

**Zusammenfassung zu  
Untersuchungen atmosphä-  
rischer Partikel im Gebiet  
von OSTLUFT**

Jürg Thudium  
29.01.2010 / 5454.90 V2

Oekoscience AG

Postfach 452  
CH - 7001 Chur

Telefon: +4181 250 3310  
[science@oekoscience.ch](mailto:science@oekoscience.ch)

# Inhaltsverzeichnis

<b><i>Vorwort</i></b>	<b>1</b>
<b><i>Schlussfolgerungen</i></b>	<b>2</b>
<b><i>Empfehlungen</i></b>	<b>4</b>
<b>1. Einleitung und Hinweise zur Lektüre</b>	<b>6</b>
<b>2. Langzeitliche PM10-Konzentration im Ostluftgebiet 1999 - 2009</b>	<b>7</b>
2.1. Verwendete Messstationen	7
2.2. PM10-Monatsmittel 1999 - 2009	9
2.3. Belastung des Bodenseeraums mit PM10 [14]	12
2.4. Beispiel einer lokalspezifischen PM10-Messung: Bericht zu PM10-Messungen in Schaan (FL) 2008 [25]	14
<b>3. Zur Qualitätssicherung der PM10-Messungen im Ostluftgebiet</b>	<b>16</b>
3.1. Feinstaub PM10 Messgerätevergleich 2007 [22]	16
3.2. Vergleich zwischen HVS und kontinuierlicher Messmethode an zwei Standorten	19
<b>4. Modellierung der PM-Immissionen [15]</b>	<b>20</b>
<b>5. Zusammenfassung zu gesundheitlichen Auswirkungen der Partikel [26] [27]</b>	<b>26</b>
<b>6. Zusammensetzung der Partikel</b>	<b>28</b>
6.1. Überblick (Chemie von Aerosolen [18])	28
6.2. Verhältnisse PM1/PM2.5/PM10 [4] [4a]	30
6.3. Schwermetallkonzentrationen in der Partikelmasse am Standort Zürich-Kaserne [4] [28]	31
6.4. Gehalt an Benzo(a)pyren im PM10 [8] [9]	32
6.5. Gebundenes Wasser im PM10 [5]	34
6.6. Partikelzusammensetzung im Rheintal und in der Stadt Zürich 2007/08 [1] [1a] [1b]	35
6.7. Aufteilung der fossilen und nicht-fossilen organischen Anteile in den Partikeln nach der <sup>14</sup> C-Methode [2] [2a] [2b]	41
6.8. Russuntersuchungen im OSTLUFT-Gebiet	46
6.8.1. Russ-Monitoring an Standorten im Kanton Zürich mit hohem Anteil Strassenverkehr [20]	46
6.8.2. Russuntersuchungen in der Stadt Zürich 2006/07 [21]	49
6.8.3. Russmessungen im OSTLUFT-Gebiet	50
6.9. Partikel aus Holzverbrennungen [24]	53

<b>7.</b>	<b>Partikelgrößenverteilungen und –Anzahl</b>	<b>54</b>
7.1.	Mobile Messungen von Partikelgrößen und Gasimmissionen in der Region Zürich (Projekt YOGAM) [11] [12]	54
7.2.	Untersuchungen zu Partikelgrößenverteilungen in der Stadt Zürich 2006/07 [21]	58
7.3.	Partikelgrößenverteilungen im Rheintal [1]	61
7.4.	Partikelanzahlmessungen auf Schiffen der ZSG (Zürichsee Schifffahrtsgesellschaft) [23]	63
7.5.	Erkenntnisse aus Bestimmungen der Partikelgrößenverteilungen in Graubünden [10] [19a]	64
7.6.	Erkenntnisse aus Bestimmungen der Partikelgrößenverteilungen in London [19]	66
<b>8.</b>	<b>Hohe PM10-Immissionen im Winter 2006</b>	<b>68</b>
8.1.	Untersuchung zu den sehr hohen PM10-Immissionen in der Ostschweiz im Januar/Februar 2006 [6]	68
8.2.	Fazit der Wintersmog-Workshops vom 2006 und 2007 [7] [16] [29] [30]	70
<b>9.</b>	<b>Partikelemissionen [13]</b>	<b>71</b>
<b>10.</b>	<b>Literatur 75</b>	
<b>11.</b>	<b>Überblick der im OSTLUFT-Gebiet durchgeführten Partikelmessungen</b>	<b>80</b>

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Karte der Messstationen mit mindestens 60 Messmonaten in den Jahren 1999 – 2009.	7
Abbildung 2.2: Monatsmittelwerte der Immissionen von PM10 je Standorttyp, Jan 1999-Okt 2009.	10
Abbildung 2.3: Monatsmittelwerte der Immissionen von PM10 je Standorttyp aus dem Zeitraum Jan 2001-Okt 2009.	11
Abbildung 2.4: Mittelwerte PM10 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] und mittlere jährliche Anzahl Überschreitungen des Tagesmittelgrenzwertes von 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ im Bodenseeraum 2003-2005; teilweise unvollständige Datenreihen. Quelle [14]	13
Abbildung 2.5: Mittlerer Tagesgang des PM10 an den Standorten Schaan Lindenkreuzung (oben) und Vaduz Austrasse (unten), 2008. Quelle [25]	14
Abbildung 3.1: Qualitätssicherung der 13 HVS-Digital-Geräte im Ostluftgebiet. Quelle [22]	16
Abbildung 3.2: Vergleich Referenzgeräte HVS-Digital und TEOM-FDMS im Leistungszentrum Ostluft. Quelle [22]	17
Abbildung 3.3: Qualitätssicherung der TEOM-FDMS-Geräte im Ostluftgebiet. Quelle [22]	18
Abbildung 3.4: Qualitätssicherung der Thermo FH-Geräte im Ostluftgebiet. Quelle [22]	18
Abbildung 3.5: PM10: Korrelation zwischen HVS und kontinuierlicher Messmethode, Frauenfeld (2001-2002 & 2006-2008; links) und Winterthur (2003-2009; rechts).	19
Abbildung 4.1: Emissionsbilanzen PM10 (oben) , PM2.5 (unten) für die Ostschweiz, 2000. Daten [15]	20
Abbildung 4.2: Einteilung des OSTLUFT-Gebiets in „Ostschweizer-Mittelland“, Alpentäler - jeweils charakterisiert durch die Haupt-Himmelsrichtung der Talachse: „E“ Ost, „S“ Süd etc. und übrige Gebiete mit "Ausbreitungsrechnung symmetrisch". (PK1000@swisstopo). Quelle [15]	21
Abbildung 4.3: Messungen sekundärer Partikel (enthält schweizerische Quellen und importierte Konzentrationen), modellierte Werte (ausschliesslich schweizerische Quellen) und damit berechneter Import sekundärer Partikel. Quelle [15]	22

