe der multivariaten Varianzanalyse wurden die Anteile der vom Modell erklärten Varianz der unabhängigen Verkehrsvariablen: Schwerverkehrsanteil ( $SGV_{DWV}$ ), «leichter Güterverkehr» ( $LGVD_{DWV}$ ),

<b>MGLH-Model: <math>MUCAPAK = \beta_1(SGV_{DWV}) + \beta_2(LGV_{DWV}) + \beta_3(PW_{DWV}) + \beta_4(HDIST) + e_i</math></b>					
DEP VAR: MUCAPAK; MULTIPLE R: 0.993 SQUARED MULTIPLE R: 0.987; P<0.001; N 51					
SOURCE	Df	MEAN-SQUARE	F-RATIO	P	% Anteil erklärter Varianz
$SGV_{DWV}$	1	1296980	11.5014	0.4187	<b>47.1</b>
$LGVD_{DWV}$	1	80237	0.7115	0.2292	<b>2.9</b>
$PW_{DWV}$	1	184976	1.6403	0.0069	<b>6.7</b>
HDIST2	38	1077130	9.5518	0.0003	<b>39.1</b>
ERROR	10	112767			<b>4.1</b>
Sum 100%		2752090			<b>100</b>

**Tab 12 Bestimmung der Quellenanteile der Belastung mit den 9 mutagenen und kanzerogenen PAKs für die einzelnen Verkehrskategorien.**

Berechnet mittels der multiplen linearen Regressionsanalyse.

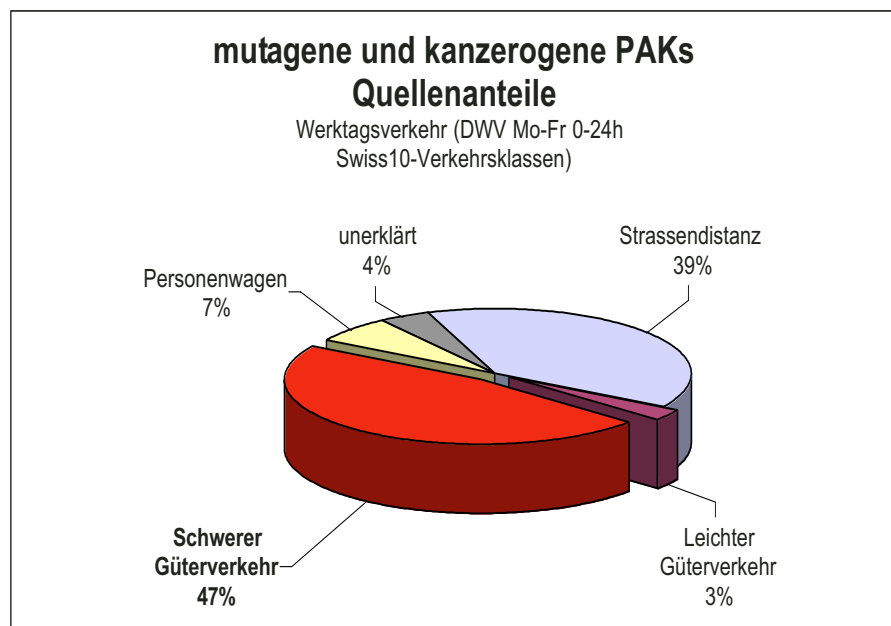
PW-Anteil ( $PW_{DWV}$ ) sowie Probenahmedistanz zum Autobahntrasse (HDist) einzeln berechnet (Tab.12) und als Piecharts grafisch dargestellt (Abb. 56). Diese Berechnung der Quellenanteile erfolgt mit den Summenquadraten (Mean-Square) der einzelnen Verkehrsvariablen und unter Berücksichtigung der Global- und Partialhypothesen (P) des Regressionsmodells.

Aufgrund der multivariaten Varianzanalyse ergeben sich für die 9 mutagenen und kanzerogenen PAKs die in Abbildung 56 gezeigten Quellenanteile. Der schwere Güterverkehr erklärt 47% der gesamten Belastung an den mutagenen und kanzerogenen PAKs. Die Strassendistanz erklärt weitere 39% und unterstreicht die überragende Bedeutung des Mfz-Verkehrs an der Belastung mit mutagenen und kanzerogenen PAKs. Der PW-Anteil beträgt 7% und der Anteil am «leichten Güterverkehr» 3%. Der vom Modell unerklärte Varianzanteil beträgt 4%.

**Abb. 56 Prozentuale Quellenanteile für die Luftbelastung mit 9 mutagenen und kanzerogenen PAKs.**

Der schwere Güterverkehr erklärt 47% der gesamten Belastung an den mutagenen und kanzerogenen PAKs. Die Strassendistanz erklärt weitere 39% und unterstreicht die überragende Bedeutung des Mfz-Verkehrs an der Belastung mit mutagenen und kanzerogenen PAKs.

Berechnet mittels multivariater Varianzanalyse.



### Blei - Multivariate Regressionsanalyse

Das zugrundeliegende Regressionsmodell für Blei (Pb) besagt:

$$Pb = \beta_1(SGV_{DWV}) + \beta_2(LGV_{DWV}) + \beta_3(PW_{DWV}) + \beta_4(HDIST) + e_i$$

Mit diesem multiplen Regressionsmodell wird aus den vier unabhängigen Verkehrsvariablen [Schwerverkehrsanteil ( $SGV_{DWV}$ ), «leichter Güterverkehr» ( $LGV_{DWV}$ ), PW-Anteil ( $PW_{DWV}$ ) sowie der Probenahmedistanz zum Autobahntrasse (HDist)] die Belastung von Blei (Estimate) für alle 51 Flechtenproben berechnet und mit den tatsächlichen Messwerten verglichen (Tab.13).

PNR	ESTIMATE	MUCAPAK	RESIDUAL	HDIST	PW <sub>DWV</sub>	LGV <sub>DWV</sub>	SGV <sub>DWV</sub>
111	50.1	49.4	-0.7	35	30027	451	3933
113	63.8	63.1	-0.7	70	30027	451	3933
115	58.2	57.5	-0.7	6	30027	451	3933
117	53.4	52.7	-0.7	4	30027	451	3933
118	53.1	52.4	-0.7	14	30027	451	3933
119	33.3	32.6	-0.7	50	30027	451	3933
211	81.6	93.7	12.1	25	101001	10221	10771
213	94.1	93.4	-0.7	18	101001	10221	10771
215	51.2	48.5	-2.7	115	101001	10221	10771
312	79.1	81.0	1.9	10	30743	4885	7262
314	46.6	34.6	-12.1	25	30743	4885	7262
315	46.7	46.0	-0.7	13	30743	4885	7262
412	57.8	57.1	-0.7	11	51520	13476	9307
413	66.1	55.7	-10.4	16	51520	13476	9307
415	88.2	103.3	15.0	49	51520	13476	9307
419	65.6	64.9	-0.7	176	51520	13476	9307
420	74.9	74.2	-0.7	223	51520	13476	9307
512	4.9	8.7	3.7	115	28551	4751	6166
516	12.1	11.4	-0.7	3	28551	4751	6166
517	6.3	5.6	-0.7	37	28551	4751	6166
518	7.5	6.8	-0.7	76	28551	4751	6166
519	4.9	3.2	-1.7	115	28551	4751	6166
612	52.4	51.7	-0.7	19	14706	1782	3576
613	30.4	29.7	-0.7	36	14706	1782	3576
614	60.8	34.2	-26.6	12	14706	1782	3576
711	48.8	56.3	7.5	23	10738	1171	3400
712	48.8	40.7	-8.2	23	10738	1171	3400
714	60.1	104.5	44.4	12	10738	1171	3400
716	24.0	23.3	-0.7	121	10738	1171	3400
717	42.2	41.5	-0.7	116	10738	1171	3400
722	46.5	45.8	-0.7	581	10738	1171	3400
724	76.7	76.0	-0.7	744	10738	1171	3400
725	65.7	65.0	-0.7	706	10738	1171	3400
811	28.1	27.4	-0.7	82	18311	2386	3607
812	33.9	45.8	11.9	46	18311	2386	3607
814	33.9	41.6	7.7	46	18311	2386	3607
816	33.9	13.6	-20.3	46	18311	2386	3607
817	12.1	11.4	-0.7	63	18311	2386	3607
911	54.6	52.0	-2.6	10	53373	5423	4522
912	22.1	21.4	-0.8	25	53373	5423	4522
913	43.9	43.2	-0.7	105	53373	5423	4522
917	37.2	36.5	-0.7	270	53373	5423	4522
920	39.1	38.4	-0.7	350	53373	5423	4522
921	31.9	31.2	-0.7	212	53373	5423	4522
1011	14.8	14.1	-0.7	47	11077	1478	1238
1012	35.7	20.0	-15.7	49	11077	1478	1238
1015	15.2	14.5	-0.7	58	11077	1478	1238
1111	10.5	9.8	-0.7	20	135	10	8
1112	3.3	13.0	9.7	16	135	10	8
1113	26.6	8.1	-18.5	12	135	10	8
1211	18.0	17.3	-0.7	5	0	2	0

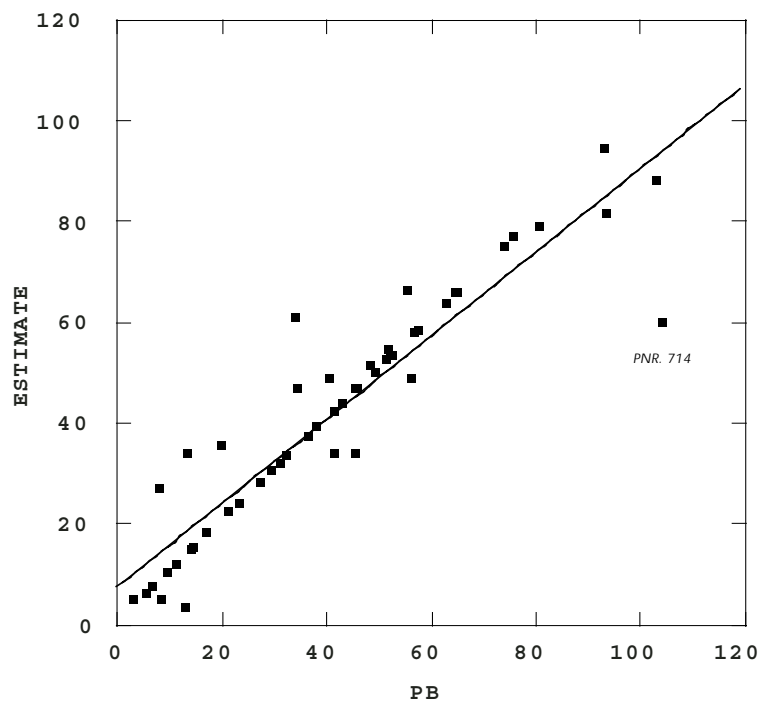
**Tab 13 Abhängigkeit der Blei-Belastung in den Flechtenproben von den Messwerten der verschiedenen Verkehrskategorien und der Strassendistanz.**

Berechnet mittels der multiplen linearen Regressionsanalyse.

### Blei - Berechnung der multiplen Korrelation

Das multiple Regressionsmodell erlaubt es die Blei-Belastung allein aus den vier Verkehrsvariablen mit einer hohen Güte zu schätzen. Dies lässt sich in Abbildung 57 daran erkennen, dass die alleine aus den Verkehrsvariablen berechneten Estimates von Blei und die in den Flechtenproben tatsächlich gemessenen Pb-Belastungswerte alle nahe auf der Regressionsgeraden liegen und diese fast identisch mit der Winkelhalbierenden verlaufen.

Das Bestimmtheitsmass fällt mit  $R^2=0.961$  sehr hoch aus, womit das Regressionsmodell die Varianz in Flechtenproben gemessenen Belastung von Blei gut erklärt. Der offensichtliche Ausreisser einer Piotta-Probe (PNR. 714), wurde nebst von der Autobahn A2 auch noch von einer lokalen Kleinquelle (vermutlich illegale Abfallverbrennung) beeinflusst, wie die ebenfalls deutlich erhöhten Belastungswerte weiterer Schwermetalle (Fe, Mo, Cr, Ni) aufzeigen.



**Abb. 57 Multiple Korrelation für Blei**

Die in den Flechtenproben entlang der Autobahn A2 gemessene Blei-Belastung lässt sich fast vollständig erklären von der gemessenen Verkehrsbelastung (Anteile schwerer und leichter Güterverkehr, PW-Anteil und Strassenabstand), gemessen als sog. Werktagsverkehr (Mo-Fr 0-24 Uhr).

### Blei - Bestimmung der prozentualen Quellenanteile mittels multivariater Varianzanalyse

Mit Hilfe der multivariaten Varianzanalyse wurden die Anteile der vom Modell erklärten Varianz der unabhängigen Verkehrsvariablen: Schwerverkehrsanteil ( $SGV_{DWV}$ ), «leichter Güterverkehr» ( $LGV_{DWV}$ ), PW-Anteil ( $PW_{DWV}$ ) sowie Probenahmedistanz zum Autobahntrasse (HDist) einzeln berechnet (Tab.14) und als Piecharts grafisch dargestellt (Abb. 58). Diese Berechnung der Quellenanteile erfolgt mit den Summenquadraten (Mean-Square) der einzelnen Verkehrsvariablen des Regressionsmodells.



**Tab 14 Bestimmung der Quellenanteile der Blei-Belastung für die einzelnen Verkehrsträger.**

Berechnet mittels multivariater Varianzanalyse.

Model: Blei = $\beta_1(\text{SGV\_DWV}) + \beta_2(\text{LGV\_DWV}) + \beta_3(\text{PW\_DWV}) + \beta_4(\text{HDIST})$					
DEP VAR: Pb; MULTIPLE R: 0.980 SQUARED MULTIPLE R: 0.961; N 51					
SOURCE	Df	MEAN-SQUARE	F-RATIO	P	% Anteil erklärter Varianz
SGV_DWV	1	4480	9.384	0.012	<b>73.0</b>
LGV_DWV	1	395	0.8278	0.3843	<b>6.4</b>
PW_DWV	1	174	0.365	0.5592	<b>2.8</b>
HDIST2	38	613	1.2852	0.3511	<b>10.0</b>
ERROR	10	477			<b>7.8</b>
Sum 100%		6140			<b>100</b>

Aufgrund der multivariaten Varianzanalyse ergeben sich für die Blei-Belastung die in Abbildung 59 gezeigten prozentualen Quellenanteile.

Der schwere Güterverkehr erklärt hohe 73% der gesamten luftbürtigen Pb-Belastung entlang der autobahnnahen Messstandorte.

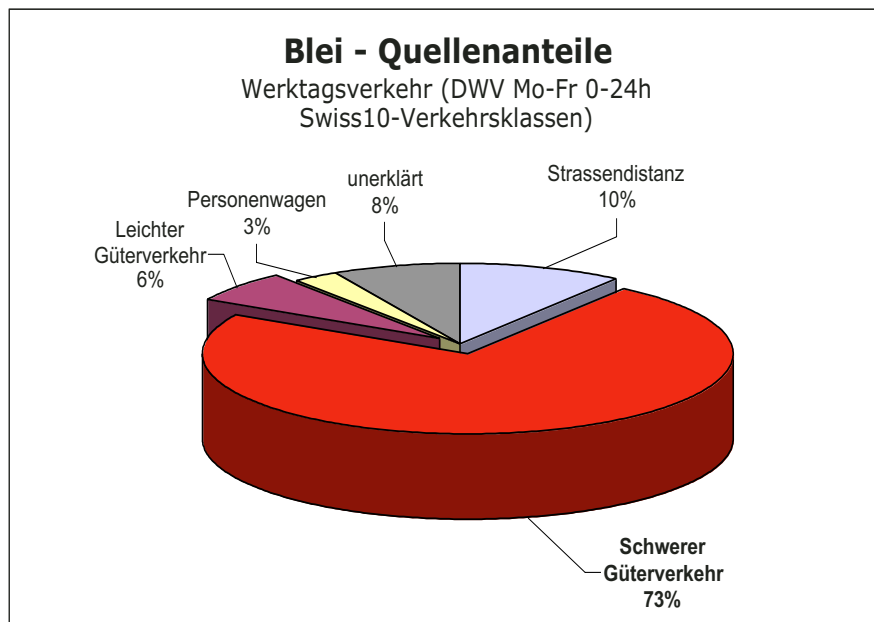
Der Anteil der «leichten Güterfahrzeuge» beträgt 6%, der PW-Anteil 3% und die Strassendistanz erklärt weitere 10% und unterstreicht die überragende Bedeutung des Mfz-Verkehrs an der gesamten Blei-Belastung. Der vom Modell unerklärte Varianzanteil beträgt lediglich 8%.

**Abb. 58 Prozentuale Quellenanteile für die Luftbelastung mit Blei.**

Der schwere Güterverkehr erklärt 73% der gesamten Blei-Belastung, weitere 6% werden vom «leichten Güterverkehr» und 3% vom PW-Anteil verursacht.

Die Strassendistanz erklärt weitere 10% und unterstreicht die überragende Bedeutung des Mfz-Verkehrs an der Belastung mit Blei.

Berechnet mittels multivariater Varianzanalyse.





## 6. Auswahl der aussagekräftigsten Verkehrstracer - «Top 25 Tracer»

In diesem Synthesekapitel werden die feldgestützten Befunde aus dem MfM-U-Biomonitoring an den Verkehrsstandorten zur Luftbelastung mit einer Vielzahl toxischer Schwermetalle und PAKs und deren Beeinflussung durch Art und Menge des Motorfahrzeugverkehrs nochmals ganzheitlich bewertet und verglichen mit vorhandenen Literaturdaten.

- **Das Ziel dieser abschliessenden Analyse ist es, die zum Nachweis der Luftbelastungen durch den Schwerverkehr am besten geeigneten Tracer, aus der grossen Zahl von 44 analysierten Einzelsubstanzen, herauszufiltern.**

Bei dieser Feinanalyse der mfv-relevanten Quellen hat sich sehr deutlich gezeigt, dass heutzutage nebst der direkten Motoren-Emission auch hochvergütete Bremsbeläge, Motorenöle und sogar Abrieb von Autoreifen wesentlich zur Belastung mit Schwermetallen und Schwefel beitragen, weshalb auf diese z.T. noch wenig bekannten Belastungsquellen nachfolgend kurz verwiesen wird.

- **Diesel- und Benzintriebstoffe sowie Motorenemissionen**  
Nebst den bekannten gasförmigen Emissionen von NO<sub>x</sub>, NMVOC, CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub> und dem partikulären Feinstaub PM<sub>10</sub>, 2.5 werden auch relevante Mengen verschiedenster Metalle und vor allen bei Dieselmotoren zahlreiche PAKs und Schwefel sowie Spuren von Schwermetallen emittiert. Im hochverdichteten Verbrennungsprozess von Dieselmotoren kommt es zu einer DeNovo-Synthese von PAKs, die wesentlich grösser ist als bei niedriger-verdichteten Benzinmotoren. Für viele PAKs emittieren Dieselmotoren ohne Partikelfilter die 10-20 fache Menge eines Benzinmotors mit Dreiwegkatalysator; für 3.6-Dimethylphenanthren und Benzo(b)fluoren sogar die über 50-60 fache Menge. Moderne Partikelfilter und Abgaskatalysatoren reduzieren auch für schwere Nutzfahrzeuge diese PAK-Belastung und damit die kanzerogene Potenz des Abgases um weit über 90% (UBA-Berichte 2/99).
- **Bremsbeläge**  
Eine Studie des deutschen Verbraucherschutzes (ÖKO-TEST 2002) hat bei einer Enquête an 29 Fabrikaten von neuen Bremsbelägen für PWs unerwartet hohe Metallkonzentrationen von Antimon, Blei und Kupfer nachgewiesen. So zeigten 10 von 29 getesteten neuen Bremsbeläge unerwartet hohe Antimon-Gehalte von ≥5%, wobei nur fünf Fabrikate Sb-frei waren. Für Kupfer wurde in 23 von 29 Produkten Werte über 10% nachgewiesen.

Ähnliche Befunde finden sich auch in der Wissenschaftlichen Literatur (EMEP-CORINAIR, von Uexküll 2005, Westlund 2001), die je deutlich belegen, dass Bremssysteme von modernen Motorfahrzeugen immer noch bedeutende Metallemissionen verursachen. Die Anzahl und Mengen dieser Additiven von Metallen und anderen Elementen in modernen Bremsbelägen ist sehr gross und je nach Fabrikat höchst variabel: Sb, Cu, Zn, Pb, Cr, Fe, Cr, Sn, S, Al, Ni, Mn, Hg, Si, Sr, Zn, Mo, Ti, Ir, Zr, Cd, As, Mg, Cl, K, um nur die Wichtigsten zu nennen.

- **Additive von Motorenölen**

Zum Einsatz kommen Metal-Phenoxide, welche Säuren neutralisieren, die sich aus den Schwefelverbindungen von Diesel und Benzin aufbauen, bzw. andere Oxydationsprozesse unterdrücken, damit im Motor möglichst keine Verbrennungsrückstände verbleiben. Andere Additive kommen als Korrosionsschutz (Antiwear) zum Einsatz und verhindern den Verschleiss von Motoren und Ventiltteilen wie Zinkphosphate und Molybdän-Disulfide. Letzteres dient als mikrofeines Schmiermittel. Die Anzahl der bei diesen Motorenöl-Additiven eingesetzten Metalle und anderen Elementen ist sehr gross: Fe, Cr, Pb, Cu, Sn, Al, Ni, Mn, Si, Zn, Mo, Ti, V, Cd, As, um nur die Wichtigsten zu nennen.

- **Belastung von Autoreifen**

Die EMEP/CORINAIR - Studie enthält auch eine Kompilation von Messdaten zur Belastung von Autoreifen mit Schwermetallen und PAKs. Weitere Fachliteratur wurde zur Beurteilung konsultiert. Generalisierend kann festgehalten werden, dass Autoreifen technisch bedingt (Vulkanisation) v.a. erhöhte Konzentrationen von Schwefel, Zink und z.T. PAKs enthalten. Durch den mengenmässig relevanten Pneubetrieb gelangen diese Rückstände in die Umwelt. Es besteht eine wissenschaftliche Kontroverse, wie mobil und ökotoxisch sich dieser Reifenabrieb verhält. Studien der Reifenhersteller (Goodyear 2003) reklamieren eine nur geringe Mobilität und Ökotoxizität.

- **Selektion und Evaluation der aussagekräftigsten Mfz-Verkehrs-Tracer**

Die umfassenden Ergebnisse zur verkehrsbedingten Luftbelastung mit Schwermetallen und PAKs aus den Quellen Treibstoffe, Motoren-Emission, Bremsbeläge und Autoreifen werden nachfolgend zur Beurteilung der hier durchgeführten Selektion und Evaluation der aussagekräftigsten Schwerverkehrs-Tracer besonders herangezogen. Die aktuellsten und umfassendsten Studien der europäischen Umweltagentur, als gesamteuropäische Bestandesaufnahme verfasst (EMEP/CORINAIR - Emission Inventory Guidebook 2005, welche sich teilweise auf eine frühere Studie (WHO-Road Transport: Emission Inventory 2002) stützt sowie der WHO-Studie: Health risk of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution 2003) werden nachfolgend für die Feinevaluation der aussagekräftigsten Verkehrs-

tracer verwendet. Als für die Schweizer Verhältnisse besonders relevante Quelle, diente die Gubrist-Studie von 1993 der EMPA, mit welcher erstmals der Schwerverkehrsanteil an der PAK-Belastung mit Messungen von Tunnelstaub quantifiziert wurde. Aus dem Verhältnis der PAK-Belastung an Werktagen, verglichen mit Wochenenden (Sonntagsfahrverbot für Schwerverkehr) wurde der Schwerverkehrsanteil für 13 verschiedene PAKs bestimmt.

- ***In erster Priorität werden dabei diejenigen Tracer ermittelt, welche sich am besten eignen als Indikatoren der Umweltwirkung des schweren dieselbetriebenen Güterverkehrs.***

Im Sinne einer Differenzial-Diagnose werden in zweiter Priorität aber auch geeignete Substanzen gezeigt, die vorwiegend den «leichten Güterverkehr», den gesamten Güterverkehr sowie den PW-Anteil indizieren, wie das in untenstehender Kapitelstruktur vorgesehen ist. Nach absteigendem Erklärungsgrad werden diese aussagekräftigsten Tracer für den Schwerverkehr nachfolgend dargestellt, wobei die PAK-Substanzen vor den Schwermetallen und Schwefel gezeigt werden.

Die in den nachfolgenden Grafiken (Piecharts) zur Quellenanalyse verwendeten Begriffe: schwerer Güterverkehr, «leichter Güterverkehr», gesamter Güterverkehr und PW-Anteil, gründen auf der derzeit bestmöglichen und nach Fahrzeugtypen differenzierten Schweizerischen Verkehrszählung SWISS10 (SSVZ) von 2003 und gründet auf dem Wissen, dass auch bei dieser differenzierten Erfassungssystembedingte Zählfehler enthalten sind. Die Verkehrsklassen 5,6,7 der SWISS10-Klassierung werden im folgenden als «leichter Güterverkehr» bezeichnet. Diese Bezeichnung darf nur mit Vorbehalt verwendet werden.

Einerseits gibt es in diesen Verkehrsklassen Unschärfen zu übrigen Klassen, da teilweise auch Vans und Wohnmobile mitgezählt werden. Andererseits werden bei Weitem nicht alle Lieferwagen für Gütertransporte eingesetzt. Gemäss dem ARE (Güterverkehr durch die Schweizer Alpen 2005) werden als Lieferwagen nur Fahrzeuge mit Doppelbereifung oder mit Doppelachsen gezählt.

Die Kategorisierung wurde folgendermassen vorgenommen (vgl. auch Kap. 5.6):

Schwerer Güterverkehr: Lastwagen, Lastenzüge, Sattelzüge; Swiss10 Klassen 8,9,10

«Leichter Güterverkehr»: Lieferwagen, Lieferwagen mit Anhänger bzw. Auflieger; Swiss10 Klassen 5,6,7

Gesamter Güterverkehr: Swiss10 Klassen 5,6,7,8,9,10

PW-Anteil: Personenwagen mit und ohne Anhänger; Swiss10 Klassen 3,4, jedoch ohne Motorräder, Busse, Cars.

### ● **Evaluation und Selektion - Standardisierte Darstellung der bestgeeignetsten MfZ-Verkehrstracer**

In einer standardisierten zweiseitigen Darstellung werden nachfolgend die Befunde der Tracer-Evaluation für die bestgeeigneten MfZ-Verkehrstracer dargestellt.

Die Evaluation und Selektion der bestgeeigneten MfZ-Tracer erfolgte aufgrund eines für alle Substanzen identischen Kriterienfächers, bestehend aus einer Standortgrafik zur Analyse von Belastungsunterschieden, dem exemplarischen Autobahn-Distanzprofil Härkingen, dem Piechart der Quellenanalyse und den Vergleichen mit motoren-spezifischen Emissionsdaten sowie mit Emissionsdaten von Bremsbelägen, Motorenölen und Abrieb von Autoreifen.

### ● **Standortgrafik zur Analyse von Belastungsunterschieden**

Wichtigste Kriterien bei der Interpretation der Standortgrafiken sind der Belastungsgradient zwischen maximaler und minimaler Belastung sowie die Rangfolge und MfZ-Belastungsquellen der einzelnen Untersuchungsstandorte.

### ● **Exemplarisches Distanzprofil Härkingen**

Potentielle MfZ-Verkehrstracer zeigen einen auffälligen und steilen Belastungsabfall mit zunehmender Distanz von der Linienquelle Autobahn.

### ● **Piechart zu Quellenanteilen**

Die Grafiken der multivariaten Varianzanalyse visualisieren die prozentualen Belastungsanteile für die vier untersuchten MfZ-Quellen: Schwerer Güterverkehr, «Leichter Güterverkehr», PW-Anteil sowie dem Strassenabstand in Form eines Picharts.

### ● **Vergleich mit motoren- und fahrzeugtypen-spezifischen Emissions- und Immissionsdaten und anderen Quellen**

In einer standardisierten Abbildung (Abb. 59) werden für alle PAKs die derzeit verfügbaren Emissionsdaten von verschiedenen Motoren- und Fahrzeugtypen dargestellt (WHO-Road Transport - Emission Inventory 2002) und verglichen mit den Immissions-Daten der Gubrist-Studie der EMPA, welche den prozentualen Immissionsanteil von PAKs des Schwerververkehrs mittels Analysen von Tunnelstaub (getrennt nach Werktags-/Sonntagsverkehr) 1993 erstmals schätzte.

Benzo(b,k)fluoranthene						Toxikologie m, k		
WHO-Road Transport: Emission Inventory 2002							Gubrist 1993	POP-Report UM-146
bulk gasoline & diesel emission [µg/km] hot & cold							Motorfahrzeuge	Motorfahrzeuge
non cat	cat	DI	IDI	DI	Liq.gas		% LKW-Anteil	Strassenabstand
Gasoline PC/LDV	Gasoline PC/LDV	Diesel PC/LDV	Diesel PC/LDV	Diesel HDV	LPG		Mo-Fr/ SA-SO	PAK Gradient
1.18	0.62	0.79	6.17	11.54	0.01		(33-37%)	sehr stark

Diese Abbildungen enthalten weitere Angaben zu bereits früher festgestellten Belastungs-Abhängigkeiten vom Mfz-Verkehr im Rahmen der landesweiten POP-Studie 2002 des BUWAL mit demselben Flechtenbiomonitoring (Umweltmaterialien Nr. 146) sowie allgemeine Angaben zur Toxikologie der betrachteten Substanz.

#### **Abb. 59 Vergleich mit motoren- und fahrzeugtypen-spezifischen Emissions- und Immissionsdaten und anderen Quellen.**

Dieselmotoren und speziell sog. «direkte Einspritzermodelle; DI» des Schwerverkehrs emittieren bis zu einem Faktor 19 mehr an Benzo(b,k)fluoranthenen als Benzinmotoren mit Katalysatoren (WHO 2002). Die Gubriststudie (1993) ermittelte einen Schwerverkehrsanteil von 33-37%. Am weitesten Saubersten sind Gasmotoren.

#### **Abkürzungen:**

Gasoline PC/LDV non cat: Benzinmotoren ohne Katalysator; PWs und leichte Güterfahrzeuge

Gasoline PC/LDV cat: Benzinmotoren mit Katalysator; PWs und leichte Güterfahrzeuge

DI Diesel PC/LDV: Dieselmotoren, Indirekte Einspritzer, PWs und leichte Güterfahrzeuge

IDI Diesel PC/LDV: Dieselmotoren, indirekte Einspritzer, PWs und leichte Güterfahrzeuge

DI Diesel HDV: Dieselmotoren, Direkte Einspritzer, schwere Güterfahrzeuge

Liquid gas LPG: Fahrzeuge mit Gasmotoren.

Die Abkürzungen m, k in der Schadstoffzeile gelten für eine gemäss der toxikologischen Fachliteratur (z.B. Health risk of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution WHO, 2003) gesicherten mutagenen, bzw. kanzerogenen Wirkung. Die Bezeichnung m? k? bezeichnet einen vermuteten aber noch nicht restlos gesicherten Verdacht auf Mutagenität, bzw. Kanzerogenität. Dieselben Angaben wurden auch in den Stationstafeln von Kap. 5.2 verwendet.

### ● Vergleich mit Emissionsdaten von Bremsbelägen und Autoreifen

Für die Interpretation der Schwermetalle und von Gesamtschwefel wird die untenstehende standardisierte Abbildung (Abb. 60) mit den verfügbaren Emissions- und Immissionsdaten von Bremsbelägen und Abrieb von Autoreifen verwendet. Diese Zusammenstellungen stützen sich v.a. auf die folgende wissenschaftliche Literatur: EMEP/CORINAIR - Emission Inventory Guidebook 2005, Antimony in brake pads - a carcinogenic problem, von Uexküll 2001, Metal emissions from Stockholm traffic - brake linings, Westerlund 2001.

Am Beispiel von Antimon, welches seit dem Verbot des kanzerogenen Asbests als Hitzeschild in modernen Bremsbelägen eingesetzt wird, lässt sich erkennen, dass moderne Bremsbeläge tatsächlich hohe Mengen an Antimon enthalten, wogegen die Belastung von Pneubetrieb von Autoreifen vernachlässigbar gering ist.

Weil sich aber aus den Antimontrisulfiden in Bremsbelägen bei Hitze- einwirkung von über 500°C kanzerogene Antimontrioxide bilden können (von Uexküll 2001) wird derzeit versucht, Antimon durch andere weniger toxische Metalle wie Zinn, Blei und Kupfer zu ersetzen. Blei ist jedoch als Nervengift bekannt und das am besten geeignete Zinnsulfid ist extrem teuer.

**Abb. 60 Vergleich mit Emissionsdaten von Bremsbelägen und Autoreifen.**

Bremsbeläge, nebst Ventilteilen vom Motoren gelten als Hauptquellen der verkehrsbedingten Antimonbelastung. Bremsbeläge unterscheiden sich in ihrer Antimonbelastung je nach Fabrikationstyp sehr stark.

10 von 29 getesteten neuen Bremsbelägen zeigten unerwartet hohe Sb-Gehalte von ≥5%, wobei nur fünf Fabrikate Sb-frei waren. ÖKO-TEST 2002.

Antimon-Belastung [mg/kg]						Toxikologie	k	
EMEP / CORINAIR - Emission Inventory Guidebook 2005								
Autoreifen			Bremsbeläge					
Mittelwert	Min	Max	Mittelwert	Min	Max	Bemerkung		
2			10'000			Bremsbeläge >> Pneus		
Antimony in brake pads - a carcinogenic problem, von Uexküll 2001								
			14'678	59	46'000	Bremsbeläge/Staub LKWs		

Die Ergebnisse dieser umfassenden Evaluation und Selektion der aussagekräftigsten Mfz-Verkehrstracer werden in der folgenden Kapitelstruktur dargestellt.

### Kapitelgliederung

	Seite
6.1 Aussagekräftigste Tracer mit einer hohen Beeinflussung durch den Güterverkehr .....	88
6.1.1 Tracer zur Indikation des schweren Güterverkehrs (Schwerverkehrs-Anteil) .....	88
6.1.2 Tracer zur Indikation des «leichten Güterverkehrs» .....	118
6.2 Tracer mit einer hohen Beeinflussung durch den gesamten Motorfahrzeugverkehr .....	120
6.3 Tracer mit einer hohen Beeinflussung durch den PW-Anteil .....	130

### 6.1.1 Tracer zur Indikation des schweren Güterverkehrs (Schwerverkehrs-Anteil)

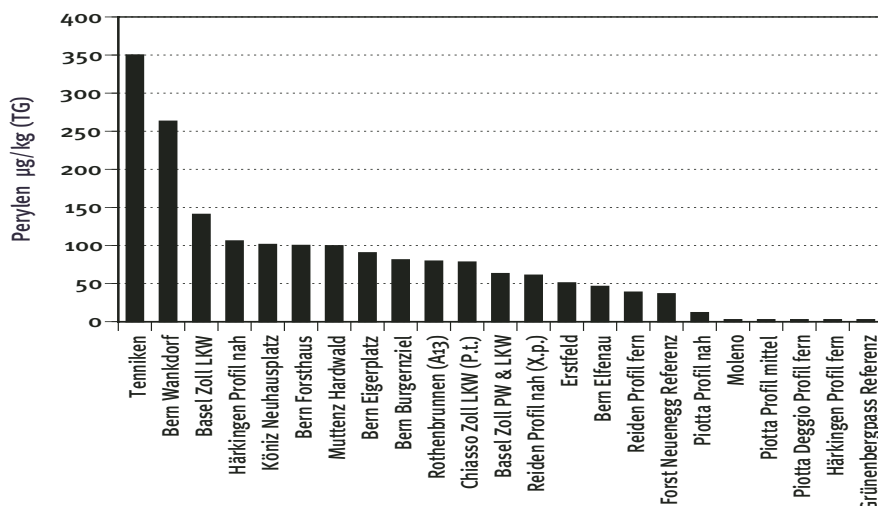
## Perylen

### Perylen-Belastung der MfM-U- und Berner Standorte

Der mit Abstand höchste Perylen-Standortwert wurde in Tenniken festgestellt (Abb. 61). Auf etwas tieferem Niveau folgt Bern-Wankdorf sowie auf einem dreimal tieferen Belastungsniveau Basel Zoll LKW, Härkingen Profil nah, Köniz-Neuhausplatz und MuttENZ. Die tiefsten Perylen-Standortwerte wurden am Referenzstandort Grünenbergpass sowie an den strassenfernen Standorten von Piotta und Moleno gemessen. Perylen zeigt mit einem Faktor von 140 einen sehr starken Belastungsgradienten.

**Abb. 61 Perylen-Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003.**

Für Perylen zeigt mit einem Belastungsunterschied von 140 zwischen dem maximalen Standortwert von Tenniken und dem geringst belasteten Hintergrundstandort Grünenbergpass einen sehr starken Belastungsgradienten.

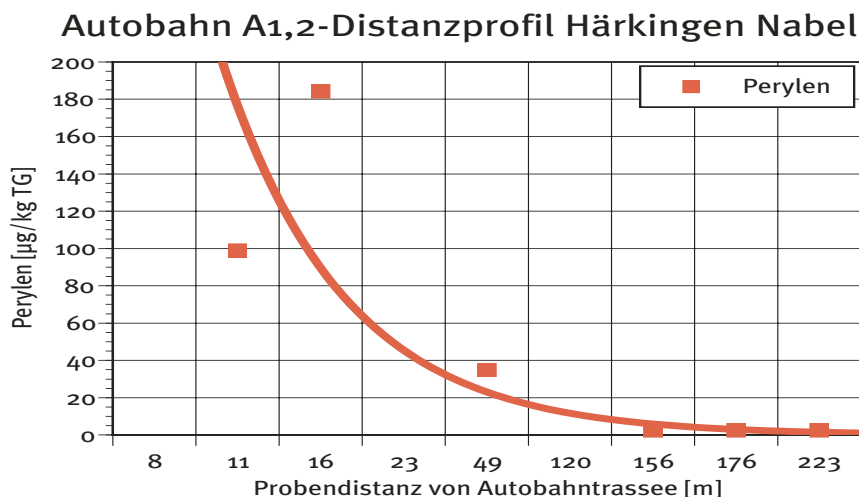


### Distanzprofil für Perylen

Das Distanzprofil an der A2 in Härkingen zeigt eine deutliche Abhängigkeit ( $R^2=0.90$ ) der Perylen-Belastung vom Strassenabstand (Abb. 62). Autobahnferne Probenstandorte weisen eine 70 mal geringere Perylen-Belastung auf als direkt an der Autobahn gelegene.

**Abb. 62 Distanzprofil Härkingen für Perylen.**

Für Perylen, welches besonders von Dieselfahrzeugen emittiert wird, zeigt sich an allen Profilstandorten eine deutliche Distanzabhängigkeit zur Autobahn.



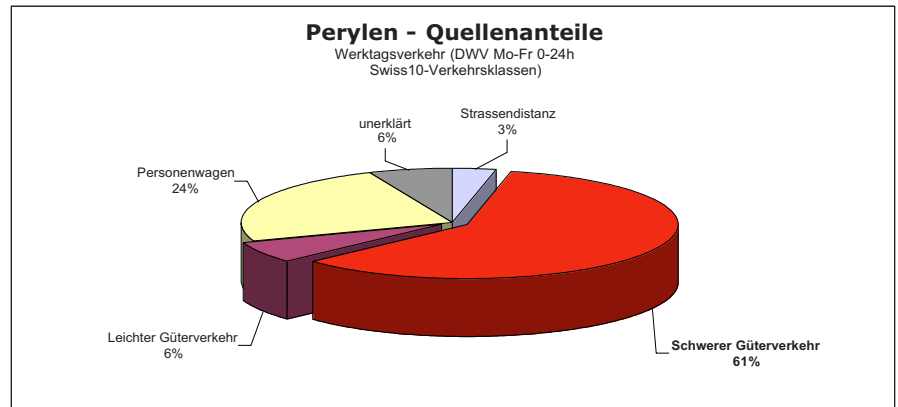


## Quellenanteile für Perylen

Die Multivariate Varianzanalyse für Perylen ergibt für den schweren Güterverkehr einen hohen Belastungsanteil von 61% (Abb. 63).

### Abb. 63 Der Schwerverkehr als Hauptquelle der Perylen-Belastung.

Die Varianzanalyse der Bio-monitoringdaten mit dem Werktagsverkehr mit fahrzeugtypenklassierten Swiss10-Daten zeigt, dass der schwere Güterverkehrs mit 61% die Belastung von Perylen mit Abstand am stärksten prägt. Der Anteil des «leichten Güterverkehrs» beträgt 6% und der PW-Anteil trägt 24% bei.



## Vergleich mit motoren-spezifischen Emissionsdaten

Der Vergleich mit externen motorenseitigen Emissionsdaten bestätigen die Befunde des Luftqualitätsmonitorings sehr gut und belegen, dass Dieselmotoren die stärksten Perylen-Emissionen verursachen (Abb. 64).

### Abb. 64 Belastungsvergleich mit motoren-spezifischen Emissionsdaten für Perylen.

Dieselmotoren und speziell sog. «direkte Einspritzermodelle; DI» emittieren bis zu einem Faktor 4 mehr an Perylen als Benzinmotoren mit Katalysatoren (WHO 2002). Die Gubriststudie (1993) ermittelte einen Schwerverkehrsanteil von 63%. Am weitest Saubersten sind Gasmotoren.

Perylen						Toxikologie	m		
WHO-Road Transport: Emission Inventory 2002						Gubrist 1993		POP-Bericht UM-146	
bulk gasoline & diesel emission [ $\mu\text{g}/\text{km}$ ] hot & cold						Motorfahrzeuge		Motorfahrzeuge	
non cat	cat	DI	IDI	DI	Liq.gas	% LKW-Anteil		Strassenabstand	
Gasoline PC / LDV	Gasoline PC / LDV	Diesel PC / LDV	Diesel PC / LDV	Diesel HDV	LPG	Mo-Fr / SA-SO		PAK Gradient	
0.11	0.11	0.47	0.41	0.20	0.01	63%		gering	

## Gesamtbewertung von Perylen

zeigt sich als zuverlässiger Tracer für den Güterverkehr und weist besonders gut auf den Anteil an schweren Dieselfahrzeugen hin.

### Experimentelle Befunde des MfM-U Biomonitorings

- Standortvergleiche und Profilanalysen weisen eindeutig auf Stärkstebelastung an Standorten mit hohen Mfz-Anteilen hin.
- Varianzanalysen mit dem flottendifferenzierten Werktagsverkehr (Swiss10) belegen den überragenden Schwerverkehrsanteil von 63% an der Luftbelastung mit den mutagenen Perylen.

### Literaturdaten

- Die experimentellen Befunde werden gestützt von Emissionsmessungen an Motorentypen (WHO 2002) die belegen, dass Dieselmotoren die höchsten Perylen-Emissionen verursachen sowie der Gubriststudie (1993), welche einen hohen Schwerverkehrsanteil ausweist.

## Chrysen

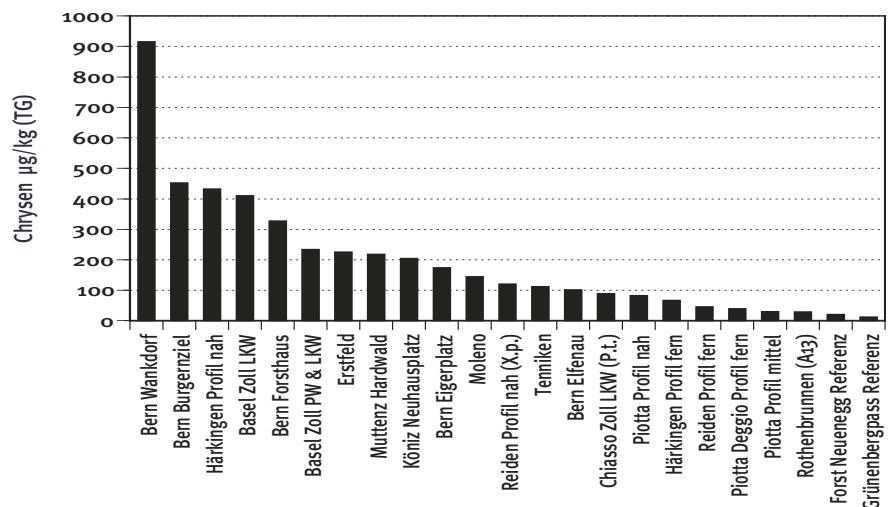
### Chrysen-Belastung der MfM-U- und Berner Standorte

Der mit Abstand höchste Chrysen-Standortwert befindet sich in Bern Wankdorf (Abb. 65). Hohe Belastungswerte zeigen die Standorte Bern Burgernziel, Härkingen Profil nah und Basel Zoll LKW. Die tiefsten Chrysen-Werte zeigen sich am Referenzstandort Forst Neuenegg, gefolgt von Rothenbrunnen (A13), Piotta Profil mittel, Piotta Deggio Profil fern und Reiden Profil fern. Chrysen weist mit einem Faktor von 45 einen deutlichen Belastungsgradienten auf.

**Abb. 65 Chrysen - Belastung der MfM-U und Berner Standorte von 2003.**

Der maximale Mittelwert am Standort Bern Wankdorf liegt um ein Fünfundvierzigfaches über dem tiefsten Mittelwert des Hintergrundstandortes Forst Neuenegg.

Chrysen ist eines der neun sowohl mutagenen und kanzerogenen PAKs

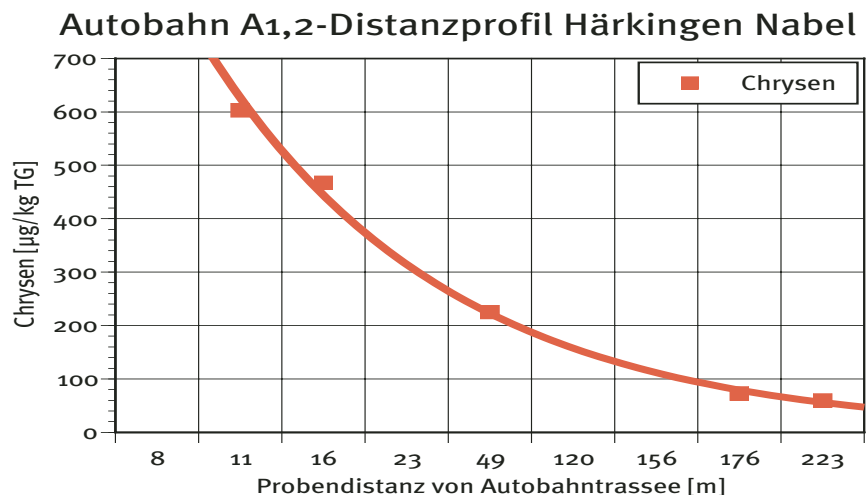


### Distanzprofil für Chrysen

Das Distanzprofil an der A2 in Härkingen zeigt eine auffallend deutliche Abhängigkeit der Chrysen-Belastung vom Strassenabstand (Abb. 66). Autobahnferne Probenstandorte weisen eine 10 mal geringere Chrysen-Belastung auf als direkt an der Autobahn gelegene.

**Abb. 66 Distanzprofil Härkingen für Chrysen.**

Für Chrysen, welches besonders von Dieselfahrzeugen emittiert wird, zeigt sich an allen Profilstandorten eine hochgradige Distanzabhängigkeit zur Autobahn.



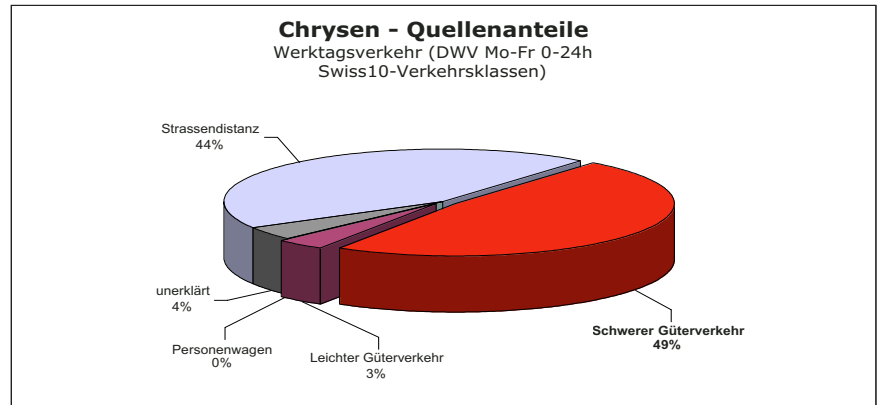
## Quellenanteile für Chrysen

Die Multivariate Varianzanalyse für Chrysen ergibt für den schweren Güterverkehr einen hohen Belastungsanteil von 49% (Abb. 67).

### Abb. 67 Der Schwerverkehr als Hauptquelle der Chrysen-Belastung.

Die Varianzanalyse der Biomonitoringdaten mit dem Werktagsverkehr mit fahrzeugtypenklassierten Swiss10-Daten zeigt, dass der schwere Güterverkehrs mit Chrysen mit Abstand am stärksten prägt. Der Anteil des «leichten Güterverkehrs» beträgt 3% und der PWV-Anteil ist kaum erkennbar.

Der hohe Erklärungsanteil der Strassendistanz unterstreicht zusätzlich die dominante Rolle des mfz-Verkehrs an der Chrysen-Belastung.



## Vergleich mit motoren-spezifischen Emissionsdaten

Der Vergleich mit externen motorenseitigen Emissionsdaten, welche Stärkstbelastungen beim dieselbetriebenen Schwerverkehr nachweisen, bestätigen die Befunde des Luftqualitätsmonitorings sehr gut (Abb. 68).

### Abb. 68 Belastungsvergleich mit motoren-spezifischen Emissionsdaten für Chrysen.

Dieselmotoren und speziell sog. «direkte Einspritzermodelle; DI» des Schwerverkehrs emittieren bis zu einem Faktor 30 mehr an Chrysen als Benzinmotoren mit Katalysatoren (WHO 2002).

Chrysen						Toxikologie	k		
WHO-Road Transport: Emission Inventory 2002						Gubrist 1993		POP-Report UM-146	
bulk gasoline & diesel emission [ $\mu\text{g}/\text{km}$ ] hot & cold						Motorfahrzeuge		Motorfahrzeuge	
non cat	cat	DI	IDI	DI	Liq.gas	% LKW-Anteil		Strassenabstand	
Gasoline PC / LDV	Gasoline PC / LDV	Diesel PC / LDV	Diesel PC / LDV	Diesel HDV	LPG	Mo-Fr / SA-SO		PAK Gradient	
0.43	0.53	2.40	7.35	16.24		n.a.		sehr stark	

## Gesamtbewertung von Chrysen

**erweist sich als zuverlässiger Tracer für den Güterverkehr und weist besonders gut auf den Anteil an schweren Dieselfahrzeugen hin.**

### Experimentelle Befunde des MfM-U Biomonitorings

- Standortvergleiche und Profilanalysen weisen eindeutig auf Stärkstbelastung an Standorten mit hohen LKW-Anteilen hin.
- Varianzanalysen mit dem flottendifferenzierten Werktagsverkehr (Swiss10) belegen den hohen Schwerverkehrsanteil an der Luftbelastung mit dem kanzerogenen Chrysen.

### Literaturdaten

- Die experimentellen Befunde werden gestützt von Emissionsmessungen an Motorentypen (WHO 2002), die belegen, dass Dieselmotoren tatsächlich die höchsten Chrysen-Emissionen verursachen.

## 9 mutagene und kanzerogene PAKs

### Belastung mit 9 mutagenen und kanzerogenen PAKs der MfM-U- und der Berner Standorte von 2003

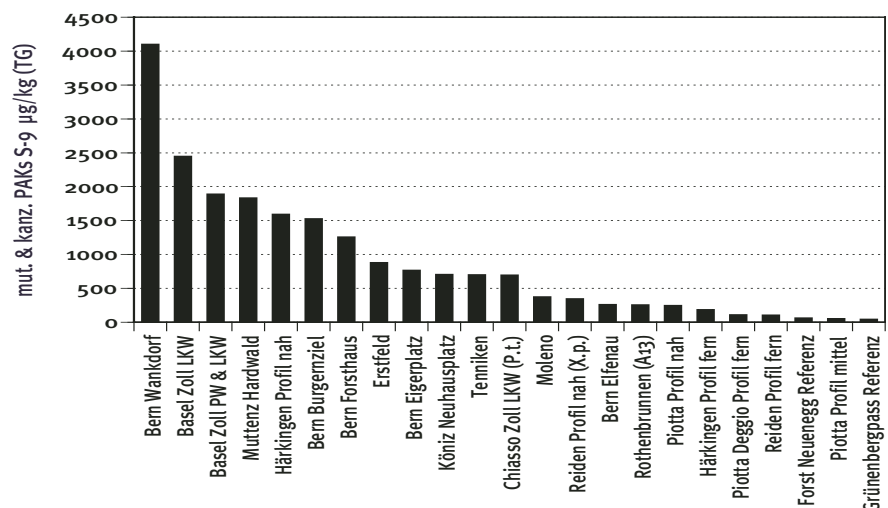
9 der 27 gemessenen PAKs zeigen eine sowohl mutagene wie kanzerogene Wirkung auf Lebewesen. Diese Grösse eignet sich zum Belastungsvergleich der untersuchten Standorte mit toxikologisch relevanten und hochgradig unerwünschten Substanzen.

Der mit Abstand höchste Standortmittelwert wurde am Berner Verkehrsstandort Wankdorf nachgewiesen. Hohe Belastungswerte zeigten sich auch an den Verkehrsstandorten Basel Zoll, Muttentz Hardwald, Härkingen Profil nah, Bern Burgenzli und Bern Forsthaus (Abb. 69). Die Minimalbelastungen wurden in Piotta Profil mittel und den Referenzstandorten Forst Neuenegg und Grünenbergpass nachgewiesen.

**Abb. 69 Belastung mit 9 muta- und kanzerogenen PAKs der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003.**

Für die 9 sowohl muta- und kanzerogenen PAKs zeigt sich ein hoher Belastungsgradient von 69 zwischen der Maximal- und Minimalbelastung.

Bei den 9 muta- und kanzerogenen PAKs handelt es sich um Benz(a)anthracen, Benzo(a)pyren, Benzo(b)fluoranthren, Benzo(b,k)fluoranthren, Benzo(c)phenantren, Benzo(k)fluoranthren, Chrysen, Dibenzo(a,h)anthracen, Dibenzo(a,h)pyren



### Distanzprofil für die 9 muta- und kanzerogenen PAKs

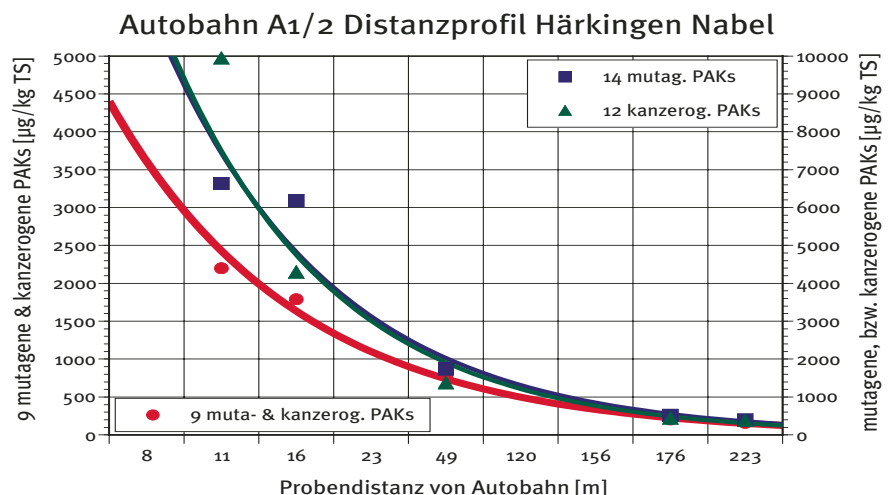
Das Distanzprofil in Härkingen zeigt eine auffallend deutliche Abhängigkeit der Belastung der 9 muta- und kanzerogenen PAKs und weiterer Summenparameter vom Strassenabstand (Abb. 70).

**Abb. 70 Distanzprofil Härkingen für mutagene und kanzerogene PAKs.**

**rote Kurve: 9 mutagene- und kanzerogene PAKs**

**blaue Kurve: 14 mutagene PAKs**

**grüne Kurve: 12 kanzerogene PAKs**



## Quellenanteile für 9 mutagene und kanzerogene PAKs

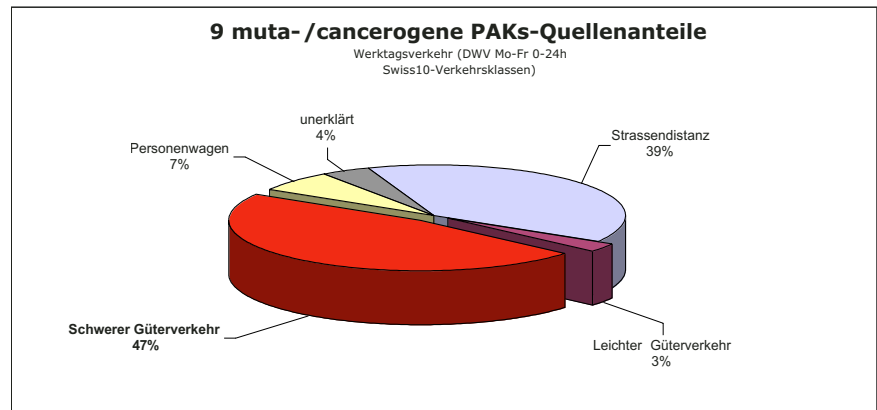
Die Multivariate Varianzanalyse für die 9 muta- und kanzerogene PAKs ergibt für den schweren Güterverkehr einen hohen Belastungsanteil von 47% (Abb. 71).

### Abb. 71 Der Schwerverkehr als Hauptquelle der Belastung mit mutagenen und kanzerogenen PAKs.

Die Varianzanalyse der Biomonitoringdaten mit dem Werktagsverkehr mit fahrzeugtypenklassierten Swiss10-Daten zeigt, dass der schwere Güterverkehrs mit 47% die Belastung mit den 9 muta- und kanzerogenen PAKs mit Abstand am stärksten prägt. Der Anteil des «leichten Güterverkehrs» beträgt 3% und der PVW-Anteil trägt 7% bei. Der hohe Erklärungsanteil der Strassendistanz unterstreicht zusätzlich die dominante Rolle des mfz-Verkehrs für die Belastung mit mutagenen und kanzerogenen PAKs.

Der Schwerverkehrsanteil der 12 kanzerogenen PAKs beträgt 44% und für die 14 mutagenen PAKs beträgt dieser 35%.

Für den Summenparameter aller 27 PAK-Einzelsubstanzen ergibt sich ebenfalls ein hoher Schwerverkehrsanteil von 38%.



## Vergleich mit motoren-spezifischen Emissionsdaten

Der Vergleich mit externen motorenspezifischen Emissionsdaten ergeben im summarischen Sinne eine klare Bestätigung der Befunde des Luftqualitätsmonitorings mit den Baumflechten. Zwar wurden in den bereits zitierten Studien der WHO und der EMPA im Falle Gubrist nicht die Summenparameter an mutagenen und kanzerogenen PAKs

## Gesamtbewertung der 9 mutagenen und kanzerogenen PAKs

**zeigen sich als zuverlässiger Tracer für den Güterverkehr und weisen besonders gut auf den Anteil an schweren Dieselfahrzeugen hin.**

### Experimentelle Befunde des MfM-U Biomonitorings

- Standortvergleiche und Profilanalysen weisen eindeutig auf Stärkbelastung an Standorten mit hohen Mfz-Anteilen hin.
- Varianzanalysen mit dem flottendifferenzierten Werktagsverkehr (Swiss10) belegen den überragenden Schwerverkehrsanteil an der Luftbelastung mit mutagenen und kanzerogenen PAKs.

### Literaturdaten

- Die experimentellen Befunde werden summarisch gestützt von Emissionsmessungen an Motorentypen (WHO 2002), die belegen, dass Dieselmotoren die höchsten Emissionen von mutagenen und kanzerogenen PAKs verursachen und der Gubriststudie (1993), welche für mehrere dieser toxikologisch kritischen Substanzen hohe bis sehr hohe Schwerverkehrsanteile ausweist.

## **Benzo(b,k)fluoranthen**

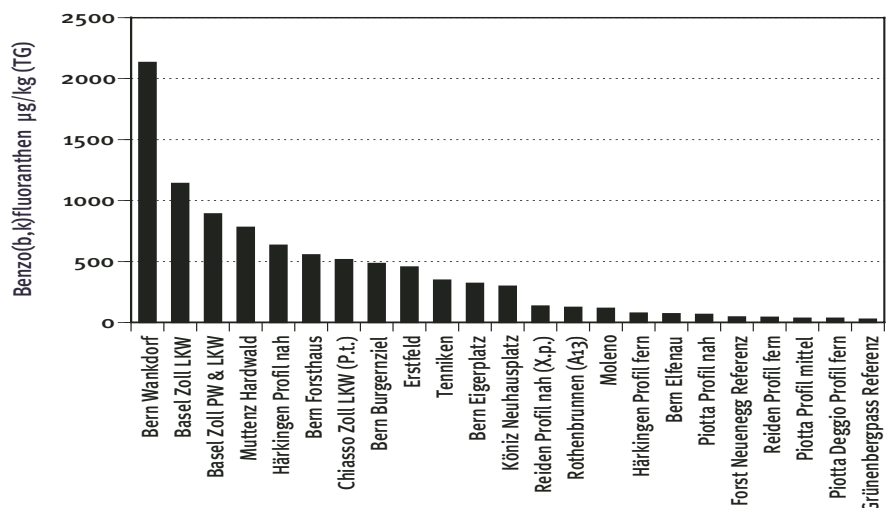
### **Benzo(b,k)fluoranthen-Belastung der MfM-U- und der Berner Standorte von 2003**

Die höchste Benzo(b,k)fluoranthen-Belastung wurde erneut am Verkehrsstandort Bern Wankdorf festgestellt (Abb. 72). Auf deutlich tieferem Niveau folgen Basel Zoll, Muttentz Hardwald, Härkingen Profil nah, Bern Forsthaus und Chiasso Zoll. Die minimalen Standortwerte wurden an strassenfernen Standorten von Piotta und den Referenzstandorten Forst Neuenegg und Grüenbergpass nachgewiesen. Der sehr deutliche Belastungsgradient von 81 macht Benzo(b,k)fluoranthen zum Tracer für den Motorfahrzeugverkehr, insbesondere für Dieselfahrzeuge.

**Abb. 72 Benzo(b,k)fluoranthen - Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003.**

Für Benzo(b,k)fluoranthen liegt zwischen maximalem Standortwert von Bern Wankdorf und dem geringst belasteten Hintergrundstandort Grüenbergpass ein starker Belastungsgradient von 81 vor.

Benzo(b,k)fluoranthen ist eines der neun sowohl mutagenen und kanzerogenen PAKs



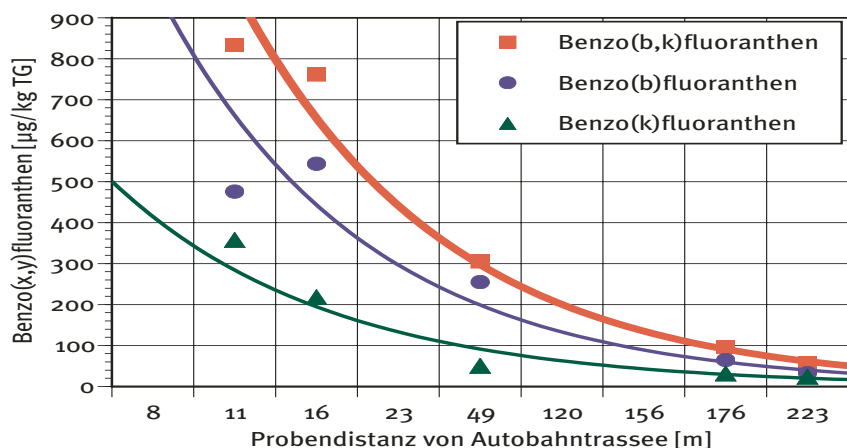
### **Distanzprofil für Benzo(b,k)fluoranthen**

Das Distanzprofil an der A2 in Härkingen zeigt eine auffallend deutliche Abhängigkeit der Benzo(b,k)fluoranthen-Belastung vom Strassenabstand (Abb. 73).

**Abb. 73 Distanzprofil Härkingen für Benzo(b,k)fluoranthen.**

Für Benzo(b,k)fluoranthen (rot), welches besonders von schweren Dieselfahrzeugen emittiert wird, zeigt sich an allen Profilstandorten eine hochgradige Distanzabhängigkeiten zur Autobahn. Diese Distanzabhängigkeit zeigt sich sowohl für Benzo(b)- wie Benzo(k)fluoranthen; blaue und grüne Verlaufskurve.

#### **Autobahn A1,2-Distanzprofil Härkingen Nabel**





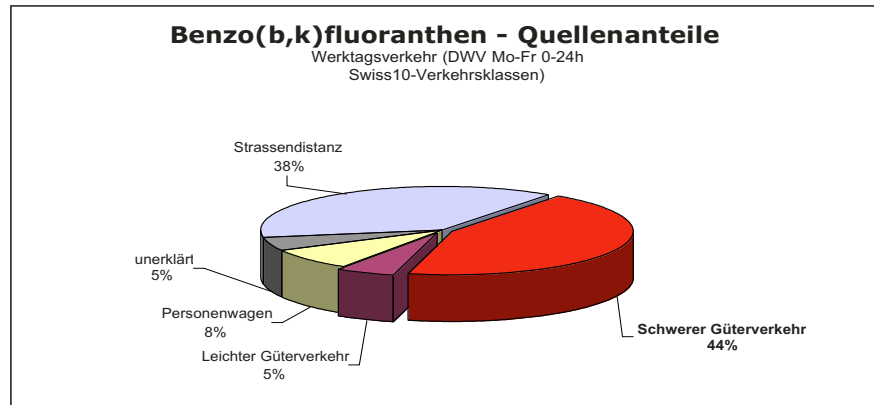
#### Abb. 74 Der Schwerverkehr als Hauptquelle der Benzo(b,k)fluoranthen-Belastung.

Die Varianzanalyse der Biomonitoringdaten mit dem Werktagsverkehr mit fahrzeugtypenklassierten Swiss10-Daten zeigt, dass der schwere Güterverkehr mit 44% die Belastung von Benzo(b,k)fluoranthen mit Abstand am stärksten prägt.

Der Anteil des «leichten Güterverkehrs» beträgt 5% und der PW-Anteil trägt 8% bei. Der hohe Erklärungsanteil der Strassendistanz unterstreicht zusätzlich die dominante Rolle des mfz-Verkehrs für die Benzo(b,k)fluoranthen-Belastung.

### Quellenanteile für Benzo(b,k)fluoranthen

Die Multivariate Varianzanalyse für Benzo(b,k)fluoranthen ergibt für den schweren Güterverkehr einen hohen Belastungsanteil von 44% (Abb. 74).



### Vergleich mit motoren-spezifischen Emissionsdaten

Der Vergleich mit externen motorenspezifischen Emissionsdaten ergibt eine klare Bestätigung der Befunde des Luftqualitätsmonitorings (Abb. 75).

#### Abb. 75 Belastungsvergleich mit motorenspezifischen Emissionsdaten für Benzo(b,k)fluoranthen.

Dieselmotoren und speziell sog. «direkte Einspritzermodelle; DI» des Schwerververkehrs emittieren bis zu einem Faktor 19 mehr an Benzo(b,k)fluoranthen als Benzinmotoren mit Katalysatoren (WHO 2002). Die Gubrist-Studie (1993) ermittelte einen Schwerververkehrsanteil von 33-37%. Am weitaus Saubersten sind Gasmotoren.

Geringe Benzo(b,k)fluoranthene-Emissionen wurden auch in Bremsbelägen (1 ppm) gemessen.

EMEP/CORINAIR - Emission Inventory Guidebook 2005.

Benzo(b,k)fluoranthen						Toxikologie m, k		
WHO-Road Transport: Emission Inventory 2002							Gubrist 1993	POP-Report UM-146
bulk gasoline & diesel emission [µg/km] hot & cold							Motorfahrzeuge	Motorfahrzeuge
non cat	cat	DI	IDI	DI	Liq.gas		% LKW-Anteil	Strassenabstand
Gasoline PC / LDV	Gasoline PC / LDV	Diesel PC / LDV	Diesel PC / LDV	Diesel HDV	LPG		Mo-Fr / SA-SO	PAK Gradient
1.18	0.62	0.79	6.17	11.54	0.01		(33-37%)	sehr stark

### Gesamtbewertung von Benzo(b,k)fluoranthen

zeigt sich als zuverlässiger Tracer für den Güterverkehr und weist besonders gut auf den Anteil an schweren Dieselfahrzeugen hin.

### Experimentelle Befunde des MfM-U Biomonitorings

- Standortvergleiche und Profilanalysen weisen eindeutig auf Stärkstebelastung an Standorten mit hohen LKW-Anteilen hin.
- Varianzanalysen mit dem flottendifferenzierten Werktagsverkehr (Swiss10) belegen einen hohen Schwerververkehrsanteil an der Luftbelastung mit dem mutagenen und kanzerogenen Benzo(b,k)fluoranthen.

### Literaturdaten

- Die experimentellen Befunde werden gestützt von Emissionsmessungen an Motorentypen (WHO 2002), die belegen, dass schwere Dieselmotoren die höchsten Benzo(b,k)fluoranthene verursachen und der Gubriststudie (1993), welche einen Schwerververkehrsanteil von 33-37% ausweist.

## Benz(a)anthracen

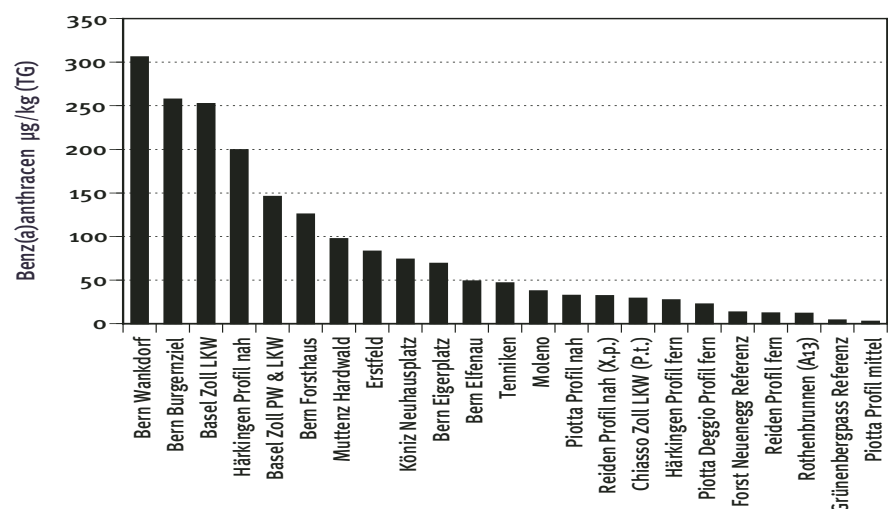
### Benz(a)anthracen-Belastung der MfM-U- und der Berner Standorte von 2003

Das Maximum der Benz(a)anthracen-Belastung zeigt sich erneut an Strassen mit ausgeprägter LKW-Belastung wie Bern Wankdorf, gefolgt von Bern Burgernziel, Basel Zoll, Härkingen Profil nah und Muttenz (Abb. 76). Die tiefsten Belastungswerte wurden in Piotta Profil mittel, Rothenbrunnen (A13), Reiden Profil fern und am Referenzstandort Forst Neuenegg gemessen. Für Benz(a)anthracen liegt mit einem Faktor von 26 ein starker Belastungsgradient vor.

**Abb. 76 Benz(a)anthracen - Belastung der MfM-U und Berner Standorte von 2003.**

Benz(a)anthracen zeigt einen starken Belastungsgradienten von 26.

Benz(a)anthracen ist eines der neun sowohl mutagenen und kanzerogenen PAKs

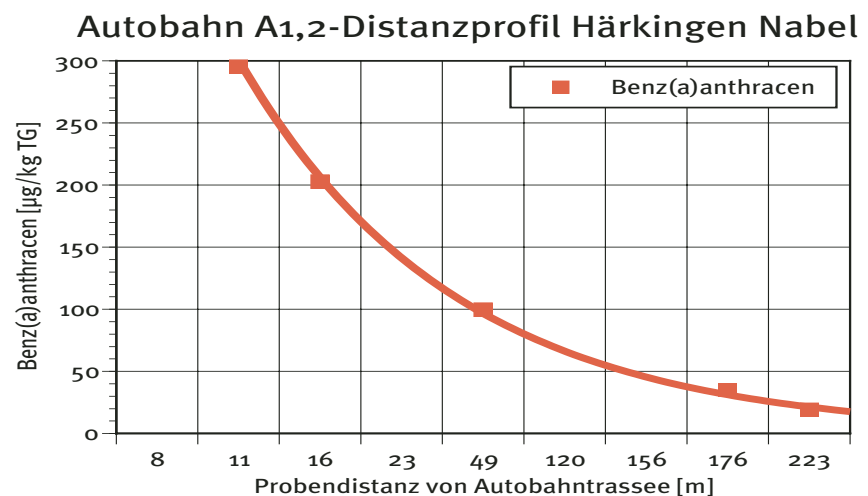


### Distanzprofil für Benz(a)anthracen

Das Distanzprofil an der A2 in Härkingen zeigt eine auffallend deutliche Abhängigkeit der Benz(a)anthracen-Belastung vom Strassenabstand (Abb. 77).

**Abb. 77 Distanzprofil Härkingen für Benz(a)anthracen.**

Für Benz(a)anthracen, welches besonders von Dieselfahrzeugen emittiert wird, zeigt sich an allen Profilstandorten eine hochgradige Distanzabhängigkeiten zur Autobahn. In den fahrbahnnächsten 50 m Distanz fällt die Benz(a)anthracen-Belastung bereits um das Dreifache.





### Abb. 78 Der Schwerverkehr als Hauptquelle der Benz(a)anthracen-Belastung.

Die Varianzanalyse der Biomonitoringdaten mit dem Werktagsverkehr mit fahrzeugtypenklassierten Swiss10-Daten zeigt, dass der schwere Güterverkehr mit 34% die Belastung von Benz(a)anthracen mit

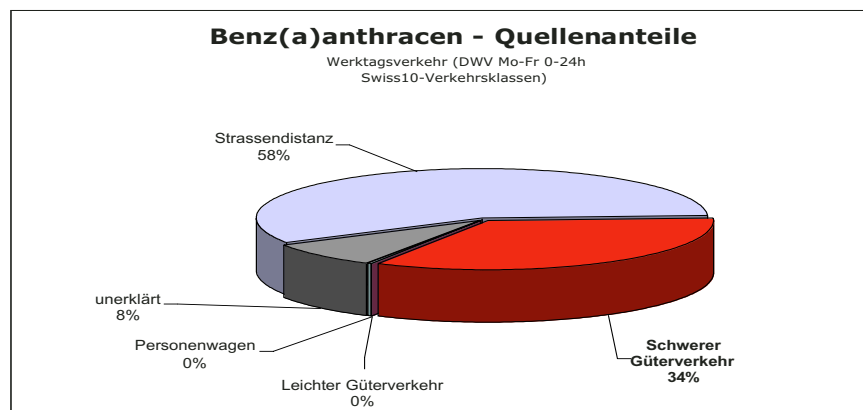
Abstand am stärksten prägt. Die Anteile des «leichten Güterverkehrs» und der PW-Anteil spielen eine nur geringe Rolle. Der hohe Belastungsanteil der Strassendistanz unterstreicht zusätzlich die dominante Rolle des mfv-Verkehrs für die Benz(a)anthracen-Belastung.

### Abb. 79 Belastungsvergleich mit motoren-spezifischen Emissionsdaten für Benz(a)anthracen.

Dieselmotoren und speziell sog. «direkte Einspritzermodelle; DI» emittieren bis zu einem Faktor 8 mehr an Benz(a)anthracen als Benzinmotoren mit Katalysatoren (WHO 2002). Am weitaus Saubersten sind Gasmotoren.

## Quellenanteile für Benz(a)anthracen

Die Multivariate Varianzanalyse für Benz(a)anthracen ergibt für den schweren Güterverkehr einen hohen Belastungsanteil von 34% (Abb. 78).



## Vergleich mit motoren-spezifischen Emissionsdaten

Der Vergleich mit externen motorenspezifischen Emissionsdaten, welche ebenfalls Dieselmotoren als Stärkstemittenten ausweisen ergibt eine Bestätigung der Befunde des Luftqualitätsmonitorings (Abb. 79).

Benz(a)anthracen						Toxikologie m, k			
WHO-Road Transport: Emission Inventory 2002						Gubrist 1993		POP-Report UM-146	
bulk gasoline & diesel emission [µg/km] hot & cold						Motorfahrzeuge		Motorfahrzeuge	
non cat	cat	DI	IDI	DI	Liq.gas	% LKW-Anteil		Strassenabstand	
Gasoline PC / LDV	Gasoline PC / LDV	Diesel PC / LDV	Diesel PC / LDV	Diesel HDV	LPG	Mo-Fr / SA-SO		PAK Gradient	
0.84	0.43	3.30	2.71	2.39	0.05	n.a.		sehr stark	

## Gesamtbewertung von Benz(a)anthracen

zeigt sich als zuverlässiger Tracer für den Güterverkehr und weist besonders gut auf den Anteil an schweren Dieselfahrzeugen hin.

### Experimentelle Befunde des MfM-U Biomonitorings

- Standortvergleiche und Profilanalysen weisen eindeutig auf Stärkstebelastung an Standorten mit hohen LKW-Anteilen hin.
- Varianzanalysen mit dem flottendifferenzierten Werktagsverkehr (Swiss10) belegen den hohen Schwerverkehrsanteil an der Luftbelastung mit dem muta- und kanzerogenen Benz(a)anthracen.

### Literaturdaten

- Die experimentellen Befunde werden gestützt von Emissionsmessungen an Motorentypen (WHO 2002), die belegen, dass Dieselmotoren die höchsten Benz(a)anthracen-Emissionen verursachen.

## Indeno(1,2,3-cd)pyren

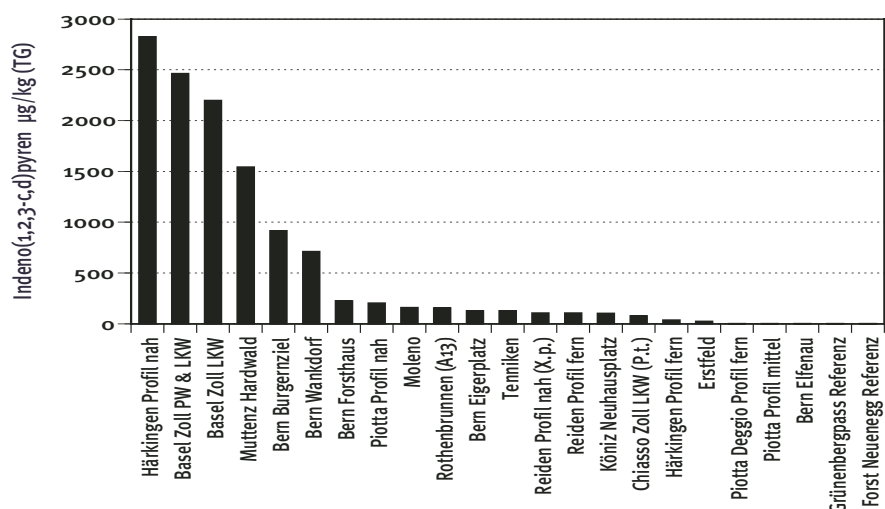
### **Indeno(1,2,3-cd)pyren-Belastung der MfM-U- und der Berner Standorte von 2003**

Der höchste Indeno(1,2,3-cd)pyren-Standortwert wurde in Härkingen festgestellt, gefolgt von Basel Zoll, MuttENZ-Hardwald, Bern Burgernziel und Wankdorf (Abb. 80). Auf weit tieferem Niveau folgen alle weiteren Standorte. Der Minimalwert wurde am Referenzstandort Forst Neuenegg gemessen.

**Indeno(1,2,3-cd)pyren zeigt mit 565 den mit Abstand Grössten je festgestellten Belastungsgradienten.**

**Abb. 80 Belastung von Indeno(1,2,3-cd)pyren der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003.**

Indeno(1,2,3-cd)pyren weist mit 565 den mit Abstand Grössten je festgestellten Belastungsgradienten auf.



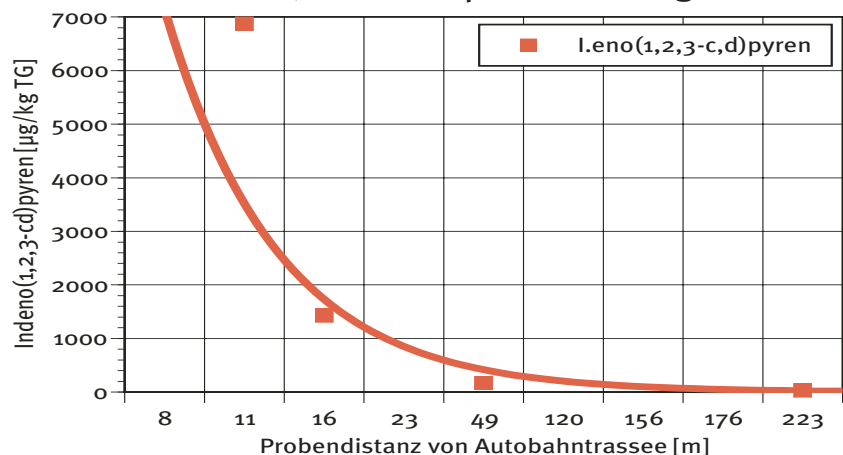
### **Distanzprofil für Indeno(1,2,3-cd)pyren**

Das Distanzprofil an der A2 in Härkingen zeigt auch eine auffallend starke Abhängigkeit der Indeno(1,2,3-cd)pyren-Belastung vom Strassenabstand (Abb. 81). In den fahrbahnnächsten 50 m Distanz fällt die Belastung von Indeno(1,2,3-cd)pyren bereits um einen Faktor 40.

