

Variation of PM10 chemical composition between kerbside, urban, suburban and rural sites in Switzerland.

M. F. D. Gianini¹, C. Hueglin¹, R. Gehrig¹, A. Fischer¹, A. Wichser², A. Ulrich²

¹ Empa – Swiss Federal Laboratories for Material Science and Technology, Duebendorf, Switzerland, Laboratory for Air Pollution/Environmental Technology.

² Empa – Swiss Federal Laboratories for Material Science and Technology, Duebendorf, Switzerland, Laboratory for Analytical Chemistry.

Daily PM10 samples were taken from August 2008 to July 2009 at an urban background site (Bern), an urban kerbside site (Zurich), at two rural sites (Payerne – north of the Alps, Magadino - south to the Alps) and at a suburban site (Basel) in Switzerland. The collected samples were analysed for mass, water soluble inorganic ions, trace elements and the carbonaceous fraction. In this study we present differences in PM10 chemical composition between the different sampling site types and present conclusions about main emission sources of trace elements.

Chemical composition of PM10 at the different sampling site types shows clear similarities but also differences (Fig.1): At the urban background, suburban and rural site north of the Alps the main PM10 components are secondary inorganic aerosols (nitrate, sulphate and ammonium) and organic matter (OM), accounting for about 40% and 30% of total PM10, respectively. Minor components of PM10 are: mineral dust (8-10%), elemental carbon (3-6%) and trace elements (1-2%). The rural site south of the Alps differs mainly in its low nitrate and high OM and EC concentrations: OM and EC account at Magadino for about 50% of total PM10, while nitrate concentrations are about a half of the concentrations measured north of the Alps. Low nitrate concentrations measured in Magadino are probably due to the low thermal stability of ammonium nitrate [Hering and Cass, 1999; Seinfeld and Pandis, 2006] in conjunction with higher temperatures at this site compared to sites north of the Alps. High OM and EC concentrations could be caused by a more frequent use of wood combustion for heating purpose in the Magadino valley. Enhanced EC, trace elements and mineral dust fractions are observed at the urban kerbside site: these three PM10 components account for about 12%, 14% and 5% of the total PM10 mass, clearly demonstrating the impact of road traffic emissions at this site.

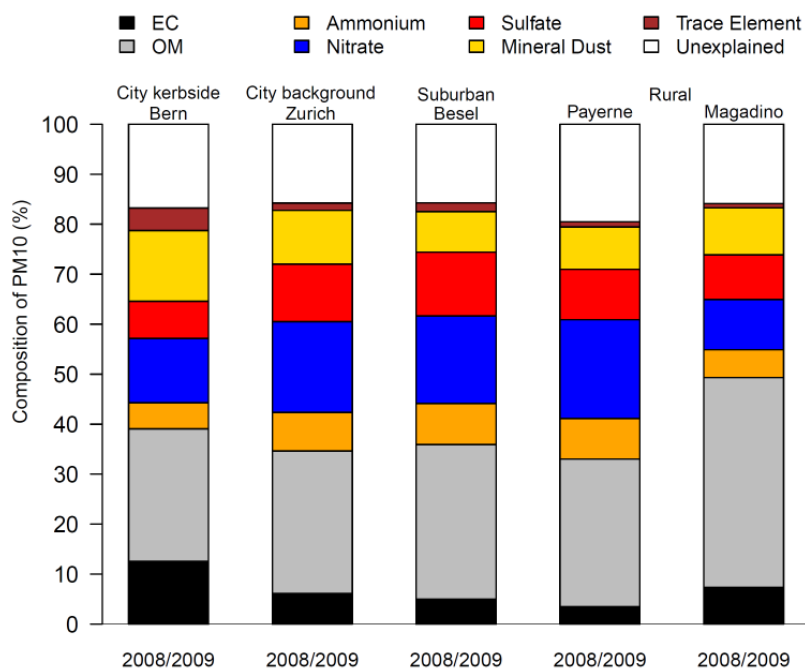


Figure 1: Annual mean chemical composition of PM10 at an urban kerbside site (Bern), an urban background site (Zurich) a suburban site (Basel), and at two rural sites (Payerne – north of the Alps and Magadino – south of the Alps).

Concerning concentration of trace elements in PM10, several elements like Cu, Sb, Zn, Mn, Ba and Mo exhibit strong spatial gradients from urban kerbside to urban background, suburban and rural sites (see Fig 2), indicating that road traffic is an important source of these elements. These elements are known as specific tracers of emissions from brake wear abrasion [EMPA, 2009; Thorpe and Harrison, 2008]. Mineral dust markers (as Al and Mg) and elements observed in Switzerland mainly at crustal concentrations such as Nd or Ce exhibit decreasing concentration from city kerbside site to suburban site, but high concentrations at rural sites. Resuspensions of mineral dust by traffic and by agricultural activities are important sources for this group of elements. A completely different trend can be observed for K⁺, Rb, Cd, Se, V and As: All these elements have similar concentrations at all sampling site types included in this study. This suggests that sources of these compounds are spatially homogeneously distributed in Switzerland or that no major regional sources exist and the concentrations observed in Switzerland are due to long-range transport. This is true for K⁺ and Rb, which are associated to emissions from biomass and wood combustion. Similar for As, Se and V, which are recognised as markers for coal and oil combustion emissions, while Cd is associated in Switzerland with emission of stationary sources. A special situation can be observed for Pb: until ten years ago this element was considered as an important road traffic marker, presenting decreasing concentrations from urban kerbside sites to urban background, suburban and rural sites. Nowadays, the concentration gradient between the different sampling site types has almost disappeared (see Fig 2), indicating that Pb is no longer emitted by road traffic in significant amounts. This is due to the fact that since the year 2000 the use of lead as a fuel additive is prohibited in Switzerland and in the EU.

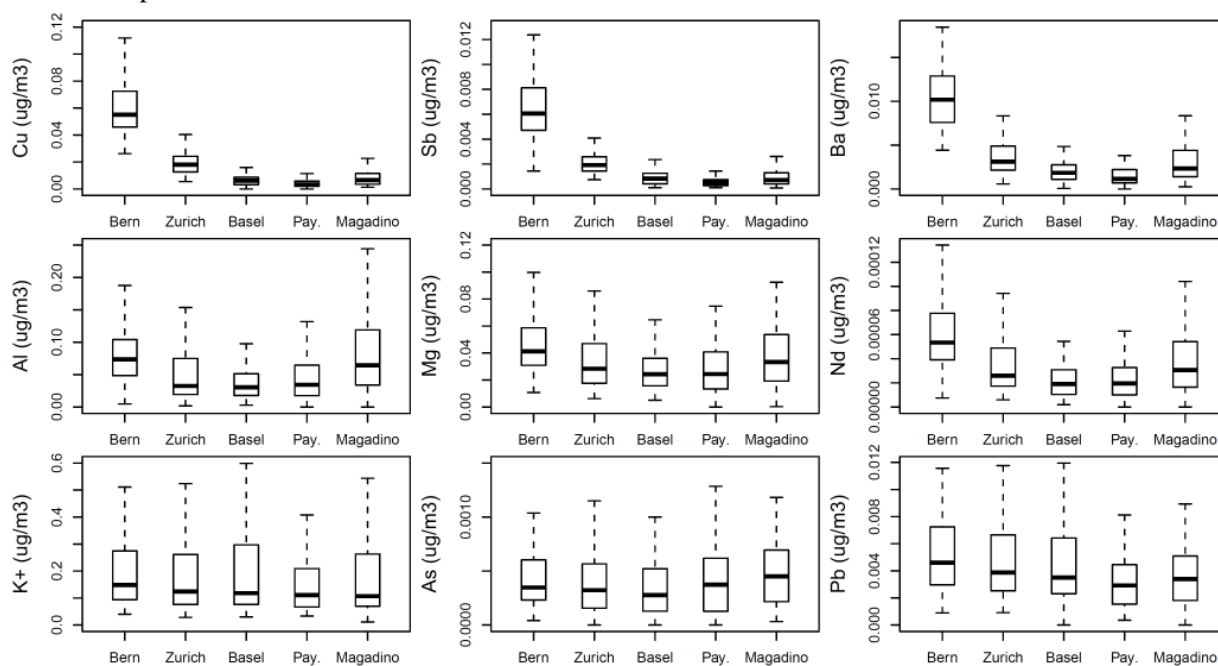


Figure 2: Variability of the concentrations of copper (Cu), antimony (Sb), barium (Ba), aluminium (Al), magnesium (Mg), neodymium (Nd), water soluble potassium (K⁺), arsenic (As) and lead (Pb) at kerbside (Bern), urban background (Zurich), suburban (Basel) and rural sites (Payerne- rural north of the Alps, Magadino – rural south of the Alps).

EMPA (2009), PM10 emission factors of abrasion particles from road traffic (APART), *Bundesamtes für Strassen (ASTRA), Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology (EMPA)*, available at: <http://www.empa.ch>.

Hering, S., and G. Cass (1999), The magnitude of bias in the measurement of PM2.5 arising from volatilization of particulate nitrate from teflon filters, *J. Air Waste Manage. Assoc.*, 49, 725-733.

Seinfeld, J. H., and S. N. Pandis (2006), *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, John Wiley & Sons.

Thorpe, A., and R. M. Harrison (2008), Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: A review, *Sci. Total Environ.*, 400, 270-282.



Materials Science & Technology

Chemische Charakterisierung und Quellen von Feinstaub (PM10) in der Schweiz: *Vergleich von Untersuchungen aus den Jahren 1998- 1999 und 2008-2009*

Matthias Gianini
Abteilung Luftfremdstoffe / Umwelttechnik
EMPA

- Messstandorte und analytische Methoden
- Chemische Zusammensetzung von Feinstaub (PM10)
 - Was hat sich zwischen `98 -`99 und `08 -`09 verändert?
 - Hauptbestandteile / Spurenelemente
- Identifizierung und Quantifizierung der Quellen von Feinstaub (PM10)

Einführung

Definition:

Feinstaub = PM10 = Partikel mit aerodynamischem Durchmesser $< 10\mu\text{m}$

Einführung

Feinstaub = PM10 = Partikel mit aerodynamische Durchmesser $< 10\mu\text{m}$

Wieso ist es wichtig, Feistaub zu charakterisieren
und dessen Quellen zu identifizieren?

Einführung

Feinstaub = PM10 = Partikel mit aerodynamische Durchmesser $< 10\mu\text{m}$

Wieso ist es wichtig, Feistaub zu charakterisieren
und dessen Quellen zu identifizieren?

Auswirkungen auf die Volksgesundheit:

Diese Partikel können tief in die feinsten Verästelungen der Lunge eindringen
und zu schwerwiegenden Auswirkungen auf die Gesundheit führen wie:

- Husten, Atemnot und Bronchitis
- Herz-Kreislauf-Erkrankungen
- vorzeitige Todesfälle und Lungenkrebs.

Einführung

Feinstaub = PM10 = Partikel mit aerodynamische Durchmesser $< 10\mu\text{m}$

Wieso ist es wichtig, Feistaub zu charakterisieren
und dessen Quellen zu identifizieren?

Auswirkungen auf die Volksgesundheit:

Diese Partikel können tief in die feinsten Verästelungen der Lunge eindringen
und zu schwerwiegenden Auswirkungen auf die Gesundheit führen wie:

- Husten, Atemnot und Bronchitis
- Herz-Kreislauf-Erkrankungen
- vorzeitige Todesfälle und Lungenkrebs.

Ziel: Übersicht der chemische Zusammensetzung von PM10



Quellen von PM10 identifizieren



Hinweise für Massnahmenplanung!

- **Messtandorte und analytische Methoden**
- **Chemische Zusammensetzung von Feinstaub (PM10)**
 - Was hat sich zwischen `98 -`99 und `08 -`09 verändert?
 - Hauptbestandteile / Spurenelemente
- **Identifizierung und Quantifizierung der Quellen von Feinstaub (PM10)**

Messstandorte

5 verschieden Standorttypen



Vorstädtisch
Basel

Zurich

Stadt – Hintergrund

Bern

Payerne

Stadt – an Strasse

Ländlich – Alpennordseite

Magadino

Ländlich – Alpensüdseite



Messstandorte

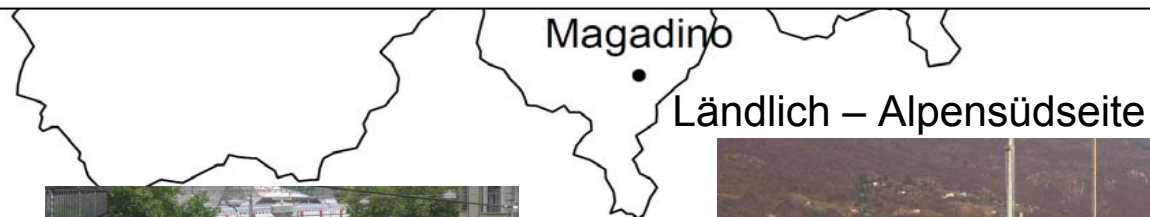


Vorstädtisch
Basel



**5 verschiedene Standorttypen:
Chemische Zusammensetzung von PM10 an
unterschiedlichen Standorttypen vergleichen!
Hinweise auf Quellen ?**

Ländlich – Alpen



Messstandorte und Analysemethoden

▶ PM10-Tagesproben:

Standort	Probenahmeperiode
Basel	04.1998 - 03.1999
	08.2008 - 07.2009
Bern	04.1998 - 03.1999
	08.2008 - 07.2009
Zürich	04.1998 - 03.1999
	08.2008 - 07.2009
Magadino	08.2008 - 07.2009
Payerne	08.2008 - 07.2009

Chemische Charakterisierung:

- Elementarer Kohlenstoff (EC) und organischer Kohlenstoff (OC)
- 35 Elemente: Al, V, Fe, Ni, Cu, Zn, Mo,
- 8 wasserlösliche anorganische Ionen: Na^+ , K^+ , Ammonium (NH_4^+), Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , Nitrat (NO_3^-) und Sulfat (SO_4^{2-})

- Messstandorte und analytische Methoden
- Chemische Zusammensetzung von Feinstaub (PM10)
 - Was hat sich zwischen `98 -`99 und `08 -`09 verändert?
 - Hauptbestandteile / Spurenelemente
- Identifizierung und Quantifizierung der Quellen von Feinstaub (PM10)

- Messstandorte und analytische Methoden
- Chemische Zusammensetzung von Feinstaub (PM10)
 - Was hat sich zwischen `98 -`99 und `08 -`09 verändert?
 - Hauptbestandteile / Spurenelemente
- Identifizierung und Quantifizierung der Quellen von Feinstaub (PM10)

Chemische Zusammensetzung von Feinstaub (PM10)

Mittlere jährliche Konzentrationen

98-99 ug/m ³	PM10	EC	OM [*]	Nitrat	Ammonium	Sulfat	Mineralstaub ^{**}	Spurenelemente ^{***}
Basel	24.7	1.1 (4.3%)	7.8 (31.5%)	3.1 (12.6%)	1.9 (7.8%)	3.9 (16.0%)	2.1 (8.4%)	1.0 (4.0%)
Bern	39.7	4.5 (11.4%)	13.3 (33.6%)	3.3 (8.4%)	1.4 (3.5%)	3.3 (8.3%)	7.5 (19.0%)	2.2 (5.6%)
Zürich	24.1	1.2 (4.8%)	8.1 (33.7%)	3.3 (13.6%)	1.9 (8.1%)	3.7 (15.3%)	2.3 (9.3%)	0.6 (2.6%)

08-09 ug/m ³	PM10	EC	OM [*]	Nitrat	Ammonium	Sulfat	Mineralstaub ^{**}	Spurenelemente ^{***}
Basel	18.8	0.9 (5.0%)	5.8 (30.9%)	3.3 (17.5%)	1.5 (8.2%)	2.4 (12.8%)	1.5 (8.2%)	0.3 (1.7%)
Bern	29.4	3.7 (12.6%)	7.8 (26.5%)	3.8 (12.8%)	1.5 (5.2%)	2.2 (7.4%)	4.2 (14.2%)	1.3 (4.5%)
Zürich	20.7	1.3 (6.1%)	5.9 (28.5%)	3.8 (18.2%)	1.6 (7.7%)	2.4 (11.5%)	2.2 (10.8%)	0.3 (1.5%)
Payerne	19.1	0.7 (3.5%)	5.6 (29.5%)	3.8 (19.8%)	1.6 (8.1%)	1.9 (10.1%)	1.6 (8.5%)	0.2 (1.0%)
Magadino	20.9	1.5 (7.3%)	8.8 (42.0%)	2.1 (10.0%)	1.2 (5.6%)	1.9 (9.0%)	2.0 (9.4%)	0.2 (0.8%)