Abbildung 4.4: PM10-Immissionen 2000. Für Gebiete mit mehr als 20 µg/m <sup>3</sup> ist der Langzeitgrenzwert (Jahresmittel) überschritten. In Gebieten mit 18-20 µg/m <sup>3</sup> ist der Kurzzeitgrenzwert „sehr wahrscheinlich“ überschritten, In Gebieten mit 16-18 µg/m <sup>3</sup> ist der Kurzzeitgrenzwert „wahrscheinlich“ überschritten. Quelle [15]	23
Abbildung 4.5: PM2.5-Immissionen 2000. Quelle [15]	24
Abbildung 5.1: Ablagerungen von Feinpartikeln im menschlichen Atemtrakt. Quelle [26]	26
Abbildung 6.1: Schematische Darstellung zur Entwicklung der atmosphärischen Partikel. Quelle [18]	29
Abbildung 6.2: Häufigkeitsverteilung der täglichen PM2.5/PM10-Verhältnisse. Quelle [4a]	31
Abbildung 6.3: Vergleich der Konzentrationen von Benzo(a)pyren im PM10 in den 6 Sommermonaten und den 6 Wintermonaten von 2006-2008. Man beachte die unterschiedliche Skalierung der Sommer- und Wintergrafiken. Quelle [9]	33
Abbildung 6.4: Jahresmittelwerte 2006 bis 2008 der Konzentrationen von Benzo(a)pyren im PM10. Quelle [9]	34
Abbildung 6.5: Messstrecken im Rheintal (links) und in der Stadt Zürich (rechts). Die schwarze Strecke im Rheintal ist die Nordroute, die orange Strecke die Südroute. Rote Punkte zeigen Standorte der Immissionsmessstationen OSTLUFT, NABEL und Vorarlberg. Rot bezeichnet sind die im Detail analysierten Standorte des Datensatzes von Zürich. Quelle [1]	35
Abbildung 6.6: Durchschnittliche chemische Zusammensetzung und Quellbeiträge zu organischen Bestandteilen von PM1, aufgeteilt in österreichischen Teil (A), nördlichen Teil (CH N, FL) und südlichen Teil (CH S, inkl. Chur) des Rheintals sowie Chur (Stadt). Die roten Linien trennen primäre und sekundäre Massenanteile. Quelle [1]	37
Abbildung 6.7: Chemische Zusammensetzung und organische Quellbeiträge für PM1 an den drei Standorten Innenstadt (mobile Messungen auf der Strasse, Route in Zürich), Innenstadt Kaserne und Wettswil. Durchschnittswerte über ganzes Datenset. Die roten Linien trennen primäre und sekundäre Komponenten. Quelle [1]	38
Abbildung 6.8: Vergleich der chemischen Zusammensetzung von PM1 am Standort Zürich Kaserne für Winter 2007/2008 und Januar 2006 und in Reiden (Februar 2006). Die roten Linien trennen primäre und sekundäre Komponenten. Quelle [1]	39
Abbildung 6.9: Quantifizierung lokaler Beiträge nach Spezies, absolute und relative Werte, für den nördlichen Teil des Rheintals, ohne Funkentage. Die roten Linien trennen primäre	

und sekundäre Komponenten. Der Hintergrund-Standort wurde bei Sennwald gewählt. Quelle [1]	40
Abbildung 6.10: Quantifizierung lokaler Beiträge nach Spezies, absolute und relative Werte, für den nördlichen Teil des Rheintals, nur Funkentage (09.02.2008 – 11.02.2008). Die roten Linien trennen primäre und sekundäre Komponenten. Der Hintergrund-Standort wurde bei Sennwald gewählt. Quelle [1]	41
Abbildung 6.11: Zuordnung von elementarem Kohlenstoff (EC) und organischem Kohlenstoff (OC) zu fossilen und nicht-fossilen Quellen mit der <sup>14</sup> C-Methode. Quelle [2]	42
Abbildung 6.12: OC <sub>nf</sub> /OC-Verhältnisse im Winter (einige Messtage je Standort) 2008 (oben) und Vergleich mit früheren Bestimmungen (unten). Quelle [2]	43
Abbildung 6.13: Hauptquellen des organischen Aerosols in Zürich und auf dem Jungfrauoch, Sommer 2002 und Winter 2003. Quelle [2b]	45
Abbildung 6.14: Verteilung des PW- und des SNF-Verkehrs bei Effretikon, 2004. Quelle [20]	46
Abbildung 6.15: Verteilung der Russ-Immissionen bei Effretikon und im Gubristtunnel, 2004. Quelle [20]	47
Abbildung 6.16: Verteilung der Russ-Immissionen an der Schimmelstrasse in Zürich, 2004. Quelle [20]	47
Abbildung 6.17: Vergleich Messung zu Regressionsmodell 7 für Russ in Effretikon. Quelle [20]	48
Abbildung 6.18: Vergleich Messung zu Regressionsmodell 2 für Russ in Effretikon. Quelle [20]	48
Abbildung 6.19: Korrelation zwischen elementarem Kohlenstoff (EC) und PM <sub>0.32</sub> an zwei Standorten in Zürich. Daten umgerechnet auf das TOT-Messverfahren (Messprogramm Eusaar2). Quelle [21]	49
Abbildung 6.20: Mittlere Russkonzentration an der Stampfenbachstrasse in Zürich 1999/2000 je Wochentag. Messmethode: Betastaubmeter-Reflexion, kalibriert mit EC-Werten Digitel, korrigiert nach TOT-Messverfahren. Quelle [21]	50
Abbildung 6.21: Jahresmittelwerte von PM <sub>10</sub> - und EC-Konzentrationen im OSTLUFT-Gebiet 2008. Analyse von Digitel-HVS-Filtern jeden 12. Tag mit der TOT-Methode. Datenquelle: OSTLUFT Datenzentrale.	51