**Abb. 81 Distanzprofil Härkingen für Mfz-verkehrsrelevante PAKs.**

Für Indeno(1,2,3-cd)pyren, welches besonders von Dieselfahrzeugen emittiert wird, zeigt sich an allen Profilstandorten eine hochgradige Distanzabhängigkeiten zur Autobahn. In den fahrbahnnächsten 50 m Distanz fällt die Belastung um das Vierzigfache.

#### **Autobahn A1,2-Distanzprofil Härkingen Nabel**



### Abb. 82 Der Schwerverkehr als Hauptquelle der Belastung mit Indeno(1,2,3-cd)pyren

Die Varianzanalyse der Bio-monitoringdaten mit dem Werktagsverkehr mit fahrzeugtypenklassierten Swiss10-Daten zeigt, dass der schwere Güterverkehr mit 34% die Belastung von Indeno(1,2,3-cd)pyren mit Abstand am stärksten prägt.

Der Anteil des gesamten Güterverkehrs beträgt 38%, derjenige des «leichten Güterverkehrs» 4% und der PW-Anteil spielt eine nur geringe Rolle. Der hohe Belastungsanteil der Strassendistanz unterstreicht die dominante Rolle des Mfz-Verkehrs für die Belastung mit Indeno(1,2,3-cd)pyren.

### Abb. 83 Belastungsvergleich mit motoren-spezifischen Emissionsdaten für Indeno(1,2,3-cd)pyren.

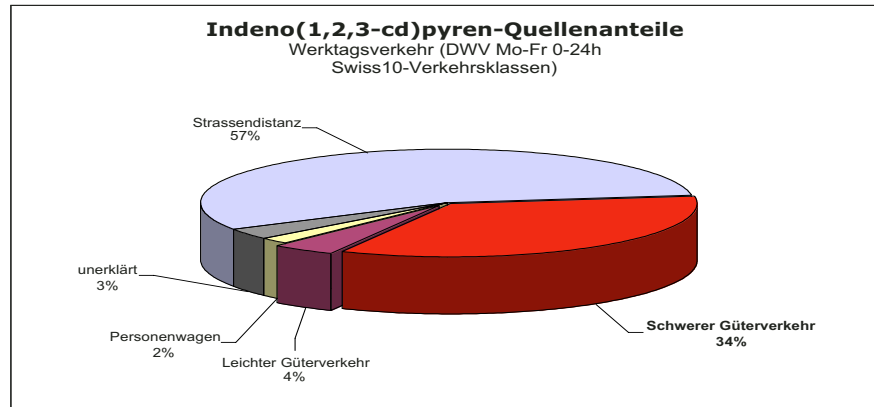
Dieselmotoren und speziell sog. «Indirekte Einspritzermodelle; IDI» emittieren bis zu einem Faktor 6 mehr an Indeno(1,2,3-cd)pyren als Benzinmotoren mit Katalysatoren (WHO 2002).

Die Gubriststudie (1993) ermittelte einen Schwerververkehrsanteil von 12%.

Am weitaus Saubersten sind Gasmotoren.

### Quellenanteile für Indeno(1,2,3-cd)pyren

Die Multivariate Varianzanalyse für Indeno(1,2,3-cd)pyren ergibt für den schweren Güterverkehr einen hohen Belastungsanteil von 34% (Abb. 82).



### Vergleich mit motoren-spezifischen Emissionsdaten

Der Vergleich mit externen motorenspezifischen Emissionsdaten ergibt eine Bestätigung der Befunde des Luftqualitätsmonitorings (Abb. 83).

Indeno(123-c,d)pyren						Toxikologie k			
WHO-Road Transport: Emission Inventory 2002						Gubrist 1993		POP-Report UM-146	
bulk gasoline & diesel emission [µg/km] hot & cold						Motorfahrzeuge		Motorfahrzeuge	
non cat	cat	DI	IDI	DI	Liq.gas	% LKW-Anteil		Strassenabstand	
Gasoline PC/LDV	Gasoline PC/LDV	Diesel PC/LDV	Diesel PC/LDV	Diesel HDV	LPG	Mo-Fr/ SA-SO		PAK Gradient	
1.03	0.39	0.70	2.54	1.40	0.01	12%		sehr stark	

### Gesamtbewertung von Indeno(1,2,3-cd)pyren

zeigt sich als zuverlässiger Tracer für den Güterverkehr und indiziert besonders gut den Anteil an schweren Dieselfahrzeugen.

### Experimentelle Befunde des MfM-U Biomonitorings

- Standortvergleiche und Profilanalysen weisen eindeutig auf Stärkstebelastung an Standorten mit hohen LKW-Anteilen hin.
- Varianzanalysen mit dem flottendifferenzierten Werktagsverkehr (Swiss10) belegen den überragenden Schwerververkehrsanteil an der Luftbelastung mit dem kanzerogenen Indeno(1,2,3-cd)pyren.

### Literaturdaten

- Die experimentellen Befunde werden gestützt von Emissionsmessungen an Motorentypen (WHO 2002), die belegen, dass Dieselmotoren die höchsten Emission von Indeno(1,2,3-cd)pyren verursachen. Die Gubriststudie (1993) ermittelte einen Schwerververkehrsanteil von 12%.

## Benzo(c)phenanthren

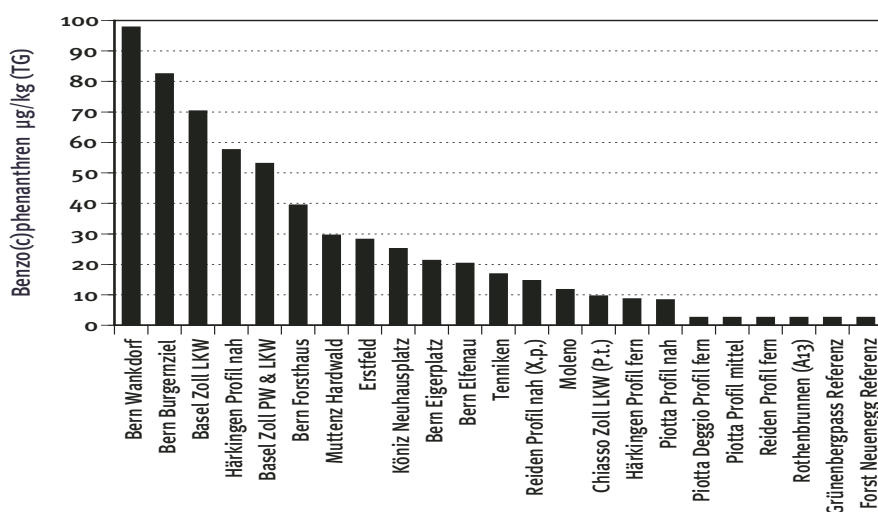
### Benzo(c)phenanthren-Belastung der MfM-U- und der Berner Standorte von 2003

Die höchste Benzo(c)phenanthren-Belastung wurde am Standort Bern Wankdorf festgestellt, gefolgt von Bern Burgernziel, Basel Zoll und Härkingen (Abb. 84). Auf tieferem Niveau folgen alle weiteren Standorte. Das Belastungsminima wurde am Referenzstandort Forst Neuenegg gemessen. Benzo(c)phenanthren zeigt mit einem Faktor von 39 einen starken Belastungsgradienten.

**Abb. 84 Belastung von Benzo(c)phenanthren der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003.**

Für Benzo(c)phenanthren liegt zwischen maximalem Standortwert von Bern Wankdorf und dem geringst belasteten Hintergrundstandort Forst Neuenegg ein starker Belastungsgradient von 39 vor.

Benzo(c)phenanthren ist eines der neun sowohl mutagenen und kanzerogenen PAKs



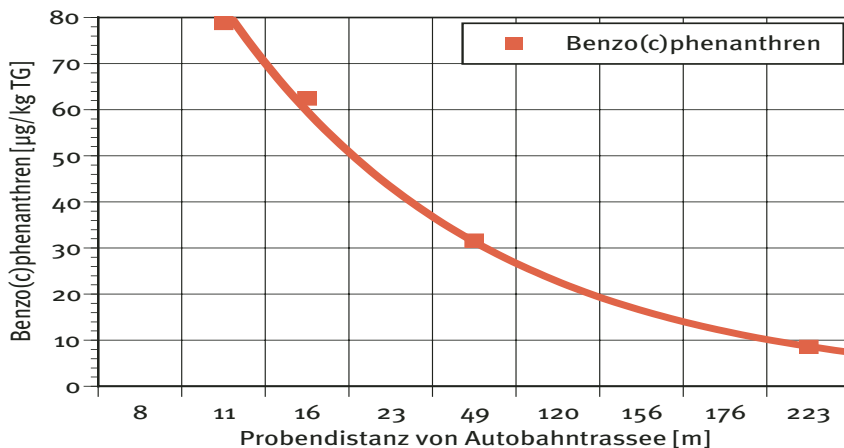
### Distanzprofil für Benzo(c)phenanthren

Das Distanzprofil an der A2 in Härkingen zeigt eine deutliche Abhängigkeit der Benzo(c)phenanthren-Belastung vom Strassenabstand (Abb. 85). In den fahrbahnnächsten 50 m Distanz fällt die Belastung von Benzo(c)phenanthren um einen Faktor 2.

**Abb. 85 Distanzprofil Härkingen für Benzo(c)phenanthren.**

Für Benzo(c)phenanthren zeigt sich an allen Profilstandorten eine deutliche Distanzabhängigkeiten zur Autobahn. In den fahrbahnnächsten 50m Distanz fällt die Benzo(c)phenanthren-Belastung bereits um die Hälfte.

#### Autobahn A1,2-Distanzprofil Härkingen Nabel

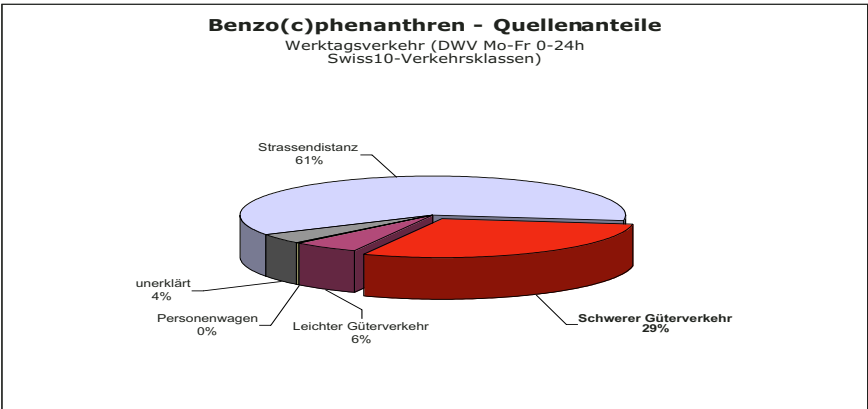


**Abb. 86 Der Schwerverkehr als Hauptquelle der Belastung mit Benzo(c)phenanthren.**

Die Varianzanalyse der Bio-monitoringdaten mit dem Werktagsverkehr mit fahrzeugtypenklassierten Swiss10-Daten zeigt, dass der schwere Güterverkehr mit 29% die Belastung von Benzo(c)phenanthren mit Abstand am stärksten prägt. Der Anteil des «leichten Güterverkehrs» beträgt 6% und der PVW-Anteil spielt eine nur geringe Rolle. Der hohe Belastungsanteil der Strassendistanz unterstreicht die dominante Rolle des mfv-Verkehrs für die Belastung mit Benzo(c)phenanthren.

**Quellenanteile für Benzo(c)phenanthren**

Die Multivariate Varianzanalyse für Benzo(c)phenanthren ergibt für den schweren Güterverkehr einen hohen Belastungsanteil von 29% und von 6% für den leichten Güterverkehr (Abb. 86).



**Vergleich mit motoren-spezifischen Emissionsdaten**

Der Vergleich mit externen motorenspezifischen Emissionsdaten ergibt eine Bestätigung der Befunde des Luftqualitätsmonitorings (Abb. 87).

**Abb. 87 Belastungsvergleich mit motoren-spezifischen Emissionsdaten für Benzo(c)phenanthren.**

Für Benzo(c)phenanthren sind noch keine Emissionsdaten verfügbar (WHO 2002). Die Gubriststudie (1993) ermittelte einen Schwerververkehrsanteil von 12%.

Benzo(c)phenanthren Toxikologie k							
WHO-Road Transport: Emission Inventory 2002						Gubrist 1993	POP-Report UM-146
bulk gasoline & diesel emission [µg/km] hot & cold						Motorfahrzeuge	Motorfahrzeuge
non cat	cat	DI	IDI	DI	Liq.gas	% LKW-Anteil	Strassenabstand
Gasoline PC/LDV	Gasoline PC/LDV	Diesel PC/LDV	Diesel PC/LDV	Diesel HDV	LPG	Mo-Fr/ SA-SO	PAK Gradient
						12%	sehr stark

**Gesamtbewertung von Benzo(c)phenanthren**

zeigt sich als zuverlässiger Tracer für den Güterverkehr und indiziert besonders gut den Anteil an schweren Dieselfahrzeugen.

**Experimentelle Befunde des MfM-U Biomonitorings**

- Standortvergleiche und Profilanalysen weisen eindeutig auf Stärkstbelastung an Standorten mit hohen Mfv-Anteilen hin.
- Varianzanalysen mit dem flottendifferenzierten Werktagsverkehr (Swiss10) belegen den überragenden Schwerververkehrsanteil an der Luftbelastung mit dem kanzerogenen Benzo(c)phenanthren

**Literaturdaten**

- Die experimentellen Befunde werden bisher gestützt von der Gubriststudie (1993), welche einen Schwerververkehrsanteil von 12% ermittelte.

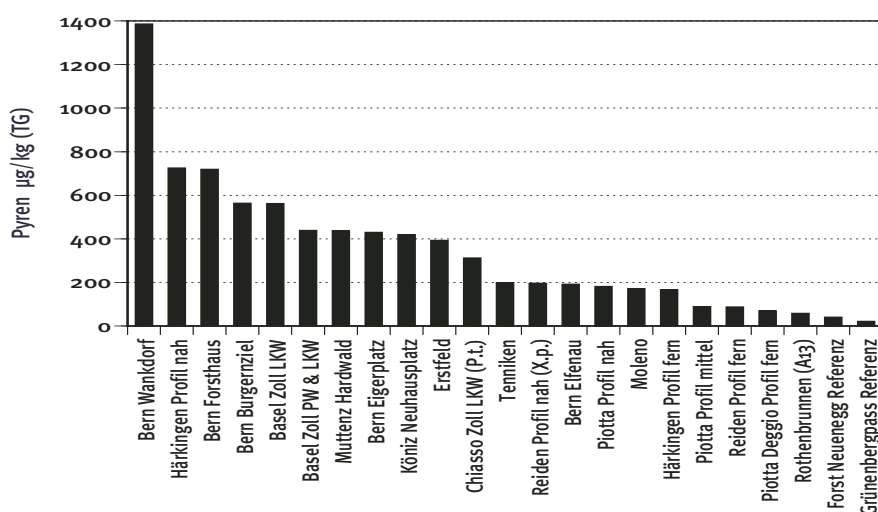
## Pyren

### Pyren-Belastung der MfM-U- und Berner Standorte von 2003

Der mit Abstand höchste Pyren-Standortwert wurde in Bern Wankdorf festgestellt (Abb. 88). Auf tieferem Niveau folgen Härkingen Profil nah und Bern Forsthaus. Der tiefste Pyren-Belastungswert wurde am Referenzstandort Forst Neuenegg gemessen, gefolgt von Rothenbrunnen (A13), Piotta Deggio Profil fern, Reiden Profil fern und Piotta Profil mittel. Pyren zeigt mit einem Faktor von 35 einen starken Belastungsgradienten.

**Abb. 88** Pyren - Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003.

Für Pyren liegt zwischen dem maximalem Standortwert von Bern Wankdorf und dem geringst belasteten Hintergrundstandort Forst Neuenegg ein starker Belastungsgradient von 35 vor.

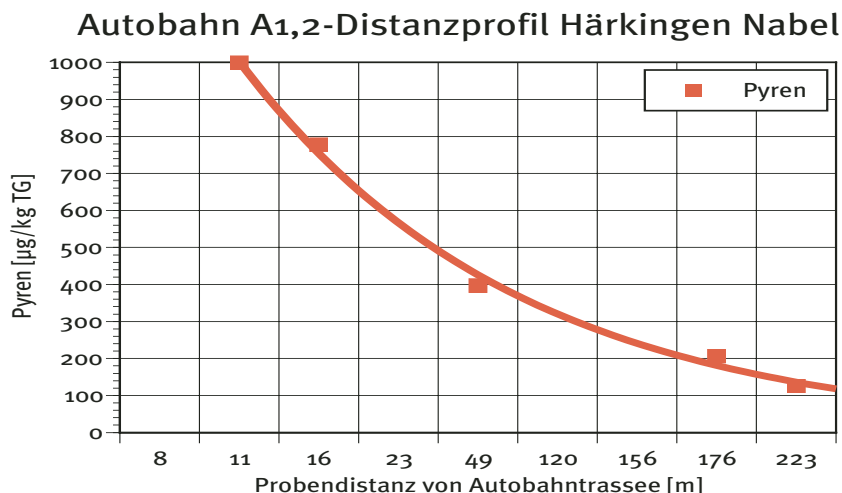


### Distanzprofil für Pyren

Das Distanzprofil an der A2 in Härkingen zeigt eine deutliche Abhängigkeit der Pyren-Belastung vom Strassenabstand (Abb. 89). In den fahrbahnnächsten 50 m Distanz fällt die Benz(a)anthracen-Belastung bereits um mehr als einen Faktor 2.5.

**Abb. 89** Distanzprofil Härkingen für Pyren.

Für Pyren, welches besonders von Dieselfahrzeugen emittiert wird, zeigt sich an allen Profilstandorten eine deutliche Distanzabhängigkeiten zur Autobahn. In den fahrbahnnächsten 50 m Distanz fällt die Benz(a)anthracen-Belastung bereits um mehr als die Hälfte.





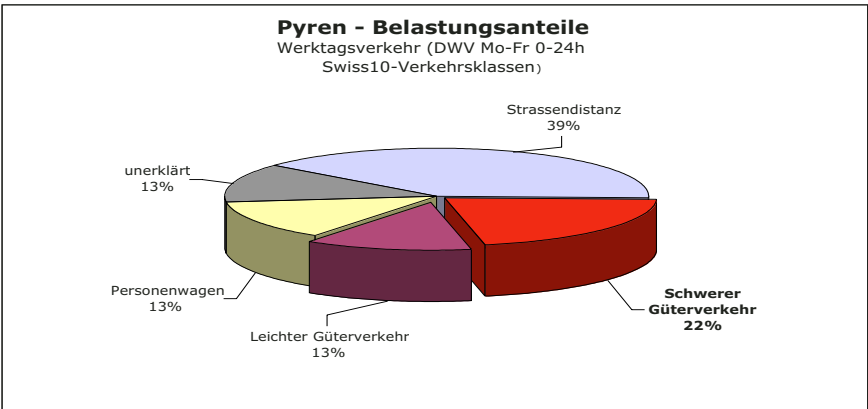
# Quellenanteile für Pyren

Die Multivariate Varianzanalyse für Indeno(1,2,3cd)pyren ergibt für den schweren Güterverkehr einen hohen Belastungsanteil von 34% (Abb. 90).

## Abb. 90 Der Schwerverkehr als Hauptquelle der Pyren-Belastung.

Die Varianzanalyse der Bio-monitoringdaten mit dem Werktagsverkehr mit fahrzeugtypenklassierten Swiss10-Daten zeigt, dass der schwere Güterverkehrs mit 22% die Belastung von Pyren mit Abstand am stärksten prägt. Die Anteile des «leichten Güterverkehrs» und der PWs betragen je 13%.

Der hohe Belastungsanteil der Strassendistanz unterstreicht zusätzlich die dominante Rolle des mfz-Verkehrs für die Pyren-Belastung.



# Vergleich mit motoren-spezifischen Emissionsdaten

Der Vergleich mit externen motorenspezifischen Emissionsdaten ergibt eine Bestätigung der Befunde des Luftqualitätsmonitorings (Abb. 91).

## Abb. 91 Belastungsvergleich mit motoren-spezifischen Emissionsdaten für Pyren.

Schwere Dieselmotoren mit «direkten Einspritzermotoren; DI» sowie leichte Güter- und PW-Fahrzeuge emittieren bis zu einem Faktor 22 mehr an Pyren als Benzinmotoren mit Katalysatoren (WHO 2002). Die Gubriststudie (1993) ermittelte einen aussergewöhnlich hohen Schwerverkehrsanteil von 85%. Am Saubersten sind erneut Gasmotoren.

Pyren						Toxikologie m? k?		
WHO-Road Transport: Emission Inventory 2002							Gubrist 1993	POP-Report UM-146
bulk gasoline & diesel emission [µg/km] hot & cold							Motorfahrzeuge	Motorfahrzeuge
non cat	cat	DI	IDI	DI	Liq.gas		% LKW-Anteil	Strassenabstand
Gasoline PC / LDV	Gasoline PC / LDV	Diesel PC / LDV	Diesel PC / LDV	Diesel HDV	LPG		Mo-Fr / SA-SO	PAK Gradient
5.78	1.80	12.30	38.96	31.59	1.06		85%	sehr stark

# Gesamtbewertung von Pyren

**erweist sich als zuverlässiger Tracer für den dieselbetriebenen Güterverkehr und weist auch auf den Anteil an schweren Dieselfahrzeugen hin.**

## Experimentelle Befunde des MfM-U Biomonitorings

- Standortvergleiche und Profilanalysen weisen eindeutig auf Stärkstbelastung an Standorten mit hohen LKW-Anteilen hin.
- Varianzanalysen mit dem flottendifferenzierten Werktagsverkehr (Swiss10) belegen den überragenden Schwerverkehrsanteil an der Luftbelastung mit Pyren.

## Literaturdaten

- Die experimentellen Befunde werden gestützt von Emissionsmessungen an Motorentypen (WHO 2002), die belegen, dass schwere Dieselmotoren die höchsten Pyren-Emissionen verursachen sowie der Gubriststudie (1993), welche einen aussergewöhnlich hohen Schwerverkehrsanteil von 85% ausweist.

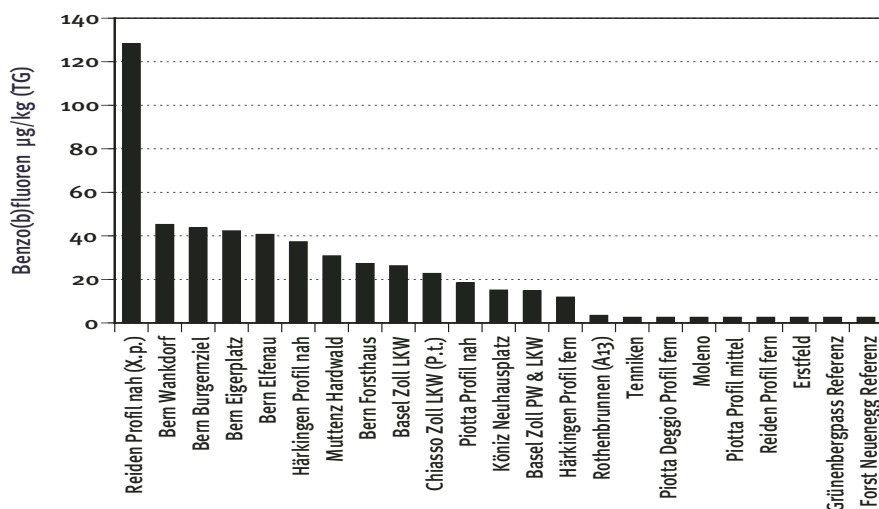
## Benzo(b)fluoren

### Benzo(b)fluoren-Belastung der MfM-U- und Berner Standorte von 2003

Für Benzo(b)fluoren wurde ausnahmsweise die mit Abstand höchste Benzo(b)fluoren-Belastung am Standort Reiden nah festgestellt (Abb. 92). Auf deutlich tieferem Niveau folgen die Berner Standorte Wankdorf, Burgenzien, Eigerplatz und sogar Elfenau, vor Härkingen Profil nah und Muttentz Hardwald. Das Belastungsminimum wurde am Referenzstandort Forst Neuenegg gemessen. Benzo(b)fluoren zeigt mit einem Faktor von 51 einen starken Belastungsgradienten.

**Abb. 92 Benzo(b)fluoren-Belastung der MfM-U und Berner Standorte von 2003.**

Für Benzo(b)fluoren liegt zwischen maximalem Standortwert von Reiden und dem geringst belasteten Hintergrundstandort Forst Neuenegg einen starken Belastungsgradienten von 51.



### Distanzprofil für Benzo(b)fluoren

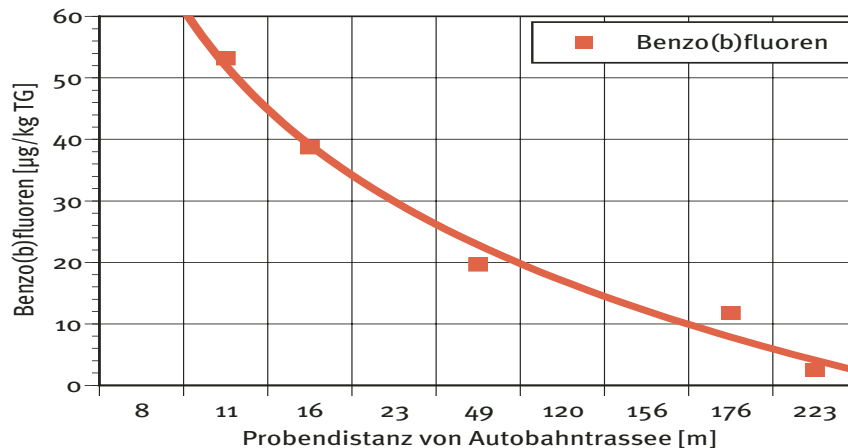
Das Distanzprofil an der A2 in Härkingen zeigt eine deutliche Abhängigkeit der Benzo(b)fluoren-Belastung vom Strassenabstand (Abb. 93).

**Abb. 93 Distanzprofil Härkingen für Benzo(b)fluoren.**

Für Benzo(b)fluoren, welches besonders von Dieselfahrzeugen emittiert wird, zeigt sich an allen Profilstandorten eine deutliche Distanzabhängigkeiten zur Autobahn.

In den fahrbahnnächsten 50 m Distanz fällt die Benzo(b)fluoren-Belastung bereits auf einen Drittel.

#### Autobahn A1,2-Distanzprofil Härkingen Nabel



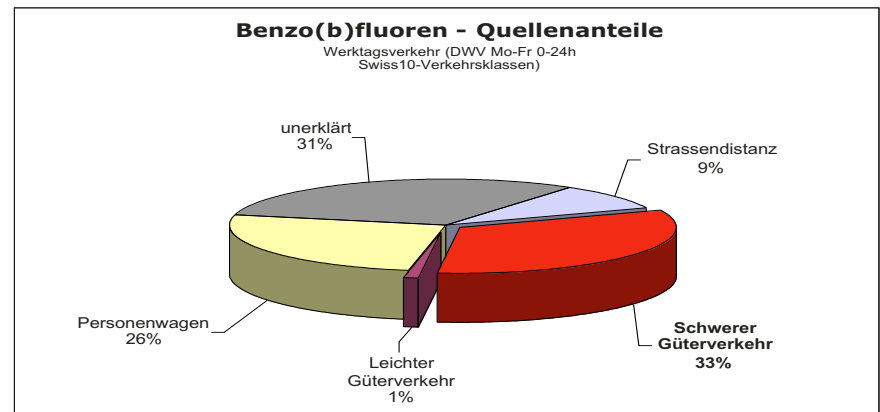


### Quellenanteile für Benzo(b)fluoren

Die Multivariate Varianzanalyse für Benzo(b)fluoren ergibt für den schweren Güterverkehr einen hohen Belastungsanteil von 33% (Abb. 94).

**Abb. 94 Der Schwerverkehr als Hauptquelle der Benzo(b)fluoren-Belastung.**

Die Varianzanalyse der Bio-monitoringdaten mit dem Werktagsverkehr mit fahrzeugtypenklassierten Swiss10-Daten zeigt, dass der schwere Güterverkehrs mit 33% die Belastung von Benzo(b)fluoren am Stärksten prägt. Der Anteil des «leichten Güterverkehrs» beträgt 1% und der PW-Anteil trägt weitere 28% bei und rührt vermutlich von den dieselbetriebenen PWs her.



### Vergleich mit motoren-spezifischen Emissionsdaten

Der Vergleich mit externen motorenspezifischen Emissionsdaten ergibt eine Bestätigung der Befunde des Luftqualitätsmonitorings (Abb. 95).

**Abb. 95 Belastungsvergleich mit motoren-spezifischen Emissionsdaten für Benzo(b)fluoren.**

Dieselmotoren und speziell sog. «direkte Einspritzermotoren» emittieren bis zu einem Faktor 57 mehr an Benzo(b)fluoren als Benzinmotoren mit Katalysatoren (WHO 2002). Die Gubriststudie (1993) ermittelte einen hohen Schwerverkehrsanteil von 58%.

Benzinmotoren mit Katalysator und Gasmotoren weisen mit Abstand die besten Emissionseigenschaften für Benzo(b)fluoren auf.

Benzo(b)fluoren						Toxikologie k?, m		
WHO-Road Transport: Emission Inventory 2002							Gubrist 1993	POP-Report UM-146
bulk gasoline & diesel emission [µg/km] hot & cold							Motorfahrzeuge	Motorfahrzeuge
non cat	cat	DI	IDI	DI	Liq.gas		% LKW-Anteil	Strassenabstand
Gasoline PC/LDV	Gasoline PC/LDV	Diesel PC/LDV	Diesel PC/LDV	Diesel HDV	LPG		Mo-Fr/ SA-SO	PAK Gradient
4.08	0.42	24.00	5.21	10.58	0.71		58%	n.a.

### Gesamtbewertung von Benzo(b)fluoren

zeigt sich als zuverlässiger Tracer für den Güterverkehr und weist besonders gut auf den Anteil an schweren Dieselfahrzeugen hin.

#### Experimentelle Befunde des MfM-U Biomonitorings

- Standortvergleiche und Profilanalysen weisen eindeutig auf Stärkstebelastung an Standorten mit hohen LKW-Anteilen hin.
- Varianzanalysen mit dem flottendifferenzierten Werktagsverkehr (Swiss10) belegen einen bedeutenden Schwerverkehrsanteil von 33% an der Luftbelastung mit dem mutagenen Benzo(b)fluoren.

#### Literaturdaten

- Die experimentellen Befunde werden gestützt von Emissionsmessungen an Motorentypen (WHO 2002), die belegen, dass Dieselmotoren die höchsten Benzo(b)fluoren-Emissionen verursachen und der Gubriststudie (1993), welche einen hohen Schwerverkehrsanteil von 58% ausweist.

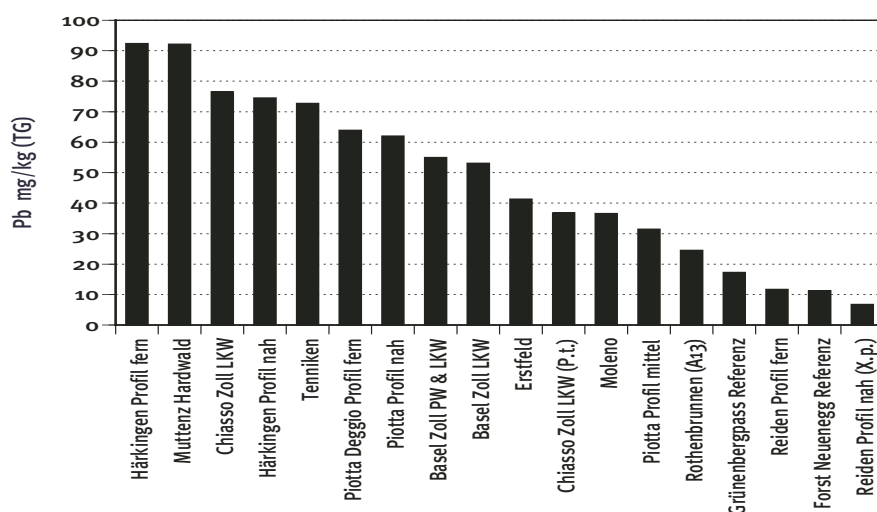
## Blei Pb)

### Blei-Belastung der MfM-U-Standorte von 2003

Die höchsten Bleiwerte wurden erneut an den stark frequentierten Verkehrsstandorten MuttENZ und Hardwald, Härkingen und Chiasso Zoll LKW nah festgestellt (Abb. 96). Der absolute Höchstwert liegt jedoch in Härkingen Profil fern. Dieser hohe Wert ist eine Punktquelle (Metallwerk) im strassenfernen Bereich zurückzuführen. Die tiefsten Blei-Standortwerte wurden wiederum am Referenzstandort Forst Neuenegg, gefolgt von Reiden Profil fern festgestellt. Für Blei liegt ein für Schwermetalle hoher Belastungsgradient von 8 vor.

**Abb. 96 Blei - Belastung der MfM-U und Berner Standorte von 2003.**

Für Blei liegt zwischen maximalem Standortwert von Härkingen und dem geringst belasteten Hintergrundstandort Forst Neuenegg ein für Schwermetalle starker Belastungsgradient von 8 vor.



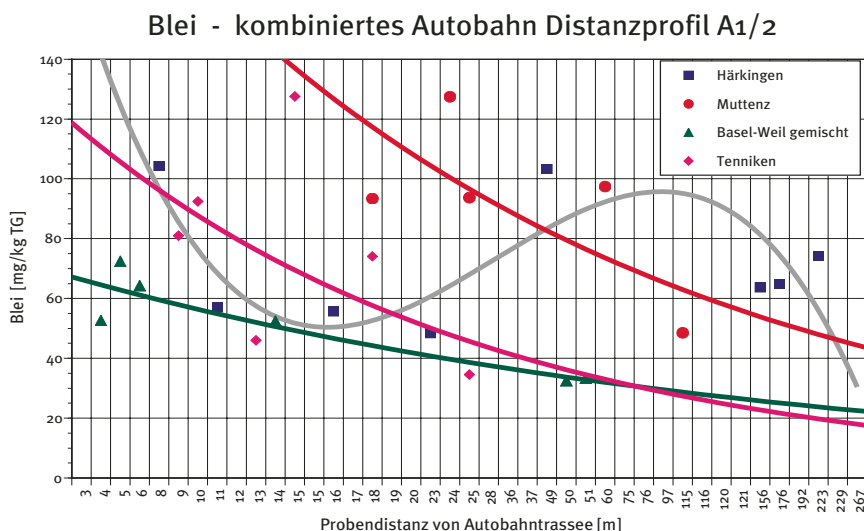
### Kombiniertes Distanzprofil für Blei

Das Distanzprofil an der A1,2 in Härkingen (grau schaffiert) widerspiegelt eine standörtliche Inhomogenität. Unter Zuhilfenahme der Profile in Basel-Weil Zoll, MuttENZ und Tenniken zeigt aber auch Blei die erwartete Distanzabhängigkeit, allerdings nur mit mässig guten Kurvenfits von  $R^2=0.3-0.5$  (Abb. 97).

**Abb. 97 Kombiniertes Distanzprofil für Blei.**

Für Blei welches heutzutage besonders von Bremsbelägen emittiert wird, zeigt sich an den typischen Verkehrsstandorten Basel-Weil, MuttENZ und Tenniken eine mässig gute Distanzabhängigkeiten zur Autobahn.

Aufgrund einer Beeinträchtigung durch ein Metallwerk zeigt sich in autobahnfernen Standorten von Härkingen eine erhöhte Belastung, welche unabhängig vom Mfz-Verkehr auftritt.



### Abb. 98 Der Schwerverkehr als Hauptquelle der Blei-Belastung.

Die Varianzanalyse der Biomonitoringdaten mit dem Werktagsverkehr mit fahrzeugtypenklassierten Swiss10-Daten zeigt, dass der schwere Güterverkehr mit 73% die Belastung von Blei mit Abstand am stärksten prägt. Der Anteil des «leichten Güterverkehrs» beträgt 6% und der PW-Anteil spielt eine nur geringe Rolle. Die Strassendistanz erklärt weitere 10% und unterstreicht die dominante Rolle des mfz-Verkehrs für die Blei-Belastung.

### Abb. 99 Belastungsvergleich mit Emissionsdaten des Mfz-Verkehrs für Blei.

Entgegen der fälschlicherweise vertretenen Meinung, Blei sei seit Einführung der Katalysatortechnik und dem Verschwinden des verbleiten Benzens aus dem Mfz-Verkehr verschwunden, stellen Bremsbeläge und Motorenöle nach wie vor eine sehr signifikante Blei-Quelle dar.

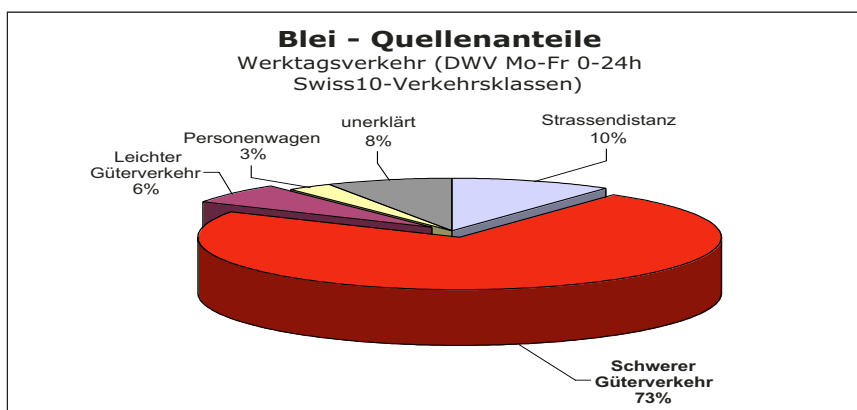
Bremsbeläge unterscheiden sich in ihrer Bleibelastung je nach Fabrikationstyp ausserordentlich stark. Die umfangreiche schwedische Untersuchung an 24 neuen PW-Modellen von 9 Herstellern kam zu wesentlich höheren Belastungswerten als die EU-weite EMEP-Studie.

Motorenöle 998mg/kg  
www.bobistheoilguy.com

7 von 29 getesteten neuen Bremsbelägen zeigten Pb-Gehalten von 2-4%, wobei 12 Fabrikate Pb-frei waren. ÖKO-TEST 2002.

## Quellenanteile für Blei

Die Multivariate Varianzanalyse für Blei ergibt für den schweren Güterverkehr einen sehr hohen Belastungsanteil von 73% sowie 6% für den «leichten Güterverkehr». Somit können 80% der Bleibelastung in den Flechten alleine vom Güterverkehr erklärt werden (Abb. 98).



## Vergleich mit mfz-spezifischen Emissionsdaten

Der Vergleich mit externen mfz-spezifischen Emissionsdaten vom Bremsbelägen und Autoreifen, bestätigt die Befunde des Luftqualitätsmonitorings (Abb. 99).

Blei-Belastung [mg/kg]						Toxikologie	
EMEP / CORINAIR - Emission Inventory Guidebook 2005							
Autoreifen			Bremsbeläge				
Mittelwert	Min	Max	Mittelwert	Min	Max	Bemerkung	
107	1	160	3'126	50	6'594	Bremsbeläge >> Pneus	
Metal emissions from Stockholm traffic - brake linings, Westerlund 2001							
			18'655	<6	56'600	Bremsbeläge neue PWs	

## Gesamtbewertung von Blei

**zeigt sich als zuverlässiger Tracer für den Güterverkehr und weist besonders gut auf den Anteil an schweren Dieselfahrzeugen hin.**

## Experimentelle Befunde des MfM-U Biomonitorings

- Standortvergleiche und Profilanalysen weisen deutlich auf eine Stärkstebelastung an Standorten mit hohen LKW-Anteilen hin.
- Varianzanalysen mit dem flottendifferenzierten Werktagsverkehr (Swiss10) belegen den überragenden Schwerververkehrsanteil.

## Literaturdaten

- Die experimentellen Befunde werden gestützt von Belastungsanalysen an Bremsbelägen, -staub und Fahrzeugreifen (EMEP-CORINAIR, von Uexküll 2005, Westlund 2001, ÖKO-TEST 2002), die belegen, dass Bremssysteme von modernen Motorfahrzeugen immer noch bedeutende Bleiemissionen verursachen, da das hochgiftige Antimon heute oft durch Blei ersetzt wird. Weitere relevante Blei-Quellen sind hochvergütete Motorenöle sowie Auswuchtgewichte von Felgen (Neueinsatz heute in der Schweiz verboten).

## Gesamtschwefel (S-total)

### Gesamtschwefel-Belastung der MfM-U-Standorte

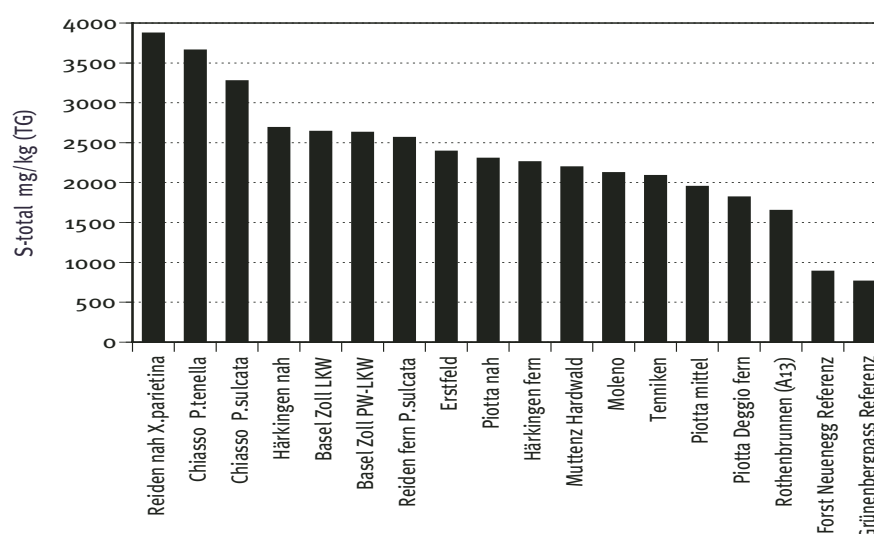
Die höchsten Belastungswerte von Gesamtschwefel wurden an den Standorten Reiden, Chiasso Zoll LKW, Härkingen Profil nah sowie den beiden Basler Zollstandorten festgestellt (Abb.100).

Die mit Abstand tiefste Gesamtschwefel-Belastung zeigt sich an den Referenzstandorten Forst Neueneegg und Grünenbergpass, gefolgt von Rothenbrunnen (A13).

Der Belastungsgradient von 3.7 ist deutlich.

**Abb. 100 Belastung mit Gesamtschwefel der MfM-U-Standorte von 2003.**

Für Gesamtschwefel liegt zwischen maximalem Standortwert von Härkingen und dem geringst belasteten Hintergrundstandort Forst Neueneegg ein für Schwermetalle deutlicher Belastungsgradient von 3.7 vor.

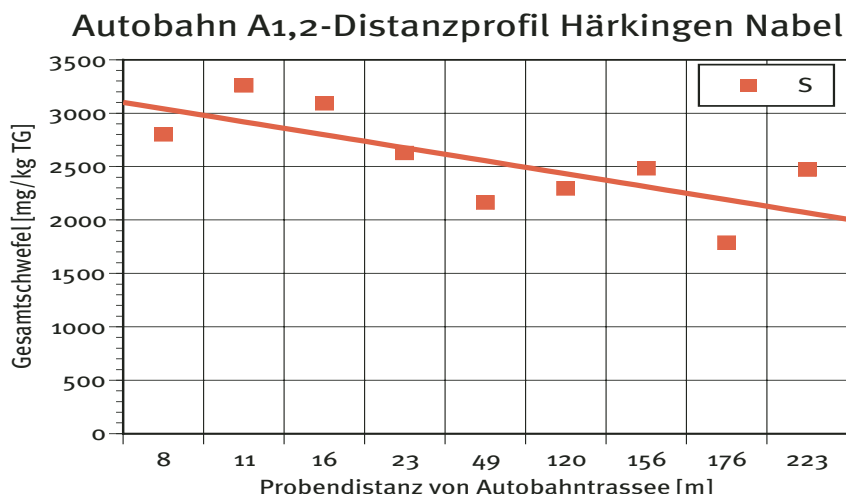


### Distanzprofil für Gesamtschwefel

Das Distanzprofil an der A2 in Härkingen zeigt eine gut sichtbare Abhängigkeit ( $R^2=0.53$ ) der Gesamtschwefel-Belastung vom Strassenabstand. Im Gegensatz zur Belastung mit PAKs sinkt jedoch die Gesamtschwefelbelastung mit zunehmender Distanz von der Autobahn deutlich weniger stark ab und erreicht im entferntesten Probenahmepunkt in Härkingen noch etwa 60% der autobahnnahen Maximalbelastung (Abb. 101).

**Abb. 101 Distanzprofil Härkingen für Gesamtschwefel.**

Für Gesamtschwefel, welches besonders von Dieselfahrzeugen emittiert wird, zeigt sich an allen Profilstandorten eine gut sichtbare Distanzabhängigkeiten zur Autobahn.

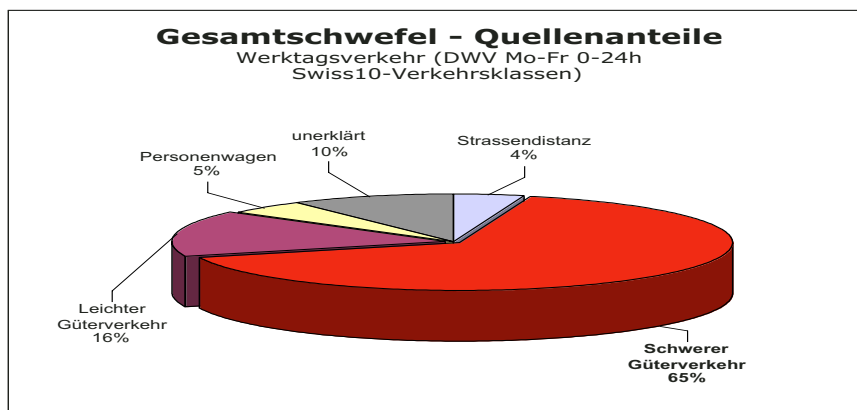


### Abb. 102 Der Schwerverkehr als Hauptquelle der Gesamtschwefel-Belastung.

Die Varianzanalyse der Bio-monitoringdaten mit dem Werktagsverkehr mit fahrzeugtypenklassierten Swiss10-Daten zeigt, dass der schwere Güterverkehr mit 65% die Belastung von Gesamtschwefel mit Abstand am stärksten prägt. Der Anteil des «leichten Güterverkehrs» beträgt 16% und der PW-Anteil trägt mit 5% nur eine geringe Rolle. Diese Schwefelbelastungen stammen aus dem Dieseltreibstoff, von Bremsbelägen und Autoreifen (Vulkanisation).

### Quellenanteile für Gesamtschwefel

Die Multivariate Varianzanalyse für Gesamtschwefel ergibt für den schweren Güterverkehr einen hohen Belastungsanteil von 65% und 16% für den leichten Güterverkehr (Abb. 102).



### Vergleich mit mfz-spezifischen Emissionsdaten

Der Vergleich mit externen mfz-spezifischen Emissionsdaten von Bremsbelägen und Autopneus bestätigen die Befunde des Luftqualitätsmonitorings (Abb. 103), wobei Bremsbeläge, verglichen mit Autopneus die Hauptquelle darstellen.

### Abb. 103 Belastungsvergleich mit Emissionsdaten des Mfz-Verkehrs für Gesamtschwefel.

Der schwefelhaltige Treibstoff von Dieselmotoren, Bremsbeläge und Abrieb von Autopneus gelten heute als Hauptquellen der verkehrsbedingten Schwefelbelastung.

Bremsbeläge unterscheiden sich in ihrer Schwefelbelastung je nach Fabrikationstyp sehr stark.

Schwefelgehalt von  
 Diesel Benzin 1996: 400ppm  
 2000: 300ppm  
 2005: 40ppm

Market Average: EMEP/CORINAIR 2005.

Schwefel-Belastung [mg/kg]						Toxikologie
EMEP / CORINAIR - Emission Inventory Guidebook 2005						
Autoreifen			Bremsbeläge			
Mittelwert	Min	Max	Mittelwert	Min	Max	Bemerkung
1'100			12'800			Bremsbeläge >> Pneus
Antimony in brake pads - a carcinogenic problem, von Uexküll 2001						
			9'516	5'200	21'000	Bremsbeläge/Staub LKWs

### Gesamtbewertung von Gesamtschwefel

**erweist sich als zuverlässiger Tracer für den Güterverkehr und weist besonders gut auf den Anteil an schweren Dieselfahrzeugen hin.**

### Experimentelle Befunde des MfM-U Biomonitorings

- Standortvergleiche und Profilanalysen weisen eindeutig auf Stärkstebelastung an Standorten mit hohen LKW-Anteilen hin.
- Varianzanalysen mit dem flottendifferenzierten Werktagsverkehr (Swiss10) belegen den hohen Schwerverkehrsanteil an der Luftbelastung mit Gesamtschwefel.

### Literaturdaten

- Die experimentellen Befunde werden gestützt von Belastungsanalysen an Bremsbelägen und -staub sowie von Fahrzeugreifen (EMEP-CORINAIR, von Uexküll 2005, Westlund 2001), die belegen, dass Bremssysteme und Autoreifen von modernen Motorfahrzeugen immer noch bedeutende Schwefelemissionen verursachen. Weitere Quellen stellen der Dieseltreibstoff und in geringerem Ausmass auch Benzin dar.



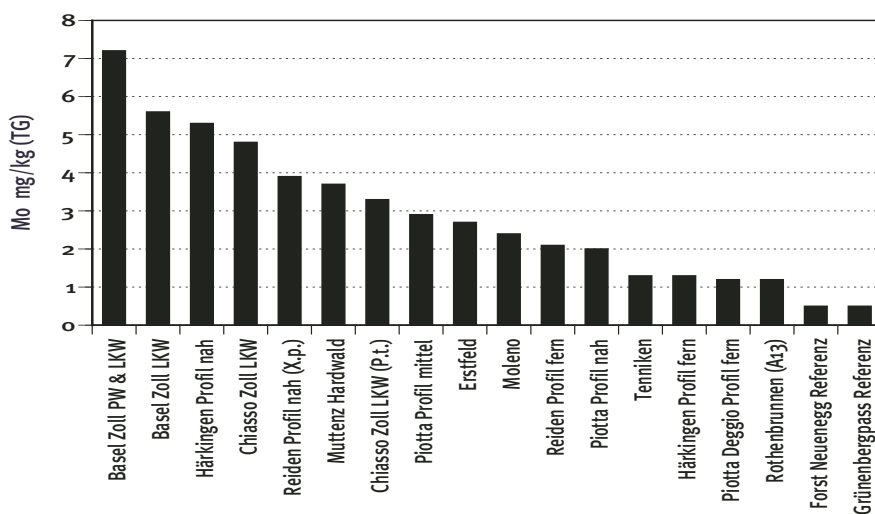
## Molybdän (Mo)

### **Molybdän-Belastung der MfM-U-Standorte von 2003**

Die höchsten Belastungswerte von Molybdän wurden an den hochfrequentierten Verkehrsstandorten Basel Zoll, Härkingen, Chiasso Zoll, Reiden und Muttenz Hardwald gemessen. Die tiefsten Belastungswerte für Molybdän wurden am Referenzstandort Forst Neuenegg nachgewiesen. Relativ geringe Belastungswerte wurden auch in Rothenbrunnen, Tenniken und in autobahnfernen Standorten von Piotta und Härkingen gemessen (Abb. 104). Mit einem Faktor von 13 liegt für Molybdän ein sehr starker Belastungsgradient vor.

**Abb. 104 Molybdän- Belastung der MfM-U Standorte von 2003.**

Für Molybdän zeigen sich Stärkstebelastungen an den hochfrequentierten Verkehrsstandorten und mit einem Faktor 13 ein für Schwermetalle sehr starker Belastungsgradient zwischen der maximalen und minimalen Standortbelastung.



### **Distanzprofil für Molybdän**

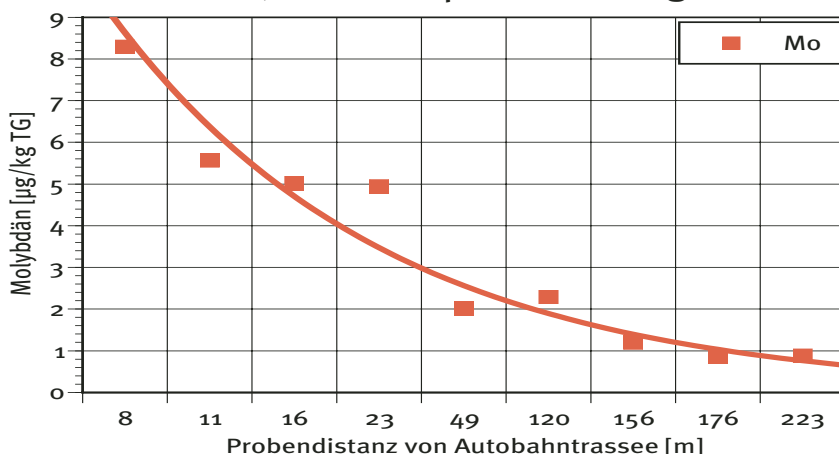
Das Distanzprofil an der A2 in Härkingen zeigt eine auffallend deutliche Abhängigkeit ( $R^2=0.95$ ) der Molybdän-Belastung vom Strassenabstand (Abb. 104). Molybdän zeigt mit zunehmender Distanz zur Autobahn eine ähnlich starke Belastungsabnahme wie bei den PAKs. In 50 m Distanz wird noch knapp ein Drittel der strassennahen Belastung festgestellt.

**Abb. 104 Distanzprofil Härkingen für Molybdän.**

Für Molybdän, welches besonders von Dieselfahrzeugen emittiert wird, zeigt sich an allen Profilstandorten eine hochgradige Distanzabhängigkeiten zur Autobahn.

In den fahrbahnnächsten 50 m Distanz fällt die Molybdän-Belastung auf unter einen Drittel.

### **Autobahn A1,2-Distanzprofil Härkingen Nabel**

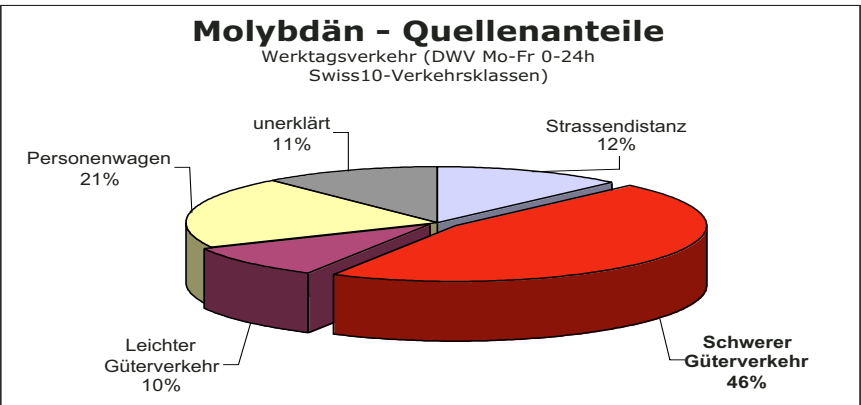


### Quellenanteile für Molybdän

Die Multivariate Varianzanalyse für Molybdän ergibt für den schweren Güterverkehr einen hohen Belastungsanteil von 46% sowie 10% für den leichten Güterverkehr und 21% für den PW-Anteil (Abb. 105).

**Abb. 105 Der Schwerverkehr als Hauptquelle der Molybdän-Belastung.**

Die Varianzanalyse der Biomonitoringdaten mit dem Werktagsverkehr mit fahrzeugtypen-klassierten Swiss10-Daten zeigt, dass der schwere Güterverkehrs mit 46% die Belastung von Molybdän mit Abstand am stärksten prägt. Der Anteil des «leichten Güterverkehrs» beträgt 10% und der PW-Anteil trägt 21% bei.



### Vergleich mit mfz-spezifischen Emissionsdaten

Der Vergleich mit externen mfz-spezifischen Emissionsdaten vom Bremsbelägen bestätigt die Befunde des Luftqualitätsmonitorings

**Abb. 105 Belastungsvergleich mit Emissionsdaten des Mfz-Verkehrs für Molybdän**

Bremsbeläge und hochvergütete Motorenöle gelten heute als Hauptquellen der verkehrsbedingten Molybdän-Belastung.

Bremsbeläge unterscheiden sich in ihrer Molybdänbelastung je nach Fabrikationstyp sehr stark.

Molybdän-Belastung [mg/kg]						Toxikologie
EMEP / CORINAIR - Emission Inventory Guidebook 2005						
Autoreifen			Bremsbeläge			
Mittelwert	Min	Max	Mittelwert	Min	Max	Bemerkung
3			10'000			Bremsbeläge >> Pneus
Antimony in brake pads - a carcinogenic problem, von Uexküll 2001						
			1'425	150	4'500	Bremsbeläge/Staub LKWs

### Gesamtbewertung von Molybdän

**erweist sich als zuverlässiger Tracer für den Güterverkehr und weist besonders gut auf den Anteil an schweren Dieselfahrzeugen hin.**

#### Experimentelle Befunde des MfM-U Biomonitorings

- Standortvergleiche und Profilanalysen weisen eindeutig auf Stärkstbelastung an Standorten mit hohen LKW-Anteilen hin.
- Varianzanalysen mit dem flottendifferenzierten Werktagsverkehr (Swiss10) belegen den hohen Schwerverkehrsanteil von 46% an der Luftbelastung mit Molybdän.

#### Literaturdaten

- Die experimentellen Befunde werden gestützt von Belastungsanalysen an Bremsbelägen, -staub und Fahrzeugreifen (EMEP- CORINAIR, von Uexküll 2005, Westlund 2001), die belegen, dass Bremssysteme von modernen Motorfahrzeugen immer noch bedeutende Molybdänemissionen verursachen. Weitere relevante Quellen sind hochvergütete Motorenöle sowie Ventiltteile.

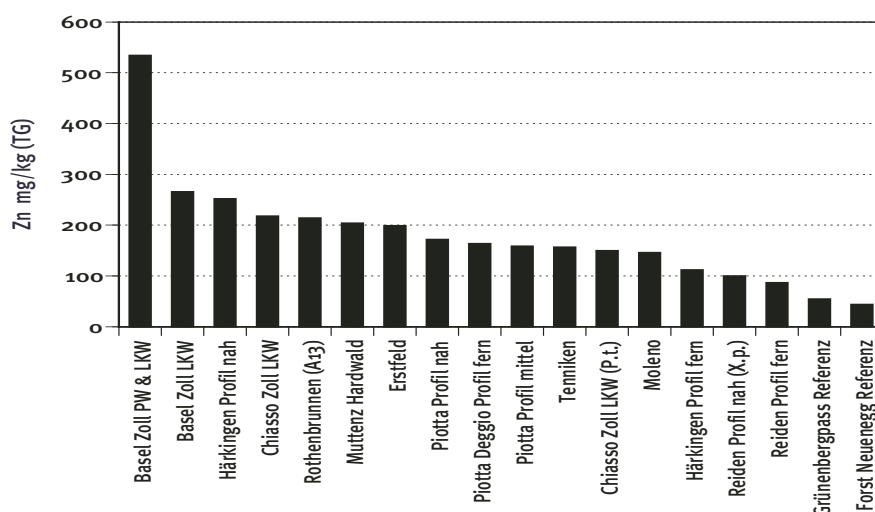
## Zink (Zn)

### Zink-Belastung der MfM-U-Standorte von 2003

Der mit Abstand höchste Zink-Standortwert wurde in Basel Zoll gemessen, gefolgt von Härkingen und Chiasso Zoll. Die tiefsten Zink-Werte zeigten sich erwartungsgemäss am Referenzstandort Forst Neuenegg. Auch in den strassenfernen Standorten von Reiden und Härkingen wurden gering Belastungswerte gemessen. Mit einem Faktor von 12 liegt ein für Schwermetalle starker Belastungsgradient vor (Abb. 106).

**Abb. 106 Zink-Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003.**

Für Zink zeigen sich Stärkstbelastungen an den hochfrequentierten Verkehrsstandorten und mit 12 ein für Schwermetalle sehr starker Belastungsgradient zwischen der maximalen und minimalen Standortbelastung.



### Distanzprofil für Zink

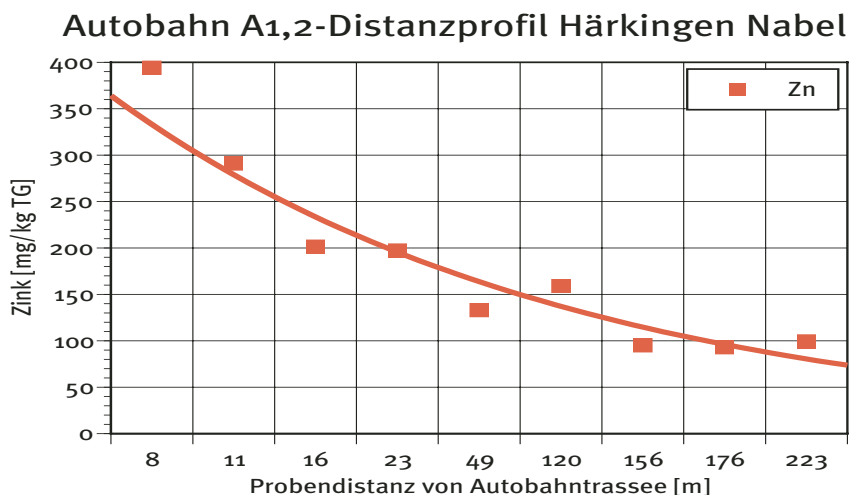
Das Distanzprofil an der A2 in Härkingen zeigt eine deutliche Abhängigkeit der Zink-Belastung vom Strassenabstand. Der Kurvenfit ist mit  $R^2=0.96$  sehr gut (Abb. 107).

Die Zink-Belastung sinkt mit zunehmender Distanz zur Autobahn deutlich und erreicht in 50m Distanz noch knapp die Hälfte der strassennahen Maximalbelastung.

**Abb. 107 Distanzprofil Härkingen für Zink.**

Für Zink zeigt sich an allen Profilstandorten eine deutliche Distanzabhängigkeiten zur Autobahn.

In den fahrbahnnächsten 50m Distanz fällt auch die Zink-Belastung auf unter die Hälfte.



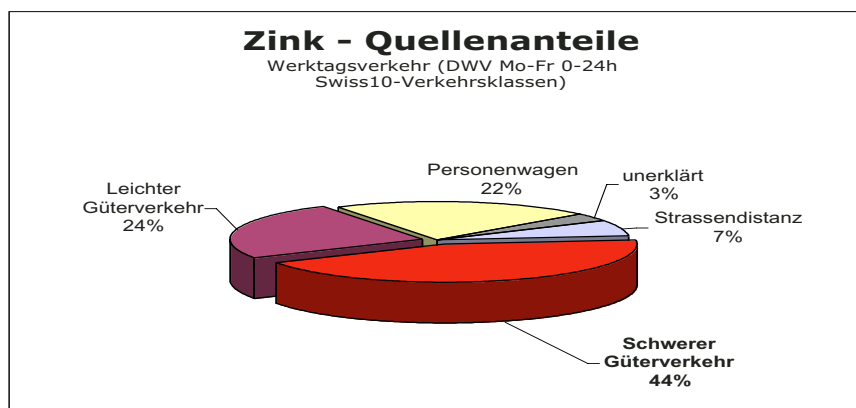


### Quellenanteile für Zink

Die Multivariate Varianzanalyse ergibt für Zink und den schweren Güterverkehr einen hohen Belastungsanteil von 44% sowie 24% für den leichten Güterverkehr und 22% für den PW-Anteil (Abb. 108).

**Abb. 108 Der Schwerverkehr als Hauptquelle Zink-Belastung.**

Die Varianzanalyse der Bio-monitoringdaten mit dem Werktagsverkehr mit fahrzeugtypenklassierten Swiss10-Daten zeigt, dass der schwere Güterverkehrs mit 44% die Belastung von Zink mit Abstand am stärksten prägt. Der Anteil des «leichten Güterverkehrs» beträgt weitere 24% und der PW-Anteil trägt 22% bei.



### Vergleich mit mfz-spezifischen Emissionsdaten

Der Vergleich mit externen mfz-spezifischen Emissionsdaten von Bremsbelägen bestätigt die Befunde des Luftqualitätsmonitorings (Abb. 109).

**Abb. 109 Belastungsvergleich mit Emissionsdaten des Mfz-Verkehrs für Zink.**

Bremsbeläge und Autoreifen nebst Motorenölen, Diesel, Benzin und die Korrosion gelten heute als Hauptquellen der verkehrsbedingten Zink-Belastung.

Bremsbeläge unterscheiden sich in ihrer Zinkbelastung je nach Fabrikationstyp sehr stark.

Motorenöle 1190-1570mg/kg  
Diesel Benzin 1mg/kg

EMEP/CORINAIR 2005,  
www.bobistheoilguy.com

Zink-Belastung [mg/kg]						Toxikologie	
EMEP / CORINAIR - Emission Inventory Guidebook 2005							
Autoreifen			Bremsbeläge				
Mittelwert	Min	Max	Mittelwert	Min	Max	Bemerkung	
7'434	430	13'494	8'676	270	21'800	Bremsbeläge > Pneus	
Antimony in brake pads - a carcinogenic problem, von Uexküll 2001							
			11'700	2'100	20'000	Bremsbeläge/Staub LKWs	

### Gesamtbewertung von Zink

erweist sich als zuverlässiger Tracer für den Güterverkehr und weist besonders gut auf den Anteil an schweren Dieselfahrzeugen hin.

#### Experimentelle Befunde des MfM-U Biomonitorings

- Standortvergleiche und Profilanalysen weisen eindeutig auf Stärkstebelastung an Standorten mit hohen LKW-Anteilen hin.
- Varianzanalysen mit dem flottendifferenzierten Werktagsverkehr (Swiss10) belegen den überragenden Schwerververkehrsanteil an der Luftbelastung mit Zink.

#### Literaturdaten

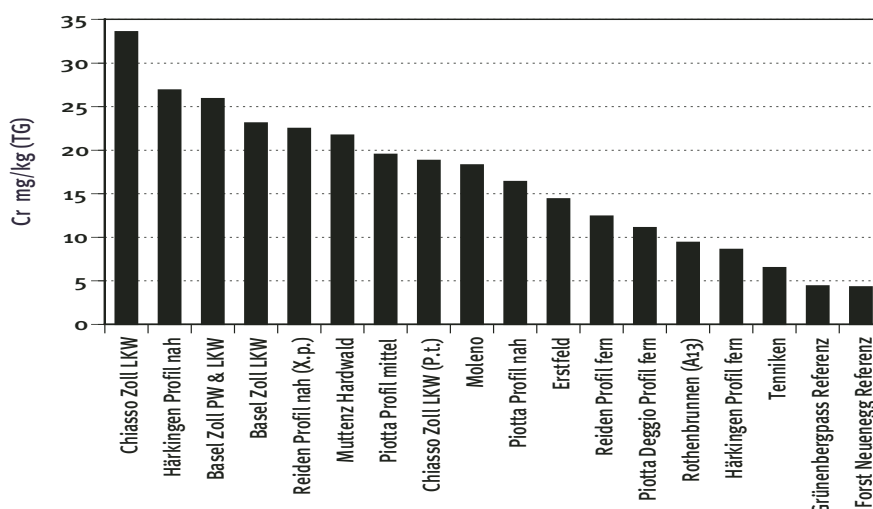
- Die experimentellen Befunde werden gestützt von Belastungsanalysen an Bremsbelägen, -staub und Fahrzeugreifen (EMEP-CORINAIR, von Uexküll 2005, Westlund 2001), welche belegen, dass Bremssysteme und Pneus von Motorfahrzeugen immer noch bedeutende Zinkemissionen verursachen. Weitere relevante Quellen sind hochvergütete Motorenöle, die Korrosion und in geringerem Ausmass Diesel- und Benzintreibstoffe.

## Chrom (Cr)

### Chrom-Belastung der MfM-U-Standorte von 2003

Die höchsten Belastungswerte wurden erneut an den Verkehrsstandorten Chiasso Zoll, Härkingen und beide Basler Zollstandorte gemessen (Abb. 110). Der tiefste Chrom-Mittelwert befindet sich am Referenzstandort Forst Neuenegg, gefolgt von Tenniken, Härkingen Profil fern und Rothenbrunnen.

Chrom zeigt analog zu Blei einen starken Belastungsgradienten mit einem Faktor von 8.



**Abb. 110 Chrom- Belastung der MfM-U-Standorte von 2003.**

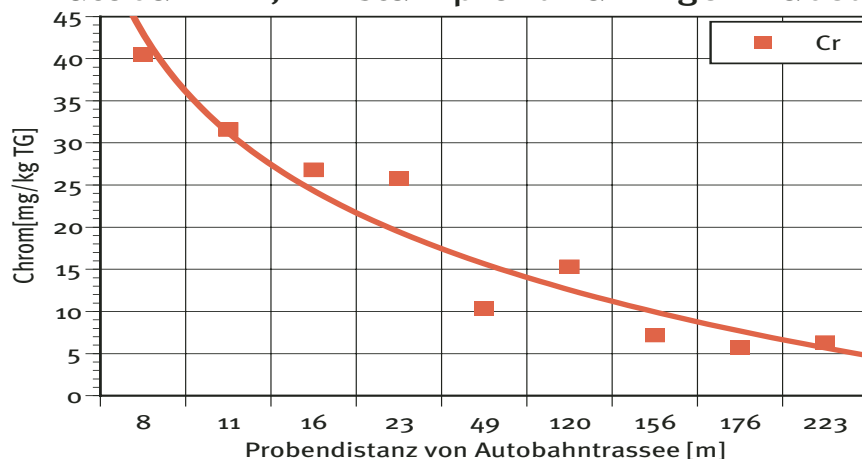
Für Chrom liegt zwischen maximalem Standortwert von Härkingen und dem geringst belasteten Hintergrundstandort Forst Neuenegg ein starker Belastungsgradient von einem Faktor 8 vor.

### Distanzprofil für Chrom

Das Distanzprofil an der A2 in Härkingen zeigt eine deutliche Abhängigkeit der Chrom-Belastung vom Strassenabstand. Der Kurvenfit ist mit  $R^2=0.92$  sehr gut (Abb. 111).

Die Chrom-Belastung sinkt mit zunehmender Distanz zur Autobahn deutlich und erreicht in 50m Distanz noch einen Drittel der strassen-nahen Maximalbelastung.

### Autobahn A1,2-Distanzprofil Härkingen Nabel



**Abb. 111 Distanzprofil Härkingen für Chrom.**

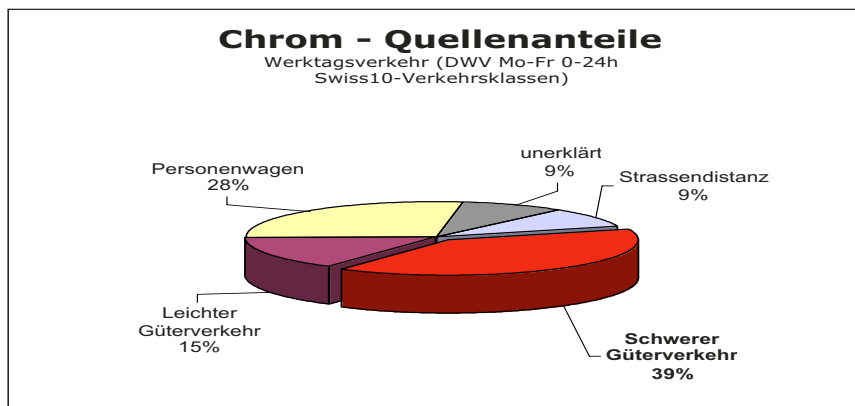
Für Chrom, welches besonders von Bremsbelägen und Ventiltellen emittiert wird, zeigt sich an allen Profilstandorten eine deutliche Distanz-abhängigkeiten zur Autobahn, welche in 50m Strassendistanz bereits auf einen Drittel sinkt.

### Quellenanteile für Chrom

Die Multivariate Varianzanalyse für Chrom ergibt für den schweren Güterverkehr einen hohen Belastungsanteil von 39%, 15% für den «leichten Güterverkehr» und 28% für den PW-Anteil (Abb. 112).

**Abb. 112 Der Schwerverkehr als Hauptquelle der Chrom-Belastung.**

Die Varianzanalyse der Bio-monitoringdaten mit dem Werktagsverkehr mit fahrzeugtypenklassierten Swiss10-Daten zeigt, dass der schwere Güterverkehrs mit 39% die Belastung von Chrom mit Abstand am stärksten prägt. Der Anteil des «leichten Güterverkehrs» ist 15% und der PW-Anteil beträgt 28%.



### Vergleich mit mfz-spezifischen Emissionsdaten

Der Vergleich mit externen mfz-spezifischen Emissionsdaten vom Bremsbelägen bestätigt die Befunde des Luftqualitätsmonitorings (Abb. 113).

**Abb. 113 Belastungsvergleich mit Emissionsdaten des Mfz-Verkehrs für Chrom.**

Bremsbeläge, nebst Ventiltteilen vom Motoren und Motorenölen gelten als Hauptquellen der verkehrsbedingten Chrombelastung. Bremsbeläge unterscheiden sich in ihrer Chrombelastung je nach Fabrikationstyp sehr stark.

Motorenöle 1-18 mg/kg  
 Diesel/Benzin 0.05mg/kg  
 EMEP/CORINAIR 2005,  
 www.bobistheoilguy.com

Chrom-Belastung [mg/kg]						Toxikologie	
EMEP / CORINAIR - Emission Inventory Guidebook 2005							
Autoreifen			Bremsbeläge				
Mittelwert	Min	Max	Mittelwert	Min	Max	Bemerkung	
12		30	669	115	1'200	Bremsbeläge >> Pneus	
Antimony in brake pads - a carcinogenic problem, von Uexküll 2001							
			7'400	180	36'000	Bremsbeläge LKWs	

### Gesamtbewertung von Chrom

**erweist sich als zuverlässiger Tracer für den Güterverkehr und weist besonders gut auf den Anteil an schweren Dieselfahrzeugen hin.**

#### Experimentelle Befunde des MfM-U Biomonitorings

- Standortvergleiche und Profilanalysen weisen eindeutig auf Stärkstebelastung an Standorten mit hohen LKW-Anteilen hin.
- Varianzanalysen mit dem flottendifferenzierten Werktagsverkehr (Swiss10) belegen den überragenden Schwerververkehrsanteil an der Luftbelastung mit Chrom.

#### Literaturdaten

- Die experimentellen Befunde werden gestützt von Belastungsanalysen an Bremsbelägen, -staub und Fahrzeugreifen (EMEP- CORINAIR, von Uexküll 2005, Westlund 2001), die belegen, dass Bremssysteme von modernen Motorfahrzeugen immer noch bedeutende Chromemissionen verursachen. Weitere relevante Quellen sind hochvergütete Motorenöle und Ventiltteile.

## Nickel (Ni)

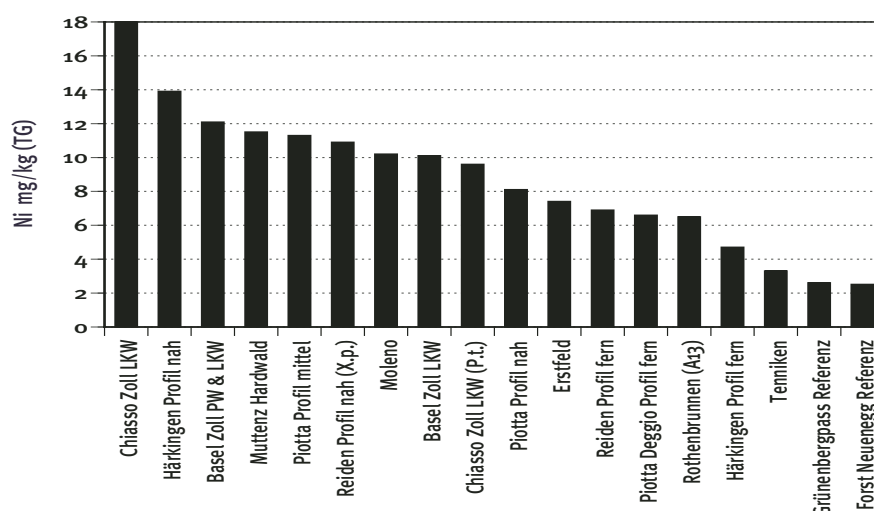
### Nickel-Belastung der MfM-U-Standorte von 2003

Auch Nickel zeigt die typischen Verkehrsstandorte mit Maximalwerten (Abb. 114). Der höchste Wert wurde in Chiasso Zoll gemessen, gefolgt von Härkingen, Basel Zoll und MuttENZ Hardwald. Wie bei allen andern Schwermetallen liegt der tiefste Wert auch für Nickel am Referenzstandort Forst Neuenegg. Weitere Standorte mit tiefen Werten sind Tenniken und Härkingen Profil fern.

Mit einem Faktor von 7 liegt ein für Schwermetalle starker Belastungsgradient vor.

**Abb. 114 Nickel- Belastung der MfM-U Standorte von 2003.**

Für Nickel zeigen sich Stärkstbelastungen an den hochfrequentierten Verkehrsstandorten und mit 7 ein für Schwermetalle starker Belastungsgradient zwischen der maximalen und minimalen Standortbelastung.



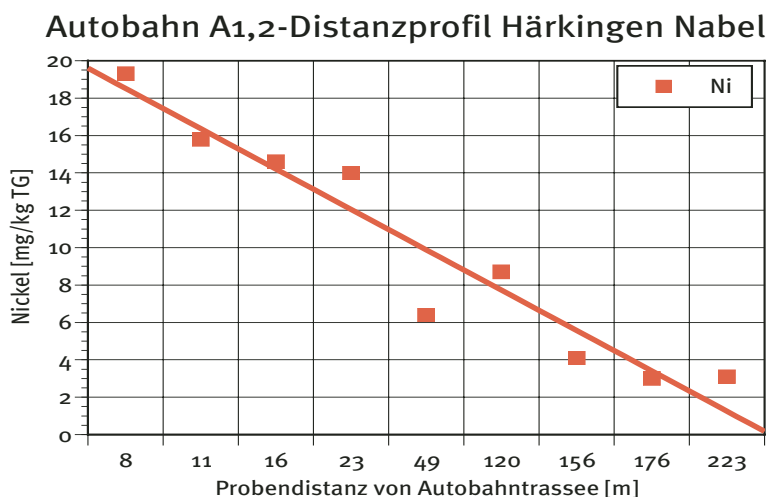
### Distanzprofil für Nickel

Das Distanzprofil an der A2 in Härkingen zeigt eine deutliche Abhängigkeit der Nickel-Belastung vom Strassenabstand. Der Kurvenfit ist mit  $R^2=0.92$  sehr gut (Abb. 115).

Die Nickel-Belastung sinkt mit zunehmender Distanz zur Autobahn deutlich und erreicht in 50m Distanz noch die Hälfte der strassennahen Maximalbelastung.

**Abb. 115 Distanzprofil Härkingen für Nickel.**

Für Nickel, welches besonders von Bremsbelägen und Ventiltteilen emittiert wird, zeigt sich an allen Profilstandorten eine deutliche Distanzabhängigkeit zur Autobahn, welche in 50m Distanz noch die Hälfte der strassennahen Maximalbelastung erreicht.

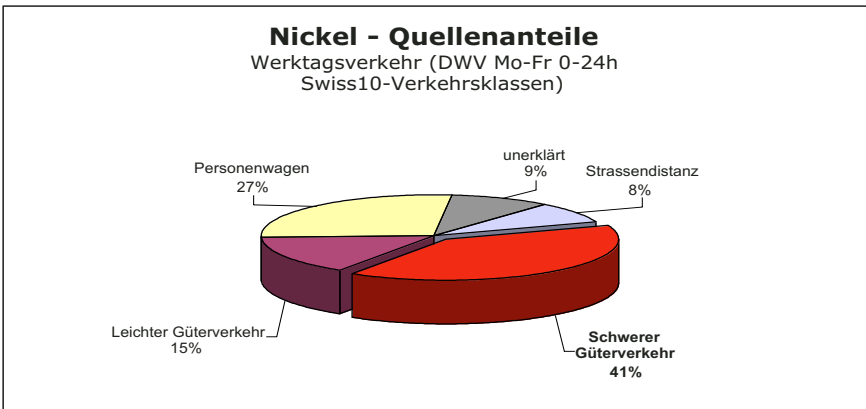


### Quellenanteile für Nickel

Die Multivariate Varianzanalyse für Nickel ergibt für den schweren Güterverkehr einen hohen Belastungsanteil von 41%, 15% für den leichten Güterverkehr und 27% für den PW-Anteil (Abb. 116).