* Organische Verbindungen (OM) = 1.6*organischer Kohlenstoff (OC) ** Berechnet durch Al, Fe, Ca, K und Mg Konz. *** Summe der übrigen Elemente

Chemische Zusammensetzung von Feinstaub (PM10)

Mittlere jährliche Konzentrationen

98-99 ug/m ³	PM10	EC	OM [*]	Nitrat	Ammonium	Sulfat	Mineralstaub ^{**}	Spurenelemente ^{***}
Basel	24.7	1.1 (4.3%)	7.8 (31.5%)	3.1 (12.6%)	1.9 (7.8%)	3.9 (16.0%)	2.1 (8.4%)	1.0 (4.0%)
Bern	39.7	4.5 (11.4%)	13.3 (33.6%)	3.3 (8.4%)	1.4 (3.5%)	3.3 (8.3%)	7.5 (19.0%)	2.2 (5.6%)
Zürich	24.1	1.2 (4.8%)	8.1 (33.7%)	3.3 (13.6%)	1.9 (8.1%)	3.7 (15.3%)	2.3 (9.3%)	0.6 (2.6%)

↓ Abnahme der PM10 Konzentration: langfristiger Trend

08-09 ug/m ³	PM10	EC	OM [*]	Nitrat	Ammonium	Sulfat	Mineralstaub ^{**}	Spurenelemente ^{***}
Basel	18.8	0.9 (5.0%)	5.8 (30.9%)	3.3 (17.5%)	1.5 (8.2%)	2.4 (12.8%)	1.5 (8.2%)	0.3 (1.7%)
Bern	29.4	3.7 (12.6%)	7.8 (26.5%)	3.8 (12.8%)	1.5 (5.2%)	2.2 (7.4%)	4.2 (14.2%) ***	1.3 (4.5%)
Zürich	20.7	1.3 (6.1%)	5.9 (28.5%)	3.8 (18.2%)	1.6 (7.7%)	2.4 (11.5%)	2.2 (10.8%)	0.3 (1.5%)
Payerne	19.1	0.7 (3.5%)	5.6 (29.5%)	3.8 (19.8%)	1.6 (8.1%)	1.9 (10.1%)	1.6 (8.5%)	0.2 (1.0%)
Magadino	20.9	1.5 (7.3%)	8.8 (42.0%)	2.1 (10.0%)	1.2 (5.6%)	1.9 (9.0%)	2.0 (9.4%)	0.2 (0.8%)

* Organische Verbindungen (OM) = 1.6*organischer Kohlenstoff (OC) ** Berechnet durch Al, Fe, Ca, K und Mg Konz. *** Summe der übrigen Elemente

Chemische Zusammensetzung von Feinstaub (PM10)

Mittlere jährliche Konzentrationen

98-99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PM10	EC	OM*	Nitrat	Ammonium	Sulfat	Mineralstaub**	Spurenelemente***
Basel	24.7	1.1 (4.3%)	7.8 (31.5%)	3.1 (12.6%)	1.9 (7.8%)	3.9 (16.0%)	2.1 (8.4%)	1.0 (4.0%)
Bern	39.7	4.5 (11.4%)	13.3 (33.6%)	3.3 (8.4%)	1.4 (3.5%)	3.3 (8.3%)	7.5 (19.0%)	2.2 (5.6%)
Zürich	24.1	1.2 (4.8%)	8.1 (33.7%)	3.3 (13.6%)	1.9 (8.1%)	3.7 (15.3%)	2.3 (9.3%)	0.6 (2.6%)

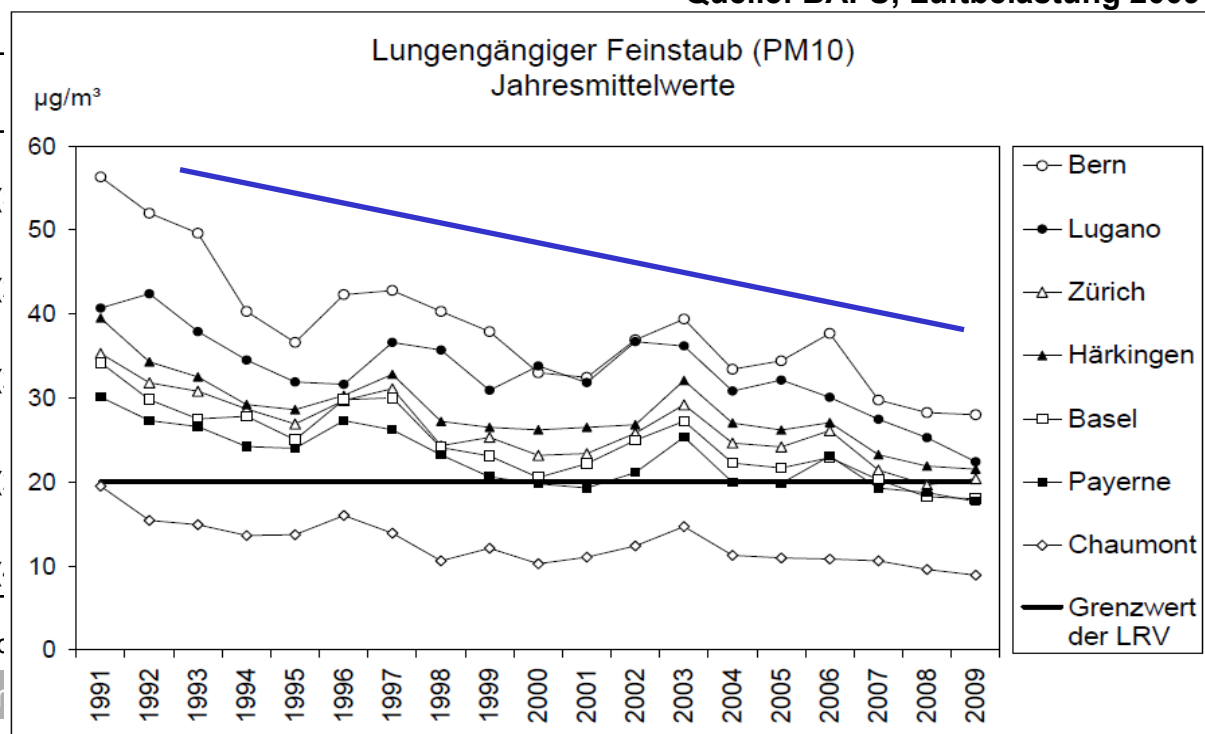
↓ Abnahme der PM10 Konzentration: langfristiger Trend

Quelle: BAFU, Luftbelastung 2009

08-09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PM10	EC	OM*
Basel	18.8	0.9 (5.0%)	5.8 (30.9%)
Bern	29.4	3.7 (12.6%)	7.8 (26.5%)
Zürich	20.7	1.3 (6.1%)	5.9 (28.5%)
Payerne	19.1	0.7 (3.5%)	5.6 (29.3%)
Magadino	20.9	1.5 (7.3%)	8.8 (42.1%)

* Organische Verbindungen (OM) = 1.6*organischer Kohlenstoff

Air Pollution/Environmental Technology Labor



Chemische Zusammensetzung von Feinstaub (PM10)

Mittlere jährliche Konzentrationen

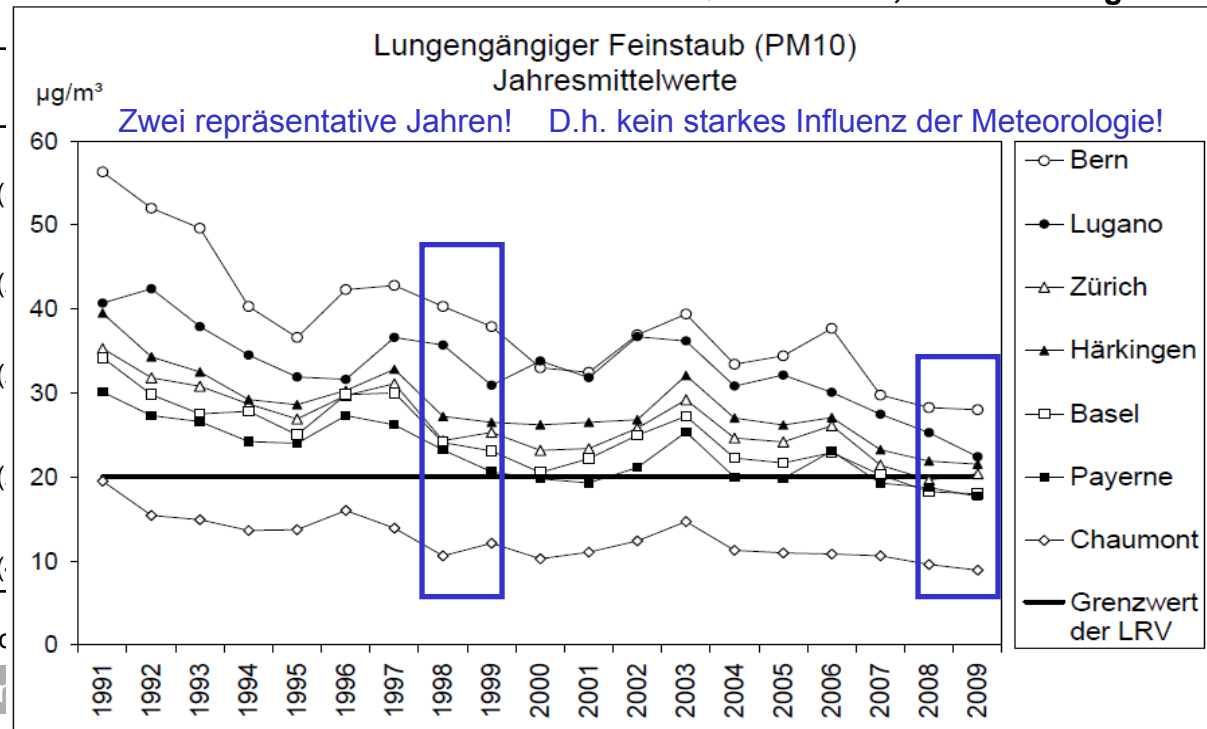
98-99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PM10	EC	OM*	Nitrat	Ammonium	Sulfat	Mineralstaub**	Spurenelemente***
Basel	24.7	1.1 (4.3%)	7.8 (31.5%)	3.1 (12.6%)	1.9 (7.8%)	3.9 (16.0%)	2.1 (8.4%)	1.0 (4.0%)
Bern	39.7	4.5 (11.4%)	13.3 (33.6%)	3.3 (8.4%)	1.4 (3.5%)	3.3 (8.3%)	7.5 (19.0%)	2.2 (5.6%)
Zürich	24.1	1.2 (4.8%)	8.1 (33.7%)	3.3 (13.6%)	1.9 (8.1%)	3.7 (15.3%)	2.3 (9.3%)	0.6 (2.6%)

↓ Abnahme der PM10 Konzentration: langfristiger Trend

Quelle: BAFU, Luftbelastung 2009

08-09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PM10	EC	OM*
Basel	18.8	0.9 (5.0%)	5.8 (30.9%)
Bern	29.4	3.7 (12.6%)	7.8 (26.5%)
Zürich	20.7	1.3 (6.1%)	5.9 (28.5%)
Payerne	19.1	0.7 (3.5%)	5.6 (29.3%)
Magadino	20.9	1.5 (7.3%)	8.8 (42.1%)

* Organische Verbindungen (OM) = 1.6*organischer Kohlenstoff



Chemische Zusammensetzung von Feinstaub (PM10)

Mittlere jährliche Konzentrationen

98-99 ug/m ³	PM10	EC	OM	Nitrat	Ammonium	Sulfat	Mineralstaub	Spurenelemente
Basel	24.7	1.1 (4.3%)	7.8 (31.5%)	3.1 (12.6%)	1.9 (7.8%)	3.9 (16.0%)	2.1 (8.4%)	1.0 (4.0%)
Bern	39.7	4.5 (11.4%)	13.3 (33.6%)	3.3 (8.4%)	1.4 (3.5%)	3.3 (8.3%)	7.5 (19.0%)	2.2 (5.6%)
Zürich	24.1	1.2 (4.8%)	8.1 (33.7%)	3.3 (13.6%)	1.9 (8.1%)	3.7 (15.3%)	2.3 (9.3%)	0.6 (2.6%)



08-09 ug/m ³	PM10	EC	OM	Nitrat	Ammonium	Sulfat	Mineralstaub	Spurenelemente
Basel	18.8	0.9 (5.0%)	5.8 (30.9%)	3.3 (17.5%)	1.5 (8.2%)	2.4 (12.8%)	1.5 (8.2%)	0.3 (1.7%)
Bern	29.4	3.7 (12.6%)	7.8 (26.5%)	3.8 (12.8%)	1.5 (5.2%)	2.2 (7.4%)	4.2 (14.2%)	1.3 (4.5%)
Zürich	20.7	1.3 (6.1%)	5.9 (28.5%)	3.8 (18.2%)	1.6 (7.7%)	2.4 (11.5%)	2.2 (10.8%)	0.3 (1.5%)
Payerne	19.1	0.7 (3.5%)	5.6 (29.5%)	3.8 (19.8%)	1.6 (8.1%)	1.9 (10.1%)	1.6 (8.5%)	0.2 (1.0%)
Magadino	20.9	1.5 (7.3%)	8.8 (42.0%)	2.1 (10.0%)	1.2 (5.6%)	1.9 (9.0%)	2.0 (9.4%)	0.2 (0.8%)

Chemische Zusammensetzung von Feinstaub (PM10)

Mittlere jährliche Konzentrationen

98-99 ug/m ³	PM10	EC	OM	Nitrat	Ammonium	Sulfat	Mineralstaub	Spurenelemente
Basel	24.7	1.1 (4.3%)	7.8 (31.5%)	3.1 (12.6%)	1.9 (7.8%)	3.9 (16.0%)	2.1 (8.4%)	1.0 (4.0%)
Bern	39.7	4.5 (11.4%)	13.3 (33.6%)	3.3 (8.4%)	1.4 (3.5%)	3.3 (8.3%)	7.5 (19.0%)	2.2 (5.6%)
Zürich	24.1	1.2 (4.8%)	8.1 (33.7%)	3.3 (13.6%)	1.9 (8.1%)	3.7 (15.3%)	2.3 (9.3%)	0.6 (2.6%)



08-09 ug/m ³	PM10	EC	OM	Nitrat	Ammonium	Sulfat	Mineralstaub	Spurenelemente
Basel	18.8	0.9 (5.0%)	5.8 (30.9%)	3.3 (17.5%)	1.5 (8.2%)	2.4 (12.8%)	1.5 (8.2%)	0.3 (1.7%)
Bern	29.4	3.7 (12.6%)	7.8 (26.5%)	3.8 (12.8%)	1.5 (5.2%)	2.2 (7.4%)	4.2 (14.2%)	1.3 (4.5%)
Zürich	20.7	1.3 (6.1%)	5.9 (28.5%)	3.8 (18.2%)	1.6 (7.7%)	2.4 (11.5%)	2.2 (10.8%)	0.3 (1.5%)
Payerne	19.1	0.7 (3.5%)	5.6 (29.5%)	3.8 (19.8%)	1.6 (8.1%)	1.9 (10.1%)	1.6 (8.5%)	0.2 (1.0%)
Magadino	20.9	1.5 (7.3%)	8.8 (42.0%)	2.1 (10.0%)	1.2 (5.6%)	1.9 (9.0%)	2.0 (9.4%)	0.2 (0.8%)

Konzentrationen von Schwefel in Brenn- und Treibstoffen nehmen seit Jahren ab
 → Abnahme der SO₂ Emissionen → Abnahme Sulfat Immissionen!