Abbildung 6.22: Jahresmittelwerte von EC-Konzentrationen im OSTLUFT-Gebiet 2001-2008. Analyse nach der TOT-Methode. Datenquelle: OSTLUFT Datenzentrale.	52
Abbildung 6.23: Wochengang der EC-Konzentrationen im OSTLUFT-Gebiet 2001-2008 (Vaduz Austrasse ab 2005). Analyse nach der TOT-Methode. Datenquelle: OSTLUFT Datenzentrale.	52
Abbildung 7.1: Main (solid black line) and access (thin black line) route of the YOGAM project. Dark gray filled areas represent lakes, and the contours show the altitude profile (z, meters above sea level). The two main cities in the selected area, Zürich and Winterthur, are also indicated. Swiss X and Y designate the coordinates in the official Swiss kilometer grid. Additionally, location bin classifications according to Table 1 (R: rural, S: suburban, U: urban, HT: heavy-traffic areas) and official meteorological monitoring stations (M1–M7) are shown. Quelle [12]	54
Abbildung 7.2: SMPS and OPC particle number size distributions measured with the PSI mobile laboratory. The indicated distributions represent on-road averages for the regions and times indicated in the graph legend. For SMPS distributions, 25% and 75% percentiles are indicated (thin curves), while the OPC distributions show standard deviation error bars. Quelle [12]	55
Abbildung 7.3: Seasonal variation of N <sub>tot</sub> , N <sub>bkg</sub> , N(<30), N(30–80), N(80–140), N(140–310), V <sub>2.5</sub> , V <sub>10</sub> , active surface and carbon monoxide, resolved by location category (R: rural, S: suburban, U: urban, HT: heavy-traffic areas, see Table 1 and Fig. 1). Mean values are shown, with bars representing one standard error of mean. Due to SMPS and DC measurement problems no summer data are available except for N <sub>tot</sub> , N <sub>bkg</sub> and CO. Quelle [12]	56
Abbildung 7.4: SMPS number size distributions for the event-based pollution categories defined in Sect. 5.2. Both median and mean distributions are shown. The distributions are based on the whole-year YOGAM data set. Quelle [12]	57
Abbildung 7.5: Temperature-resolved SMPS number size distributions using all YOGAM database entries assigned to pollution category 5. Both median and mean distributions are shown. The average number of individual distributions per temperature category is 150–200. GR: Global radiation. Quelle [12]	58
Abbildung 7.6: Standorte der Partikeluntersuchungen in der Stadt Zürich 2006/07: 1 Stampfenbachstrasse; mittlere städtische Belastung 7'700 Fz/d, 1.6% Schwerverkehr, 28. August –12. Dezember 2006. 2 Schimmelstrasse (BhfWiedikon); Transitachse Chur – Bern-Basel 23'600 Fz/d, 7.2% Schwerverkehr, 19. Juni –2. August 2006. 3 Wallisellen Agglomerationsrand, geringer Verkehr, ab 25. Juni 2007. Quelle [21]	59

Abbildung 7.7: Partikelanzahl- und Massenverteilung für drei Standorte in Zürich. Quelle [21]	59
Abbildung 7.8: Partikelgrößenverteilungen je Wochentag an drei Standorten in Zürich. Quelle [21]	60
Abbildung 7.9: Partikelgrößenverteilungen am 1. August 2007 in Wallisellen. Quelle [21]	60
Abbildung 7.10: Tagesmittelwerte von CO und Partikelanzahl (8 – 320 nm) an der Stampfenbachstrasse in Zürich. Quelle [21]	61
Abbildung 7.11: Durchschnittliche Anzahl (schwarz)- und Volumengrößenverteilungen (blau) von PM <sub>0.3</sub> für die österreichische Seite des Rheintals (A), den nördlichen Schweizer Teil inkl. Liechtenstein (CH N, FL), den südlichen Teil (CH S) und Chur. Februar 2007 und Februar 2008. Quelle [1]	62
Abbildung 7.12: Partikelanzahl- und Volumenverteilung am 20.02.2007. CHAB: Schweizer Autobahn; ATAB: österreichische Autobahn; CHR: Schweizer Kantonsstrasse; ATS: österreichische Bundesstrasse. Quelle [1]	63
Abbildung 7.13: Partikelkonzentration auf dem Oberdeck der MS Uetliberg unter dem Einfluss von Rauchern. Quelle [23]	64
Abbildung 7.14: Aerosolgrößenverteilung für alle Stationen, 16-20h, Werktage. $dN/d\ln(D)$ : Anz. Partikel /cm <sup>3</sup> je Intervalleinheit des nat. Logarithmus der Partikeldurchmesser. Quelle [10]	65
Abbildung 7.15: Aerosolgrößenverteilung in Roveredo (links) und in Moleno (rechts). Am Morgen in Roveredo und generell in Moleno sind die Verkehrsanteile grösser und die Konzentration der Nanopartikel ( $D < 50\text{nm}$ ) deutlich grösser als in Roveredo am Abend, wo die Holzfeuerungen bezüglich Partikelmasse überwiegen. Quelle [19a]	66
Abbildung 7.16: Relation between the temperature and the ratio of integrated particle counts from 11 to 30nm to integrated particle counts from 100 to 450 nm. The relation between the relative humidity and the temperature is also shown. Quelle [19]	67
Abbildung 8.1: Verlauf von PM <sub>10</sub> , NO <sub>x</sub> und NO <sub>2</sub> im Mittel über alle OSTLUFT-Stationen, Dez 2005 – Feb 2006. Quelle [6]	69
Abbildung 8.2: Repräsentativer PM <sub>10</sub> -Verlauf (Tagesmittelwerte) Dez 2005 – Feb 2006 in der Ostschweiz, Liechtenstein und am Rigi (ZH_StaStr: Zürich-Stampfenbachstrasse). Quelle [6]	69