**Abb. 116 Der Schwerverkehr als Hauptquelle der Nickel-Belastung.**

Die Varianzanalyse der Bio-monitoringdaten mit dem Werktagsverkehr mit fahrzeugtypenklassierten Swiss10-Daten zeigt, dass der schwere Güterverkehrs mit 41% die Belastung von Nickel mit Abstand am stärksten prägt. Der Anteil des «leichten Güterverkehrs» ist 15% und der PW-Anteil beträgt 27%.



### Vergleich mit mfz-spezifischen Emissionsdaten

Der Vergleich mit externen mfz-spezifischen Emissionsdaten vom Bremsbelägen bestätigt die Befunde des Luftqualitätsmonitorings (Abb. 117).

**Abb. 117 Belastungsvergleich mit Emissionsdaten des Mfz-Verkehrs für Nickel.**

Bremsbeläge, nebst Ventiltteilen vom Motoren gelten als Hauptquellen der verkehrsbedingten Nickelbelastung. Bremsbeläge unterscheiden sich in ihrer Nickelbelastung je nach Fabrikationstyp sehr stark.

Diesel/Benzin 0.07mg/kg  
EMEP/CORINAIR 2005,  
www.bobistheoilguy.com

Nickel-Belastung [mg/kg]						Toxikologie
EMEP / CORINAIR - Emission Inventory Guidebook 2005						
Autoreifen			Bremsbeläge			
Mittelwert	Min	Max	Mittelwert	Min	Max	Bemerkung
34	1	50	463	133	850	Bremsbeläge >> Pneus
Antimony in brake pads - a carcinogenic problem, von Uexküll 2001						
			243	110	950	Bremsbeläge/Staub LKWs

### Gesamtbewertung von Nickel

erweist sich als zuverlässiger Tracer für den Güterverkehr und weist besonders gut auf den Anteil an schweren Dieselfahrzeugen hin.

#### Experimentelle Befunde des MfM-U Biomonitorings

- Standortvergleiche weisen eindeutig auf Stärkstbelastung an Standorten mit hohen LKW-Anteilen hin.
- Profilanalysen belegen ebenfalls Höchstbelastungen an Standorten mit hohen LKW-Anteilen.
- Varianzanalysen mit dem flottendifferenzierten Werktagsverkehr (Swiss10) belegen einen Schwerververkehrsanteil von 41% an der Luftbelastung mit Nickel.

#### Literaturdaten

- Die experimentellen Befunde werden gestützt von Belastungsanalysen an Bremsbelägen, -staub und Fahrzeugreifen (EMEP-CORINAIR, von Uexküll 2005, Westlund 2001), die belegen, dass Bremssysteme von modernen Motorfahrzeugen immer noch bedeutende Niclemissionen verursachen. Weitere relevante Quellen sind hochvergütete Ventiltteile und Motorenöle.

### 6.1.2 Tracer zur Indikation des «leichten Güterverkehrs» (Anteil leichter Güterverkehr)

#### Dibenzo(a,l)pyren

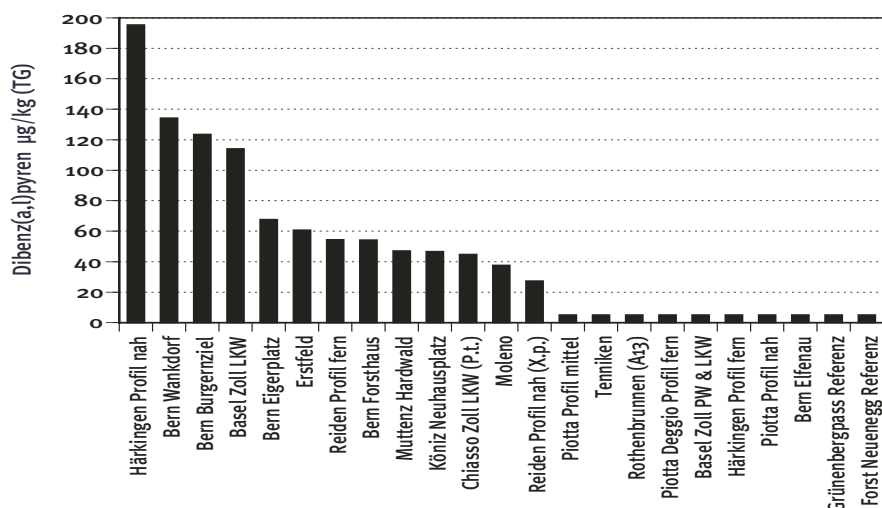
#### **Dibenzo(a,l)pyren-Belastung der MfM-U- und Berner Standorte von 2003**

Gemäss einer aktuellen WHO-Studie 2003 belegen zwei Autoren für Dibenzo(a,l)pyren eine bis 100 mal höhere Toxizität als für die bisher allgemein anerkannte Leitsubstanz Benzo(a)pyren.

Im MfM-Monitoring konnte nur an 11 Standorten ein Messwert für Dibenzo(a,l)pyren erzielt werden. Die Maximalbelastungen wurden an den Verkehrsstandorten Härkingen, gefolgt von Bern Wankdorf, Bern Burgernziel und Basel Zoll gemessen (Abb. 118). An 9 Standorten konnte kein Dibenzo(a,l)pyren nachgewiesen werden, unter anderem am Referenzstandort Forst Neuenegg. Dibenzo(a,l)pyren zeigt mit 19.5 einen mittelstarken Belastungsgradienten.

**Abb. 118 Dibenzo(a,l)pyren-Belastung der MfM-U und Berner Standorte von 2003.**

Dibenzo(a,l)pyren zeigt mit 19.5 einen mittelstarken Belastungsgradienten.



#### **Distanzprofil für Dibenzo(a,l)pyren**

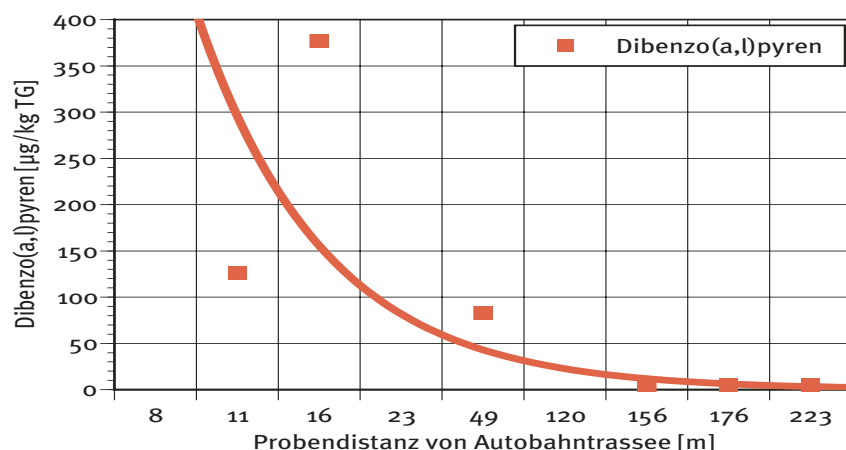
Das Distanzprofil an der A2 in Härkingen zeigt eine sehr deutliche Abhängigkeit der Dibenzo(a,l)pyren-Belastung vom Strassenabstand (Abb. 119).

**Abb. 119 Distanzprofil Härkingen für Dibenzo(a,l)pyren.**

Für Dibenzo(a,l)pyren, welches nach neuesten toxikologischen Erkenntnissen bis 100x giftiger ist als die bisherige Leitsubstanz Benzo(a)pyren, zeigt eine sehr deutliche Distanzabhängigkeit zur Autobahn.

In den fahrbahnnächsten 50m Distanz fällt die Belastung an Dibenzo(a,l)pyren auf einen Viertel.

#### **Autobahn A1,2-Distanzprofil Härkingen Nabel**



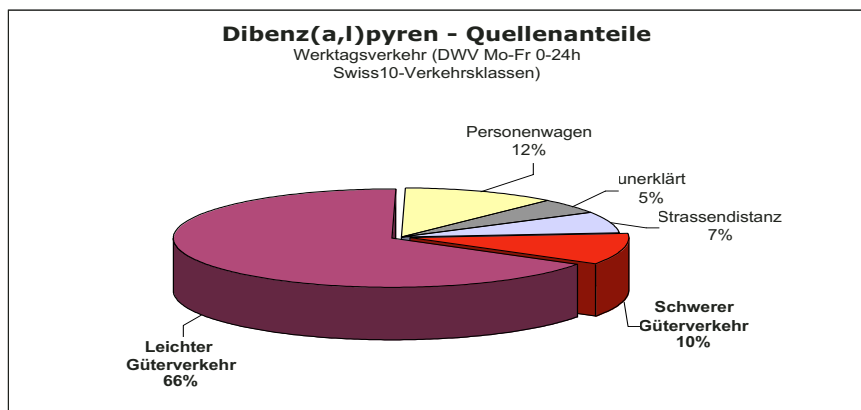


**Abb. 120 Der «leichte Güterverkehr» als Hauptquelle der Belastung mit Dibenzo(a,l)pyren.**

Die Varianzanalyse der Bio-monitoringdaten mit dem Werktagsverkehr mit fahrzeugtypenklassierten Swiss10-Daten zeigt, dass der «leichte Güterverkehr» mit 66% die Belastung von Dibenzo(a,l)pyren mit Abstand am stärksten prägt. Der schwere Güterverkehr trägt weitere 10% mit bei, womit der Anteil des gesamten Güterverkehrs 76% der gesamten Dibenzo(a,l)pyren-Belastung erklärt. Der PW-Anteil trägt weitere 12% mit bei.

### Quellenanteile für Dibenzo(a,l)pyren

Die Multivariate Varianzanalyse für Dibenzo(a,l)pyren ergibt für den «leichten Güterverkehr» einen hohen Belastungsanteil von 66%, bei 10% für den Schwerverkehr und 12% für den PW-Anteil (Abb. 120).



### Vergleich mit motoren-spezifischen Emissionsdaten

Der Vergleich mit externen motorenspezifischen Emissionsdaten, welche erst rudimentär vorliegen, erlaubt noch keine abschliessende Beurteilung, da die Emissionseigenschaften von schweren Dieselmotoren noch nicht bekannt sind (Abb. 121).

**Abb. 121 Belastungsvergleich mit motoren-spezifischen Emissionsdaten für Dibenzo(a,l)pyren.**

Bisher existieren erst rudimentäre Daten zu den Emissionseigenschaften von Diesel- und Benzinmotoren, die eine abschliessende Beurteilung des toxikologisch bedeutungsvollen Dibenzo(a,l)pyrens noch nicht zulassen.

Dibenz(a,l)pyren						Toxikologie m? k			
WHO-Road Transport: Emission Inventory 2002						Gubrist 1993		POP-Report UM-146	
bulk gasoline & diesel emission [ $\mu\text{g}/\text{km}$ ] hot & cold						Motorfahrzeuge		Motorfahrzeuge	
non cat	cat	DI	IDI	DI	Liq.gas	% LKW-Anteil		Strassenabstand	
Gasoline PC / LDV	Gasoline PC / LDV	Diesel PC / LDV	Diesel PC / LDV	Diesel HDV	LPG	Mo-Fr / SA-SO		PAK Gradient	
0.23	0.01		0.12			n.a.		n.a.	

### Gesamtbewertung von Dibenzo(a,l)pyren

**erweist sich als geeigneter Tracer für den Anteil des «leichten Güterverkehrs»**

#### Experimentelle Befunde des MfM-U Biomonitorings

- Standortvergleiche und Profilanalysen weisen je eindeutig auf Stärkstebelastung an Standorten mit hohen Güterverkehrsanteilen hin.
- Varianzanalysen mit dem Werktagsverkehr (Swiss10) belegen einen Anteil des «leichten Güterverkehrs» von 66% an der Luftbelastung mit den kanzerogenen Dibenzo(a,l)pyren.

#### Literaturdaten

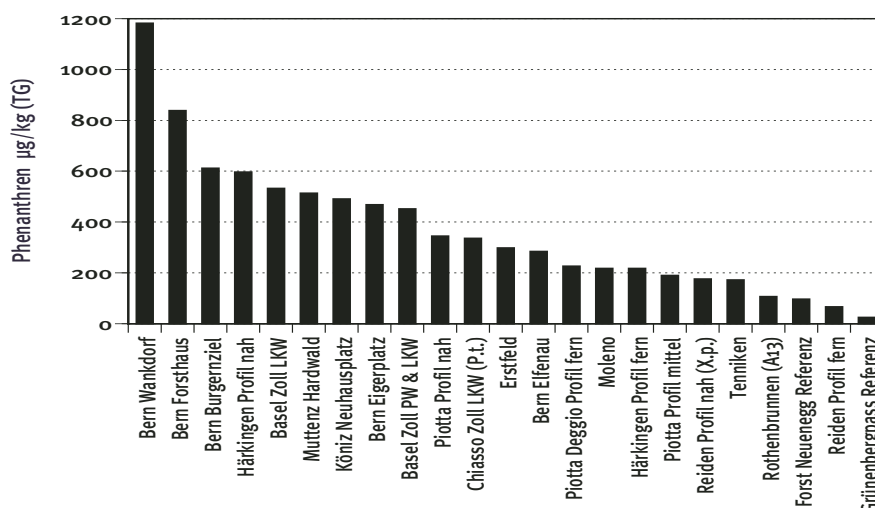
- Die experimentellen Befunde werden bisher vor allem von toxikologischen Untersuchungen (WHO 2003, McClure & Schoeny 1995, Muller et. al 1995, 1996) gestützt. Emissionsmessungen an Motorentypen sind für diese hochgradig gesundheitsrelevante Substanz erst rudimentär vorhanden und erlauben derzeit noch keine abschliessende Bewertung.

## 6.2 Tracer mit einer hohen Beeinflussung durch den gesamten Motorfahrzeugverkehr - Flottenmix

### Phenanthren

#### Phenanthren-Belastung der MfM-U- und Berner Standorte von 2003

Phenanthren zeigt das typische Muster mit Stärkstbelastungen an den hochfrequentierten Verkehrsstandorten Bern-Wankdorf, Forsthaus, Burgernziel, Härkingen, Basel Zoll und Muttenz (Abb.122). Die tiefsten Standortwerte zeigen sich beim Referenzstandorten Grüenbergpass, Forst Neuenegg und in strassenfernen Standorten von Reiden. Mit einem Faktor von 47, liegt für Phenanthren ein recht starker Belastungsgradient vor.



**Abb. 122 Phenanthren-Belastung der MfM-U und Berner Standorte von 2003.**

Phenanthren zeigt mit einem Faktor von 47 einen recht starken Belastungsgradienten zwischen maximaler und minimaler Standortbelastung.

#### Distanzprofil für Phenanthren

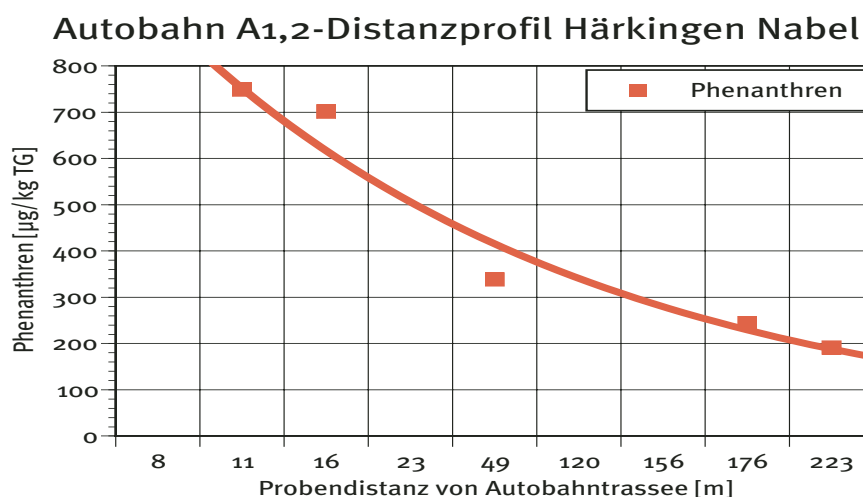
Das Distanzprofil an der A2 in Härkingen zeigt eine deutliche Abhängigkeit der Phenanthren-Belastung vom Strassenabstand. Der Kurvenfit ist mit  $R^2=0.96$  sehr gut (Abb. 123).

Die Phenanthren-Belastung sinkt mit zunehmender Distanz zur Autobahn deutlich und erreicht in 50m Distanz noch die Hälfte der strassennahen Maximalbelastung.

**Abb. 123 Distanzprofil Härkingen für Phenanthren.**

Für Phenanthren, welches besonders von Dieselmotoren emittiert wird, zeigt sich an allen Profilstandorten eine deutliche Distanzabhängigkeiten zur Autobahn.

In den fahrbahnnächsten 50 m Distanz fällt die Phenanthren-Belastung auf die Hälfte.





**Abb. 124 Der dieselbetriebene Güter- und PW-Verkehr als Hauptquelle der Belastung mit Phenanthren.**

Die Varianzanalyse der Bio-monitoringdaten mit dem Werktagsverkehr mit fahrzeugtypenklassierten Swiss10-Daten zeigt, dass der schwere dieselbetriebene Güterverkehr und der PW-Anteil je mit 35-36% die Belastung von Phenanthren am stärksten prägen.

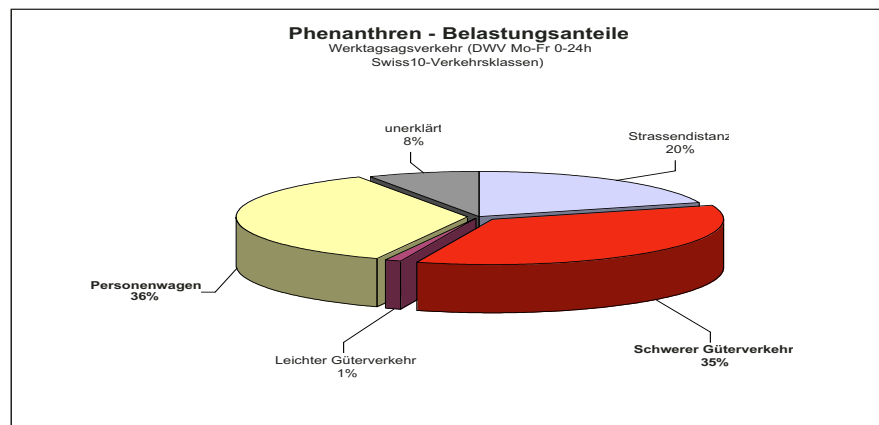
Der Anteil des «leichten Güterverkehrs» ist vernachlässigbar gering. Der relativ hohe Erklärungsanteil der Strassendistanz unterstreicht zusätzlich die dominante Rolle des Mfz-Verkehrs für die Phenanthren-Belastung.

**Abb. 125 Belastungsvergleich mit motoren-spezifischen Emissionsdaten für Phenanthren.**

Dieselmotoren und speziell sog. «direkte Einspritzermodelle; DI» emittieren bis zu einem Faktor 18 mehr an Phenanthren als Benzinmotoren mit Katalysatoren, bzw. als Gasmotoren (WHO 2002).

### Quellenanteile für Phenanthren

Die Multivariate Varianzanalyse für Phenanthren ergibt für den schweren Güterverkehr einen Belastungsanteil von 19%, 13% für den «leichten Güterverkehr» und 36% für den PW-Anteil (Abb. 124).



### Vergleich mit motoren-spezifischen Emissionsdaten

Der Vergleich mit externen motorenspezifischen Emissionsdaten ergibt eine Bestätigung der Befunde des Luftqualitätsmonitorings (Abb. 125).

Phenanthren						Toxikologie k?, m			
WHO-Road Transport: Emission Inventory 2002						Gubrist 1993		POP-Report UM-146	
bulk gasoline & diesel emission [µg/km] hot & cold						Motorfahrzeuge		Motorfahrzeuge	
non cat	cat	DI	IDI	DI	Liq.gas	% LKW-Anteil		Strassenabstand	
Gasoline PC / LDV	Gasoline PC / LDV	Diesel PC / LDV	Diesel PC / LDV	Diesel HDV	LPG	Mo-Fr / SA-SO		PAK Gradient	
61.72	4.68	85.50	27.63	23.00	4.91	n.a.		sehr stark	

### Gesamtbewertung von Phenanthren

zeigt sich als zuverlässiger Tracer für Dieselfahrzeuge und weist besonders auf den Anteil des schweren Güterverkehrs sowie auf PWs hin.

#### Experimentelle Befunde des MfM-U Biomonitorings

- Standortvergleiche weisen eindeutig auf Stärkstbelastung an Standorten mit hohen Anteilen an Güterfahrzeugen hin.
- Profilanalysen belegen ebenfalls Höchstbelastungen an Standorten mit hohen LKW-Anteilen.
- Varianzanalysen mit dem flottendifferenzierten Werktagsverkehr (Swiss10) belegen für Phenanthren einen je hohen 35% Schwerverkehrs-, bzw. PW-Anteil von 36% an der Luftbelastung.

#### Literaturdaten

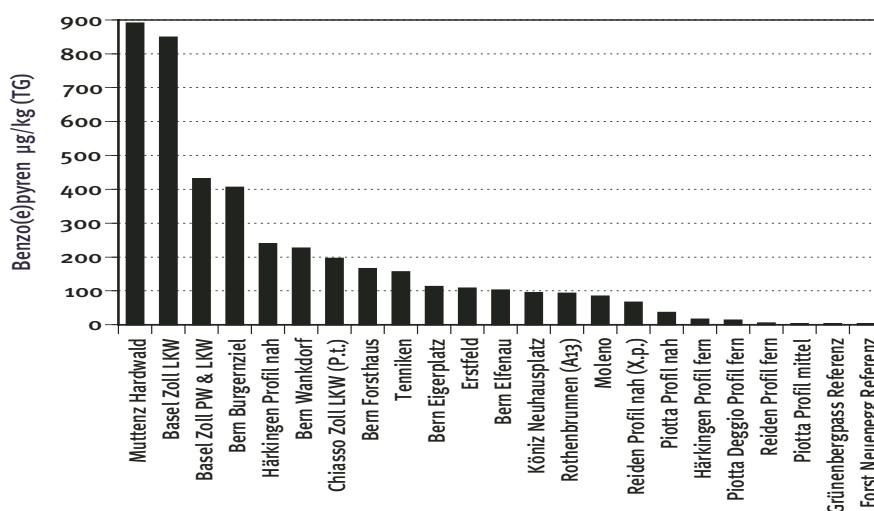
- Die experimentellen Befunde werden gestützt von Emissionsmessungen an Motorentypen (WHO 2002), die belegen, dass Dieselmotoren die höchsten Phenanthren-Emissionen verursachen.

## Benzo(e)pyren (BeP)

### Benzo(e)pyren-Belastung der MfM-U- und Berner Standorte von 2003

Analog zu Benzo(a)pyren zeigen sich auch für Benzo(e)pyren die beiden höchsten Werte an den Standorten mit ausgeprägtem Schwer- und Güterverkehr Muttenz Hardwald und Basel Zoll LKW (Abb.126). Die tiefsten Standortwerte zeigen sich beim Referenzstandort Forst Neuenegg und in Piotta Profil mittel und in Reiden Profil fern, Piotta Deggio Profil fern und Härkingen Profil fern.

Mit einem Faktor von 178 liegt für Benzo(e)pyren ein überaus starker Belastungsgradient vor.



**Abb. 126 Benzo(e)pyren - Belastung der MfM-U und Berner Standorte von 2003.**

Benzo(e)pyren zeigt mit einem Faktor von 178 einen überaus starken Belastungsgradienten zwischen maximaler und minimaler Standortbelastung.

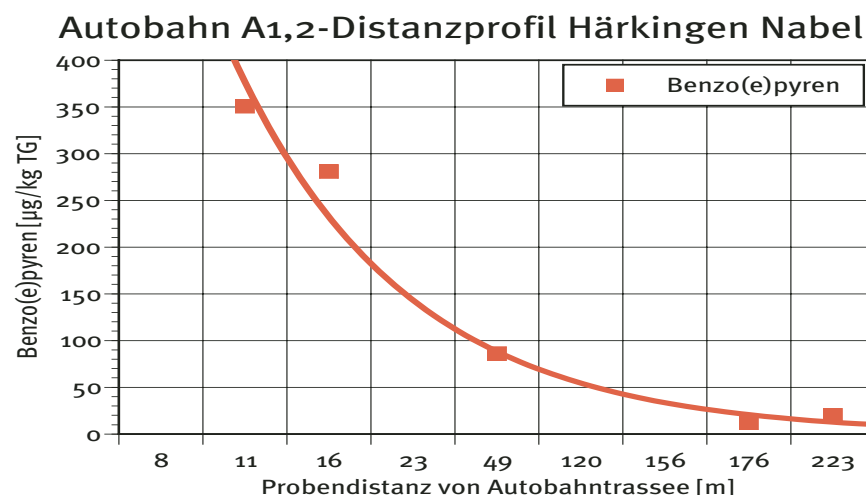
### Distanzprofil für Benzo(e)pyren

Das Distanzprofil an der A2 in Härkingen zeigt eine sehr deutliche Abhängigkeit der Benzo(e)pyren-Belastung vom Strassenabstand (Abb. 127). In den fahrbahnnächsten 50m Distanz fällt die Belastung bereits auf einen Fünftel.

**Abb. 127 Distanzprofil Härkingen für Benzo(e)pyren.**

Für Benzo(e)pyren, welches besonders von Dieselfahrzeugen emittiert wird, zeigt sich an allen Profilstandorten eine sehr deutliche Distanzabhängigkeiten zur Autobahn.

In den fahrbahnnächsten 50m Distanz fällt die Benzo(e)pyren-Belastung auf einen Fünftel.



**Abb. 128 Der dieselbetriebene Güter- und PW-Verkehr als Hauptquelle der Belastung mit Benzo(e)pyren.**

Die Varianzanalyse der Biomonitoringdaten mit dem Werktagsverkehr mit fahrzeugtypenklassierten Swiss10-Daten zeigt, dass der schwere Güterverkehr mit 19% und der «leichte Güterverkehr» mit weiteren 13% die Belastung von Benzo(e)pyren stark prägen.

Der Anteil des PW-Anteil trägt aber weitere 35% an die Benzo(e)pyren-Belastung bei. Der relativ hohe Erklärungsanteil der Strassendistanz unterstreicht zusätzlich die dominante Rolle des mfz-Verkehrs für Benzo(e)pyren-Belastung.

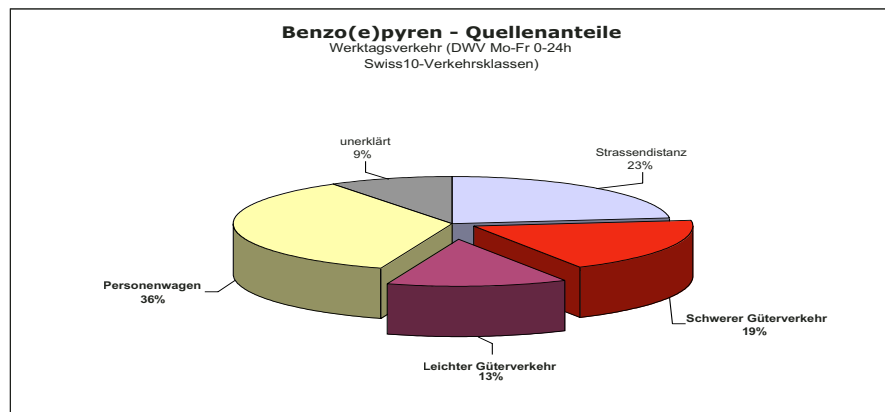
**Abb. 129 Belastungsvergleich mit motoren-spezifischen Emissionsdaten für Benzo(e)pyren.**

Dieselmotoren und speziell sog. «Indirekte Einspritzermodelle; IDI» emittieren bis zu einem Faktor 32 mehr an Benzo(e)pyren als Benzinmotoren mit Katalysatoren (WHO 2002).

Benzinmotoren mit Kat zeigen leicht bessere Emissionseigenschaften als Gasmotoren.

### Quellenanteile für Benzo(e)pyren

Die Multivariate Varianzanalyse für Benzo(e)pyren ergibt für den schweren Güterverkehr einen Belastungsanteil von 19%, 13% für den leichten Güterverkehr und 36% für den PW-Anteil (Abb. 128).



### Vergleich mit motoren-spezifischen Emissionsdaten

Der Vergleich mit externen motorenspezifischen Emissionsdaten ergibt eine Bestätigung der Befunde des Luftqualitätsmonitorings (Abb. 129).

Benzo(e)pyren						Toxikologie k?, m			
WHO-Road Transport: Emission Inventory 2002						Gubrist 1993		POP-Report UM-146	
bulk gasoline & diesel emission [µg/km] hot & cold						Motorfahrzeuge		Motorfahrzeuge	
non cat	cat	DI	IDI	DI	Liq.gas	% LKW-Anteil		Strassenabstand	
Gasoline PC / LDV	Gasoline PC / LDV	Diesel PC / LDV	Diesel PC / LDV	Diesel HDV	LPG	Mo-Fr / SA-SO		PAK Gradient	
0.12	0.27	4.75	8.65	2.04	1.06	n.a.		sehr stark	

### Gesamtbewertung von Benzo(e)pyren

**zeigt sich als zuverlässiger Tracer für Dieselfahrzeuge und weist besonders auf den Anteil des schweren Güterverkehrs sowie auf PWs hin.**

#### Experimentelle Befunde des MfM-U Biomonitorings

- Standortvergleiche weisen eindeutig auf Stärkstbelastung an Standorten mit hohen Anteilen an Güterfahrzeugen hin.
- Profilanalysen belegen ebenfalls Höchstbelastungen an Standorten mit hohen LKW-Anteilen.
- Varianzanalysen mit dem flottendifferenzierten Werktagsverkehr (Swiss10) belegen einen hohen Güterverkehrsanteil von 32% an der Luftbelastung mit dem mutagenen Benzo(e)pyren.

#### Literaturdaten

- Die experimentellen Befunde werden gestützt von Emissionsmessungen an Motorentypen (WHO 2002), die belegen, dass schwere Dieselmotoren die höchsten Benzo(e)pyren-Emissionen verursachen.

## Benzo(a)pyren (BaP)

### Benzo(a)pyren-Belastung der MfM-U- und Berner Standorte von 2003

Die drei höchsten Belastungswerte von Benzo(a)pyren wurden erneut an den Verkehrsstandorten Muttentz Hardwald, Basel Zoll LKW und Bern Wankdorf festgestellt (Abb. 130). An diesen Standorten liegt auch ein überdurchschnittlicher hoher Güter-, bzw. Schwerverkehr vor. Die tiefsten Belastungswerte zeigen sich an strassenfernen Standorten von Piotta, Reiden und Härkingen sowie am Referenzstandort Forst Neuenegg. Mit einem Faktor von 63 liegt ein sehr starker Belastungsgradient vor.

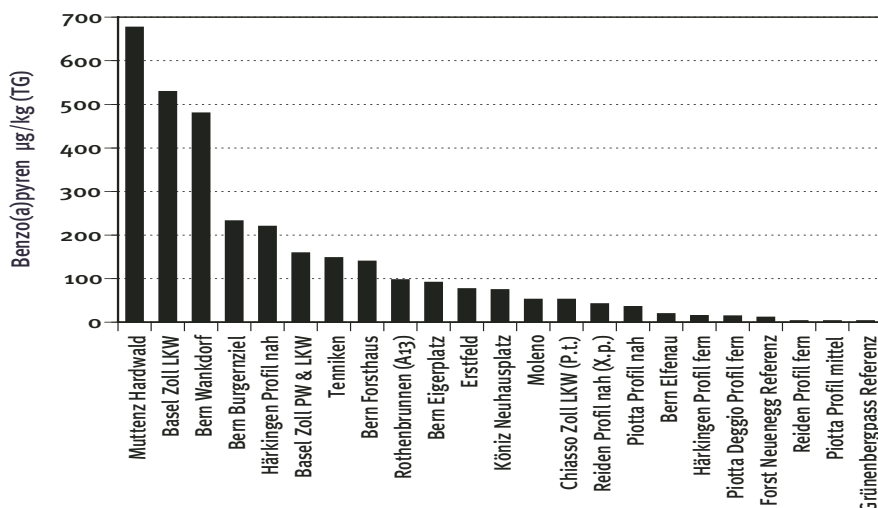
**Abb. 130 Benzo(a)pyren - Belastung der MfM-U und Berner Standorte von 2003.**

Benzo(a)pyren zeigt mit einem Faktor von 63 einen starken Belastungsgradienten zwischen maximaler und minimaler Standortbelastung.

Benzo(a)pyren ist eines der neun sowohl mutagenen und kanzerogenen PAKs

Die EU hat einen Richtwert (Target Value) für die Immissionsbelastung der Luft (im PM10 gemessen) mit Benzo(a)pyren von  $1\text{ ng}/\text{m}^3$  erlassen. Dieser muss bis in 10 Jahren allgemein eingehalten werden.

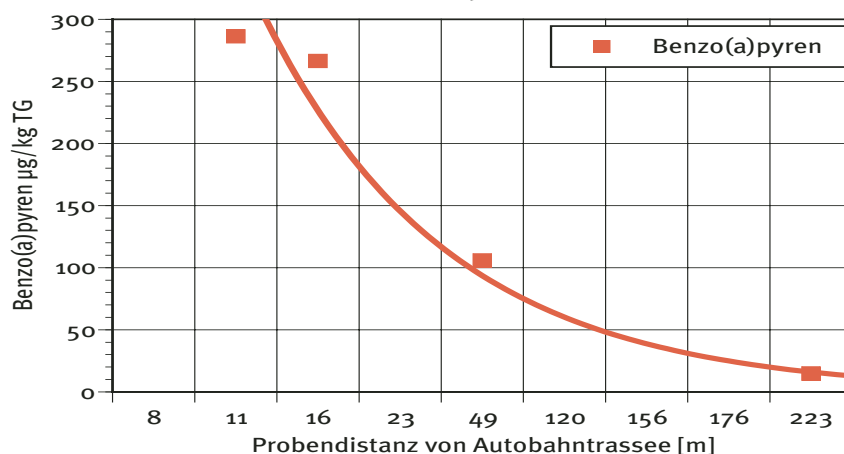
Quelle: Direktive 2004/107/EC 15.12.04 Relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic hydrocarbons in ambient air. Europ. Amtsblatt 26.1.2005 L23/3-16.



### Distanzprofil für Benzo(a)pyren

Das Distanzprofil an der A2 in Härkingen zeigt eine auffallend deutliche Abhängigkeit der Benzo(a)pyren-Belastung vom Strassenabstand (Abb. 131). In den fahrbahnnächsten 50 m Distanz fällt die Benzo(a)pyren-Belastung auf einen Drittel und in 200m Distanz sogar um das Zehnfache.

#### Autobahn A1,2-Distanzprofil Härkingen Nabel



**Abb. 131 Distanzprofil Härkingen für Benzo(a)pyren.**

Für Benzo(e)pyren, welches besonders von Dieselfahrzeugen emittiert wird, zeigt sich an allen Profilstandorten eine deutliche Distanzabhängigkeit zur Autobahn.

In den fahrbahnnächsten 50 m Distanz fällt die Benzo(a)pyren-Belastung auf einen Drittel.

**Abb. 132 Der dieselbetriebene Güter- und PW-Verkehr als Hauptquelle der Belastung mit Benzo(a)pyren.**

Die Varianzanalyse der Bio-monitoringdaten mit dem Werktagsverkehr mit fahrzeugtypenklassierten Swiss10-Daten zeigt, dass der schwere Güterverkehrs mit 19% und der «leichte Güterverkehr» mit weiteren 3% die Belastung von Benzo(e)pyren relativ stark prägen.

Der Anteil des PW-Anteil trägt aber weitere 29% an die Benzo(a)pyren-Belastung bei. Der relativ hohe Erklärungsanteil der Strassendistanz unterstreicht zusätzlich die dominante Rolle des mfz-Verkehrs an der Benzo(a)pyren-Belastung.

**Abb. 133 Belastungsvergleich mit motoren-spezifischen Emissionsdaten für Benzo(a)pyren.**

Dieselmotoren und speziell sog. «Indirekte Einspritzermodelle; IDI» emittieren bis zu einem Faktor 9 mehr an Benzo(e)pyren als Benzinmotoren mit Katalysatoren (WHO 2002).

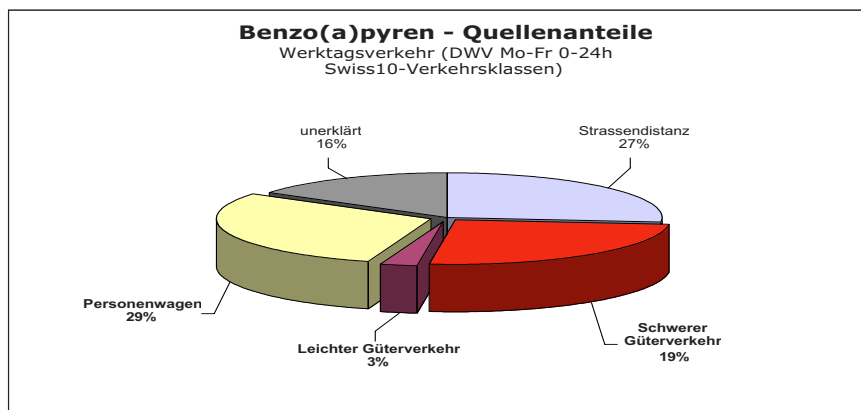
Benzinmotoren mit Kat zeigen leicht bessere Emissionseigenschaften als Gasmotoren.

Gewisse BaP-Emissionen wurden auch in Autoreifen 3.9ppm und Bremsbelägen 0.75ppm gemessen.

EMEP / CORINAIR - Emission Inventory Guidebook 2005

### Quellenanteile für Benzo(a)pyren

Die Multivariate Varianzanalyse für Benzo(a)pyren ergibt für den schweren Güterverkehr einen mässig hohen Belastungsanteil von 19% und 3% für den leichten Güterverkehr sowie einem relativ hohen PW-Anteil von 29% (Abb. 132).



### Vergleich mit motoren-spezifischen Emissionsdaten

Der Vergleich mit externen motorenspezifischen Emissionsdaten ergibt eine Bestätigung der Befunde des Luftqualitätsmonitorings (Abb. 133).

Benzo(a)pyren						Toxikologie k, m			
WHO-Road Transport: Emission Inventory 2002						Gubrist 1993		POP-Report UM-146	
bulk gasoline & diesel emission [ $\mu\text{g}/\text{km}$ ] hot & cold						Motorfahrzeuge		Motorfahrzeuge	
non cat	cat	DI	IDI	DI	Liq.gas	% LKW-Anteil		Strassenabstand	
Gasoline PC / LDV	Gasoline PC / LDV	Diesel PC / LDV	Diesel PC / LDV	Diesel HDV	LPG	Mo-Fr / SA-SO		PAK Gradient	
0.48	0.32	0.63	2.85	0.90	1.06	51%		sehr stark	

### Gesamtbewertung von Benzo(a)pyren

**erweist sich als zuverlässiger Tracer für Dieselfahrzeuge und weist besonders auf den Anteil des schweren Güterverkehrs sowie auf PWs hin.**

### Experimentelle Befunde des MfM-U Biomonitorings

- Standortvergleiche weisen eindeutig auf Stärkstbelastung an Standorten mit hohen LKW-Anteilen hin.
- Profilanalysen belegen ebenfalls Höchstbelastungen an Standorten mit hohen LKW-Anteilen.
- Varianzanalysen mit dem flottendifferenzierten Werktagsverkehr (Swiss10) belegen einen nur relativ geringen Schwerverkehrsanteil von 19% an der Luftbelastung mit dem muta- und kanzerogenen Benzo(a)pyren.

### Literaturdaten

- Die experimentellen Befunde werden gestützt von Emissionsmessungen an Motorentypen (WHO 2002), die belegen, dass Dieselmotoren die höchsten Benzo(a)pyren-Emissionen verursachen und der Gubriststudie (1993), welche einen hohen Schwerverkehrsanteil von 51% ausweist.

## Eisen (Fe)

### Eisen-Belastung der MfM-U-Standorte von 2003

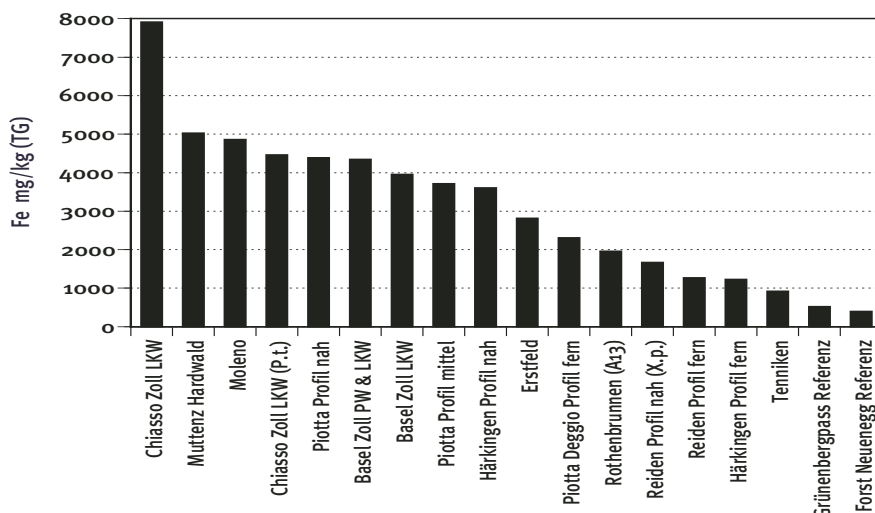
Der Standort Chiasso Zoll LKW zeigt den mit Abstand höchsten Eisen-Mittelwert (Abb.134). Es folgen die Standorte Muttenz Hardwald und Moleno.

Die tiefsten Eisen-Mittelwerte finden sich erneut am Referenzstandort Forst Neuenegg, gefolgt von Tenniken, Härkingen Profil fern, Reiden Profil fern und Rothenbrunnen (A13).

Mit einem Faktor von 20 liegt für Eisen ein sehr starker Belastungsgradient vor.

**Abb. 134 Eisen-Belastung der MfM-U-Standorte von 2003.**

Für Eisen liegt zwischen maximalem Standortwert von Härkingen und dem geringst belasteten Hintergrundstandort Forst Neuenegg ein für Schwermetalle aussergewöhnlich starker Belastungsgradient von 20 vor.

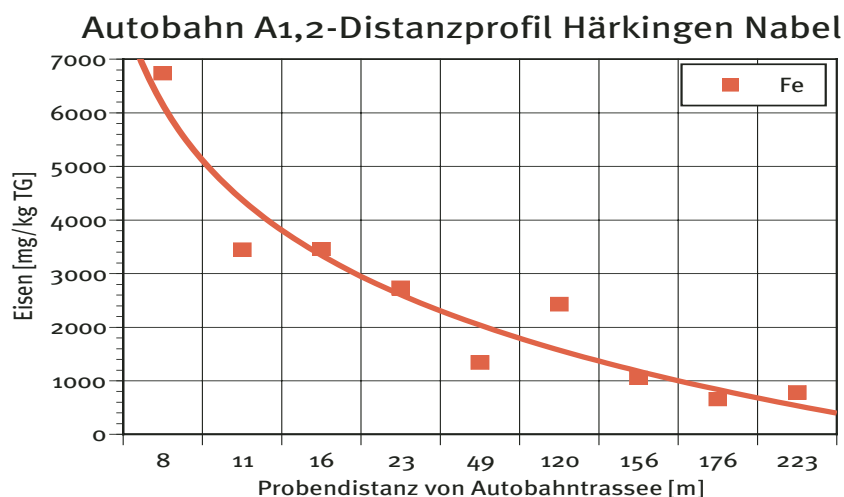


### Distanzprofil für Eisen

Das Distanzprofil an der A2 in Härkingen zeigt eine sehr deutliche Abhängigkeit der Indeno(1,2,3-cd)pyren-Belastung vom Strassenabstand (Abb. 135). In 50m Distanz erreicht Eisen noch einen Viertel der strassennahen Maximalbelastung.

**Abb. 135 Distanzprofil Härkingen für Eisen.**

Für Eisen, welches v.a. von Bremsbelägen und anderen Verschleisteilen emittiert wird, zeigt sich an allen Profilstandorten eine sehr deutliche Distanzabhängigkeit zur Autobahn. In 50m Distanz erreicht Eisen noch einen Viertel der strassennahen Maximalbelastung.



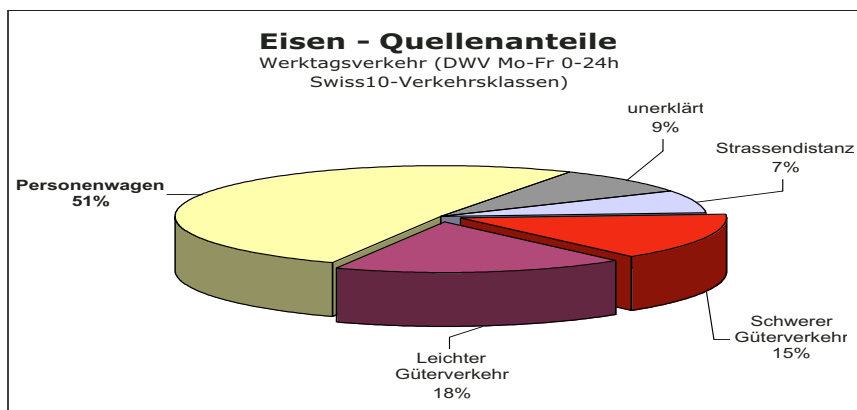


### Quellenanteile für Eisen

Die Multivariate Varianzanalyse für Eisen ergibt für den PW-Verkehrsanteil einen hohen Belastungsanteil von 51% sowie 18% für den leichten und 15% für den schweren Güterverkehr (Abb. 136).

**Abb. 136 Der PW-Verkehrsanteil als Hauptquelle der Eisen-Belastung.**

Die Varianzanalyse der Biomonitoringdaten mit dem Werktagsverkehr mit fahrzeugtypenklassierten Swiss10-Daten zeigt, dass der PW-Anteil mit 51% die Belastung von Antimon mit Abstand am stärksten prägt. Der Anteil des schweren Güterverkehrs beträgt 15% und der Anteil des «leichten Güterverkehrs» beträgt 18%.



### Vergleich mit mfz-spezifischen Emissionsdaten

Der Vergleich mit externen mfz-spezifischen Emissionsdaten von Bremsbelägen bestätigt die Befunde des Luftqualitätsmonitorings (Abb. 137).

**Abb. 137 Belastungsvergleich mit Emissionsdaten des Mfz-Verkehrs für Eisen.**

Bremsbeläge, nebst weiteren Verschleiss teilen vom Motoren und Motorenöle gelten als Hauptquellen der verkehrsbedingten Eisenbelastung. Bremsbeläge unterscheiden sich in ihrer Eisenbelastung je nach Fabrikationstyp sehr stark.

Eisen-Belastung [mg/kg]						Toxikologie	
EMEP / CORINAIR - Emission Inventory Guidebook 2005							
Autoreifen			Bremsbeläge				
Mittelwert	Min	Max	Mittelwert	Min	Max	Bemerkung	
1'712	2	4'600	209'667	115'000	399'000	Bremsbeläge >> Pneus	
Antimony in brake pads - a carcinogenic problem, von Uexküll 2001							
			291'670	130'000	450'000	Bremsbeläge/Staub LKWs	

### Gesamtbewertung von Eisen

**zeigt sich als zuverlässiger Tracer für den gesamten Motorfahrzeugverkehr und weist auf den PW-Anteil sowie den gesamten Güterverkehr hin.**

#### Experimentelle Befunde des MfM-U Biomonitorings

- Standortvergleiche weisen eindeutig auf Stärkstbelastung an Standorten mit hohen Mfz-Anteilen hin.
- Profilanalysen belegen ebenfalls Höchstbelastungen an Standorten mit hohen Mfz-Anteilen.
- Varianzanalysen mit dem Werktagsverkehr (Swiss10) belegen den hohen PW- und Güterverkehrsanteil an der Luftbelastung mit Eisen.

#### Literaturdaten

- Die experimentellen Befunde werden gestützt von Belastungsanalysen an Bremsbelägen, -staub und Fahrzeugreifen (EMEP- CORINAIR, von Uexküll 2005, Westlund 2001), die belegen, dass Bremssysteme von modernen Motorfahrzeugen bedeutende Eisenemissionen verursachen. Als weitere relevante Quelle kommt die Fahrzeugkorrosion (Rost) in Betracht.

## Kupfer (Cu)

### **Kupfer-Belastung der MfM-U-Standorte von 2003**

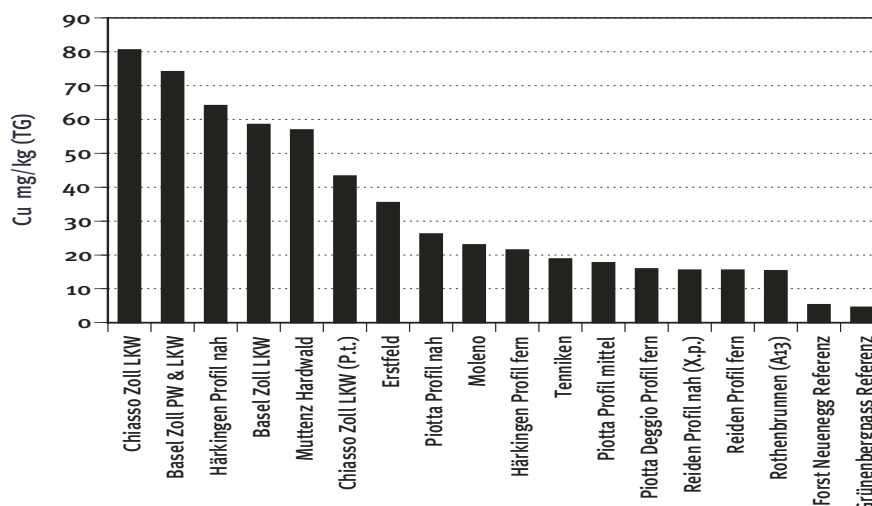
Die höchsten Standortwerte von Kupfer wurden in Chiasso Zoll LKW und Basel Zoll PW & LKW, gefolgt von Härkingen Profil nah und Basel Zoll LKW gemessen (Abb. 138).

Der tiefste Kupfer-Standortwert befindet sich mit Abstand am Referenzstandort Forst Neuenegg. Weitere tiefe Werte liegen in Rothenbrunnen (A13), Reiden Profil fern, Piotta Deggio Profil fern und Piotta Profil mittel vor.

Der Belastungsgradient ist mit einem Faktor von 15 sehr stark.

**Abb. 138 Eisen-Belastung der MfM-U-Standorte von 2003.**

Für Kupfer liegt zwischen maximalem Standortwert von Härkingen und dem geringst belasteten Hintergrundstandort Forst Neuenegg ein für Schwermetalle starker Belastungsgradient von 15 vor.

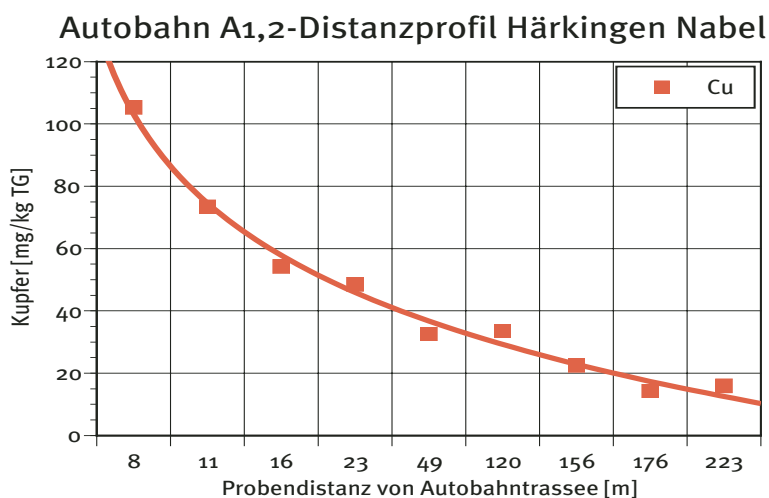


### **Distanzprofil für Kupfer**

Das Distanzprofil an der A2 in Härkingen zeigt eine auffallend deutliche Abhängigkeit der Kupfer-Belastung vom Strassenabstand (Abb. 139). Die Kupfer-Belastung beträgt in 50m Distanz noch einen Drittel der strassennahen Maximalbelastung.

**Abb. 139 Distanzprofil Härkingen für Eisen.**

Für Kupfer, welches v.a. von Bremsbelägen und anderen Verschleisteilen emittiert wird, zeigt sich an allen Profilstandorten eine sehr deutliche Distanzabhängigkeit zur Autobahn. In 50m Distanz erreicht Kupfer noch einen Drittel der strassennahen Maximalbelastung.





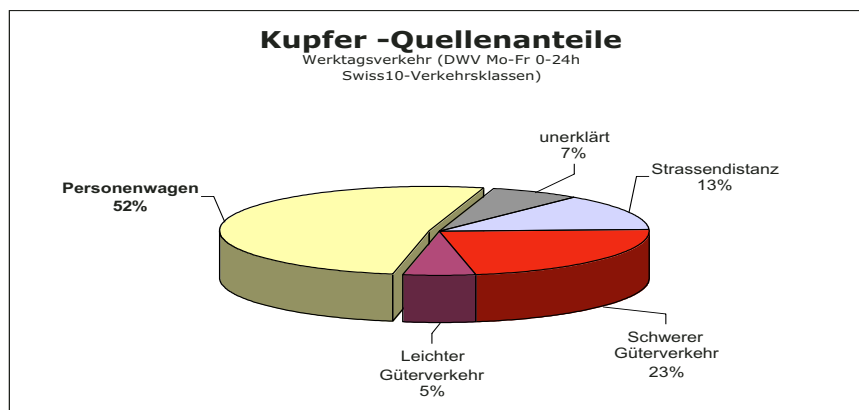
### Quellenanteile für Kupfer

Die Multivariate Varianzanalyse für Kupfer ergibt für den PW-Verkehrsanteil einen relativ hohen Belastungsanteil von 52% sowie 5% für den leichten und 23% für den schweren Güterverkehr (Abb. 140).

**Abb. 140 Der PW-Verkehrsanteil als Hauptquelle der Kupfer-Belastung.**

Die Varianzanalyse der Bio-monitoringdaten mit dem Werktagsverkehr mit fahrzeugtypenklassierten Swiss10-Daten zeigt, dass der PW-Anteil mit 52% die Belastung von Kupfer mit Abstand am stärksten prägt.

Der Anteil des schweren Güterverkehrs beträgt 23% und der des «leichten Güterverkehrs» ist 5%.



### Vergleich mit mfz-spezifischen Emissionsdaten

Der Vergleich mit externen mfz-spezifischen Emissionsdaten von Bremsbelägen bestätigt die Befunde des Luftqualitätsmonitorings sehr gut (Abb. 141).

**Abb. 141 Belastungsvergleich mit Emissionsdaten des Mfz-Verkehrs für Kupfer.**

Bremsbeläge, nebst weiteren Verschleissteilen vom Motoren gelten als Hauptquellen der verkehrsbedingten Kupferbelastung. Bremsbeläge unterscheiden sich in ihrer Kupferbelastung je nach Fabrikationstyp sehr stark.

Motorenöle 7-10 mg/kg  
Diesel/Benzin 1.7 mg/kg

EMEP/CORINAIR 2005,  
www.bobistheoilguy.com

23 von 29 getesteten neuen Bremsbelägen zeigten Cu-Gehalten von mehr als 10% an und nur 4 Fabrikate waren Cu-frei.

ÖKO-TEST 2002

Kupfer-Belastung [mg/kg]						Toxikologie	
EMEP / CORINAIR - Emission Inventory Guidebook 2005							
Autoreifen			Bremsbeläge				
Mittelwert	Min	Max	Mittelwert	Min	Max	Bemerkung	
174	2	490	51'112	370	142'000	Bremsbeläge >> Pneus	
Metal emissions from Stockholm traffic - brake linings, Westerlund 2001							
			117'941	234	217'000	Bremsbeläge neue PWs	

### Gesamtbewertung von Kupfer

**zeigt sich als zuverlässiger Tracer für den gesamten Motorfahrzeugverkehr und weist besonders auf den PW-Anteil sowie den gesamten Güterverkehr hin.**

#### Experimentelle Befunde des MfM-U Biomonitorings

- Standortvergleiche weisen eindeutig auf Stärkstbelastung an Standorten mit hohen Mfz-Anteilen hin.
- Profilanalysen belegen ebenfalls Höchstbelastungen an Standorten mit hohen Mfz-Anteilen.
- Varianzanalysen mit dem Werktagsverkehr (Swiss10) belegen den hohen PW- und Güterverkehrsanteil an der Luftbelastung mit Kupfer.

#### Literaturdaten

- Die experimentellen Befunde werden gestützt von Belastungsanalysen an Bremsbelägen, -staub und Fahrzeugreifen (EMEP-CORINAIR, von Uexküll 2005, Westlund 2001, ÖKO-TEST 2002), die belegen, dass Bremssysteme von modernen Motorfahrzeugen bedeutende Kupferemissionen verursachen. Weitere Quellen von Kupfer stellen hochvergütete Motorenöle und Treibstoffe dar.

### 6.3 Tracer mit einer hohen Beeinflussung durch den PW-Anteil

#### Zinn (Sn)

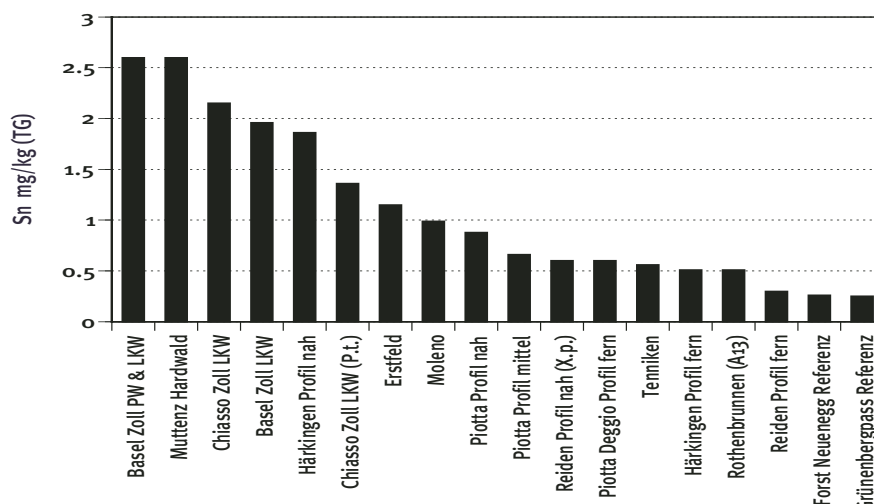
##### **Zinn-Belastung der MfM-U-Standorte von 2003**

Die höchsten Zinn-Standortwerte zeigen sich an den hochfrequentierten Verkehrsstandorten beide Basler Zoll Standorte, Muttenz Hardwald, Chiasso Zoll sowie Härkingen Profil nah (Abb. 142). Auch für Zinn liegt der tiefste Standortwert am Referenzort Forst Neuenegg. Weitere tiefe Werte wurden in Reiden Profil fern, gefolgt von Rothenbrunnen (A13), Härkingen Profil fern, Tenniken und Piotta Deggio Profil fern gemessen.

Mit einem Faktor von 10 liegt ein starker Belastungsgradient vor.

**Abb. 142 Zinn - Belastung der MfM-U-Standorte von 2003.**

Die Maximalbelastungen von Zinn zeigen sich klar an den stärkst frequentierten Verkehrsstandorten. Zinn zeigt mit einem Faktor von 10 einen für Schwermetalle starken Belastungsgradienten zwischen maximaler und minimaler Standortbelastung.



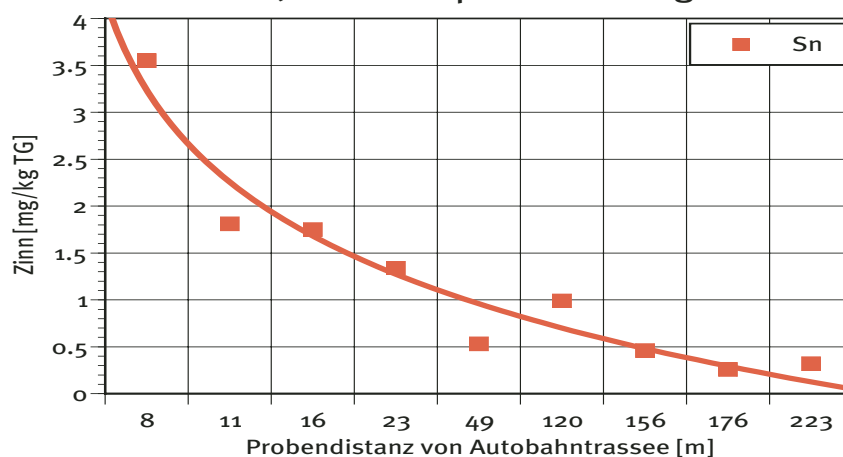
##### **Distanzprofil für Zinn**

Das Distanzprofil an der A2 in Härkingen zeigt eine auffallend deutliche Abhängigkeit der Zinn-Belastung vom Strassenabstand (Abb. 143). Die Zinn-Belastung beträgt in 50m Distanz noch ein Viertel der strassennahen Maximalbelastung erreicht.

**Abb. 143 Distanzprofil Härkingen für Zinn.**

Für Zinn, welches besonders von Bremsbelägen emittiert wird, zeigt sich an allen Profilstandorten eine deutliche Distanzabhängigkeiten zur Autobahn, welche in 50m Distanz noch ein Viertel der strassennahen Maximalbelastung erreicht.

##### **Autobahn A1,2-Distanzprofil Härkingen Nabel**



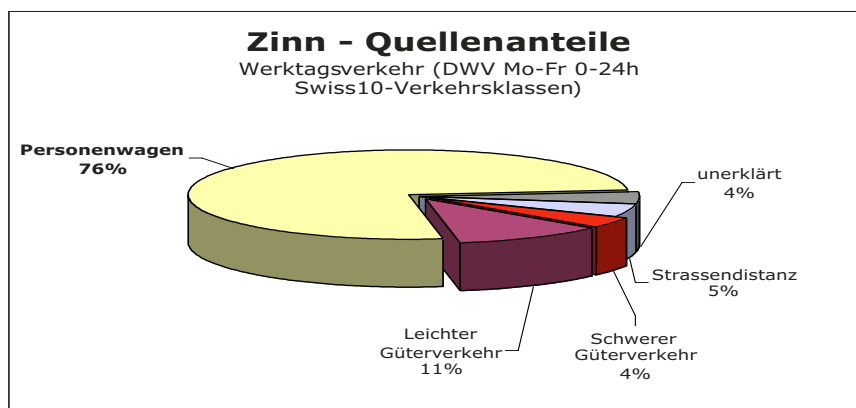
### Quellenanteile für Zinn

Die Multivariate Varianzanalyse für Zinn ergibt für den PW-Verkehrsanteil einen hohen Belastungsanteil von 76% sowie 11% für den leichten und 4% für den schweren Güterverkehr (Abb. 144).

**Abb. 144 Der PW-Anteil als Hauptquelle der Zinn-Belastung.**

Die Varianzanalyse der Bio-monitoringdaten mit dem Werktagsverkehr mit fahrzeugtypenklassierten Swiss10-Daten zeigt, dass der PW-Anteil mit 76% die Belastung von Zinn mit Abstand am stärksten prägt.

Der Anteil des schweren Güterverkehrs beträgt 4% und der Anteil des «leichten Güterverkehrs» trägt 11% bei.



### Vergleich mit mfz-spezifischen Emissionsdaten

Der Vergleich mit externen mfz-spezifischen Emissionsdaten vom Bremsbelägen bestätigt die Befunde des Luftqualitätsmonitorings (Abb. 145).

**Abb. 145 Belastungsvergleich mit Emissionsdaten des Mfz-Verkehrs für Zinn.**

Bremsbeläge, nebst weiteren Verschleissteilen vom Motoren und Carosserieteilen gelten als Hauptquellen der verkehrsbedingten Zinnbelastung. Bremsbeläge unterscheiden sich in ihrer Zinnbelastung je nach Fabrikationstyp deutlich.

Zinn-Belastung [mg/kg]				Toxikologie			
EMEP / CORINAIR - Emission Inventory Guidebook 2005							
Autoreifen			Bremsbeläge				
Mittelwert	Min	Max	Mittelwert	Min	Max	Bemerkung	
			7'000			Bremsbeläge >> Pneus	
Antimony in brake pads - a carcinogenic problem, von Uexküll 2001							
			426	19	2'600	Bremsbeläge/Staub LKWs	

### Gesamtbewertung von Zinn

**erweist sich als zuverlässiger Tracer für den PW-Verkehrsanteil.**

#### Experimentelle Befunde des MfM-U Biomonitorings

- Standortvergleiche weisen eindeutig auf Stärkstbelastung an Standorten mit hohen LKW-Anteilen hin.
- Profilanalysen belegen ebenfalls Höchstbelastungen an Standorten mit hohen LKW-Anteilen.
- Varianzanalysen mit dem flottendifferenzierten Werktagsverkehr (Swiss10) belegen den hohen PW-Anteil an der Luftbelastung mit Zinn.

#### Literaturdaten

- Die experimentellen Befunde werden gestützt von Belastungsanalysen an Bremsbelägen, -staub und Fahrzeugreifen (EMEP-CORINAIR, von Uexküll 2005, Westlund 2001), die belegen, dass Bremssysteme von modernen Motorfahrzeugen immer noch bedeutende Zinnemissionen verursachen. Weitere Quellen sind hochvergütete Motorenöle und Treibstoffadditive.

## Antimon (Sb)

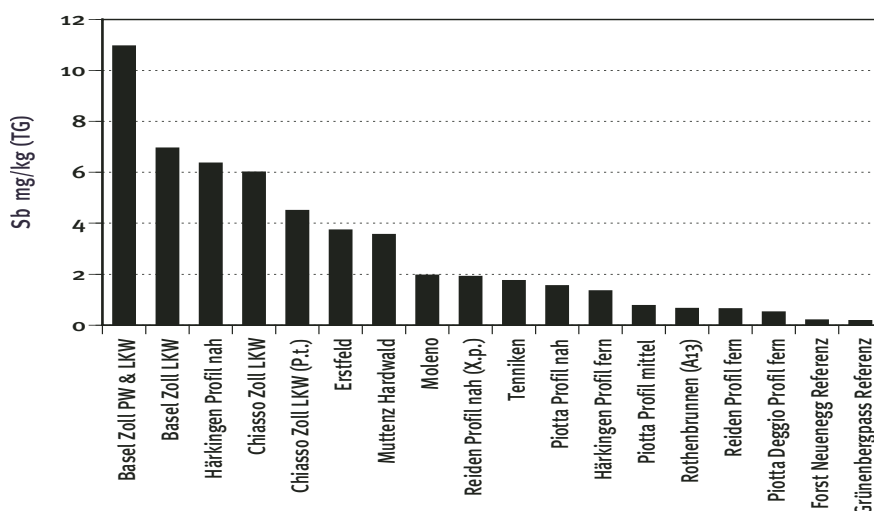
### Antimon-Belastung der MfM-U-Standorte

Der mit Abstand höchste Antimon-Wert wurde in Basel Zoll PW & LKW festgestellt, gefolgt von Basel Zoll LKW und Härkingen Profil nah. Die tiefsten Antimon-Werte befinden sich am Referenzstandort Forst Neuenegg, gefolgt von Piotta Deggio Profil fern und Reiden Profil fern (Abb. 146).

Zwischen Maximal- und Minimalwert liegt mit einem Faktor von 54 ein sehr starker Belastungsgradient vor und zeigt Antimon als bestens geeigneten Verkehrstracer.

**Abb. 146 Antimon-Belastung der MfM-U-Standorte von 2003.**

Die Maximalbelastungen von Antimon zeigt sich klar an den stärkst frequentierten Verkehrsstandorten. Antimon zeigt mit einem Faktor von 54 den für Schwermetalle zweitstärksten Belastungsgradienten zwischen maximaler und minimaler Standortbelastung.

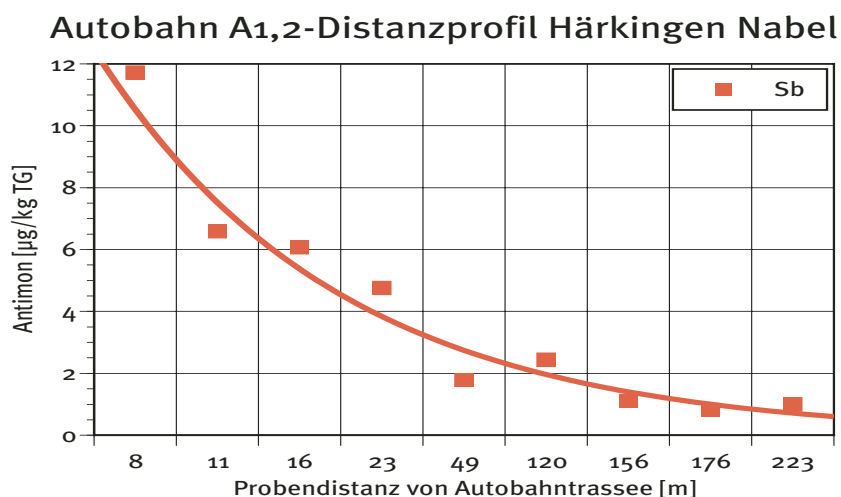


### Distanzprofil für Antimon

Das Distanzprofil an der A2 in Härkingen zeigt eine auffallend deutliche Abhängigkeit der Antimon-Belastung vom Strassenabstand (Abb. 147). Die Antimon-Belastung erreicht in 50m Distanz noch einen Fünftel der strassennahen Maximalbelastung.

**Abb. 147 Distanzprofil Härkingen für Antimon.**

Für Antimon, welches v.a. von Bremsbelägen emittiert wird, zeigt sich an allen Profilstandorten eine sehr deutliche Distanzabhängigkeit zur Autobahn. In 50m Distanz erreicht Antimon noch einen Fünftel der strassennahen Maximalbelastung.



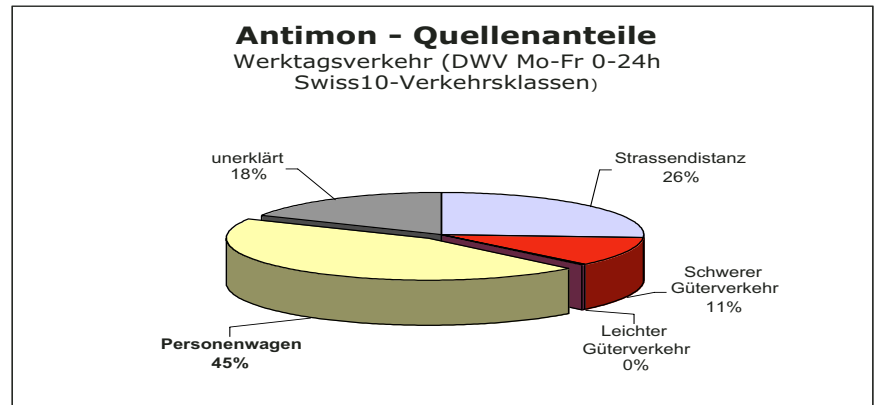
### Quellenanteile für Antimon

Die Multivariate Varianzanalyse für Antimon ergibt für den PW-Verkehrsanteil einen relativ hohen Belastungsanteil von 45% sowie 11% für den schweren Güterverkehr (Abb. 148).

**Abb. 148 Der PW-Verkehrsanteil als Hauptquelle der Antimon-Belastung.**

Die Varianzanalyse der Bio-monitoringdaten mit dem Werktagsverkehr mit fahrzeugtypenklassierten Swiss10-Daten zeigt, dass der PW-Anteil mit 45% die Belastung von Antimon mit Abstand am stärksten prägt.

Der Anteil des schweren Güterverkehrs beträgt 11% und der Anteil des «leichten Güterverkehrs» ist vernachlässigbar.



### Vergleich mit mfz-spezifischen Emissionsdaten

Der Vergleich mit externen mfz-spezifischen Emissionsdaten vom Bremsbelägen bestätigt die Befunde des Luftqualitätsmonitorings (Abb. 149).

**Abb. 149 Belastungsvergleich mit Emissionsdaten des Mfz-Verkehrs für Antimon.**

Bremsbeläge, nebst Ventiltteilen vom Motoren gelten als Hauptquellen der verkehrsbedingten Antimonbelastung. Bremsbeläge unterscheiden sich in ihrer Antimonbelastung je nach Fabrikationstyp sehr stark.

10 von 29 getesteten neuen Bremsbelägen zeigten unerwartet hohe Sb-Gehalte von  $\geq 5\%$ , wobei nur fünf Fabrikate Antimon-frei waren. ÖKO-TEST 2002

Antimon-Belastung [mg/kg]				Toxikologie		
EMEP / CORINAIR - Emission Inventory Guidebook 2005						
Autoreifen			Bremsbeläge			
Mittelwert	Min	Max	Mittelwert	Min	Max	Bemerkung
2			10'000			Bremsbeläge >> Pneus
Antimony in brake pads - a carcinogenic problem, von Uexküll 2001						
			14'678	59	46'000	Bremsbeläge/Staub LKWs

### Gesamtbewertung von Antimon

**erweist sich als zuverlässiger Tracer für den PW-Verkehrsanteil.**

#### Experimentelle Befunde des MfM-U Biomonitorings

- Standortvergleiche und Profilanalysen weisen eindeutig auf Stärkstebelastung an Standorten mit hohen LKW-Anteilen hin.
- Varianzanalysen mit dem flottendifferenzierten Werktagsverkehr (Swiss10) belegen einen PW-Anteil von 45% an der Luftbelastung mit dem z.T. kanzerogenen Antimon.

#### Literaturdaten

- Die experimentellen Befunde werden gestützt von Belastungsanalysen an Bremsbelägen, -staub und Fahrzeugreifen (EMEP-CORINAIR, von Uexküll 2005, Westlund 2001, ÖKO-TEST 2002), die belegen, dass Bremssysteme von modernen Motorfahrzeugen bedeutende Antimon-Emissionen verursachen. Bereits sind Bremsbeläge im Handel, bei welchen Antimon durch Kupfer, Blei u.a. weniger toxische Schwermetalle ersetzt wurde. Weitere Quellen von Antimon stellen hochvergütete Motorenöle und Ventiltteile dar.

## Acenapthylen

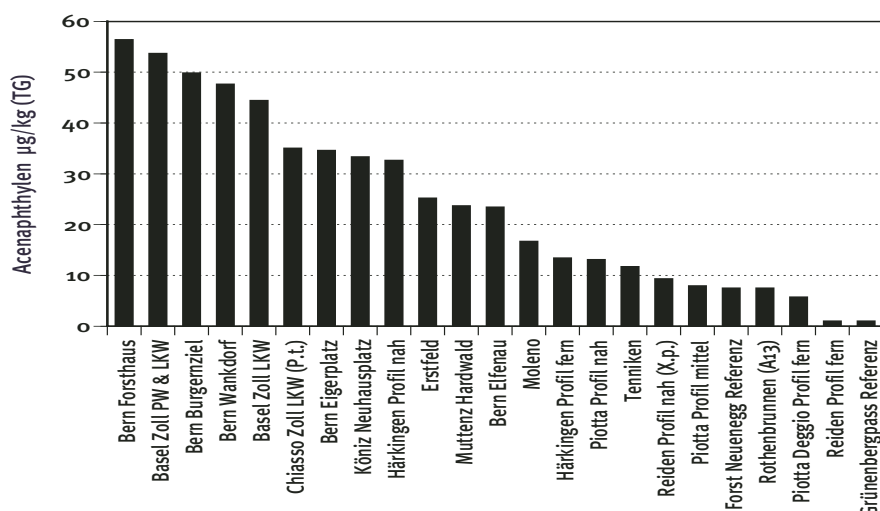
### Acenapthylen-Belastung der MfM-U- und Berner Standorte

Der mit Abstand höchste Belastungswert für Acenapthylen wurde in Tenniken festgestellt (Abb. 150). Auf etwas tieferem Niveau folgt Bern-Wankdorf sowie auf einem dreimal tieferen Belastungsniveau folgen Basel Zoll LKW, Härkingen Profil nah, Köniz-Neuhausplatz und Muttenz. Die tiefsten Belastungswerte wurden am Referenzstandort Grünenbergpass sowie an den strassenfernen Standorten von Piotta und Moleno gemessen.

Acenapthylen zeigt mit einem Faktor von 140 einen sehr starken Belastungsgradienten.

**Abb. 150 Belastung von Acenapthylen der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003.**

Für Acenapthylen zeigt mit einem Belastungsunterschied von 140 zwischen dem maximalen Standortwert von Tenniken und dem geringst belasteten Hintergrundstandort Grünenbergpass einen sehr starken Belastungsgradienten.



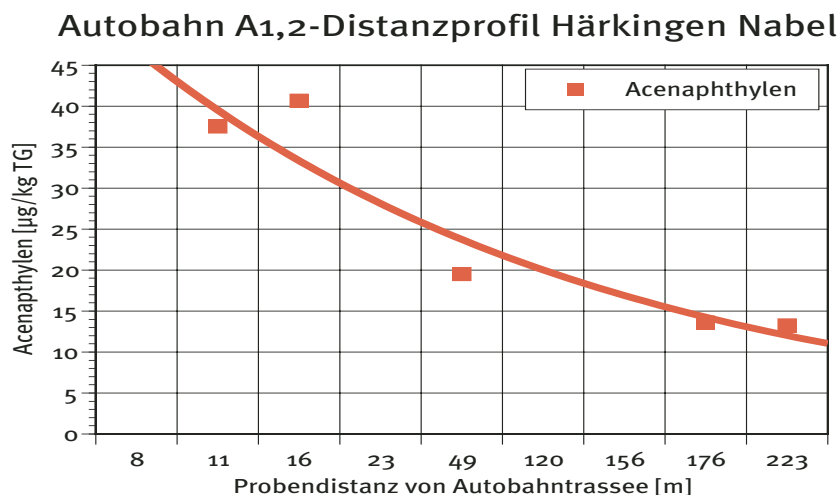
### Distanzprofil für Acenapthylen

Das Distanzprofil an der A2 in Härkingen zeigt eine deutliche Abhängigkeit der Acenapthylen-Belastung vom Strassenabstand (Abb. 151). In den fahrbahnnächsten 50 m Distanz fällt die Acenapthylen-Belastung auf die Hälfte.

**Abb. 151 Distanzprofil Härkingen für Acenapthylen.**

Für Acenapthylen, welches besonders von Dieselfahrzeugen emittiert wird, zeigt sich an allen Profilstandorten eine deutliche Distanzabhängigkeit zur Autobahn.

In den fahrbahnnächsten 50 m Distanz fällt die Acenapthylen-Belastung auf die Hälfte.





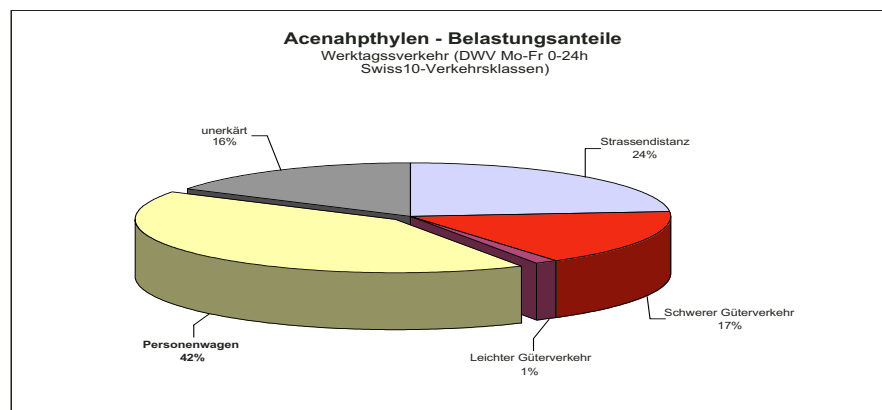
**Abb. 152 Der PW-Anteil als Hauptquelle der Acenaphthylen-Belastung.**

Die Varianzanalyse der Biomonitoringdaten mit dem Werktagsverkehr mit fahrzeugtypenklassierten Swiss10-Daten zeigt, dass der PW-Anteil mit 42% die Belastung von Acenaphthylen am stärksten prägt.

Der Anteil des schweren Güterverkehrs beträgt 17% und der «leichte Güterverkehr» trägt nur 1% bei.

### Quellenanteile für Acenaphthylen

Die Multivariate Varianzanalyse für Acenaphthylen ergibt einen relativ hohen PW-Belastungsanteil von 42% sowie einen Schwerverkehrsanteil von 17% (Abb. 152).



### Vergleich mit motoren-spezifischen Emissionsdaten

Der Vergleich erst rudimentär vorliegenden externen motorenspezifischen Emissionsdaten bestätigen die Befunde des Luftqualitätsmonitorings und belegen, dass Dieselmotoren relevante Acenaphthylen-Emissionen verursachen (Abb. 153).

**Abb. 153 Belastungsvergleich mit motoren-spezifischen Emissionsdaten für Acenaphthylen.**

Die verfügbaren Emissionsdaten lassen keine Interpretation zu.