Chemische Zusammensetzung von Feinstaub (PM10)

Mittlere jährliche Konzentrationen

98-99 ug/m ³	PM10	EC	OM	Nitrat	Ammonium	Sulfat	Mineralstaub	Spurenelemente
Basel	24.7	1.1 (4.3%)	7.8 (31.5%)	3.1 (12.6%)	1.9 (7.8%)	3.9 (16.0%)	2.1 (8.4%)	1.0 (4.0%)
Bern	39.7	4.5 (11.4%)	13.3 (33.6%)	3.3 (8.4%)	1.4 (3.5%)	3.3 (8.3%)	7.5 (19.0%)	2.2 (5.6%)
Zürich	24.1	1.2 (4.8%)	8.1 (33.7%)	3.3 (13.6%)	1.9 (8.1%)	3.7 (15.3%)	2.3 (9.3%)	0.6 (2.6%)



08-09 ug/m ³	PM10	EC	OM	Nitrat	Ammonium	Sulfat	Mineralstaub	Spurenelemente
Basel	18.8	0.9 (5.0%)	5.8 (30.9%)	3.3 (17.5%)	1.5 (8.2%)	2.4 (12.8%)	1.5 (8.2%)	0.3 (1.7%)
Bern	29.4	3.7 (12.6%)	7.8 (26.5%)	3.8 (12.8%)	1.5 (5.2%)	2.2 (7.4%)	4.2 (14.2%)	1.3 (4.5%)
Zürich	20.7	1.3 (6.1%)	5.9 (28.5%)	3.8 (18.2%)	1.6 (7.7%)	2.4 (11.5%)	2.2 (10.8%)	0.3 (1.5%)
Payerne	19.1	0.7 (3.5%)	5.6 (29.5%)	3.8 (19.8%)	1.6 (8.1%)	1.9 (10.1%)	1.6 (8.5%)	0.2 (1.0%)
Magadino	20.9	1.5 (7.3%)	8.8 (42.0%)	2.1 (10.0%)	1.2 (5.6%)	1.9 (9.0%)	2.0 (9.4%)	0.2 (0.8%)

Chemische Zusammensetzung von Feinstaub (PM10)

Mittlere jährliche Konzentrationen

98-99 ug/m ³	PM10	EC	OM	Nitrat	Ammonium	Sulfat	Mineralstaub	Spurenelemente
Basel	24.7	1.1 (4.3%)	7.8 (31.5%)	3.1 (12.6%)	1.9 (7.8%)	3.9 (16.0%)	2.1 (8.4%)	1.0 (4.0%)
Bern	39.7	4.5 (11.4%)	13.3 (33.6%)	3.3 (8.4%)	1.4 (3.5%)	3.3 (8.3%)	7.5 (19.0%)	2.2 (5.6%)
Zürich	24.1	1.2 (4.8%)	8.1 (33.7%)	3.3 (13.6%)	1.9 (8.1%)	3.7 (15.3%)	2.3 (9.3%)	0.6 (2.6%)



08-09 ug/m ³	PM10	EC	OM	Nitrat	Ammonium	Sulfat	Mineralstaub	Spurenelemente
Basel	18.8	0.9 (5.0%)	5.8 (30.9%)	3.3 (17.5%)	1.5 (8.2%)	2.4 (12.8%)	1.5 (8.2%)	0.3 (1.7%)
Bern	29.4	3.7 (12.6%)	7.8 (26.5%)	3.8 (12.8%)	1.5 (5.2%)	2.2 (7.4%)	4.2 (14.2%)	1.3 (4.5%)
Zürich	20.7	1.3 (6.1%)	5.9 (28.5%)	3.8 (18.2%)	1.6 (7.7%)	2.4 (11.5%)	2.2 (10.8%)	0.3 (1.5%)
Payerne	19.1	0.7 (3.5%)	5.6 (29.5%)	3.8 (19.8%)	1.6 (8.1%)	1.9 (10.1%)	1.6 (8.5%)	0.2 (1.0%)
Magadino	20.9	1.5 (7.3%)	8.8 (42.0%)	2.1 (10.0%)	1.2 (5.6%)	1.9 (9.0%)	2.0 (9.4%)	0.2 (0.8%)

Abnahme des vom Verkehr aufgewirbelten Mineralstaubs? (kurz vor Messkampagne neuer Strassenbelag in Bern)

Chemische Zusammensetzung von Feinstaub (PM10)

Mittlere jährliche Konzentrationen

98-99 ug/m ³	PM10	EC	OM	Nitrat	Ammonium	Sulfat	Mineralstaub	Spurenelemente
Basel	24.7	1.1 (4.3%)	7.8 (31.5%)	3.1 (12.6%)	1.9 (7.8%)	3.9 (16.0%)	2.1 (8.4%)	1.0 (4.0%)
Bern	39.7	4.5 (11.4%)	13.3 (33.6%)	3.3 (8.4%)	1.4 (3.5%)	3.3 (8.3%)	7.5 (19.0%)	2.2 (5.6%)
Zürich	24.1	1.2 (4.8%)	8.1 (33.7%)	3.3 (13.6%)	1.9 (8.1%)	3.7 (15.3%)	2.3 (9.3%)	0.6 (2.6%)



08-09 ug/m ³	PM10	EC	OM	Nitrat	Ammonium	Sulfat	Mineralstaub	Spurenelemente
Basel	18.8	0.9 (5.0%)	5.8 (30.9%)	3.3 (17.5%)	1.5 (8.2%)	2.4 (12.8%)	1.5 (8.2%)	0.3 (1.7%)
Bern	29.4	3.7 (12.6%)	7.8 (26.5%)	3.8 (12.8%)	1.5 (5.2%)	2.2 (7.4%)	4.2 (14.2%)	1.3 (4.5%)
Zürich	20.7	1.3 (6.1%)	5.9 (28.5%)	3.8 (18.2%)	1.6 (7.7%)	2.4 (11.5%)	2.2 (10.8%)	0.3 (1.5%)
Payerne	19.1	0.7 (3.5%)	5.6 (29.5%)	3.8 (19.8%)	1.6 (8.1%)	1.9 (10.1%)	1.6 (8.5%)	0.2 (1.0%)
Magadino	20.9	1.5 (7.3%)	8.8 (42.0%)	2.1 (10.0%)	1.2 (5.6%)	1.9 (9.0%)	2.0 (9.4%)	0.2 (0.8%)

Abnahme der NO_x Emissionen → kein direkter Effekt auf die Nitrat Konzentrationen!

Chemische Zusammensetzung von Feinstaub (PM10)

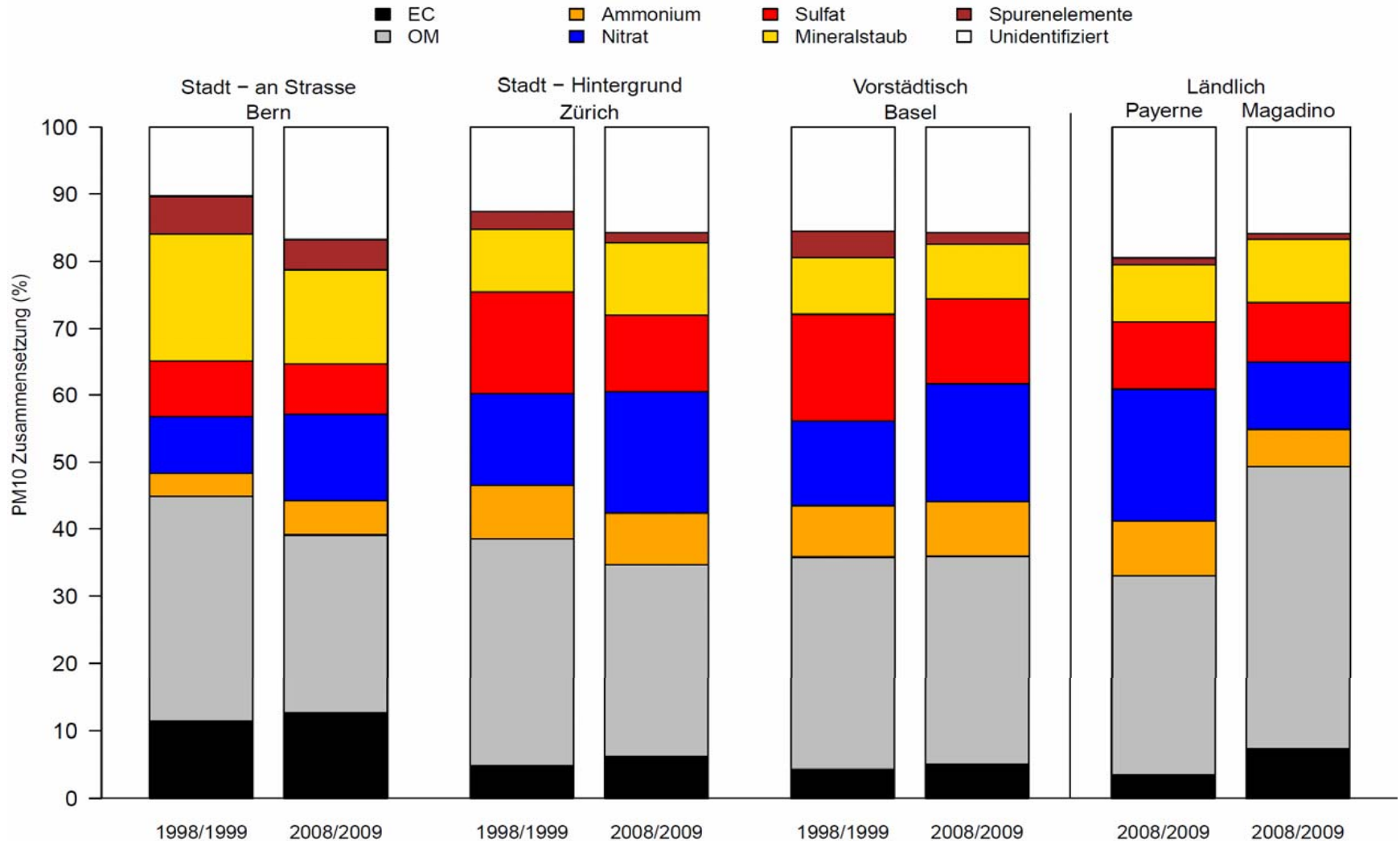
Mittlere jährliche Konzentrationen

98-99 ug/m ³	PM10	EC	OM	Nitrat	Ammonium	Sulfat	Mineralstaub	Spurenelemente***
Basel	24.7	1.1 (4.3%)	7.8 (31.5%)	3.1 (12.6%)	1.9 (7.8%)	3.9 (16.0%)	2.1 (8.4%)	1.0 (4.0%)
Bern	39.7	4.5 (11.4%)	13.3 (33.6%)	3.3 (8.4%)	1.4 (3.5%)	3.3 (8.3%)	7.5 (19.0%)	2.2 (5.6%)
Zürich	24.1	1.2 (4.8%)	8.1 (33.7%)	3.3 (13.6%)	1.9 (8.1%)	3.7 (15.3%)	2.3 (9.3%)	0.6 (2.6%)

08-09 ug/m ³	PM10	EC	OM	Nitrat	Ammonium	Sulfat	Mineralstaub	Spurenelemente
Basel	18.8	0.9 (5.0%)	5.8 (30.9%)	3.3 (17.5%)	1.5 (8.2%)	2.4 (12.8%)	1.5 (8.2%)	0.3 (1.7%)
Bern	29.4	3.7 (12.6%)	7.8 (26.5%)	3.8 (12.8%)	1.5 (5.2%)	2.2 (7.4%)	4.2 (14.2%)	1.3 (4.5%)
Zürich	20.7	1.3 (6.1%)	5.9 (28.5%)	3.8 (18.2%)	1.6 (7.7%)	2.4 (11.5%)	2.2 (10.8%)	0.3 (1.5%)
Payerne	19.1	0.7 (3.5%)	5.6 (29.5%)	3.8 (19.8%)	1.6 (8.1%)	1.9 (10.1%)	1.6 (8.5%)	0.2 (1.0%)
Magadino	20.9	1.5 (7.3%)	8.8 (42.0%)	2.1 (10.0%)	1.2 (5.6%)	1.9 (9.0%)	2.0 (9.4%)	0.2 (0.8%)

Chemische Zusammensetzung von Feinstaub (PM10)

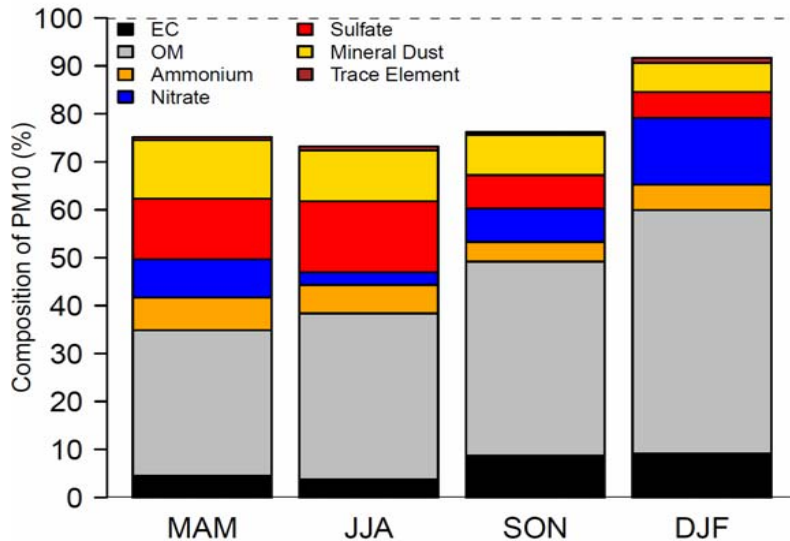
Mittlere jährliche Zusammensetzung



Chemische Zusammensetzung von Feinstaub (PM10)

Mittlere saisonale Zusammensetzung

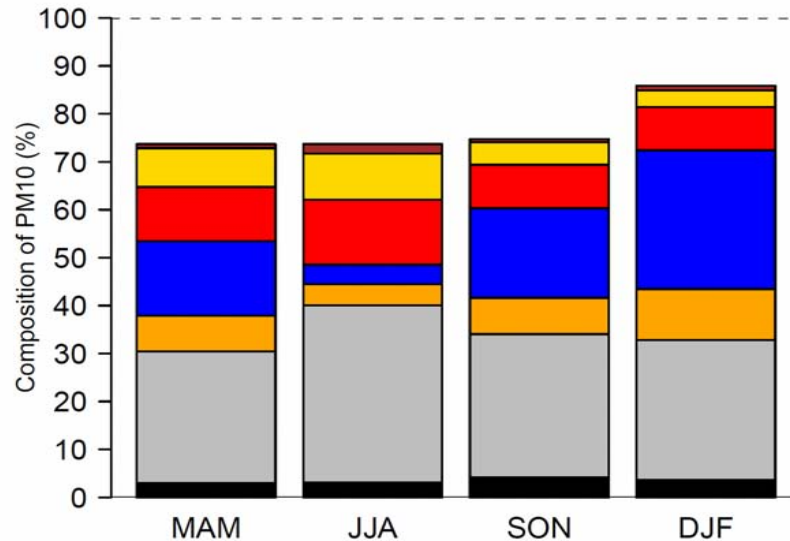
Magadino PM10



Magadino:

- Organische Verbindungen (OM) hoch im Winter (50% von PM10)

Payerne PM10



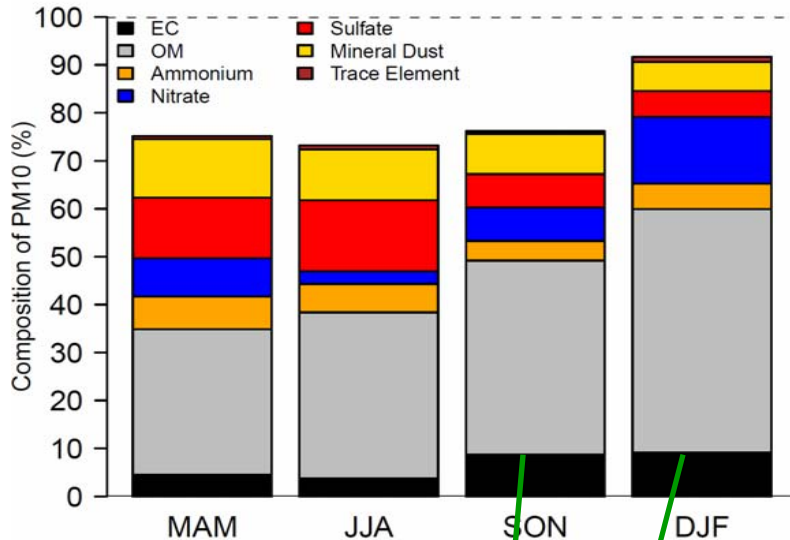
Payerne:

- Mehr Nitrat als in Magadino ($\text{HNO}_3 + \text{NO}_3$ ähnlich!)
- Im Winter Nitrat wichtigste PM10 Komponente

Chemische Zusammensetzung von Feinstaub (PM10)

Mittlere saisonale Zusammensetzung

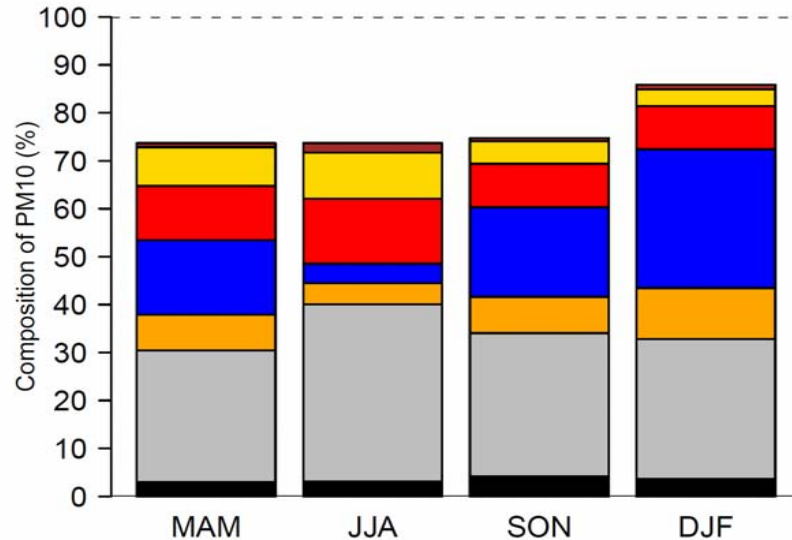
Magadino PM10



Magadino:

- Organische Verbindungen (OM) hoch im Winter (50% von PM10)

Payerne PM10



Payerne:

- Mehr Nitrat als in Magadino (HNO_3 + NO_3 ähnlich!)
- Im Winter Nitrat wichtigste PM10 Komponente

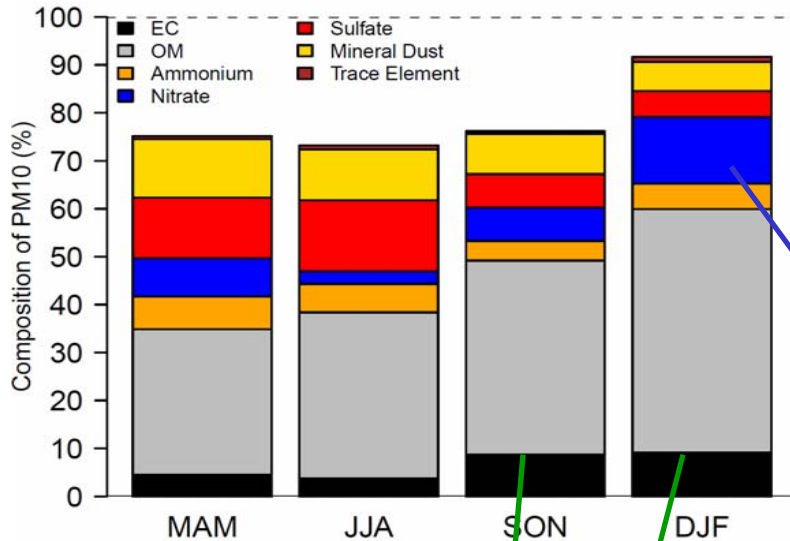
Gründe:

Holzverbrennung?

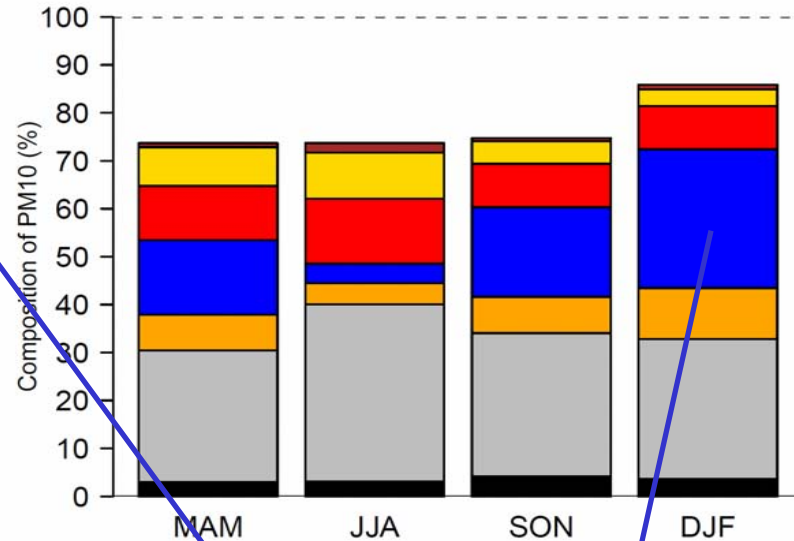
Chemische Zusammensetzung von Feinstaub (PM10)

Mittlere saisonale Zusammensetzung

Magadino PM10



Payerne PM10



Magadino:

- Organische Verbindungen (OM) hoch im Winter (50% von PM10)

Payerne:

- Mehr Nitrat als in Magadino ($\text{HNO}_3 + \text{NO}_3$ ähnlich!)
- Im Winter Nitrat wichtigste PM10 Komponente

Gründe:

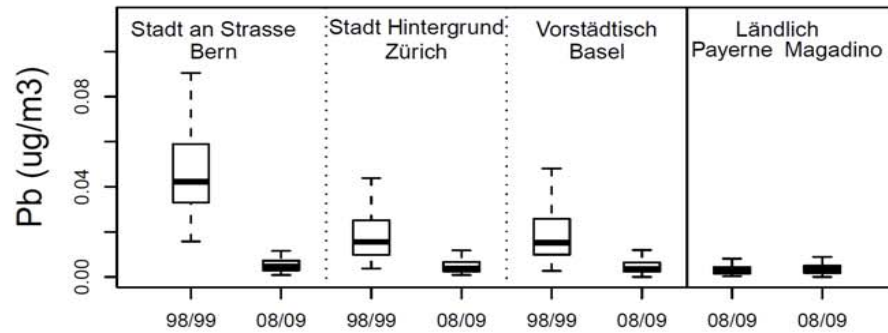
Holzverbrennung?

Unterschiedliche Partitionierung:
Magadino-Gasphase / Payerne-Aerosolphase

- Messstandorte und analytische Methoden
- Chemische Zusammensetzung von Feinstaub (PM10)
 - Was hat sich zwischen `98 -`99 und `08 -`09 verändert?
 - Hauptbestandteile / [Spurenelemente](#)
- Identifizierung und Quantifizierung der Quellen von Feinstaub (PM10)

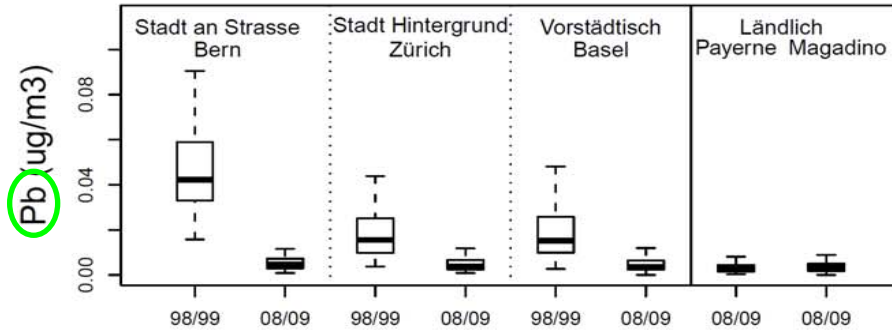
Chemische Zusammensetzung von Feinstaub (PM10)

Konzentration von Spurenelementen



Chemische Zusammensetzung von Feinstaub (PM10)

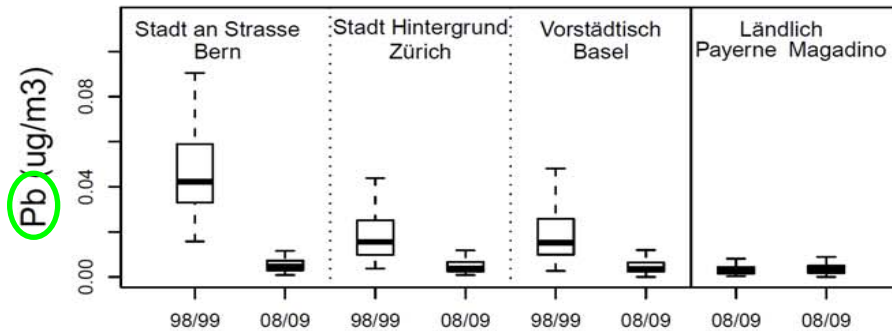
Konzentration von Spurenelementen



Seit 2000 kein verbleites Benzin mehr!
→ Massnahme erfolgreich!

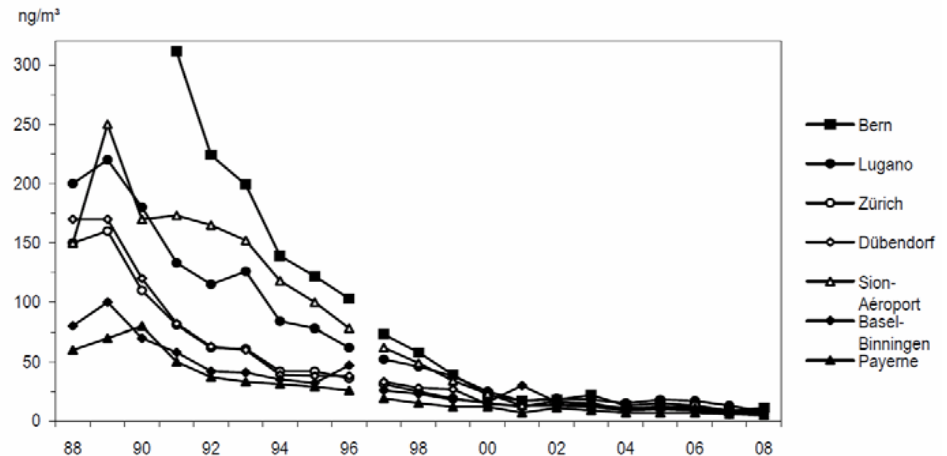
Chemische Zusammensetzung von Feinstaub (PM10)

Konzentration von Spurenelementen



Seit 2000 kein verbleites Benzin mehr!
→ Massnahme erfolgreich!

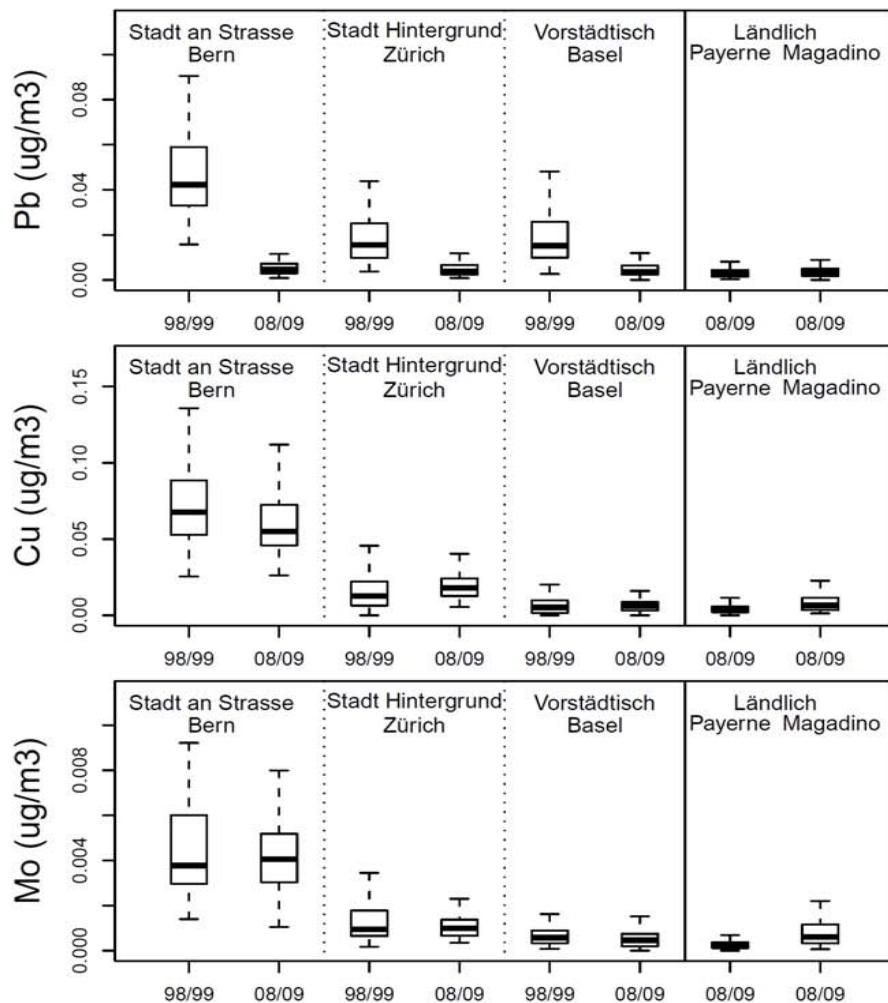
Abb. 42 > Blei im Schwebestaub (PM10, vor 1997 TSP), Jahresmittelwerte 1988–2008 (Grenzwert: $500 \text{ ng}/\text{m}^3$).



Quelle: BAFU, Luftbelastung 2008

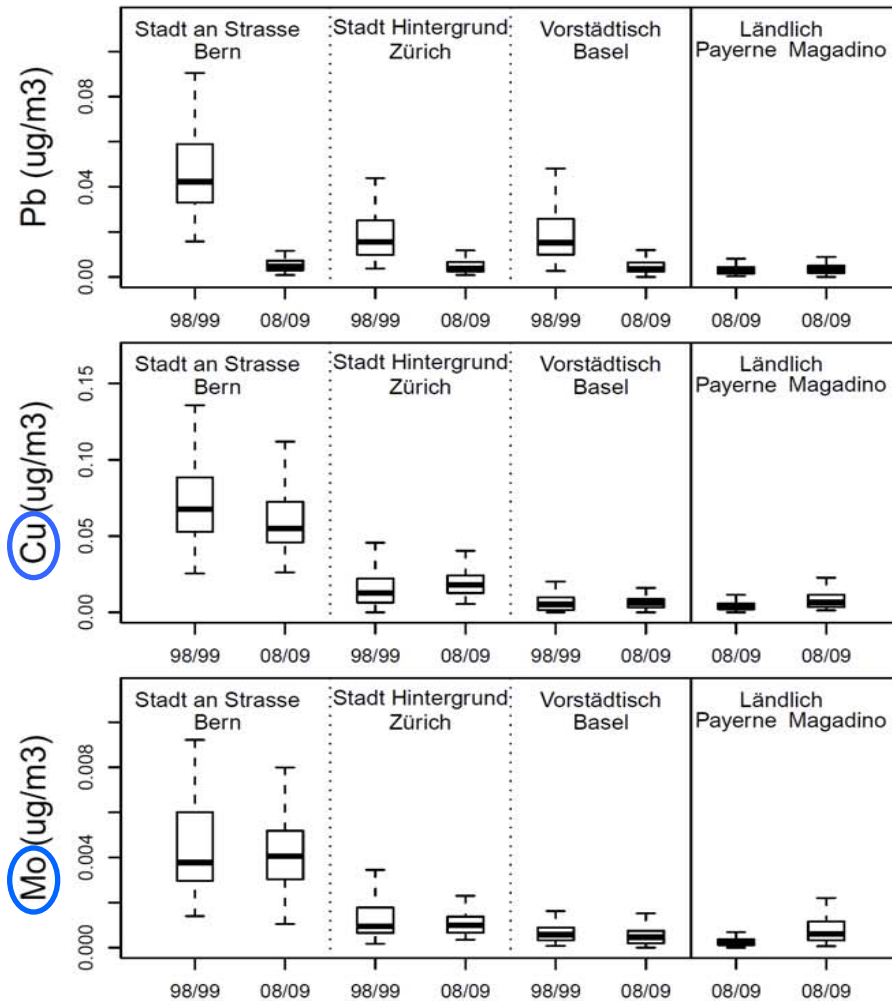
Chemische Zusammensetzung von Feinstaub (PM10)