Abbildung 9.1: Entwicklung der Emissionsfaktoren für NO <sub>x</sub> , CO und TVOC bei den Messungen in der Südröhre des Gubristtunnels seit 1990 mit Angabe der Streubreite und differenziert nach kurzen Fahrzeugen (links) und langen Fahrzeugen (rechts). Quelle [13]	72
Abbildung 9.2: Vergleich der Messungen von 2002 bis 2008 der PM <sub>10</sub> -, Totaler Kohlenstoff (TC)- und Sichttrübungs(ST)-Emission im Gubristtunnel. Quelle [13]	73

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Standortcharakterisierung der Messstationen mit mindestens 60 Messmonaten in den Jahren 1999 – 2009.	8
Tabelle 6.1: Mittlere PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub> -Verhältnisse (oben) bzw. mittlere PM <sub>1</sub> /PM <sub>10</sub> -Verhältnisse (unten) der Tagesmittelwerte. Quelle [4]	30
Tabelle 6.2: Jahresmittelwerte der Blei-, Cadmium-, Nickel- und Arsenkonzentrationen (ng/m <sup>3</sup> ) im PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> und PM <sub>1</sub> an der Station Zürich. Quelle [4]	32
Tabelle 6.3: Mit der <sup>14</sup> C-Methode bestimmte Quellenanteile von fossilem und nicht-fossilem organischem (OC) und elementarem Kohlenstoff (EC) am gesamten Kohlenstoff (TC). Verschiedene Standorte Schweiz und Schweden, 2002 – 2006. Quelle [2]	44
Tabelle 9.1: Abweichungen der Emissionsmessungen im Gubristtunnel 2008 von den EFA des HBEFA 2.1: Quelle [13]	74
Tabelle 11.1: Auflistung der im OSTLUFT-Gebiet durchgeführten Partikelmessungen ausserhalb der PM <sub>10</sub> -Routinemessungen:	80

# Vorwort

Die Staubkonzentration in der Aussenluft wird in der Schweiz seit Mitte der 80er Jahre gemessen. Während zu Beginn nur die Konzentration des Gesamtstaubes und ab 1998 die Konzentration an lungengängigem Feinstaub (PM10) von Interesse war, wissen wir heute viel über die Feinstaubzusammensetzung. Wir können heute zusätzlich zur Konzentration, die Partikelanzahl, die Grössenverteilung dieser Partikel und die chemische Zusammensetzung des Feinstaubes bestimmen. Zudem können wir die Anteile von primär emittiertem und sekundär gebildetem Feinstaub unterscheiden. Neueste Untersuchungsmethoden erlauben es sogar, für einzelne Fraktionen des Feinstaubes die Quellenanteile von Holzfeuerungen und Verkehr zu quantifizieren.

Heute beurteilen die kantonalen Umweltämter und das BAFU die Feinstaubbelastung in Bezug auf die Grenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung (LRV). Sie beteiligen sich aber auch an Untersuchungen von Fachhochschulen und Forschungsinstituten über die Herkunft und Zusammensetzung des Feinstaubes. Aus den gewonnenen Erkenntnissen werden die effizientesten Massnahmen zur Reduktion des Feinstaubes abgeleitet.

Auch im OSTLUFT-Gebiet wurden in den vergangenen 10 Jahren einige Untersuchungen über den Feinstaub durchgeführt. Mit dem vorliegenden Bericht ist ein Überblick über rund 30 Untersuchungen und deren Erkenntnisse entstanden. Dem Leser steht eine spannende und lehrreiche Reise in die faszinierende Welt der kleinsten Staubteilchen der Aussenluft bevor.

*Hanspeter Lötscher, Amt für Natur und Umwelt Graubünden, Januar 2010.*

# Schlussfolgerungen

Die in der Ostschweiz vorhandenen Partikeluntersuchungen geben einen guten Überblick über die Zusammensetzung des atmosphärischen Feinstaubes:

- Primäre und sekundäre Partikel;
- Organisches Material; fossile und nicht-fossile Anteile;
- Gehalt an Schwermetallen und polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK);
- Gehalt an Russ.

Am meisten Erkenntnisse liegen im OSTLUFT-Gebiet über die PM10- und Russ-Konzentrationen vor. Diese Parameter werden seit Jahren kontinuierlich erfasst und erlauben die Abschätzung von Trends, die Bestimmung von Kenngrößen und Grenzwertbetrachtungen. Über die Quellenanteile und die Inhaltsstoffe des Feinstaubes sind weniger Erkenntnisse vorhanden. In diesen Fachgebieten gilt es, die Erkenntnisse zu erweitern.

Eine Reihe von Untersuchungen gibt es zudem in Bezug zur Partikelkonzentration und –Größenverteilung. Auch aus diesen Untersuchungen kann ein Überblick abgeleitet werden; diese Größen zeigen jedoch wie der Russ grosse räumliche und zeitliche Variabilitäten, insbesondere quellennah.

Unbestritten ist heute, dass die Holzfeuerungen während der kalten Jahreszeit zu einem bedeutenden Anteil zur Feinstaubbelastung beitragen.