Acenaphthylen						Toxikologie	m		
WHO-Road Transport: Emission Inventory 2002						Gubrist 1993		POP-Bericht UM-146	
bulk gasoline & diesel emission [ $\mu\text{g}/\text{km}$ ] hot & cold						Motorfahrzeuge		Motorfahrzeuge	
non cat	cat	DI	IDI	DI	Liq.gas	% LKW-Anteil		Strassenabstand	
Gasoline PC / LDV	Gasoline PC / LDV	Diesel PC / LDV	Diesel PC / LDV	Diesel HDV	LPG	Mo-Fr / SA-SO		PAK Gradient	
		25.92	25.92			n.a.		gering	

### Gesamtbewertung von Acenaphthylen

*erweist sich besonders als Tracer für den PW-Anteil.*

#### Experimentelle Befunde des MfM-U Biomonitorings

- Standortvergleiche weisen eindeutig auf Stärkstbelastung an Standorten mit hohen LKW-Anteilen hin.
- Profilanalysen belegen zusätzlich Höchstbelastungen an Standorten mit hohen LKW-Anteilen.
- Varianzanalysen mit dem flottendifferenzierten Werktagsverkehr (Swiss10) belegen einen PW-Anteil von 42% an der Luftbelastung mit Acenaphthylen.

#### Literaturdaten

- Die experimentellen Befunde können derzeit erst teilweise mit Emissionsmessungen an Motorentypen abgestützt werden.

## Katalysatormetalle Platin (Pt) und Palladium (Pd)

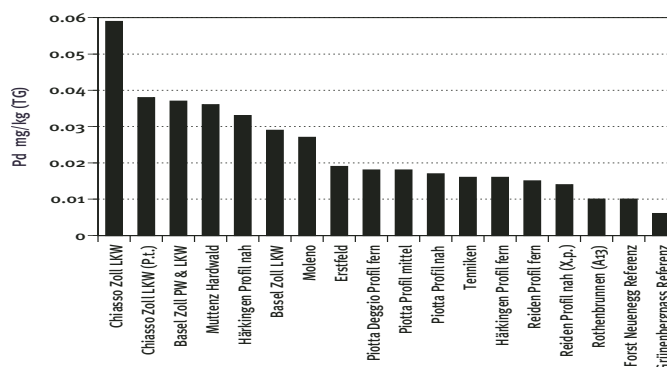
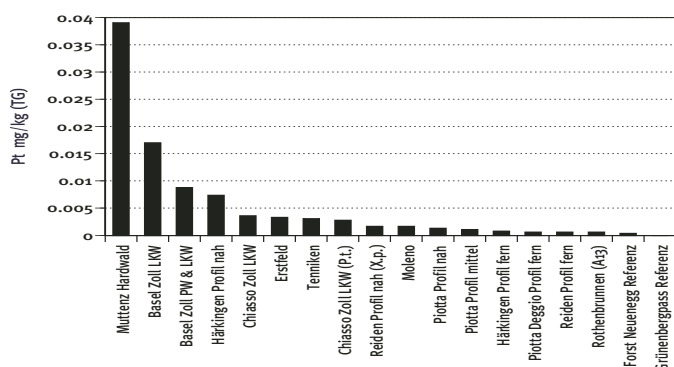
### Platin- und Palladium-Belastung der MfM-U-Standorte von 2003

**Abb. 154 Platin- und Palladium-Belastung der MfM-U Standorte von 2003.**

Die Maximalbelastungen der Katalysatormetalle Platin und Palladium zeigen sich klar an den stärksten frequentierten Verkehrsstandorten. Platin zeigt mit einem Faktor von 89 den für Schwermetalle stärksten Belastungsgradienten zwischen maximaler und minimaler Standortbelastung. Palladium zeigt einen mässig starken Belastungsgradienten von 6.

Der maximalen Belastungswerte von Platin zeigen sich erneut an den stark frequentierten Verkehrsstandorten MuttENZ, Basel Zoll und Härkingen, währenddem die Minimalwerte am Referenzstandort Forst Neuenegg gemessen wurden. Platin zeigt mit 89 den stärksten für Schwermetalle festgestellte Belastungsgradienten. Platin ist der wichtigste Tracer für Kat-Fahrzeuge der ersten Generation und neu für dieselbetriebene Modelle mit Partikelfilter (Abb. 154).

Für Palladium zeigen sich ähnliche Verhältnisse mit einer Maximalbelastung in Chiasso Zoll, gefolgt von Basel Zoll, MuttENZ Hardwald und Härkingen und der Minimalbelastung den Referenzstandorten Forst Neuenegg und Grüenbergpass. Mit einem Faktor von 6 liegt ein mässig starker Belastungsgradient vor. Palladium eignet sich als Verkehrstracer, insbesondere für die aktuellste Generation benzinbetriebener Katalysator-Fahrzeuge.

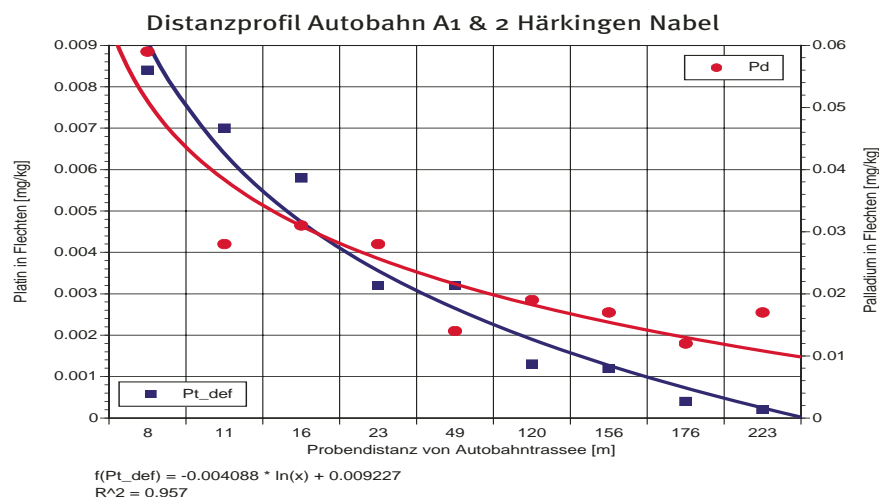


### Distanzprofil für Platin und Palladium

Das Distanzprofil an der A2 in Härkingen zeigt eine auffallend deutliche Abhängigkeit der Belastung von Platin und Palladium vom Strassenabstand. Die Kurvenfits sind mit  $R^2=0.86-0.96$  sehr gut (Abb. 155).

**Abb. 155 Distanzprofil Härkingen für Platin und Palladium.**

Für Platin und Palladium, welches auch von Abgaskatalysatoren emittiert werden, zeigt sich an allen Profilstandorten eine sehr deutliche Distanzabhängigkeit zur Autobahn. In 50m Distanz erreichen Platin und Palladium einen Drittel bis Viertel der strassennahen Maximalbelastung.



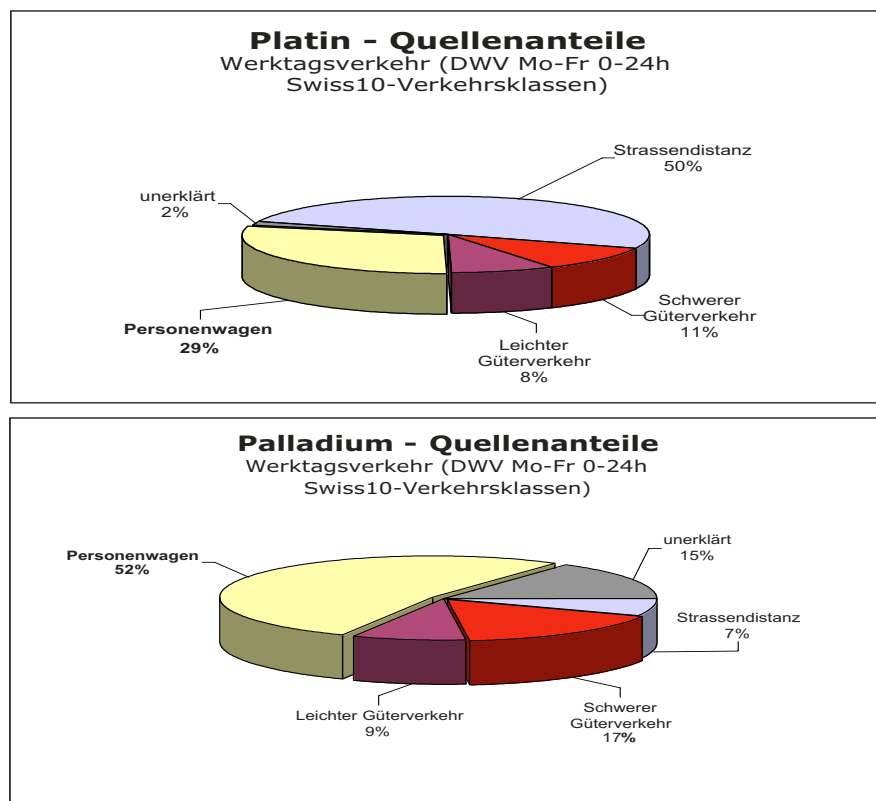


### Quellenanteile für Platin und Palladium

Die Multivariate Varianzanalyse für Platin und Palladium ergeben für den PW-Anteil einen hohen Belastungsanteil von 29% bzw. 52% (Abb. 156).

**Abb. 156 Der PW-Verkehrsanteil als Hauptquelle der Platin- und Palladium-Belastung.**

Die Varianzanalyse der Bio-monitoringdaten mit dem Werktagsverkehr mit fahrzeugtypenklassierten Swiss10-Daten zeigt, dass der PW-anteil mit 29-52% die Belastung von Platin und Palladium mit Abstand am stärksten prägt. Der Anteil des schweren Güterverkehrs beträgt 8-17% und der Anteil des I«leichten Güterverkehrs» trägt 8-9% bei.



### Gesamtbewertung Platin und Palladium

erweist sich als zuverlässiger Tracer für den Anteil an Katalysatorfahrzeugen, wobei heutzutage Palladium auf katalysierte Benzinmotoren und Platin auf Dieselmotoren hinweist.

### **Experimentelle Befunde des MfM-U Biomonitorings**

- Standortvergleiche und Profilanalysen weisen eindeutig auf Stärkstebelastung an Standorten mit hohen Mfz-Anteilen hin.
- Varianzanalysen mit dem flottendifferenzierten Werktagsverkehr (Swiss10) belegen einen relativ hohen PW-Anteil an der Luftbelastung von 29% bei Platin und 52% bei Palladium.

### **Literaturdaten**

- Die experimentellen Befunde werden gestützt von Belastungsanalysen an Katalysatoren, die belegen, dass moderne Katalysatorfahrzeuge die Hauptemittenten der Platin- und Palladium-Belastung darstellen, wobei heutige Benzin-Motoren nur noch mit den billigeren Palladium-Katalysatoren ausgerüstet werden. Bei modernen Dieselfahrzeugen mit Partikelfiltern kommen heute ausschliesslich die effizienteren Platin-Katalysatoren zum Einsatz.



## 7. Schlussfolgerungen und Ausblick

- **Das Luftqualitätsmonitoring mit Flechten entlang der A2 und A13, welches im Rahmen des MfM-U realisiert wurde, erlaubt die Zuweisung relevanter Luftschadstoffe zum Schwerverkehr**

Anhand von Flechtenanalysen entlang der Autobahnen A2 und A13 sowie an stark befahrenen innerstädtischen Verkehrsknoten am Beispiel der Stadt Bern wurde eine teilweise hohe Konzentration von Polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAKs) und Schwermetallen festgestellt.

Das Distanzprofil an der NABEL-Messstation Härkingen deutet darauf hin, dass die durch den Verkehr emittierten PAKs und Schwermetalle entlang intensiv befahrener Verkehrsachsen hauptsächlich innerhalb eines 50-100m breiten Streifens deponiert werden. Unter den Substanzen finden sich diverse Schwermetalle sowie mutagene und kanzerogene PAKs. Letztere werden vorwiegend von Diesel-Motoren ohne Partikelfilter und Katalysatoren emittiert.

Literatur-Recherchen zeigen, dass neben den Treibstoffen und Motoren-Emissionen auch Bremsbeläge und Additive in Motorenölen und Autoreifen wichtige Schadstoff-Quellen des Mfz-Verkehrs darstellen. So stellen beispielsweise Bremsbeläge nach wie vor eine relevante Quelle von Antimon, Blei, Chrom, Eisen, Kupfer, Molybdän, Zink und Zinn dar.

Mit multivariaten statistischen Methoden wurden schliesslich die wichtigsten PAK- und Schwermetall-Tracer bestimmt, die für die schweren Güterfahrzeuge typisch sind.

- **Ausblick**

Mit der vorliegenden statistisch und empirisch abgesicherten «Top 25-Selektion» konnten aus dem ursprünglich grossen Kollektiv von 44 Luftschadstoffen die 15 aussagekräftigsten «Schwerverkehrs-Tracer» zum Nachweis der Luftbelastung durch den schweren Güterverkehr extrahiert werden.

Im Sinne einer Differenzialdiagnose stehen weitere 10 PAKs und Schwermetalle zur Verfügung, die eine Trennung nach dem Anteil des leichten Güterverkehrs, des PW-Anteils sowie des gesamten Verkehrs-Mixes erlauben.

Was die künftige Vorgehensweise für eine erste Erfolgskontrolluntersuchung anbelangt, wurde dem BAFU bereits ein ausführliches Positionspapier unterbreitet. Darin wurden u.a. zwei Ausführungsvarianten einer ersten Erfolgskontrolle vorgeschlagen, sowie wünschenswerte Vernetzungen, wie z.B. mit humanmedizinischen Begleituntersuchungen (Atemwegserkrankungen), angeregt.

Im Rahmen der ersten Erfolgskontrolle des MfM-U Biomonitorings, welches vorzugsweise noch vor der Einführung der EURO 5-Norm (Verschärfung der Abgasnormen, 2008) durchgeführt werden sollte, kann nun die Umweltwirkung und der Anteil des alpenquerenden Güterverkehrs an der Luftbelastung umfassend abgeschätzt werden...

### **Verdankungen**

Wir danken dem Auftraggeber und weiteren Fachstellen und Fachpersonen, welche das vorliegende verkehrsgestützte Biomonitoringprojekt ermöglicht und fachlich unterstützt haben:

*Klaus Kammer, Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Oekonomie und Forschung, Sektion Umweltbeobachtung*

*Dr. Karl-Heinz Gerber und Dr. Heribert Bürgy,  
Amt für Umweltschutz und Lebensmittelkontrolle der Stadt Bern AfUL*

*Dr. Gerrit Nejedly und Dr. Hans Mathys,  
beco - Berner Wirtschaft - Immissionsschutz*

*Walter Kuster, Direktion Planung, Umwelt, Verkehr,  
Abteilung Umweltschutz, Köniz*

*Martin Howald, Tiefbauamt der Stadt Bern*

*Peter Huber und Markus Trautwein, Hochbau- und Planungsamt,  
Hauptabteilung Planung, Basel*

*Peter Böhler, InNET Monitoring AG, Adlingenswil*

*Dr. Niklaus Zimmermann und Dr. Peter Waldner, WSL Birmensdorf*

*Prof. Hans Riedwyl und Rolf Kaufmann, Statistik-Beratung*

*Dr. Hans Zimmermann, Bundesamt für Raumentwicklung ARE,  
Kompetenzzentren GIS & Verkehr, Bern*

*Christof Bieri und Rita Brühlhart AGB, für fachliche Mitarbeit,*

*und allen weiteren Beteiligten, die dieses Projekt aktiv unterstützt haben.*

## 8. Glossar

<i>Bioindikation</i>	Als Bioindikatoren gelten Lebewesen (und Lebensgemeinschaften), welche bei Schadstoffbelastungen messbare Veränderungen zeigen oder diese Schadstoffe messbar aufkonzentrieren (akkumulieren).
<i>Emission</i>	Ausstoss von Schadstoffen an der Quelle.
<i>Fingerprints (der Belastung)</i>	Typisches Muster der Belastungsintensität der gemessenen Einzelstoffe, welches z.T. standort-, bzw. quellspezifische Rückschlüsse erlaubt.
<i>Georaum</i>	Geographisch einheitlicher Raum; Raumeinheit der Mittelwertbildung für die Konstruktion der Luftgütekarte der «Kalibrierten Flechtenindikationsmethode».
<i>Gesamtimmissionsbelastung</i>	Belastung der Luft mit vielen toxischen Einzelschadstoffen und deren kombinierter Wirkung, erhoben mit dem Gesamtbelastungsindikator IAP18.
<i>Gesamtimmissionskataster mit Flechten</i>	Darstellungsform für Luftqualitätsuntersuchungen mit Flechten, deren Erhebungsmethoden mit technischen Luftschadstoffmessungen geeicht sind. Statistisch gesicherte Rückschlüsse auf die Luftqualität werden wirkungsbezogen, aufgrund der Beeinträchtigung (Frequenz: IAP18, Arthäufigkeit) gezogen. Der Gesamtimmissionskataster unterscheidet fünf Zonen abnehmender Flechtenbeeinträchtigung: Kritische Gesamtbelastung, Starke Gesamtbelastung, Mittlere Gesamtbelastung, Geringe Gesamtbelastung, Sehr geringe Gesamtbelastung, welche als Zonen unterschiedlicher Gesamtbelastung der Luft gelten dürfen. <u>Der Gesamtimmissionskataster setzt zwingend eine Eichung der Erfassungsmethode voraus.</u>
<i>Immission</i>	Luftverunreinigungen am Orte ihres Einwirkens auf Mensch, Tiere, Pflanzen, Böden und Sachgüter.
<i>Inversion</i>	Temperaturumkehr in bodennahen Luftschichten, verhindert vertikalen Luftaustausch und führt zur Ansammlung von Schadstoffen.
<i>IAP18</i>	Gesamtbelastungsindikator, der die integrale Belastung mit einer Vielzahl von Luftschadstoffen erfasst; vgl. Kalibrierte Flechtenindikationsmethode.
<i>Kalibrierte Flechtenindikationsmethode</i>	Mit technischen Luftschadstoffen geeichtes Erhebungsverfahren der Gesamtbelastung der Luft, bzw. der Luftqualität (Wirkungs- und Gesamtimmissionskataster) auf der Basis der Verbreitung von Baumflechten. Entwickelt im Nationalen Forschungsprogramm 14: Lufthaushalt und Luftverschmutzung in der Schweiz.
<i>Katalysator für Motorfahrzeuge</i>	Bei einem <u>Drei-Weg-Katalysator</u> finden die Oxidation von CO und Kohlewasserstoffen (HmCn) sowie die Reduktion von NOx parallel zueinander statt. Voraussetzung dafür ist ein konstantes Luft-Kraftstoff-Gemisch im stöchiometrischen Verhältnis ( $\lambda=1$ ) von 14 g Luft pro Gramm Kraftstoff. Deshalb kann diese nur bei benzinbetriebenen Fahrzeugen mit Ottomotor und Lambdaeinstellung eingesetzt werden kann. Als Katalysatormetall dient heute das billigere Palladium und Rhodium, in den ersten Kats wurde früher auch Platin verwendet.

<i>Diesel-Oxidationskatalysator</i>	Dieselmotoren verbrennen ein mageres Gemisch ( $\lambda > 1$ ), d.h. im Abgas sind hohe Sauerstoffkonzentrationen vorhanden. Daher ist die Reduktion der NO <sub>x</sub> nicht möglich. Die NO <sub>x</sub> -Minimierung muß daher durch innermotorische Maßnahmen, also die gezielte Beeinflussung der Verbrennung, erfolgen. Aufgrund der deutlich niedrigeren Abgastemperaturen im Vergleich zum Ottomotor sind Dieselkats oft nahe am Abgaskrümmen verbaut. Der Dieselkat enthält nur Platin, weil Palladium und Rhodium zuwenig wirksam sind.
<i>NABEL</i>	Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe.
<i>NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub></i>	Stickoxide, vorwiegend Primärschadstoffe, Hauptemittenten sind Verkehr und Feuerungen.
<i>SO<sub>2</sub></i>	Schwefeldioxid, Hauptemittent Heizungen.
<i>O<sub>3</sub></i>	Ozon, Sekundärschadstoff, gebildet aus Vorläufersubstanzen Stickoxide (NO <sub>x</sub> ) und Kohlenwasserstoffen (VOC).
<i>PAK</i>	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe.
<i>PAN</i>	Peroxyacetylnitrat, Bestandteil des photochemischen Smogs.
<i>Parameter</i>	Einflussgrösse.
<i>Passivsammler</i>	Einfaches Messverfahren mit Absorptionsröhrchen für SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> mit begrenzter zeitlicher Auflösung (1 Tag bis einige Wochen).
<i>Photo-Oxidantien</i>	Schadstoffe mit Reizwirkung, entstehen durch chemische Umwandlung von Abgasen unter Einwirkung von Sonnenlicht, z. B. O <sub>3</sub> und PAN (Peroxyacetylnitrat).
<i>PM10</i>	Feindisperse lungengängige Schwebstoffe mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als 10 µm.
<i>Polygonzüge</i>	Verbindungslineie gleicher IAP18-Werte.
<i>Primärschadstoff</i>	Schadstoff, der an der Quelle entweicht.
<i>Schwebestaub</i>	Feine Staubpartikel, können durch Einatmen bis in die Lunge gelangen (siehe auch PM10).
<i>Sekundärschadstoff</i>	Schadstoff, der durch Umwandlung von Primärschadstoffen in der Atmosphäre gebildet wird.
<i>Smog</i>	= smoke + fog = «Rauchnebel».
<i>Smog, photochemischer</i>	Ansammlung von Schadstoffen unter einer Inversionsschicht, welche v.a. aus Motorfahrzeugabgasen unter Einwirkung von Sonnenstrahlung entstehen; typisch im Sommer.
<i>Staubniederschlag</i>	Staubniederschlag, sind gröbere Partikel.
<i>Summationsmessverfahren</i>	Messverfahren mit begrenzter zeitlicher Auflösung (1 Tag bis einige Wochen; z.B. Liesegang-Methode für SO <sub>2</sub> , Bergerhoff für Staubniederschlag und Schwermetalle, Passivsammler).
<i>Tracer</i>	Indikator.
<i>Transmission</i>	Ausbreitung, Verdünnung und Umwandlung von Schadstoffen.
<i>VOC</i>	Flüchtige organische Verbindungen.
<i>Wirkungskataster mit Flechten</i>	Darstellungsform für Luftqualitätsuntersuchungen mit Flechten, meist in Form einer Karte. Rückschlüsse auf die Luftqualität werden wirkungsbezogen, also aufgrund der Beeinträchtigung (Frequenz: IAP18, Arthäufigkeit), gezogen. Der Wirkungskataster unterscheidet fünf Zonen abnehmender Flechtenbeeinträchtigung: Flechtenwüste, Innere Kampfzone, Äussere Kampfzone, Übergangszone, Normalzone. Der Wirkungskataster setzt keine Eichung der Erfassungsmethode voraus.

## 9. Literaturhinweise

**ABG, 2005:** Erfolgskontrolle zur Luftreinhaltung in der Stadt Bern 2004 - Wiederholung der Untersuchungen mit Flechten nach 14 Jahren. Schlussbericht. Oktober 2005, ergänzt mit Biomonitoring, zuhanden des Berner Stadtrates.

**ABG, 2005:** Monitoring flankierende Massnahmen - Umwelt (MfM-U) Biologisches Luftqualitätsmonitoring mit Flechten entlang der A2 und A13. Interne Entwurfsfassung des Schlussberichtes vom 17.4.05; in Bearbeitung.

**ABG, 2005:** Luftqualitätsuntersuchungen mit Flechten in Köniz. Ersterhebung 2004. Schlussbericht März 2005. AGB im Auftrag der Gemeinde Köniz.

**ABG, 2005:** Erfolgskontrolle zur Luftreinhaltung in der Stadt Bern 2004. Wiederholung der Untersuchungen mit Flechten nach 14 Jahren. Teilbericht Wangental. Jan. 2005. Karl Kaufmann Recycling AG in Thörishaus.

**ABG, 2004:** Luftqualitätsuntersuchungen mit Flechten in der Gemeinde Bremgarten 2004. Erfolgskontrolle nach 14 Jahren und Ersterhebung in Teilgebiet. Dezember 2004. AGB im Auftrag der Gemeinde Bremgarten.

**ABG, 2004:** Erfolgskontrolle zur Luftreinhaltung in der Stadt Bern 2004 - Wiederholung der Untersuchungen mit Flechten nach 14 Jahren. Kurzbericht-bericht Oktober 2004, zuhanden der Pressekonferenz vom 4. November 2004.

**AGB 2003:** Biologisches Luftqualitätsmonitoring für die Region Thun - Spiez 2001- 2002: Istzustand der aktuellen Luftbelastung und Grundlage für die Erfolgskontrolle der Luftreinhaltungsmassnahmen (Bioindikation und Biomonitoring): Auftraggeber: Gemeinschaftswerk der AVAG KVA AG, der Stadt Thun, der Gemeinden Steffisburg, Spiez, Heimberg, Uetendorf und dem KIGA Bern. (Istzustand bei Bau der KVA-Thun), April 2003.

**AGB 2002:** Persistente organische Luftschadstoffe (POPs) in der Schweiz - Biomonitoring mit Flechten 2002. Umweltmaterialien Nr. 146. Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, BUWAL.

**AGB 2002:** Erste Erfolgskontrolluntersuchung zur Luftreinhaltung im Kanton Appenzell A.Rh. 2000. Wiederholung der Luftqualitätsuntersuchungen mit Flechten nach 10 Jahren. AGB 2002: im Auftrag des: Amt für Umweltschutz Kanton Appenzell A.Rh., Mai 2002.

**AGB 2001:** Regionale Entsorgungsanlage Niedergösgen (RENI). Erste Erfolgskontrolle zur Luftreinhaltung im Zeitraum 1994 - 2000 mittels Biomonitoring mit Flechten. Kurzbericht September 2001. AGB 2001: im Auftrag: Regionale Entsorgungsanlage Niedergösgen und AfU, Abteilung Luftreinhaltung, Kanton Solothurn.

**AGB, 1999:** Zweite Erfolgskontrolluntersuchung zur Luftreinhaltung in der Stadt Biel 1998/99. Wiederholung der Luftqualitätsuntersuchungen mit Flechten nach 15 Jahren. Auftraggeber: Sicherheits-, Energie- und Verkehrsdirektion (SEVD) der Stadt Biel - Stadtchemikeramt.

**AGB, 1994:** Luftuntersuchung Zürich-Nord 1993. Langzeitüberwachung der Luftbelastung mittels Bioindikation und Biomonitoring im Gebiet der Kehrichtverbrennungsanlage KVA-Hagenholz - Interpretationshilfe für Bodenanalysen und Instrument der lufthygienischen Erfolgskontrolle. Auftraggeber: Abfuhrwesen Zürich AWZ - Gesundheits- und Wirtschaftsamt der Stadt Zürich.

**AGB, 1993:** PAH-Analysen in Flechtenproben und Vergleich mit entsprechenden Immissionsmessungen an vier Standorten der Schweiz. Als Grundlage für den OECD-Workshop on Hazardous Air Pollutants 1993, London. Im Auftrag des BUWAL.

**AGB, 1992a:** Luftqualitätsuntersuchungen mit Flechten in der Stadt Bern - Luftgesamtbelastung - Kalibrierte Flechtenindikationsmethode. Schlussbericht Februar 1991. AGB, Arbeitsgemeinschaft für Bioindikation im Auftrag des Amtes für Umweltschutz und Lebensmittelkontrolle der Stadt Bern, 174 S.

**AGB, 1992b:** Luftqualitätsuntersuchungen mit Flechten im Kanton Appenzell A.Rh.. Teilbericht 2: Einzelstoffbelastung von Flechten - Passives Biomonitoring, Juni 1992. AGB im Auftrag der Abteilung Luftreinhalte des Amtes für Umweltschutz, Herisau, 226 S.

**AGB, 1992c:** Biomonitoring der Einzelstoffbelastung in der Stadt Bern. Schlussbericht Juli 1992. AGB, Arbeitsgemeinschaft für Bioindikation im Auftrag des Amtes für Umweltschutz und Lebensmittelkontrolle der Stadt Bern.

**AGB, 1992d:** Luftqualitätsuntersuchungen mit Flechten im Fürstentum Liechtenstein. Bioindikation der Gesamtbelastung und Biomonitoring der Einzelstoffbelastung. Schlussbericht Dezember 1991. AGB, Arbeitsgemeinschaft für Bioindikation im Auftrag des Landesforstamtes und Amtes für Volkswirtschaft, Vaduz, 340 S.

**Bayer-Oglesby, L., Grize, L., Gassner, M., Takken-Sahli, K., Felix H. Sennhauser, Neu, U., Schindler, Ch., Braun-Fahrlander, Ch., 2005:** Decline of Ambient Air Pollution Levels and Improved Respiratory Health in Swiss Children. doi:10.1289/ehp.8159 (available at <http://dx.doi.org/>) Online 21 June 2005.

**BARGAGLI, R. IOSCO, F.S, D'AMATO, M.L., 1987:** Zonation of trace metal accumulation in three species of epiphytic lichens belonging to the genus *Parmelia*. *Cryptogamie, Bryol. Lichenol*, 1987, 8 (4): 331-337.

**BACCINI, P., BELEVI, H., LICHTENSTEIGER, TH., 1992:** Die Deponie in einer ökologisch orientierten Volkswirtschaft. *GAIA* 1/92, 34-49.

**BERNER LUFT 2003:** beco – Berner Wirtschaft.

**BLUMER, M., 1976:** Polycyclic Aromatic Compounds in Nature, *Scientific American*, 234,3.

**BRUNNER, P. H., ZOBRIST, J., 1983:** Die Müllverbrennung als Quelle von Metallen in der Umwelt. In: *Fachzeitschrift Müll und Abfall*, 9/83.

**Bundesamt für Strassen, ASTRA. Automatische Strassenverkehrsählung 2003. Fahrzeugklassen (LCV).** Mit längenklassierten DTV und DWV-Daten 2003. Sigmaplan. Bern, Mai 2004.

**CARBOTECH 1992:** VOC- und PAK-Immissionsmessungen in der Region Basel (1991). Zuhanden des Lufthygieneamtes LHA.

**CARBOTECH 1995:** PAK-Immissionsmessungen in den Kantonen Zürich, Schaffhausen und Luzern 1994/95. Im Auftrag des Amtes für Techn. Anlagen (ATAL) des Kt. Zürich, des kant. Laboratoriums für Lebensmittelkontrolle und Umweltschutz, Schaffhausen und des Amtes für Umweltschutz, Luzern.

**CARLBERG, G., BAUMANN OFSTAD, E., DRANGSHOLT, H., STEINNES, E., 1983:** Atmospheric depositions of organic micropollutants in Norway studied by means of mosses and lichen analysis. *Chemosphere* Vol. 12/3, 341-356.

**Die Schwermetallbelastung des Bodens in der Umgebung von Kehrichtverbrennungsanlagen im Kanton St. Gallen, 1991:** Bau-departement des Kt. St. Gallen, Amt für Umweltschutz.

**Die Bodenbelastung in der Umgebung von Kehrichtverbrennungsanlagen im Kanton Zürich, 1992:** Ingenieurbüro Niederer + Pozzi im Auftrag der Baudirektion des Kantons Zürich, Amt für Gewässerschutz und Wasserbau, Fachstelle Bodenschutz.

#### **Verwendete Directiven der EU:**

**Directive 2004/107/EC** of the European Parliament and the the Council of 15. Dec. 2004 relating on arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air

[http://europa.eu.int/eur-lex/lex/LexUriServ/site/en/oj/2005/L\\_023/L\\_02320050126en00030016.pdf](http://europa.eu.int/eur-lex/lex/LexUriServ/site/en/oj/2005/L_023/L_02320050126en00030016.pdf)



Dir 2004/107/EC As, Cd, Hg, Ni, Bap 15. Dez. 2004.

**DGentr-PE-E3 391 PE PAH 27th amend\_DE\_ACTE.DOC**

[http://europa.eu.int/eur-lex/de/com/pdf/2004/com2004\\_0098de01.pdf](http://europa.eu.int/eur-lex/de/com/pdf/2004/com2004_0098de01.pdf)

*Im Rahmen der Richtlinie 67/ 548/ EWG wird BaP als karzinogener, mutagener und reprotoxischer Stoff der Kategorie 2 eingestuft und kann nicht hinnehmbare Risiken für die menschliche Gesundheit oder die Umwelt beinhalten. Die Kommission schlägt vor, das ..*

**DGentr-PE-E3 391 PE PAH 27th amend\_DE\_ACTE.DOC**

[http://europa.eu.int/eur-lex/de/com/pdf/2004/com2004\\_0098de01.pdf](http://europa.eu.int/eur-lex/de/com/pdf/2004/com2004_0098de01.pdf)

*Im Rahmen der Richtlinie 67/ 548/ EWG wird BaP als karzinogener, mutagener und reprotoxischer Stoff der Kategorie 2 eingestuft und kann nicht hinnehmbare Risiken für die menschliche Gesundheit oder die Umwelt beinhalten. Die Kommission schlägt vor, das ..*

**DIETL, C., et al., 1997:** Association of antimony with traffic-occurrence in airborne dust, deposition and accumulation in standardized grass cultures. The science of the total environment. Volume 205, Pages 235-244.

**DIETL, C., et al., 1996:** Monitoring of airborne metals in grass and depositions. Volume 33, Pages 2101-2111.

**EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook- 2005.** Technical Report Nr. 30. European Environment Agency EPA, Copenhagen 31.12.2005.

[http://reports.eea.europa.eu/EMEP\\_CORINAIR4/en/tab\\_abstract\\_PLR](http://reports.eea.europa.eu/EMEP_CORINAIR4/en/tab_abstract_PLR).

**Entwicklung der schweizerischen Gesetzgebung im Bereich der Abgasemissionen von motorisierten Strassenfahrzeugen, der periodischen Nachkontrolle von Motorfahrzeugen und der Treibstoffqualität.** BUWAL, November 2002.

**EPA:** Environmental Protection Agency. Test Methods for Evaluating Solid Waste. Physical/Chemical Methods, Vol. 1, Section B (Us. Dep. of Commerce, NIST, 1986).

**FALBE, J., REGITZ, M., 1996-99:** Römpp-Lexikon Chemie. 10. völlig überarbeitete Auflage. Thieme Verlag, Stuttgart.

**GEOSTAT Benutzerhandbuch**, 10.97. Bundesamt für Statistik, Bern.

**Güterverkehr durch die Schweizer Alpen 2004.** Bundesamt für Raumentwicklung, ARE, 3.2005.

**HAPKE, J.-H., 1990:** Toxikologie der Spurenelemente. In: Spurenelemente und Ernährung. Wissenschaftl. Schriftenreihe der Ernährungsgesellschaften - Deutschland, Österreich, Schweiz. Kircheggner, W., (Hrsg). Wissenschaftl. Verlagsgesellschaft Stuttgart, 207 S.

**Herzig, R. 2005:** MfM-U: Monitoring flankierende Massnahmen - Umwelt Teilprojekt - Luftqualitätsmonitoring mit Flechten entlang der A2 und A13 - Zwischenbericht Juni 2005.

**HERZIG, R., BIERI, C., 2002:** Persistente organische Luftschadstoffe (POPs) in der Schweiz - Biomonitoring mit Flechten 2002. Umweltmaterialien Nr. 146. Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, BUWAL.

**HERZIG, R., REHNERT, A., KUMPULAINEN, J., SCHRAMMEL, P., MUNTAU, H. LINSINGER, T & QUEVAUVILLER, P. 2002:** Certification of a new cabbage reference material for the quality control of trace element determinations with some considerations on moisture. TRAC - Trends in Analytical Chemistry, Vol. 21 No.11 p. 746-761.

**HERZIG, R., 1993:** Multi-Residue Analysis with Passive Biomonitoring: A New Approach for Volatile Multi-Element Contents, Heavy Metals and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons with Lichens in Switzerland and the Principality of Liechtenstein. In: Plants as Biomonitors for Heavy Metal Pollution in the Terrestrial Environment . Ed. Markert, B., VCH-Verlagsgesellschaft Weinheim.

**HERZIG, R., URECH, M., 1991:** Flechten als Bioindikatoren: Integriertes biologisches Messsystem der Luftverschmutzung für das Schweizer Mittelland. J. Cramer, Bibliotheca Lichenologica Band 43 und Dissertation, Systematisch-Geobotanisches Institut Universität Bern; 283 S.

**HERZIG, R., HAUSER, E., 1991:** Immissionsbelastung der Stadt Biel, pp. 107 - 149. In: Biel - Klima und Luftverschmutzung einer Schweizer Stadt. H. Wanner (Ed.). Paul Haupt Verlag, Bern.

**HERZIG, R., 1990:** Entwicklung des Integrierten biologischen Messsystems der Luftverschmutzung mit Flechten in der Schweiz, seine Anwendung und erste Vergleiche mit Bodenanalysen. VDI-Kolloquium: Wirkungen von Luftverunreinigungen auf Böden, 15 -17. Mai 1990, Lindau. VDI-Berichte 837; 937-956.

**HERZIG, R. et al., 1990:** Lichens as Biological Indicators of Air Pollution in Switzerland: Passive Biomonitoring as a Part of an Integrated Measuring System for Monitoring Air Pollution. in: Element Concentration Cadasters in Ecosystems, ed. Lieth. H, Markert, B., VCH-Verlagsgesellschaft Weinheim; 317-332.

**HERZIG, R., et al. 1989:** Passive Biomonitoring with lichens as a part of integrated biological measuring system for monitoring air pollution in Switzerland. Int. J. Environ. Anal. Chem. Vol. 33, pp. 43-57.

**HERZIG, R., URECH, M., LIEBENDÖRFER, L., 1987:** Flechten als biologische Indikatoren der Luftverschmutzung in der Schweiz: Methoden-Evaluation und Eichung mit wichtigen Luftschadstoffen. VDI-Berichte 609.

**HERZIG, R., URECH, M., LIEBENDÖRFER, L., 1985:** Flechten als biologische Indikatoren der Luftverschmutzung in der Schweiz: NFP14 - Methodenentwicklung in der Region Biel-Seeland. Systematisch-Geobotanisches Institut der Universität Bern.

**JÄCKLE, H., EMPA - Abteilung Betriebsstoffe 1991:** persönliche Mitteilung zu Spurenelementgehalte in Betriebsstoffen und Schmiermitteln.

**Luftbelastung 2002, 2003, 2004:** Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL). BUWAL 2003-05.

**Luftreinhalte-Verordnung (LRV).** Änderung vom 16. Dez. 1985; Stand 28.3.2000. EDI. LRV 814.318.142.1.

**Massnahmenplan zur Luftreinhaltung 2000/2015:** Volkswirtschafts-direktion des Kantons Bern sowie das Amt für Industrie, Gewerbe und Arbeit (KIGA), Abteilung Umweltschutz, 20. Juni 2001.

**MERIAN, E., 1991:** Metals and Their Compounds in the Environment. VCH, Weinheim.

**MOTOR VEHICLES AND CLEANER AIR, 1983:** Health risks Resulting from Exposure to Motor Vehicle Exhaust. Governmental Report (SOU 1983:27,28).

**MARKLUND, S., et al. 1990:** Emission of PCDDs and PCDFs in Gasoline and Diesel Fuelled Cars. Chemosphere, Vol 20 No. 5 pp 553-561

**NATO-CCMS, 1988:** International Toxicity Equivalency Factor Method of Risk Assessment for Complex Mixtures of Dioxins and Related Compounds, Report No. 176 (1988).

**NIEBOER, E., RICHARDSON, D.H.S., Tomassini, F.D. 1978:** Mineral uptake and release by lichens: An overview. Bryologist 81 (2), 226-246.

**NOBEL, W., MICHENFELDER, K., 1986:** Wirkungsaussagen mit Bioindikatoren an einem Autobahnprofil der A8 bei Wendelingen. In: TÜV- Stuttgart e.V. Filderstadt, 88 S.

**OZOLINS, G., 1989:** Health and Air Pollution - European Air Quality Guidelines. In: Umwelttechnik 3/1990, S. 16-21.

**PAK-Immissionsmessungen in den Kantonen Zürich, Schaffhausen und Luzern, 1995:** Resultate der chemischen Messungen (GC/MS) und derjenigen mit dem photoelektrischen Aerosol-Sensor (PAS). Schläpfer K, et al. Im Auftrag des Amtes für techn. Analgen und Lufthygiene des Kt. Zürich (ATAL), des Kantonalen Laboratoriums für Lebensmittelkontrolle und Umweltschutz Schaffhausen und des Amtes für Umweltschutz, Luzern.

**PAHs Gubrist 1993:** EMPA Studie Nr. 149339.

**Partikelfilter für schwere Nutzfahrzeuge, 2000:** Umweltmaterialien Nr. 130 Luft. BUWAL.

**PETRY, T., SCHMID, P., SCHLATTER, CH., 1996:** The use of toxic equivalency factors in testing occupational and environmental health risks associated with exposure to airborne mixtures of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). *Cemosphere*, Vol 32. No.4, pp 639-648

**PILEGAARD, K., 1979:** Heavy metal in bulk precipitation and transplanted *Hypogymnia physodes* and *Dicranoweisia cirrata* in the vicinity of a danish steelworks. *Water, Air and Soil Pollution* 11.

**PUCKETT, K.J., NIEBOER, E., GORZYNSKI, M.J., RICHARDSON, D.H.S. 1973:** The uptake of metal ions by lichens: A modified ion-exchange process. *New Phytol.* 72, 329-342.

**QUEVAUVILLER, P., HERZIG, R., MUNTAU, H. 1996:** Certified reference material of lichen (CRM482) for the quality control of trace element biomonitoring. *The Science of the Total Environment* 187 (1996) 143-152.

**QUEVAUVILLER, Ph., HERZIG, R., MUNTAU, H., 1995:** The Certification of the contents (mass fractions) of As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb and Zn in lichen - CRM 482. Commission of the European Community. Measurement & Testing Programme - BCR, Brussels, EUR-Report 16841 EN.

**Rabe, R., Beckelmann U. 1986:** Zusammenhänge zwischen der durch Flechten angezeigten Gesamtverunreinigung der Luft und Gesundheitsbeeinträchtigungen beim Menschen. *VDI-Berichte* 699, Seiten 729-753.

**RENNER, H., SCHMUCKLER, G., 1991:** Platinum-Group Metals; gemäss Buckow, G., et al., 1986: Verwertung von Reststoffen aus einer Wiederaufbereitungsanlage. *Ges. für Reaktorsicherheit GRS, Köln.* In: Merian, E., 1991: *Metals and their Compounds in the Environment*, VCH-Publishers Weinheim, pp. 1135-1148.

**RICHTERS., STEINHÄUSER, K.-G., FIEDLER, H., 2001:** Globaler Vertrag zur Regelung von POPs: Die Stockholm Konvention. *UWSF-Z. Umweltchem Ökotox.* 13 (1) 39-44.

**Regulatory Toxicology Pharmacology 1985:** 5, 329-383. Zit. in Römpp, Bd. pp. 881.

**SCHWEIZERISCHE STRASSENVERKEHRSZÄHLUNG 2000: CD;** Bundesamt für Strassen und Bundesamt für Statistik. Best.Nr. 208-0000-01.

**AUTOMATISCHE STRASSENVERKEHRSZÄHLUNG 2003 - Fahrzeuge nach Längenklassen (LVC).** Sigmaplan im Auftrag des Bundesamtes für Strassen, ASTRA, 2004.

**SCHWEIZERISCHE STRASSENVERKEHRSZÄHLUNG 2003: CD;** Bundesamt für Strassen, ASTRA, 2004.

**JEGGE Patrick, Bundesamt für Strassen, ASTRA:** Diverse persönliche Mitteilungen, Jan./Febr. 2006. SWISS10-DVW-Daten von 2003.

**STAEHLIN, J., et al. 1995:** Erfassung von Emissionen des Fahrzeugverkehrs mittels Messungen im Gubristtunnel. Projekt EUROTRACK/GENEMIS, Zürich.

**STOFFVERORDNUNG (StoV), 2000 [814.013] - Verordnung über umweltgefährdende Stoffe.** Bundeskanzlei, EDMZ, Bern.

**TAKKALA, K., OLKKONEN, H., IKONEN, J., JÄÄKELAINEN, J., PUUMALAINEN, P., 1985:** Total sulfur content of epiphytic and terricolous lichens in Finland. *Ann. Bot. Fenn.* 22, 91-100.

**Umweltmonitoring MFM-U. Luft- und Lärmmessungen.** Jahresbericht 2004. Interner Schlussbericht Infras Dez. 2004. Umweltmaterialien Nr. 205. Bundesamt für Umwelt Wald und Landschaft, Bern.

**UN/ECE, 1998:** United Nations Economic Commission for Europe. Protocol to the 1979 Convention on Long-range Transboundary Air Pollution on Persistent Organic Pollutants. Aarhus, 24. June 1998.

**Verkehrsbezogene Immissionen und Immissionswirkungen von Antimon und anderen Metallen, 1998:** Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Schriftenreihe Heft 153, München.

**Verkehrserhebungen 2002/2003 Stadt Bern:** Direktion für Planung, Verkehr und Tiefbau. Tiefbauamt Stadt Bern.

**Verordnung über umweltgefährdende Stoffe** (Stoffverordnung, StoV), 1991, EDI.

**VOC- und PAK-Immissionsmessungen in der Schweiz 1991/92:** Umweltmaterialien Nr. 10. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.

**WEISS, P. 1998:** Persistente organische Schadstoffe in Hintergrund-Waldgebieten Österreichs. Monografien Band 97. Umweltbundesamt Wien, 242 S.

**WHO-Europe, 2003:** Health risks of persistent organic organic compounds from long range transboundary air pollution. Geneva.

**WELTJE, L., HEIDENREICH, H., WANGZAO ZHU, WOLTERBEEK, H., KORHAMMER, S., DE GOEIJ J., MARKERT, B. 2002:** Lanthanide concentrations in freshwater plants and mollusks, related to those in surface water, pore water and sediment. A case study in The Netherlands. The Science of the Total environment, 286 191-214, Elsevier Science B.V.

**WHO-Europe 2003:** Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution. Joint WHO/Convention Task Force on health aspects of Air Pollution, 252pp., Copenhagen (DK).

**WHO-Road Transport:** Emission Inventory Guidebook August 2002. WHO Geneva.

**WILHELM, M., SCHREY, P., WITTSIEPE, J. HEINZOW, B. 2002:** Dietary intake of persistent organic pollutants (POPs) by German children using duplicate portion sampling. Int. J. Hyg. Environ. Health 359-204, 362.

**WILLIAMS, P.T, BARTLE, K.D., ANDREWS, G.E, 1986:** The Relation between Polycyclic Compounds in Diesel Fuels and Exhaust Particulates. Fuel, Vol. 65, August, 1986.

**ANHANGTEIL 1****10.1. Einzelstoffbelastung von Schwermetallen und PAKs mittels Stationstafeln - alle Standortvergleiche****Reihenfolge der Stationstafeln**

Das Kapitel 10.1 umfasst alle 23 untersuchten Standorte mit ihren Stationstafeln zur Belastung mit Schwermetallen und Polyaromaten.

Die Präsentation erfolgt geordnet entlang der Nordsüdachse der Transautobahn A2 und A13, mit Beginn am Grenzposten Basel-Weil und endend in Chiasso-Progeda sowie Rothenbrunnen an der A13.

Die Ergänzungsstandorte der regionalen Erfolgskontrolluntersuchung in der Stadt Bern im Zeitraum 1990-2004 werden ganz am Schluss gezeigt.

Die nachfolgenden zweiseitigen Stationstafeln umfassen alle wesentlichen Untersuchungsergebnisse, die zur Charakterisierung der Einzelstoffbelastung an Schwermetallen und PAKs der Untersuchungsstandorte notwendig sind.

Für **Schwermetalle u.a. andere toxische Elemente** basiert dieses standardisierte Auswertungs- und Darstellungsverfahren auf der in Kapitel 5.2 beschriebenen **standardisierten Klassifikation der Messdaten** und erlaubt somit gebietsübergreifende Belastungsvergleiche (Herzig 1992, AGB 1992).

Um rasch einen **ersten Eindruck über die Höhe und das Belastungsmuster der verschiedenen Untersuchungsstandorte** zu gewinnen, empfiehlt es sich, die Standorte bezüglich ihrer belastungsproportionalen **Piktogramme** miteinander zu vergleichen, die aufgrund eines standardisierten Klassifikationsverfahrens berechnet wurden.

Für die **Polyaromate PAKs** und andere organische Luftschadstoffe existiert bisher noch keine solche einheitliche Belastungsklassifikation wie für die Schwermetalle, welche sich für gebietsübergreifende Belastungsanalysen und Erfolgskontrollen seit Jahren sehr bewähren.

Für die bevorstehenden Erfolgskontrollanalysen im MfM-U-Projekt wäre eine derartige Belastungsklassifikation der PAKs von ausserordentlichem Wert. Diese könnte jetzt bereits mit dem bestehenden Kollektiv der MfM-U-Standorte und möglichst ergänzt durch das Kollektiv der 33 Schweizer Standorte der POP-Studie realisiert werden. In Ermangelung dieser einheitlichen Klassifikation erfolgen die Belastungsvergleiche bei den PAKs in den Stationstafeln und nachfolgenden Kapiteln aufgrund von Standortmittelwerten.

Der Ergänzungsstandort 18: Habkern-Grünebergpass dient als subalpiner Referenzstandort für Hintergrundbelastung. Er weist ein noch leicht geringeres Belastungsmuster auf als der für das Schweizer Mittelland repräsentative Referenzstandort Forst-Neuenegg, welcher seit den Achzigerjahren untersucht wird.

### Standort Nr. 1a: Basel-Weil Zoll LKW-Checkpoint

Ohne Immissionsmessung, Verkehrsmessung in Basel-Weil Grenzbrücke.

**Nähere Umgebung:** Zollstation der A2 mit getrennter LKW- und PW-Abfertigung in Richtung Deutschland. Mit Standort 1a wurde besonders der Nahbereich des LKW-Ausstellplatzes vor der Zollstation erfasst.

**Standortcharakteristik:** hochfrequenzierter Verkehrsstandort an Nord-Süd-Transitachse mit fast ausschliesslichem LKW-Einfluss im Nahbereich.

**Besonderheiten:** meist kritisch hohe Belastungswerte für fast alle Schwermetalle, besonders der Verkehrstracer Platin, Antimon, Arsen, Vanadium, Nickel, Cobalt, Chrom; Schwermetallbelastungsindex kritisch hoch. Sehr hohe Belastung auch für die meisten Polyaromate, inkl. der mutagenen und kanzerogenen PAKs sowie der PAK-Summenwerte. IAP18: kritisch hohe Gesamtbelastung.

#### Biomonitoring Kenngrößen

Schwermetalle	mg/kg	Prädikat	Polyaromate PAKs	µg/kg
Schwermetall-Belastungsindex	63	kritisch hoch	PAK-Summe 27	10939
Antimon	7.0		Summe mutagener PAKs m	7058
Molybdän	5.6		Summe kanzerogener PAKs k	5254
Vanadium	5.3		Summe mut./kanz. PAKs m, k	2447
Platin	0.0170		Benzo(b,k)fluoranthen k,m	1140
Cer	2.57		Benzo(a)pyren k,m	529
<b>Luftgesamtbelastung (IAP18)</b>	<b>18</b>	<b>kritisch</b>	Indeno(1,2,3-cd)pyren k	2198



### MfM-U Biomonitoring - Ersterfassung 2003



- Legende:
- anorganische Probenahme mit Probennummer
  - ▲ organische Probenahme mit Probennummer
  - ★ technische Immissionsmessung
  - ▼ Verkehrsmessung

**Standort Nr. 1a: Basel Weil Zoll A2 - LKW-Checkpoint mit von der PW-Fahrbahn getrennter Abfertigungs- und Ausstellplatz für schwere LKWs**



# Standort Nr. 1a: Basel-Weil Zoll LKW-Checkpoint

Erstmessung

Kategorie 1: Stadt, Verkehr

	Anorganische Luftschadstoffe: Schwermetalle									Belastungssituation			
PNr.	111	112	113	114	115	Statistische Werte				Klas-se	Pikto-gramm	Belastungs-Prädikat	Kürzel
Elemente	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	Mean	SD	Median	N	1-6			
Blei	49.4	51.2	63.1	44.1	57.5	53.1	7.4	51.2	5	3	●	mittel	Pb
Cadmium	0.34	0.38	0.34	0.31	0.39	0.35	0.03	0.34	5	3	●	mittel	Cd
Kupfer	76.9	48.4	58.3	43.9	65.1	58.5	13.2	58.3	5	6	●●	kritisch hoch	Cu
Zink	336	217	200	227	352	266	72	227	5	6	●●	kritisch hoch	Zn
Eisen	5144	3425	4727	3047	3446	3958	918	3446	5	6	●●	kritisch hoch	Fe
Molybdän	9.4	4.8	5.2	3.5	5.2	5.6	2.2	5.2	5	6	●●	kritisch hoch	Mo
Chrom	28.1	21.7	29.9	16.6	18.9	23.1	5.8	21.7	5	6	●●	kritisch hoch	Cr
Cobalt	1.32	0.91	1.06	0.77	0.92	1.00	0.21	0.92	5	4	●	hoch	Co
Nickel	13.4	11.0	11.2	7.1	7.9	10.1	2.57	11.0	5	6	●●	kritisch hoch	Ni
Vanadium	5.4	4.9	6.1	5.0	4.8	5.3	0.5	5.0	5	2	●	gering	V
Arsen	1.72	1.44	1.81	1.28	1.72	1.59	0.22	1.72	5	6	●●	kritisch hoch	As
Zinn	2.30	1.66	2.12	1.59	2.12	1.96	0.31	2.12	5	3	●	mittel	Sn
Antimon	8.8	5.9	6.7	4.8	8.5	7.0	1.7	6.7	5	6	●●	kritisch hoch	Sb
Platin	0.067	0.003	0.005	0.006	0.005	0.017	0.028	0.005	5	6	●●	kritisch hoch	Pt
Palladium	0.044	0.023	0.032	0.021	0.024	0.029	0.01	0.024	5				Pd
Cer	3.06	2.33	3.00	2.06	2.39	2.57	0.44	2.39	5				Ce
Gesamt-schwefel	3463	2622	2514	2549	2061	2642	509	2549	5	5	●●	sehr hoch	S-total
Gesamtbel.	40	31	7	0	11	18			5		●●	kritisch	IAP18
				Schwermetall-Belastungs-Index						63	●●	kritisch hoch SMI	

Luftimmission:						
Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )	LRV IGW	Feinstaub (PM10)	LRV IGW	Ozon (O <sub>3</sub> )		LRV IGW
Jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	30	Jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	20	Jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]		-
max. Tagesmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	-	max. Tagesmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	-	Anz. Stundenmittel > 120 µg/m <sup>3</sup>		1
Anzahl Tage > 80 µg/m <sup>3</sup>	1	Anzahl Tage > 50 µg/m <sup>3</sup>	1	max. Stundenmittel [µg/m <sup>3</sup> ]		-

Verkehrsmenge: Basel Schwarzwaldbrücke AB 070						
DTV Total	Personen-wagen (K3)	Güterverkehr (K1,4,6,7)	Schwererkehr (K5,6,7)	%-Anteil Pw-Verkehr (K3)	%-Anteil Güterverkehr (K1,4,6,7)	%-Anteil Schwerkverkehr (K5,6,7)
34804	30636	4175.0	3157			
Basel-Grenzbrücke; Anteil Richtung BRD						

## Toxikologie der PAKs

m: gesichert mutagen  
m?: vermutlich mutagen  
k: gesichert kanzerogen  
k?: vermutlich kanzerogen

Quelle: WHO, 1998, 2003. Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution.

Organische: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe														
PNr.		111	113	115		Statistische Werte								
PAK-Substanzen, Tox.		µg/kg	µg/kg	µg/kg		Mean	SD	Median	N	Kürzel				
Naphthalin	K?	61	46	137		81	49	61	3	Napt				
Acenaphthylen	m?	41	41	51		44	6	41	3	Aceny				
Acenaphthen	m?	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Acene				
Fluoren	-	57	37	34		43	12	37	3	Fluo				
Phenanthren	m?,k	712	442	443		532	155	443	3	Phe				
Anthracen	-	55	42	57		51	8	55	3	Antrc				
3.6-Dimethylphenanthren		n.n	25	n.n		25	.	25	1	36Dip				
Fluoranthen	k?,m	1124	466	453		681	384	466	3	Fluoa				
Pyren	m?,k?	817	404	463		561	224	463	3	Pyr				
Benzo(b)fluoren	m?,k?	47	18	14		26	18	18	3	Bzbfl				
Benzo(c)phenanthren	km	147	22	41		70	67	41	3	Bzcp				
Benz(a)anthracen	k, m	474	88	195		252	199	195	3	Bzaant				
Chrysen	k, m	585	211	433		410	188	433	3	Chry				
Benzo(b)fluoranthen	k,m	1596	38	417		684	813	417	3	Bzbfla				
Benzo(k)fluoranthen	k,m	880	84	406		457	400	406	3	Bekfla				
Benzo(b,k)fluoranthen	k,m	2476	122	823		1140	1209	823	3	Bzbkfla				
Benzo(b)naphtho-(1,2-d)thiophen		32	7	16		18	13	16	3	Bz12t				
Benzo(e)pyren	k?, m	1496	138	912		849	681	912	3	BeP				
Benzo(a)pyren	k,m	965	152	469		529	410	469	3	BaP				
Perylen	m	174	88	161		141	46	161	3	Pery				
Dibenz(a,j)anthracen	?	92	180	410		227	164	180	3	Dibajp				
Indeno(123-c,d)pyren	k	1943	1491	3160		2198	863	1943	3	I123py				
Dibenz(a,h)athracen	k,m	n.n	138	n.n		138	.	138	1	Diaha				
Benzo(g,h,i)perylen	m	1026	1021	5484		2510	2576	1026	3	Bghip				
Anthanthren	-	n.n	41	n.n		41	.	41	1	Anta				
Dibenz(a,l)pyren	k,m?	192	36	n.n		114	110	114	2	Dibalp				
Coronen	k?,m	97	443	748		429	326	443	3	Cor				
Dibenz(a,h)pyren	k,m	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Dibahp				
PAK Summe 27		12613	5699	14506		10939	4636	12613	3	PAK27				
PAK Summe 20		12103	5411	14025		10513	4522	12103	3	PAK20				
Σ mutagener PAKs	m	8564	2889	9721		7058	3656	8564	3	PAK14				
Σ kanzerogener PAKs,	k	7494	2702	5565		5254	2411	5565	3	PAK12				
Σ mut. & kanz.PAKs	m,k	4647	733	1962		2447	2001	1962	3	PAK9				

## Standort Nr. 1b: Basel-Weil Zoll (PW und LKW gemischt)

Ohne Immissionsmessung, Verkehrsmessung in Basel-Weil Grenzbrücke.

**Nähere Umgebung:** Zollstation der A2 mit getrennter LKW- und PW-Abfertigung in Richtung Deutschland. Mit Standort 1b wurde besonders der Einfluss des gesamten Transitverkehr an der Zollstation erfasst.

**Standortcharakteristik:** hochfrequenzierter Verkehrsstandort an Nord-Süd-Transitachse mit gemischtem LKW- und PW-Einfluss im Nahbereich.

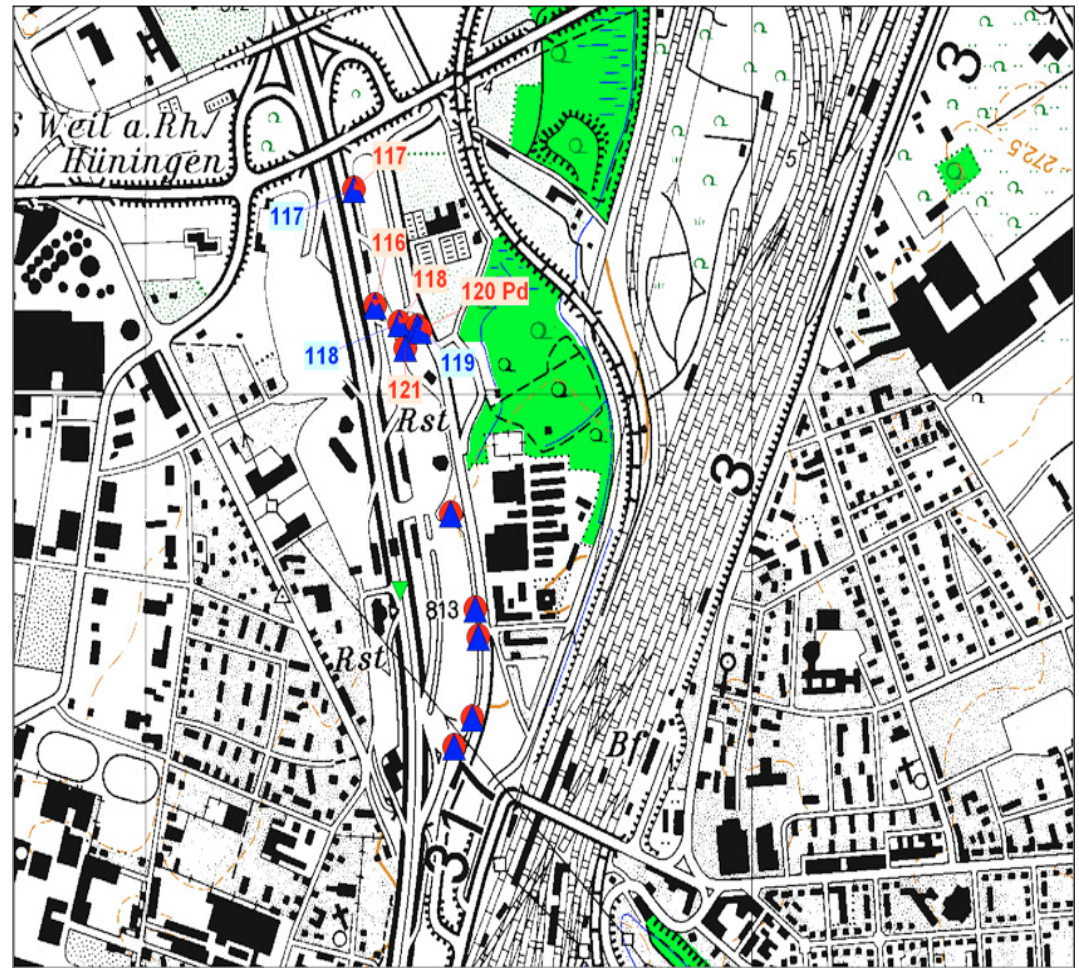
**Besonderheiten:** meist kritisch hohe Belastungswerte für fast alle Schwermetalle, besonders der Verkehrstracer Platin, Antimon, Arsen, Vanadium, Nickel, Cobalt, Chrom; Schwermetallbelastungsindex kritisch hoch. Sehr hohe Belastung auch für die meisten Polyaromate, inkl. der mutagenen und kanzerogenen PAKs sowie der PAK-Summenwerte.

### Biomonitoring Kenngrößen

Schwermetalle	mg/kg	Prädikat	Polyaromate PAKs	µg/kg
Schwermetall-Belastungsindex	64	kritisch hoch	PAK-Summe 27	10107
Antimon	11.0		Summe mutagener PAKs m	6095
Molybdän	7.2		Summe kanzerogener PAKs k	4802
Vanadium	5.5		Summe mut./kanz. PAKs m, k	1886
Platin	0.0088		Benzo(b,k)fluoranthen k,m	889
Cer	2.86		Benzo(a)pyren k,m	159
<b>Luftgesamtbelastung (IAP18)</b>	<b>26</b>	<b>stark</b>	Indeno(1,2,3-cd)pyren k	2464



## MfM-U Biomonitoring - Ersterfassung 2003



- Legende:
- anorganische Probenahme mit Probennummer
  - ▲ organische Probenahme mit Probennummer
  - ★ technische Immissionsmessung
  - ▼ Verkehrsmessung

**Standort Nr. 1b: Basel Weil Zoll A2 - PW und LKW gemischt**



# Standort Nr. 1b: Basel-Weil Zoll (PW und LKW gemischt)

## Kategorie 1: Stadt, Verkehr

Anorganische Luftschadstoffe: Schwermetalle										Belastungssituation			
PNr.	116	117	118	120	121	Statistische Werte				Klas-se	Pikto-gramm	Belastungs-Prädikat	Kürzel
Elemente	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	Mean	SD	Median	N	1-6			
Blei	64.3	52.7	52.4	33.3	72.4	55.0	14.8	52.7	5	3	●	mittel	Pb
Cadmium	0.41	0.51	0.34	0.25	0.61	0.42	0.14	0.41	5	4	●	hoch	Cd
Kupfer	93.4	74.2	46.9	29.8	126.1	74.1	38.0	74.2	5	6	●	kritisch hoch	Cu
Zink	588	512	322	194	1054	534	330	512	5	6	●	kritisch hoch	Zn
Eisen	5948	4472	2682	1875	6742	4344	2074	4472	5	6	●	kritisch hoch	Fe
Molybdän	9.1	7.4	4.7	3.7	11.1	7.2	3.1	7.4	5	6	●	kritisch hoch	Mo
Chrom	28.8	26.3	17.8	13.4	43.2	25.9	11.5	26.3	5	6	●	kritisch hoch	Cr
Cobalt	1.21	1.10	0.73	0.52	1.69	1.05	0.45	1.10	5	4	●	hoch	Co
Nickel	12.9	12.6	8.2	7.4	19.5	12.1	4.8	12.6	5	6	●	kritisch hoch	Ni
Vanadium	6.7	4.9	4.4	3.7	7.8	5.5	1.7	4.9	5	2	●	gering	V
Arsen	1.95	1.39	1.81	0.91	2.12	1.64	0.49	1.81	5	6	●	kritisch hoch	As
Zinn	3.38	2.78	1.78	0.94	4.10	2.60	1.26	2.78	5	3	●	mittel	Sn
Antimon	15.1	11.3	6.9	3.3	18.3	11.0	6.0	11.3	5	6	●	kritisch hoch	Sb
Platin	0.011	0.008	0.005	0.006	0.014	0.009	0.004	0.008	5	6	●	kritisch hoch	Pt
Palladium	0.045	0.042	0.032	0.021	0.046	0.037	0.01	0.042	5				Pd
Cer	3.82	3.08	2.07	1.41	3.94	2.86	1.10	3.08	5				Ce
Gesamt-schwefel	3163	2797	2225	2126	2824	2627	438	2797	5	5	●	sehr hoch	S-total
Gesamtbel.	30	31	17	26	28	26			5		●	starke	IAP18
Schwermetall-Belastungs-Index										64	●	kritisch hoch SMI	

### Luftimmission:

Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )	LRV IGW	Feinstaub (PM10)	LRV IGW	Ozon (O <sub>3</sub> )	LRV IGW
Jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	30	Jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	20	Jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	-
max. Tagesmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	-	max. Tagesmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	-	Anz. Stundenmittel > 120 µg/m <sup>3</sup>	1
Anzahl Tage > 80 µg/m <sup>3</sup>	1	Anzahl Tage > 50 µg/m <sup>3</sup>	1	max. Stundenmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	-

### Verkehrsmenge: Basel Schwarzwaldbrücke AB 070

DTV Total	Personen-wagen (K3)	Güterverkehr (K1,4,6,7)	Schwererkehr (K5,6,7)	%-Anteil Pw-Verkehr (K3)	%-Anteil Güterverkehr (K1,4,6,7)	%-Anteil Schwererkehr (K5,6,7)	%-Anteil Busse, Cars (K1)	%-Anteil Motorrad (K2)	Messdauer 2003
34804	30636	4175.0	3157						Basel-Grenzbrücke; Anteil Richtung BRD

### Toxikologie der PAKs

m: gesichert mutagen  
m?: vermutlich mutagen  
k: gesichert kanzerogen  
k?: vermutlich kanzerogen  
Quelle: WHO, 1998, 2003. Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution.

Organische: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe									
PNr.	117	118	119		Statistische Werte				
PAK-Substanzen, Tox.	µg/kg	µg/kg	µg/kg		Mean	SD	Median	N	Kürzel
Naphthalin K?	176	136	51		121	64	136	3	Napt
Acenaphthylen m?	79	56	26		54	26	56	3	Aceny
Acenaphthen m?	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Acene
Fluoren -	48	50	33		44	9	48	3	Fluo
Phenanthren m?,k	642	427	286		452	179	427	3	Phe
Anthracen -	91	60	29		60	31	60	3	Antrc
3.6-Dimethylphenanthren	n.n	26	9		17	11	17	2	36Dip
Fluoranthen k?,m	614	436	258		436	178	436	3	Fluoa
Pyren m?,k?	672	440	201		437	236	440	3	Pyr
Benzo(b)fluoren m?,k?	20	16	8		15	6	16	3	Bzbfl
Benzo(c)phenanthren km	115	33	11		53	55	33	3	Bzcp
Benz(a)anthracen k,m	331	65	41		146	161	65	3	Bzaant
Chrysen k,m	401	215	84		233	159	215	3	Chry
Benzo(b)fluoranthen k,m	237	147	79		154	79	147	3	Bzbfla
Benzo(k)fluoranthen k,m	1923	142	138		734	1029	142	3	Bekfla
Benzo(b,k)fluoranthen k,m	2160	289	217		889	1101	289	3	Bzbkfla
Benzo(b)naphtho-(1,2-d)thiophen	47	9	4		20	23	9	3	Bz12t
Benzo(e)pyren k?,m	285	540	468		431	131	468	3	BeP
Benzo(a)pyren k,m	122	157	197		159	37	157	3	BaP
Perylen m	99	59	32		63	34	59	3	Pery
Dibenz(a,i)anthracen ?	544	223	n.n		383	227	383	2	Dibajp
Indeno(123-c,d)pyren k	4743	1350	1297		2464	1975	1350	3	I123py
Dibenz(a,h)anthracen k,m	1221	n.n	n.n		1221	.	1221	1	Diaha
Benzo(g,h,i)perylene m	5321	2956	813		3030	2255	2956	3	Bghip
Anthanthren -	236	n.n	n.n		236	.	236	1	Anta
Dibenz(a,l)pyren k,m?	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Dibalp
Coronen k?,m	545	142	58		248	260	142	3	Cor
Dibenz(a,h)pyren k,m	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Dibahp
PAK Summe 27	18511	7684	4124		10107	7493	7684	3	PAK27
PAK Summe 20	17785	7378	4092		9752	7149	7378	3	PAK20
Σ 14 mutagener PAKs m	11213	4893	2178		6095	4636	4893	3	PAK14
Σ 12 kanzerogener PAKs k	9735	2536	2134		4802	4277	2536	3	PAK12
Σ 9 mut. & kanz.PAKs m,k	4350	759	550		1886	2136	759	3	PAK9

## Standort 2: MuttENZ Hardwald

Kontinuierliche Immissions- und Verkehrsmessung direkt in der Strassenschneise der A2 belegen extrem hohe  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$  und Verkehrsbelastung mit einem  $\text{DTV}_{03}$  von 116'700 bei 8'033 LKWs.

**Nähere Umgebung:** Verkehrsstandort der N-S-Transitachse in Waldschneise.

**Standortcharakteristik:** stärkst frequentierter Verkehrsstandort.

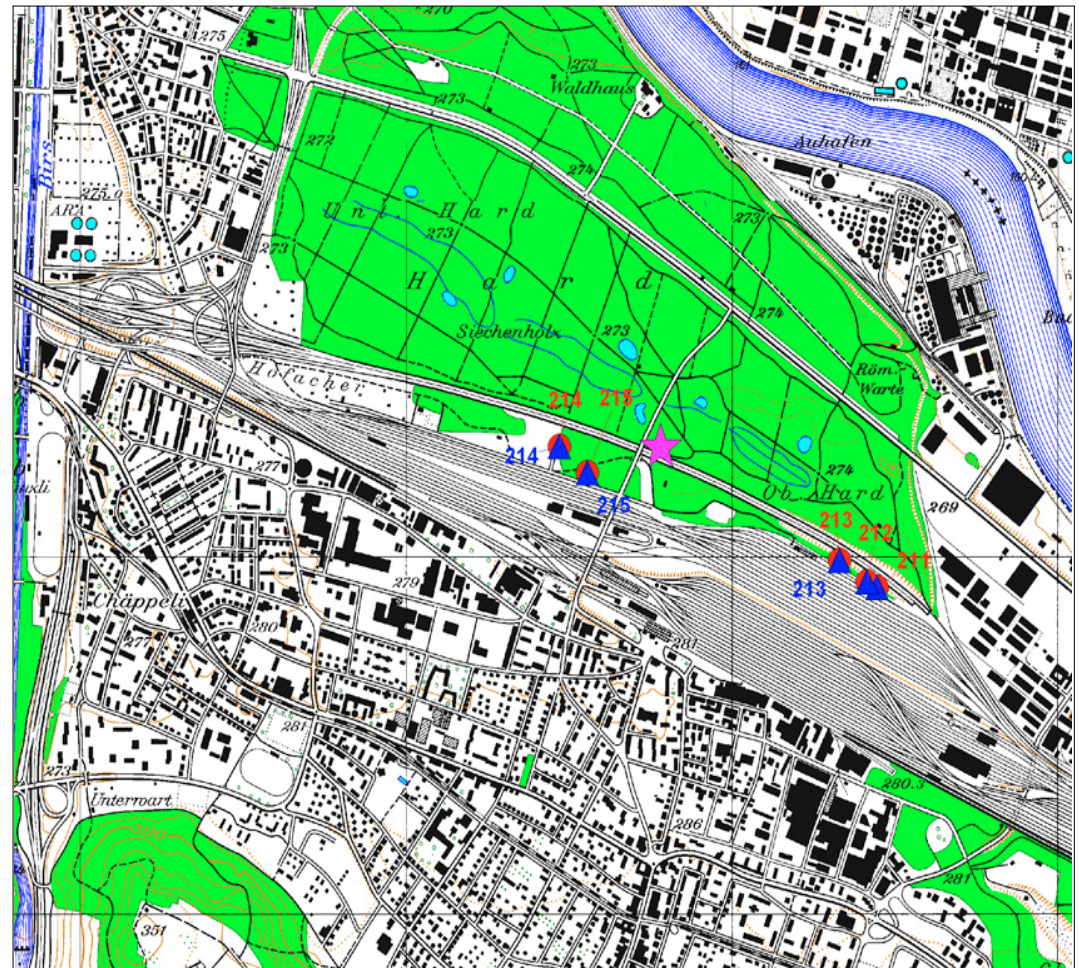
**Besonderheiten:** meist kritisch hohe Belastungswerte für fast alle Schwermetalle, besonders der Verkehrstracer Platin, Antimon, Arsen, Vanadium, Nickel, Cobalt, Chrom; zweithöchster Schwermetallbelastungsindex aller erfassten mfm-Standorte; kritisch hoch. Sehr hohe Belastung auch für die meisten Polyaromate, inkl. der mutagenen und kanzerogenen PAKs sowie der PAKs-Summenwerte. Ohne Luftgesamtbelastung.

### Biomonitoring Kenngrössen

Schwermetalle	mg/kg	Prädikat	Polyaromate PAKs	µg/kg
Schwermetall-Belastungsindex	69	kritisch hoch	PAK-Summe 27	7218
Antimon	3.5		Summe mutagener PAKs m	4205
Molybdän	3.7		Summe kanzerogener PAKs k	3919
Vanadium	5.8		Summe mut./kanz. PAKs m, k	1832
Platin	0.0392		Benzo(b,k)fluoranthen k, m	780
Cer	2.76		Benzo(a)pyren k, m	676
<b>Luftgesamtbelastung (IAP18)</b>	nd		Indeno(1,2,3-cd)pyren k	1542



## MfM-U Biomonitoring - Ersterfassung 2003



- Legende:
- anorganische Probenahme mit Probenummer
  - ▲ organische Probenahme mit Probenummer
  - ★ technische Immissionsmessung
  - ▼ Verkehrsmessung

**Standort Nr. 2: MuttENZ Hardwald A2, MfM-U-Messstandort**

# Standort 2: Muttenz Hardwald

## Kategorie 4: Verkehr, a. Siedlungen

	Anorganische Luftschadstoffe: Schwermetalle									Belastungssituation			
PNr.	211	212	213	214	215	Statistische Werte				Klas-se	Pikto-gramm	Belastungs-Prädikat	Kürzel
Elemente	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	Mean	SD	Median	N	1-6			
Blei	93.7	127.5	93.4	97.4	48.5	92.1	28.2	93.7	5	5	●	sehr hoch	Pb
Cadmium	0.72	0.45	0.49	0.42	0.72	0.56	0.15	0.49	5	5	●	sehr hoch	Cd
Kupfer	66.1	66.1	71.0	48.1	33.3	56.9	15.8	66.1	5	6	●	kritisch hoch	Cu
Zink	165	180	228	167	282	204	50	180	5	6	●	kritisch hoch	Zn
Eisen	5585	5434	5082	5612	3410	5025	927	5434	5	6	●	kritisch hoch	Fe
Molybdän	3.9	3.8	4.8	3.7	2.2	3.7	0.9	3.8	5	6	●	kritisch hoch	Mo
Chrom	22.2	21.6	23.6	25.6	15.6	21.7	3.8	22.2	5	6	●	kritisch hoch	Cr
Cobalt	1.33	1.02	1.09	1.42	0.93	1.16	0.21	1.09	5	5	●	sehr hoch	Co
Nickel	12.9	11.5	11.6	13.0	8.2	11.5	1.9	11.6	5	6	●	kritisch hoch	Ni
Vanadium	5.7	5.9	4.8	8.6	4.0	5.8	1.7	5.7	5	3	●	mittel	V
Arsen	1.48	1.35	1.51	1.97	1.62	1.59	0.24	1.51	5	6	●	kritisch hoch	As
Zinn	3.99	2.51	3.18	1.79	1.52	2.60	1.01	2.51	5	3	●	mittel	Sn
Antimon	3.5	3.9	5.4	2.9	2.0	3.5	1.2	3.5	5	6	●	kritisch hoch	Sb
Platin	0.015	0.145	0.020	0.010	0.006	0.039	0.059	0.015	5	6	●	kritisch hoch	Pt
Palladium	0.035	0.036	0.048	0.035	0.024	0.036	0.01	0.035	5				Pd
Cer	2.45	2.68	3.00	3.99	1.69	2.76	0.84	2.68	5				Ce
Gesamt-schwefel	2635	2398	2263	2013	1659	2194	374	2263	5	4	●	hoch	S-total
Gesamtbel.	.	.	.	.	.	.	.	.	0				IAP18
				Schwermetall-Belastungs-Index						69	●	kritisch hoch	SMI

Luftimmission: Muttenz-Hard (A2), LHA, MfM-U									
Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )	LRV IGW	Feinstaub (PM10)	LRV IGW	Ozon (O <sub>3</sub> )		LRV IGW			
Jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	59	30	Jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	31	20	Jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	-	-	
max. Tagesmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	113	-	max. Tagesmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	116	-	Anz. Stundenmittel > 120 µg/m <sup>3</sup>	6	1	
Anzahl Tage > 80 µg/m <sup>3</sup>	43	1	Anzahl Tage > 50 µg/m <sup>3</sup>	13*	1	max. Stundenmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	154	-	

Verkehrsmenge: Muttenz-Hard (A2), ASTRA-Zählstelle 081									
DTV Total	Personen-wagen (K3)	Güterverkehr (K1,4,6,7)	Schwerverkehr (K5,6,7)	%-Anteil Pw-Verkehr (K3)	%-Anteil Güterverkehr (K1,4,6,7)	%-Anteil Schwerverkehr (K5,6,7)	Busse, Cars (K1)	%-Anteil Motorrad (K2)	Messdauer Okt 03-Aug 04
116657	98017	17145	8033	84	15	7	0.4	0.6	JM

### Toxikologie der PAKs

m: gesichert mutagen  
m?: vermutlich mutagen  
k: gesichert kanzerogen  
k?: vermutlich kanzerogen  
Quelle: WHO, 1998, 2003. Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution.

Organische: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe											Statistische Werte				Kürzel
PAK-Substanzen, Tox.	µg/kg	µg/kg	µg/kg		Mean	SD	Median	N							
Naphthalin	K?	92	64	25	60	34	64	3	Napt						
Acenaphthylen	m?	26	32	13	24	10	26	3	Aceny						
Acenaphthen	m?	n.n	n.n	n.n	n.n	.	.	0	Acene						
Fluoren	-	31	50	15	32	18	31	3	Fluo						
Phenanthren	m?,k	621	637	281	513	201	621	3	Phe						
Anthracen	-	57	101	19	59	41	57	3	Antrc						
3.6-Dimethylphenanthren		n.n	n.n	n.n	n.n	.	.	0	36Dip						
Fluoranthen	k?,m	900	897	373	723	303	897	3	Fluoa						
Pyren	m?,k?	499	582	228	436	185	499	3	Pyr						
Benzo(b)fluoren	m?,k?	18	44	.	31	19	31	2	Bzbfl						
Benzo(c)phenanthren	km	40	37	11	30	16	37	3	Bzcpb						
Benz(a)anthracen	k,m	101	153	38	97	58	101	3	Bzaant						
Chrysen	k,m	243	323	89	218	119	243	3	Chry						
Benzo(b)fluoranthen	k,m	523	622	189	445	227	523	3	Bzbfla						
Benzo(k)fluoranthen	k,m	330	529	146	335	192	330	3	Bekfla						
Benzo(b,k)fluoranthen	k,m	852	1151	335	780	413	852	3	Bzbfkfla						
Benzo(b)naphtho-(1,2-d)thiophen		10	12	n.n	11	1	11	2	Bz12t						
Benzo(e)pyren	k?,m	761	1488	423	890	544	761	3	BeP						
Benzo(a)pyren	k,m	609	1169	251	676	463	609	3	BaP						
Perylen	m	103	105	91	100	7	103	3	Pery						
Dibenz(a,j)anthracen	?	102	750	9	287	403	102	3	Dibajp						
Indeno(123-c,d)pyren	k	1173	3356	97	1542	1660	1173	3	I123py						
Dibenz(a,h)anthracen	k,m	22	56	14	31	22	22	3	Diaha						
Benzo(g,h,i)perylene	m	576	725	89	463	332	576	3	Bghip						
Anthanthren	-	n.n	n.n	n.n	n.n	.	.	0	Anta						
Dibenz(a,l)pyren	k,m?	46	n.n	48	47	2	47	2	Dibalp						
Coronen	k?,m	199	331	60	197	136	199	3	Cor						
Dibenz(a,h)pyren	k,m	n.n	n.n	n.n	n.n	.	.	0	Dibahp						
PAK Summe 27		7081	12064	2508	7218	4779	7081	3	PAK27						
PAK Summe 20		6866	11222	2440	6843	4391	6866	3	PAK20						
Σ 14 mutagener PAKs	m	4406	6436	1774	4205	2337	4406	3	PAK14						
Σ 12 kanzerogener PAKs	k	3708	6883	1164	3919	2865	3708	3	PAK12						
Σ 9 mut. & kanz.PAKs	m,k	1868	2890	738	1832	1077	1868	3	PAK9						



### Standort Nr. 3: Tenniken

Ohne Immissionsmessung, Verkehrsmessung in Eptingen-Nord.