Konzentration von Spurenelementen



Chemische Zusammensetzung von Feinstaub (PM10)

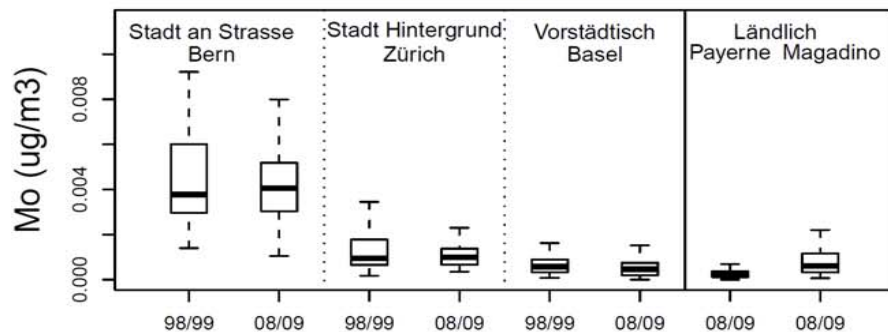
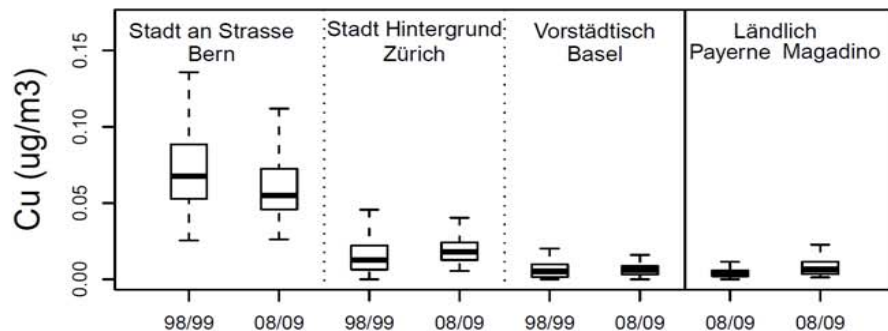
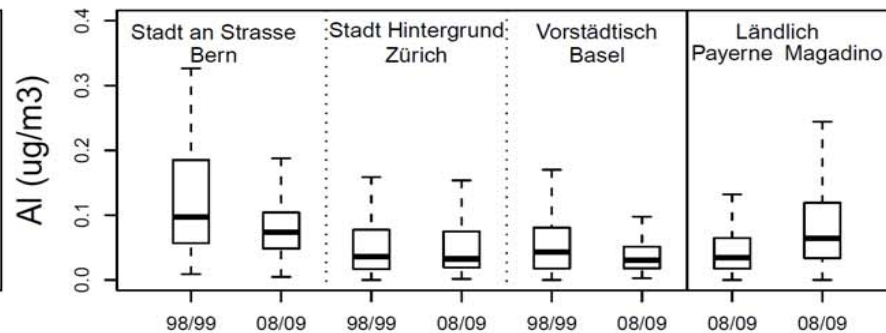
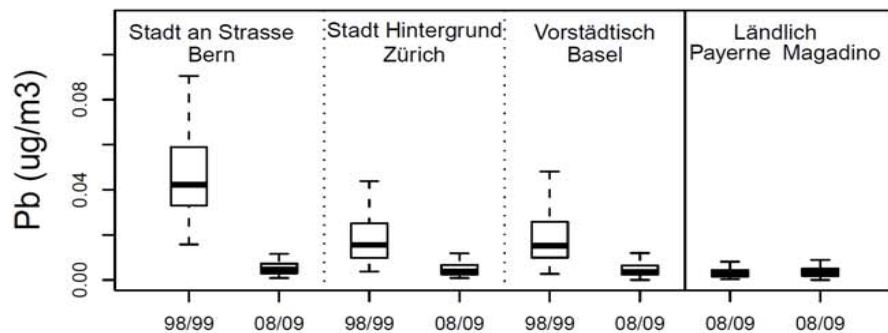
Konzentration von Spurenelementen



+ Sb und Zn (aus Abrieb von Bremsbelägen)
Verkehrsemissionen für diese Elemente konstant!

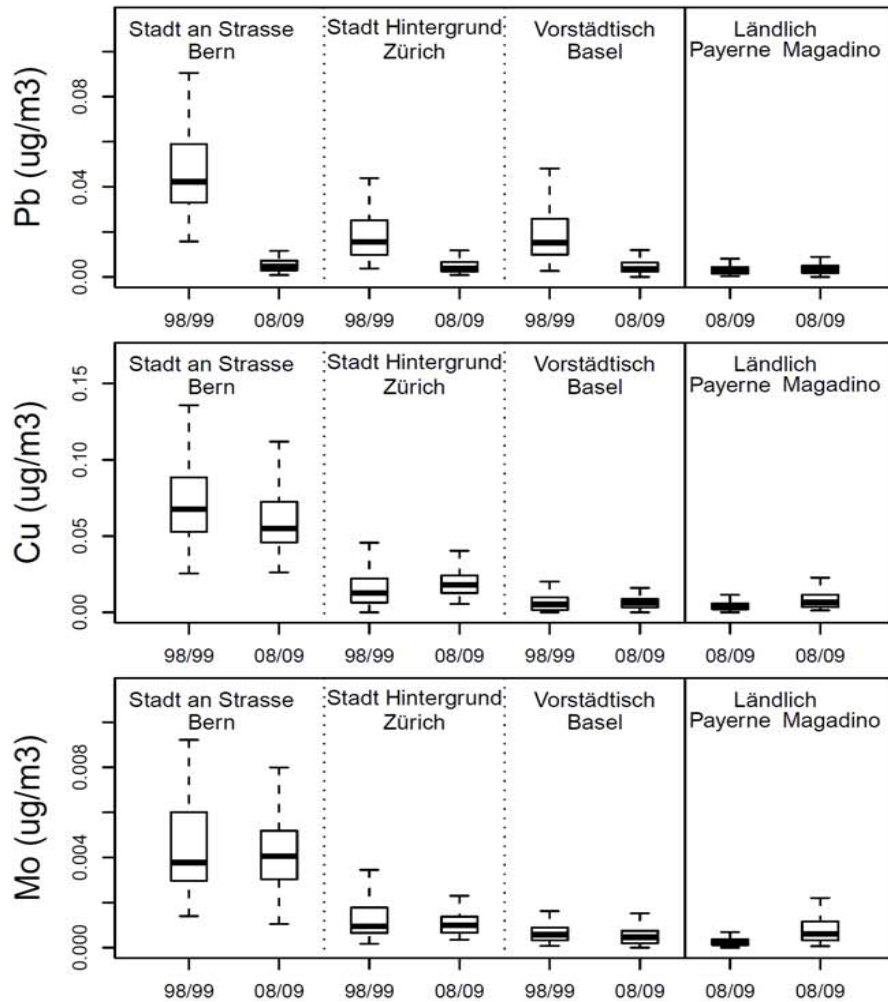
Chemische Zusammensetzung von Feinstaub (PM10)

Konzentration von Spurenelementen

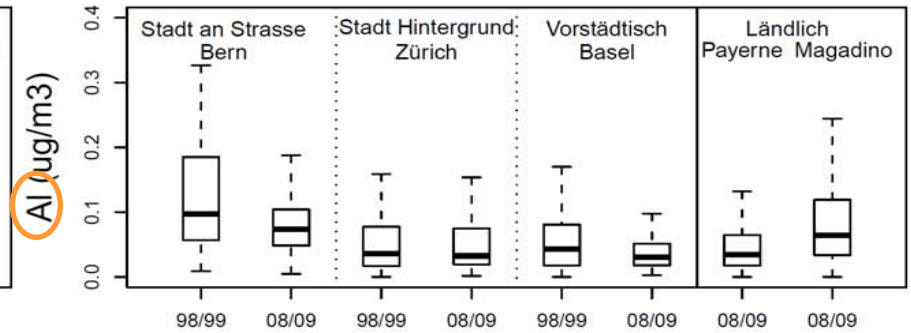


Chemische Zusammensetzung von Feinstaub (PM10)

Konzentration von Spurenelementen



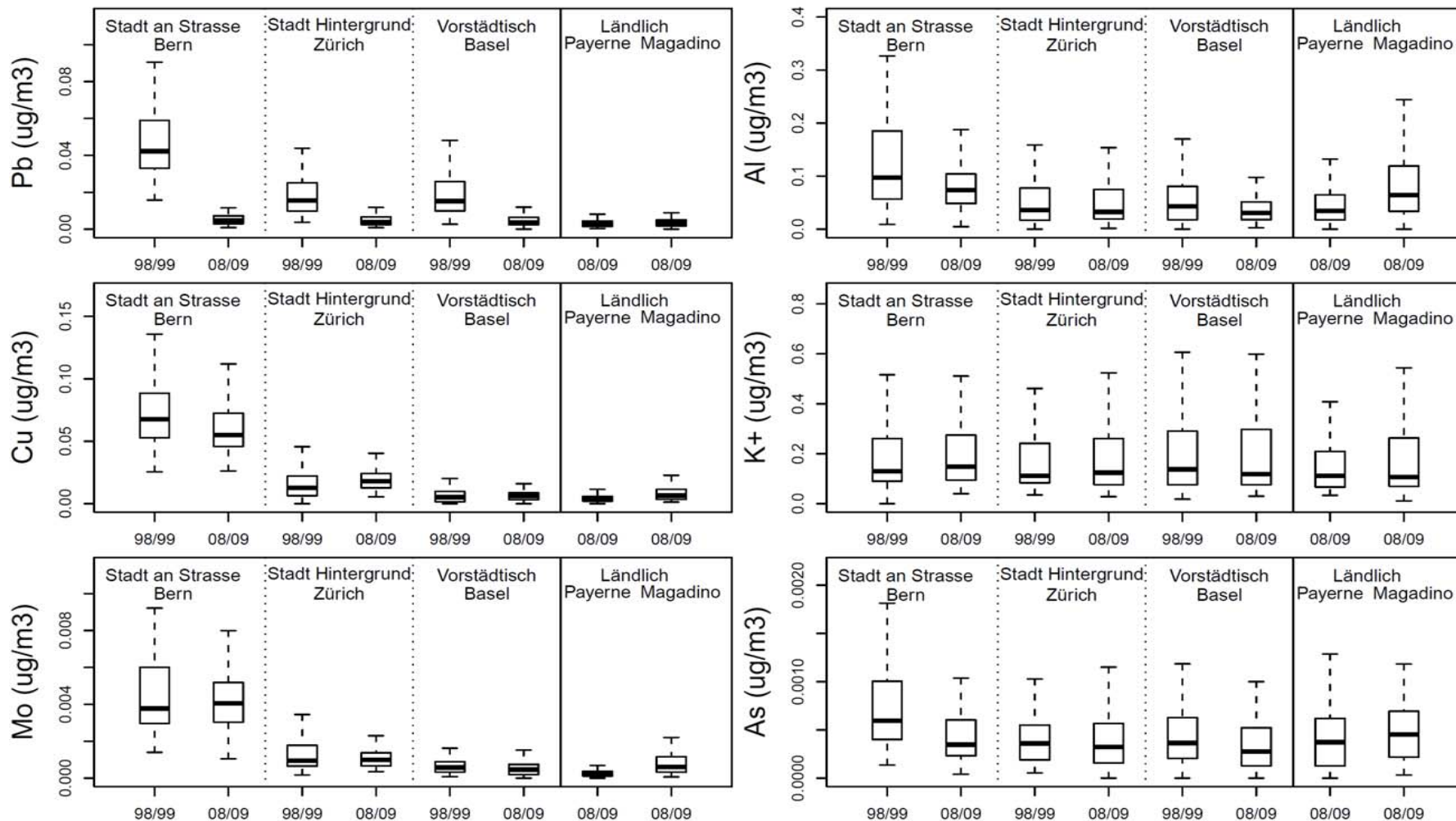
+ Fe, Mg, Nd, Y und La (vorhanden in Mineralstaub)



Abnahme des vom Verkehr aufgewirbelten Mineralstaubs (neuer Strassenbelag in Bern)?

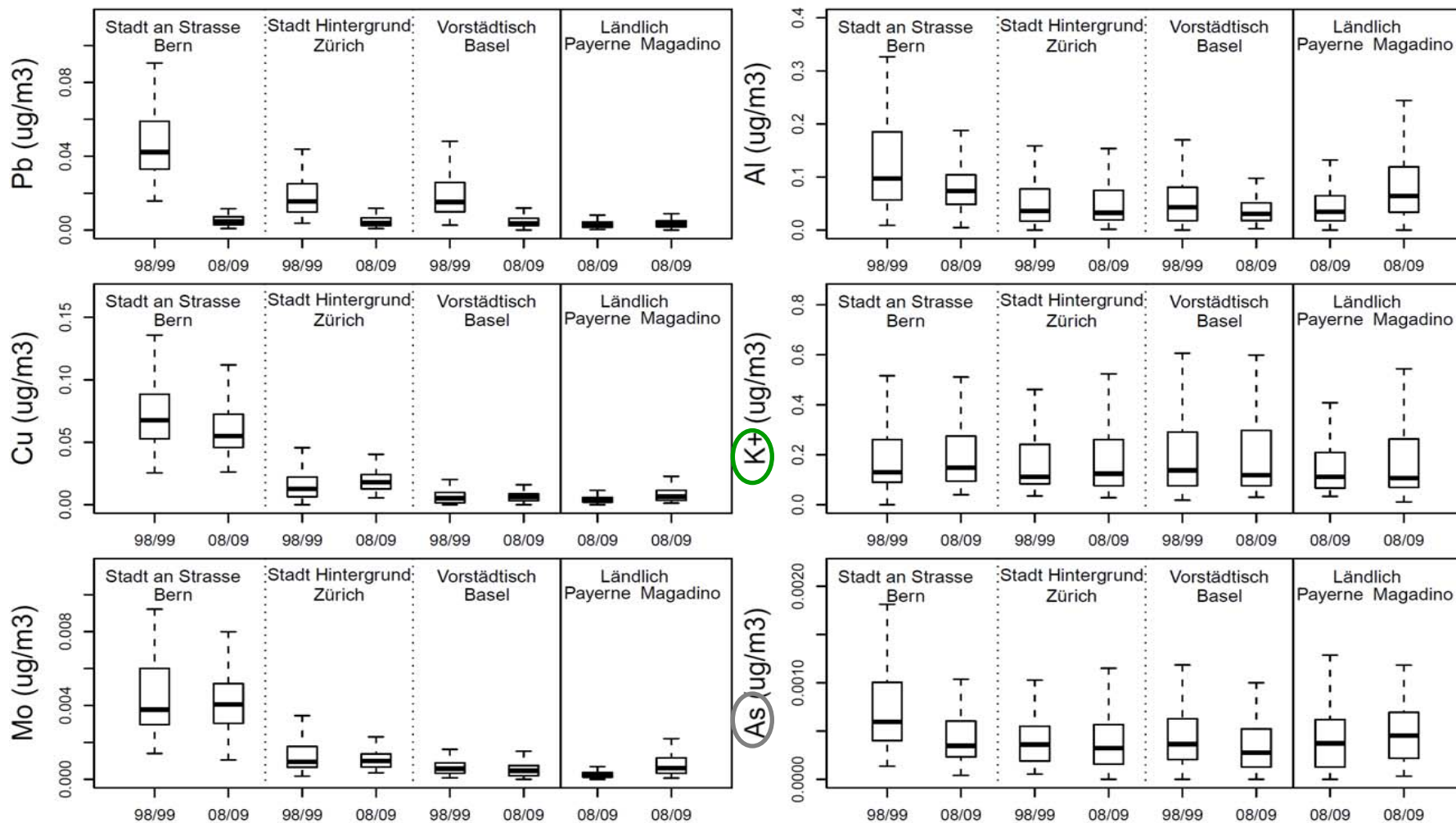
Chemische Zusammensetzung von Feinstaub (PM10)

Konzentration von Spurenelementen



Chemische Zusammensetzung von Feinstaub (PM10)

Konzentration von Spurenelementen



+ Rb (aus Holz- und Biomasseverbrennung)

As (aus Kohleverbrennung)

Emissionen dieser Elemente konstant

- Messstandorte und analytische Methoden
- Chemische Zusammensetzung von Feinstaub (PM10)
Was hat sich zwischen `98 -`99 und `08 -`09 verändert?
Hauptbestandteile / Spurenelemente
- Identifizierung und Quantifizierung der Quellen von Feinstaub (PM10)

Quellen und Komponenten von Feinstaub (PM10)

Feinstaub (PM10) Quellenzuordnung:

Daten der verschiedenen Messstationen und Messkampagnen wurden mittels eines faktoranalytischen Rezeptormodells analysiert:
Positive Matrix Factorisation (PMF).