Die Wintersmogbelastung ist im Allgemeinen von lokalen und regionalen Quellen verursacht. Innerhalb eines Kaltluftsees tendiert das PM10 zu einer gleichmässigen Verteilung. In dessen Randregionen können meteorologische Bedingungen und chemische Prozesse zur Produktion von sekundären Partikeln führen, welche von den Stickoxidquellen entkoppelt ist.

Die bisherigen Untersuchungen wurden zum grössten Teil in der Stadt Zürich durchgeführt, und hier wiederum oft am Standort Kaserne. Ausserhalb der Region Zürich gibt es nur rudimentäre Untersuchungen zu Partikeln meist an einzelnen Tagen und überwiegend aus Fahrzeugen auf der Strasse.

Bezüglich der Zuordnung bestimmter Partikelgrössenbereiche zu Fahrzeugkategorien gibt es innerhalb der Literatur Widersprüche, die wohl auch auf die allseits eher knappe Datenbasis zurückgeführt werden können.

Es gibt Hinweise auf eine deutliche Temperaturabhängigkeit der Bildung von Ultrafeinpartikeln  $<30$  nm (höhere Produktion bei tieferen Temperaturen), die aber noch nicht effektiv quantifiziert werden kann.

Ebenfalls gibt es Hinweise auf eine Abhängigkeit der Bildung von Ultrafeinpartikeln vom Angebot schon vorhandener Partikeloberfläche (vermehrte Kondensation statt Nukleation bei erhöhter Oberfläche). Das würde bedeuten, dass es Wechselwirkungen zwischen Partikelkollektiven verschiedener Herkunft gibt.

Wenn die Ultrafeinpartikel als gesundheitsrelevant erkannt werden (dies kann im Rahmen dieses Berichtes nicht beurteilt werden), dann weiss man über sie zu wenig. Die Zunahme der ultrafeinen Russpartikel bei den Messungen im Gubristtunnel ist beunruhigend.

Die Exposition der Bevölkerung mit PM<sub>10</sub> scheint aufgrund der flächendeckenden Immissionsmodellierung und der Eigenschaften des PM<sub>10</sub> als Sekundärstoff recht gut abschätzbar zu sein. Bei der Exposition mit Russ scheint dies deutlich schwieriger zu sein, vor allem für urbane und strassennahe Gebiete, denn der Russ weist eine gemessene starke räumliche Variabilität auf.

Unter "Zürich" firmiert oft der Standort Kaserne. Bei den mobilen Partikelmessungen wies er sehr ähnliche Verhältnisse wie das Knonauer Amt auf und grosse Unterschiede zu den übrigen Messungen in der Stadt.

# Empfehlungen

Die Empfehlungen werden OSTLUFT-intern weiterbearbeitet.



# 1. Einleitung und Hinweise zur Lektüre

Dieser Bericht fasst die Ergebnisse von über 30 wissenschaftlichen Arbeiten zu den atmosphärischen Partikeln im Gebiet von OSTLUFT zusammen. Dabei wurde auch eine Reihe von Artikeln einbezogen, die sich nicht auf Messungen im OSTLUFT-Gebiet stützen, aber zu deren Verständnis sehr hilfreich sind.

Zu Beginn des Berichtes wird die langzeitlichen PM10-Konzentrationen im OSTLUFT-Gebiet dargestellt und kommentiert.

Die Zusammenfassungen stammen vom Berichtsautor. In einigen wenigen Fällen, wo zitiert wird, wird dies ausdrücklich gekennzeichnet.

Der Aufbau des Berichtes folgt einer thematischen Struktur. Arbeiten, die sich mit mehreren Themen befasst haben, sind entsprechend aufgeteilt worden. Zu jedem Thema bzw. Unterthema folgt in eckigen Klammern der Verweis auf die entsprechende Literatur (→ Kap. 10, Literaturliste).

Bei Abbildungen wird stets die Quelle als Verweis auf die entsprechende Literatur angegeben. Wo dies fehlt, stammen die Abbildungen vom Berichtsautor. Bei Abbildungen aus englischsprachigen Arbeiten wird die Legende in Englisch wiedergegeben, wegen des Bezugs zur Abbildung und zur Erhaltung der Originalinformation.

Zu Beginn des Berichtes werden Schlussfolgerungen aus den bisherigen Partikeluntersuchungen gezogen, und es werden einige Empfehlungen aus fachlicher Sicht abgegeben.

## 2. Langzeitliche PM<sub>10</sub>-Konzentration im Ostluftgebiet 1999 - 2009

### 2.1. Verwendete Messstationen

Es wurden insgesamt 9 Messstationen verwendet, welche in den letzten 10 Jahren mindestens 60 Messmonate aufzuweisen hatten. Es wurde in zwei Standort-Grundtypen Zentrum/Verkehrsexponiert und Agglomeration unterschieden.