**Nähere Umgebung:** stark frequentierter Verkehrsstandort der A2-Transitachse mit Bergstrecke Richtung Nord DTV<sub>03</sub> 44'966.

**Standortcharakteristik:** stark frequentierter Verkehrsstandort.

**Besonderheiten:** kritisch bzw. hohe Belastungswerte für die Schwermetalle und Verkehrstracer Blei, Zink, Chrom, Antimon und Platin. Mittlerer Schwermetallbelastungsindex.

Eine mittelstarke Belastung auch für zahlreiche Polyaromate, inkl. der mutagenen und kanzerogenen PAKs sowie der PAK-Summenwerte.

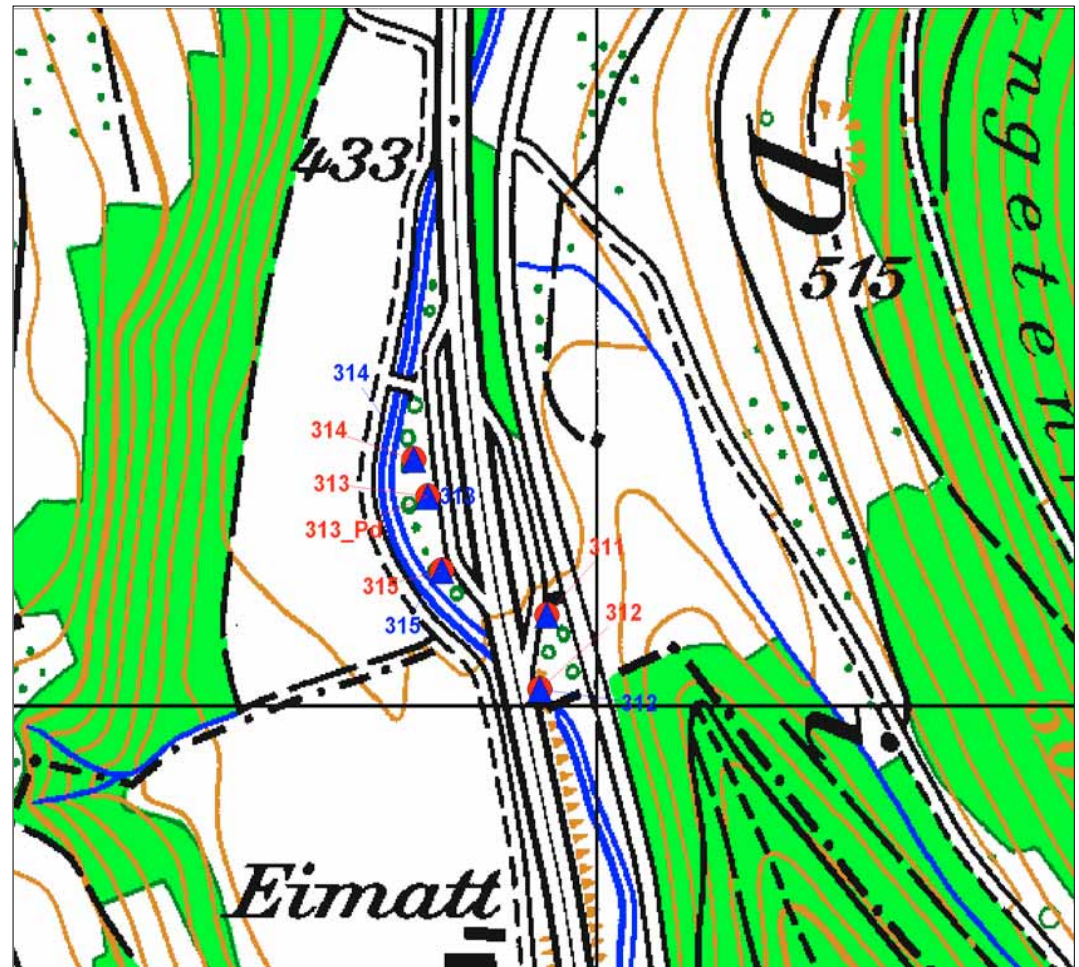
Luftgesamtbelastung gering.

#### Biomonitoring Kenngrössen

Schwermetalle	mg/kg	Prädikat	Polyaromate PAKs	µg/kg
Schwermetall-Belastungsindex	41	mittel	PAK-Summe 27	2232
Antimon	1.7		Summe mutagener PAKs m	1612
Molybdän	1.3		Summe kanzerogener PAKs k	998
Vanadium	1.8		Summe mut./kanz. PAKs m, k	699
Platin	0.0030		Benzo(b,k)fluoranthen k,m	348
Cer	0.86		Benzo(a)pyren k,m	147
Luftgesamtbelastung (IAP18)	47	gering	Indeno(1,2,3-cd)pyren k	127



### MfM-U Biomonitoring - Ersterfassung 2003



- Legende:
- anorganische Probenahme mit Probennummer
  - ▲ organische Probenahme mit Probennummer
  - ★ technische Immissionsmessung
  - ▼ Verkehrsmessung

Standort Nr. 3: Tenniken A2

# Standort Nr. 3: Tenniken

## Kategorie 4: Verkehr, a. Siedlungen

Anorganische Luftschadstoffe: Schwermetalle										Belastungssituation			
PNr.	311	312	313	314	315	Statistische Werte				Klas-se	Pikto-gramm	Belastungs-Prädikat	Kürzel
Elemente	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	Mean	SD	Median	N	1-6			
Blei	127.6	81.0	74.1	34.6	46.0	72.7	36.2	74.1	5	4	●	hoch	Pb
Cadmium	0.25	0.21	0.21	0.17	0.23	0.21	0.03	0.21	5	1	.	sehr gering	Cd
Kupfer	24.4	20.4	17.2	12.0	19.8	18.8	4.6	19.8	5	3	●	mittel	Cu
Zink	178	138	133	129	205	157	33	138	5	6	●	kritisch hoch	Zn
Eisen	1311	901	763	580	1071	925	281	901	5	2	●	gering	Fe
Molybdän	1.85	1.39	1.08	0.63	1.38	1.27	0.45	1.40	5	5	●	sehr hoch	Mo
Chrom	9.0	6.7	5.8	3.2	8.0	6.5	2.2	6.7	5	6	●	kritisch hoch	Cr
Cobalt	0.48	0.34	0.33	0.25	0.36	0.35	0.08	0.34	5	2	●	gering	Co
Nickel	4.5	3.4	2.9	2.0	3.8	3.3	1.0	3.4	5	2	●	gering	Ni
Vanadium	2.5	2.0	1.5	1.2	1.8	1.8	0.5	1.8	5	1	.	sehr gering	V
Arsen	0.59	0.54	0.46	0.40	0.49	0.50	0.07	0.50	5	1	.	sehr gering	As
Zinn	0.78	0.57	0.56	0.34	0.55	0.56	0.16	0.56	5	2	●	gering	Sn
Antimon	2.4	1.7	1.4	0.8	2.4	1.7	0.7	1.7	5	6	●	kritisch hoch	Sb
Platin	0.003	0.003	0.002	0.001	0.006	0.003	0.002	0.003	5	5	●	sehr hoch	Pt
Palladium	0.018	0.014	0.012	0.009	0.026	0.016	0.01	0.014	5				Pd
Cer	1.21	0.88	0.72	0.56	0.92	0.86	0.24	0.88	5				Ce
Gesamt-schwefel	2372	1842	2119	1639	2452	2085	345	2119	5	3	●	mittel	S-total
Gesamtbel.	61	52	47	48	29	47			5		●	gering	IAP18
Schwermetall-Belastungs-Index										41	●	mittel	SMI

### Luftimmission:

Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )	LRV IGW	Feinstaub (PM10)	LRV IGW	Ozon (O <sub>3</sub> )	LRV IGW
Jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	30	Jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	20	Jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	-
max. Tagesmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	-	max. Tagesmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	-	Anz. Stundenmittel > 120 µg/m <sup>3</sup>	1
Anzahl Tage > 80 µg/m <sup>3</sup>	1	Anzahl Tage > 50 µg/m <sup>3</sup>	1	max. Stundenmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	-

### Verkehrsmenge: Eptingen-Nord (A2), ASTRA-Zählstelle 033

DTV Total	Personen-wagen (K3)	Güterverkehr (K1,4,6,7)	Schwererkehr (K5,6,7)	%-Anteil PW-Verkehr (K3)	%-Anteil Güterverkehr (K1,4,6,7)	%-Anteil Schwererkehr (K5,6,7)	%-Anteil Busse, Cars (K1)	%-Anteil Motorrad (K2)	Messdauer Sept 03-Aug 04
44966	33945	10491	5498	75	23	12	0.9	1.2	JM

### Toxikologie der PAKs

m: gesichert mutagen  
m?: vermutlich mutagen  
k: gesichert kanzerogen  
k?: vermutlich kanzerogen  
Quelle: WHO, 1998, 2003. Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution.

Organische: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe									
PNr.	312	314	315		Statistische Werte				
PAK-Substanzen, Tox.	µg/kg	µg/kg	µg/kg		Mean	SD	Median	N	Kürzel
Naphthalin K?	29	15	35		26	10	29	3	Napt
Acenaphthylen m?	15	7	12		12	4	12	3	Aceny
Acenaphthen m?	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Acene
Fluoren -	22	18	10		16	6	18	3	Fluo
Phenanthren m?,k	186	163	168		172	12	168	3	Phe
Anthracen -	58	33	51		47	13	51	3	Antrc
3.6-Dimethylphenanthren	n.n	23	n.n		23	.	23	1	36Dip
Fluoranthen k?,m	261	161	294		239	69	261	3	Fluoa
Pyren m?,k?	212	155	225		197	37	212	3	Pyr
Benzo(b)fluoren m?,k?	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Bzbfl
Benzo(c)phenanthren km	23	12	16		17	5	16	3	Bzcp
Benz(a)anthracen k,m	44	30	65		46	18	44	3	Bzaant
Chrysen k,m	128	77	131		112	31	128	3	Chry
Benzo(b)fluoranthen k,m	346	183	99		209	125	183	3	Bzbfla
Benzo(k)fluoranthen k,m	255	94	66		139	102	94	3	Bekfla
Benzo(b,k)fluoranthen k,m	601	277	166		348	226	277	3	Bzbkfla
Benzo(b)naphtho-(1,2-d)thiophen	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Bz12t
Benzo(e)pyren k?,m	163	242	64		156	89	163	3	BeP
Benzo(a)pyren k,m	244	127	71		147	88	127	3	BaP
Perylen m	129	697	224		350	304	224	3	Pery
Dibenz(a,i)anthracen ?	14	10	18		14	4	14	3	Dibajp
Indeno(123-c,d)pyren k	275	82	24		127	131	82	3	I123py
Dibenz(a,h)anthracen k,m	65	12	11		29	31	12	3	Diaha
Benzo(g,h,i)perylene m	89	58	81		76	16	81	3	Bghip
Anthanthren -	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Anta
Dibenz(a,l)pyren k,m?	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Dibalp
Coronen k?,m	108	42	123		91	43	108	3	Cor
Dibenz(a,h)pyren k,m	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Dibahp
PAK Summe 27	2666	2241	1789		2232	439	2241	3	PAK27
PAK Summe 20	2630	2196	1755		2194	437	2196	3	PAK20
Σ 14 mutagener PAKs m	1856	1735	1245		1612	324	1735	3	PAK14
Σ 12 kanzerogener PAKs k	1565	779	651		998	495	779	3	PAK12
Σ 9 mut. & kanz.PAKs m,k	1105	534	459		699	353	534	3	PAK9



## Standort Nr. 4a: Härkingen - Profil Nahbereich

Kontinuierliche Luft-Messstation des NABEL-Messnetzes mit Verkehrsmessstelle in Gunzgen in Nähe.

**Nähere Umgebung:** Landwirtschaftsgebiet ausserhalb des Dorfes Härkingen an hochfrequenter A1/2-Autobahn (DTV 65'795 Fahrzeuge/d; Gunzgen) und teilweise beeinflusst von einem in der Nähe gelegenen Industrie- und Gewerbegebiet.

**Standortcharakteristik:** Mfz-Verkehr, ausserhalb von Städten.

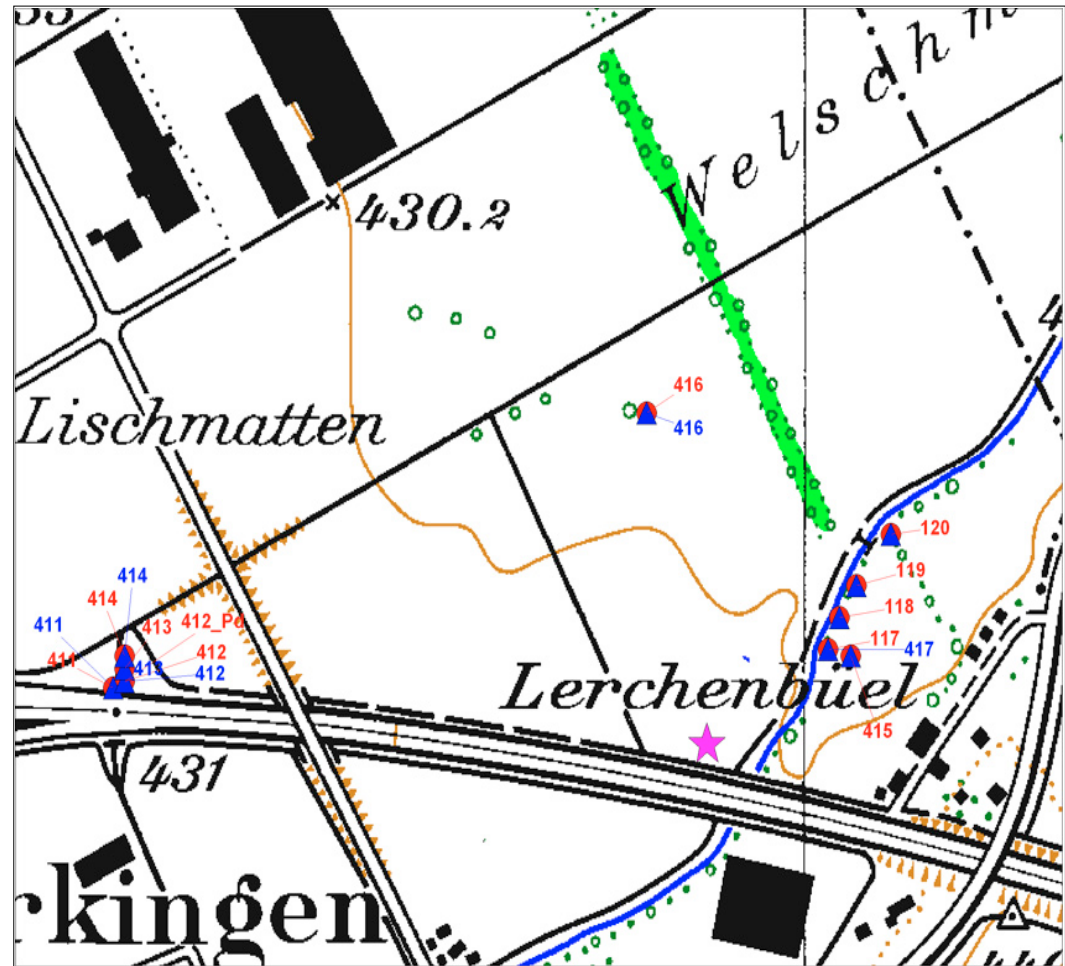
**Besonderheiten:** meist kritisch hohe Belastungswerte für fast alle Schwermetalle, besonders der Verkehrstracer Pt, Sb, As, V, Ni, Co, Cr; SMI kritisch hoch. Sehr hohe Belastung auch für die meisten Polyaromate, inkl. der mutagenen und kanzerogenen PAKs sowie der PAK-Summenwerte.

### Biomonitoring Kenngrössen

Schwermetalle	mg/kg	Prädikat	Polyaromate PAKs	µg/kg
Schwermetall-Belastungsindex	62	kritisch hoch	PAK-Summe 27	9883
Antimon	6.3		Summe mutagener PAKs m	4854
Molybdän	5.3		Summe kanzerogener PAKs k	5210
Vanadium	5.2		Summe mut./kanz. PAKs m, k	1592
Platin	0.0074		Benzo(b,k)fluoranthen k,m	633
Cer	3.15		Benzo(a)pyren k,m	219
<b>Luftgesamtbelastung (IAP18)</b>	nd		Indeno(1,2,3-cd)pyren k	2826



## MfM-U Biomonitoring - Ersterfassung 2003



- Legende:
- anorganische Probenahme mit Probenummer
  - ▲ organische Probenahme mit Probenummer
  - ★ technische Immissionsmessung
  - ▼ Verkehrsmessung

Standort Nr. 4a: Härkingen NABEL A1/A2 - Profilmessung Nahbereich

# Standort Nr. 4a: Härkingen - Profilmessung Nahbereich

Kategorie 4: Verkehr, a. Siedlungen

	Anorganische Luftschadstoffe: Schwermetalle									Belastungssituation			
PNr.	411	412	413	414	415	Statistische Werte				Klas-se	Pikto-gramm	Belastungs-Prädikat	Kürzel
Elemente	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	Mean	SD	Median	N	1-6			
Blei	104.4	60.9	55.7	48.4	103.3	74.5	27.1	60.9	5	4	●	hoch	Pb
Cadmium	0.53	0.28	0.26	0.27	0.27	0.32	0.12	0.27	5	3	●	mittel	Cd
Kupfer	105.3	80.0	54.3	48.5	32.6	64.1	28.6	54.3	5	6	●	kritisch hoch	Cu
Zink	394	334	201	197	133	252	108	201	5	6	●	kritisch hoch	Zn
Eisen	6740	3736	3458	2732	1345	3602	1983	3458	5	6	●	kritisch hoch	Fe
Molybdän	8.3	6.2	5.0	4.9	2.0	5.3	2.3	5.0	5	6	●	kritisch hoch	Mo
Chrom	40.5	31.1	26.8	25.8	10.3	26.9	10.9	26.8	5	6	●	kritisch hoch	Cr
Cobalt	1.94	1.14	1.12	0.90	0.76	1.17	0.46	1.12	5	5	●	sehr hoch	Co
Nickel	19.3	15.4	14.6	14.0	6.4	13.9	4.7	14.6	5	6	●	kritisch hoch	Ni
Vanadium	8.7	5.2	5.4	4.4	2.5	5.2	2.2	5.2	5	2	●	gering	V
Arsen	1.66	1.12	1.14	0.92	0.51	1.07	0.42	1.12	5	3	●	mittel	As
Zinn	3.55	2.13	1.75	1.34	0.53	1.86	1.12	1.75	5	3	●	mittel	Sn
Antimon	11.7	7.4	6.1	4.8	1.8	6.3	3.7	6.1	5	6	●	kritisch hoch	Sb
Platin	0.008	0.016	0.006	0.003	0.003	0.007	0.005	0.006	5	6	●	kritisch hoch	Pt
Palladium	0.059	0.035	0.031	0.028	0.014	0.033	0.02	0.031	5				Pd
Cer	5.63	3.24	3.11	2.65	1.14	3.15	1.62	3.11	5				Ce
Gesamt-schwefel	2803	2764	3094	2627	2164	2690	340	2764	5	5	●	sehr hoch	S-total
Gesamtbel.	.	.	.	.	.	.	.	.	0				IAP18
				Schwermetall-Belastungs-Index						62	●	kritisch hoch	SMI

## Luftimmission: Härkingen NABEL 2003

Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )	LRV IGW	Feinstaub (PM10)	LRV IGW	Ozon (O <sub>3</sub> )	LRV IGW
Jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	44	Jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	32	Jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	-
max. Tagesmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	-	max. Tagesmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	-	Anz. Stundenmittel > 120 µg/m <sup>3</sup>	405
Anzahl Tage > 80 µg/m <sup>3</sup>	1	Anzahl Tage > 50 µg/m <sup>3</sup>	1	max. Stundenmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	-

## Verkehrsmenge: Gunzgen A1 Astra Zählstelle 060

DTV Total	Personen-wagen (K3)	Güterverkehr (K1,4,6,7)	Schwererkehr (K5,6,7)	%-Anteil P/W-Verkehr (K3)	%-Anteil Güterverkehr (K1,4,6,7)	%-Anteil Schwererkehr (K5,6,7)	Busse, Cars (K1)	%-Anteil Motorrad (K2)	Messdauer jan.-Dez. 03
73440	57132	9272	5169	77.8	12.6	7.0			

## Toxikologie der PAKs

m: gesichert mutagen  
m?: vermutlich mutagen  
k: gesichert kanzerogen  
k?: vermutlich kanzerogen  
Quelle: WHO, 1998, 2003. Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution.

Organische: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe										
PNr.	412	413	415		Statistische Werte					
PAK-Substanzen, Tox.	µg/kg	µg/kg	µg/kg		Mean	SD	Median	N	Kürzel	
Naphthalin K?	52	93	33		59	31	52	3	Napt	
Acenaphthylen m?	38	41	20		33	11	38	3	Aceny	
Acenaphthen m?	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Acene	
Fluoren -	33	40	20		31	10	33	3	Fluo	
Phenanthren m?,k	750	702	339		597	225	702	3	Phe	
Anthracen -	111	94	107		104	9	107	3	Antrc	
3.6-Dimethylphenanthren	n.n	26	15		20	8	20	2	36Dip	
Fluoranthen k?,m	1233	1023	534		930	358	1023	3	Fluoa	
Pyren m?,k?	999	777	397		724	305	777	3	Pyr	
Benzo(b)fluoren m?,k?	53	39	20		37	17	39	3	Bzbfl	
Benzo(c)phenanthren km	79	62	32		58	24	62	3	Bzcpb	
Benz(a)anthracen k, m	295	203	100		199	98	203	3	Bzaant	
Chrysen k, m	603	467	225		432	191	467	3	Chry	
Benzo(b)fluoranthen k,m	476	544	255		425	151	476	3	Bzbfla	
Benzo(k)fluoranthen k,m	358	218	50		209	154	218	3	Bekfla	
Benzo(b,k)fluoranthen k,m	833	762	305		633	286	762	3	Bzbkfla	
Benzo(b)naphtho-(1,2-d)thiophen	21	14	n.n		17	5	17	2	Bz12t	
Benzo(e)pyren k?,m	351	281	86		239	137	281	3	BeP	
Benzo(a)pyren k,m	286	266	106		219	99	266	3	BaP	
Perylen m	99	184	35		106	75	99	3	Pery	
Dibenz(a,i)anthracen ?	712	218	30		320	352	218	3	Dibajp	
Indeno(123-c,d)pyren k	6874	1431	173		2826	3562	1431	3	I123py	
Dibenz(a,h)athracen k,m	102	29	20		50	45	29	3	Diaha	
Benzo(g,h,i)perylen m	2700	2536	112		1783	1449	2536	3	Bghip	
Anthanthren -	151	80	n.n		116	51	116	2	Anta	
Dibenz(a,l)pyren k,m?	126	377	83		195	159	126	3	Dibalp	
Coronen k?,m	53	374	187		204	161	187	3	Cor	
Dibenz(a,h)pyren k,m	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Dibahp	
PAK Summe 27	16554	10119	2976		9883	6792	10119	3	PAK27	
PAK Summe 20	15563	9384	2798		9248	6384	9384	3	PAK20	
Σ 14 mutagener PAKs m	6633	6188	1742		4854	2705	6188	3	PAK14	
Σ 12 kanzerogener PAKs k	9949	4300	1382		5210	4355	4300	3	PAK12	
Σ 9 mut. & kanz.PAKs m,k	2198	1790	788		1592	726	1790	3	PAK9	

**Standort Nr. 4b: Härkingen - Profil Fernbereich**

Kontinuierliche Luft-Messstation des NABEL-Messnetzes mit Verkehrsmessstelle in Gunzgen in Nähe.

**Nähere Umgebung:** Landwirtschaftsgebiet ausserhalb des Dorfes Härkingen an hochfrequentierter A1/2-Autobahn (DTV 65'795 Fahrzeuge/d; Gunzgen) und teilweise beeinflusst von einem in der Nähe gelegenen Industrie- und Gewerbegebiet.

**Standortcharakteristik:** Mfz-Verkehr, ausserhalb von Städten.

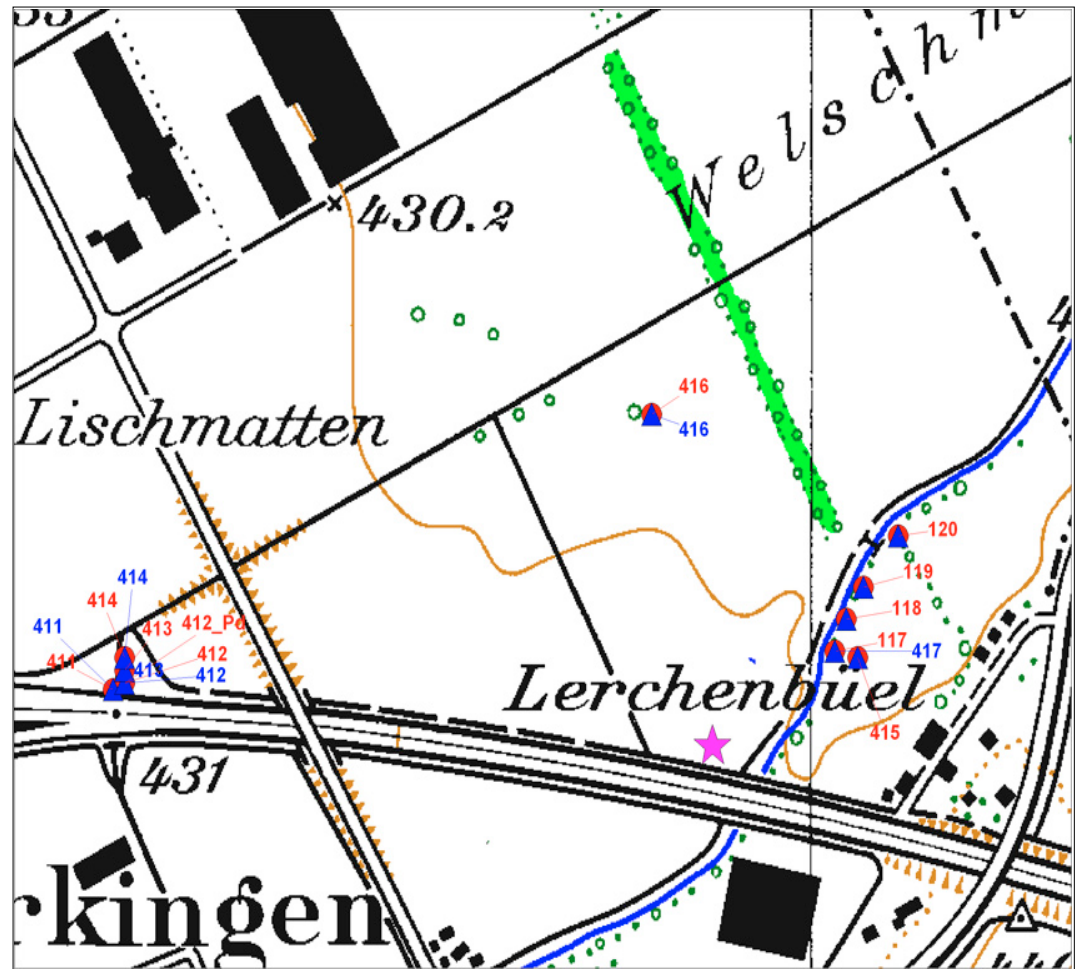
**Besonderheiten:** hohe bis kritisch hohe Belastungswerte die Schwermetalle und Verkehrstracer Pt, Cr, Pb, Mo, Ni, Zn; SMI hoch. Mittlere Belastungswerte für mehrere Polyaromate, inkl. der mutagenen und kanzerogenen PAKs sowie der PAKs-Summenwerte.

**Biomonitoring Kenngrössen**

Schwermetalle	mg/kg	Prädikat	Polyaromate PAKs	µg/kg
Schwermetall-Belastungsindex	45	hoch	PAK-Summe 27	969
Antimon	1.3		Summe mutagener PAKs m	453
Molybdän	1.3		Summe kanzerogener PAKs k	418
Vanadium	3.1		Summe mut./kanz. PAKs m, k	181
Platin	0.0008		Benzo(b,k)fluoranthen k,m	76
Cer	1.18		Benzo(a)pyren k,m	15
Luftgesamtbelastung (IAP18)	nd		Indeno(1,2,3-cd)pyren k	37



**MfM-U Biomonitoring - Ersterfassung 2003**



- Legende:
- anorganische Probenahme mit Probenummer
  - ▲ organische Probenahme mit Probenummer
  - ★ technische Immissionsmessung
  - ▼ Verkehrsmessung

**Standort Nr. 4b: Härkingen NABEL A1/A2 - Profilmessung Fernbereich**



# Standort Nr. 4b: Härkingen - Profilmessung Fernbereich

Kategorie 4: Verkehr, a. Siedlungen

Anorganische Luftschadstoffe: Schwermetalle										Belastungssituation			
PNr.	417	418	419	420	Statistische Werte				Klas-se	Pikto-gramm	Belastungs-Prädikat	Kürzel	
Elemente	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	Mean	SD	Median	N	1-6				
Blei	166.5	63.7	64.9	74.2	92.3	49.7	69.5	4	5	●	sehr hoch	Pb	
Cadmium	0.39	0.23	0.27	0.30	0.30	0.07	0.29	4	2	●	gering	Cd	
Kupfer	33.5	22.5	14.3	15.9	21.5	8.7	19.2	4	3	●	mittel	Cu	
Zink	159	95	93	99	112	31	97	4	4	●	hoch	Zn	
Eisen	2432	1053	660	780	1231	817	916	4	3	●	mittel	Fe	
Molybdän	2.29	1.20	0.86	0.88	1.31	0.67	1.04	4	5	●	sehr hoch	Mo	
Chrom	15.3	7.2	5.7	6.3	8.6	4.5	6.8	4	6	●	kritisch hoch	Cr	
Cobalt	1.00	0.42	0.41	0.39	0.56	0.30	0.42	4	3	●	mittel	Co	
Nickel	8.7	4.1	3.0	3.1	4.7	2.7	3.6	4	4	●	hoch	Ni	
Vanadium	5.6	2.6	1.9	2.3	3.1	1.7	2.5	4	1	●	sehr gering	V	
Arsen	0.88	0.47	0.41	0.40	0.54	0.23	0.44	4	1	●	sehr gering	As	
Zinn	0.99	0.46	0.27	0.32	0.51	0.33	0.39	4	2	●	gering	Sn	
Antimon	2.44	1.11	0.82	1.00	1.34	0.74	1.06	4	6	●	kritisch hoch	Sb	
Platin	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	4	2	●	gering	Pt	
Palladium	0.019	0.017	0.012	0.018	0.016	0.003	0.017	4				Pd	
Cer	2.38	0.98	0.70	0.66	1.18	0.81	0.84	4				Ce	
Gesamt-schwefel	2295	2484	1786	2473	2260	327	2384	4	4	●	hoch	S-total	
Gesamtbel.	.	.	.	.	.	.	.	0				IAP18	
Schwermetall-Belastungs-Index									45	●	hoch	SMI	

## Luftimmission: Härkingen NABEL 2003

Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )	LRV IGW	Feinstaub (PM10)	LRV IGW	Ozon (O <sub>3</sub> )	LRV IGW
Jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	44	Jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	32	Jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	-
max. Tagesmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	-	max. Tagesmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	-	Anz. Stundenmittel > 120 µg/m <sup>3</sup>	405
Anzahl Tage > 80 µg/m <sup>3</sup>	1	Anzahl Tage > 50 µg/m <sup>3</sup>	1	max. Stundenmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	-

## Verkehrsmenge: Gunzgen A1 Astra Zählstelle 060

DTV Total	Personen-wagen (K3)	Güterverkehr (K1,4,6,7)	Schwererkehr (K5,6,7)	%-Anteil Pw-Verkehr (K3)	%-Anteil Güterverkehr (K1,4,6,7)	%-Anteil Schwererkehr (K5,6,7)	Busse, Cars (K1)	%-Anteil Motorrad (K2)	Messdauer jan.- Dez. 03
73440	57132	9272	5169	77.8	12.6	7.0			

## Toxikologie der PAKs

m: gesichert mutagen  
m?: vermutlich mutagen  
k: gesichert kanzerogen  
k?: vermutlich kanzerogen  
Quelle: WHO, 1998, 2003. Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution.

Organische: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe										Statistische Werte				Kürzel	
PAK-Substanzen, Tox.	PNr.	419	420							Mean	SD	Median	N		
Naphthalin	K?	.	14							14	.	14	1	Napt	
Acenaphthylen	m?	14	13							13	0	13	2	Aceny	
Acenaphthen	m?	n.n	n.n							n.n	.	.	0	Acene	
Fluoren	-	16	24							20	6	20	2	Fluo	
Phenanthren	m?,k	244	191							218	38	218	2	Phe	
Anthracen	-	78	46							62	22	62	2	Antrc	
3.6-Dimethylphenanthren		n.n	n.n							n.n	.	.	0	36Dip	
Fluoranthen	k?,m	271	191							231	57	231	2	Fluoa	
Pyren	m?,k?	206	125							166	57	166	2	Pyr	
Benzo(b)fluoren	m?,k?	12	.							12	.	12	1	Bzbfl	
Benzo(c)phenanthren	km	.	9							9	.	9	1	Bzcp	
Benz(a)anthracen	k,m	35	19							27	11	27	2	Bzaant	
Chrysen	k,m	73	60							66	9	66	2	Chry	
Benzo(b)fluoranthen	k,m	65	33							49	23	49	2	Bzbfla	
Benzo(k)fluoranthen	k,m	32	24							28	6	28	2	Bekfla	
Benzo(b,k)fluoranthen	k,m	96	56							76	28	76	2	Bzbkfla	
Benzo(b)naphtho-(1,2-d)thiophen		n.n	n.n							n.n	.	.	0	Bz12t	
Benzo(e)pyren	k?,m	12	20							16	6	16	2	BeP	
Benzo(a)pyren	k,m	.	15							15	.	15	1	BaP	
Perylen	m	n.n	n.n							n.n	.	.	0	Pery	
Dibenz(a,i)anthracen	?	.	10							10	.	10	1	Dibajp	
Indeno(123-c,d)pyren	k	.	37							37	.	37	1	I123py	
Dibenz(a,h)anthracen	k,m	n.n	n.n							n.n	.	.	0	Diaha	
Benzo(g,h,i)perylene	m	25	25							25	1	25	2	Bghip	
Anthanthren	-	n.n	n.n							n.n	.	.	0	Anta	
Dibenz(a,l)pyren	k,m?	n.n	n.n							n.n	.	.	0	Dibalp	
Coronen	k?,m	n.n	n.n							n.n	.	.	0	Cor	
Dibenz(a,h)pyren	k,m	n.n	n.n							n.n	.	.	0	Dibahp	
PAK Summe 27		1083	855							969	161	969	2	PAK27	
PAK Summe 20		1071	837							954	166	954	2	PAK20	
Σ 14 mutagener PAKs	m	513	394							453	84	453	2	PAK14	
Σ 12 kanzerogener PAKs	k	449	387							418	44	418	2	PAK12	
Σ 9 mut. & kanz.PAKs	m,k	204	158							181	32	181	2	PAK9	

## Standort Nr. 5a: Reiden - Profilmessung Mittel-Fernbereich mit *Parmelia sulcata*

Kontinuierliche Luft- und Verkehrsmessung des Mfm-Messnetzes.

**Nähere Umgebung:** Landwirtschaftsgebiet an hochfrequentierter A2-Transit-Autobahn (DTV<sub>03</sub> 43119). Profilmessung quer zum N2-Trasse.

**Standortcharakteristik:** Mfz-Verkehr, ausserhalb von Städten.

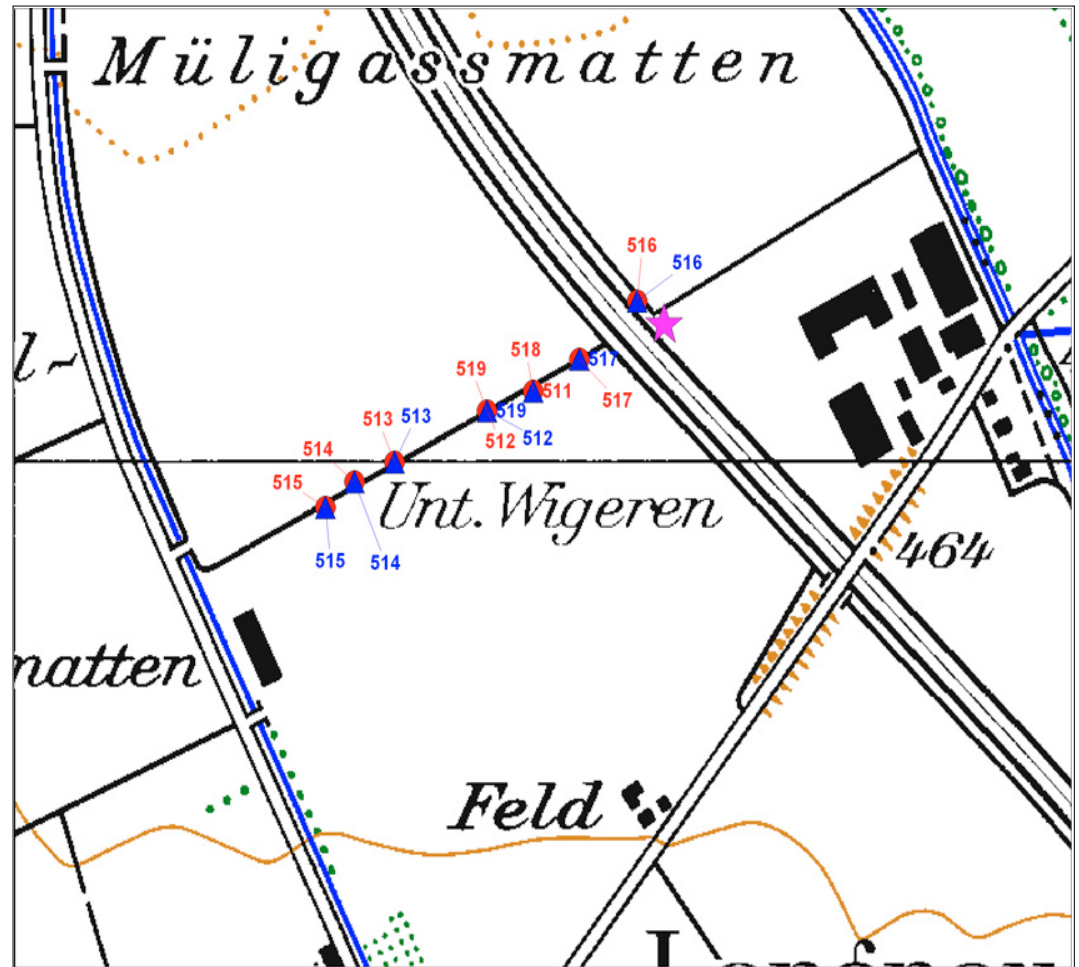
**Besonderheiten:** kritisch hohe und hohe Belastungswerte für die Schwermetalle und Verkehrstracer Mo, Cr, Ni sowie Sb. SMI mittel. Mittlere Belastung auch für die mehrere Polyaromate, inkl. der mutagenen und kanzerogenen PAKs sowie der PAK-Summenwerte. Bei beiden Stoffgruppen zeigt sich eine deutliche Distanzabhängigkeit zur A2-Linienquelle, besonders im Nahbereich.

### Biomonitoring Kenngrössen

Schwermetalle	mg/kg	Prädikat	Polyaromate PAKs	µg/kg
Schwermetall-Belastungsindex	41	mittel	PAK-Summe 27	811
Antimon	0.6		Summe mutagener PAKs m	340
Molybdän	2.1		Summe kanzerogener PAKs k	326
Vanadium	3.0		Summe mut./kanz. PAKs m, k	100
Platin	0.0006		Benzo(b,k)fluoranthen k,m	42
Cer	1.33		Benzo(a)pyren k,m	<5
<b>Luftgesamtbelastung (IAP18)</b>	<b>39</b>	<b>mittel</b>	Indeno(1,2,3-cd)pyren k	106



## MfM-U Biomonitoring - Ersterfassung 2003



- Legende:
- anorganische Probenahme mit Probennummer
  - ▲ organische Probenahme mit Probennummer
  - ★ technische Immissionsmessung
  - ▼ Verkehrsmessung

# Standort Nr. 5a: Reiden-Profilmessung - mittel-fern *P. sulcata* Kategorie 4: Verkehr, a. Siedlungen

	Anorganische Luftschadstoffe: Schwermetalle									Belastungssituation			
PNr.	511	512	513	514	515	Statistische Werte				Klas-se	Pikto-gramm	Belastungs-Prädikat	Kürzel
Elemente	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	Mean	SD	Median	N	1-6			
Blei	17.7	8.7	10.8	13.0	8.6	11.7	3.8	10.8	5	1	.	sehr gering	Pb
Cadmium	0.26	0.15	0.35	0.19	0.20	0.23	0.08	0.20	5	2	●	gering	Cd
Kupfer	22.0	13.1	13.3	14.4	14.8	15.5	3.7	14.4	5	3	●	mittel	Cu
Zink	132	66	78	84	74	87	26	78	5	3	●	mittel	Zn
Eisen	1592	1002	1298	1220	1223	1267	213	1223	5	3	●	mittel	Fe
Molybdän	2.34	2.06	2.17	1.73	2.21	2.10	0.23	2.17	5	6	●	kritisch hoch	Mo
Chrom	15.5	9.8	12.2	9.5	15.0	12.4	2.8	12.2	5	6	●	kritisch hoch	Cr
Cobalt	0.62	0.40	0.56	0.49	0.55	0.52	0.08	0.55	5	3	●	mittel	Co
Nickel	6.8	5.9	7.6	5.5	8.6	6.9	1.3	6.8	5	6	●	kritisch hoch	Ni
Vanadium	3.5	2.2	3.2	2.9	2.9	3.0	0.5	2.9	5	1	.	sehr gering	V
Arsen	0.64	0.45	0.56	0.51	0.45	0.52	0.08	0.51	5	1	.	sehr gering	As
Zinn	0.42	0.28	0.27	0.30	0.23	0.30	0.07	0.28	5	2	●	gering	Sn
Antimon	1.08	0.54	0.58	0.59	0.43	0.64	0.25	0.58	5	4	●	hoch	Sb
Platin	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	5	2	●	gering	Pt
Palladium	0.025	0.014	0.016	0.012	0.008	0.015	0.01	0.014	5				Pd
Cer	1.58	0.98	1.42	1.38	1.27	1.33	0.22	1.38	5				Ce
Gesamt-schwefel	2780	2275	2632	2580	2545	2563	184	2580	5	5	●	sehr hoch	S-total
Gesamtbel.	26	40	48	37		38			4		●	mittel	IAP18
				Schwermetall-Belastungs-Index						41	●	mittel	SMI

## Luftimmission:

Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )		LRV IGW	Feinstaub (PM10)		LRV IGW	Ozon (O <sub>3</sub> )		LRV IGW		
Jahresmittel	[µg/m³]	35	30	Jahresmittel	[µg/m³]	29	20	Jahresmittel	[µg/m³]	-
max. Tagesmittel	[µg/m³]	92	-	max. Tagesmittel	[µg/m³]	132	-	Anz. Stundenmittel > 120 µg/m³	134	1
Anzahl Tage > 80 µg/m³	6	1	Anzahl Tage > 50 µg/m³	39	1	max. Stundenmittel	[µg/m³]	164	-	

## Verkehrsmenge: Reiden-Süd (A2), ASTRA-Zählstelle 239

DTV Total	Personen-wagen (K3)	Güterverkehr (K1,4,6,7)	Schwerverkehr (K5,6,7)	%-Anteil PW-Verkehr (K3)	%-Anteil Güterverkehr (K1,4,6,7)	%-Anteil Schwerverkehr (K5,6,7)	%-Anteil Busse, Cars (K1)	%-Anteil Motorrad (K2)	Messdauer Sept 03-Aug 04
43119	32385	10128	5108	75	23	12	0.5	1.4	JM

## Toxikologie der PAKs

m: gesichert mutagen  
m?: vermutlich mutagen  
k: gesichert kanzerogen  
k?: vermutlich kanzerogen  
Quelle: WHO, 1998, 2003. Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution.

Organische: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe										
PNr.		512				Statistische Werte				
PAK-Substanzen, Tox.		µg/kg				Mean	SD	Median	N	Kürzel
Naphthalin	K?	28				28	.	28	1	Napt
Acenaphthylen	m?	n.n				n.n	.	.	0	Aceny
Acenaphthen	m?	n.n				n.n	.	.	0	Acene
Fluoren	-	3				3	.	3	1	Fluo
Phenanthren	m?,k	66				66	.	66	1	Phe
Anthracen	-	n.n				n.n	.	.	0	Antrc
3.6-Dimethylphenanthren		n.n				n.n	.	.	0	36Dip
Fluoranthren	k?,m	125				125	.	125	1	Fluoa
Pyren	m?,k?	86				86	.	86	1	Pyr
Benzo(b)fluoren	m?,k?	n.n				n.n	.	.	0	Bzbfl
Benzo(c)phenanthren	km	n.n				n.n	.	.	0	Bzcp
Benz(a)anthracen	k,m	12				12	.	12	1	Bzaant
Chrysen	k,m	46				46	.	46	1	Chry
Benzo(b)fluoranthren	k,m	20				20	.	20	1	Bzbfla
Benzo(k)fluoranthren	k,m	22				22	.	22	1	Bekfla
Benzo(b,k)fluoranthren	k,m	42				42	.	42	1	Bzbkfla
Benzo(b)naphtho-(1,2-d)thiophen		n.n				n.n	.	.	0	Bz12t
Benzo(e)pyren	k?,m	5				5	.	5	1	BeP
Benzo(a)pyren	k,m	n.n				n.n	.	.	0	BaP
Perylen	m	39				39	.	39	1	Pery
Dibenz(a,j)anthracen	?	129				129	.	129	1	Dibajp
Indeno(123-c,d)pyren	k	106				106	.	106	1	I123py
Dibenz(a,h)athracen	k,m	n.n				n.n	.	.	0	Diaha
Benzo(g,h,i)perylen	m	71				71	.	71	1	Bghip
Anthanthren	-	n.n				n.n	.	.	0	Anta
Dibenz(a,l)pyren	k,m?	54				54	.	54	1	Dibalp
Coronen	k?,m	n.n				n.n	.	.	0	Cor
Dibenz(a,h)pyren	k,m	n.n				n.n	.	.	0	Dibahp
PAK Summe 27		811				811	.	811	1	PAK27
PAK Summe 20		629				629	.	629	1	PAK20
Σ 14 mutagener PAKs	m	340				340	.	340	1	PAK14
Σ 12 kanzerogener PAKs	k	326				326	.	326	1	PAK12
Σ 9 mut. & kanz.PAKs	m,k	100				100	.	100	1	PAK9

## Standort Nr. 5b: Reiden - Profilmessung Nahbereich mit *Xanthoria parietina*

Kontinuierliche Luft- und Verkehrsmessung des Mfm-Messnetzes.

**Nähere Umgebung:** Landwirtschaftsgebiet an hochfrequentierter A2-Transit-Autobahn (DTV<sub>03</sub> 43'119). Profilmessung quer zum A2-Trassee.

**Standortcharakteristik:** Mfz-Verkehr, ausserhalb von Städten.

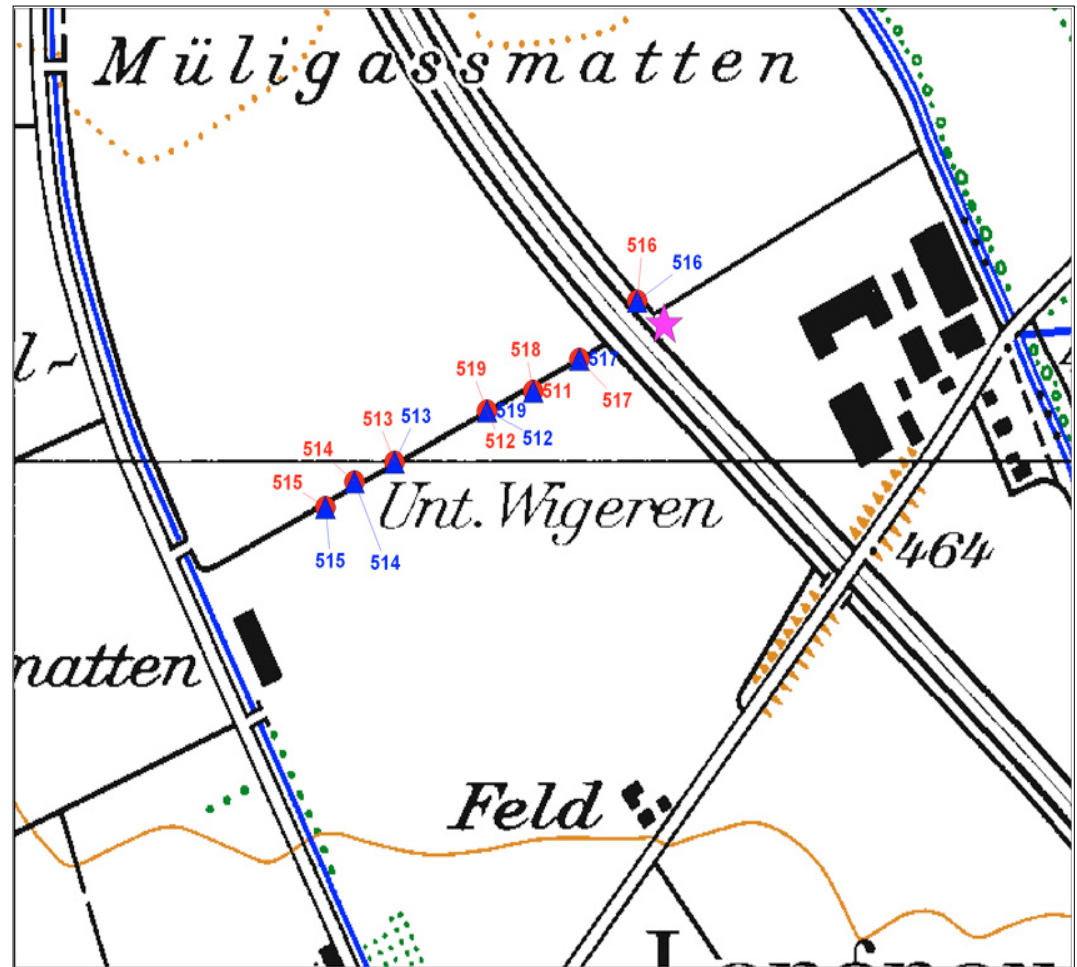
**Besonderheiten:** kritisch hohe und hohe Belastungswerte für die Schwermetalle, und Verkehrstracer Mo, Cr, Ni sowie Sb. SMI mittel. Mittlere Belastung auch für die mehrere Polyaromate, inkl. der mutagenen und kanzerogenen PAKs sowie der PAK-Summenwerte. Bei beiden Stoffgruppen zeigt sich eine deutliche Distanzabhängigkeit zur A2-Linienquelle, besonders im Nahbereich.

### Biomonitoring Kenngrössen

Schwermetalle	mg/kg	Prädikat	Polyaromate PAKs	µg/kg
Schwermetall-Belastungsindex	44	hoch	PAK-Summe 27	1547
Antimon	1.9		Summe mutagener PAKs m	978
Molybdän	3.9		Summe kanzerogener PAKs k	605
Vanadium	2.7		Summe mut./kanz. PAKs m, k	341
Platin	0.0017		Benzo(b,k)fluoranthen k,m	133
Cer	1.39		Benzo(a)pyren k,m	42
<b>Luftgesamtbelastung (IAP18)</b>	<b>38</b>	<b>mittel</b>	Indeno(1,2,3-cd)pyren k	108



## MfM-U Biomonitoring - Ersterfassung 2003



- Legende:
- anorganische Probenahme mit Probenummer
  - ▲ organische Probenahme mit Probenummer
  - ★ technische Immissionsmessung
  - ▼ Verkehrsmessung

**Standort Nr. 5b: Reiden A2 und MfM-U-Messstandort - Profilmessung Nahbereich**

# Standort Nr. 5b: Reiden - Profil-Nahbereich mit *Xanthoria parietina*

Kategorie 4: Verkehr, a. Siedlungen

Anorganische Luftschadstoffe: Schwermetalle										Belastungssituation			
PNr.	516	517	518	519	Statistische Werte				Klas-se	Pikto-gramm	Belastungs-Prädikat	Kürzel	
Elemente	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	Mean	SD	Median	N	1-6				
Blei	11.4	5.6	6.8	3.2	6.7	3.4	6.2	4	1	.	sehr gering	Pb	
Cadmium	0.15	0.16	0.17	0.07	0.14	0.04	0.15	4	1	.	sehr gering	Cd	
Kupfer	29.0	10.9	14.8	7.2	15.5	9.5	12.9	4	3	●	mittel	Cu	
Zink	248	53	64	33	100	100	58	4	3	●	mittel	Zn	
Eisen	2550	1451	1928	750	1670	761	1689	4	5	●	sehr hoch	Fe	
Molybdän	4.5	3.1	5.6	2.3	3.9	1.5	3.8	4	6	●	kritisch hoch	Mo	
Chrom	21.3	16.6	42.4	9.7	22.5	14.1	18.9	4	6	●	kritisch hoch	Cr	
Cobalt	0.74	0.49	0.72	0.29	0.56	0.21	0.60	4	3	●	mittel	Co	
Nickel	10.5	9.2	17.5	6.4	10.9	4.7	9.8	4	6	●	kritisch hoch	Ni	
Vanadium	3.5	2.5	3.4	1.3	2.7	1.0	2.9	4	1	.	sehr gering	V	
Arsen	0.87	0.52	0.68	0.36	0.61	0.22	0.60	4	1	.	sehr gering	As	
Zinn	1.26	0.41	0.52	0.20	0.60	0.46	0.46	4	2	●	gering	Sn	
Antimon	4.8	1.1	1.3	0.5	1.9	2.0	1.18	4	6	●	kritisch hoch	Sb	
Platin	0.004	0.001	0.002	0.000	0.002	0.001	0.002	4	3	●	mittel	Pt	
Palladium	0.02	0.01	0.016	0.011	0.014	0.00	0.014	4				Pd	
Cer	2.08	1.26	1.61	0.63	1.39	0.61	1.43	4				Ce	
Gesamt-schwefel	4435	4140	4114	2801	3873	729	4127	4	6	●	kritisch hoch	S-total	
Gesamtbel.	44	35	33	44	39			4		●	mittel	IAP18	
Schwermetall-Belastungs-Index									44	●	hoch	SMI	

Luftimmission:									
Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )			LRV IGW	Feinstaub (PM10)			LRV IGW	Ozon (O <sub>3</sub> )	
Jahresmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	35	30	Jahresmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	29	20	Jahresmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]
max. Tagesmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	92	-	max. Tagesmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	132	-	Anz. Stundenmittel > 120 µg/m <sup>3</sup>	134
Anzahl Tage > 80 µg/m <sup>3</sup>	6	1		Anzahl Tage > 50 µg/m <sup>3</sup>	39	1		max. Stundenmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]

Verkehrsmenge: Reiden-Süd (A2), ASTRA-Zählstelle 239									
DTV Total	Personen-wagen (K3)	Güterverkehr (K1,4,6,7)	Schwererkehr (K5,6,7)	%-Anteil P/W-Verkehr (K3)	%-Anteil Güterverkehr (K1,4,6,7)	%-Anteil Schwererkehr (K5,6,7)	Busse, Cars (K1)	%-Anteil Motorrad (K2)	Messdauer Sept 03-Aug 04
43119	32385	10128	5108	75	23	12	0.5	1.4	JM

## Toxikologie der PAKs

m: gesichert mutagen  
m?: vermutlich mutagen  
k: gesichert kanzerogen  
k?: vermutlich kanzerogen  
Quelle: WHO, 1998, 2003. Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution.

Organische: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe									
PNr.	516	517	518	519	Statistische Werte				Kürzel
PAK-Substanzen, Tox.	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	Mean	SD	Median	N	Kürzel
Naphthalin	K?	66	46	27	19	40	21	37	4 Napt
Acenaphthylen	m?	n.n	13	n.n	6	9	5	9	2 Aceny
Acenaphthen	m?	n.n	7	n.n	n.n	7	.	7	1 Acene
Fluoren	-	16	8	9	7	10	4	9	4 Fluo
Phenanthren	m?,k	288	164	132	119	176	77	148	4 Phe
Anthracen	-	n.n	n.n	28	26	27	1	27	2 Antrc
3.6-Dimethylphenanthren		n.n	n.n	16	n.n	16	.	16	1 36Dip
Fluoranthen	k?,m	435	204	228	106	243	138	216	4 Fluoa
Pyren	m?,k?	358	148	148	128	196	109	148	4 Pyr
Benzo(b)fluoren	m?,k?	n.n	n.n	n.n	128	128	.	128	1 Bzbfl
Benzo(c)phenanthren	km	29	11	14	4	15	11	13	4 Bzcp
Benz(a)anthracen	k,m	88	12	19	9	32	38	15	4 Bzaant
Chrysen	k,m	251	94	96	39	120	91	95	4 Chry
Benzo(b)fluoranthen	k,m	144	53	124	58	95	46	91	4 Bzbfla
Benzo(k)fluoranthen	k,m	81	29	27	15	38	29	28	4 Bekfla
Benzo(b,k)fluoranthen	k,m	225	82	152	73	133	71	117	4 Bzbkfla
Benzo(b)naphtho-(1,2-d)thiophen		7	n.n	4	n.n	6	2	6	2 Bz12t
Benzo(e)pyren	k?,m	117	27	37	85	67	42	61	4 BeP
Benzo(a)pyren	k,m	104	20	35	8	42	43	28	4 BaP
Perylen	m	n.n	56	72	55	61	9	56	3 Pery
Dibenz(a,i)anthracen	?	n.n	n.n	4	n.n	4	.	4	1 Dibajp
Indeno(123-c,d)pyren	k	236	74	13	n.n	108	115	74	3 I123py
Dibenz(a,h)anthracen	k,m	n.n	n.n	n.n	n.n	.	.	.	0 Diaha
Benzo(g,h,i)perylene	m	772	187	n.n	n.n	480	413	480	2 Bghip
Anthanthren	-	n.n	n.n	n.n	n.n	.	.	.	0 Anta
Dibenz(a,l)pyren	k,m?	n.n	n.n	n.n	27	27	NUM!	27	1 Dibalp
Coronen	k?,m	146	22	n.n	n.n	84	88	84	2 Cor
Dibenz(a,h)pyren	k,m	n.n	n.n	n.n	n.n	.	.	.	0 Dibahp
PAK Summe 27		3139	1175	1035	839	1547	1071	1105	4 PAK27
PAK Summe 20		3103	1163	996	680	1486	1097	1080	4 PAK20
Σ 14 mutagener PAKs	m	2167	716	652	378	978	806	684	4 PAK14
Σ 12 kanzerogener PAKs	k	1222	458	461	279	605	420	459	4 PAK12
Σ 9 mut. & kanz.PAKs	m,k	697	220	316	133	341	249	268	4 PAK9



## Standort Nr. 6: Erstfeld

Kontinuierliche Luft- und Verkehrsmessung des Mfm-Messnetzes.

**Nähere Umgebung:** Raststätte Erstfeld umgeben von Landwirtschaftsgebiet an hochfrequentierter A2-Transit-Autobahn (DTV<sub>03</sub> 21'792).

**Standortcharakteristik:** Mfz-Verkehr, ausserhalb von Städten.

**Besonderheiten:** meist sehr hohe bis kritisch hohe Belastungswerte für fast alle Schwermetalle, besonders der Verkehrstracer Pt, Sb, Ni, Co, Cr, Mo, Fe, Zn, Cu; SMI kritisch hoch.

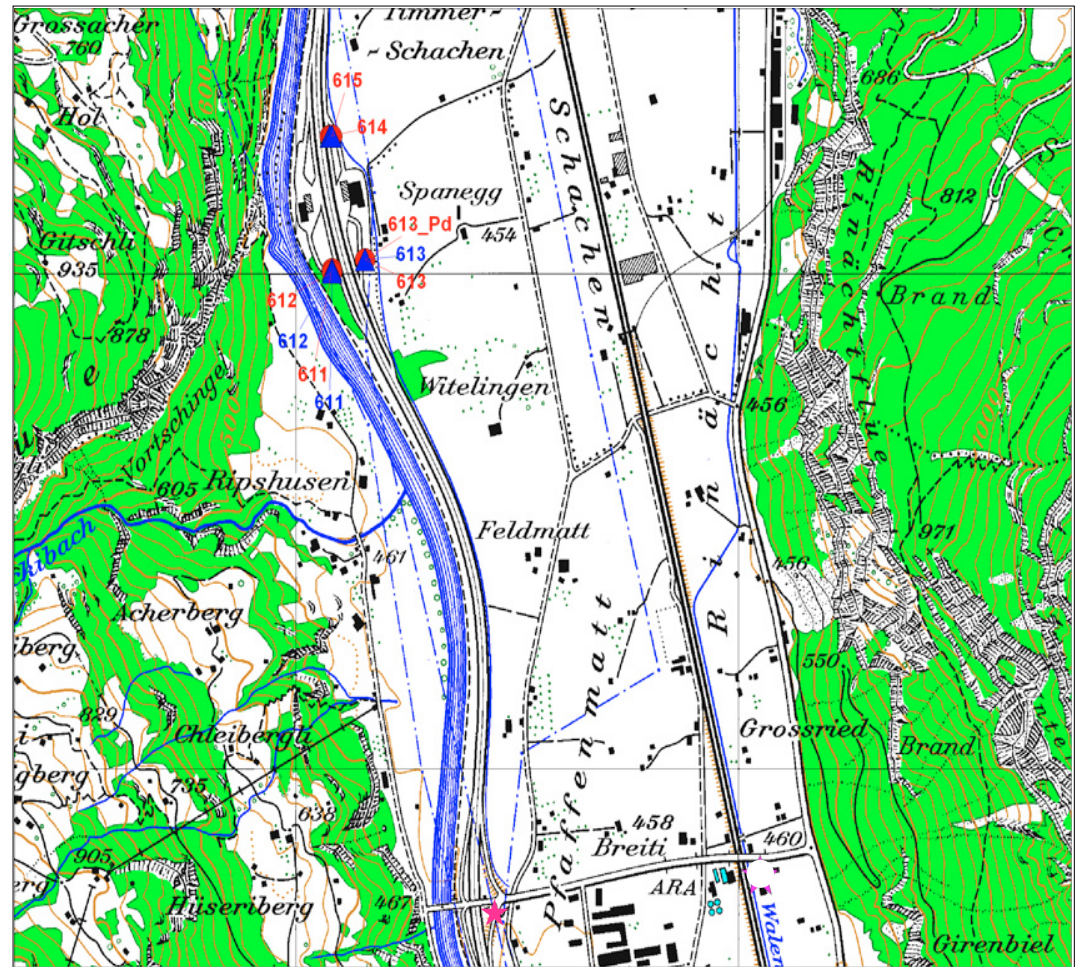
Mittlere-hohe Belastungswerte auch für mehrere Polyaromate, inkl. der mutagenen und kanzerogenen PAKs sowie der PAK-Summenwerte. Luftgesamtbelastung gering.

### Biomonitoring Kenngrössen

Schwermetalle	mg/kg	Prädikat	Polyaromate PAKs	µg/kg
Schwermetall-Belastungsindex	58	kritisch hoch	PAK-Summe 27	2762
Antimon	3.7		Summe mutagener PAKs m	1780
Molybdän	2.7		Summe kanzerogener PAKs k	1240
Vanadium	4.3		Summe mut./kanz. PAKs m, k	877
Platin	0.0033		Benzo(b,k)fluoranthen k,m	455
Cer	1.93		Benzo(a)pyren k,m	76
<b>Luftgesamtbelastung (IAP18)</b>	<b>47</b>	gering	Indeno(1,2,3-cd)pyren k	26



## MfM-U Biomonitoring - Ersterfassung 2003



- Legende:
- anorganische Probenahme mit Probenummer
  - ▲ organische Probenahme mit Probenummer
  - ★ technische Immissionsmessung
  - ▼ Verkehrsmessung

Standort Nr. 6: Erstfeld Raststätte A2 und MfM-U-Messstandort

## Standort Nr. 6: Erstfeld

## Kategorie 4: Verkehr, a. Siedlungen

Anorganische Luftschadstoffe: Schwermetalle										Belastungssituation			
PNr.	611	612	613	614	615	Statistische Werte				Klas-se	Pikto-gramm	Belastungs-Prädikat	Kürzel
Elemente	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	Mean	SD	Median	N	1-6			
Blei	42.3	51.7	29.7	34.2	48.7	41.3	9.3	42.3	5	3	●	mittel	Pb
Cadmium	0.39	0.39	0.30	0.33	0.33	0.35	0.04	0.33	5	3	●	mittel	Cd
Kupfer	41.3	33.4	22.6	35.4	44.9	35.5	8.5	35.4	5	5	●	sehr hoch	Cu
Zink	248	229	130	173	212	199	47	212	5	6	●	kritisch hoch	Zn
Eisen	3059	3035	1531	2423	4039	2817	923	3035	5	6	●	kritisch hoch	Fe
Molybdän	3.7	2.6	1.4	2.1	3.9	2.7	1.1	2.6	5	6	●	kritisch hoch	Mo
Chrom	17.5	15.2	7.9	10.1	21.2	14.4	5.4	15.2	5	6	●	kritisch hoch	Cr
Cobalt	0.99	1.00	0.48	0.62	1.20	0.86	0.29	0.99	5	4	●	hoch	Co
Nickel	9.1	7.7	3.9	4.6	11.6	7.4	3.2	7.7	5	6	●	kritisch hoch	Ni
Vanadium	4.3	4.6	2.8	3.7	5.9	4.3	1.2	4.3	5	2	●	gering	V
Arsen	0.87	0.96	0.61	0.87	1.15	0.89	0.20	0.87	5	3	●	mittel	As
Zinn	1.36	1.06	0.64	1.22	1.46	1.15	0.32	1.22	5	2	●	gering	Sn
Antimon	4.6	3.3	1.8	3.7	5.3	3.7	1.3	3.7	5	6	●	kritisch hoch	Sb
Platin	0.002	0.003	0.003	0.004	0.005	0.003	0.001	0.003	5	5	●	sehr hoch	Pt
Palladium	0.021	0.028	0.014	0.010	0.021	0.019	0.01	0.021	5				Pd
Cer	2.29	2.17	1.10	1.45	2.63	1.93	0.63	2.17	5				Ce
Gesamt-schwefel	2579	2621	2104	1749	2905	2392	460	2579	5	4	●	hoch	S-total
Gesamtbel.	54	49	39	33	59	47			5		●	gering	IAP18
Schwermetall-Belastungs-Index										58	●	kritisch hoch SMI	

Luftimmission:										
Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )			LRV IGW	Feinstaub (PM10)			LRV IGW	Ozon (O <sub>3</sub> )		LRV IGW
Jahresmittel	[µg/m³]	45	30	Jahresmittel	[µg/m³]	22	20	Jahresmittel	[µg/m³]	-
max .Tagesmittel	[µg/m³]	89	-	max .Tagesmittel	[µg/m³]	73	-	Anz. Stundenmittel > 120 µg/m³	134	1
Anzahl Tage > 80 µg/m³		6	1	Anzahl Tage > 50 µg/m³		8	1	max. Stundenmittel	[µg/m³]	164

Verkehrsmenge: Erstfeld-Nord (A2), ASTRA-Zählstelle 251									
DTV Total	Personen-wagen (K3)	Güterverkehr (K1,4,6,7)	Schwererkehr (K5,6,7)	%-Anteil Pkw-Verkehr (K3)	%-Anteil Güterverkehr (K1,4,6,7)	%-Anteil Schwererkehr (K5,6,7)	Busse, Cars (K1)	%-Anteil Motorrad (K2)	Messdauer Okt 03-Aug 04
21792	16714	4713	2747	77	22	13	1.2	0.6	JM

### Toxikologie der PAKs

m: gesichert mutagen  
m?: vermutlich mutagen  
k: gesichert kanzerogen  
k?: vermutlich kanzerogen  
Quelle: WHO, 1998, 2003. Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution.

Organische: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe									
PNr.	612	613	614		Statistische Werte				
PAK-Substanzen, Tox.	µg/kg	µg/kg	µg/kg		Mean	SD	Median	N	Kürzel
Naphthalin	K?	78	53	77	69	14	77	3	Napt
Acenaphthylen	m?	28	20	27	25	4	27	3	Aceny
Acenaphthen	m?	n.n	n.n	n.n	n.n	.	.	0	Acene
Fluoren	-	18	20	25	21	4	20	3	Fluo
Phenanthren	m?,k	260	308	325	298	33	308	3	Phe
Anthracen	-	41	77	75	65	20	75	3	Antrc
3.6-Dimethylphenanthren		n.n	n.n	n.n	n.n	.	.	0	36Dip
Fluoranthen	k?,m	434	746	416	532	185	434	3	Fluoa
Pyren	m?,k?	317	531	326	391	121	326	3	Pyr
Benzo(b)fluoren	m?,k?	n.n	n.n	n.n	n.n	.	.	0	Bzbfl
Benzo(c)phenanthren	km	25	39	20	28	10	25	3	Bzcpb
Benz(a)anthracen	k,m	79	108	61	83	24	79	3	Bzaant
Chrysen	k,m	226	277	173	225	52	226	3	Chry
Benzo(b)fluoranthren	k,m	372	330	415	372	43	372	3	Bzbfla
Benzo(k)fluoranthren	k,m	77	124	47	83	39	77	3	Bekfla
Benzo(b,k)fluoranthren	k,m	449	454	462	455	7	454	3	Bzbkfla
Benzo(b)naphtho-(1,2-d)thiophen		n.n	7	n.n	7	.	7	1	Bz12t
Benzo(e)pyren	k?,m	90	169	64	108	55	90	3	BeP
Benzo(a)pyren	k,m	76	103	49	76	27	76	3	BaP
Perylen	m	29	73	n.n	51	31	51	2	Pery
Dibenz(a,i)anthracen	?	9	17	18	15	5	17	3	Dibajp
Indeno(123-c,d)pyren	k	8	43	26	26	18	26	3	I123py
Dibenz(a,h)anthracen	k,m	n.n	10	11	10	1	10	2	Diaha
Benzo(g,h,i)perylene	m	130	113	198	147	45	130	3	Bghip
Anthanthren	-	n.n	n.n	88	88	.	88	1	Anta
Dibenz(a,l)pyren	k,m?	n.n	63	59	61	3	61	2	Dibalp
Coronen	k?,m	90	66	90	82	14	90	3	Cor
Dibenz(a,h)pyren	k,m	n.n	6	n.n	6	.	6	1	Dibahp
PAK Summe 27		2389	3306	2590	2762	482	2590	3	PAK27
PAK Summe 20		2355	3173	2494	2674	438	2494	3	PAK20
Σ 14 mutagener PAKs	m	1629	2165	1545	1780	337	1629	3	PAK14
Σ 12 kanzerogener PAKs	k	1123	1412	1186	1240	152	1186	3	PAK12
Σ 9 mut. & kanz.PAKs	m,k	855	998	777	877	112	855	3	PAK9



## Standort Nr. 7a: Piotta - Profilmessung Nahbereich

Ohne technische Luft-Messstation. Verkehrsmessung in Lavorgo.

**Nähere Umgebung:** Hochgelegene transalpine Autobahn A2 mit DTV<sub>03</sub> 21'263 Fahrzeuge/d (Lavorgo) auf der Südseite des Gotthard-Passes auf 1000m Höhe in der Nähe des Dorfes Piotta (Ti).

**Standortcharakteristik:** Mfz-Verkehr, ausserhalb von Städten.

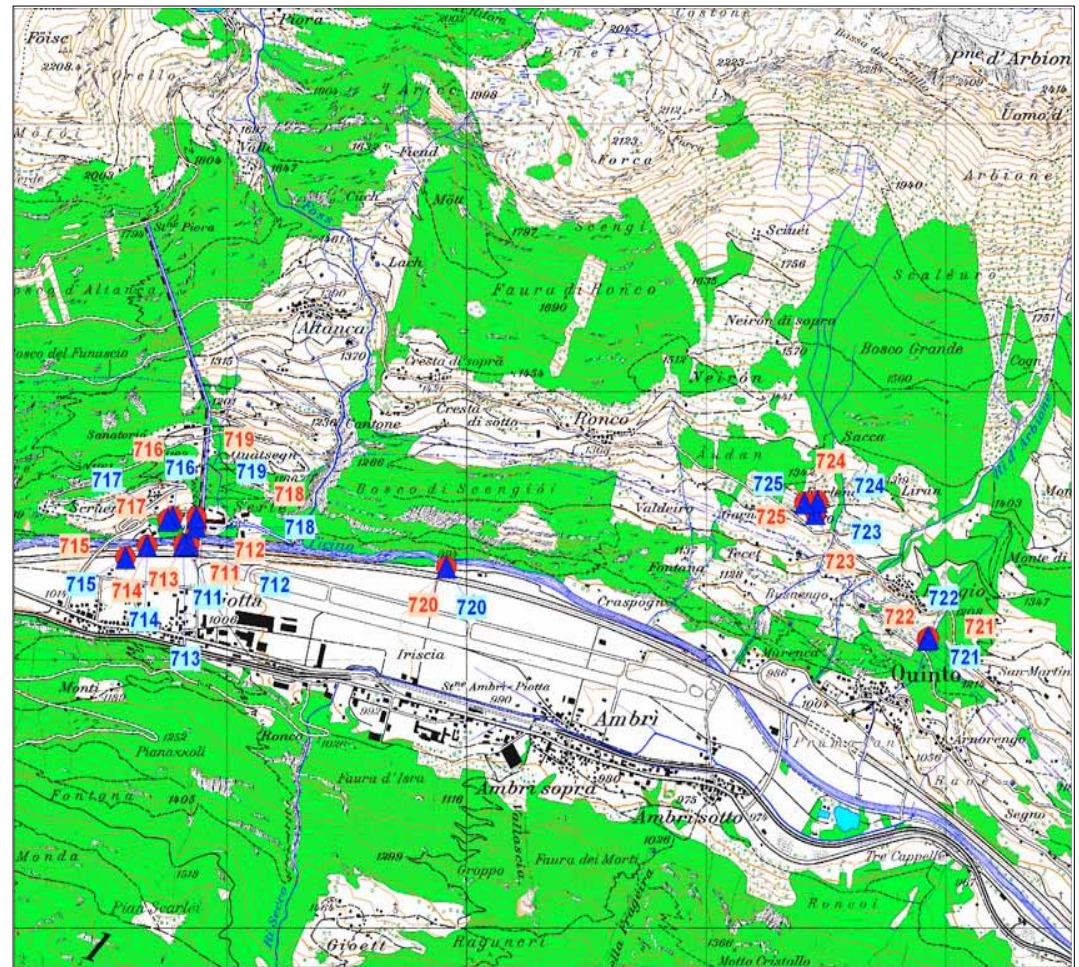
**Besonderheiten:** **Besonderheiten:** hohe bis kritisch hohe Belastungswerte für fast alle Schwermetalle, besonders der Verkehrstracer Sb, As, Ni, Co, Cr, Mo, Fe, Zn, Cu; SMI 59, kritisch hoch. Mittlere-hohe Belastungswerte auch für mehrere Polyaromate, inkl. der mutagenen und kanzerogenen PAKs sowie der PAK-Summenwerte. Luftgesamtbelastung mittel.

### Biomonitoring Kenngrössen

Schwermetalle	mg/kg	Prädikat	Polyaromate PAKs	µg/kg
Schwermetall-Belastungsindex	59	kritisch hoch	PAK-Summe 27	1720
Antimon	1.5		Summe mutagener PAKs m	845
Molybdän	2.0		Summe kanzerogener PAKs k	795
Vanadium	6.6		Summe mut./kanz. PAKs m, k	245
Platin	0.0013		Benzo(b,k)fluoranthen k,m	65
Cer	2.43		Benzo(a)pyren k,m	35
<b>Luftgesamtbelastung (IAP18)</b>	<b>41</b>	<b>mittel</b>	Indeno(1,2,3-cd)pyren k	206



## MfM-U Biomonitoring - Ersterfassung 2003



- Legende:
- anorganische Probenahme mit Probenummer
  - ▲ organische Probenahme mit Probenummer
  - ★ technische Immissionsmessung
  - ▼ Verkehrsmessung

Standort Nr. 7a: Piotta A2 - Profilmessung Nahbereich

# Standort Nr. 7a: Piotta - Profilmessung - Nahbereich

Kategorie 4: Verkehr, a. Siedlungen

	Anorganische Luftschadstoffe: Schwermetalle									Belastungssituation			
PNr.	711	712	713	714	715	Statistische Werte				Klas-se	Pikto-gramm	Belastungs-Prädikat	Kürzel
Elemente	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	Mean	SD	Median	N	1-6			
Blei	56.3	40.7	79.4	104.5	29.1	62.0	30.3	56.3	5	3	●	mittel	Pb
Cadmium	0.35	0.43	0.57	0.31	0.27	0.39	0.12	0.35	5	3	●	mittel	Cd
Kupfer	27.9	20.9	25.1	34.0	23.2	26.2	5.0	25.1	5	4	●	hoch	Cu
Zink	192	147	164	223	135	172	36	164	5	6	●	kritisch hoch	Zn
Eisen	4255	3044	4303	6380	3957	4388	1223	4255	5	6	●	kritisch hoch	Fe
Molybdän	2.0	1.4	2.2	3.0	1.5	2.0	0.6	2.0	5	6	●	kritisch hoch	Mo
Chrom	16.8	11.7	16.4	22.9	14.2	16.4	4.1	16.4	5	6	●	kritisch hoch	Cr
Cobalt	1.16	0.77	0.93	1.54	0.81	1.04	0.31	0.93	5	4	●	hoch	Co
Nickel	8.7	5.9	8.3	12.0	5.8	8.1	2.5	8.3	5	6	●	kritisch hoch	Ni
Vanadium	6.9	5.2	6.8	8.9	5.1	6.6	1.5	6.8	5	3	●	mittel	V
Arsen	1.07	0.90	1.11	1.25	1.32	1.13	0.17	1.11	5	4	●	hoch	As
Zinn	0.90	0.66	0.95	1.19	0.69	0.88	0.22	0.90	5	2	●	gering	Sn
Antimon	1.55	0.97	1.49	2.41	1.29	1.54	0.54	1.49	5	6	●	kritisch hoch	Sb
Platin	0.001	0.000	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	5	3	●	mittel	Pt
Palladium	0.021	0.015	0.019	0.017	0.014	0.017	0.00	0.017	5				Pd
Cer	2.40	1.70	2.26	3.96	1.80	2.43	0.91	2.26	5				Ce
Gesamt-schwefel	2612	2158	2082	2129	2537	2304	250	2158	5	4	●	hoch	S-total
Gesamtbel.	34	57	48	34	32	41			5		●	mittel	IAP18
				Schwermetall-Belastungs-Index						59	●	kritisch hoch	SMI

## Luftimmission:

Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )		LRV IGW	Feinstaub (PM10)		LRV IGW	Ozon (O <sub>3</sub> )		LRV IGW
Jahresmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	30	Jahresmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	20	Jahresmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	-
max. Tagesmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	-	max. Tagesmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	-	Anz. Stundenmittel > 120 µg/m <sup>3</sup>		1
Anzahl Tage > 80 µg/m <sup>3</sup>		1	Anzahl Tage > 50 µg/m <sup>3</sup>		1	max. Stundenmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	-

## Verkehrsmenge: Gotthardtunnel (A2), ASTRA-Zählstelle 150

DTV Total	Personen-wagen (K3)	Güterverkehr (K1,4,6,7)	Schwererkehr (K5,6,7)	%-Anteil PW-/Verkehr (K3)	%-Anteil Güterverkehr (K1,4,6,7)	%-Anteil Schwererkehr (K5,6,7)	Busse, Cars (K1)	%-Anteil Motorrad (K2)	Messdauer Jan.-Dez. 03
17212	13048	4061	2656	76	24	15	1.1	0.6	JM

## Toxikologie der PAKs

m: gesichert mutagen  
m?: vermutlich mutagen  
k: gesichert kanzerogen  
k?: vermutlich kanzerogen  
Quelle: WHO, 1998, 2003. Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution.