Quellen und Komponenten von Feinstaub (PM10)

Feinstaub (PM10) Quellenzuordnung:

Daten der verschiedenen Messstationen und Messkampagnen wurden mittels eines faktoranalytischen Rezeptormodells analysiert:
Positive Matrix Factorisation (PMF).

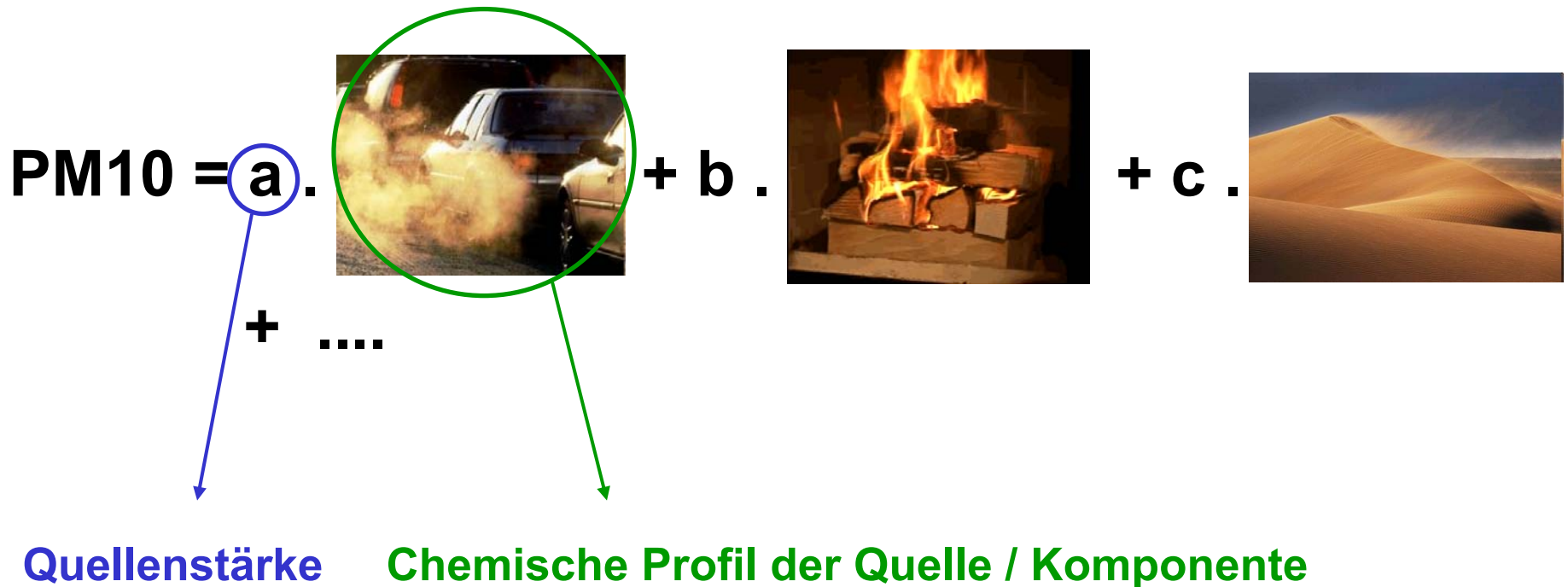
$$\text{PM10} = a \cdot \text{[Car Exhaust]} + b \cdot \text{[Wood Burning]} + c \cdot \text{[Desert Dust]} + \dots$$

Summe Emissionen verschiedene PM10 Quellen
+ PM10 Komponenten

Quellen und Komponenten von Feinstaub (PM10)

Feinstaub (PM10) Quellenzuordnung:

Daten der verschiedenen Messstationen und Messkampagnen wurden mittels eines faktoranalytischen Rezeptormodells analysiert:
Positive Matrix Factorisation (PMF).



Quellen und Komponenten von Feinstaub (PM10)

Positive Matrix Factorisation (PMF):

In Basel, Zürich, Payerne und Magadino wurden für alle Messperioden sechs PM10 Quellen / Komponenten identifiziert:

- **Holzverbrennung**
- **Natrium-Magnesium**
- **Verkehr und aufgewirbelter Staub**
- **Mineralstaub**
- **Sekundäres Sulfat**
- **Sekundäres Nitrat**

In Bern wurde die Quelle „Verkehr“ in zwei Quellen aufgeteilt:

- **Motoremissionen**
- **Aufgewirbelter Staub**

In 08/09 wurde Strassensalz als zusätzliche Quelle identifiziert

Quellen und Komponenten von Feinstaub (PM10)

Positive Matrix Factorisation (PMF):

In Basel, Zürich, Payerne und Magadino wurden für alle Messperioden sechs PM10 Quellen / Komponenten identifiziert:

- **Holzverbrennung**
- **Natrium-Magnesium**
- **Verkehr und aufgewirbelter Staub**
- **Mineralstaub**
- **Sekundäres Sulfat**
- **Sekundäres Nitrat**

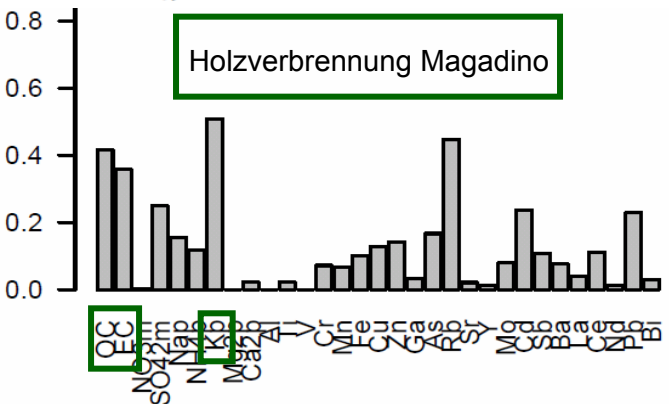
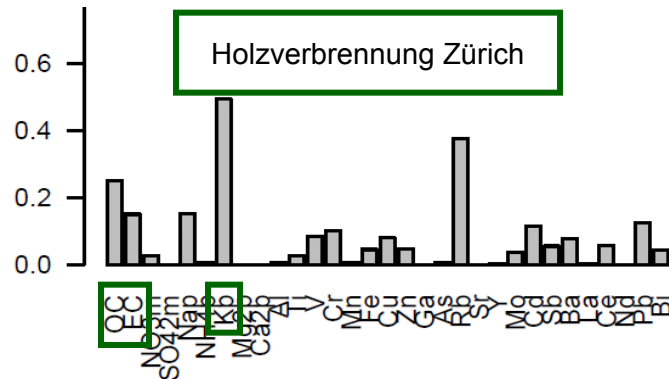
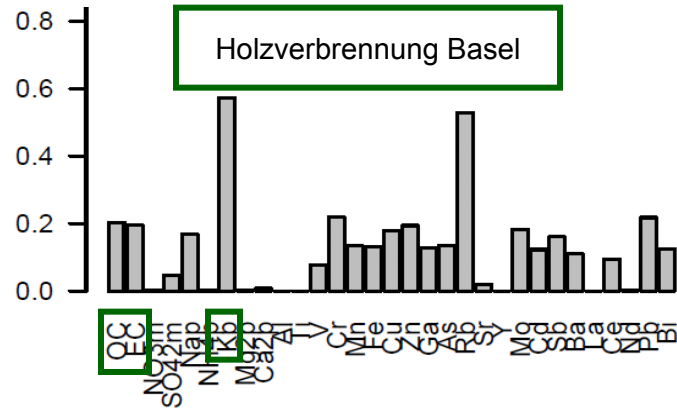
In Bern wurde die Quelle „Verkehr“ in zwei Quellen aufgeteilt:

- **Motoremissionen**
- **Aufgewirbelter Staub**

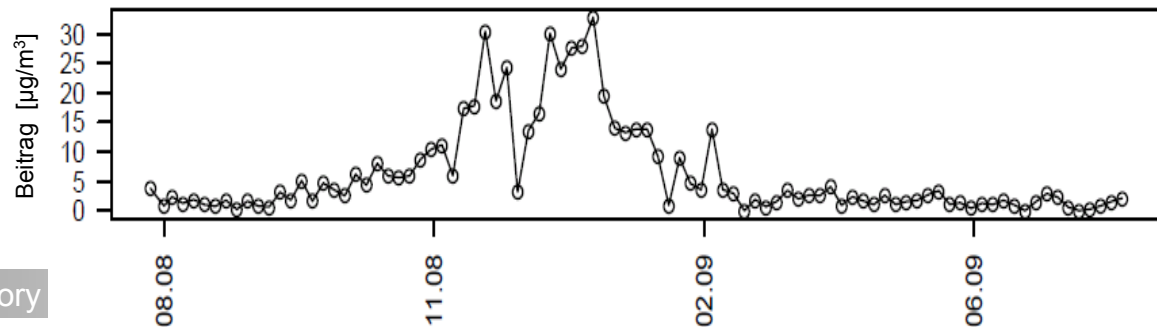
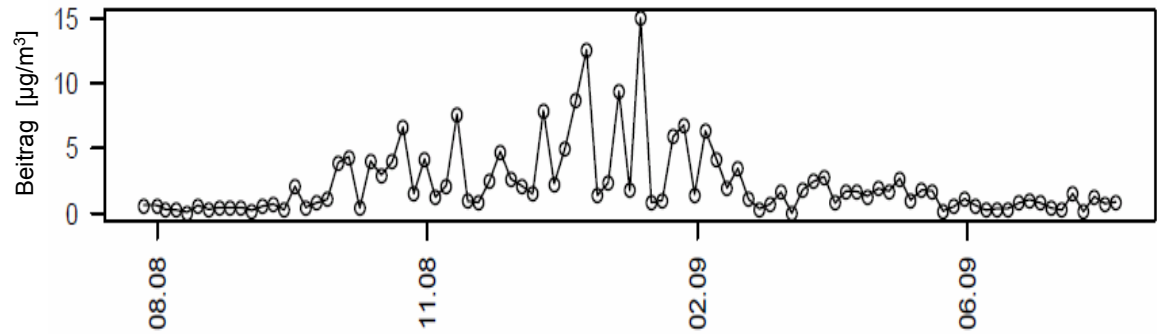
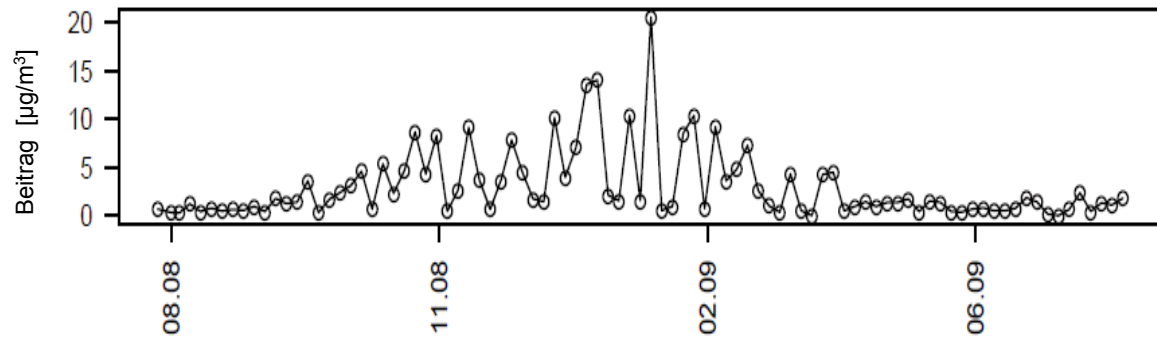
In 08/09 wurde Strassensalz als zusätzliche Quelle identifiziert

Quellen und Komponenten von Feinstaub (PM10)

Chemische Profil der Quelle



Quellenstärke



Zusammenfassung

Zusammensetzung von PM10:

- Abnahme der Sulfat-Konzentrationen → **erfolgsreiche Massnahme!**
- Nitrat-Fraktion in PM10 hat zugenommen
- Starker Nord/Süd Gradient in organischen Verbindungen und elementarem Kohlenstoff

Spurenelemente in PM10:

- Blei-Konzentrationen haben stark abgenommen → **erfolgsreiche Massnahme!**
- Emissionen von verkehrstypischen Elementen (d.h. Cu, Sb, Mo und Zn) sind konstant geblieben
- Konzentrationen von Elementen hauptsächlich vorhanden in Mineralstaub haben in Bern abgenommen

Quellenzuordnung von PM10:

- Quellenzuordnung mittels Rezeptormodell wurde begonnen
- Holzfeuerung sind eine wichtige Quelle von (primärem) PM10



Materials Science & Technology

Ich danke:

EMPA:

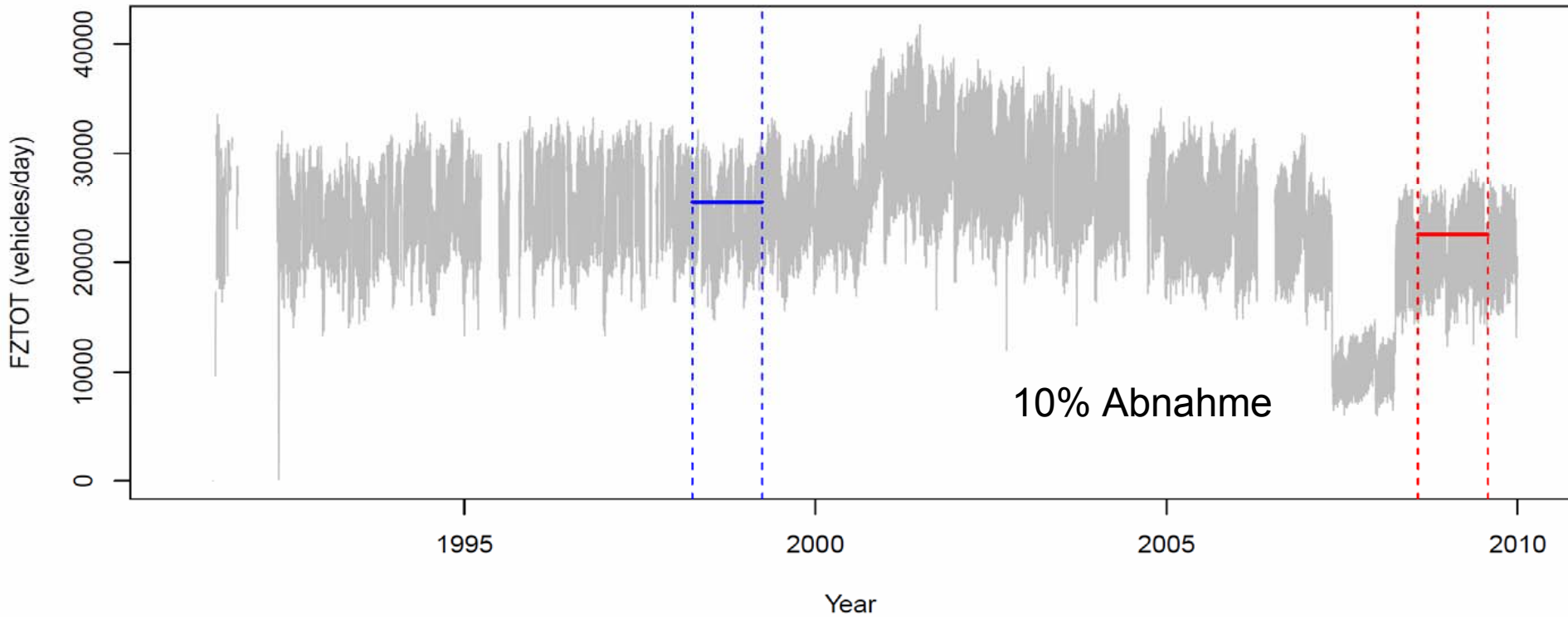
Dr. C. Hüglin, Dr. R. Gehrig und Dr. A. Ulrich