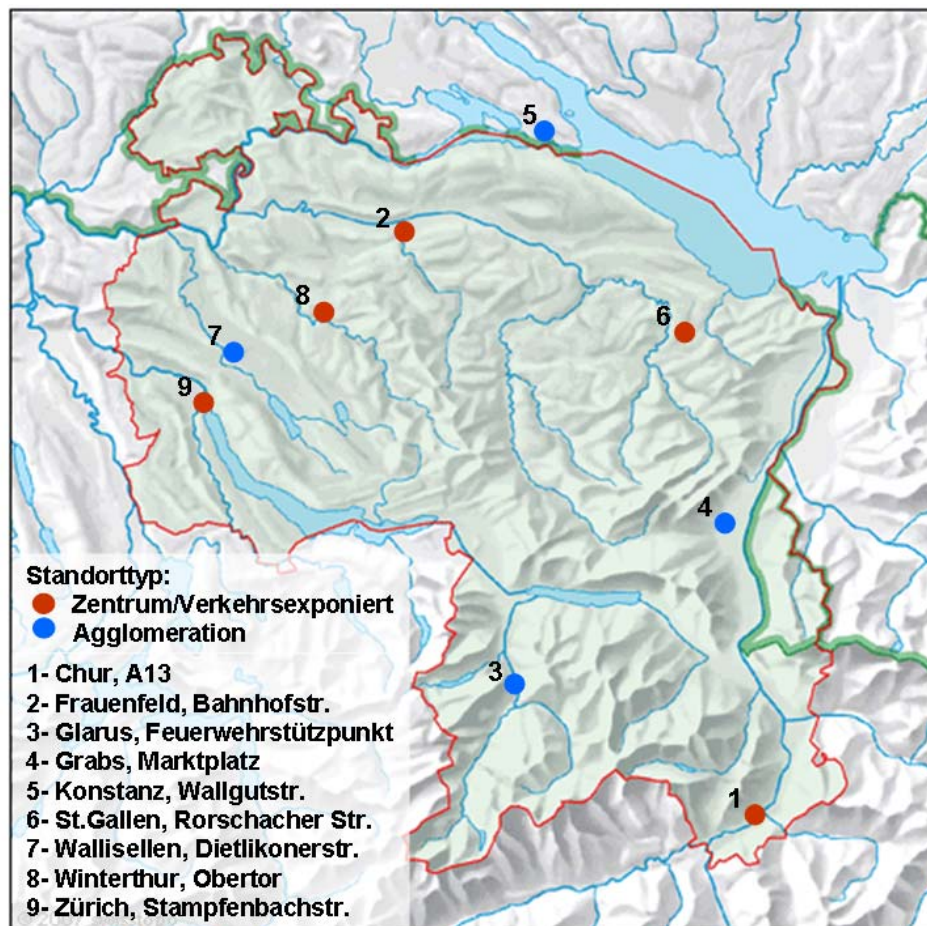


Abbildung 2.1: Karte der Messstationen mit mindestens 60 Messmonaten in den Jahren 1999 – 2009.



Die präzisere Standorteinteilung gemäss Ostluft findet sich in den folgenden Tabellen.

**Tabelle 2.1: Standortcharakterisierung der Messstationen mit mindestens 60 Messmonaten in den Jahren 1999 – 2009.**

<b>Verkehr</b> Anzahl Fahrzeuge pro Tag, LKW's gewichtet (DTV-S)		<b>Siedlungsgrösse</b> Bevölkerungszahl	
<b>Hochleistungsstrasse</b> >30'000	<b>Hauptverkehrsachse</b> 10-30'000	<b>Grosstadt</b> >150'000	<b>Stadt oder Agglomeration</b> 20-150'000
<b>mässiger Verkehr</b> <10'000	<b>kein Verkehr</b> abseits der Strasse	<b>Dorf</b> 1-20'000	<b>"Weller"</b> <1'000
<b>Flughafen</b>		<b>ohne Siedlung</b> abseits von Siedlungen	
<b>Lage zur Siedlung</b> Zentralitätsfaktor		<b>Spezialinformationen</b> Belüftung, Topographie	
<b>Zentrum</b>	<b>Wohngebiete</b>	<b>Hochlagen</b> über 1000m	<b>Hügelzone</b> Hang- und Kuppenlagen
<b>Randzone</b>		<b>Staulagen</b>	

ID	Ort	Ortsteil	Kanton	Standorttyp	Messmethode
1	Chur	A13	GR		Kont.
2	Frauenfeld	Bahnhofstrasse	TG		Kont.
3	Glarus	Feuerwehrstützpunkt	GL		HVS
4	Grabs	Marktplatz	SG		HVS
5	Konstanz	Wallgutstrasse	D		HVS
6	St. Gallen	Rorschacher Strasse	SG		Kont.
7	Wallisellen	Dietlikonerstrasse	ZH		Kont.
8	Winterthur	Obertor	ZH		Kont.
9	Zürich	Stampfenbachstrasse	ZH		Kont.

## 2.2. PM10-Monatsmittel 1999 - 2009

Die Schwankungen der PM10-Monatsmittel sind im Wesentlichen durch die meteorologischen Bedingungen verursacht: Alle Stationen zeigen den gleichen zeitlichen Ablauf erhöhter und niedriger Werte. Die Reihenfolge unter den Stationen bleibt im Allgemeinen (mit Ausnahme von Chur A13) erhalten. In Phasen hoher Konzentrationen gibt es kaum Unterschiede zwischen verkehrsexponierten bzw. Zentrums-Standorten und Agglomerations-Standorten. In Phasen niedriger Werte sind die ersteren im Allgemeinen mehr belastet.