Organische: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe											Statistische Werte				Kürzel
PAK-Substanzen, Tox.	µg/kg	µg/kg	µg/kg			Mean	SD	Median	N						
Naphthalin	K?	22	n.n	69		45	33	45	2						Napt
Acenaphthylen	m?	15	10	15		13	3	15	3						Aceny
Acenaphthen	m?	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0						Acene
Fluoren	-	30	25	36		30	6	30	3						Fluo
Phenanthren	m?,k	311	363	361		345	29	361	3						Phe
Anthracen	-	45	n.n	32		39	9	39	2						Antrc
3.6-Dimethylphenanthren		n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0						36Dip
Fluoranthen	k?,m	244	289	299		277	29	289	3						Fluoa
Pyren	m?,k?	149	167	224		180	39	167	3						Pyr
Benzo(b)fluoren	m?,k?	26	11	n.n		18	11	18	2						Bzbfl
Benzo(c)phenanthren	km	10	7	n.n		8	2	8	2						Bzcpb
Benz(a)anthracen	k,m	19	41	37		32	12	37	3						Bzaant
Chrysen	k,m	67	77	104		82	19	77	3						Chry
Benzo(b)fluoranthen	k,m	28	29	39		32	6	28	3						Bzbfla
Benzo(k)fluoranthen	k,m	27	29	42		33	8	29	3						Bekfla
Benzo(b,k)fluoranthen	k,m	56	58	81		65	14	58	3						Bzbkfla
Benzo(b)naphtho-(1,2-d)thiophen		n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0						Bz12t
Benzo(e)pyren	k?,m	27	22	61		36	21	27	3						BeP
Benzo(a)pyren	k,m	23	31	52		35	15	31	3						BaP
Perylen	m	n.n	n.n	12		12	.	12	1						Pery
Dibenz(a,j)anthracen	?	41	18	n.n		30	16	30	2						Dibajp
Indeno(123-c,d)pyren	k	74	99	443		206	206	99	3						I123py
Dibenz(a,h)anthracen	k,m	73	n.n	n.n		73	.	73	1						Diaha
Benzo(g,h,i)perylene	m	66	53	286		135	131	66	3						Bghip
Anthanthren	-	n.n	3	36		20	23	20	2						Anta
Dibenz(a,l)pyren	k,m?	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0						Dibalp
Coronen	k?,m	130	78	234		148	79	130	3						Cor
Dibenz(a,h)pyren	k,m	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0						Dibahp
PAK Summe 27		1428	1352	2381		1720	574	1428	3						PAK27
PAK Summe 20		1351	1316	2381		1683	605	1351	3						PAK20
Σ 14 mutagener PAKs	m	715	655	1165		845	279	715	3						PAK14
Σ 12 kanzerogener PAKs	k	633	675	1078		795	246	675	3						PAK12
Σ 9 mut. & kanz.PAKs	m,k	248	213	274		245	31	247	3						PAK9



# MfM-U Biomonitoring - Ersterfassung 2003

## Standort Nr. 7b: Piotta - Profilmessung Mittelbereich

Ohne technische Luft-Messstation. Verkehrsmessung in Lavorgo.

**Nähere Umgebung:** Hochgelegene transalpine Autobahn A2 mit DTV<sub>03</sub> 21'263 Fahrzeuge/d (Lavorgo) auf der Südseite des Gotthard-Passes auf 1000m Höhe in der Nähe des Dorfes Piotta (Ti).

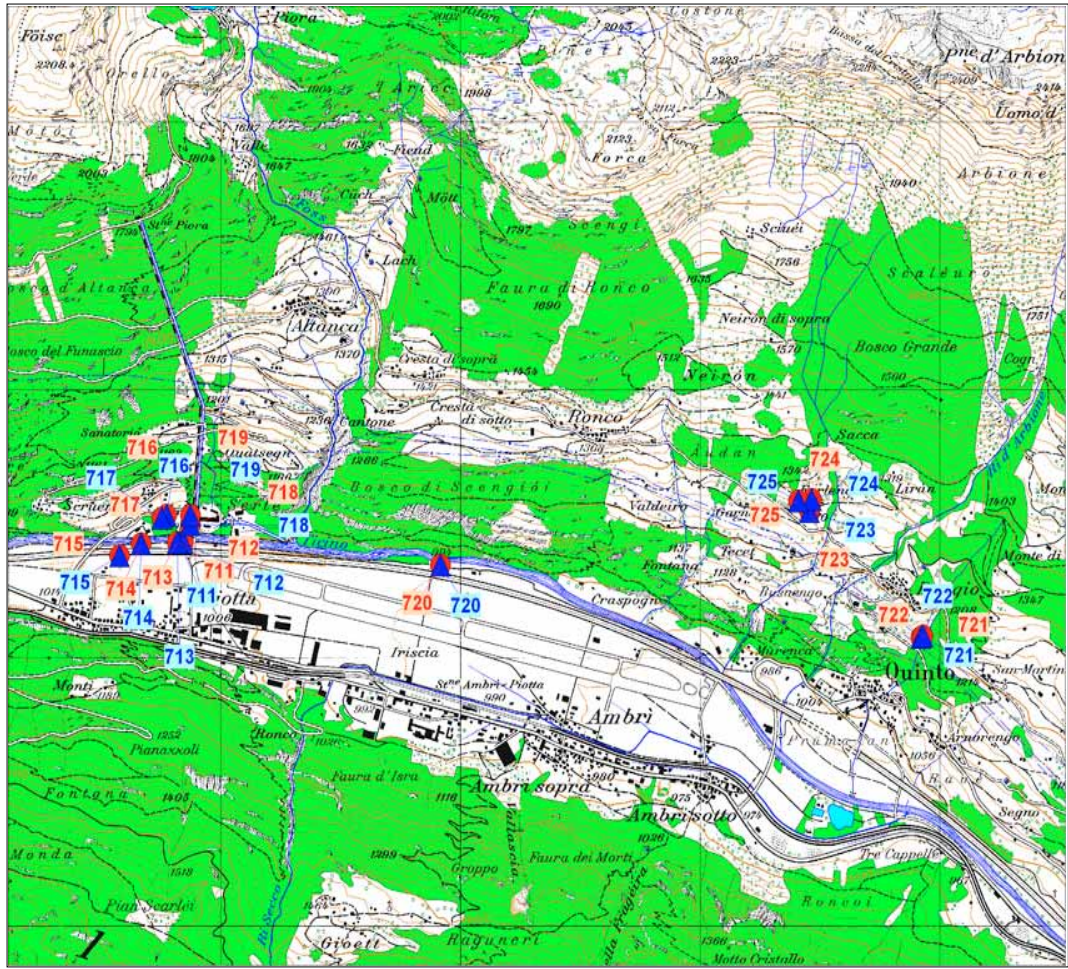
**Standortcharakteristik:** Mfz-Verkehr, ausserhalb von Städten.

**Besonderheiten:** **Besonderheiten:** hohe bis kritisch hohe Belastungswerte für mehrer Schwermetalle, besonders der Verkehrstracer Sb, Ce, Ni, Co, Cr, Mo, Fe, Zn; SMI 54, sehr hoch. Geringe - mittlere Belastungswerte für mehrere Polyaromate, inkl. der mutagenen und kanzerogenen PAKs sowie der PAK-Summenwerte. Luftgesamtbelastung mittel.

Biomonitoring Kenngrössen				
Schwermetalle	mg/kg	Prädikat	Polyaromate PAKs	µg/kg
Schwermetall-Belastungsindex	54	sehr hoch	PAK-Summe 27	538
Antimon	0.8		Summe mutagener PAKs m	223
Molybdän	2.9		Summe kanzerogener PAKs k	239
Vanadium	6.3		Summe mut./kanz. PAKs m, k	50
Platin	0.0011		Benzo(b,k)fluoranthen k,m	35
Cer	2.53		Benzo(a)pyren k,m	<5
<b>Luftgesamtbelastung (IAP18)</b>	<b>44</b>	<b>mittel</b>	Indeno(1,2,3-cd)pyren k	<5



Standort Nr. 7b: Piotta A2 - Profilmessung Mittelbereich



- Legende:
- anorganische Probenahme mit Probenummer
  - ▲ organische Probenahme mit Probenummer
  - ★ technische Immissionsmessung
  - ▼ Verkehrsmessung

# Standort Nr. 7b: Piotta - Profilmessung Mittelbereich

Kategorie 4: Verkehr, a. Siedlungen

Anorganische Luftschadstoffe: Schwermetalle										Belastungssituation			
PNr.	716	717	718	719	720	Statistische Werte				Klas-se	Pikto-gramm	Belastungs-Prädikat	Kürzel
Elemente	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	Mean	SD	Median	N	1-6			
Blei	23.3	41.5	36.0	26.9	29.4	31.4	7.3	29.4	5	2	●	gering	Pb
Cadmium	0.33	0.27	0.34	0.37	0.27	0.32	0.05	0.33	5	2	●	gering	Cd
Kupfer	14.8	13.4	24.9	23.3	12.2	17.7	6.0	14.8	5	3	●	mittel	Cu
Zink	115	118	227	179	158	159	46	158	5	6	●	kritisch hoch	Zn
Eisen	3905	2418	4531	4486	3214	3711	899	3905	5	6	●	kritisch hoch	Fe
Molybdän	4.3	2.6	2.6	2.3	2.7	2.9	0.8	2.6	5	6	●	kritisch hoch	Mo
Chrom	28.4	17.4	17.5	16.3	17.8	19.5	5.0	17.5	5	6	●	kritisch hoch	Cr
Cobalt	1.36	0.84	1.17	1.03	1.06	1.09	0.19	1.06	5	5	●	sehr hoch	Co
Nickel	17.2	10.9	9.6	9.0	9.8	11.3	3.4	9.8	5	6	●	kritisch hoch	Ni
Vanadium	7.2	4.5	7.1	7.0	5.9	6.3	1.2	7.0	5	3	●	mittel	V
Arsen	0.63	0.96	1.31	1.23	0.74	0.98	0.30	0.96	5	3	●	mittel	As
Zinn	0.51	0.60	0.88	0.74	0.55	0.66	0.15	0.60	5	2	●	gering	Sn
Antimon	0.47	0.63	1.12	0.94	0.64	0.76	0.26	0.64	5	4	●	hoch	Sb
Platin	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	5	2	●	gering	Pt
Palladium	0.017	0.017	0.020	0.015	0.024	0.018	0.00	0.017	5				Pd
Cer	3.01	1.66	2.83	2.82	2.31	2.53	0.55	2.82	5				Ce
Gesamt-schwefel	1519	1544	2615	2169	1890	1948	460	1890	5	3	●	mittel	S-total
Gesamtbel.	45	58	46	25	47	44			5		●	mittel	IAP18
Schwermetall-Belastungs-Index										54	●	sehr hoch	SMI

Luftimmission:								
Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )		LRV IGW	Feinstaub (PM10)		LRV IGW	Ozon (O <sub>3</sub> )		LRV IGW
Jahresmittel	[µg/m³]	30	Jahresmittel	[µg/m³]	20	Jahresmittel	[µg/m³]	-
max .Tagesmittel	[µg/m³]	-	max .Tagesmittel	[µg/m³]	-	Anz. Stundenmittel > 120	µg/m³	1
Anzahl Tage > 80	µg/m³	1	Anzahl Tage > 50	µg/m³	1	max. Stundenmittel	[µg/m³]	-

Verkehrsmenge: Gotthardtunnel (A2), ASTRA-Zählstelle 150									
DTV Total	Personen-wagen (K3)	Güterverkehr (K1,4,6,7)	Schwererkehr (K5,6,7)	%-Anteil Pw-Verkehr (K3)	%-Anteil Güterverkehr (K1,4,6,7)	%-Anteil Schwererkehr (K5,6,7)	Busse, Cars (K1)	%-Anteil Motorrad (K2)	Messdauer Sept 03-Aug 04
17212	13048	4061	2656	76	24	15	1.1	0.6	JM

**Toxikologie der PAKs**  
m: gesichert mutagen  
m?: vermutlich mutagen  
k: gesichert kanzerogen  
k?: vermutlich kanzerogen  
Quelle: WHO, 1998, 2003. Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution.

Organische: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe									
PNr.	716	717			Statistische Werte				
PAK-Substanzen, Tox.	µg/kg	µg/kg			Mean	SD	Median	N	Kürzel
Naphthalin K?	n.n	n.n			n.n	.	.	0	Napt
Acenaphthylen m?	n.n	8			8	.	8	1	Aceny
Acenaphthen m?	n.n	n.n			n.n	.	.	0	Acene
Fluoren -	35	30			33	4	33	2	Fluo
Phenanthren m?,k	213	167			190	33	190	2	Phe
Anthracen -	n.n	n.n			n.n	.	.	0	Antrc
3.6-Dimethylphenanthren	n.n	n.n			n.n	.	.	0	36Dip
Fluoranthen k?, m	197	149			173	34	173	2	Fluoa
Pyren m?,k?	101	75			88	18	88	2	Pyr
Benzo(b)fluoren m?,k?	n.n	n.n			n.n	.	.	0	Bzbfl
Benzo(c)phenanthren km	n.n	n.n			n.n	.	.	0	Bzcpb
Benz(a)anthracen k, m	n.n	n.n			n.n	.	.	0	Bzaant
Chrysen k, m	n.n	30			30	.	30	1	Chry
Benzo(b)fluoranthren k,m	10	16			13	4	13	2	Bzbfla
Benzo(k)fluoranthren k,m	10	35			22	18	22	2	Bekfla
Benzo(b,k)fluoranthren k,m	19	50			35	22	35	2	Bzbkfla
Benzo(b)naphtho-(1,2-d)thiophen	n.n	n.n			n.n	.	.	0	Bz12t
Benzo(e)pyren k?, m	n.n	n.n			n.n	.	.	0	BeP
Benzo(a)pyren k,m	n.n	n.n			n.n	.	.	0	BaP
Perylen m	n.n	n.n			n.n	.	.	0	Pery
Dibenz(a,i)anthracen ?	n.n	n.n			n.n	.	.	0	Dibajp
Indeno(123-c,d)pyren k	n.n	n.n			n.n	.	.	0	I123py
Dibenz(a,h)athracen k,m	n.n	n.n			n.n	.	.	0	Diaha
Benzo(g,h,i)perylene m	n.n	n.n			n.n	.	.	0	Bghip
Anthanthren -	n.n	n.n			n.n	.	.	0	Anta
Dibenz(a,l)pyren k,m?	n.n	n.n			n.n	.	.	0	Dibalp
Coronen k?,m	n.n	n.n			n.n	.	.	0	Cor
Dibenz(a,h)pyren k,m	n.n	n.n			n.n	.	.	0	Dibahp
PAK Summe 27	566	509			538	40	538	2	PAK27
PAK Summe 20	566	509			538	40	538	2	PAK20
Σ 14 mutagener PAKs m	217	229			223	9	223	2	PAK14
Σ 12 kanzerogener PAKs k	232	247			239	10	239	2	PAK12
Σ 9 mut. & kanz.PAKs m,k	19	80			50	43	50	2	PAK9



## Standort Nr. 7c: Piotta-Deggio Profilmessung - Fernbereich

Ohne technische Luft-Messstation. Verkehrsmessung in Lavorgo.

**Nähere Umgebung:** Das Dorf Deggio liegt 200-300 m über der Gotthard-Autobahn A2 mit DTV<sub>03</sub> 21'263 in der Nähe des Dorfes Piotta (TI).

**Standortcharakteristik:** ländlicher Höhenstandort im Fernbereich von Hauptverkehrsachse.

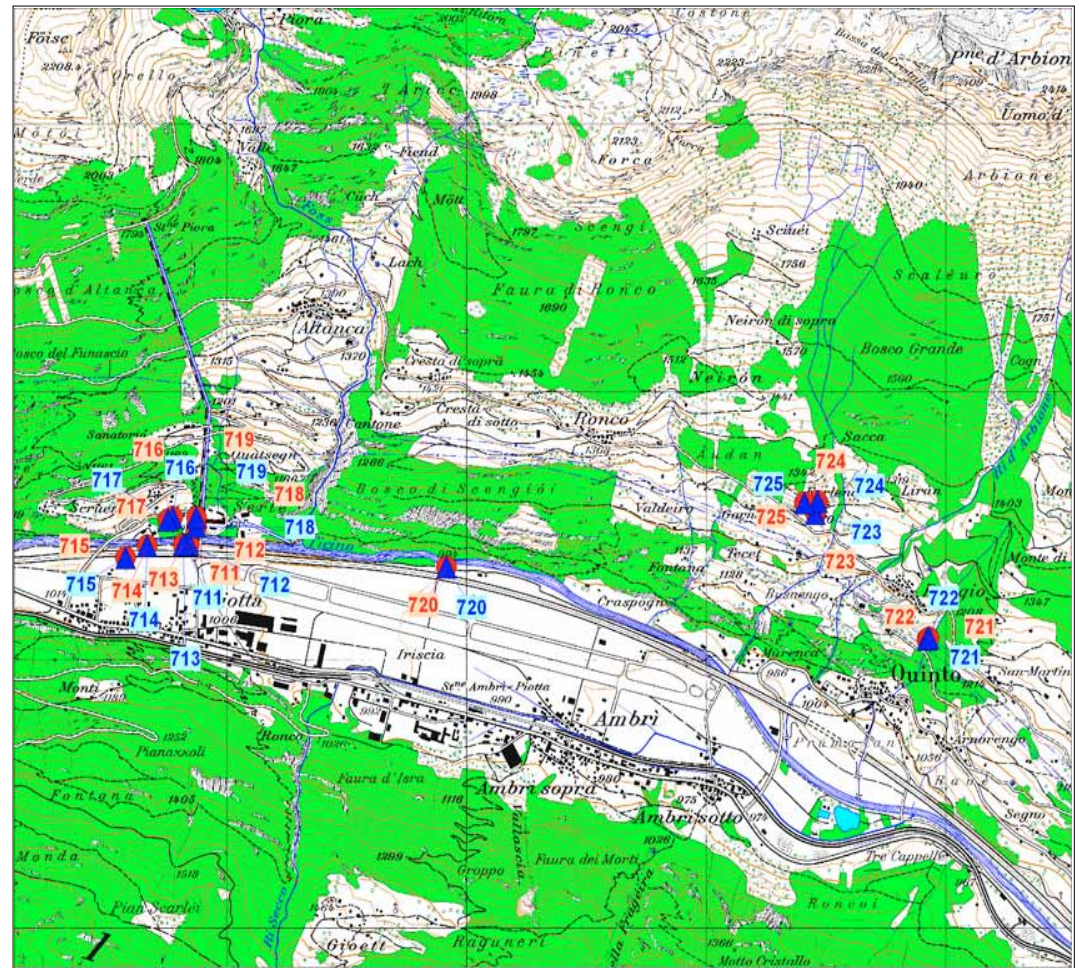
**Besonderheiten:** unerwartet hohe bis kritisch hohe Belastungswerte für die Schwermetalle und Verkehrstracer Ni, Co, Cr, Mo, Fe, Zn, Cd mit einem SMI 52, sehr hoch. Geringe - mittlere Belastungswerte für mehrere Polyaromate, inkl. der mutagenen und kanzerogenen PAKs sowie der PAK-Summenwerte. Verdacht auf Ferntransport wird auch von "nur" mittlerer-geringer Luftgesamtbelastung gestützt.

### Biomonitoring Kenngrößen

Schwermetalle	mg/kg	Prädikat	Polyaromate PAKs	µg/kg
Schwermetall-Belastungsindex	52	sehr hoch	PAK-Summe 27	641
Antimon	0.5		Summe mutagener PAKs m	249
Molybdän	1.2		Summe kanzerogener PAKs k	334
Vanadium	5.3		Summe mut./kanz. PAKs m, k	108
Platin	0.0006		Benzo(b,k)fluoranthen k, m	33
Cer	2.01		Benzo(a)pyren k, m	13
<b>Luftgesamtbelastung (IAP18)</b>	<b>46</b>	gering	Indeno(1,2,3-cd)pyren k	<5



## MfM-U Biomonitoring - Ersterfassung 2003



- Legende:
- anorganische Probenahme mit Probenummer
  - ▲ organische Probenahme mit Probenummer
  - ★ technische Immissionsmessung
  - ▼ Verkehrsmessung

Standort Nr. 7c: Piotta-Deggio A2 - Profilmessung Fern-, bzw. Höhenbereich

# Standort Nr. 7c: Piotta-Deggio - Profilmessung-Fernbereich

Kategorie 5: Ländlich, Dorf

	Anorganische Luftschadstoffe: Schwermetalle									Belastungssituation			
PNr.	721	722	723	724	725	Statistische Werte				Klas-se	Pikto-gramm	Belastungs-Prädikat	Kürzel
Elemente	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	Mean	SD	Median	N	1-6			
Blei	57.1	45.8	75.7	76.0	65.0	63.9	12.9	65.0	5	3	●	mittel	Pb
Cadmium	0.57	0.42	0.28	0.51	0.58	0.47	0.12	0.51	5	4	●	hoch	Cd
Kupfer	20.6	15.0	14.9	13.1	16.0	15.9	2.8	15.0	5	3	●	mittel	Cu
Zink	284	150	99	150	135	164	70	150	5	6	●	kritisch hoch	Zn
Eisen	2707	1961	2390	1711	2792	2312	468	2390	5	6	●	kritisch hoch	Fe
Molybdän	1.63	1.07	0.94	1.20	1.24	1.21	0.26	1.20	5	5	●	sehr hoch	Mo
Chrom	13.4	10.7	9.6	11.3	10.6	11.1	1.4	10.7	5	6	●	kritisch hoch	Cr
Cobalt	1.11	0.69	0.78	0.63	0.93	0.83	0.19	0.78	5	4	●	hoch	Co
Nickel	8.3	6.1	5.5	6.6	6.7	6.6	1.1	6.6	5	6	●	kritisch hoch	Ni
Vanadium	5.9	4.7	5.6	4.4	6.1	5.3	0.8	5.6	5	2	●	gering	V
Arsen	0.78	0.67	0.91	0.78	0.91	0.81	0.10	0.78	5	2	●	gering	As
Zinn	0.54	0.42	0.57	0.58	0.89	0.60	0.18	0.57	5	2	●	gering	Sn
Antimon	0.58	0.51	0.45	0.50	0.53	0.51	0.05	0.51	5	3	●	mittel	Sb
Platin	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	5	2	●	gering	Pt
Palladium	0.022	0.02	0.015	0.013	0.02	0.018	0.00	0.020	5				Pd
Cer	2.63	1.74	2.02	1.37	2.29	2.01	0.49	2.02	5				Ce
Gesamt-schwefel	1904	1606	1928	1778	1881	1819	132	1881	5	2	●	gering	S-total
Gesamtbel.	37	58	53	37	.	46			4		●	gering	IAP18
				Schwermetall-Belastungs-Index						52	●	sehr hoch	SMI

Luftimmission:								
Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )		LRV IGW	Feinstaub (PM10)		LRV IGW	Ozon (O <sub>3</sub> )		LRV IGW
Jahresmittel	[µg/m³]	30	Jahresmittel	[µg/m³]	20	Jahresmittel	[µg/m³]	-
max .Tagesmittel	[µg/m³]	-	max .Tagesmittel	[µg/m³]	-	Anz. Stundenmittel > 120	µg/m³	1
Anzahl Tage > 80	µg/m³	1	Anzahl Tage > 50	µg/m³	1	max. Stundenmittel	[µg/m³]	-

Verkehrsmenge: Gotthardtunnel (A2), ASTRA-Zählstelle 150									
DTV Total	Personen-wagen (K3)	Güterverkehr (K1,4,6,7)	Schwererkehr (K5,6,7)	%-Anteil Pw-Verkehr (K3)	%-Anteil Güterverkehr (K1,4,6,7)	%-Anteil Schwererkehr (K5,6,7)	Busse, Cars (K1)	%-Anteil Motorrad (K2)	Messdauer Sept 03-Aug 04
17212	13048	4061	2656	76	24	15	1.1	0.6	JM

**Toxikologie der PAKs**  
m: gesichert mutagen  
m?: vermutlich mutagen  
k: gesichert kanzerogen  
k?: vermutlich kanzerogen  
Quelle: WHO, 1998, 2003. Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution.

Organische: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe									
PNr.	722	724	725		Statistische Werte				
PAK-Substanzen, Tox.	µg/kg	µg/kg	µg/kg		Mean	SD	Median	N	Kürzel
Naphthalin K?	n.n	n.n	53		53	.	53	1	Napt
Acenaphthylen m?	4	4	9		6	3	4	3	Aceny
Acenaphthen m?	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Acene
Fluoren -	18	14	122		51	62	18	3	Fluo
Phenanthren m?,k	73	57	550		227	280	73	3	Phe
Anthracen -	n.n	n.n	46		46	.	46	1	Antrc
3.6-Dimethylphenanthren	n.n	n.n	20		20	.	20	1	36Dip
Fluoranthen k?,m	92	65	239		132	94	92	3	Fluoa
Pyren m?,k?	47	38	123		69	47	47	3	Pyr
Benzo(b)fluoren m?,k?	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Bzbfl
Benzo(c)phenanthren km	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Bzcph
Benz(a)anthracen k, m	6	10	51		22	25	10	3	Bzaant
Chrysen k, m	27	23	67		39	24	27	3	Chry
Benzo(b)fluoranthen k,m	14	15	28		19	8	15	3	Bzbfla
Benzo(k)fluoranthen k,m	13	9	20		14	6	13	3	Bekfla
Benzo(b,k)fluoranthen k,m	27	24	48		33	13	27	3	Bzbkfla
Benzo(b)naphtho-(1,2-d)thiophen	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Bz12t
Benzo(e)pyren k?,m	12	n.n	15		14	2	14	2	BeP
Benzo(a)pyren k,m	13	14	n.n		13	1	13	2	BaP
Perylen m	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Pery
Dibenz(a,i)anthracen ?	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Dibajp
Indeno(123-c,d)pyren k	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	I123py
Dibenz(a,h)athracen k,m	n.n	13	n.n		13	.	13	1	Diaha
Benzo(g,h,i)perylen m	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Bghip
Anthanthren -	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Anta
Dibenz(a,l)pyren k,m?	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Dibalp
Coronen k?,m	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Cor
Dibenz(a,h)pyren k,m	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Dibahp
PAK Summe 27	319	262	1343		641	608	319	3	PAK27
PAK Summe 20	319	262	1323		634	597	319	3	PAK20
Σ 14 mutagener PAKs m	177	149	420		249	149	177	3	PAK14
Σ 12 kanzerogener PAKs k	145	142	716		334	330	145	3	PAK12
Σ 9 mut. & kanz.PAKs m,k	72	84	166		108	51	84	3	PAK9



## Standort Nr. 8: Moleno

Kontinuierliche Luftmessung des Mfm-Messnetzes. Verkehrsmessung von Biasca-Süd.

**Nähere Umgebung:** Raststätte Moleno umgeben von Landwirtschaftsgebiet an hochfrequenzierter A2-Transit-Autobahn (DTV<sub>03</sub> 28'371).

**Standortcharakteristik:** Mfz-Verkehr, ausserhalb von Städten.

**Besonderheiten:** hohe bis kritisch hohe Belastungswerte für fast alle Schwermetalle, besonders der Verkehrstracer Sb, As, V, Ni, Co, Cr, Mo, Fe, Zn, Cu; SMI kritisch hoch. Der erstmals analysierte Tracer Cer zum Nachweis von Partikelfilter-betriebenen Dieselfahrzeugen weist in Moleno den Maximalwert aller untersuchten Mfm-Standorte auf.

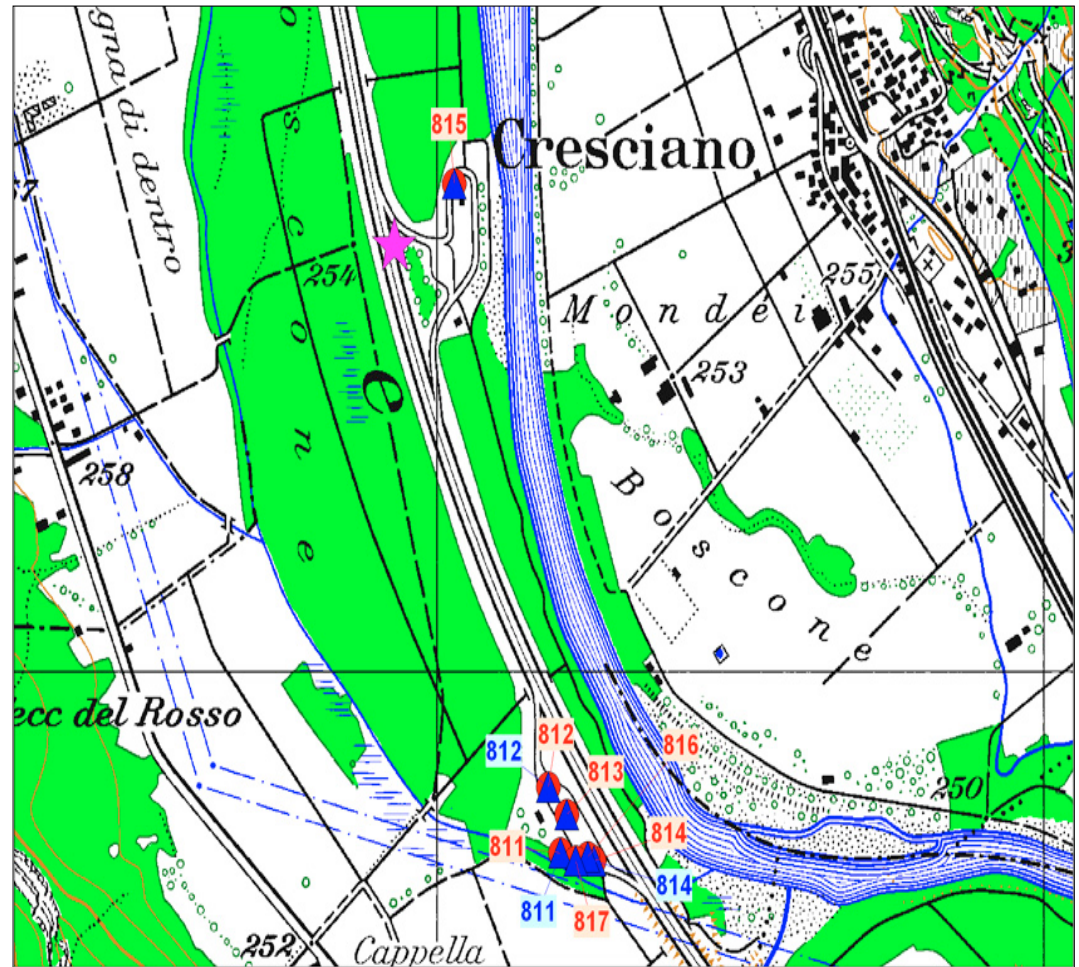
Mittlere - hohe Belastungswerte auch für mehrere Polyaromate, inkl. der mutagenen und kanzerogenen PAKs sowie der PAK-Summenwerte.

### Biomonitoring Kenngrössen

Schwermetalle	mg/kg	Prädikat	Polyaromate PAKs	µg/kg
Schwermetall-Belastungsindex	60	kritisch hoch	PAK-Summe 27	2215
Antimon	2.0		Summe mutagener PAKs m	1438
Molybdän	2.4		Summe kanzerogener PAKs k	772
Vanadium	9.5		Summe mut./kanz. PAKs m, k	369
Platin	0.0016		Benzo(b,k)fluoranthen k,m	117
Cer	4.34		Benzo(a)pyren k,m	52
<b>Luftgesamtbelastung (IAP18)</b>	<b>33</b>	<b>mittel</b>	Indeno(1,2,3-cd)pyren k	160



## MfM-U Biomonitoring - Ersterfassung 2003



- Legende:
- anorganische Probenahme mit Probenummer
  - ▲ organische Probenahme mit Probenummer
  - ★ technische Immissionsmessung
  - ▼ Verkehrsmessung

**Standort Nr. 8: Moleno Raststätte A2 und MfM-U-Messstandort**



## Standort Nr. 8: Moleno

## Kategorie 4: Verkehr, a. Siedlungen

Anorganische Luftschadstoffe: Schwermetalle										Belastungssituation			
PNr.	811	812	813	814	815	Statistische Werte				Klas-se	Pikto-gramm	Belastungs-Prädikat	Kürzel
Elemente	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	Mean	SD	Median	N	1-6			
Blei	27.4	45.8	38.7	41.6	29.6	36.6	7.9	38.7	5	2	●	gering	Pb
Cadmium	0.24	0.45	0.37	0.45	0.23	0.35	0.11	0.37	5	3	●	mittel	Cd
Kupfer	13.4	30.0	28.7	27.8	15.0	23.0	8.1	27.8	5	4	●	hoch	Cu
Zink	90	167	141	200	130	146	41	141	5	5	●	sehr hoch	Zn
Eisen	2415	7303	5622	5627	3342	4862	1963	5622	5	6	●	kritisch hoch	Fe
Molybdän	1.7	3.1	2.3	3.0	1.9	2.4	0.6	2.3	5	6	●	kritisch hoch	Mo
Chrom	11.6	24.2	18.8	21.4	15.5	18.3	4.9	18.8	5	6	●	kritisch hoch	Cr
Cobalt	0.8	2.0	1.7	1.6	1.1	1.4	0.5	1.6	5	6	●	kritisch hoch	Co
Nickel	6.3	13.1	11.0	12.6	8.2	10.2	2.9	11.0	5	6	●	kritisch hoch	Ni
Vanadium	5.3	13.4	11.3	10.0	7.5	9.5	3.2	10.0	5	4	●	hoch	V
Arsen	0.82	1.81	1.11	1.34	0.99	1.22	0.39	1.11	5	4	●	hoch	As
Zinn	0.58	1.51	1.08	1.15	0.61	0.99	0.39	1.08	5	2	●	gering	Sn
Antimon	1.06	2.92	2.15	2.59	1.08	1.96	0.86	2.15	5	6	●	kritisch hoch	Sb
Platin	0.000	0.004	0.002	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002	5	3	●	mittel	Pt
Palladium	0.015	0.051	0.024	0.03	0.016	0.027	0.01	0.024	5				Pd
Cer	2.41	6.41	5.37	4.51	3.02	4.34	1.65	4.51	5				Ce
Gesamt-schwefel	1964	2304	2093	2090	2157	2121	124	2093	5	3	●	mittel	S-total
Gesamtbel.	37	38	42	18	28	33			5		●	mittel	IAP18
Schwermetall-Belastungs-Index										60	●	kritisch hoch SMI	

Luftimmission:										
Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )			LRV IGW	Feinstaub (PM10)			LRV IGW	Ozon (O <sub>3</sub> )		LRV IGW
Jahresmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	49	30	Jahresmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	29*	20	Jahresmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	-
max .Tagesmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	83	-	max .Tagesmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	71*	-	Anz. Stundenmittel > 120 µg/m <sup>3</sup>	378*	1
Anzahl Tage > 80 µg/m <sup>3</sup>		2	1	Anzahl Tage > 50 µg/m <sup>3</sup>		19*	1	max. Stundenmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	204*

Verkehrsmenge: Biasca-Süd (A2), ASTRA-Zählstelle 166									
DTV Total	Personen-wagen (K3)	Güterverkehr (K1,4,6,7)	Schwererkehr (K5,6,7)	%-Anteil Pw-Verkehr (K3)	%-Anteil Güterverkehr (K1,4,6,7)	%-Anteil Schwererkehr (K5,6,7)	Busse, Cars (K1)	%-Anteil Motorrad (K2)	Messdauer Juli 03-Aug 04
28371	22278	5667	2822	79	20	10			JM

### Toxikologie der PAKs

m: gesichert mutagen  
m?: vermutlich mutagen  
k: gesichert kanzerogen  
k?: vermutlich kanzerogen  
Quelle: WHO, 1998, 2003. Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution.

Organische: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe									
PNr.	811	812	814		Statistische Werte				
PAK-Substanzen, Tox.	µg/kg	µg/kg	µg/kg		Mean	SD	Median	N	Kürzel
Naphthalin	K?	. 55	33		44	16	44	2	Napt
Acenaphthylen	m?	11	22	18	17	5	18	3	Aceny
Acenaphthen	m?	n.n	n.n	n.n	n.n	.	.	0	Acene
Fluoren	-	16	15	14	15	1	15	3	Fluo
Phenanthren	m?,k	198	258	198	218	35	198	3	Phe
Anthracen	-	53	n.n	174	114	85	114	2	Antrc
3.6-Dimethylphenanthren		n.n	n.n	n.n	n.n	.	.	0	36Dip
Fluoranthen	k?,m	134	261	256	217	72	256	3	Fluoa
Pyren	m?,k?	99	201	211	170	62	201	3	Pyr
Benzo(b)fluoren	m?,k?	n.n	n.n	n.n	n.n	.	.	0	Bzbfl
Benzo(c)phenanthren	km	8	16	n.n	12	6	12	2	Bzcpb
Benz(a)anthracen	k,m	16	37	58	37	21	37	3	Bzaant
Chrysen	k,m	78	167	189	145	59	167	3	Chry
Benzo(b)fluoranthen	k,m	33	54	108	65	39	54	3	Bzbfla
Benzo(k)fluoranthen	k,m	28	49	78	52	25	49	3	Bekfla
Benzo(b,k)fluoranthen	k,m	61	103	186	117	64	103	3	Bzbkfla
Benzo(b)naphtho-(1,2-d)thiophen		3	27	13	14	12	13	3	Bz12t
Benzo(e)pyren	k?,m	98	83	71	84	14	83	3	BeP
Benzo(a)pyren	k,m	n.n	59	45	52	10	52	2	BaP
Perylen	m	n.n	n.n	n.n	n.n	.	.	0	Pery
Dibenz(a,i)anthracen	?	.	21	75	48	38	48	2	Dibajp
Indeno(123-c,d)pyren	k	54	135	292	160	121	135	3	I123py
Dibenz(a,h)anthracen	k,m	n.n	45	40	42	4	42	2	Diaha
Benzo(g,h,i)perylene	m	23	835	918	592	495	835	3	Bghip
Anthanthren	-	n.n	n.n	61	61	.	61	1	Anta
Dibenz(a,l)pyren	k,m?	n.n	14	61	38	33	37	2	Dibalp
Coronen	k?,m	48	284	198	177	120	198	3	Cor
Dibenz(a,h)pyren	k,m	n.n	n.n	n.n	n.n	.	.	0	Dibahp
PAK Summe 27		898	2637	3109	2215	1164	2637	3	PAK27
PAK Summe 20		887	2559	2960	2136	1099	2559	3	PAK20
Σ 14 mutagener PAKs	m	464	1889	1961	1438	844	1889	3	PAK14
Σ 12 kanzerogener PAKs	k	413	833	1068	772	332	833	3	PAK12
Σ 9 mut. & kanz.PAKs	m,k	162	427	518	369	185	427	3	PAK9

## Standort Nr. 9a: Chiasso Progeda LKW Checkpoint (mit *Parmelia sulcata*)

Verkehrsdaten Chiasso Progeda bis 1995, kant. Luftmessung in Nähe.

**Nähere Umgebung:** Zollstation der A2 mit getrennter LKW- und PW-Abfertigung Richtung Italien. Mit Standort 9a wurde besonders der Nahbereich des LKW-Ausstellplatzes vor der Zollstation erfasst.

**Standortcharakteristik:** hochfrequenzierter Verkehrsstandort.

**Besonderheiten:** meist kritisch hohe Belastungswerte für fast alle Schwermetalle und Verkehrstracer Pt, Sb, As, V, Ni, Co, Cr, Mo, Fe, Zn, Cu, Cd, Pb; maximaler Schwermetallbelastungsindex 70, kritisch hoch. Mangels genügender Probenmenge von *P. sulcata* keine Belastungsaussage für Polyaromate möglich. Luftgesamtbelastung kritisch hoch. IAP18: kritisch hohe Gesamtbelastung.

### Biomonitoring Kenngrößen

Schwermetalle	mg/kg	Prädikat	Polyaromate PAKs	µg/kg
Schwermetall-Belastungsindex	70	kritisch hoch	PAK-Summe 27	
Antimon	6.0		Summe mutagener PAKs	m
Molybdän	4.8		Summe kanzerogener PAKs	k
Vanadium	12.3		Summe mut./kanz. PAKs	m, k
Platin	0.0036		Benzo(b,k)fluoranthen	k, m
Cer	5.73		Benzo(a)pyren	k, m
<b>Luftgesamtbelastung (IAP18)</b>	<b>8</b>	<b>kritisch hoch</b>	Indeno(1,2,3-cd)pyren	k



## MfM-U Biomonitoring - Ersterfassung 2003



- Legende:
- anorganische Probenahme mit Probennummer
  - ▲ organische Probenahme mit Probennummer
  - ★ technische Immissionsmessung
  - ▼ Verkehrsmessung

**Standort Nr. 9a: Chiasso Progeda A2 - LKW Checkpoint**

## Kategorie 2: Kleinstadt, Agglomeration

**Toxikologie der PAKs**  
**m:** gesichert mutagen  
**m?:** vermutlich mutagen  
**k:** gesichert kanzerogen  
**k?:** vermutlich kanzerogen  
*Quelle:* WHO, 1998, 2003. Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution.

[illegible]



## Standort Nr. 9b: Chiasso Progeda LKW Checkpoint & Via Volta *(mit Physcia tenella)*

Verkehrsdaten Chiasso Progeda bis 1995, kant. Luftmessung in Nähe.

**Nähere Umgebung:** Zollstation der A2 mit getrennter LKW- und PW-Abfertigung Richtung Italien. Mit Standort 9b wurde besonders der PW-Verkehr im Nahbereich des LKW-Ausstellplatzes vor der Zollstation erfasst.

**Standortcharakteristik:** hochfrequenzierter Verkehrsstandort.

**Besonderheiten:** meist kritisch hohe Belastungswerte für fast alle Schwermetalle und Verkehrstracer Pt, Sb, As, Ni, Co, Cr, Mo, Fe, Zn, Cu; Schwermetallbelastungsindex 61, kritisch hoch.

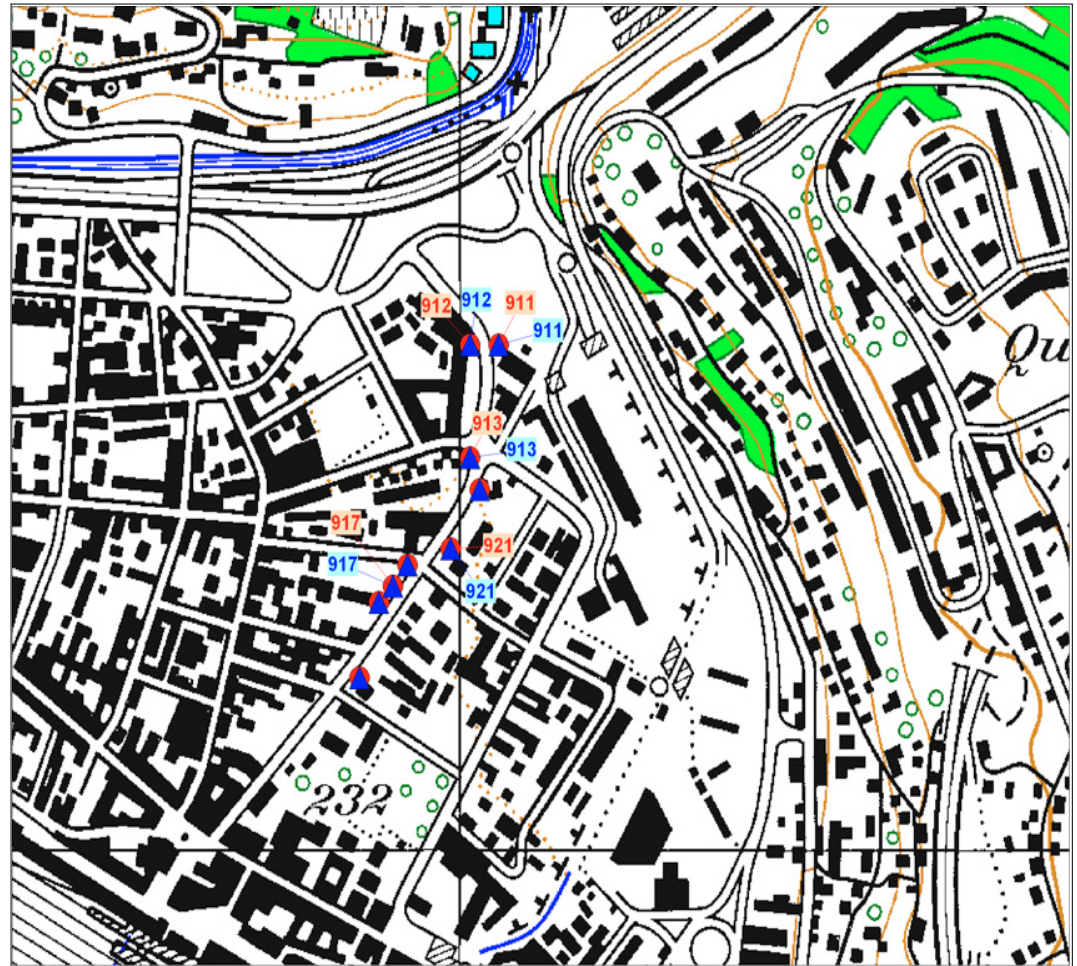
Hohe Belastung auch für die meisten Polyaromate, inkl. der mutagenen und kanzerogenen PAKs sowie der PAK-Summenwerte erfasst mittels Physcia tenella. Luftgesamtbelastung kritisch hoch.

### Biomonitoring Kenngrößen

Schwermetalle	mg/kg	Prädikat	Polyaromate PAKs	µg/kg
Schwermetall-Belastungsindex	61	kritisch hoch	PAK-Summe 27	3325
Antimon	4.5		Summe mutagener PAKs m	2078
Molybdän	3.3		Summe kanzerogener PAKs k	1117
Vanadium	7.0		Summe mut./kanz. PAKs m, k	692
Platin	0.0028		Benzo(b,k)fluoranthen k, m	516
Cer	3.24		Benzo(a)pyren k, m	52
<b>Luftgesamtbelastung (IAP18)</b>	<b>17</b>	<b>kritisch hoch</b>	Indeno(1,2,3-cd)pyren k	78



## MfM-U Biomonitoring - Ersterfassung 2003



- Legende:
- anorganische Probenahme mit Probennummer
  - ▲ organische Probenahme mit Probennummer
  - ★ technische Immissionsmessung
  - ▼ Verkehrsmessung

Standort Nr. 9b: Chiasso Progeda A2 - LKW Checkpoint und Via Volta

# Standort Nr. 9b: Chiasso Progeda LKW Checkpoint & Via Volta

## Kategorie 2: Kleinstadt, Agglomeration

Ph. tenella

Anorganische Luftschadstoffe: Schwermetalle										Belastungssituation			
PNr.	911	912	913	917	921	Statistische Werte				Klas-se	Pikto-gramm	Belastungs-Prädikat	Kürzel
Elemente	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	Mean	SD	Median	N	1-6			
Blei	52.0	21.4	43.2	36.5	31.2	36.8	11.6	36.5	5	2	●	gering	Pb
Cadmium	0.27	0.20	0.29	0.23	0.28	0.25	0.04	0.27	5	2	●	gering	Cd
Kupfer	60.6	28.6	53.2	41.2	32.8	43.3	13.5	41.2	5	6	●	kritisch hoch	Cu
Zink	235	143	138	110	122	150	50	138	5	5	●	sehr hoch	Zn
Eisen	5402	4158	4076	3278	5397	4462	922	4158	5	6	●	kritisch hoch	Fe
Molybdän	4.9	2.8	3.5	2.7	2.7	3.3	0.9	2.8	5	6	●	kritisch hoch	Mo
Chrom	23.3	17.7	19.1	15.7	18.5	18.8	2.8	18.5	5	6	●	kritisch hoch	Cr
Cobalt	1.51	1.36	1.15	0.97	1.77	1.35	0.31	1.36	5	5	●	sehr hoch	Co
Nickel	12.4	8.7	9.7	7.5	9.4	9.6	1.8	9.4	5	6	●	kritisch hoch	Ni
Vanadium	7.5	7.6	6.4	5.4	8.4	7.0	1.1	7.5	5	3	●	mittel	V
Arsen	3.02	1.91	1.84	1.40	2.28	2.09	0.61	1.91	5	6	●	kritisch hoch	As
Zinn	2.23	0.98	1.28	1.07	1.24	1.36	0.50	1.24	5	2	●	gering	Sn
Antimon	8.6	3.1	4.1	3.5	3.1	4.5	2.3	3.5	5	6	●	kritisch hoch	Sb
Platin	0.004	0.003	0.003	0.003	0.002	0.0028	0.001	0.003	5	5	●	sehr hoch	Pt
Palladium	0.048	0.046	0.042	0.023	0.032	0.038	0.01	0.042	5				Pd
Cer	3.5	3.2	3.2	2.5	3.9	3.2	0.5	3.2	5				Ce
Gesamt-schwefel	3499	3460	3313	4015	4011	3660	330	3499	5	6	●	kritisch hoch	S-total
Gesamtbel.	20	13	17	20	14	17	3.3		5		●	kritisch	IAP18
Schwermetall-Belastungs-Index										61	●	kritisch hoch	SMI

### Luftimmission:

Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )	LRV IGW	Feinstaub (PM10)	LRV IGW	Ozon (O <sub>3</sub> )	LRV IGW
Jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	30	Jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	20	Jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	-
max. Tagesmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	-	max. Tagesmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	-	Anz. Stundenmittel > 120 µg/m <sup>3</sup>	1
Anzahl Tage > 80 µg/m <sup>3</sup>	1	Anzahl Tage > 50 µg/m <sup>3</sup>	1	max. Stundenmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	-

### Verkehrsmenge: Grancia AS Astra-Zählstelle 076

DTV Total	Personen-wagen (K3)	Güterverkehr (K1,4,6,7)	Schwererkehr (K5,6,7)	%-Anteil Pw-Verkehr (K3)	%-Anteil Güterverkehr (K1,4,6,7)	%-Anteil Schwererkehr (K5,6,7)	Busse, Cars (K1)	%-Anteil Motorrad (K2)	Messdauer 2002
56320	46766	5154	2781	83.0	9.2	4.9			JM

### Toxikologie der PAKs

m: gesichert mutagen  
m?: vermutlich mutagen  
k: gesichert kanzerogen  
k?: vermutlich kanzerogen  
Quelle: WHO, 1998, 2003. Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution.

Organische: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe									
PNr.	911	912	920	921	Statistische Werte				
PAK-Substanzen, Tox.	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	Mean	SD	Median	N	Kürzel
Naphthalin	K?	103	39	93	36	68	35	66	4 Napt
Acenaphthylen	m?	55	29	35	21	35	14	32	4 Aceny
Acenaphthen	m?	n.n	n.n	n.n	n.n	.	.	0	Acene
Fluoren	-	47	34	36	32	37	7	35	4 Fluo
Phenanthren	m?,k	496	234	374	242	336	124	308	4 Phe
Anthracen	-	116	49	45	68	69	33	58	4 Antrc
3.6-Dimethylphenanthren		n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0 36Dip
Fluoranthen	k?,m	478	253	278	219	307	116	265	4 Fluoa
Pyren	m?,k?	562	205	285	196	312	171	245	4 Pyr
Benzo(b)fluoren	m?,k?	n.n	n.n	n.n	23	23	.	23	1 Bzbfl
Benzo(c)phenanthren	km	19	7	n.n	3	10	8	7	3 Bzcp
Benz(a)anthracen	k,m	49	20	29	18	29	14	25	4 Bzaant
Chrysen	k,m	142	56	102	55	89	42	79	4 Chry
Benzo(b)fluoranthen	k,m	371	53	119	106	162	142	112	4 Bzbfla
Benzo(k)fluoranthen	k,m	235	20	1113	46	353	515	140	4 Bekfla
Benzo(b,k)fluoranthen	k,m	606	73	1232	152	516	532	379	4 Bzbkfla
Benzo(b)naphtho-(1,2-d)thiophen		n.n	3	n.n	n.n	3	.	3	1 Bz12t
Benzo(e)pyren	k?,m	273	23	131	358	196	149	202	4 BeP
Benzo(a)pyren	k,m	90	13	.	.	52	54	52	2 BaP
Perylen	m	39	37	165	72	78	60	55	4 Pery
Dibenz(a,i)anthracen	?	101	231	.	757	363	347	231	3 Dibajp
Indeno(123-c,d)pyren	k	109	154	32	17	78	65	71	4 I123py
Dibenz(a,h)anthracen	k,m	n.n	57	29	15	34	21	29	3 Diaha
Benzo(g,h,i)perylene	m	1758	407	60	431	664	749	419	4 Bghip
Anthanthren	-	n.n	n.n	88	n.n	88	.	88	1 Anta
Dibenz(a,l)pyren	k,m?	n.n	45	n.n	n.n	45	.	45	1 Dibalp
Coronen	k?,m	293	109	115	48	141	105	112	4 Cor
Dibenz(a,h)pyren	k,m	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0 Dibahp
PAK Summe 27		5334	2076	3128	2762	3325	1409	2945	4 PAK27
PAK Summe 20		5214	1791	3128	1979	3028	1573	2554	4 PAK20
Σ 14 mutagener PAKs	m	3746	1055	2141	1371	2078	1202	1756	4 PAK14
Σ 12 kanzerogener PAKs	k	1511	658	1798	502	1117	635	1084	4 PAK12
Σ 9 mut. & kanz.PAKs	m,k	906	226	1392	243	692	564	574	4 PAK9



## Standort Nr. 10: Rothenbrunnen (A13)

Kontinuierliche Luft- und Verkehrsmessung des MfM-Messnetzes.

**Nähere Umgebung:** Landwirtschaftsgebiet von Rothenbrunnen an mittelstark frequentierter A13-Transit-Autobahn (DTV<sub>03/04</sub> 15'235).

**Standortcharakteristik:** Mfz-Verkehr, ausserhalb von Städten.

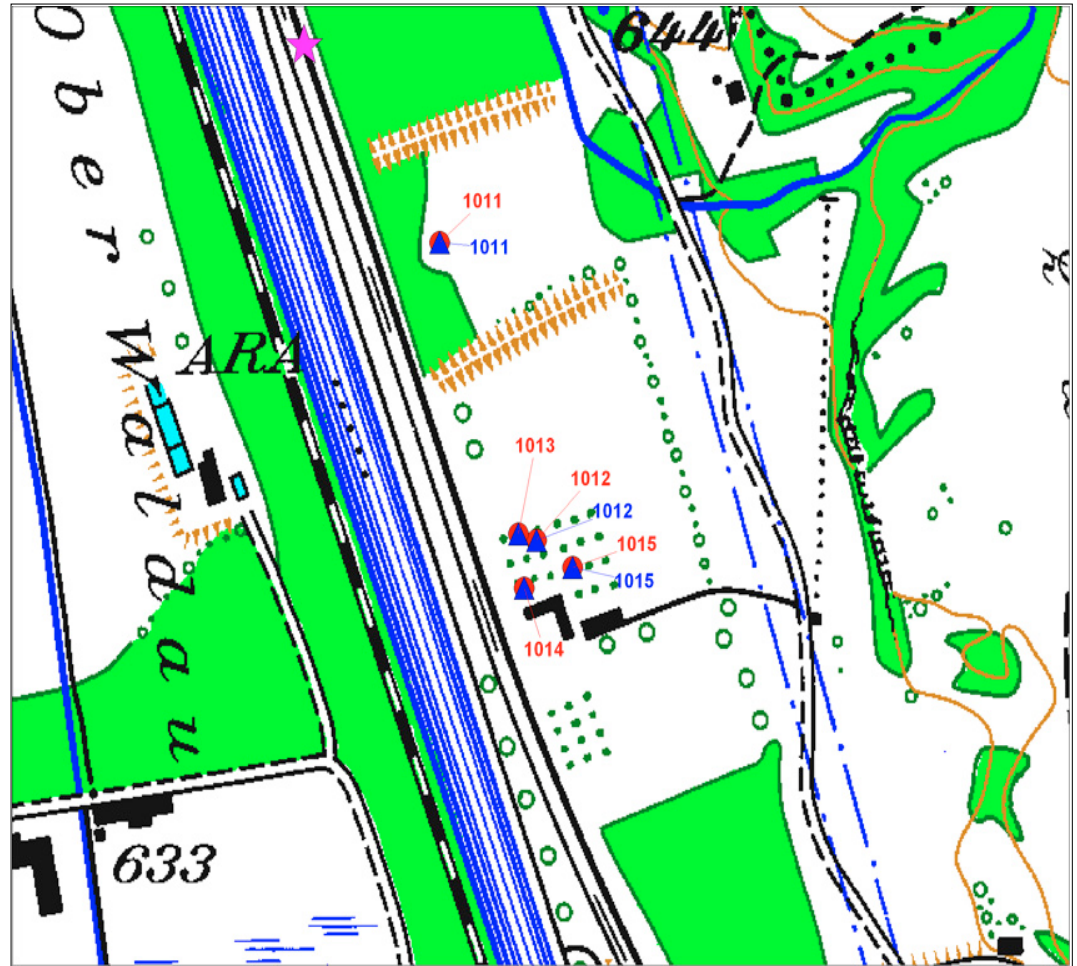
**Besonderheiten:** hohe bis kritisch hohe Belastungswerte für die Schwermetalle und Verkehrstracer Sb, Ni, Co, Cr, Mo, Fe, Zn; Schwermetallbelastungsindex SMI 49, sehr hoch. Mittlere Belastungswerte für mehrere Polyaromate, inkl. der mutagenen und kanzerogenen PAKs sowie der PAK-Summenwerte. Luftgesamtbelastung nicht erfasst.

### Biomonitoring Kenngrössen

Schwermetalle	mg/kg	Prädikat	Polyaromate PAKs	µg/kg
Schwermetall-Belastungsindex	49	sehr hoch	PAK-Summe 27	966
Antimon	0.7		Summe mutagener PAKs m	593
Molybdän	1.2		Summe kanzerogener PAKs k	520
Vanadium	4.3		Summe mut./kanz. PAKs m, k	255
Platin	0.0006		Benzo(b,k)fluoranthen k,m	123
Cer	1.35		Benzo(a)pyren k,m	97
<b>Luftgesamtbelastung (IAP18)</b>	nd		Indeno(1,2,3-cd)pyren k	158



## MfM-U Biomonitoring - Ersterfassung 2003



- Legende:
- anorganische Probenahme mit Probennummer
  - ▲ organische Probenahme mit Probennummer
  - ★ technische Immissionsmessung
  - ▼ Verkehrsmessung

**Standort Nr. 10: Rothenbrunnen A13 und MfM-U-Messtandort**



# Standort Nr. 10: Rothenbrunnen (A13)

## Kategorie 4: Verkehr, a. Siedlungen

Anorganische Luftschadstoffe: Schwermetalle										Belastungssituation			
PNr.	1011	1012	1013	1014	1015	Statistische Werte				Klas-se	Pikto-gramm	Belastungs-Prädikat	Kürzel
Elemente	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	Mean	SD	Median	N	1-6			
Blei	14.1	20.0	29.5	44.5	14.5	24.5	12.8	20.0	5	2	●	gering	Pb
Cadmium	0.15	0.20	0.17	0.28	0.14	0.19	0.05	0.17	5	1	●	sehr gering	Cd
Kupfer	14.0	13.4	15.8	22.5	10.6	15.3	4.5	14.0	5	3	●	mittel	Cu
Zink	242	164	228	239	199	214	33	228	5	6	●	kritisch hoch	Zn
Eisen	1301	2293	1604	2549	2067	1963	508	2067	5	6	●	kritisch hoch	Fe
Molybdän	0.98	1.42	1.21	1.33	1.29	1.25	0.17	1.29	5	5	●	sehr hoch	Mo
Chrom	6.2	11.0	8.5	10.8	10.3	9.4	2.0	10.3	5	6	●	kritisch hoch	Cr
Cobalt	0.56	0.96	0.73	1.02	0.86	0.83	0.18	0.86	5	4	●	hoch	Co
Nickel	5.1	7.6	5.7	7.2	6.8	6.5	1.1	6.8	5	6	●	kritisch hoch	Ni
Vanadium	3.1	5.1	3.7	5.7	4.2	4.3	1.0	4.2	5	2	●	gering	V
Arsen	0.52	1.03	0.71	1.17	0.84	0.85	0.25	0.84	5	2	●	gering	As
Zinn	0.35	0.54	0.40	0.49	0.78	0.51	0.17	0.49	5	2	●	gering	Sn
Antimon	0.59	0.58	0.65	1.02	0.42	0.65	0.22	0.59	5	4	●	hoch	Sb
Platin	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	5	2	●	gering	Pt
Palladium	0.007	0.009	0.012	0.014	0.008	0.010	0.00	0.009	5				Pd
Cer	0.99	1.78	1.16	1.54	1.29	1.35	0.31	1.29	5				Ce
Gesamt-schwefel	1288	1620	1799	2244	1291	1648	399	1620	5	2	●	gering	S-total
Gesamtbel.	.	.	.	.	.	.	.	.	0				IAP18
Schwermetall-Belastungs-Index										49	●	sehr hoch	SMI

Luftimmission:																	
Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )				LRV IGW		Feinstaub (PM10)				LRV IGW		Ozon (O <sub>3</sub> )				LRV IGW	
Jahresmittel		[µg/m³]		28	30	Jahresmittel		[µg/m³]		19	20	Jahresmittel		[µg/m³]			-
max. Tagesmittel		[µg/m³]		61	-	max. Tagesmittel		[µg/m³]		61	-	Anz. Stundenmittel > 120 µg/m³				31	1
Anzahl Tage > 80 µg/m³				0	1	Anzahl Tage > 50 µg/m³				8	1	max. Stundenmittel		[µg/m³]		135	-

Verkehrsmenge:									
DTV Total	Personen-wagen (K3)	Güterverkehr (K1,4,6,7)	Schwererkehr (K5,6,7)	%-Anteil Pw-Verkehr (K3)	%-Anteil Güterverkehr (K1,4,6,7)	%-Anteil Schwererkehr (K5,6,7)	Busse, Cars (K1)	%-Anteil Motorrad (K2)	Messdauer Juli 03-Aug 04
15235	12610	2338	674	83	15	4	0.9	1.9	JM

### Toxikologie der PAKs

m: gesichert mutagen  
m?: vermutlich mutagen  
k: gesichert kanzerogen  
k?: vermutlich kanzerogen  
Quelle: WHO, 1998, 2003. Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution.

Organische: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe									
PNr.	1011	1012	1015		Statistische Werte				
PAK-Substanzen, Tox.	µg/kg	µg/kg	µg/kg		Mean	SD	Median	N	Kürzel
Naphthalin K?	6	n.n	n.n		6	.	6	1	Napt
Acenaphthylen m?	8	7	8		7	1	8	3	Aceny
Acenaphthen m?	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Acene
Fluoren -	16	11	14		14	3	14	3	Fluo
Phenanthren m?,k	131	94	94		106	21	94	3	Phe
Anthracen -	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Antrc
3.6-Dimethylphenanthren	n.n	n.n	43		43	.	43	1	36Dip
Fluoranthen k?,m	75	86	76		79	6	76	3	Fluoa
Pyren m?,k?	49	57	65		57	8	57	3	Pyr
Benzo(b)fluoren m?,k?	n.n	4	n.n		4	.	4	1	Bzbfl
Benzo(c)phenanthren km	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Bzcpb
Benz(a)anthracen k,m	15	9	n.n		12	4	12	2	Bzaant
Chrysen k,m	36	24	25		28	7	25	3	Chry
Benzo(b)fluoranthen k,m	64	36	93		64	29	64	3	Bzbfla
Benzo(k)fluoranthen k,m	44	25	108		59	44	44	3	Bekfla
Benzo(b,k)fluoranthen k,m	108	60	201		123	72	108	3	Bzbkfla
Benzo(b)naphtho-(1,2-d)thiophen	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Bz12t
Benzo(e)pyren k?,m	61	8	210		93	105	61	3	BeP
Benzo(a)pyren k,m	48	.	145		97	69	97	2	BaP
Perylen m	47	89	102		80	29	89	3	Pery
Dibenz(a,i)anthracen ?	29	8	n.n		18	15	18	2	Dibajp
Indeno(123-c,d)pyren k	199	16	259		158	127	199	3	I123py
Dibenz(a,h)anthracen k,m	7	31	56		31	25	31	3	Diaha
Benzo(g,h,i)perylene m	148	29	14		64	73	29	3	Bghip
Anthanthren -	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Anta
Dibenz(a,l)pyren k,m?	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Dibalp
Coronen k?,m	33	24	12		23	11	24	3	Cor
Dibenz(a,h)pyren k,m	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Dibahp
PAK Summe 27	1016	556	1326		966	387	1016	3	PAK27
PAK Summe 20	986	545	1283		938	371	986	3	PAK20
Σ 14 mutagener PAKs m	577	360	843		593	241	577	3	PAK14
Σ 12 kanzerogener PAKs k	543	235	781		520	274	543	3	PAK12
Σ 9 mut. & kanz.PAKs m,k	213	125	428		255	156	213	3	PAK9

## Standort Nr. 11: Forst-Neuenegg (Referenz Mittelland)

Referenzmessstation der Biomonitoring-Methode für Hintergrundbelastung der Luft.

**Nähere Umgebung:** Aufforstungsstandort mit jungen *Acer pseudoplatanus* Bäumen (Flechtenprobe) weit entfernt von Emissionsquellen. 15km westlich von Bern. Typische Hintergrundsituation für das Schweizer Mittelland. mit Werten für «Luftgesamtbelastung IAP18»: Multielement-Belastung. inkl. einzelne Schwermetalle und «Heavy Metal Index HMI» sowie Belastung von POPs.

**Standortcharakteristik:** Ländlich, weit entfernt von Emissions-Quellen

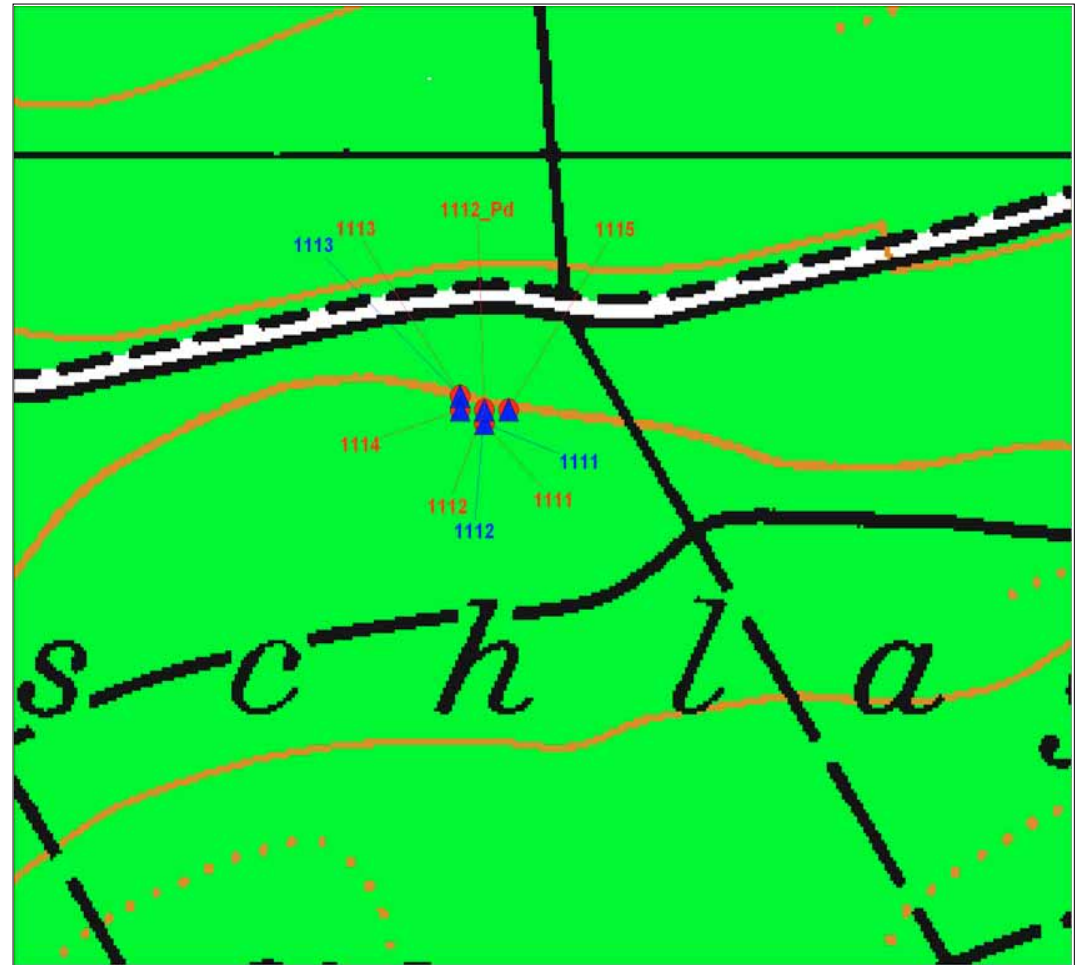
**Besonderheiten:** Fast alle Minimwerte der Schwermetalle, POP-Einzelsubstanzen und  $\Sigma$ Parameter.

### Biomonitoring Kenngrössen

Schwermetalle	mg/kg	Prädikat	Polyaromate PAKs		µg/kg
Schwermetall-Belastungsindex	21	sehr gering	PAK-Summe 27		427
Antimon	0.2		Summe mutagener PAKs	m	152
Molybdän	0.5		Summe kanzerogener PAKs	k	157
Vanadium	1.4		Summe mut./kanz. PAKs	m, k	60
Platin	0.0004		Benzo(b,k)fluoranthen	k,m	46
Cer	0.52		Benzo(a)pyren	k,m	11
<b>Luftgesamtbelastung (IAP18)</b>	<b>61</b>	<b>sehr gering</b>	Indeno(1,2,3-cd)pyren	k	<5



## MfM-U Biomonitoring - Ersterfassung 2003



- Legende:
- anorganische Probenahme mit Probennummer
  - ▲ organische Probenahme mit Probennummer
  - ★ technische Immissionsmessung
  - ▼ Verkehrsmessung

**Standort Nr. 11: Forst-Neuenegg - emittentenferner Hintergrundbelastung im Schweizer Mittelland**

# Standort Nr. 11: Forst-Neuenegg (Referenz Mittelland)

## Kategorie 6: Hintergrund

	Anorganische Luftschadstoffe: Schwermetalle									Belastungssituation			
PNr.	1111	1112	1113	1114	1115	Statistische Werte				Klas-se	Pikto-gramm	Belastungs-Prädikat	Kürzel
Elemente	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	Mean	SD	Median	N	1-6			
Blei	9.8	13.0	8.1	13.6	12.2	11.3	2.3	12.2	5	1	.	sehr gering	Pb
Cadmium	0.27	0.11	0.11	0.11	0.13	0.15	0.07	0.11	5	1	.	sehr gering	Cd
Kupfer	6.1	4.6	4.5	5.7	5.8	5.3	0.7	5.7	5	1	.	sehr gering	Cu
Zink	72	33	34	38	45	45	16	38	5	1	.	sehr gering	Zn
Eisen	323	360	400	455	462	400	60	400	5	1	.	sehr gering	Fe
Molybdän	0.46	0.52	0.53	0.65	0.59	0.55	0.07	0.53	5	3	●	mittel	Mo
Chrom	4.3	4.0	3.6	5.1	4.7	4.3	0.6	4.3	5	4	●	hoch	Cr
Cobalt	0.14	0.15	0.19	0.20	0.23	0.18	0.04	0.19	5	2	●	gering	Co
Nickel	2.5	2.2	2.2	2.7	3.0	2.5	0.3	2.5	5	1	.	sehr gering	Ni
Vanadium	1.2	1.3	1.2	1.8	1.5	1.4	0.3	1.3	5	1	.	sehr gering	V
Arsen	0.23	0.35	0.40	0.38	0.43	0.36	0.08	0.38	5	1	.	sehr gering	As
Zinn	0.16	0.34	0.19	0.27	0.36	0.26	0.09	0.27	5	2	●	gering	Sn
Antimon	0.15	0.18	0.22	0.24	0.23	0.20	0.04	0.22	5	2	●	gering	Sb
Platin	0.0002	0.0002	0.0009	0.0006	0.0003	0.0004	0.000	0.0003	5	1	.	sehr gering	Pt
Palladium	0.018	0.007	0.006	0.009	0.01	0.010	0.00	0.009	5				Pd
Cer	0.41	0.46	0.54	0.60	0.62	0.52	0.09	0.54	5				Ce
Gesamt-schwefel	719	900	774	1109	924	885	151	900	5	1	.	sehr gering	S-total
Gesamtbel.	Esterhebung Stadt Bern 1990					61	.	.	0		.	sehr gering	IAP18
				Schwermetall-Belastungs-Index						21	.	sehr gering	SMI

Luftimmission:									
Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )		LRV IGW	Feinstaub (PM10)		LRV IGW	Ozon (O <sub>3</sub> )		LRV IGW	
Jahresmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	30	Jahresmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	20	Jahresmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	-	
max. Tagesmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	-	max. Tagesmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	-	Anz. Stundenmittel > 120 µg/m <sup>3</sup>		1	
Anzahl Tage > 80 µg/m <sup>3</sup>		1	Anzahl Tage > 50 µg/m <sup>3</sup>		1	max. Stundenmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	-	

Verkehrsmenge:									
DTV Total	Personen-wagen (K3)	Güterverkehr (K1,4,6,7)	Schwererkehr (K5,6,7)	%-Anteil Pw-Verkehr (K3)	%-Anteil Güterverkehr (K1,4,6,7)	%-Anteil Schwererkehr (K5,6,7)	Busse, Cars (K1)	%-Anteil Motorrad (K2)	Messdauer
150	110	30	10	Schätzung					

### Toxikologie der PAKs

m: gesichert mutagen  
m?: vermutlich mutagen  
k: gesichert kanzerogen  
k?: vermutlich kanzerogen  
Quelle: WHO, 1998, 2003. Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution.

Organische: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe										
PNr.		1111	1112	1113		Statistische Werte				
PAK-Substanzen, Tox.		µg/kg	µg/kg	µg/kg		Mean	SD	Median	N	Kürzel
Naphthalin	K?	7	23	15		15	8	15	3	Napt
Acenaphthylen	m?	8	8	7		7	0	8	3	Aceny
Acenaphthen	m?	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Acene
Fluoren	-	21	21	19		20	1	21	3	Fluo
Phenanthren	m?,k	97	112	82		97	15	97	3	Phe
Anthracen	-	71	99	116		95	23	99	3	Antrc
3.6-Dimethylphenanthren		n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	36Dip
Fluoranthren	k?,m	81	85	73		80	6	81	3	Fluoa
Pyren	m?,k?	41	40	38		40	1	40	3	Pyr
Benzo(b)fluoren	m?,k?	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Bzbfl
Benzo(c)phenanthren	km	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Bzcpb
Benz(a)anthracen	k,m	n.n	n.n	13		13	.	13	1	Bzaant
Chrysen	k,m	n.n	n.n	20		20	.	20	1	Chry
Benzo(b)fluoranthren	k,m	34	30	23		29	6	30	3	Bzbfla
Benzo(k)fluoranthren	k,m	23	7	19		16	8	19	3	Bekfla
Benzo(b,k)fluoranthren	k,m	57	38	42		46	10	42	3	Bzbkfla
Benzo(b)naphtho-(1,2-d)thiophen		n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Bz12t
Benzo(e)pyren	k?,m	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	BeP
Benzo(a)pyren	k,m	11	n.n	n.n		11	.	11	1	BaP
Perylen	m	.	37	n.n		37	.	37	1	Pery
Dibenz(a,i)anthracen	?	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Dibajp
Indeno(123-c,d)pyren	k	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	I123py
Dibenz(a,h)athracen	k,m	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Diaha
Benzo(g,h,i)perylene	m	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Bghip
Anthanthren	-	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Anta
Dibenz(a,l)pyren	k,m?	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Dibalp
Coronen	k?,m	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Cor
Dibenz(a,h)pyren	k,m	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Dibahp
PAK Summe 27		393	463	425		427	35	425	3	PAK27
PAK Summe 20		393	463	425		427	35	425	3	PAK20
Σ mutagener PAKs	m	148	159	149		152	6	149	3	PAK14
Σ kanzerogener PAKs,	k	164	150	157		157	7	157	3	PAK12
Σ mut. & kanz.PAKs	m,k	67	38	76		60	20	67	3	PAK9



## Standort Nr. 18: Habkern-Grünenbergpass (Referenz subalpine Gebiete)

subalpine Referenzmessstation der Biomonitoring-Methode für Hintergrundbelastung der Luft.

**Nähere Umgebung:** subalpiner Höhenstandort 1320m, emittententfern, im Gebiet Schröpfungswald zwischen Habkern und Vorderes Seefeld (BE).

**Standortcharakteristik:** subalpin, weit entfernt von Emissions-Quellen

**Besonderheiten:** Nahe am absoluten Belastungsminimum von 13. Fast alle Minimalwerte der Schwermetalle und PAKs.

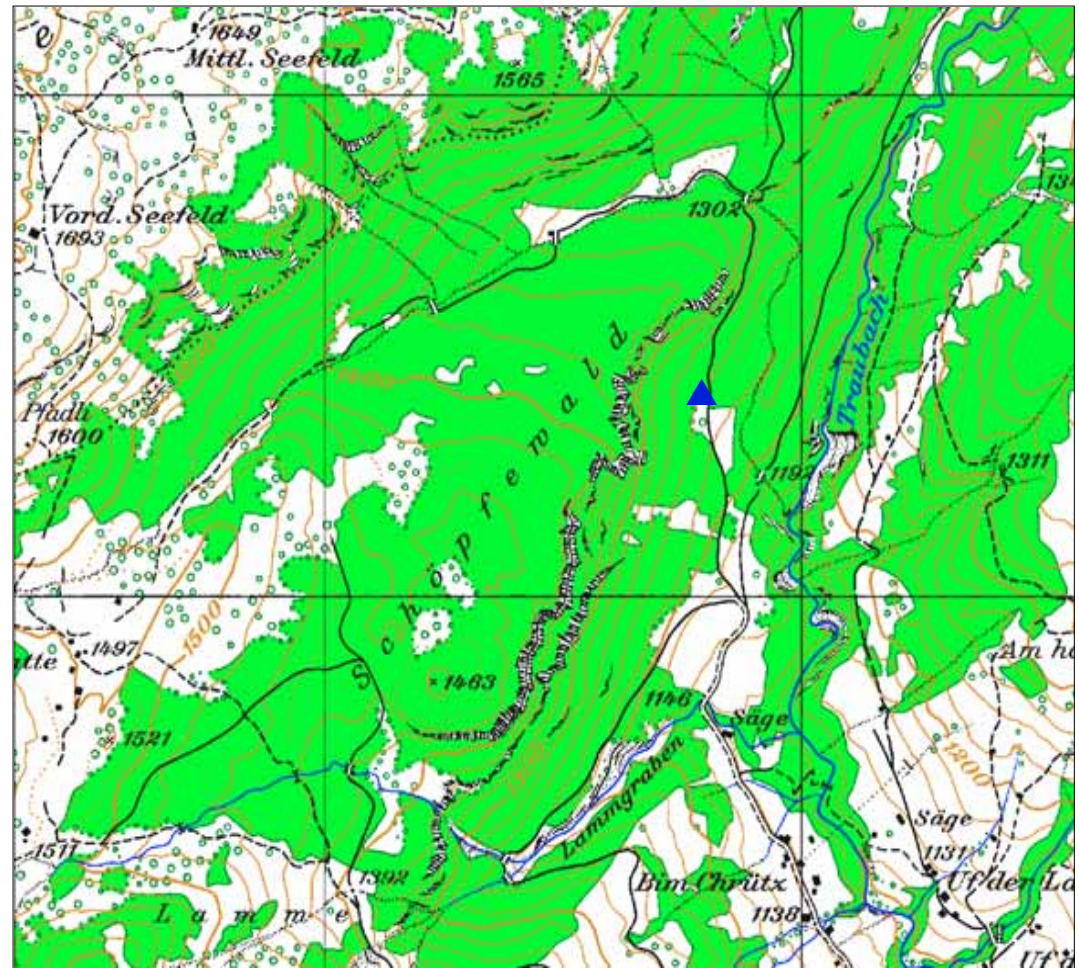
Luftgesamtbelastung nicht erfasst.

### Biomonitoring Kenngrößen

Schwermetalle	mg/kg	Prädikat	Polyaromate PAKs	µg/kg
Schwermetall-Belastungsindex	18	sehr gering	PAK-Summe 27	217
Antimon	0.2		Summe mutagener PAKs m	42
Molybdän	0.5		Summe kanzerogener PAKs k	68
Vanadium	2.0		Summe mut./kanz. PAKs m, k	42
Platin	0.0001		Benzo(b,k)fluoranthen k,m	26
Cer	0.56		Benzo(a)pyren k,m	n.n.
Luftgesamtbelastung (IAP18)	nd		Indeno(1,2,3-cd)pyren k	n.n.