Finanzielle Unterstützung:

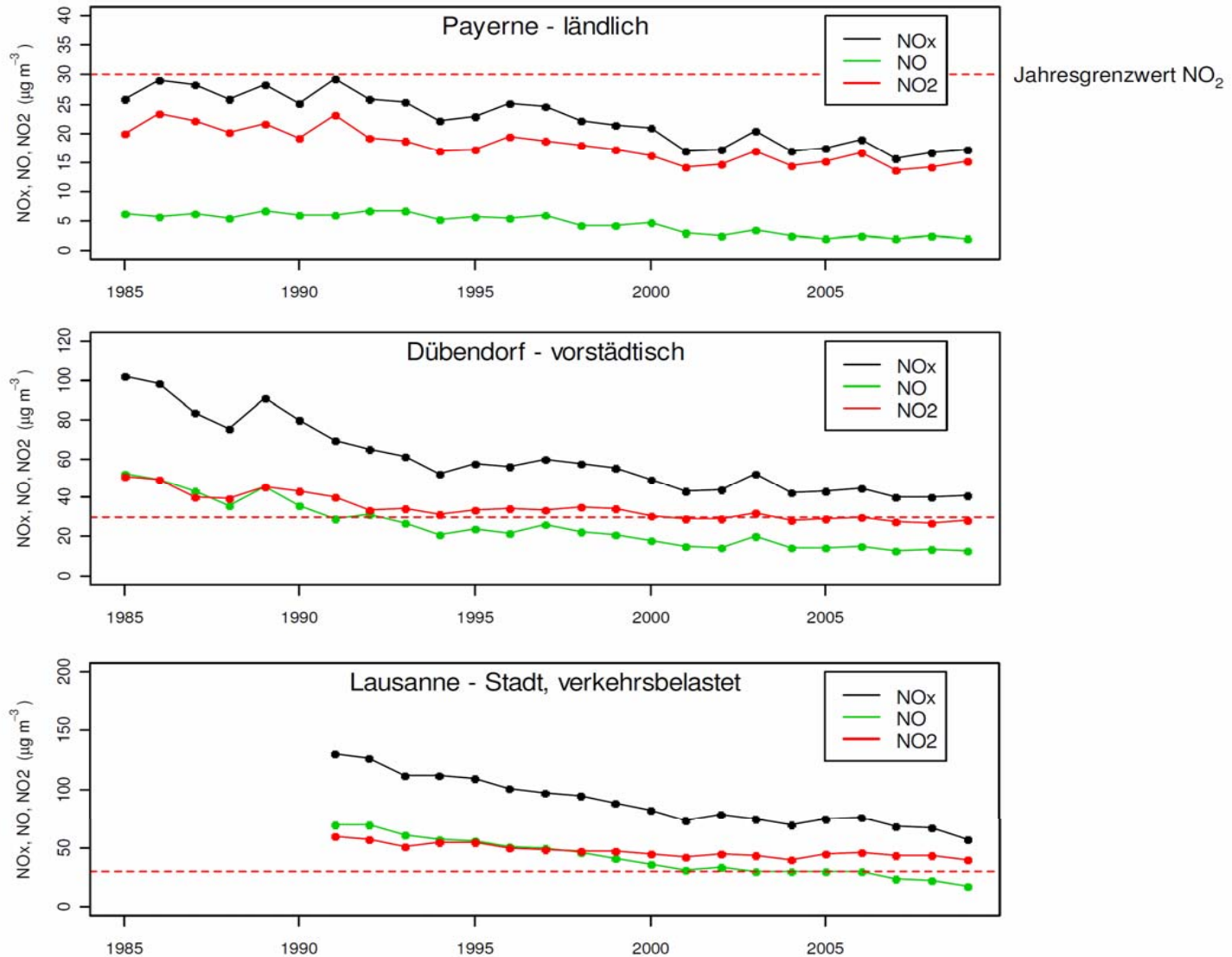
- Bundesamt für Umwelt (BAFU)
- Competence Center Environment and Sustainability, ETH-Bereich

Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit!

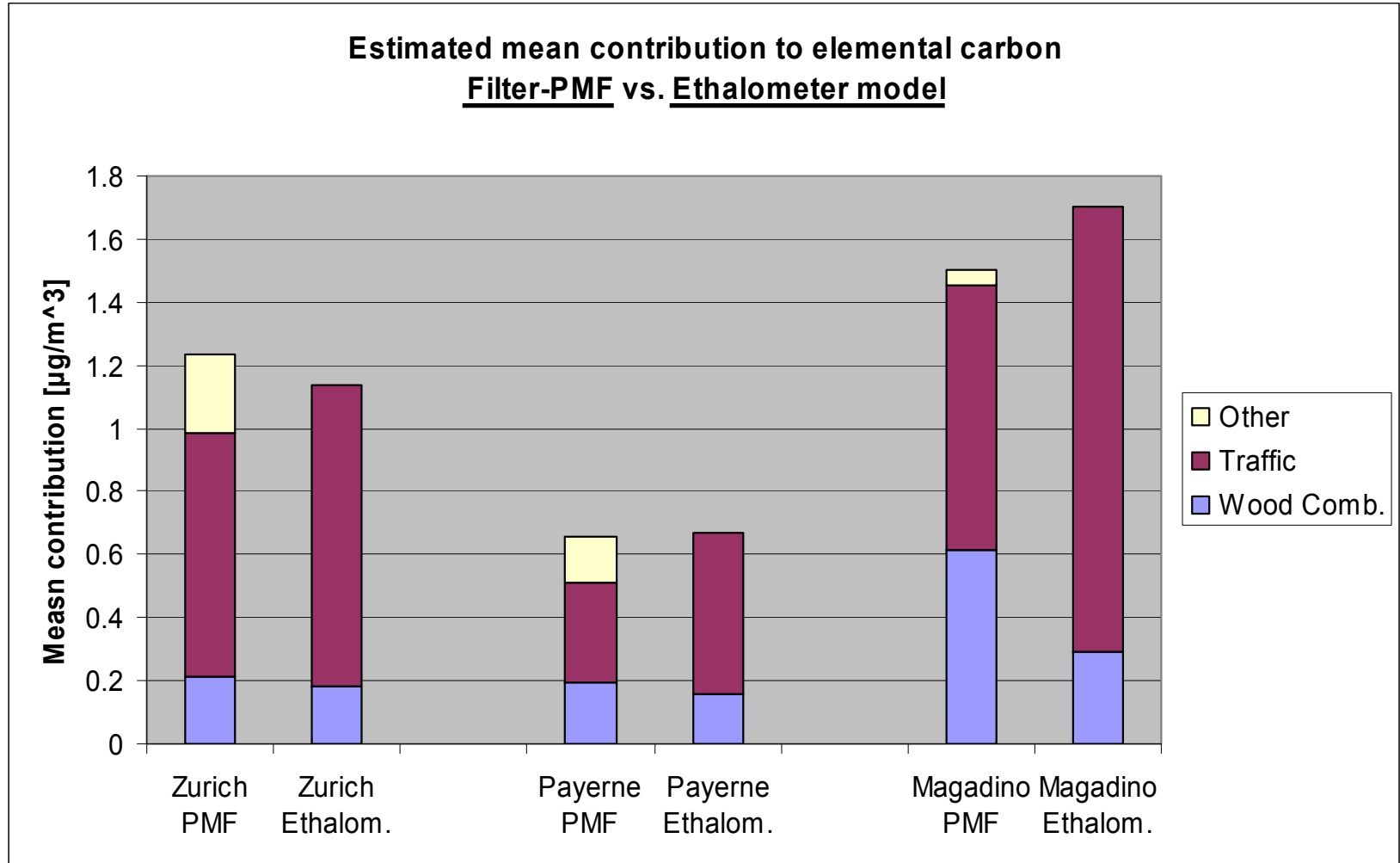
Verkehr in Bern:



Immissionsentwicklung NO, NO₂ und NO_x – Jahresmittelwerte 1985-2009



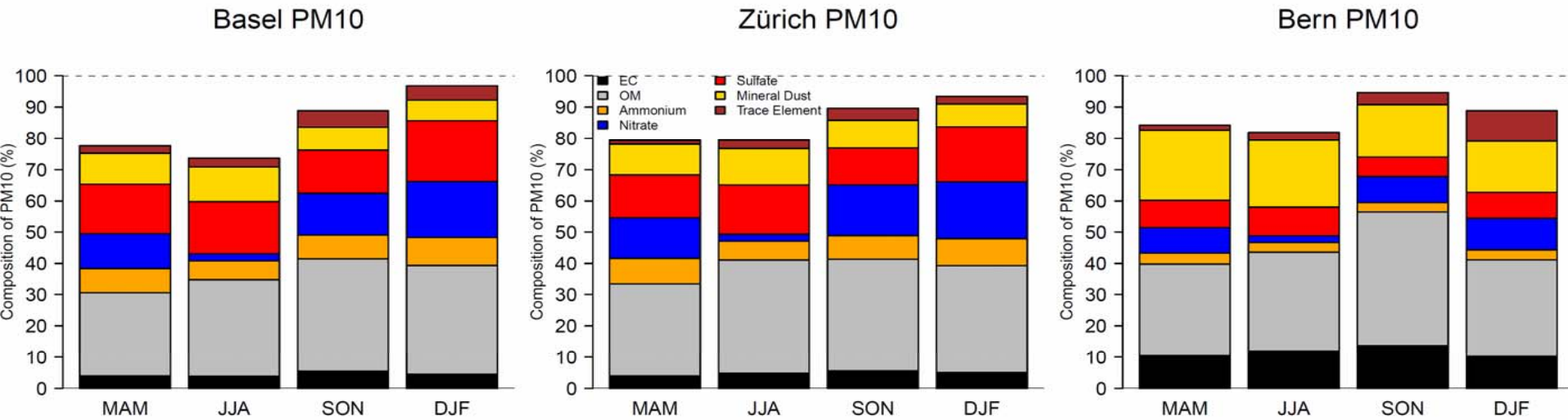
Vergleich von PMF Ergebnisse mit Ergebnisse des Aethalometer- Modell: Quellenzuordnung von EC



Aethalometer Modell: Herich et al. , in Preparation

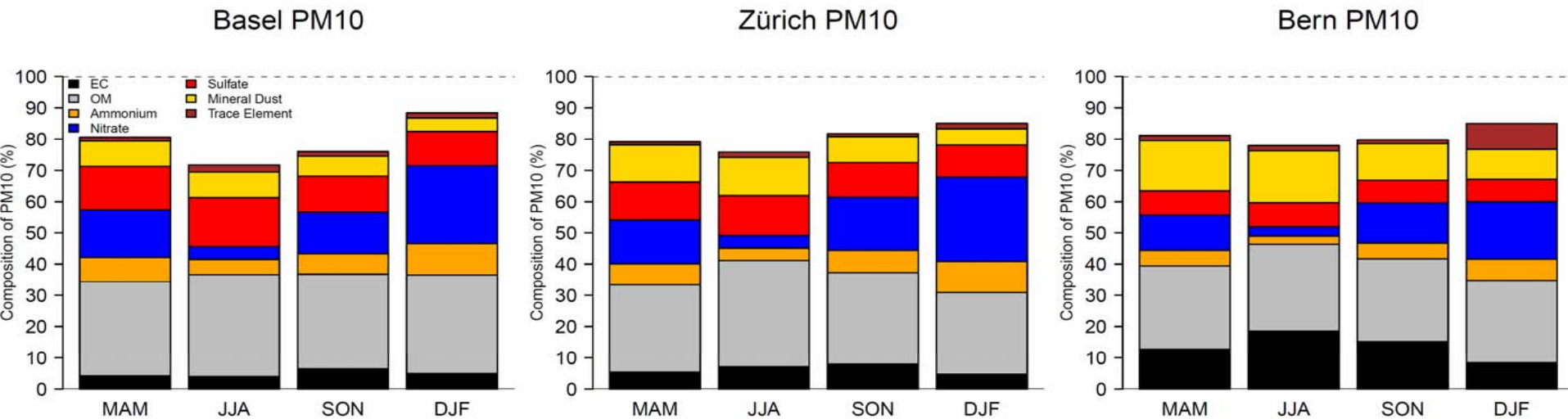
Chemische Zusammensetzung von Feinstaub (PM10)

1998-1999



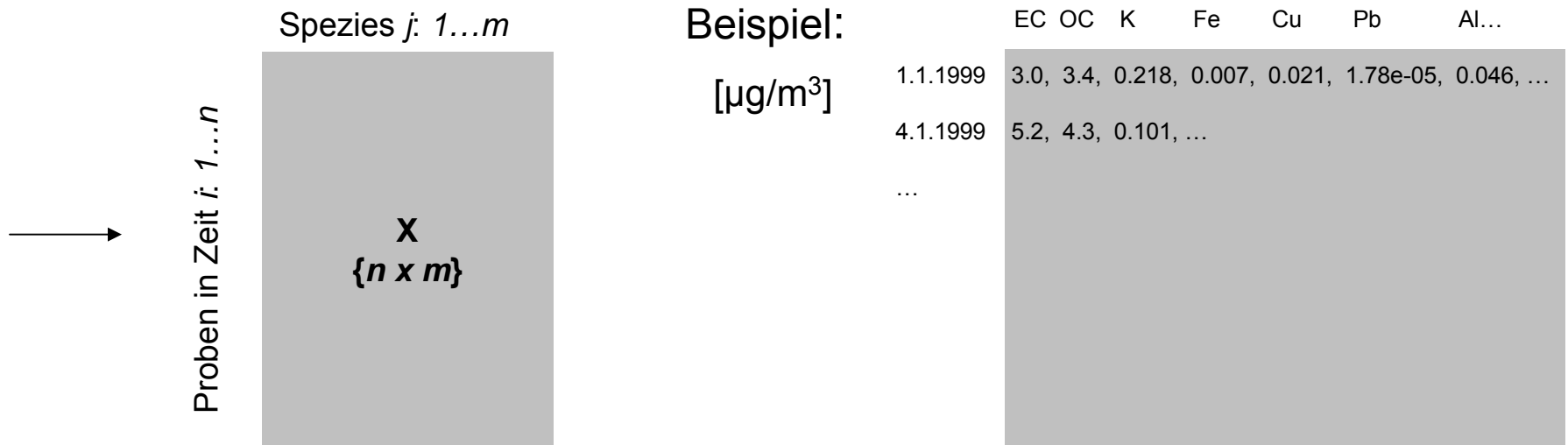
Sulfate Abnahme / Nitrate Zunahme → grösser Unterschied im **Winter**
grösser Winter/Sommer Gradient

2008-2009



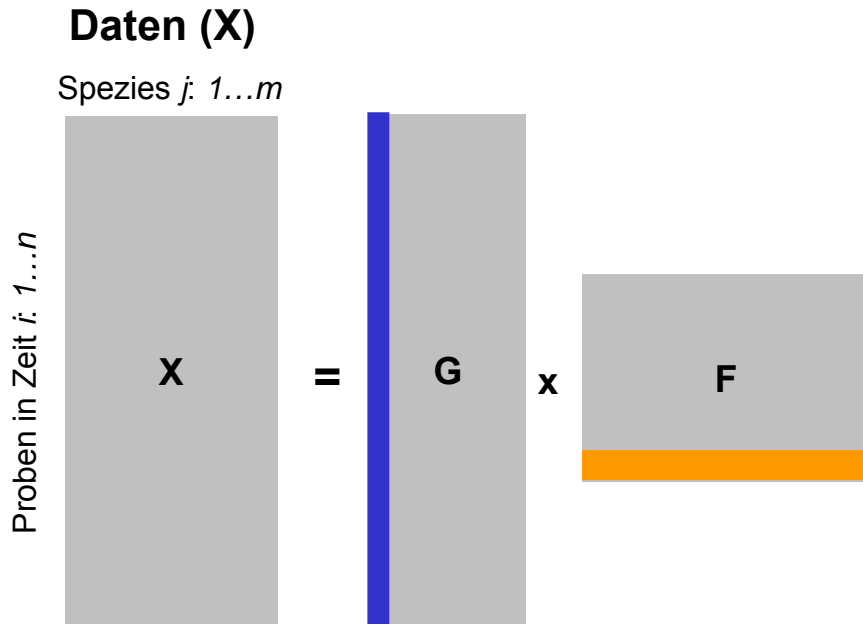
Quellen und Komponenten von Feinstaub (PM10)