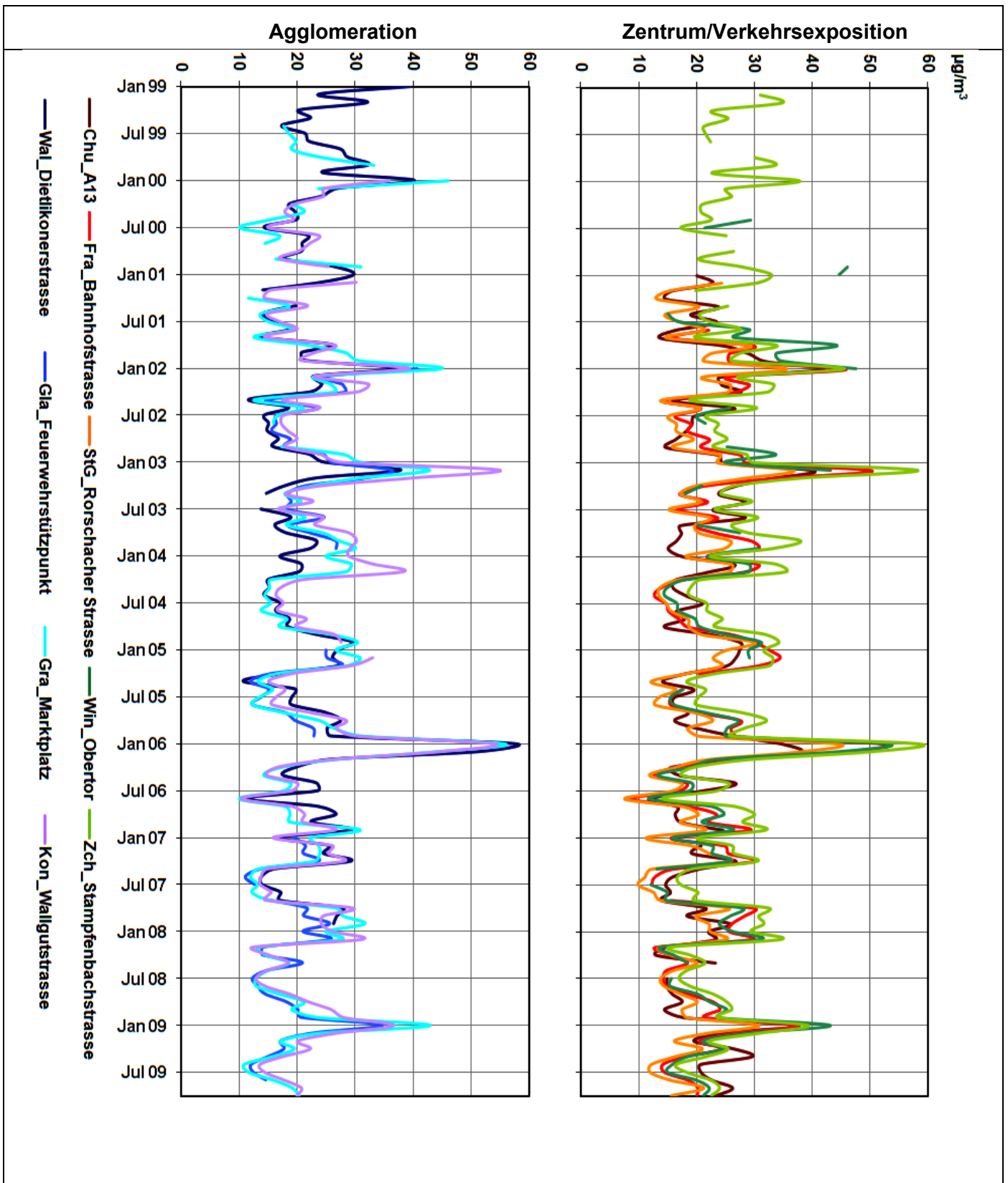


Abbildung 2.2: Monatsmittelwerte der Immissionen von PM10 je Standorttyp, Jan 1999-Okt 2009.

Im langjährigen jahreszeitlichen Verlauf findet sich das Maximum im Januar/Februar, welches sich zwischen den beiden Standorttypen kaum unterscheidet. Auch im Sommer sind sich die PM10-Konzentrationen ausser bei Zürich-Stampfenbachstrasse und Chur A13 ähnlich.