## MfM-U Biomonitoring - Ersterfassung 2003



- Legende:
- anorganische Probenahme mit Probenummer
  - ▲ organische Probenahme mit Probenummer
  - ★ technische Immissionsmessung
  - ▼ Verkehrsmessung

**Standort Nr. 18: Habkern Grünenbergpass (BE) - subalpine Hintergrundbelastung**

## Standort Nr. 18: Habkern Grönenbergpass (Referenz subalpin)

## Kategorie 6: Hintergrund

Anorganische Luftschadstoffe: Schwermetalle										Belastungssituation			
PNr.	1211-1	1211-2				Statistische Werte				Klas-se	Pikto-gramm	Belastungs-Prädikat	Kürzel
Elemente	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	Mean	SD	Median	N	1-6			
Blei	16.95	17.64				17.3	0.5		2	1	•	sehr gering	Pb
Cadmium	0.152	0.174				0.163	0.02		2	1	•	sehr gering	Cd
Kupfer	4.50	4.70				4.6	0.1		2	1	•	sehr gering	Cu
Zink	53.1	56.2				55	2		2	1	•	sehr gering	Zn
Eisen	498	552				525	38		2	1	•	sehr gering	Fe
Molybdän	0.490	0.520				0.51	0.02		2	3	●	mittel	Mo
Chrom	4.00	4.80				4.4	0.6		2	3	●	mittel	Cr
Cobalt	0.180	0.220				0.200	0.03		2	2	●	gering	Co
Nickel	2.40	2.70				2.6	0.2		2	1	•	sehr gering	Ni
Vanadium	1.90	2.02				2.0	0.1		2	1	•	sehr gering	V
Arsen	0.340	0.360				0.350	0.01		2	1	•	sehr gering	As
Zinn	0.210	0.290				0.250	0.06		2	1	•	sehr gering	Sn
Antimon	0.169	0.176				0.173	0.00		2	1	•	sehr gering	Sb
Platin	0.0001	0.0001				0.0001	0.000		2	1	•	sehr gering	Pt
Palladium	0.0051	0.0064				0.006	0.00		2		•	sehr gering	Pd
Cer	0.54	0.59				0.56	0.04		2				Ce
Gesamt-schwefel	726	795				761	49		2	1	•	sehr gering	S-total
Gesamtbel.	.	.	.	.	.	.	.	.	0				IAP18
Schwermetall-Belastungs-Index										18	•	sehr gering SMI	

## Luftimmission:

Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )	LRV IGW	Feinstaub (PM10)	LRV IGW	Ozon (O <sub>3</sub> )	LRV IGW
Jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	30	Jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	20	Jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	-
max. Tagesmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	-	max. Tagesmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	-	Anz. Stundenmittel > 120 µg/m <sup>3</sup>	1
Anzahl Tage > 80 µg/m <sup>3</sup>	1	Anzahl Tage > 50 µg/m <sup>3</sup>	1	max. Stundenmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	-

## Verkehrsmenge:

DTV Total	Personen-wagen (K3)	Güterverkehr (K1,4,6,7)	Schwererkehr (K5,6,7)	%-Anteil P/W-Verkehr (K3)	%-Anteil Güterverkehr (K1,4,6,7)	%-Anteil Schwererkehr (K5,6,7)	Busse, Cars (K1)	%-Anteil Motorrad (K2)	Messdauer
0	0	0	0						

## Toxikologie der PAKs

m: gesichert mutagen  
m?: vermutlich mutagen  
k: gesichert kanzerogen  
k?: vermutlich kanzerogen  
Quelle: WHO, 1998, 2003. Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution.

Organische: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe										
PNr.		1211				Statistische Werte				
PAK-Substanzen, Tox.		µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	Mean	SD	Median	N	Kürzel
Naphthalin	K?	n.n				n.n	.	.	0	Napt
Acenaphthylen	m?	n.n				n.n	.	.	0	Aceny
Acenaphthen	m?	n.n				n.n	.	.	0	Acene
Fluoren	-	12				12	.	12	1	Fluo
Phenanthren	m?,k	25				25	.	25	1	Phe
Anthracen	-	119				119	.	119	1	Antrc
3.6-Dimethylphenanthren		n.n				n.n	.	.	0	36Dip
Fluoranthren	k?,m	n.n				n.n	.	.	0	Fluoa
Pyren	m?,k?	19				19	.	19	1	Pyr
Benzo(b)fluoren	m?,k?	n.n				n.n	.	.	0	Bzbfl
Benzo(c)phenanthren	km	n.n				n.n	.	.	0	Bzcpb
Benz(a)anthracen	k,m	4				4	.	4	1	Bzaant
Chrysen	k,m	13				13	.	13	1	Chry
Benzo(b)fluoranthren	k,m	19				19	.	19	1	Bzbfla
Benzo(k)fluoranthren	k,m	7				7	.	7	1	Bekfla
Benzo(b,k)fluoranthren	k,m	26				26	.	26	1	Bzbkfla
Benzo(b)naphtho-(1,2-d)thiophen		n.n				n.n	.	.	0	Bz12t
Benzo(e)pyren	k?,m	n.n				n.n	.	.	0	BeP
Benzo(a)pyren	k,m	n.n				n.n	.	.	0	BaP
Perylen	m	n.n				n.n	.	.	0	Pery
Dibenz(a,j)anthracen	?	n.n				n.n	.	.	0	Dibajp
Indeno(123-c,d)pyren	k	n.n				n.n	.	.	0	I123py
Dibenz(a,h)athracen	k,m	n.n				n.n	.	.	0	Diaha
Benzo(g,h,i)perylen	m	n.n				n.n	.	.	0	Bghip
Anthanthren	-	n.n				n.n	.	.	0	Anta
Dibenz(a,l)pyren	k,m?	n.n				n.n	.	.	0	Dibalp
Coronen	k?,m	n.n				n.n	.	.	0	Cor
Dibenz(a,h)pyren	k,m	n.n				n.n	.	.	0	Dibahp
PAK Summe 27		219				219	.	219	1	PAK27
PAK Summe 20		219				219	.	219	1	PAK20
Σ mutagener PAKs	m	42				42	.	42	1	PAK14
Σ kanzerogener PAKs,	k	68				68	.	68	1	PAK12
Σ mut. & kanz.PAKs	m,k	42				42	.	42	1	PAK9



## Standort Nr. 12: Bern Wankdorf

Kontinuierliche und diskontinuierliche Immissionsmessung in der Nähe, kant. Verkehrsmessung.

**Nähere Umgebung:** A1/A6-Autobahnzubringer mit sehr hohem Schwerverkehrsanteil.

**Standortcharakteristik:** hochfrequenzierter Verkehrsstandort mit sehr hohem LKW-Einfluss im Nahbereich.

**Besonderheiten:** Spezialstandort einer Erfolgskontrollstudie der Stadt Bern, ohne Schwermetallerfassung.

Extrem hohe Belastung für die meisten Polyaromate, inkl. der mutagenen und kanzerogenen PAKs sowie der PAK-Summenwerte. Stärkere Belastungswerte als an den beiden LKW-Checkpoints Basel und Chiasso.

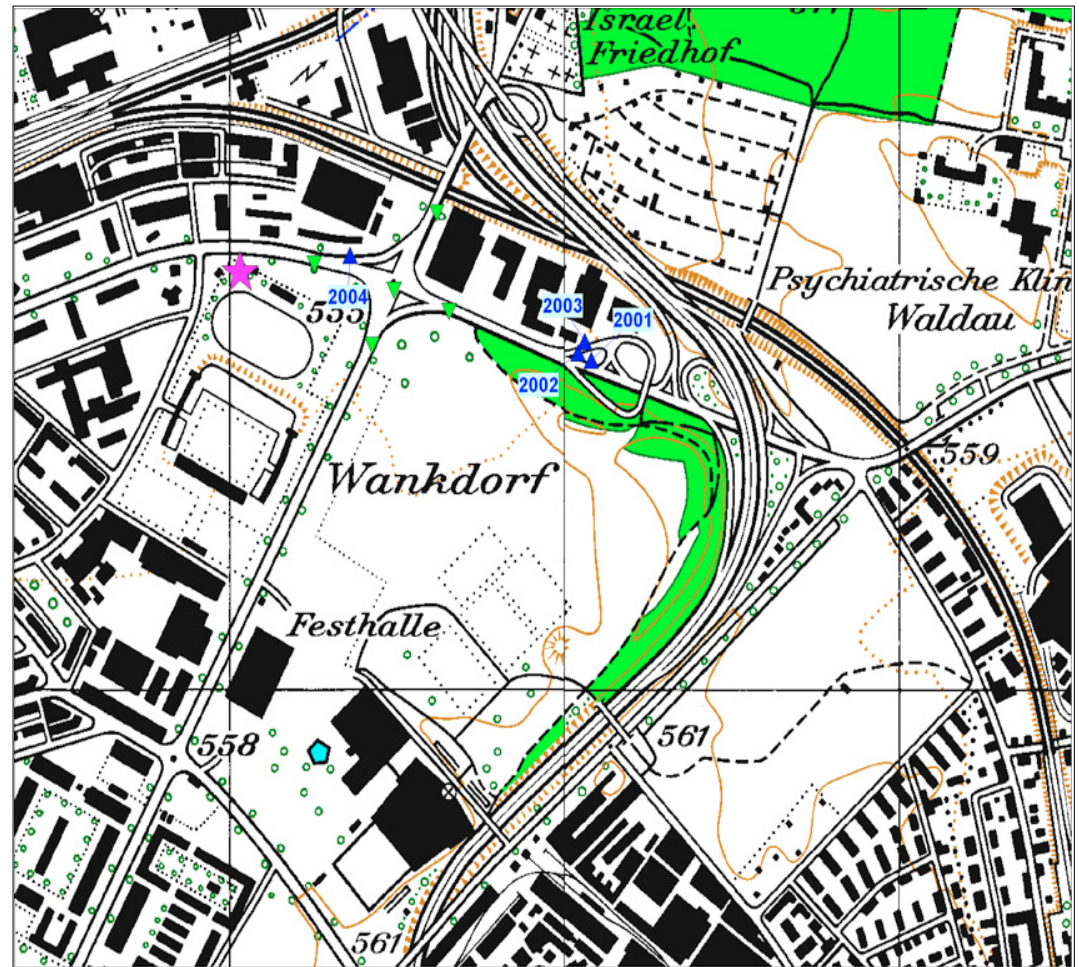
Luftgesamtbelastung mittel; in der weiteren Umgebung erfasst.

### Biomonitoring Kenngrößen

Schwermetalle	mg/kg	Prädikat	Polyaromate PAKs	µg/kg
Schwermetall-Belastungsindex			PAK-Summe 27	12933
Antimon			Summe mutagener PAKs m	8826
Molybdän			Summe kanzerogener PAKs k	6096
Vanadium			Summe mut./kanz. PAKs m, k	4102
Platin			Benzo(b,k)fluoranthren k,m	2131
Cer			Benzo(a)pyren k,m	480
Luftgesamtbelastung (IAI)	51	gering	Indeno(1,2,3-cd)pyren k	710



## MfM-U Biomonitoring - Ersterfassung 2003



Legende:

- anorganische Probenahme mit Probennummer
- ▲ organische Probenahme mit Probennummer
- ★ technische Immissionsmessung
- ▼ Verkehrsmessung

**Standort Nr. 12: Bern-Wankdorf, Autobahnkreuz A6 mit Hauptachse Schwermenweg**



# Standort Nr. 12: Bern Wankdorf

Kategorie 1: Stadt, Verkehr

Anorganische Luftschadstoffe: Schwermetalle										Belastungssituation			
PNr.						Statistische Werte				Klas- se	Pikto- gramm	Belastungs- Prädikat	Kürzel
Elemente	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	Mean	SD	Median	N	1-6			
Blei													Pb
Cadmium													Cd
Kupfer													Cu
Zink													Zn
Eisen													Fe
Molybdän													Mo
Chrom													Cr
Cobalt													Co
Nickel													Ni
Vanadium													V
Arsen													As
Zinn													Sn
Antimon													Sb
Platin													Pt
Palladium													Pd
Cer													Ce
Gesamt- schwefel													S-total
Gesamtbel.	38	64	64	51	39	51	13		5		●	gering	IAP18
Schwermetall-Belastungs-Index													SMI

Luftimmission:									
Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )		LRV IGW	Feinstaub (PM10)		LRV IGW	Ozon (O <sub>3</sub> )		LRV IGW	
Jahresmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	38 *	30	Jahresmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	20	Jahresmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	-
max. Tagesmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	92	-	max. Tagesmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	-	Anz. Stundenmittel > 120 µg/m <sup>3</sup>		1
Anzahl Tage > 80 µg/m <sup>3</sup>		4	1	Anzahl Tage > 50 µg/m <sup>3</sup>		1	max. Stundenmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	-

Verkehrsmenge: Bern-Scherenstrasse, Link 503310.01									
DTV Total	Personen- wagen (K3)	Güterverkehr (K1,4,6,7)	Schwererkehr (K5,6,7)	%-Anteil Pw-Verkehr (K3)	%-Anteil Güterverkehr (K1,4,6,7)	%-Anteil Schwererkehr (K5,6,7)	Busse, Cars (K1)	%-Anteil Motorrad (K2)	Messdauer 2003
32900									

## Toxikologie der PAKs

m: gesichert mutagen  
m?: vermutlich mutagen  
k: gesichert kanzerogen  
k?: vermutlich kanzerogen  
Quelle: WHO, 1998, 2003. Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution.

Organische: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe									
PNr.	2001	2002	2003	2004	Statistische Werte				
PAK-Substanzen, Tox.	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	Mean	SD	Median	N	Kürzel
Naphthalin	K?	115	98	74	100	97	17	99	4 Napt
Acenaphthylen	m?	64	50	37	38	48	13	44	4 Aceny
Acenaphthen	m?	n.n	n.n	20	n.n	20	.	20	1 Acene
Fluoren	-	62	76	82	47	67	16	69	4 Fluo
Phenanthren	m?,k	1239	1232	1668	593	1183	443	1236	4 Phe
Anthracen	-	67	37	38	36	45	15	38	4 Antrc
3.6-Dimethylphenanthren		84	83	82	136	96	26	84	4 36Dip
Fluoranthen	k?,m	1773	1746	3338	653	1878	1104	1759	4 Fluoa
Pyren	m?,k?	1312	1334	2364	536	1387	750	1323	4 Pyr
Benzo(b)fluoren	m?,k?	43	37	55	.	45	9	43	3 Bzbfl
Benzo(c)phenanthren	km	100	100	165	26	98	57	100	4 Bzcph
Benz(a)anthracen	k,m	338	307	502	77	306	175	323	4 Bzaant
Chrysen	k,m	909	893	1656	202	915	594	901	4 Chry
Benzo(b)fluoranthen	k,m	930	1419	4576	191	1779	1932	1174	4 Bzbfla
Benzo(k)fluoranthen	k,m	245	411	635	115	352	225	328	4 Bekfla
Benzo(b,k)fluoranthen	k,m	1175	1830	5212	307	2131	2147	1502	4 Bzbkfla
Benzo(b)naphtho-(1,2-d)thiophen		29	192	54	n.n	92	88	54	3 Bz12t
Benzo(e)pyren	k?,m	273	333	140	160	226	92	216	4 BeP
Benzo(a)pyren	k,m	479	438	905	98	480	331	458	4 BaP
Perylen	m	531	175	262	84	263	193	218	4 Pery
Dibenz(a,i)anthracen	?	125	336	164	n.n	208	112	164	3 Dibajp
Indeno(123-c,d)pyren	k	401	1179	1087	174	710	498	744	4 I123py
Dibenz(a,h)anthracen	k,m	439	164	48	38	172	187	106	4 Diaha
Benzo(g,h,i)perylene	m	2394	1872	3481	922	2167	1067	2133	4 Bghip
Anthanthren	-	95	n.n	345	n.n	220	177	220	2 Anta
Dibenz(a,l)pyren	k,m?	246	45	113	n.n	134	102	113	3 Dibalp
Coronen	k?,m	570	69	28	95	190	254	82	4 Cor
Dibenz(a,h)pyren	k,m	n.n	n.n	n.n	n.n	.	.	.	0 Dibahp
PAK Summe 27		12866	12624	21920	4323	12933	7188	12745	4 PAK27
PAK Summe 20		12238	11832	21287	4161	12379	7005	12035	4 PAK20
Σ 14 mutagener PAKs	m	8982	7925	15736	2662	8826	5372	8454	4 PAK14
Σ 12 kanzerogener PAKs	k	5326	6187	11355	1514	6096	4052	5757	4 PAK12
Σ 9 mut. & kanz.PAKs	m,k	3441	3731	8487	747	4102	3218	3586	4 PAK9

## Standort Nr. 13: Bern Forsthaus

Kontinuierliche und diskontinuierliche Immissionsmessung in der Nähe, kant. Verkehrsmessung. MfM-U-Standort.

**Nähere Umgebung:** A1/A12-Autobahnzubringer Weyermannshaus und Hauptachse Murtenstrasse mit hohem Schwerverkehrsanteil.

**Standortcharakteristik:** hochfrequentierter Verkehrsstandort mit hohem LKW-Einfluss im Nahbereich.

**Besonderheiten:** Spezialstandort der Erfolgskontrollstudie der Stadt Bern und des MfM-U, ohne Schwermetallerfassung. Hohe Belastung für die meisten Polyaromate, incl. der mutagenen und kanzerogenen PAKs sowie der PAK-Summenwerte.

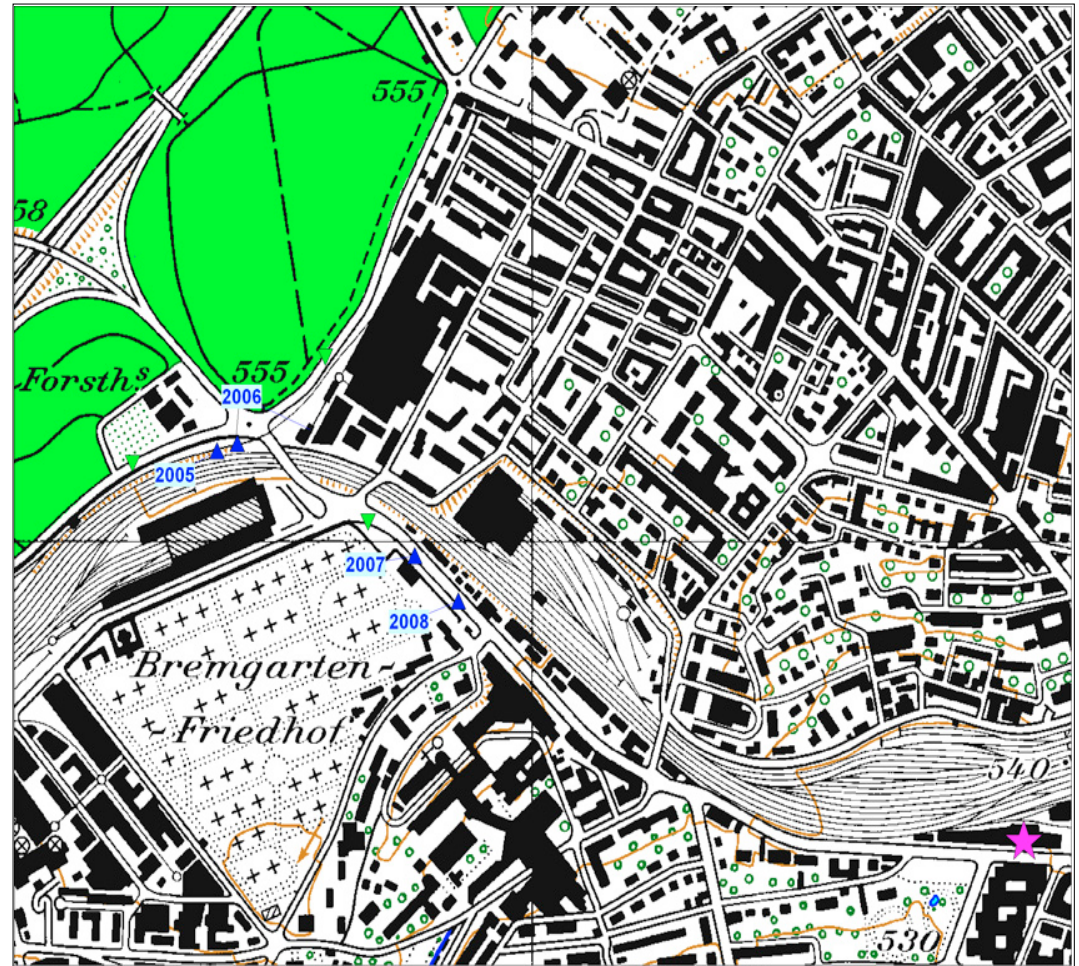
Luftgesamtbelastung mittel; jedoch in der weiteren Umgebung erfasst.

### Biomonitoring Kenngrössen

Schwermetalle	mg/kg	Prädikat	Polyaromate PAKs	µg/kg
Schwermetall-Belastungsindex		kritisch hoch	PAK-Summe 27	<b>6373</b>
Antimon			Summe mutagener PAKs m	<b>3970</b>
Molybdän			Summe kanzerogener PAKs k	<b>2360</b>
Vanadium			Summe mut./kanz. PAKs m, k	<b>1254</b>
Platin			Benzo(b,k)fluoranthren k,m	553
Cer			Benzo(a)pyren k,m	139
Luftgesamtbelastung (IAI)	<b>33</b>	<b>mittel</b>	Indeno(1,2,3-cd)pyren k	226



## MfM-U Biomonitoring - Ersterfassung 2003



- Legende:
- anorganische Probenahme mit Probenummer
  - ▲ organische Probenahme mit Probenummer
  - ★ technische Immissionsmessung
  - ▼ Verkehrsmessung

**Standort Nr. 13: Bern-Forsthaus, Autobahnverzweigung A12 Weyermannshaus mit Hauptachse Murtenstrasse**

# Standort Nr. 13: Bern Forsthaus

## Kategorie 1: Stadt, Verkehr

Anorganische Luftschadstoffe: Schwermetalle										Belastungssituation			
PNr.						Statistische Werte				Klas- se	Pikto- gramm	Belastungs- Prädikat	Kürzel
Elemente	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	Mean	SD	Median	N	1-6			
Blei													Pb
Cadmium													Cd
Kupfer													Cu
Zink													Zn
Eisen													Fe
Molybdän													Mo
Chrom													Cr
Cobalt													Co
Nickel													Ni
Vanadium													V
Arsen													As
Zinn													Sn
Antimon													Sb
Platin													Pt
Palladium													Pd
Cer													Ce
Gesamt- schwefel													S-total
Gesamtbel.	19	22	29	54	39	33	14		5		●	mittel	IAP18
Schwermetall-Belastungs-Index													SMI

Luftimmission:									
Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )		LRV IGW	Feinstaub (PM10)		LRV IGW	Ozon (O <sub>3</sub> )			LRV IGW
Jahresmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	30	Jahresmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	20	Jahresmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]		-
max. Tagesmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	-	max. Tagesmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	-	Anz. Stundenmittel > 120 µg/m <sup>3</sup>			1
Anzahl Tage > 80 µg/m <sup>3</sup>		1	Anzahl Tage > 50 µg/m <sup>3</sup>		1	max. Stundenmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]		-

Verkehrsmenge: Murtenstrasse-Steigerhubelstrasse									
DTV Total	Personen- wagen (K3)	Güterverkehr (K1,4,6,7)	Schwererkehr (K5,6,7)	%-Anteil Pw-Verkehr (K3)	%-Anteil Güterverkehr (K1,4,6,7)	%-Anteil Schwererkehr (K5,6,7)	Busse, Cars (K1)	%-Anteil Motorrad (K2)	Messdauer 2003
14500									

### Toxikologie der PAKs

m: gesichert mutagen  
m?: vermutlich mutagen  
k: gesichert kanzerogen  
k?: vermutlich kanzerogen  
Quelle: WHO, 1998, 2003. Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution.

Organische: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe									
PNr.	2005	2006	2007	2008	Statistische Werte				
PAK-Substanzen, Tox.	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	Mean	SD	Median	N	Kürzel
Naphthalin	k?	110	148	114	118	122	17	116	4 Napt
Acenaphthylen	m?	51	65	56	53	56	6	55	4 Aceny
Acenaphthen	m?	25	234	n.n	16	92	123	25	3 Acene
Fluoren	-	78	76	83	77	78	3	77	4 Fluo
Phenanthren	m?,k	694	970	905	785	839	123	845	4 Phe
Anthracen	-	38	54	33	108	59	34	46	4 Antrc
3.6-Dimethylphenanthren		60	72	59	73	66	8	66	4 36Dip
Fluoranthen	k?,m	899	988	882	891	915	49	895	4 Fluoa
Pyren	m?,k?	641	775	714	742	718	57	728	4 Pyr
Benzo(b)fluoren	m?,k?	21	30	n.n	31	27	6	30	3 Bzbfl
Benzo(c)phenanthren	km	42	37	38	41	39	3	39	4 Bzcph
Benzo(a)anthracen	k,m	137	126	114	125	126	9	126	4 Bzaant
Chrysen	k,m	309	347	332	319	327	17	325	4 Chry
Benzo(b)fluoranthen	k,m	371	413	267	594	411	137	392	4 Bzbfla
Benzo(k)fluoranthen	k,m	145	171	181	68	141	51	158	4 Bekfla
Benzo(b,k)fluoranthen	k,m	517	584	448	663	553	92	550	4 Bzbkfla
Benzo(b)naphtho-(1,2-d)thiophen		n.n	10	73	72	52	36	72	3 Bz12t
Benzo(e)pyren	k?,m	105	193	186	177	165	41	181	4 BeP
Benzo(a)pyren	k,m	160	149	139	110	139	21	144	4 BaP
Perylen	m	70	127	158	46	100	51	98	4 Pery
Dibenz(a,i)anthracen	?	n.n	102	18	n.n	60	59	60	2 Dibajp
Indeno(123-c,d)pyren	k	393	243	121	149	226	123	196	4 I123py
Dibenz(a,h)anthracen	k,m	n.n	57	159	66	94	56	66	3 Diaha
Benzo(g,h,i)perylene	m	1302	1990	1320	541	1288	592	1311	4 Bghip
Anthanthren	-	n.n	n.n	162	n.n	162	.	162	1 Anta
Dibenz(a,l)pyren	k,m?	44	97	21	.	54	39	44	3 Dibalp
Coronen	k?,m	223	278	225	262	247	27	244	4 Cor
Dibenz(a,h)pyren	k,m	n.n	n.n	n.n	n.n	.	.	.	0 Dibahp
PAK Summe 27		5917	7751	6361	5464	6373	989	6139	4 PAK27
PAK Summe 20		5751	7403	6152	5246	6138	921	5951	4 PAK20
Σ 14 mutagener PAKs	m	3763	4876	4001	3239	3970	683	3882	4 PAK14
Σ 12 kanzerogener PAKs	k	2295	2611	2276	2258	2360	168	2286	4 PAK12
Σ 9 mut. & kanz.PAKs	m,k	1165	1301	1229	1324	1254	72	1265	4 PAK9



## Standort Nr. 14: Bern Eigerplatz

NO<sub>2</sub>-Passivsammlermessung in der Nähe, kant. Verkehrsmessung.

**Nähere Umgebung:** Städtische Hauptverkehrsachse.

**Standortcharakteristik:** hochfrequentierter Verkehrsstandort mit sehr hohem LKW-Einfluss (Dieselbusse) im Nahbereich.

**Besonderheiten:** Spezialstandort einer Erfolgskontrollstudie der Stadt Bern, ohne Schwermetallerfassung.

Hohe Belastung für die meisten Polyaromate, inkl. der mutagenen und kanzerogenen PAKs sowie der PAK-Summenwerte.

Luftgesamtbelastung hoch; in der weiteren Umgebung erfasst.

Biomonitoring Kenngrößen			
Schwermetalle	mg/kg	Prädikat	Polyaromate PAKs
Schwermetall-Belastungsindex			PAK-Summe 27
Antimon			Summe mutagener PAKs m
Molybdän			Summe kanzerogener PAKs k
Vanadium			Summe mut./kanz. PAKs m, k
Platin			Benzo(b,k)fluoranthen k,m
Cer			Benzo(a)pyren k,m
Luftgesamtbelastung (IAI)	16	kritisch	Indeno(1,2,3-cd)pyren k
			µg/kg
			3838
			2328
			1431
			765
			319
			91
			129

## MfM-U Biomonitoring - Ersterfassung 2003



- Legende:
- anorganische Probenahme mit Probennummer
  - ▲ organische Probenahme mit Probennummer
  - ★ technische Immissionsmessung
  - ▼ Verkehrsmessung



Standort Nr. 13: Bern-Eigerplatz, innerstädtische Hauptverkehrsachse

# Standort Nr. 14: Bern Eigerplatz

Kategorie 1: Stadt, Verkehr

Anorganische Luftschadstoffe: Schwermetalle										Belastungssituation			
PNr.	1111	1112P	1113	1114	1115	Statistische Werte				Klas-se	Pikto-gramm	Belastungs-Prädikat	Kürzel
Elemente	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	Mean	SD	Median	N	1-6			
Blei													Pb
Cadmium													Cd
Kupfer													Cu
Zink													Zn
Eisen													Fe
Molybdän													Mo
Chrom													Cr
Cobalt													Co
Nickel													Ni
Vanadium													V
Arsen													As
Zinn													Sn
Antimon													Sb
Platin													Pt
Palladium													Pd
Cer													Ce
Gesamt-schwefel													S-total
Gesamtbel.	0	18	0	35	26	16	16		5		●	kritisch	IAP18
Schwermetall-Belastungs-Index													SMI

Luftimmission: 2003										
Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )			LRV IGW	Feinstaub (PM10)			LRV IGW	Ozon (O <sub>3</sub> )		LRV IGW
Jahresmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	42	30	Jahresmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]		20	Jahresmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	-
max .Tagesmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]		-	max .Tagesmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]		-	Anz. Stundenmittel > 120 µg/m <sup>3</sup>		1
Anzahl Tage > 80 µg/m <sup>3</sup>			1	Anzahl Tage > 50 µg/m <sup>3</sup>			1	max. Stundenmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	-

## Verkehrsmenge: Eigerplatz-Philosophenweg-Schwarzenburgstrasse

DTV Total	Personen-wagen (K3)	Güterverkehr (K1,4,6,7)	Schwererkehr (K5,6,7)	%-Anteil Pkw-Verkehr (K3)	%-Anteil Güterverkehr (K1,4,6,7)	%-Anteil Schwererkehr (K5,6,7)	%-Anteil Busse, Cars (K1)	%-Anteil Motorrad (K2)	Messdauer 2003 / 1994
13000									

## Toxikologie der PAKs

m: gesichert mutagen  
m?: vermutlich mutagen  
k: gesichert kanzerogen  
k?: vermutlich kanzerogen  
Quelle: WHO, 1998, 2003. Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution.

Organische: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe									
PNr.	2009	2010	2011		Statistische Werte				
PAK-Substanzen, Tox.	µg/kg	µg/kg	µg/kg		Mean	SD	Median	N	Kürzel
Naphthalin	K?	66	129	80	92	33	80	3	Napt
Acenaphthylen	m?	19	40	44	35	14	40	3	Aceny
Acenaphthen	m?	n.n	n.n	n.n	n.n	.	.	0	Acene
Fluoren	-	31	47	58	45	13	47	3	Fluo
Phenanthren	m?,k	321	525	560	468	129	525	3	Phe
Anthracen	-	70	24	52	48	23	52	3	Antrc
3.6-Dimethylphenanthren		13	59	70	48	30	59	3	36Dip
Fluoranthen	k?,m	357	596	726	560	187	596	3	Fluoa
Pyren	m?,k?	256	466	565	429	158	466	3	Pyr
Benzo(b)fluoren	m?,k?	33	65	29	42	20	33	3	Bzbfl
Benzo(c)phenanthren	km	11	26	26	21	8	26	3	Bzcph
Benz(a)anthracen	k,m	35	61	110	69	38	61	3	Bzaant
Chrysen	k,m	97	194	230	174	69	194	3	Chry
Benzo(b)fluoranthen	k,m	138	224	391	251	128	224	3	Bzbfla
Benzo(k)fluoranthen	k,m	29	95	80	68	35	80	3	Bekfla
Benzo(b,k)fluoranthen	k,m	167	320	470	319	152	320	3	Bzbkfla
Benzo(b)naphtho-(1,2-d)thiophen		22	10	54	28	23	22	3	Bz12t
Benzo(e)pyren	k?,m	117	191	30	113	81	117	3	BeP
Benzo(a)pyren	k,m	68	90	115	91	24	90	3	BaP
Perylen	m	29	109	134	90	55	109	3	Pery
Dibenz(a,j)anthracen	?	13	154	65	77	71	65	3	Dibajp
Indeno(123-c,d)pyren	k	19	219	149	129	101	149	3	I123py
Dibenz(a,h)anthracen	k,m	16	165	92	91	74	92	3	Diaha
Benzo(g,h,i)perylene	m	85	1128	797	670	533	797	3	Bghip
Anthanthren	-	n.n	n.n	n.n	n.n	.	.	0	Anta
Dibenz(a,l)pyren	k,m?	59	53	92	68	21	59	3	Dibalp
Coronen	k?,m	14	158	217	130	104	158	3	Cor
Dibenz(a,h)pyren	k,m	n.n	n.n	n.n	n.n	.	.	0	Dibahp
PAK Summe 27		1920	4829	4765	3838	1661	4765	3	PAK27
PAK Summe 20		1768	4464	4429	3554	1546	4429	3	PAK20
Σ 14 mutagener PAKs	m	997	3039	2947	2328	1153	2947	3	PAK14
Σ 12 kanzerogener PAKs	k	794	1653	1845	1431	560	1653	3	PAK12
Σ 9 mut. & kanz.PAKs	m, k	395	857	1044	765	334	857	3	PAK9



## Standort Nr. 15: Bern Burgernziel

NO<sub>2</sub>-Passivsammlermessung in der Nähe, kant. Verkehrsmessung.

**Nähere Umgebung:** Städtische Hauptverkehrsachse.

**Standortcharakteristik:** hochfrequentierter Verkehrsstandort mit hohem LKW-Einfluss im Nahbereich.

**Besonderheiten:** Spezialstandort einer Erfolgskontrollstudie der Stadt Bern, ohne Schwermetallerfassung.

Hohe Belastung für die meisten Polyaromate, inkl. der mutagenen und kanzerogenen PAKs sowie der PAK-Summenwerte.

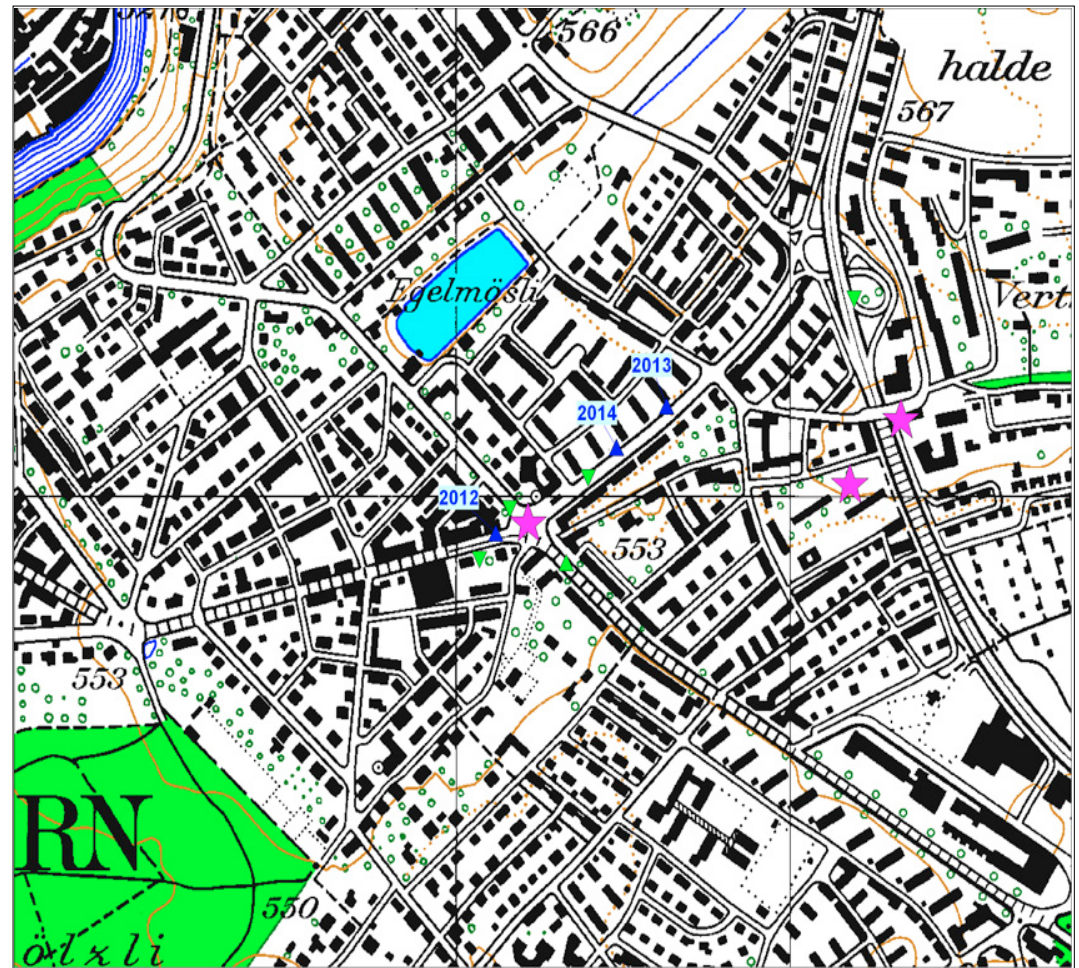
Luftgesamtbelastung hoch; in der weiteren Umgebung erfasst.

### Biomonitoring Kenngrössen

Schwermetalle	mg/kg	Prädikat	Polyaromate PAKs	µg/kg
Schwermetall-Belastungsindex			PAK-Summe 27	<b>6951</b>
Antimon			Summe mutagener PAKs m	<b>3777</b>
Molybdän			Summe kanzerogener PAKs k	<b>3093</b>
Vanadium			Summe mut./kanz. PAKs m, k	<b>1523</b>
Platin			Benzo(b,k)fluoranthen k,m	482
Cer			Benzo(a)pyren k,m	232
Luftgesamtbelastung (IAI)	<b>29</b>	starke	Indeno(1,2,3-cd)pyren k	917



## MfM-U Biomonitoring - Ersterfassung 2003



- Legende:
- anorganische Probenahme mit Probenummer
  - ▲ organische Probenahme mit Probenummer
  - ★ technische Immissionsmessung
  - ▼ Verkehrsmessung

**Standort Nr. 15:** Bern-Burgernziel, Autobahnzubringer A6 mit Hauptachsen Buchser-, Thun- und Könizstrasse



# Standort Nr. 15: Bern Burgernziel

Kategorie 1: Stadt, Verkehr

Anorganische Luftschadstoffe: Schwermetalle										Belastungssituation			
PNr.						Statistische Werte				Klas-se	Pikto-gramm	Belastungs-Prädikat	Kürzel
Elemente	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	Mean	SD	Median	N	1-6			
Blei													Pb
Cadmium													Cd
Kupfer													Cu
Zink													Zn
Eisen													Fe
Molybdän													Mo
Chrom													Cr
Cobalt													Co
Nickel													Ni
Vanadium													V
Arsen													As
Zinn													Sn
Antimon													Sb
Platin													Pt
Palladium													Pd
Cer													Ce
Gesamt-schwefel													S-total
Gesamtbel.	46	19	15	45	18	29	16		5		●	hoch	IAP18
Schwermetall-Belastungs-Index													SMI

Luftimmission:									
Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )		LRV IGW	Feinstaub (PM10)		LRV IGW	Ozon (O <sub>3</sub> )		LRV IGW	
Jahresmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	47.9	30	Jahresmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	20	Jahresmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	-
max. Tagesmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	-	-	max. Tagesmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	-	Anz. Stundenmittel > 120 µg/m <sup>3</sup>		1
Anzahl Tage > 80 µg/m <sup>3</sup>		1	1	Anzahl Tage > 50 µg/m <sup>3</sup>		1	max. Stundenmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	-

Verkehrsmenge: Thun-, Brunnadernstrasse, Burgernziel									
DTV Total	Personen-wagen (K3)	Güterverkehr (K1,4,6,7)	Schwererkehr (K5,6,7)	%-Anteil P/W-Verkehr (K3)	%-Anteil Güterverkehr (K1,4,6,7)	%-Anteil Schwererkehr (K5,6,7)	%-Anteil Busse, Cars (K1)	%-Anteil Motorrad (K2)	Messdauer 2003
20680									

## Toxikologie der PAKs

m: gesichert mutagen  
m?: vermutlich mutagen  
k: gesichert kanzerogen  
k?: vermutlich kanzerogen  
Quelle: WHO, 1998, 2003. Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution.

Organische: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe									
PNr.	2012	2013	2014		Statistische Werte				
PAK-Substanzen, Tox.	µg/kg	µg/kg	µg/kg		Mean	SD	Median	N	Kürzel
Naphthalin	k?	166	47	69	94	63	69	3	Napt
Acenaphthylen	m?	83	34	33	50	29	34	3	Aceny
Acenaphthen	m?	n.n	n.n	n.n	n.n	.	.	0	Acene
Fluoren	-	56	32	47	45	12	47	3	Fluo
Phenanthren	m?,k	728	554	553	612	101	554	3	Phe
Anthracen	-	56	38	25	40	16	38	3	Antrc
3.6-Dimethylphenanthren		n.n	31	n.n	31	.	31	1	36Dip
Fluoranthren	k?,m	759	816	386	653	234	759	3	Fluoa
Pyren	m?,k?	811	609	268	563	274	609	3	Pyr
Benzo(b)fluoren	m?,k?	50	38	n.n	44	8	44	2	Bzbfl
Benzo(c)phenanthren	km	48	40	159	82	67	48	3	Bzcph
Benzo(a)anthracen	k,m	158	112	503	258	214	158	3	Bzaant
Chrysen	k,m	446	326	584	452	129	446	3	Chry
Benzo(b)fluoranthren	k,m	192	335	285	271	72	285	3	Bzbfla
Benzo(k)fluoranthren	k,m	204	174	255	211	41	204	3	Bekfla
Benzo(b,k)fluoranthren	k,m	396	509	540	482	76	509	3	Bzbkfla
Benzo(b)naphtho-(1,2-d)thiophen		15	12	n.n	13	2	13	2	Bz12t
Benzo(e)pyren	k?,m	395	267	556	406	145	395	3	BeP
Benzo(a)pyren	k,m	233	176	288	232	56	233	3	BaP
Perylen	m	89	43	112	81	35	89	3	Pery
Dibenz(a,i)anthracen	?	103	.	1949	1026	1305	1026	2	Dibajp
Indeno(123-c,d)pyren	k	869	386	1495	917	556	869	3	I123py
Dibenz(a,h)anthracen	k,m	.	.	52	52	.	52	1	Diaha
Benzo(g,h,i)perylene	m	914	521	1286	907	383	914	3	Bghip
Anthanthren	-	171	n.n	69	120	72	120	2	Anta
Dibenz(a,l)pyren	k,m?	123	n.n	n.n	123	.	123	1	Dibalp
Coronen	k?,m	268	254	98	206	95	254	3	Cor
Dibenz(a,h)pyren	k,m	n.n	n.n	n.n	n.n	.	.	0	Dibahp
PAK Summe 27		6937	4844	9071	6951	2114	6937	3	PAK27
PAK Summe 20		6598	4723	6963	6095	1202	6598	3	PAK20
Σ 14 mutagener PAKs	m	3705	3064	4564	3777	753	3705	3	PAK14
Σ 12 kanzerogener PAKs	k	3002	2103	4174	3093	1039	3002	3	PAK12
Σ 9 mut. & kanz.PAKs	m,k	1281	1163	2126	1523	525	1281	3	PAK9

## Standort Nr.17: Bern Elfenau Stadtgärtnerei

Referenzmessstation der Biomonitoring-Methode für Hintergrundbelastung der Luft.

**Nähere Umgebung:** Städtisches Naherholungsgebiet mit geringer Gesamtbelastung der Luft.

**Standortcharakteristik:** Städtische Grünfläche

**Besonderheiten:** Spezialstandort einer Erfolgskontrollstudie der Stadt Bern, teilweise Schwermetallerfassung.

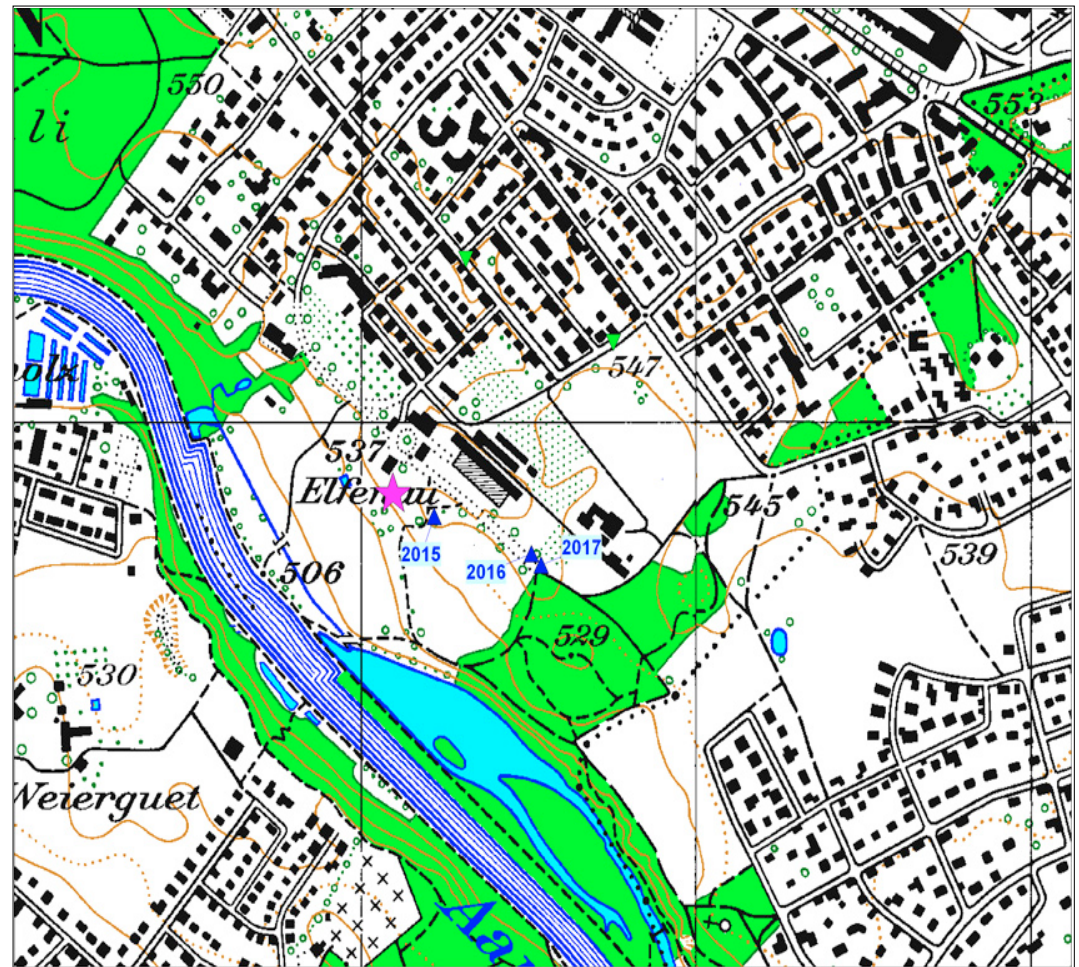
Mittlere - geringe Belastung für die meisten Polyaromate, inkl. der mutagenen und kanzerogenen PAKs sowie der PAK-Summenwerte.  
Luftgesamtbelastung sehr gering; in der weiteren Umgebung erfasst.

### Biomonitoring Kenngrössen

Schwermetalle	mg/kg	Prädikat	Polyaromate PAKs	µg/kg
Schwermetall-Belastungsindex			PAK-Summe 27	1304
Antimon			Summe mutagener PAKs m	693
Molybdän			Summe kanzerogener PAKs k	542
Vanadium			Summe mut./kanz. PAKs m, k	258
Platin			Benzo(b,k)fluoranthen k, m	71
Cer			Benzo(a)pyren k, m	19
Luftgesamtbelastung (IAI)	71	sehr gering	Indeno(1,2,3-cd)pyren k	<5



## MfM-U Biomonitoring - Ersterfassung 2003



Legende:

- anorganische Probenahme mit Probenummer
- ▲ organische Probenahme mit Probenummer
- ★ technische Immissionsmessung
- ▼ Verkehrsmessung

**Standort Nr. 17: Bern-Elfanau, Stadtgärtnerei, Naherholungsgebiet der Stadt Bern**

# Standort Nr. 17: Bern Elfenau Stadtgärtnerei

## Kategorie 1, 6: Stadt, Hintergrund ?

49, 53b, 56

Anorganische Luftschadstoffe: Schwermetalle										Belastungssituation			
PNr.	50	51	52	54	55	Statistische Werte				Klas- se	Pikto- gramm	Belastungs- Prädikat	Kürzel
Elemente	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	Mean	SD	Median	N	1-6			
Blei													Pb
Cadmium													Cd
Kupfer													Cu
Zink													Zn
Eisen													Fe
Molybdän		keine Daten											Mo
Chrom													Cr
Cobalt													Co
Nickel													Ni
Vanadium													V
Arsen													As
Zinn													Sn
Antimon													Sb
Platin													Pt
Palladium													Pd
Cer													Ce
Gesamt- schwefel													S-total
Gesamtbel.	66	73	51	66	100	71	18		5		.	sehr gering	IAP18
Schwermetall-Belastungs-Index													SMI

Luftimmission:									
Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )		LRV IGW	Feinstaub (PM10)		LRV IGW	Ozon (O <sub>3</sub> )		LRV IGW	
Jahresmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	18.5	30	Jahresmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	20	Jahresmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	-
max. Tagesmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	-	-	max. Tagesmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	-	Anz. Stundenmittel > 120 µg/m <sup>3</sup>		1
Anzahl Tage > 80 µg/m <sup>3</sup>		1	1	Anzahl Tage > 50 µg/m <sup>3</sup>		1	max. Stundenmittel	[µg/m <sup>3</sup> ]	-

Verkehrsmenge: Brunadern- Egghölzlistrasee									
DTV Total	Personen- wagen (K3)	Güterverkehr (K1,4,6,7)	Schwererkehr (K5,6,7)	%-Anteil Pw-Verkehr (K3)	%-Anteil Güterverkehr (K1,4,6,7)	%-Anteil Schwererkehr (K5,6,7)	Busse, Cars (K1)	%-Anteil Motorrad (K2)	Messdauer 2003
3960	3500								

### Toxikologie der PAKs

m: gesichert mutagen  
m?: vermutlich mutagen  
k: gesichert kanzerogen  
k?: vermutlich kanzerogen  
Quelle: WHO, 1998, 2003. Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution.

Organische: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe									
PNr.	2015	2016	2017		Statistische Werte				
PAK-Substanzen, Tox.	µg/kg	µg/kg	µg/kg		Mean	SD	Median	N	Kürzel
Naphthalin K?	16	n.n	2		9	10	9	2	Napt
Acenaphthylen m?	8	n.n	39		23	22	23	2	Aceny
Acenaphthen m?	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Acene
Fluoren -	62	7	12		27	31	12	3	Fluo
Phenanthren m?,k	443	157	252		284	146	252	3	Phe
Anthracen -	127	30	41		66	53	41	3	Antrc
3.6-Dimethylphenanthren	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	36Dip
Fluoranthen k?,m	412	128	279		273	142	279	3	Fluoa
Pyren m?,k?	251	92	228		191	86	228	3	Pyr
Benzo(b)fluoren m?,k?	n.n	n.n	41		41	.	41	1	Bzbfl
Benzo(c)phenanthren km	n.n	9	32		20	16	20	2	Bzcpb
Benzo(a)anthracen k,m	79	24	43		49	28	43	3	Bzaant
Chrysen k,m	114	50	141		102	47	114	3	Chry
Benzo(b)fluoranthen k,m	42	31	38		37	5	38	3	Bzbfla
Benzo(k)fluoranthen k,m	34	29	38		34	4	34	3	Bekfla
Benzo(b,k)fluoranthen k,m	76	61	75		71	8	75	3	Bzbkfla
Benzo(b)naphtho-(1,2-d)thiophen	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Bz12t
Benzo(e)pyren k?,m	30	248	30		103	126	30	3	BeP
Benzo(a)pyren k,m	13	10	35		19	14	13	3	BaP
Perylen m	n.n	46	n.n		46	.	46	1	Pery
Dibenz(a,i)anthracen ?	.	7	17		12	8	12	2	Dibajp
Indeno(123-c,d)pyren k	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	I123py
Dibenz(a,h)anthracen k,m	14	n.n	n.n		14	.	14	1	Diaha
Benzo(g,h,i)perylene m	.	55	33		44	16	44	2	Bghip
Anthanthren -	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Anta
Dibenz(a,l)pyren k,m?	n.n	n.n	n.n		n.n	#ZAHL!		0	Dibalp
Coronen k?,m	44	n.n	n.n		44	.	44	1	Cor
Dibenz(a,h)pyren k,m	n.n	n.n	n.n		n.n	.	.	0	Dibahp
PAK Summe 27	1689	924	1300		1304	382	1300	3	PAK27
PAK Summe 20	1689	909	1210		1269	393	1210	3	PAK20
Σ 14 mutagener PAKs m	781	631	667		693	78	667	3	PAK14
Σ 12 kanzerogener PAKs k	738	310	578		542	216	578	3	PAK12
Σ 9 mut. & kanz.PAKs m,k	296	153	326		258	92	296	3	PAK9



## Standort Nr. 16: Köniz Neuhausplatz

NO<sub>2</sub>-Passivsammlermessung in der Nähe, kommunale Verkehrsmessung.

**Nähere Umgebung:** Wohngebiete von Köniz an Hauptverkehrsachse.

**Standortcharakteristik:** hochfrequentierter Verkehrsstandort mit hohem LKW-Anteil.

**Besonderheiten:** Spezialstandort einer Erfolgskontrollstudie der Städte Bern und Köniz, ohne Schwermetallerfassung.

Mittlere - hohe Belastung für die meisten Polyaromate, inkl. der mutagenen und kanzerogenen PAKs sowie der PAK-Summenwerte.

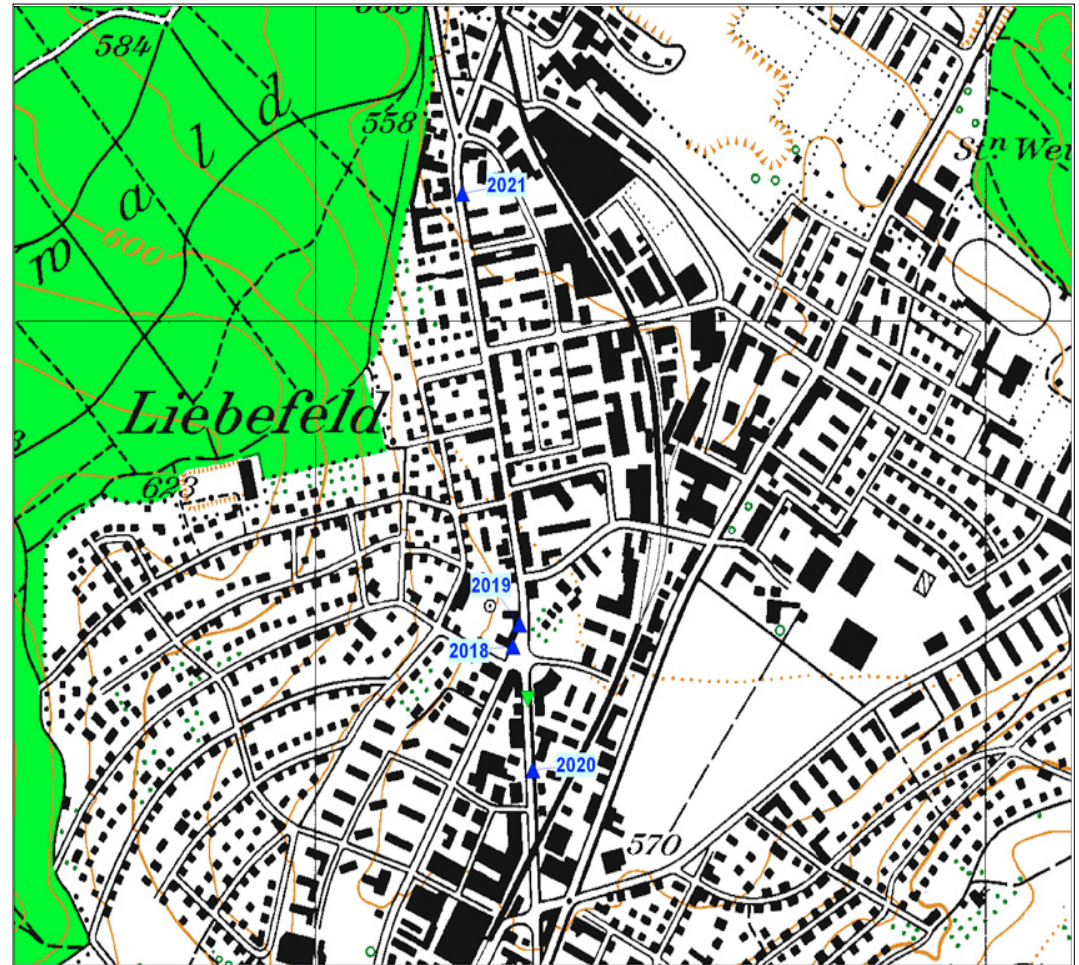
Luftgesamtbelastung mittel; in der weiteren Umgebung erfasst.

### Biomonitoring Kenngrössen

Schwermetalle	mg/kg	Prädikat	Polyaromate PAKs	µg/kg
Schwermetall-Belastungsindex			PAK-Summe 27	<b>3533</b>
Antimon			Summe mutagener PAKs m	<b>2072</b>
Molybdän			Summe kanzerogener PAKs k	<b>1346</b>
Vanadium			Summe mut./kanz. PAKs m, k	<b>704</b>
Platin			Benzo(b,k)fluoranthen k,m	297
Cer			Benzo(a)pyren k,m	74
Luftgesamtbelastung (IAI)	<b>43</b>	mittel	Indeno(1,2,3-cd)pyren k	104



## MfM-U Biomonitoring - Ersterfassung 2003



- Legende:
- anorganische Probenahme mit Probenummer
  - ▲ organische Probenahme mit Probenummer
  - ★ technische Immissionsmessung
  - ▼ Verkehrsmessung

**Standort Nr. 16:** Köniz-Neuhausplatz an der Hauptverkehrsachse Schwarzenburgstrasse

# Standort Nr. 16: Köniz Neuhausplatz

## Kategorie 2: Kleinstadt, Agglomeration

Anorganische Luftschadstoffe: Schwermetalle										Belastungssituation			
PNr.	1102	1104	1106	1165	1167	Statistische Werte				Klas-se	Pikto-gramm	Belastungs-Prädikat	Kürzel
Elemente	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	Mean	SD	Median	N	1-6			
Blei													Pb
Cadmium													Cd
Kupfer													Cu
Zink													Zn
Eisen													Fe
Molybdän		keine Daten											Mo
Chrom													Cr
Cobalt													Co
Nickel													Ni
Vanadium													V
Arsen													As
Zinn													Sn
Antimon													Sb
Platin													Pt
Palladium													Pd
Cer													Ce
Gesamt-schwefel													S-total
Gesamtbel.	46	41	48	31	50	43	8		5		●	mittel	IAP18
Schwermetall-Belastungs-Index													SMI

Luftimmission:					
Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )	LRV IGW	Feinstaub (PM10)	LRV IGW	Ozon (O <sub>3</sub> )	LRV IGW
Jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	30	Jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	20	Jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	-
max. Tagesmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	-	max. Tagesmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	-	Anz. Stundenmittel > 120 µg/m <sup>3</sup>	1
Anzahl Tage > 80 µg/m <sup>3</sup>	1	Anzahl Tage > 50 µg/m <sup>3</sup>	1	max. Stundenmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	-

Verkehrsmenge: Könizstrasse									
DTV Total	Personen-wagen (K3)	Güterverkehr (K1,4,6,7)	Schwererkehr (K5,6,7)	%-Anteil Pw-Verkehr (K3)	%-Anteil Güterverkehr (K1,4,6,7)	%-Anteil Schwererkehr (K5,6,7)	%-Anteil Busse, Cars (K1)	%-Anteil Motorrad (K2)	Messdauer 2003
15870									

### Toxikologie der PAKs

m: gesichert mutagen  
m?: vermutlich mutagen  
k: gesichert kanzerogen  
k?: vermutlich kanzerogen  
Quelle: WHO, 1998, 2003. Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution.

Organische: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe									
PNr.	2018	2019	2020	2021	Statistische Werte				
PAK-Substanzen, Tox.	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	Mean	SD	Median	N	Kürzel
Naphthalin k?	46	103	96	105	88	28		4	Napt
Acenaphthylen m?	19	36	41	36	33	10		4	Aceny
Acenaphthen m?	n.n	.	14	n.n	14	.		1	Acene
Fluoren -	17	38	48	26	32	14		4	Fluo
Phenanthren m?,k	383	555	619	408	491	114		4	Phe
Anthracen -	32	39	85	32	47	26		4	Antrc
3.6-Dimethylphenanthren	29	101	87	49	66	33		4	36Dip
Fluoranthen k?,m	396	591	725	456	542	147		4	Fluoa
Pyren m?,k?	286	478	541	371	419	113		4	Pyr
Benzo(b)fluoren m?,k?	11	n.n	22	13	15	6		3	Bzbfl
Benzo(c)phenanthren km	16	23	39	22	25	10		4	Bzcp
Benzo(a)anthracen k,m	42	59	133	61	74	41		4	Bzaant
Chrysen k,m	141	206	316	156	205	79		4	Chry
Benzo(b)fluoranthen k,m	118	262	231	304	229	80		4	Bzbfla
Benzo(k)fluoranthen k,m	48	67	118	40	68	35		4	Bekfla
Benzo(b,k)fluoranthen k,m	166	330	349	344	297	88		4	Bzbkfla
Benzo(b)naphtho-(1,2-d)thiophen	25	49	32	42	37	11		4	Bz12t
Benzo(e)pyren k?,m	112	72	118	74	94	24		4	BeP
Benzo(a)pyren k,m	35	56	105	101	74	34		4	BaP
Perylen m	55	92	128	130	101	35		4	Pery
Dibenz(a,i)anthracen ?	.	108	178	39	108	70		3	Dibajp
Indeno(123-c,d)pyren k	27	95	234	60	104	91		4	I123py
Dibenz(a,h)anthracen k,m	.	.	103	16	59	62		2	Diaha
Benzo(g,h,i)perylene m	90	455	738	816	525	329		4	Bghip
Anthanthren -	n.n	n.n	n.n	n.n	n.n	.		0	Anta
Dibenz(a,l)pyren k,m?	54	49	57	27	47	14		4	Dibalp
Coronen k?,m	83	129	119	91	106	22		4	Cor
Dibenz(a,h)pyren k,m	n.n	n.n	n.n	n.n	n.n	.		0	Dibahp
PAK Summe 27	2063	3666	4929	3474	3533	1174	0	4	PAK27
PAK Summe 20	1928	3335	4514	3283	3265	1057	0	4	PAK20
Σ 14 mutagener PAKs m	1134	2014	2874	2266	2072	722	0	4	PAK14
Σ 12 kanzerogener PAKs k	863	1372	1955	1194	1346	457	0	4	PAK12
Σ 9 mut. & kanz.PAKs m,k	399	674	1045	700	704	265		4	PAK9

**ANHANGTEIL 2****10.2 Schadstoffweise Charakterisierung des Belastungsmusters mit Standortvergleichen**

Das Kapitel 10.2 visualisiert alle nicht bereits im Kapitel 5.4 gezeigten Schwermetalle und PAKs mit ihren Standortmittelwerten in derselben Kapitelstruktur:

Kapitel 10.2.1 behandelt die Schwermetalle

Kapitel 10.2.2 enthält die PAKs.

In jedem Unterkapitel sind als erstes die Summenparameter: Schwermetall-Belastungsindex (SMI) und diverse PAK-Summenwerte dargestellt. Anschließend folgen die Einzelsubstanzen in abnehmender Reihenfolge ihres Belastungsgradienten. Dieser wird berechnet aus dem Quotienten zwischen Maximalwert und dem Wert des langjährigen Hintergrundstandortes Forst Neuenegg, wo mehrheitlich der Minimalwert vorliegt. Der Belastungsgradient gibt Auskunft über die Verkehrsrelevanz.

**10.2.1 Schwermetalle und Gesamtschwefel  
Exemplarisch Standortvergleiche*****Allgemeine Grundlagen zu den Quellen und dem Umweltverhalten der Schwermetallbelastung***

Im Kapitel 3.4.1 wurde in Kursivschrift das derzeit vorhandene allgemeine Wissen zu den Hauptemissionsquellen von 16 relevanten Schwermetallen sowie von Gesamtschwefel dargestellt (Tab. 4). Soweit bekannt, wurden die relevanten Emissionsquellen aus den Bereichen der gewerblich/industriellen Tätigkeit, der Energienutzung, der Verkehrstechnik sowie der Intensivlandwirtschaft bezeichnet.

Diese Angaben basieren auf einer Auswertung der wissenschaftlichen Fachliteratur, auf Rücksprachen mit Fachleuten und eigenen Studien, welche aus dem Vergleich der in Flechtenproben gemessenen Elementgehalte mit den verschiedenen Nutzungsklassen am Probenahmestandort (Siedlung, Verkehrsvolumen, Strassenabstand, Landwirtschaft) resultieren. Gleichzeitig wurden für die einzelnen Schadstoffe auch die Hauptaufnahmepfade der Schadstoffbelastung beim Menschen genannt, und sofern bekannt, ergänzt mit Angaben zur Phyto- und Humantoxizität (Giftigkeit für Pflanze und Mensch). Bei der Bewertung muss folgendem Umstand gebührend Rechnung getragen werden: Geringste Konzentrationen einiger Schwermetalle sind durchaus lebensnotwendig (essentiell), währenddem nur geringfügig höhere Konzentrationen bereits zu Vergiftungserscheinungen bei Pflanze, Tier und Mensch führen können.



## Schwermetall-Belastungsindex (SMI)

Der Schwermetall-Belastungs-Index (engl. **Heavy Metal Index**; **HMI**) ermöglicht eine gesamtheitliche Charakterisierung der Belastung eines Standortes mit Schwermetallen. Berücksichtigt werden 13 Schwermetalle. Der theoretische Minimalwert des Schwermetall-Belastungs-Indexes beträgt 13 (13 Elemente mal Belastungsklasse 1), der Maximalwert 78 Einheiten (13 Elemente mal Belastungsklasse 6).

Chiasso Zoll LKW zeigt mit einem Schwermetall-Belastungsindex von 70 die stärkste Belastung, dicht gefolgt von Muttenez Hardwald mit 69 (Abb. 5).

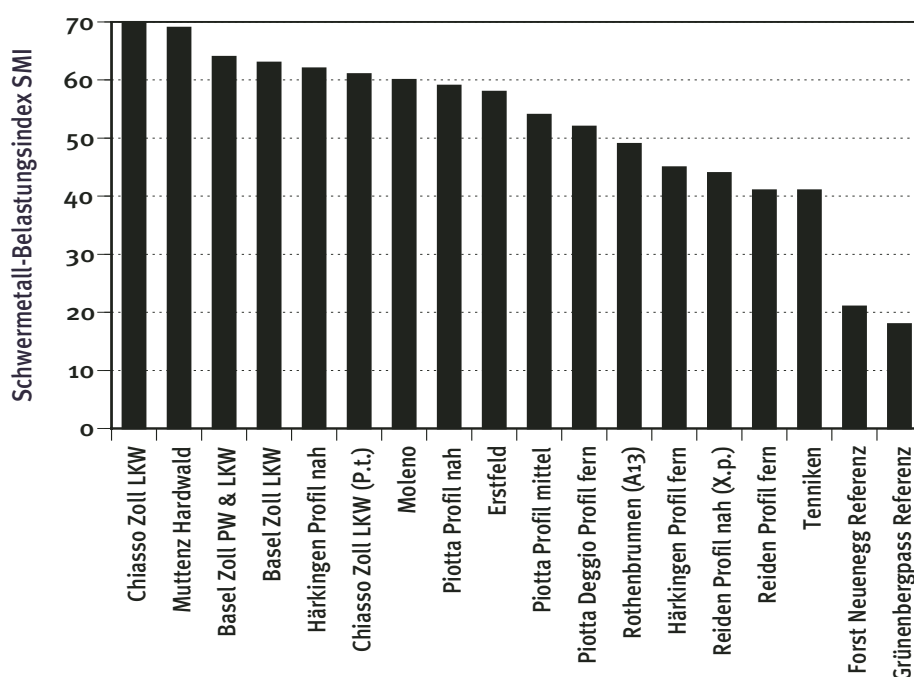
Mit einem SMI zwischen 58 - 64, was als immer noch kritisch hoch bewertet wird, treten als erstes die hoch frequentierten Verkehrsstandorte Basel Zoll LKW und Basel Zoll PW & LKW und Härkingen Profil nah auf, gefolgt von Moleno, Piotta Profil nah und Erstfeld.

Die tiefste Schwermetall-Belastung an den verkehrsbezogenen Standorten findet sich in Reiden Profil fern und Tenniken mit dem Belastungsprädikat «mittel». Am Referenzstandort Forst Neuenegg zeigt sich der überhaupt tiefste Schwermetall-Belastungsindex der untersuchten Standorte.

Mit einem Wert von 21 wird Forst Neuenegg eine sehr geringe Gesamtbelastung mit Schwermetallen attestiert.

**Abb. 157 Schwermetall-Belastungsindex (SMI) der MfM-U Standorte von 2003**

Der maximale Mittelwert mit einem SMI von 70 liegt am ausgeprägten Verkehrsstandort Chiasso Zoll LKW. Der tiefste Mittelwert zeigt sich mit einem SMI von 21 am Hintergrundstandort Forst Neuenegg.



## Eisen (Fe)

### Allgemeine Grundlagen nach Literatur

#### Hauptemittenten und Quellen

Schmiermitteladditiv, Additiv von Bremsbelägen, Treibstoffadditiv satacen für Partikelfilter von Dieselmotoren, metallverarbeitende Industrie (Stahlwerke, Gießereien), Korrosion (Rost), Verunreinigungen von Energieträgern (Feuerungen), Mineraldünger, Klärschlamm sowie Kehrichtverbrennungen ohne moderne Rauchgasreinigung.

Korrelation mit Mfz-Dichte und Strassenabstand.

#### Hauptaufnahmeptide beim Menschen

Luft, Boden, Wasser, Nahrungsmittel

#### Wirkungsmechanismus bei Pflanze und Mensch

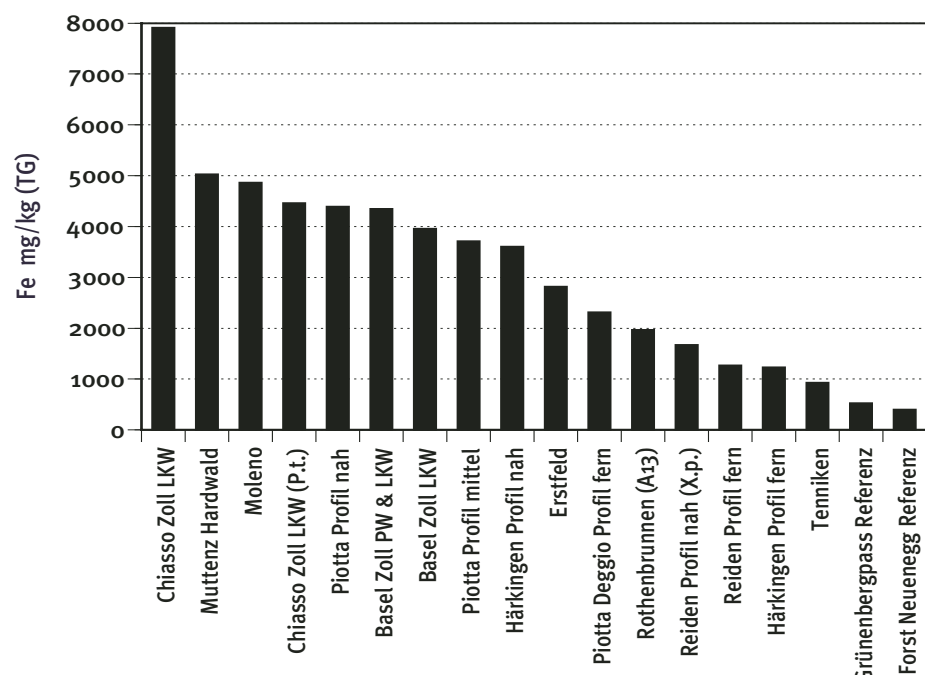
essentiell; Blutbildner, geringe Toxizität; Zellgift in hoher Konzentration.

### Eisen-Belastung der MfM-U Standorte von 2003

Der Standort Chiasso Zoll LKW zeigt den mit Abstand höchsten Eisen-Mittelwert (Abb. 8). Es folgen die Standorte Muttenz Hardwald und Moleno.

Die tiefsten Eisen-Mittelwerte finden sich erneut am Referenzstandort Forst Neuenegg, gefolgt von Tenniken, Härkingen Profil fern, Reiden Profil fern und Rothenbrunnen (A13).

Mit einem Faktor von 20 liegt für Eisen ein sehr starker Belastungsgradient vor. Eisen eignet sich als guter Tracer für Motorfahrzeuge.



**Abb. 158 Eisen-Belastung der MfM-U Standorte von 2003**

Für das Schwermetall Eisen liegt zwischen maximalem Mittelwert von Chiasso Zoll LKW und dem geringst belasteten Standort Forst Neuenegg ein sehr starker Belastungsgradient von 20 vor.

## Kupfer (Cu)

### Allgemeine Grundlagen nach Literatur

#### Hauptemittenten und Quellen

Wichtiges Additiv von Bremsbelägen. Metallverarbeitende und Elektroindustrie/Gewerbe (Messingproduktion, Galvanik, Wasserleitungen, Dachabdeckungen), Chemische Industrie, Druckereien, Malereien (Medikamente, Katalysatoren, Farbpigmente, Beizmittel), Verunreinigungen von Energieträgern (Feuerungen), Pflanzenschutz (Algi-, Fungi-, Molluskizide, bes. im Obst- und Weinbau), Schweine-, Geflügelgülle/Mist (Wachstumsförderer), Klärschlamm sowie Kehr-richtverbrennungen ohne moderne Rauchgasreinigung, illegale Abfallverbrennung. Korrelation mit Mfz-Dichte und Strassenabstand.

#### Hauptaufnahmeefade beim Menschen

Luft, Boden, Wasser, Nahrungsmittel, Medikamente.

#### Wirkungsmechanismus bei Pflanze und Mensch

Sehr phytotoxisch; Zellgift, mässig humantoxisch.

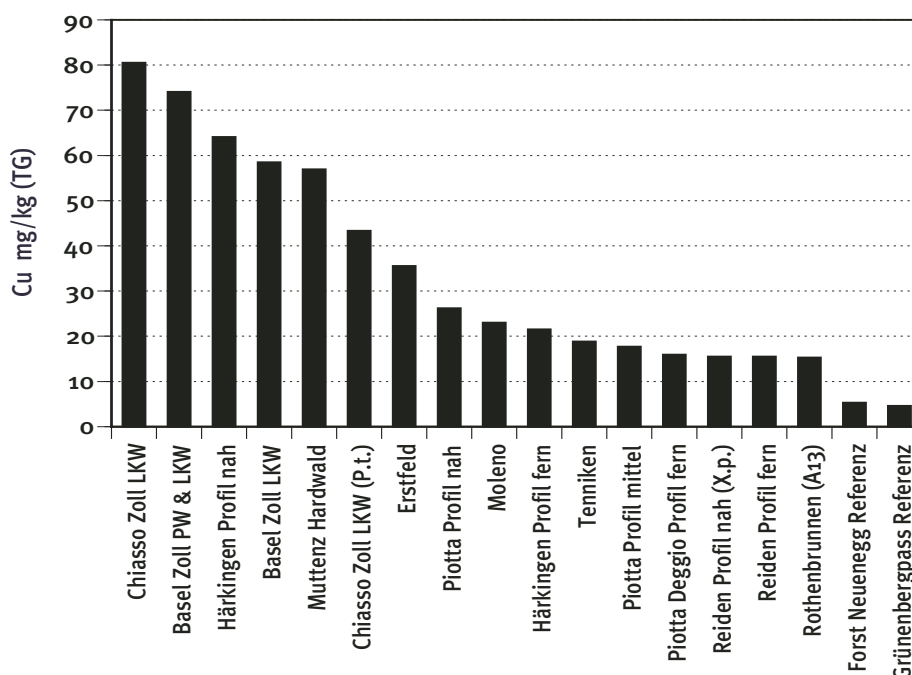
### Kupfer-Belastung der MfM-U Standorte von 2003

Die höchsten Standortwerte von Kupfer wurden in Chiasso Zoll LKW und Basel Zoll PW & LKW, gefolgt von Härkingen Profil nah und Basel Zoll LKW gemessen (Abb. 9).

Der tiefste Kupfer-Standortwert befindet sich mit Abstand am Referenzstandort Forst Neuenegg. Weitere tiefe Werte liegen in Rothenbrunnen (A13), Reiden Profil fern, Piotta Deggio Profil fern und Piotta Profil mittel vor. Der Belastungsgradient ist mit einem Faktor von 15 sehr stark. Kupfer eignet sich als guter Tracer für Motorfahrzeuge.

**Abb. 159 Kupfer-Belastung der MfM-U Standorte von 2003**

Zwischen Chiasso Zoll LKW (maximaler Mittelwert) und dem Hintergrundstandort Forst Neuenegg (minimaler Mittelwert) liegt mit einem Faktor von 15 ein sehr starker Belastungsgradient vor.



## Cobalt (Co)

### Allgemeine Grundlagen nach Literatur

#### Hauptemittenten und Quellen

Additiv in Schmiermitteln (Hitzeresistenz), Legierungsbestandteil in Stahlindustrie (Hitzeresistenz), Metallverarbeitende Industrie, Farb- und Kunststoffindustrie, Kohle, Klärschlamm, als Katalysator in der Synthese von Treibstoffen, Alkoholen und bei der Ölraffinerie.

Korrelation mit Mfz-Dichte und Strassenabstand.

#### Hauptaufnahmeptide beim Menschen

Luft, besonders bei exponierten Arbeitern.

#### Wirkungsmechanismus bei Pflanze und Mensch

Essentiell (Bestandteil von Vitamin B12), Krebsverdacht: Lungen, Herz, Haut.

### Cobalt-Belastung der MfM-U Standorte von 2003

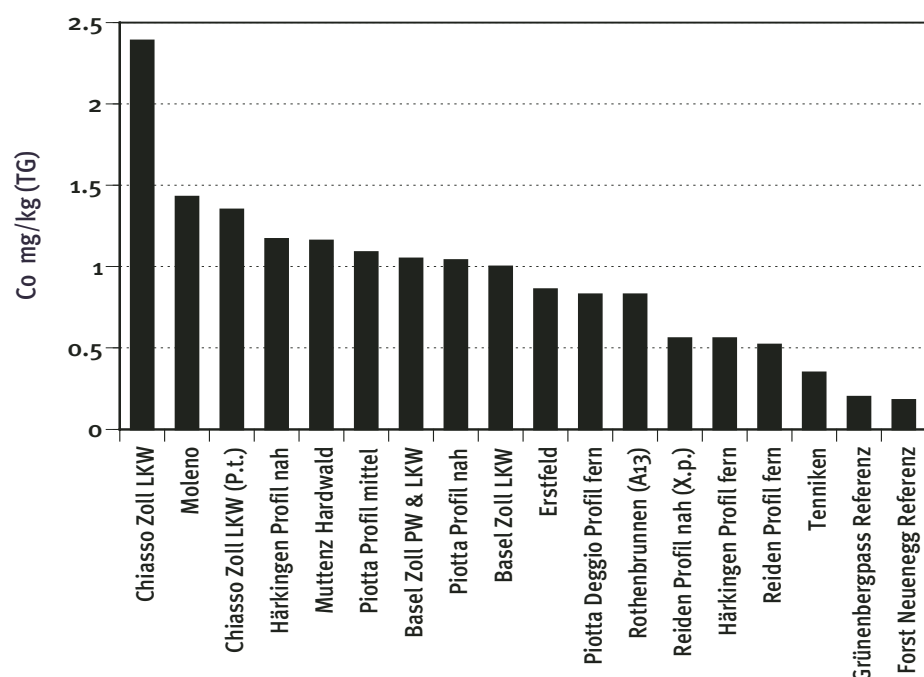
Der mit Abstand höchste Cobalt-Mittelwert wurde wiederum in Chiasso Zoll LKW gemessen, gefolgt von Moleno, Härkingen Profil nah und MuttENZ Hardwald (Abb. 11). Cobalt zeigt sich an den ausgeprägten Verkehrsstandorten.

Die tiefsten Cobalt-Standortwerte liegen erneut am Referenzstandort Forst Neuenegg, in Tenniken, gefolgt von Reiden Profil fern, Härkingen Profil fern und Rothenbrunnen (A13).

Mit einem Belastungsgradienten von 13 zeigen sich die Standortunterschiede sehr deutlich. Auch Cobalt eignet sich als guter Tracer für Motorfahrzeuge.

**Abb. 160 Cobalt-Belastung der MfM-U Standorte von 2003**

Zwischen Chiasso Zoll LKW (maximaler Mittelwert) und dem Hintergrundstandort Neuenegg (minimaler Mittelwert) liegt mit einem Faktor von 13 ein starker Belastungsgradient vor.