Multivariate statistische Analyse zur Quellenzuordnung von Feinstaub (PM10):
Positive Matrix Factorisation (PMF)



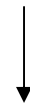
Quellen und Komponenten von Feinstaub (PM10)

Multivariate statistische Analyse zur Quellenzuordnung von Feinstaub (PM10):
Positive Matrix Factorisation (PMF)



PMF:

Matrix der Konzentrationen X



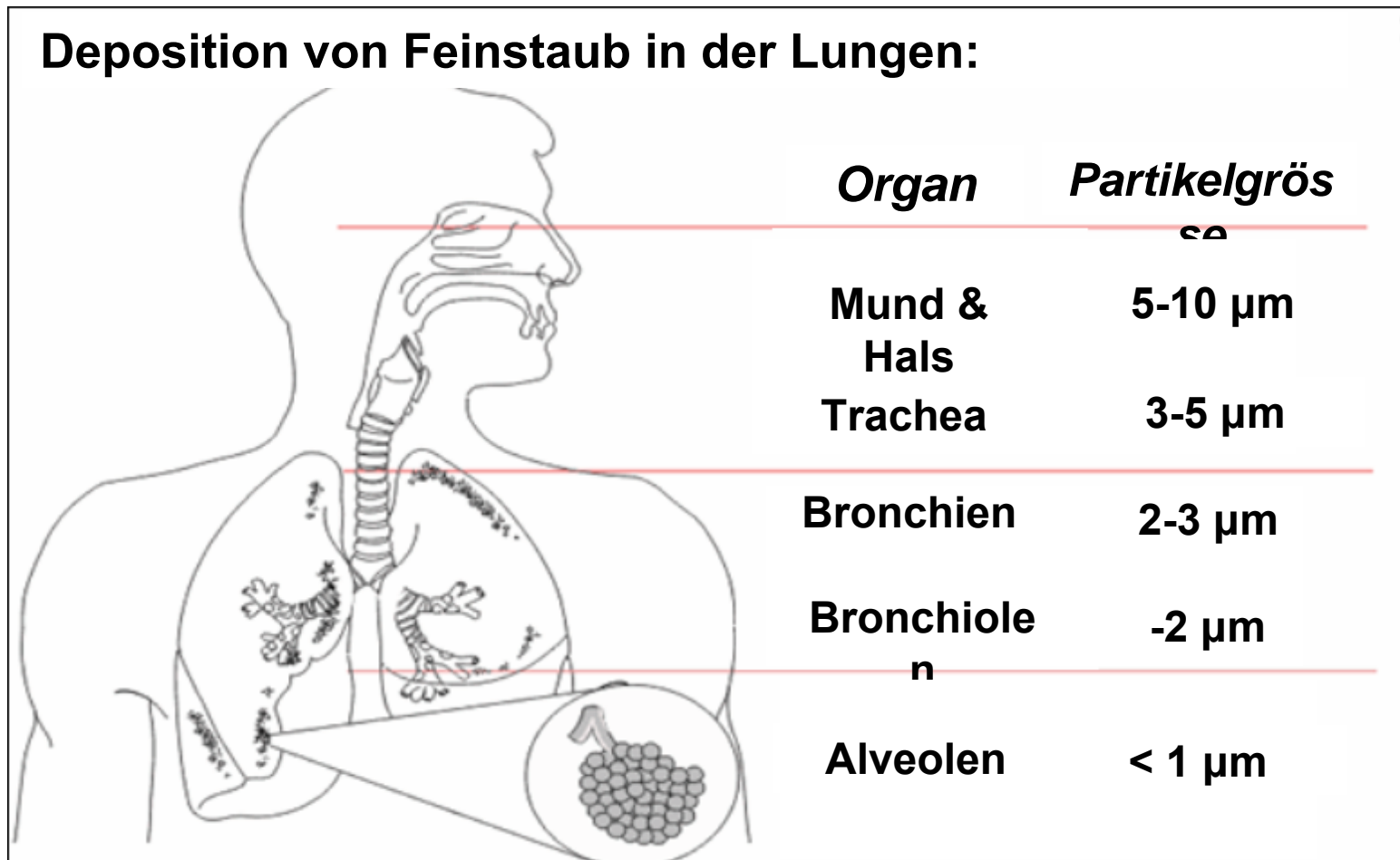
Lösen des multilineares Systems

F Zeilen: chemische Profil der Quelle

G Spalten: Beitrag der Quelle

Einführung

Feinstaub = PM10 = Partikel mit aerodynamische Durchmesser $< 10\mu\text{m}$



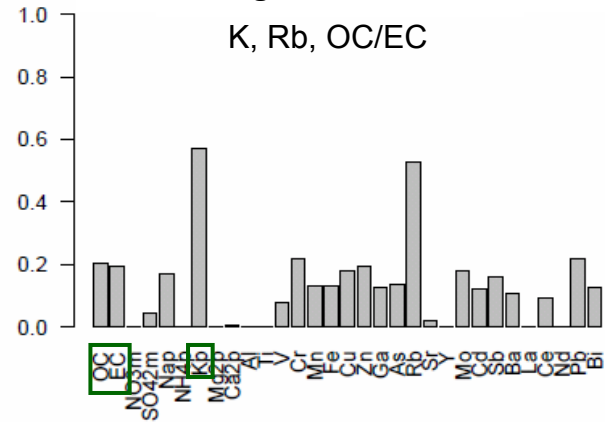
E. Berger-Preiss et al., (2004).

Quellen und Komponenten von Feinstaub (PM10)

Explained Variation (~ Chemische Profile der Quellen) - Basel 08/09

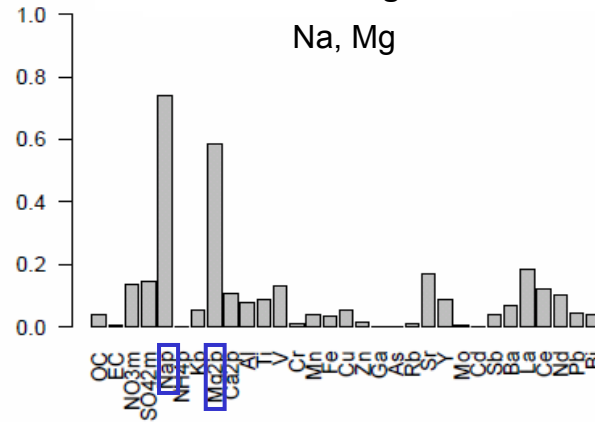
Verbrennung von Holz und Biomasse

K, Rb, OC/EC



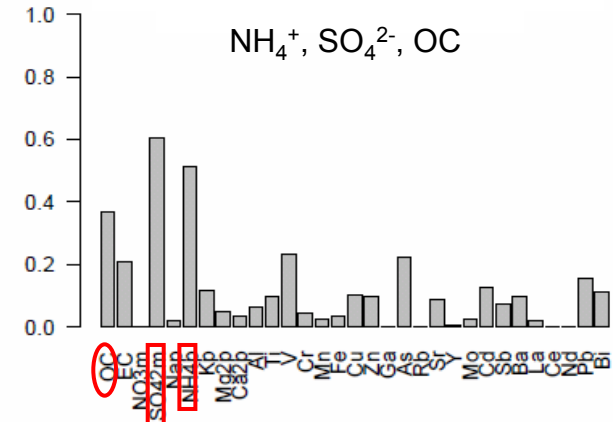
Natrium-Magnesium

Na, Mg



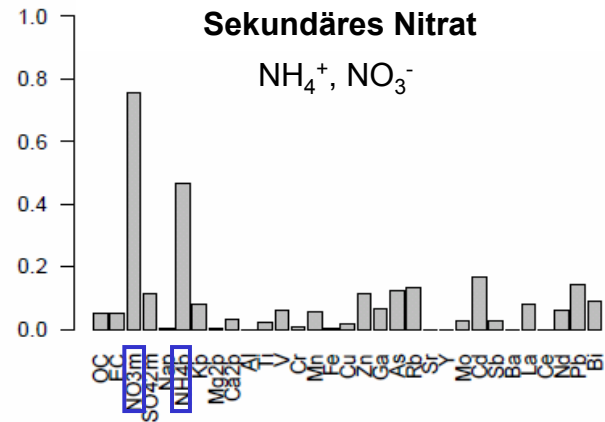
Sekundäres Sulfat

NH_4^+ , SO_4^{2-} , OC



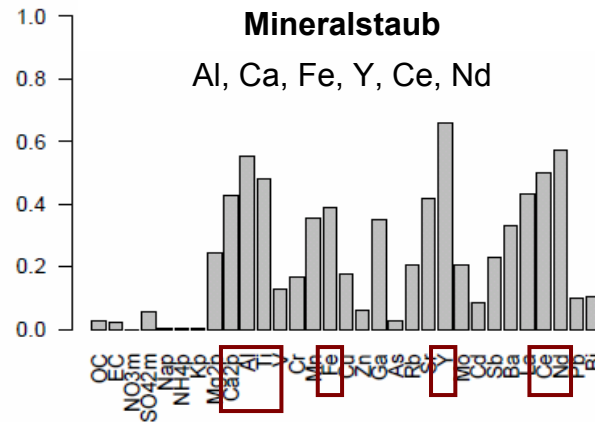
Sekundäres Nitrat

NH_4^+ , NO_3^-



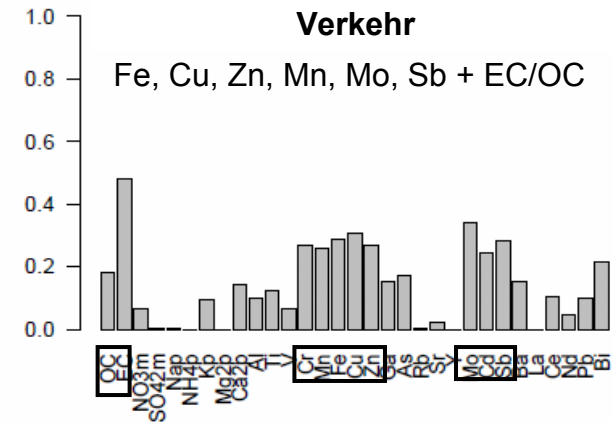
Mineralstaub

Al, Ca, Fe, Y, Ce, Nd



Verkehr

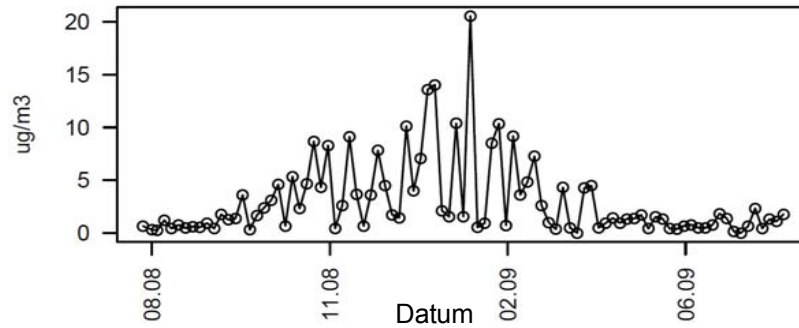
Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, Sb + EC/OC



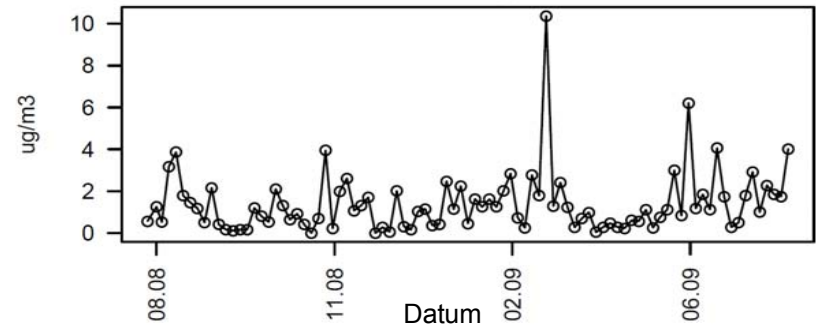
Quellen und Komponenten von Feinstaub (PM10)

Zeitlich Verlauf der Beiträge - Basel 08/09

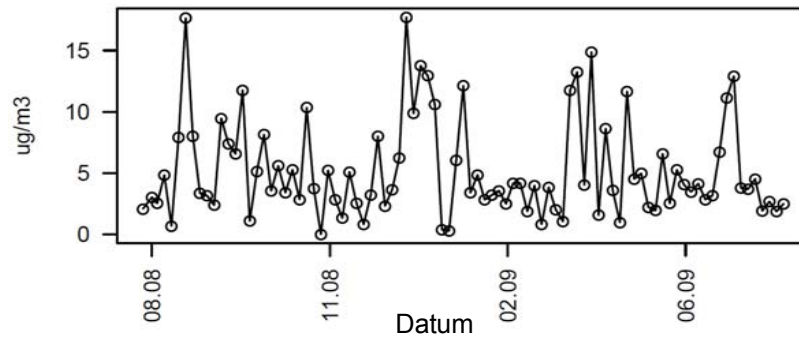
Verbrennung von Holz und Biomasse



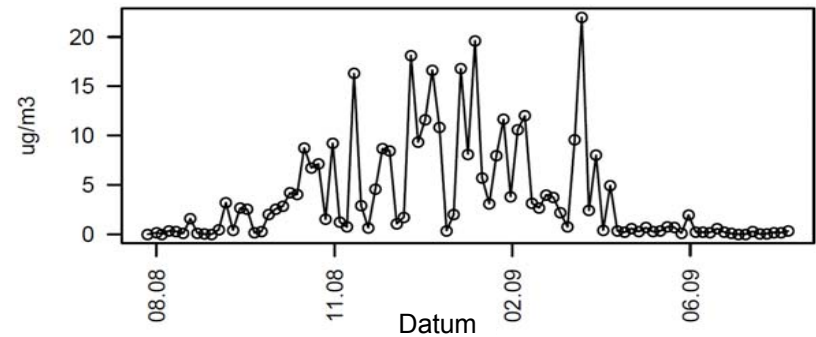
Natrium-Magnesium



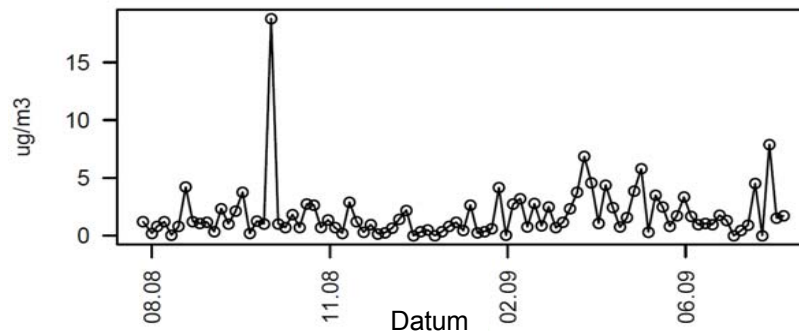
Sekundäres Sulfat



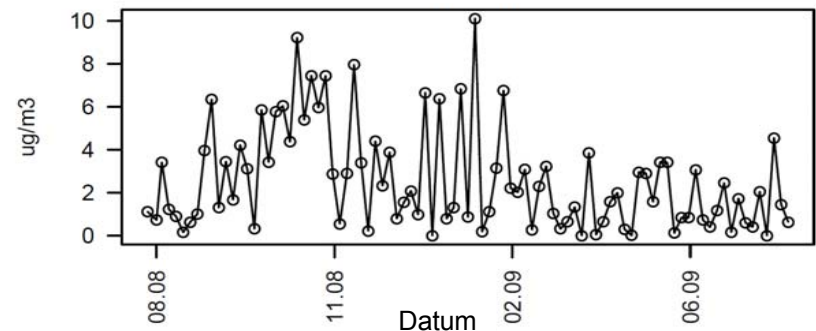
Sekundäres Nitrat



Mineralstaub



Verkehr



Quellen und Komponenten von Feinstaub (PM10)

Vorläufige Ergebnisse