## Zink (Zn)

### Allgemeine Grundlagen nach Literatur

#### Hauptemittenten und Quellen

Additiv von Bremsbelägen, metallverarbeitende Industrie (Zinkereien, Stahllegierung, Messingproduktion, Schmiermittel, Batterien, Leuchtstoffröhren), Chemische und Kunststoff-Industrie, Druckereien (Medikamente, Katalysatoren, Farbpigmente, Vulkanisierung, Reproduktionstechniken und Druckbeizen, Holzimprägnierungsmittel), Verunreinigungen von Energieträgern (Feuerungen), Mineräldünger, Klärschlamm sowie Kehrlichtverbrennungen ohne moderne Rauchgasreinigung, illegale Abfallverbrennung.

Korrelation mit Mfz-Dichte und Strassenabstand.

#### Hauptaufnahmeefade beim Menschen

Luft, Wasser, Nahrungsmittel.

#### Wirkungsmechanismus bei Pflanze und Mensch

In Spuren essentiell; mässig phytotoxisch, gering humantoxisch.

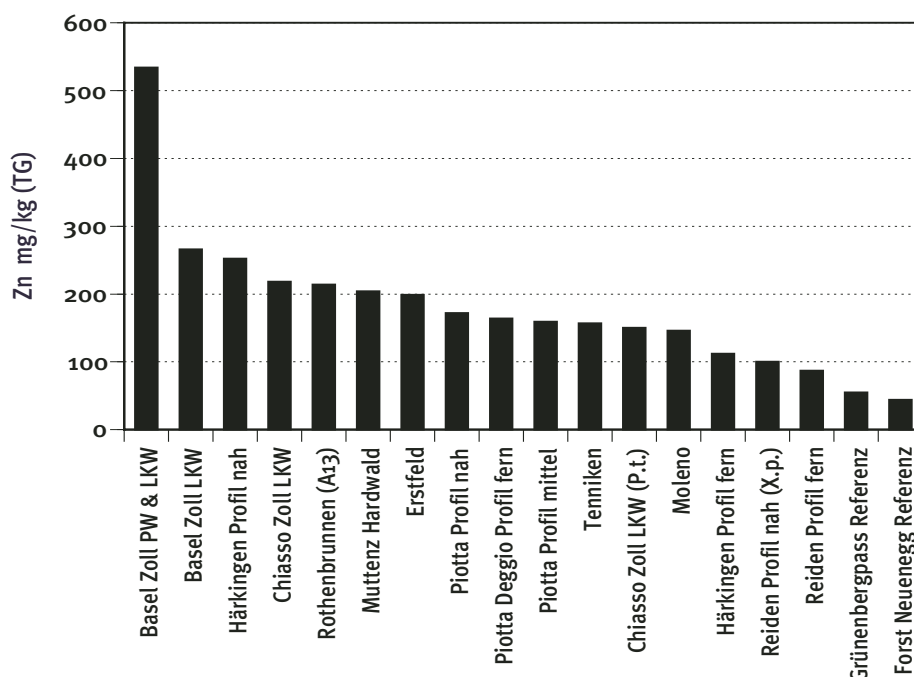
### Zink-Belastung der MfM-U Standorte von 2003

Der mit Abstand höchste Zink-Standortwert wurde in Basel Zoll PW & LKW gemessen (Abb. 12), gefolgt von Basel Zoll LKW und Härkingen Profil nah.

Die tiefsten Zink-Werte liessen sich erwartungsgemäss am Referenzstandort Forst Neuenegg feststellen. Auch in Reiden Profil fern und Härkingen Profil fern lagen tiefe Werte vor. Mit einem Faktor von 12 liegt ein starker Belastungsgradient vor. Zink eignet sich ebenfalls gut als Tracer für Motorfahrzeuge.

**Abb. 161 Zink-Belastung der MfM-U Standorte von 2003**

Für das Schwermetall Zink liegt zwischen maximalem Mittelwert am Standort Basel Zoll PW & LKW und dem geringst belasteten Hintergrundstandort Forst Neuenegg ein starker Belastungsgradient von 12 vor.





## Cer (Ce)

### Allgemeine Grundlagen nach Literatur

#### Hauptemittenten und Quellen

Das Lanthanid Cer wird seit wenigen Jahren als Treibstoffadditiv EOLYS für Partikelfilter von Dieselmotoren verwendet.

#### Hauptaufnahmeptide beim Menschen

Luft, Nahrungsmittel

#### Wirkungsmechanismus bei Pflanze und Mensch

Cer wird aus humantoxikologischer Sicht bisher als unbedenklich eingestuft. Mit dem aktuellen Einsatz von Cer als Partikelfilteradditiv werden weitere Untersuchungen zur Toxikologie nötig sein.

### Cer-Belastung der MfM-U Standorte von 2003

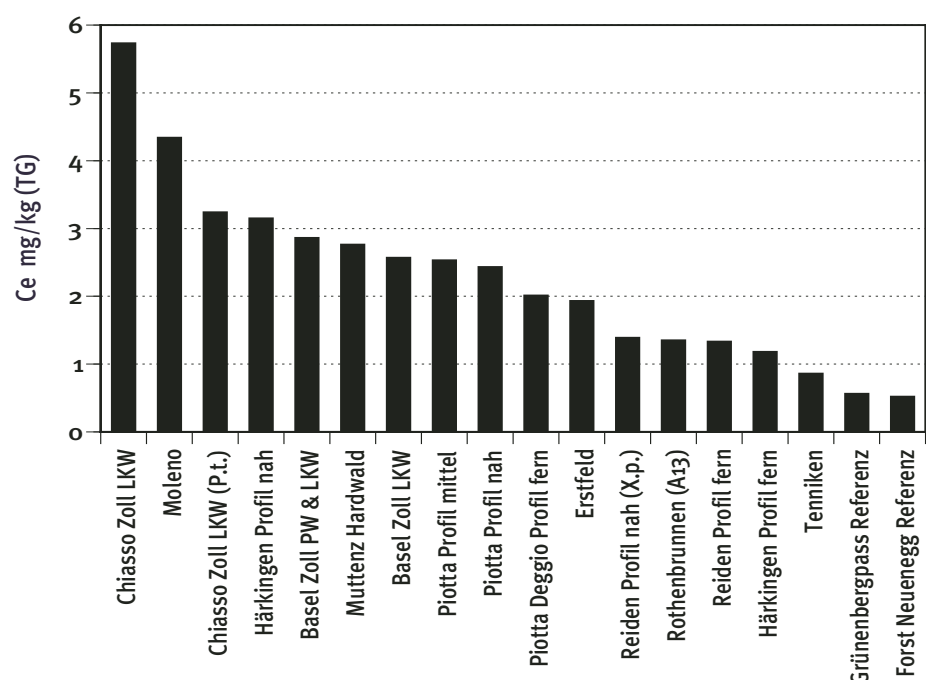
Der höchste Cer-Standortwert wurde in Chiasso Zoll LKW gemessen, gefolgt von Moleno und Härkingen Profil nah (Abb. 13).

Die tiefsten Cer-Standortwerte finden sich am Referenzstandort Forst Neuenegg und Tenniken, gefolgt von Härkingen Profil fern, Reiden Profil fern und Rothenbrunnen (A13).

Mit einem Faktor von 11 liegt ein starker Belastungsgradient vor. Cer eignet sich als Tracer für Motorfahrzeuge, insbesondere als Tracer für Dieselfahrzeuge mit Partikelfiltern und neuartigen Katalysatoren.

**Abb. 162 Cer-Belastung der MfM-U Standorte von 2003**

Zwischen Chiasso Zoll LKW (maximaler Mittelwert) und dem Hintergrundstandort Forst Neuenegg (minimaler Mittelwert) liegt mit einem Faktor von 11 ein starker Belastungsgradient vor.



## Zinn (Sn)

### Allgemeine Grundlagen nach Literatur

#### Hauptemittenten und Quellen

Scanvanchers in Benzin, Schmiermitteladditiv, Metallverarbeitende und Farbenindustrie, Kohle, Kehrlichtverbrennungen ohne moderne Rauchgasreinigung, Pflanzenschutzmittel.

Korrelation mit Mfz-Dichte und Strassenabstand.

#### Hauptaufnahmeptide beim Menschen

Luft, Nahrungsmittel (u.a. Weissblechdosen).

#### Wirkungsmechanismus bei Pflanze und Mensch

Gering phyto- und humantoxisch; Organzinnverbindungen jedoch sehr toxisch.

### Zinn-Belastung der MfM-U Standorte von 2003

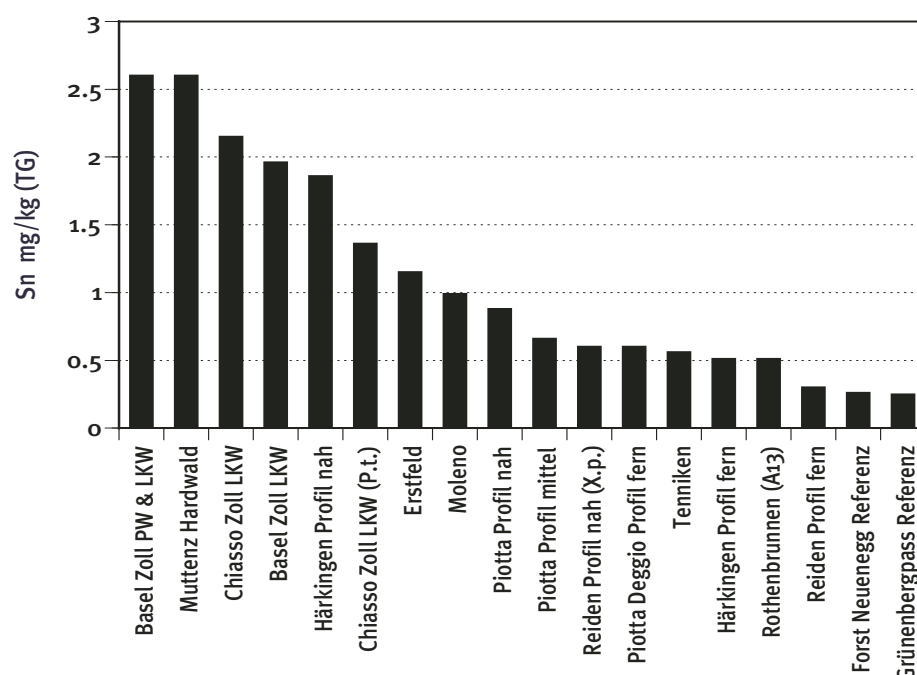
Die höchsten Zinn-Standortwerte zeigen sich an den gewichtigsten Verkehrsstandorten (Abb. 14): beide Basler Zoll Standorte, Muttenz Hardwald, Chiasso Zoll LKW sowie Härkingen Profil nah.

Auch für Zinn liegt der tiefste Standortwert am Referenzort Forst Neuenegg. Weitere tiefe Werte wurden in Reiden Profil fern, gefolgt von Rothenbrunnen (A13), Härkingen Profil fern, Tenniken und Piotta Deggio Profil fern gemessen.

Mit einem Faktor von 10 liegt ein starker Belastungsgradient vor. Auch Zinn eignet sich als Tracer für Motorfahrzeuge.

**Abb. 162 Zinn-Belastung der MfM-U Standorte von 2003**

Der maximale Zinn-Mittelwert am Standort Basel Zoll PW & LKW liegt um ein Zehnfaches über dem tiefsten Mittelwert des Hintergrundstandortes Forst Neuenegg.



## Vanadium (V)

### Allgemeine Grundlagen nach Literatur

#### Hauptemittenten und Quellen

Schmiermitteladditiv von Motoren, Metallverarbeitende Industrie, Raffinerien, Kehrlichtverbrennungen ohne moderne Rauchgasreinigung, Klärschlamm, Heizöl, Kohle, illegale Abfallverbrennung.

Korrelation mit Mfz-Dichte und Strassenabstand.

#### Hauptaufnahmeptide beim Menschen

Luft, besonders bei exponierten Arbeitern.

#### Wirkungsmechanismus bei Pflanze und Mensch

In Spuren essentiell; mässig phyto- und humantoxisch.

### Vanadium-Belastung der MfM-U Standorte von 2003

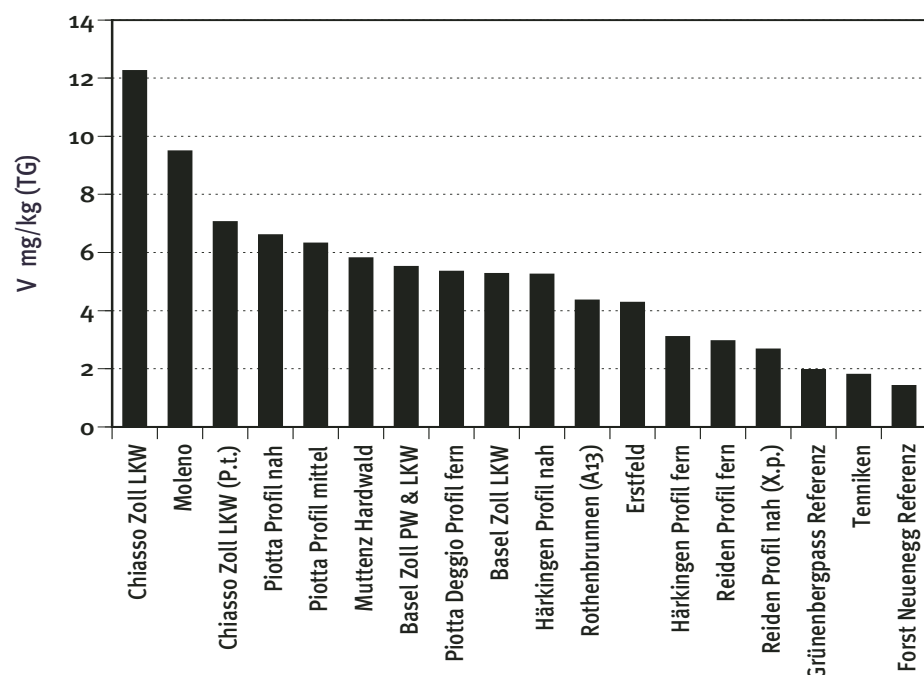
Die beiden höchsten Vanadium-Standortwerte liegen in Chiasso Zoll LKW und Moleno vor (Abb. 15).

Der tiefste Vanadium-Wert wurde erwartungsgemäss am Referenzstandort Forst Neuenegg festgestellt, gefolgt von Tenniken, Reiden Profil fern und Härkingen Profil fern.

Mit einem Faktor von 9 liegt ein starker Belastungsgradient vor. Auch Vanadium eignet sich als Tracer für Motorfahrzeuge.

**Abb. 163 Vanadium-Belastung der MfM-U Standorte von 2003**

Zwischen Chiasso Zoll LKW (maximaler Mittelwert) und dem Hintergrundstandort Forst Neuenegg (minimaler Mittelwert) liegt mit einem Faktor von 9 ein starker Belastungsgradient vor.



## Chrom (Cr)

### Allgemeine Grundlagen nach Literatur

#### Hauptemittenten und Quellen

Additiv von Bremsbelägen und Motorenschmiermittel. Metallverarbeitende Industrie (Galvanik, Legierungsbestandteil, Schmiermitteladditiv), Chemische Industrie, Druckindustrie und Gerbereien (Katalysatoren, Farbpigmente, Reproduktionstechniken, Holzimprägnierungsmittel, Gerbstoffe), Hauptbestandteil von Kehrrichtverbrennungen ohne moderne Rauchgasreinigung, Klärschlamm, illegale Abfallverbrennung.

Korrelation mit Mfz-Dichte und Strassenabstand.

#### Hauptaufnahmeefade beim Menschen

Luft, besonders bei exponierten Arbeitern, Nahrungsmittel, Medikamente.

#### Wirkungsmechanismus bei Pflanze und Mensch

Sehr humantoxisch: Allergien, hohe Krebsgefährdung durch Cr-(VI)-Verbindungen; Lungenkrebs.

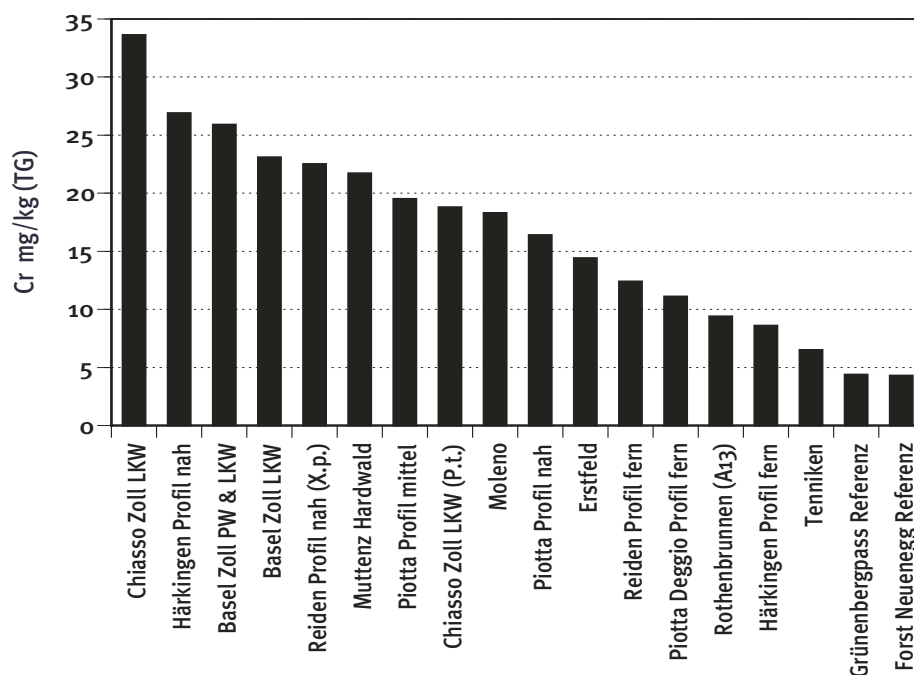
### Chrom-Belastung der MfM-U Standorte von 2003

Die höchsten Chrom-Standortwerte wurden erneut an den Verkehrshauptstandorten Chiasso Zoll LKW, Härkingen Profil nah und beide Basler Zollstandorte gemessen (Abb. 17).

Der tiefste Chrom-Mittelwert befindet sich am Referenzstandort Forst Neuenegg, gefolgt von Tenniken, Härkingen Profil fern und Rothenbrunnen (A13). Chrom zeigt analog zu Blei einen starken Belastungsgradienten mit einem Faktor von 8 und eignet sich als Tracer für Motorfahrzeuge.

**Abb. 164 Chrom-Belastung der MfM-U Standorte von 2003**

Für das Schwermetall Chrom liegt zwischen maximalem Mittelwert am Standort Chiasso Zoll LKW und dem geringst belasteten Standort Forst Neuenegg ein starker Belastungsgradient von 8 vor.



## Nickel (Ni)

### Allgemeine Grundlagen nach Literatur

#### Hauptemittenten und Quellen

Additiv von Bremsbelägen. Metallverarbeitende Industrie (Galvanik, Legierungsbestandteil), chemische und grafische Industrie (Katalysatoren, Farbpigmente, Reproduktionstechniken) sowie Kehrlichtverbrennungen ohne moderne Rauchgasreinigung, Verunreinigungen von Energieträgern, Klärschlamm, illegale Abfallverbrennung.

Korrelation mit Mfz-Dichte und Strassenabstand.

#### Hauptaufnahmeptide beim Menschen

Luft, besonders bei exponierten Arbeitern, Nahrungsmittel, Edelstahlpfannen.

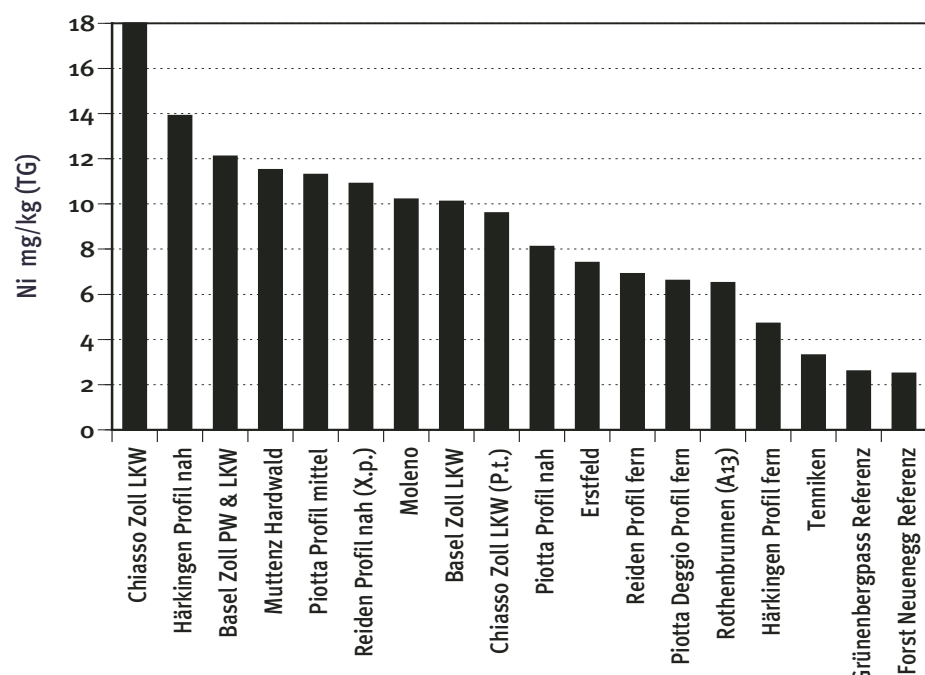
#### Wirkungsmechanismus bei Pflanze und Mensch

Mässig phytotoxisch, stark humantoxisch: Allergien, Asthma, Krebsverdacht: Lungen.

### Nickel-Belastung der MfM-U Standorte von 2003

Auch Nickel zeigt die typischen Hauptverkehrsstandorte mit Maximalwerten (Abb. 18). Der höchste Wert wurde in Chiasso Zoll LKW gemessen, gefolgt von Härkingen Profil nah, Basel Zoll PW & LKW und Muttenz Hardwald.

Wie bei allen andern Schwermetallen liegt der tiefste Wert auch für Nickel am Referenzstandort Forst Neuenegg. Weitere Standorte mit tiefen Werten sind Tenniken und Härkingen Profil fern. Mit einem Faktor von 7 liegt ein starker Belastungsgradient vor. Auch Nickel gilt als Tracer für Motorfahrzeuge.



**Abb. 165 Nickel-Belastung der MfM-U Standorte von 2003**

Für das Schwermetall Nickel liegt zwischen maximalem Mittelwert am Standort Chiasso Zoll LKW und dem geringst belasteten Standort Forst Neuenegg ein starker Belastungsgradient von 7 vor.

## Arsen (As)

### Allgemeine Grundlagen nach Literatur

#### Hauptemittenten und Quellen

Metallverarbeitende Industrie (Giessereien, Metallurgie, Legierungsbestandteil, Munitionsindustrie), Schiessplätze, Verunreinigung von Kohle und andern Energieträgern, in der Textil-, Glas-, Farb- und Keramikindustrie, in Gerbereien, für die Herstellung von Feuerwerkskörpern, Pestiziden (in vielen Ländern inzwischen verboten) und Holzschutzmitteln sowie Verwendung in der Veterinärmedizin, illegale Abfallverbrennung.

Korrelation mit Mfz-Dichte und Strassenabstand.

#### Hauptaufnahmeefade beim Menschen

Luft, besonders bei exponierten Arbeitern, in einzelnen Ländern hauptsächlich aus Wasser, Boden, Nahrungsmittel.

#### Wirkungsmechanismus bei Pflanze und Mensch

Arsen als Spurenelement im menschlichen Organismus. Die Toxizität von Arsen und seinen Verbindungen ist sehr unterschiedlich. Hoch toxisch sind die leicht resorbierbaren Verbindungen, insbesondere des dreiwertigen Arsens: krebserregend (Lunge, Haut).

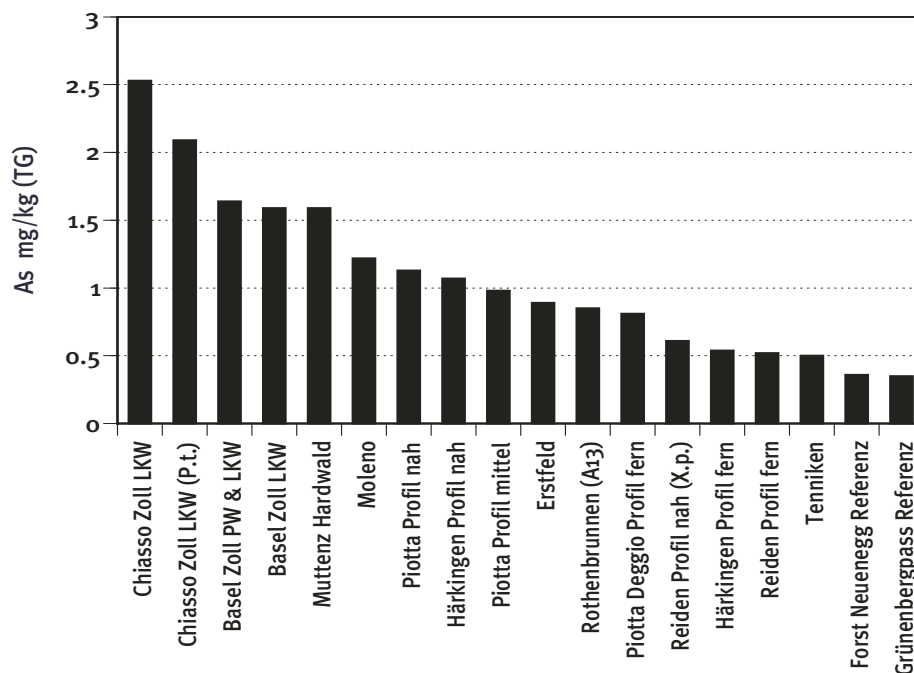
### Arsen-Belastung der MfM-U Standorte von 2003

Die höchsten Standortwerte wurden in Chiasso Zoll LKW und Basel Zoll PW und LKW, Basel Zoll LKW gemessen (Abb. 19).

Die tiefsten Arsen-Werte befinden sich am Referenzstandort Forst Neuenegg, gefolgt von Tenniken. Mit einem Faktor von 7 liegt ein starker Belastungsgradient vor. Arsen eignet sich als Tracer für Motorfahrzeuge.

**Abb. 166 Arsen-Belastung der MfM-U Standorte von 2003**

Zwischen Chiasso Zoll LKW (maximaler Mittelwert) und dem Hintergrundstandort Forst Neuenegg (minimaler Mittelwert) liegt mit einem Faktor von 7 ein starker Belastungsgradient vor.





## Palladium (Pd)

### Allgemeine Grundlagen nach Literatur

#### Hauptemittenten und Quellen

Seit 1993 verstärkt in Kfz-Abgasreinigungstechnik eingesetzt. Aktuellste Generation von benzinbetriebenen Katalysator-Fahrzeugen. Feinverteiltes Palladium ist Basis vieler Hydrierungs-Katalysatoren. Verwendung im electrical engineering.

#### Hauptaufnahmeptide beim Menschen

Luft, besonders bei exponierten Arbeitern, Nahrungsmittel

#### Wirkungsmechanismus bei Pflanze und Mensch

Palladium ist humantoxikologisch unbedenklich.

### Palladium-Belastung der MfM-U Standorte von 2003

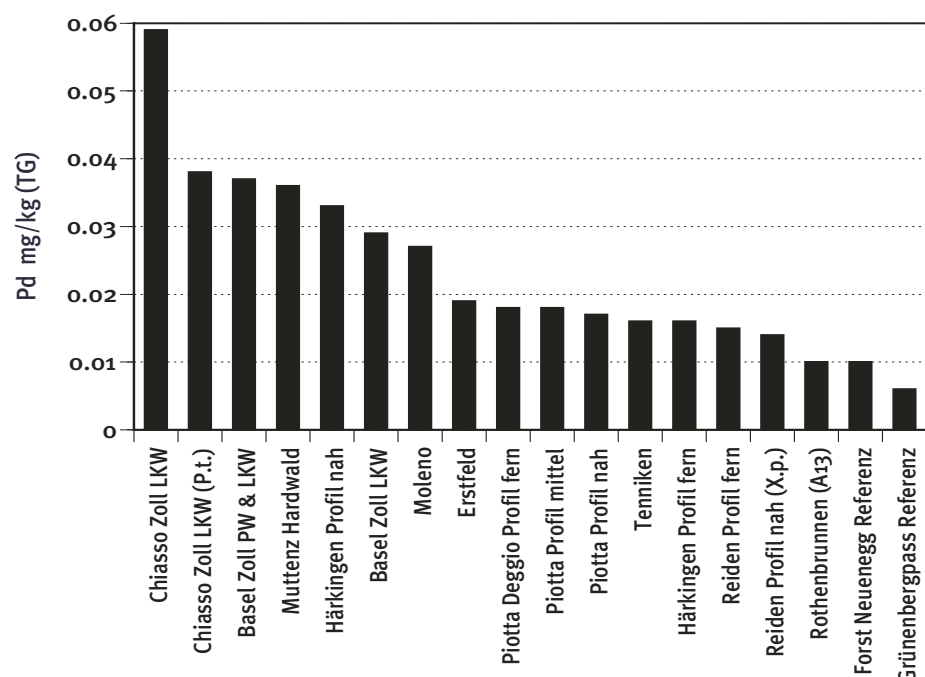
Der mit Abstand höchste Palladium-Standortwert wurde in Chiasso Zoll LKW festgestellt (Abb. 20). Die übrigen hohen Palladium-Werte zeigen sich an weiteren ausgeprägten Verkehrsstandorten (beide Basel Zoll Standorte, MuttENZ Hardwald und Härkingen Profil nah).

Wie bereits bei vielen andern Schwermetallen dargestellt, zeigen sich auch die tiefsten Palladium-Standortwerte am Referenzstandort Forst Neuenegg und in Rothenbrunnen (A13), gefolgt von Reiden Profil fern, Härkingen Profil fern und Tenniken.

Mit einem Faktor von 6 liegt ein starker Belastungsgradient vor. Palladium eignet sich als Verkehrstracer, insbesondere für die aktuellste Generation benzinbetriebener Katalysator-Fahrzeuge.

**Abb. 167 Palladium-Belastung der MfM-U Standorte von 2003**

Der maximale Mittelwert am Standort Chiasso Zoll LKW liegt um ein Sechsfaches über dem tiefsten Mittelwert am Hintergrundstandort Forst Neuenegg.



## Cadmium (Cd)

### Allgemeine Grundlagen nach Literatur

#### Hauptemittenten und Quellen

Da der Einsatz von Cadmium durch die Stoffverordnung (StoV) seit 1991 drastisch eingeschränkt oder teilweise sogar verboten ist, handelt es sich heute vorwiegend um Altlasten. Frühere wichtige Quellen waren der Pneumabrieb von Autoreifen (Vulkanisierungsadditiv), KVAs ohne moderne Rauchgasreinigung (Batterien, Farbrückstände), Kunststoff-Industrie (Additiv von Weichmachern und Farbpigmenten) und metallverarbeitende Industrie (Galvanik; und Bestandteil von Metalllegierungen sowie die verbotene Cadmierung). Als rezente Quellen kommen heute noch in Betracht: Elektronikindustrie, Verunreinigung von Energieträgern, Klärschlamm, Phosphatdünger und illegale Abfallverbrennung.

#### Hauptaufnahmewege beim Menschen

Luft, Boden, Nahrungsmittel, Wasser.

#### Wirkungsmechanismus bei Pflanze und Mensch

Mässig phyto- und stark humantoxisch mit hoher Akkumulationstendenz in Organen: Nieren-, Leberdegradation, Bluthochdruck, neurotoxische Wirkungen, Krebsverdacht.

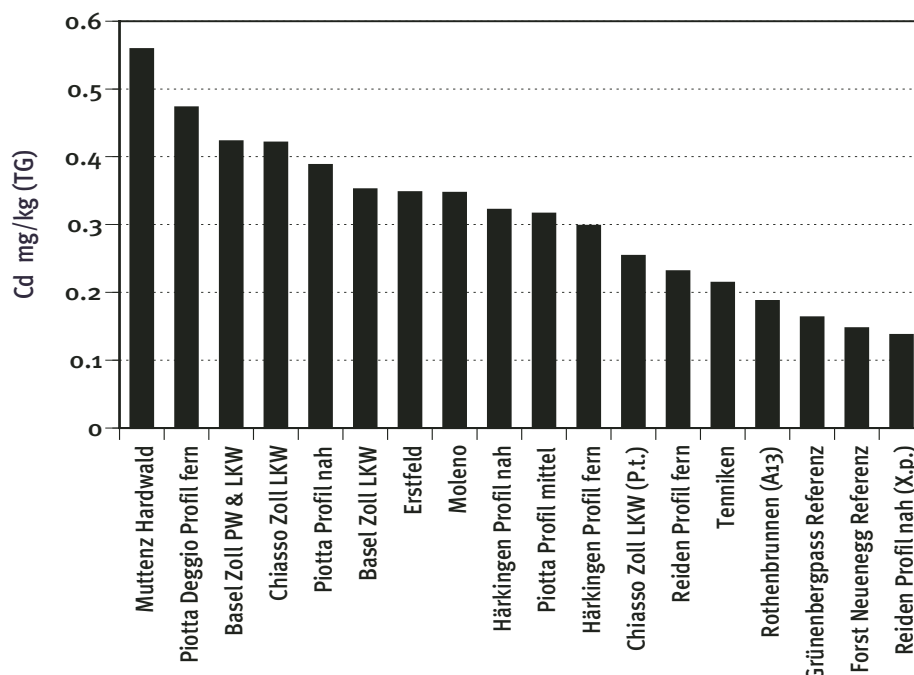
### Cadmium-Belastung der MfM-U Standorte von 2003

Die höchsten Cadmium-Standortwerte wurden in Muttenz Hardwald, gefolgt von Piotta Deggio Profil fern, Basel Zoll PW und LKW und Chiasso Zoll LKW gemessen (Abb. 22).

Die tiefsten Cadmium-Mittelwerte befinden sich wiederum am Referenzstandort Forst Neuenegg, gefolgt von Rothenbrunnen (A13). Cadmium zeigt mit 3.8 den geringsten Belastungsgradienten aller Schwermetalle.

**Abb. 168 Cadmium-Belastung der MfM-U Standorte von 2003**

Für das Schwermetall Cadmium liegt zwischen maximalem Mittelwert am Standort Muttenz Hardwald und dem geringst belasteten Standort Forst Neuenegg ein deutlicher Belastungsgradient von 3.8 vor.



### 10.2.2 Charakterisierung der PAK-Belastung an den MfM-U Standorten sowie an 6 weiteren Standorten der Stadt Bern

Das Kapitel 10.22 visualisiert alle nicht bereits im Kapitel 5.4 gezeigten PAKs mit ihren Standortmittelwerten. Diese Zusammenstellung integriert auch die Grundlagen zu den Stoffeigenschaften und Hauptemissionsquellen aus Kapitel 3.4.2.

#### Allgemeine Grundlagen zu den Quellen und dem Umweltverhalten der PAK-Belastung

Im Kapitel 10.2.2 wurde in Kursivschrift das derzeit vorhandene allgemeine Wissen zu den Hauptemissionsquellen von 14 relevanten PAKs dargestellt. Soweit bekannt, wurden die relevanten Emissionsquellen aus den Bereichen Verkehrstechnik, Energienutzung und gewerblich/industrieller Tätigkeit bezeichnet.

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe PAKs bestehen aus zwei- bis mehrfach kondensierten Benzolringstrukturen und entstehen generell als Nebenprodukte bei unvollständiger Verbrennung von organischen Materialien ( $> 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), Treib- und Brennstoffen, in Kokkereien oder bei Pyrolyseprozessen, sind in geringeren Konzentrationen jedoch auch Bestandteile natürlicher Emissionen von Pflanzen und Bakterien.

Dementsprechend breit ist das Vorkommen von PAKs, welche sich besonders in Steinkohlenteer, Schieferöl, Russ, Autoabgasen und Tabakrauch finden. Nur wenige Stoffe werden in reiner Form synthetisiert, der Großteil der PAK-Rohstoffe wird aus dem Steinkohlenteer isoliert, diese dienen zur Herstellung von Kunststoffen, Herbiziden, Pharmazeutikas, Farbstoffen, Sprengstoffen, Isolationsflüssigkeiten, Weichmachern, Gerbstoffen und Beizmitteln. Kokkereien, anodische Schmelzwerke und die Graphitherstellung gelten als Quellen sehr hoher PAK-Emissionen (Petry et al., 1996).

Lufthygienisch bedeutungsvoll ist die Tatsache, dass die Emission von PAKs grösstenteils an Russpartikel adsorbiert erfolgt. Generell sind die PAK Luftkonzentrationen im Winter deutlich höher als im Sommer. Sind die Russpartikel kleiner als  $10\mu\text{m}$ , wie das bei Dieselabgasen der Fall ist, so werden die PAK-beladenen Partikel bis in die tiefsten Lungenregionen eingeatmet und gefährden diese hochempfindlichen Gewebe.

Im süddeutschen Raum wurde anhand von Autobahnprofilen eine klare Distanzabhängigkeit von einzelnen PAKs aufgezeigt (Nobel und Michelfelder, 1986). Von besonderer Bedeutung sind dabei Dieselfahrzeuge, welche bedeutende Frachten von PAKs (z.B. Phenanthren, Fluoranthren, Pyren, Benz(a)pyren) emittieren (Williams et al., 1986). Auch Kehrrichtverbrennungsanlagen ohne weitergehende Rauchgasreinigung und Feuerungen sowie die illegale Abfallverbrennung zählen zu den PAK-Emittenten. Viele PAKs werden von Pflanzen sehr gut akkumuliert. Als geeignete Biomonitoren für PAKs haben sich Grünkohl und Flechten schon mehrfach bewährt. Untersuchungen in der Schweiz mittels Passivem Biomonitoring mit der Flechtenart *Parmelia sulcata* in verschiedenen Landesgegenden zeigen sehr deutliche Konzentrationsunterschiede und eine deutliche Abhängigkeit zur Siedlungsintensität und insbesondere zur Motorfahrzeugdichte für die meisten der 15 PAK-Einzelkomponenten und den PAK-Summenparameter (AGB 1991 und Herzig 1993).

## Charakterisierung der PAK-Belastung an den MfM-U-Standorten sowie an 6 weiteren Standorten der Stadt Bern

### PAK Summe 27

Die PAK-Summe 27 fasst sämtliche der gemessenen Polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe in einem Wert zusammen. Diese Grösse erlaubt den Vergleich der untersuchten Standorte bezüglich der allgemeinen PAK-Belastung.

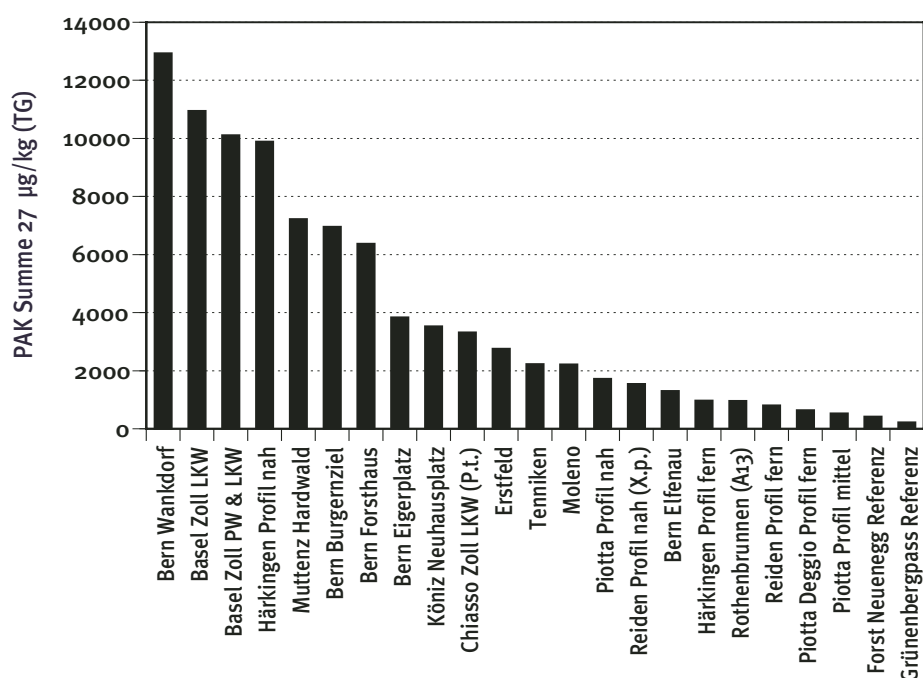
Der höchste Standortmittelwert der PAK Summe 27 wurde am Stadtberner Verkehrsstandort Wankdorf erhoben (Abb. 24), gefolgt von den ebenfalls stark frequentierten Verkehrsstandorten Basel Zoll LKW, Basel Zoll PW & LKW sowie Härkingen Profil nah. Die ebenfalls verkehrsgeprägten Standorte MuttENZ Hardwald, Bern Burgernziel und Bern Forsthaus weisen im Vergleich zu den erstgenannten Standorten bereits etwas tiefere Werte aus.

Der tiefste PAK Summenwert wurde am Referenzstandort Forst Neuenegg erhoben, gefolgt von Piotta Profil mittel, Piotta Deggio Profil fern, Reiden Profil fern, Rothenbrunnen (A13) und Härkingen Profil fern.

Mit einem Faktor von 30 zeigt sich ein deutlicher Belastungsgradient zwischen Maximalwert und dem Wert des Hintergrundstandortes.

**Abb. 169 PAK Summe 27 der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003**

Der maximale PAK Summenwert 27 am Standort Bern Wankdorf liegt um ein Dreissigfaches über dem tiefsten Mittelwert des Hintergrundstandortes Forst Neuenegg.



## Summe mutagener PAKs

14 der 27 gemessenen PAKs können zur Summe mutagener PAKs zusammengefasst werden. Diese Grösse erlaubt den Vergleich der untersuchten Standorte bezüglich der toxikologischen, insbesondere mutagenen Relevanz.

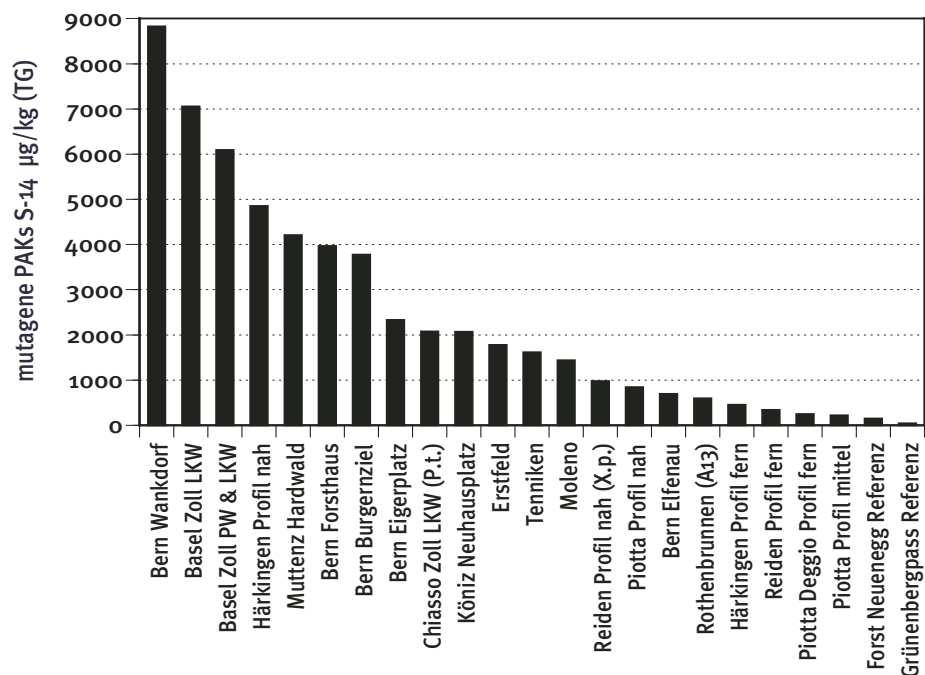
Analog zur PAK Summe 27 zeigt sich der höchste Standortmittelwert am Stadtberner Verkehrsstandort Wankdorf (Abb. 25), gefolgt von den ebenfalls stark frequentierten Verkehrsstandorten Basel Zoll LKW, Basel Zoll PW & LKW sowie Härkingen Profil nah. Die ebenfalls verkehrsgeprägten Standorte MuttENZ Hardwald, Bern Burgernziel und Bern Forsthaus weisen im Vergleich zu den beiden erstgenannten Standorten bereits tiefere Werte aus.

Der tiefste Summenwert mutagener PAKs wurde wiederum am Referenzstandort Forst Neuenegg erhoben, gefolgt von Piotta Profil mittel, Piotta-Deggio Profil fern, Reiden Profil fern, Härkingen Profil fern und Rothenbrunnen (A13).

Mit einem Faktor von 58 ist der Belastungsgradient doppelt so hoch wie bei der Summe 27. Dies weist pointiert auf die toxikologische Relevanz der mutagenen PAKs hin.

**Abb. 170 Summe mutagener PAKs der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003**

Zwischen Bern Wankdorf (maximaler Summenwert mutagener PAKs) und dem Hintergrundstandort Forst Neuenegg (minimaler Summenwert mutagener PAKs) liegt mit einem Faktor von 58 ein sehr hoher Belastungsgradient vor.



## Summe kanzerogener PAKs

12 der 27 gemessenen PAKs können zur Summe kanzerogener PAKs zusammengefasst werden. Diese Grösse erlaubt den Vergleich der untersuchten Standorte bezüglich der toxikologischen, insbesondere kanzerogenen Relevanz.

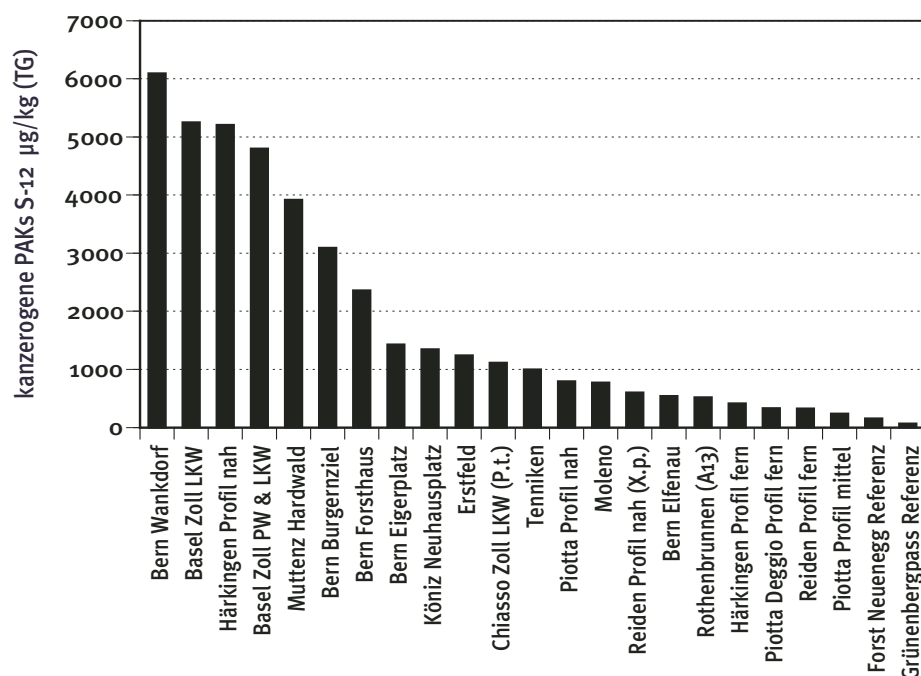
Wiederum zeigt sich der höchste Standortmittelwert am Stadtberner Verkehrsstandort Wankdorf (Abb. 26), gefolgt von den ebenfalls stark frequentierten Verkehrsstandorten Basel Zoll LKW, Härkingen Profil nah, Basel Zoll PW & LKW, Muttentz Hardwald, Bern Burgernziel und Bern Forsthaus.

Der tiefste Summenwert kanzerogener PAKs wurde erneut am Referenzstandort Forst Neuenegg erhoben, gefolgt von Piotta Profil mittel, Reiden Profil fern, Piotta Deggio Profil fern, Härkingen Profil fern und Rothenbrunnen (A13).

Mit einem Faktor von 40 ist der Belastungsgradient erneut hoch. Dies weist pointiert auf die toxikologische Relevanz der kanzerogenen PAKs hin.

**Abb. 171 Summe kanzerogener PAKs der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003**

Der höchste Summenwert kanzerogener PAKs wurde beim Standort Bern-Wankdorf gemessen, der tiefste am Hintergrundstandort Forst Neuenegg. Es liegt ein hoher Belastungsgradient von 40 vor.





## Benzo(g,h,i)perylene

### Allgemeine Grundlagen nach Literatur

#### Hauptemittenten und Quellen

Freisetzung durch Abgase von Verbrennungsmotoren und Heizanlagen. Kokereien, anode Schmelzwerke. Keine Verwendung im technischen Massstab. Sehr guter Diesel-Tracer.

#### Hauptaufnahmeptide beim Menschen

Massgeblich sind Luft und Nahrungsmittel.

#### Wirkungsmechanismus bei Pflanze und Mensch

Mutagen.

### Benzo(g,h,i)perylene-Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003

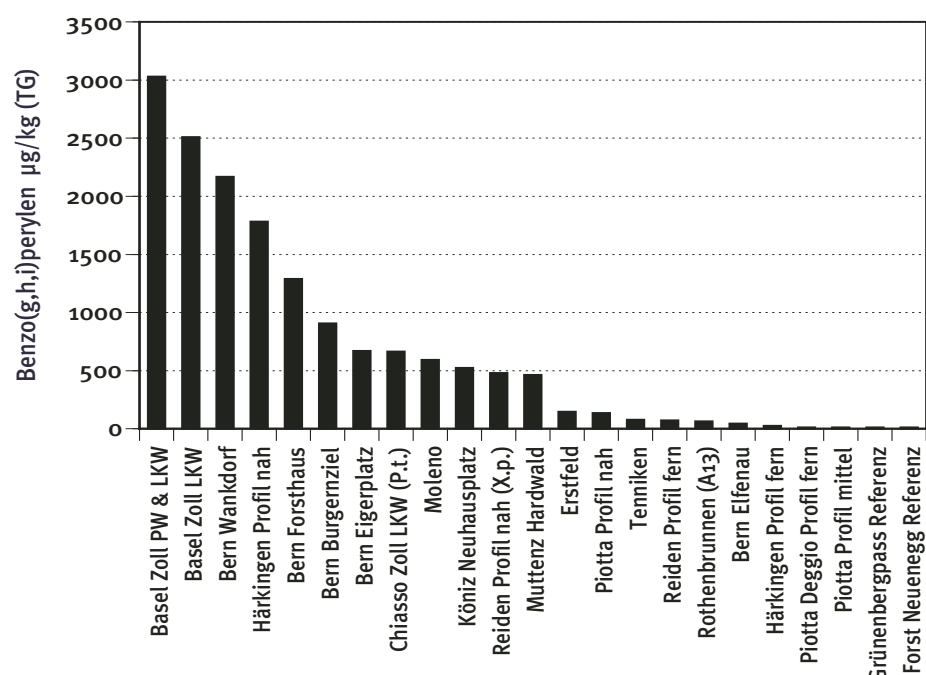
Auch Benzo(g,h,i)perylene wurde bei den ausgeprägten Verkehrsstandorten gefunden (Abb. 29). Die höchsten Werte befinden sich bei den beiden Basler Zoll Standorten, in Bern Wankdorf und Härkingen Profil nah.

Die minimalsten Werte (Nachweisgrenze) zeigen sich am Referenzstandort Forst Neuenegg, in Piotta Profil mittel und Piotta Deggio Profil fern. Weitere tiefe Werte liegen für Härkingen Profil fern, Bern Elfenau, Rothenbrunnen (A13), Reiden Profil fern und Tenniken vor.

Mit einem Faktor von 404 liegt ein überaus starker Belastungsgradient vor. Benzo(g,h,i)perylene eignet sich als sehr guter Tracer für dieselbetriebene Motorfahrzeuge.

**Abb. 172 Benzo(g,h,i)-perylene - Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003**

Zwischen Basel Zoll PW & LKW (maximaler Mittelwert) und dem Hintergrundstandort Forst Neuenegg (minimaler Mittelwert) liegt mit einem Faktor von 404 ein sehr starker Belastungsgradient vor.



## Benzo(e)pyren

### Allgemeine Grundlagen nach Literatur

#### Hauptemittenten und Quellen

Freisetzung durch Abgase von Verbrennungsmotoren.

Sehr guter Diesel-Tracer.

#### Hauptaufnahme-pfade beim Menschen

Massgeblich sind Luft und Nahrungsmittel.

#### Wirkungsmechanismus bei Pflanze und Mensch

Kanzerogene Wirkung wahrscheinlich sowie mutagene Wirkung gesichert.

### Benzo(e)pyren-Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003

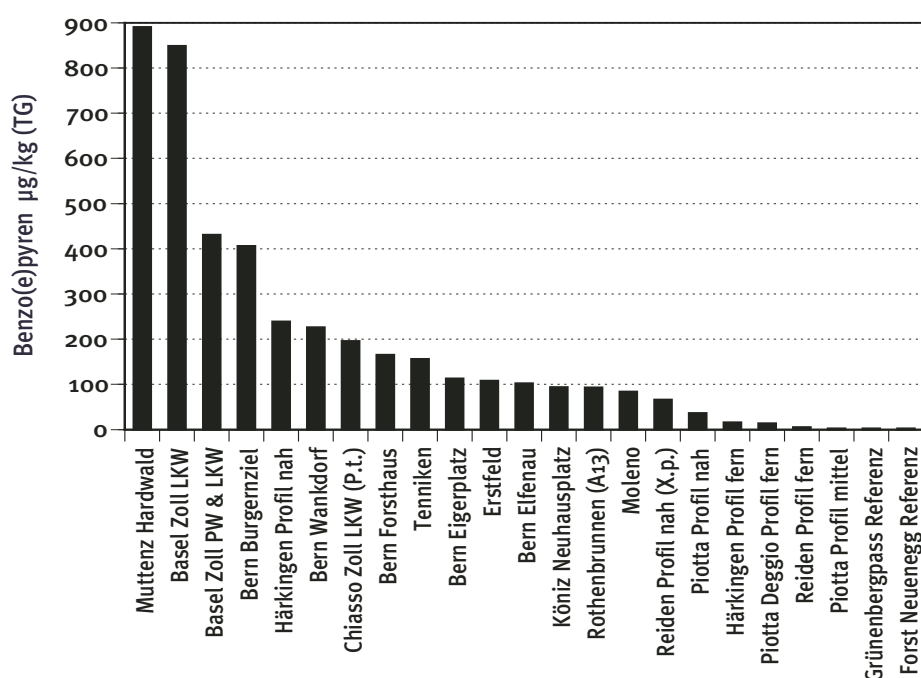
Analog zu Benzo(a)pyren zeigen sich auch für Benzo(e)pyren die beiden höchsten Werte an den Standorten mit ausgeprägtem Schwer- und Güterverkehr Muttentz Hardwald und Basel Zoll LKW (Abb. 30).

Die tiefsten Standortwerte zeigen sich beim Referenzstandort Forst Neuenegg und in Piotta Profil mittel (Nachweisgrenze), und wiederum in Reiden Profil fern, Piotta Deggio Profil fern und Härkingen Profil fern.

Mit einem Faktor von 178 liegt immer noch ein überaus starker Belastungsgradient vor. Benzo(e)pyren eignet sich als sehr guter Tracer für dieselbetriebene Motorfahrzeuge.

**Abb. 173 Benzo(e)pyren-Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003**

Zwischen Muttentz Hardwald (maximaler Mittelwert) und dem Hintergrundstandort Forst Neuenegg (minimaler Mittelwert) liegt mit einem Faktor von 178 ein sehr starker Belastungsgradient vor.



## Dibenz(a,h)athracen

### Allgemeine Grundlagen nach Literatur

#### Hauptemittenten und Quellen

Freisetzung durch Abgase von Verbrennungsmotoren und Heizanlagen. Kokereien und anodische Schmelzwerke.

Sehr guter Diesel-Tracer.

#### Hauptaufnahmepfade beim Menschen

Massgeblich sind Luft und Nahrungsmittel.

#### Wirkungsmechanismus bei Pflanze und Mensch

Kanzerogen und mutagen.

### Dibenz(a,h)athracen-Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003

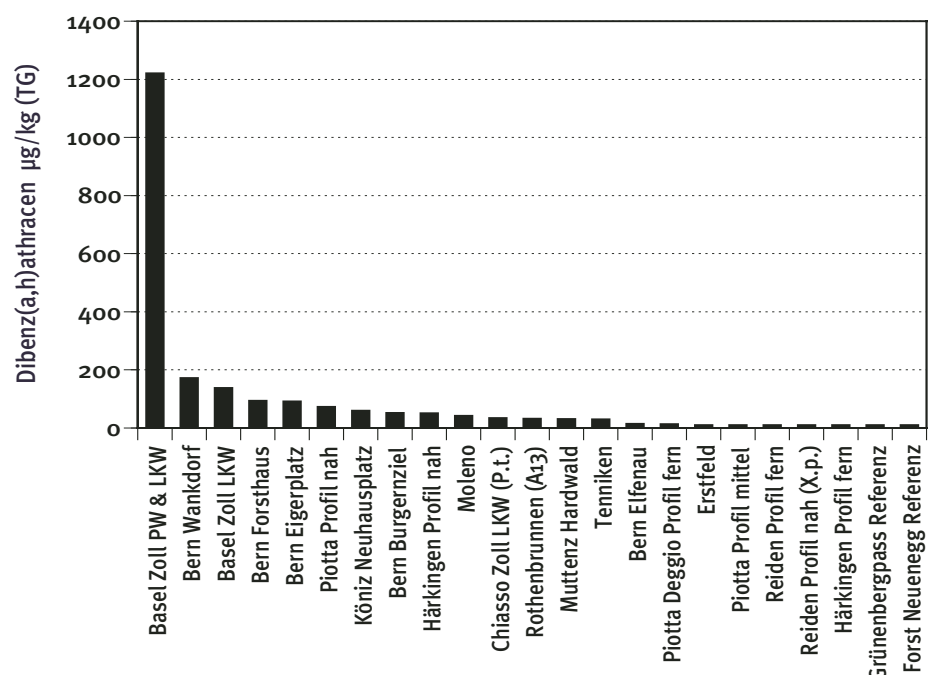
Der überaus höchste Dibenz(a,h)athracen-Standortwert wurde in Basel Zoll PW & LKW festgestellt (Abb. 32).

Die tiefsten Werte (Nachweisgrenze) zeigen sich am Referenzstandort Forst Neuenegg, in Härkingen Profil fern, Reiden Profil fern und Piotta Profil mittel.

Mit einem Belastungsgradienten von 122 weist Dibenz(a,h)athracen einen ebenfalls sehr deutlichen Unterschied zwischen Maximalwert und geringst belasteten Standorten. Dibenz(a,h)anthracen eignet sich als sehr guter Tracer für dieselbetriebene Motorfahrzeuge.

**Abb. 174 Dibenz(a,h)athracen Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003**

Für Dibenz(a,h)anthracen liegt zwischen maximalem Mittelwert am Standort Basel Zoll PW & LKW und dem geringst belasteten Hintergrundstandort Forst Neuenegg ein sehr starker Belastungsgradient von 122 vor.



## Anthanthren

### Allgemeine Grundlagen nach Literatur

#### Hauptemittenten und Quellen

Freisetzung durch Abgase von Verbrennungsmotoren.

Sehr guter Diesel-Tracer.

#### Hauptaufnahmepfade beim Menschen

Massgeblich sind Luft und Nahrungsmittel.

#### Wirkungsmechanismus bei Pflanze und Mensch

-

### Anthanthren-Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003

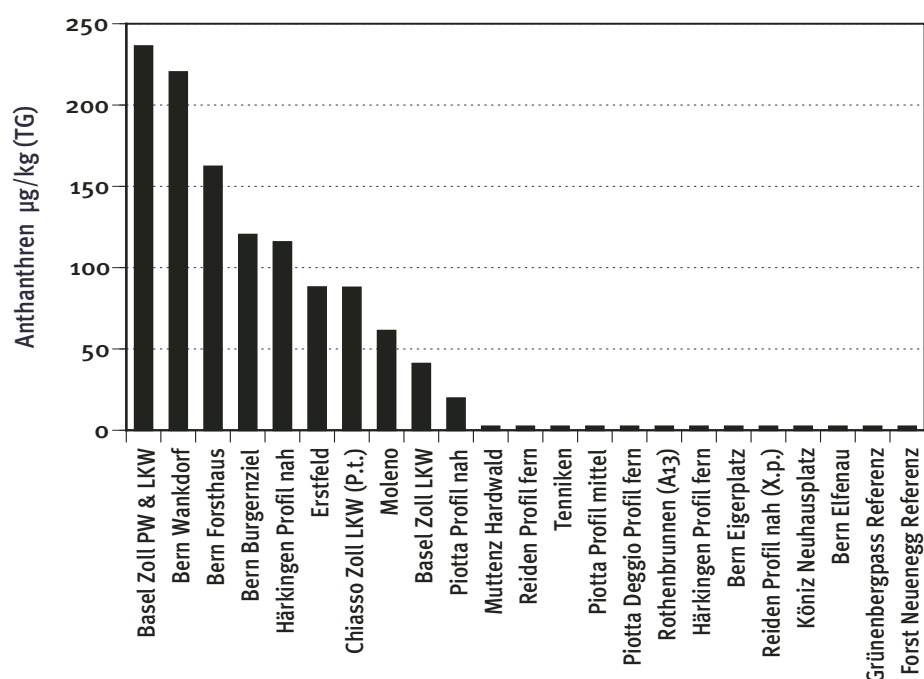
An nur 9 Standorten wurde ein Messwert erzielt (Abb. 34). Anthanthren zeigt seine maximalen Standortwerte in Basel Zoll PW & LKW und in Bern Wankdorf, gefolgt von Bern Forsthaus, Bern Burgernziel und Härkingen Profil nah.

An 11 Standorten konnte kein Anthanthren gemessen werden (Nachweisgrenze), unter anderem am Referenzstandort Forst Neuenegg.

Mit einem Faktor von 50 liegt ein sehr deutlicher Belastungsgradient vor. Auch Anthanthren eignet sich als Tracer für diesebetriebene Motorfahrzeuge.

**Abb. 175 Anthanthren-Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003**

Der maximale Mittelwert am Standort Basel Zoll PW & LKW liegt um ein Fünzigfaches über dem tiefsten Mittelwert am Hintergrundstandort Forst Neuenegg.



## Coronen

### Allgemeine Grundlagen nach Literatur

#### Hauptemittenten und Quellen

Freisetzung durch Abgase von Verbrennungsmotoren und im Tabakrauch enthalten.

Guter Diesel-Tracer.

#### Hauptaufnahmeptide beim Menschen

Massgeblich sind Luft und Nahrungsmittel.

#### Wirkungsmechanismus bei Pflanze und Mensch

Kanzerogene Wirkung wahrscheinlich sowie mutagene Wirkung gesichert.

### Coronen-Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003

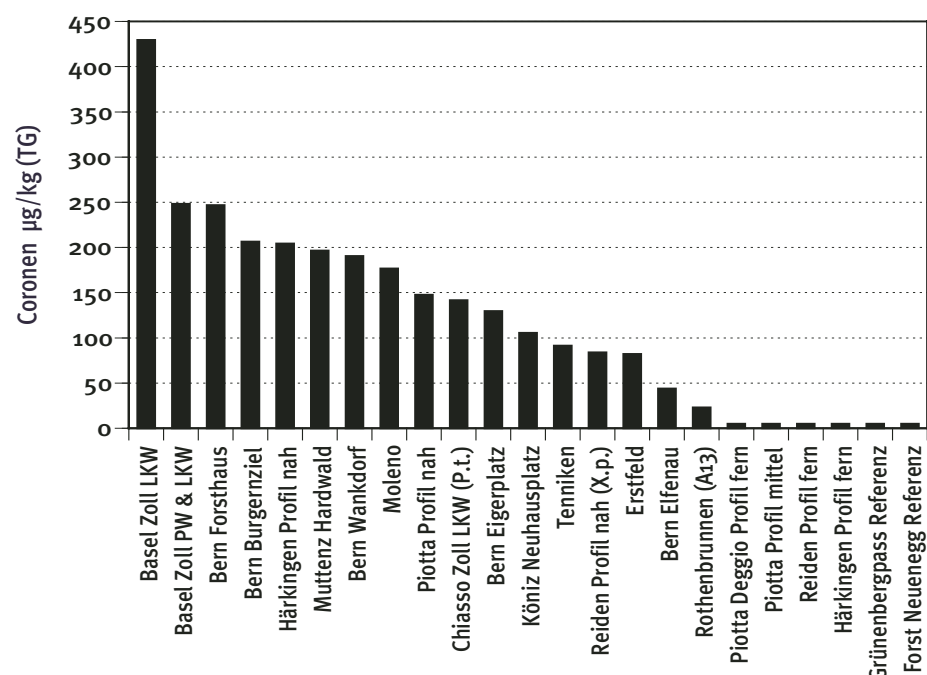
Der mit Abstand höchste Coronen-Standortwert liegt am Standort Basel Zoll LKW (Abb. 36), gefolgt vom zweiten Basler Zollstandort (PW & LKW) und Bern Forsthaus.

Die tiefsten Werte (Nachweisgrenze) liegen am Referenzstandort Forst Neuenegg, in Härkingen Profil fern, Reiden Profil fern, Piotta Profil mittel und Piotta Deggio Profil fern vor.

Coronen zeigt mit einem Faktor von 43 einen sehr deutlichen Belastungsgradienten. Coronen eignet sich als sehr guter Tracer für dieselbetriebene Motorfahrzeuge.

**Abb. 176 Coronen- Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003**

Zwischen Basel Zoll LKW (maximaler Mittelwert) und dem Hintergrundstandort Forst Neuenegg (minimaler Mittelwert) liegt mit einem Faktor von 43 ein sehr deutlicher Belastungsgradient vor.



## Pyren

### Allgemeine Grundlagen nach Literatur

#### Hauptemittenten und Quellen

Freisetzung durch Autoabgase (30-120 µg/l Kraftstoff), von Heizanlagen. Kokereien, anodische Schmelzwerke. Technisch-chemisches Zwischenprodukt bei Herstellung von Farbstoffen und Bestandteil von Isolatorflüssigkeit in Transformatoren. In Teer, Anstrichmitteln, Zigarettenrauch enthalten.

Sehr guter Diesel-Tracer.

#### Hauptaufnahmeefade beim Menschen

Massgeblich sind Luft und Nahrungsmittel.

#### Wirkungsmechanismus bei Pflanze und Mensch

Kanzerogene und mutagene Wirkung unklar.

### Pyren-Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003

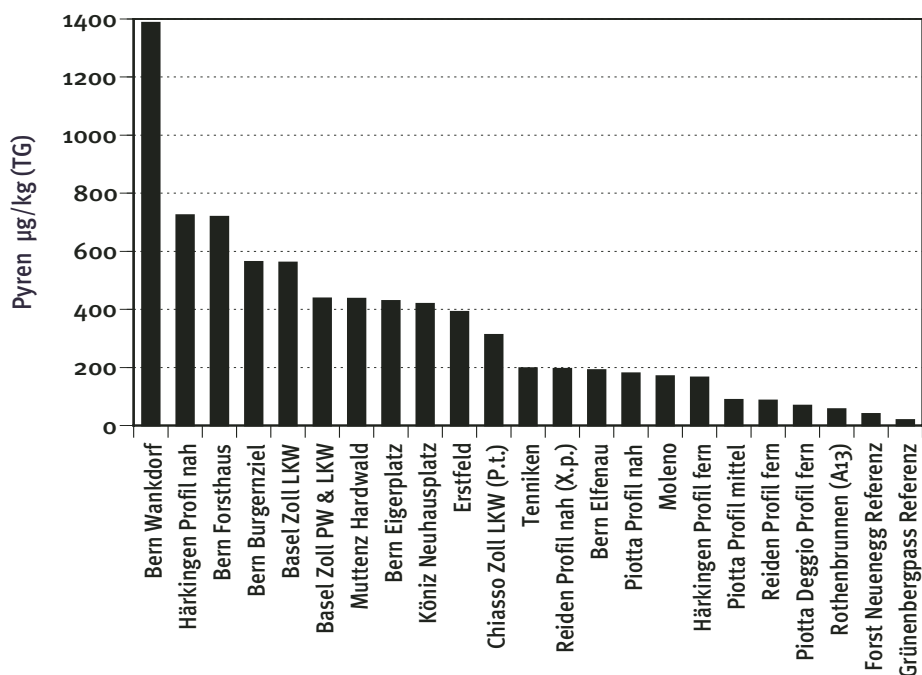
Der mit Abstand höchste Pyren-Standortwert wurde in Bern Wankdorf festgestellt (Abb. 37). Auf tieferem Niveau folgen Härkingen Profil nah und Bern Forsthaus.

Der tiefste Pyren-Mittelwert wurde am Referenzstandort Forst Neuenegg gemessen, gefolgt von Rothenbrunnen (A13), Piotta Deggio Profil fern, Reiden Profil fern und Piotta Profil mittel.

Pyren zeigt mit einem Faktor von 35 einen immer noch sehr deutlichen Belastungsgradienten. Pyren eignet sich als sehr guter Tracer für dieselbetriebene Motorfahrzeuge.

**Abb. 177 Pyren - Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003**

Für Pyren liegt zwischen maximalem Mittelwert von Bern Wankdorf und dem geringst belasteten Hintergrundstandort Forst Neuenegg ein immer noch sehr starker Belastungsgradient von 35 vor.





## Benz(a)anthracen

### Allgemeine Grundlagen nach Literatur

#### Hauptemittenten und Quellen

Pyrolyse organischer Verbindungen. Emission von Motorfahrzeugen. Kokereien, anodische Schmelzwerke. Keine kommerzielle Verwendung. Im Tabakrauch.

Sehr guter Diesel-Tracer.

#### Hauptaufnahmeptide beim Menschen

Massgeblich sind Luft und Nahrungsmittel.

#### Wirkungsmechanismus bei Pflanze und Mensch

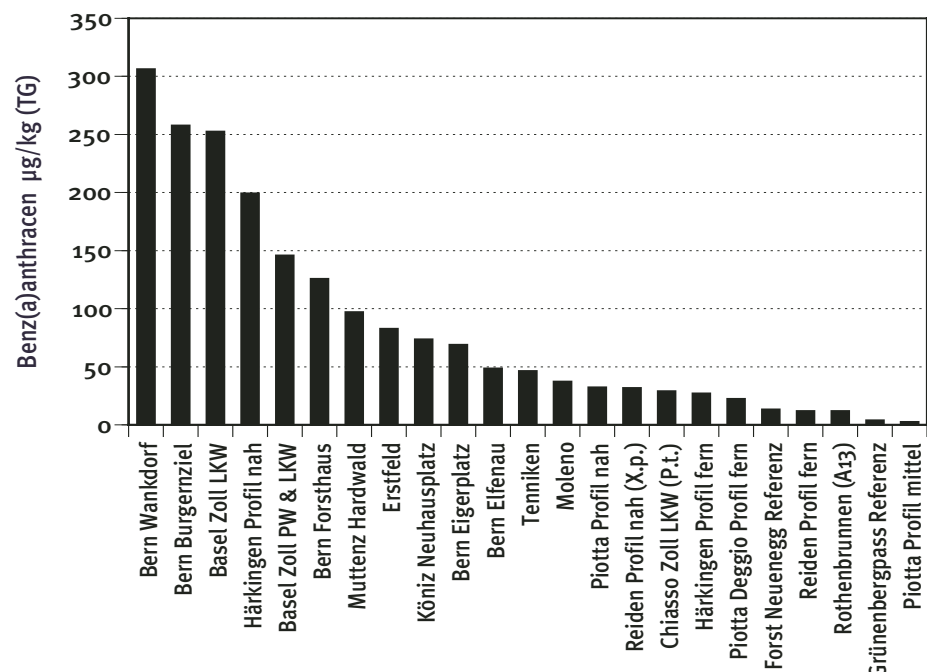
Kanzerogen und mutagen.

### Benz(a)anthracen-Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003

Auch die höchsten Benz(a)anthracen-Standortwerte wurden an Strassen mit ausgeprägter LKW-Belastung und weiterer dieselbetriebener Fahrzeuge festgestellt (Abb. 38). Es betrifft Bern Wankdorf, gefolgt von Bern Burgernziel, Basel Zoll LKW und Härkingen Profil nah.

Die tiefsten Standortwerte liegen in Piotta Profil mittel (Nachweisgrenze), gefolgt von Rothenbrunnen (A13), Reiden Profil fern und am Referenzstandort Forst Neuenegg.

Für Benz(a)anthracen liegt mit einem Faktor von 26 ein starker Belastungsgradient vor. Auch Benz(a)anthracen eignet sich als sehr guter Tracer für dieselbetriebene Motorfahrzeuge.



**Abb. 178 Benz(a)anthracen - Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003**

Für Benz(a)anthracen liegt zwischen dem maximalen Mittelwert am Standort Bern Wankdorf und dem geringst belasteten Standort Rothenbrunnen (A13) ein Belastungsgradient von 26 vor.

## Fluoranthen

### Allgemeine Grundlagen nach Literatur

#### Hauptemittenten und Quellen

Freisetzung durch Abgase von Verbrennungsmotoren und Heizanlagen. Kokereien und anodische Schmelzwerke. Technisch-chemisches Zwischenprodukt bei der Herstellung von Farbstoffen und Pharmazeutika. Keine Verwendung im technischen Massstab.

Sehr guter Diesel-Tracer.

#### Hauptaufnahmeefade beim Menschen

Massgeblich sind Luft und Nahrungsmittel.

#### Wirkungsmechanismus bei Pflanze und Mensch

Kanzerogene Wirkung wahrscheinlich sowie mutagene Wirkung gesichert.

### Fluoranthen-Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003

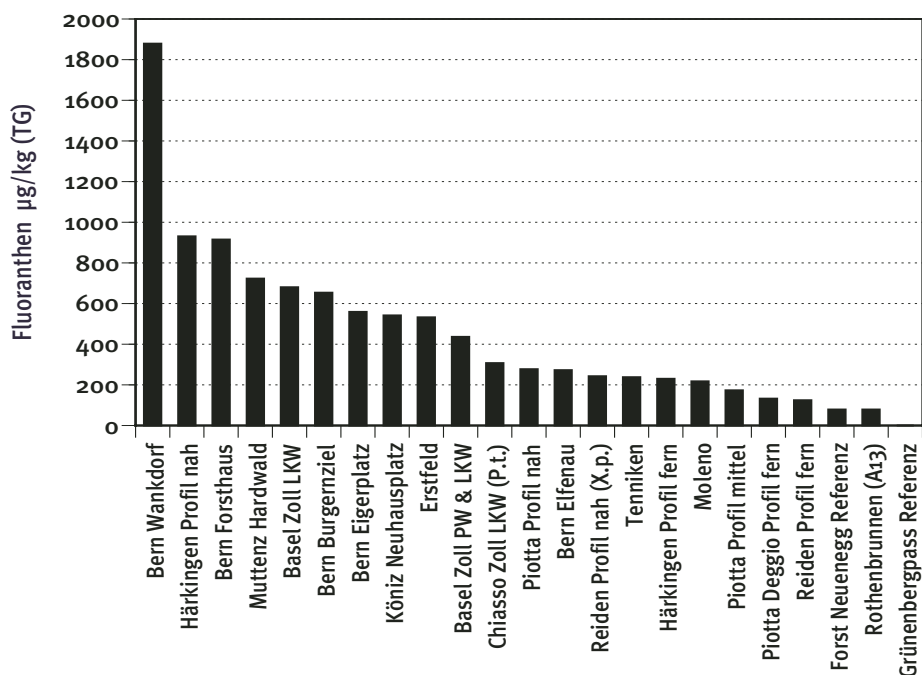
Der mit Abstand höchste Fluoranthen-Standortwert zeigt sich wiederum in Bern Wankdorf (Abb. 39), gefolgt von Härkingen Profil nah, Bern Forsthaus und MuttENZ Hardwald.

Die tiefsten Werte liegen in Rothenbrunnen (A13) und dem Hintergrundstandort Forst Neuenegg vor.

Der Belastungsgradient ist mit 24 deutlich. Auch Fluoranthen eignet sich als Tracer für den diesebetriebenen Motorfahrzeugverkehr.

**Abb. 179 Fluoranthen - Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003**

Zwischen Bern Wankdorf (maximaler Mittelwert) und Rothenbrunnen (minimaler Mittelwert) liegt mit einem Faktor von 24 ein deutlicher Belastungsgradient vor.



## Benzo(c)phenanthren

### Allgemeine Grundlagen nach Literatur

#### Hauptemittenten und Quellen

Freisetzung durch Abgase von Verbrennungsmotoren und Heizanlagen.  
Guter Diesel-Tracer.

#### Hauptaufnahme-pfade beim Menschen

Massgeblich sind Luft und Nahrungsmittel.

#### Wirkungsmechanismus bei Pflanze und Mensch

Kanzerogen und mutagen.

### Benzo(c)phenanthren-Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003

Der höchsten Standortwerte wurden in Bern Wankdorf, gefolgt von Bern Burgernziel, Basel Zoll LKW, Härkingen Profil nah und Basel Zoll PW & LKW festgestellt (Abb. 40).

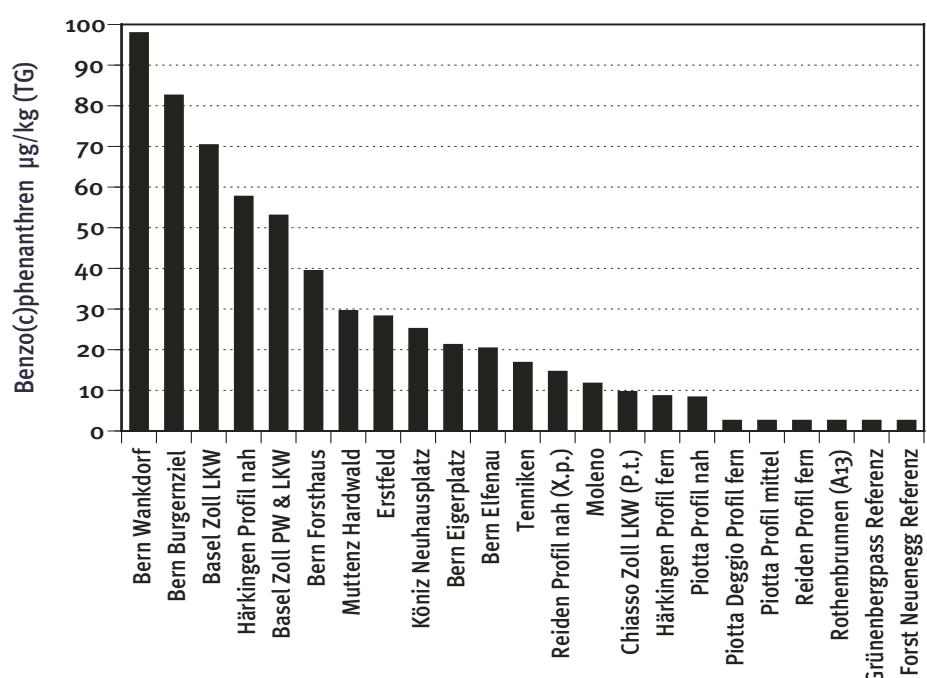
Die tiefsten Werte (Nachweisgrenze) liegen am Referenzstandort Forst Neuenegg, in Rothenbrunnen (A13), Reiden Profil fern, Piotta Profil mittel und Piotta Deggio Profil fern vor.

Mit einem Faktor von 19.6 liegt für Benzo(c)phenanthren ein deutlicher Belastungsgradient vor.

Benzo(c)phenanthren kann aufgrund unserer Quellenanalysen als Tracer für den dieselebetriebenen Motorfahrzeugverkehr verwendet werden.

**Abb. 180 Benzo(c)phenanthren - Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003**

Für Benzo(c)phenanthren liegt zwischen dem maximalen Mittelwert am Standort Bern-Wankdorf und dem geringst belasteten Hintergrundstandort Forst Neuenegg ein Belastungsgradient von 19.6 vor.



## 3.6-Dimethylphenanthren

### Allgemeine Grundlagen nach Literatur

#### Hauptemittenten und Quellen

Freisetzung durch Abgase von Verbrennungsmotoren und Heizanlagen.  
Guter Diesel-Tracer.

#### Hauptaufnahmefade beim Menschen

Massgeblich sind Luft und Nahrungsmittel.

#### Wirkungsmechanismus bei Pflanze und Mensch

-

### 3.6-Dimethylphenanthren-Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003

An nur 11 Standorten wurde ein Messwert erzielt (Abb. 42). 3.6-Dimethylphenanthren zeigt seine maximalen Standortwerte in Bern Wankdorf, gefolgt von Köniz Neuhausplatz und Bern Forsthaus.

An 9 Standorten konnte kein 3.6-Dimethylphenanthren gemessen werden (Nachweisgrenze), unter anderem am Referenzstandort Forst Neuenegg.

Mit einem Faktor von 19.3 liegt für 3.6-Dimethylphenanthren ein deutlicher Belastungsgradient vor.

3.6-Dimethylphenanthren kann aufgrund unserer Quellenanalysen als Tracer für den diesebetriebenen Motorfahrzeugverkehr verwendet werden.

**Abb. 181 3.6-Dimethylphenanthren - Belastung der MfM-U und Stadt Berner Standorte von 2003**

Für 3.6-Dimethylphenanthren liegt zwischen dem maximalen Mittelwert am Standort Bern Wankdorf und dem geringst belasteten Hintergrundstandort Forst Neuenegg ein Belastungsgradient von 19 vor.