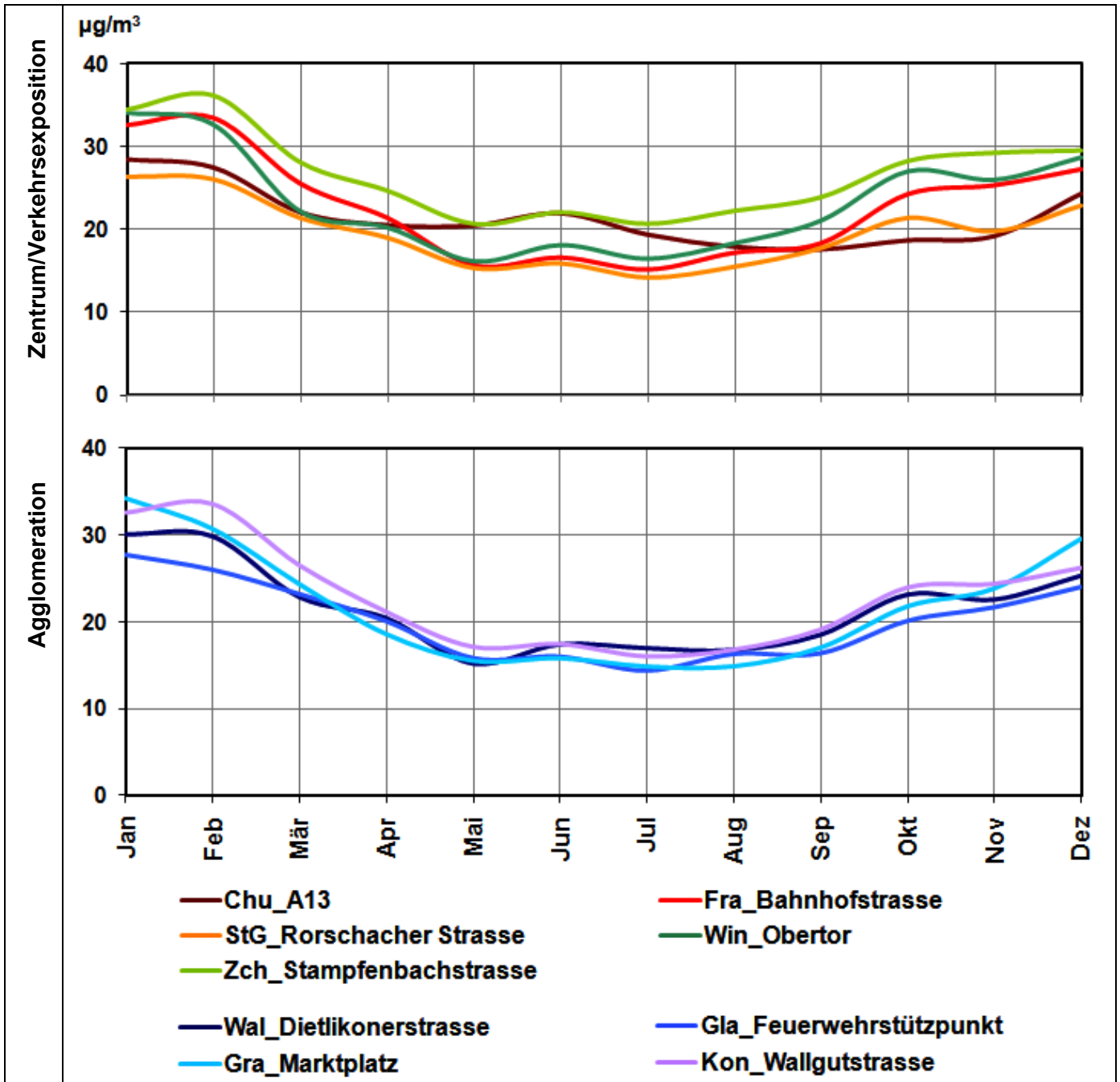


Abbildung 2.3: Monatsmittelwerte der Immissionen von PM10 je Standorttyp aus dem Zeitraum Jan 2001-Okt 2009.

## 2.3. Belastung des Bodenseeraums mit PM10 [14]

- Im Bodenseeraum sehr unterschiedlich vorliegende Angaben zu den PM10-Emissionen. Deshalb vergleichende Angaben sehr schwierig.
- Dennoch die Aussage: Innerhalb des Untersuchungsgebiets keine Indizien für wesentliche Abweichungen in Bezug auf das Mobilitätsverhalten der Bevölkerung oder die Fahrzeugzusammensetzung, welche zu einer massgebenden Beeinflussung der PM10-Emissionen aus dem Strassenverkehr führen könnten.
- Immissionen wegen teilweise unterschiedlichen Standortcharakteristiken ebenfalls schwierig zu vergleichen.
- Es wird ein umfangreicher Massnahmenkatalog zur Minderung der PM10-Immissionen präsentiert.

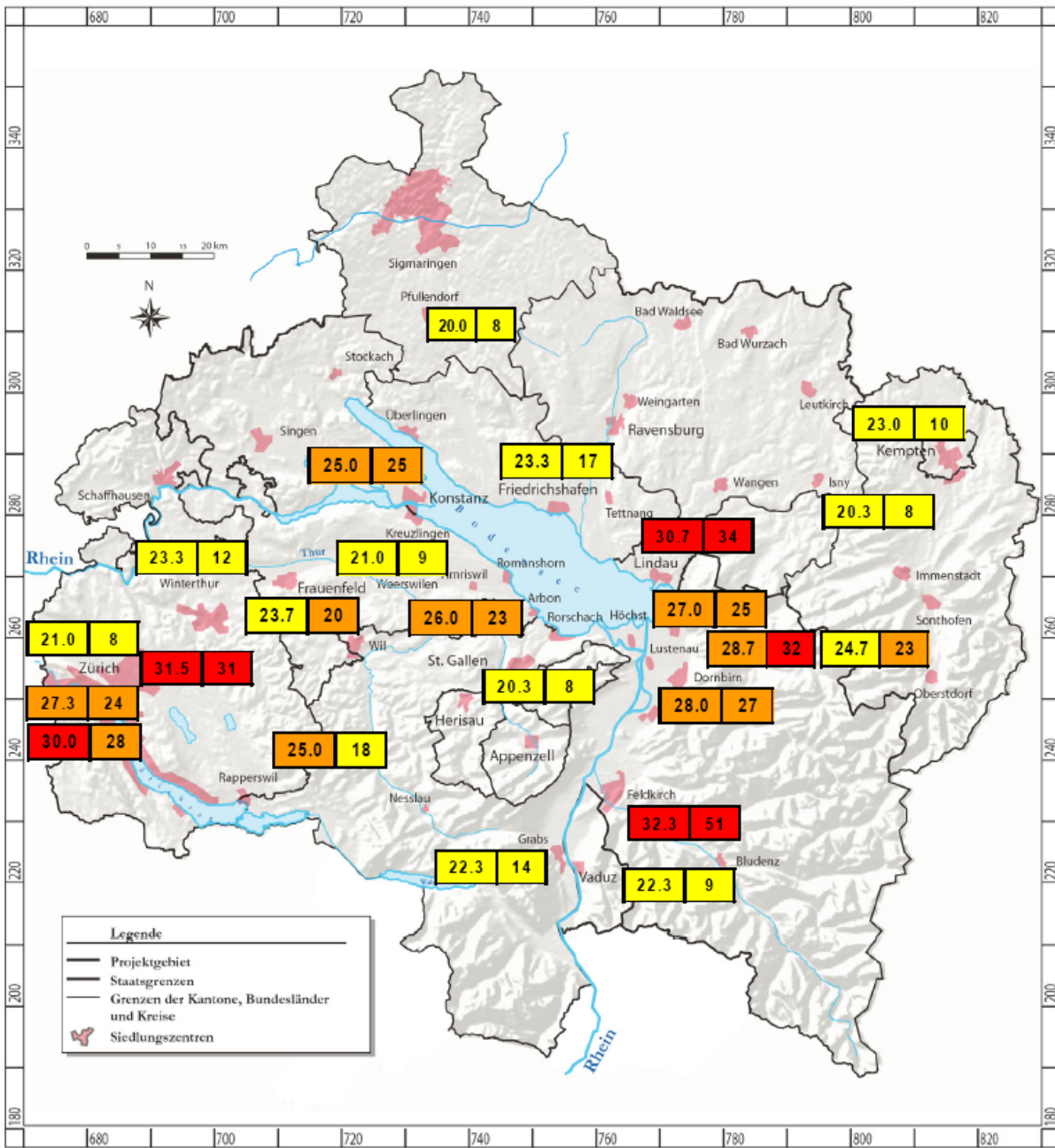


Abbildung 2.4: Mittelwerte PM10 [µg/m³] und mittlere jährliche Anzahl Überschreitungen des Tagesmittelgrenzwertes von 50 µg/m³ im Bodenseeraum 2003-2005; teilweise unvollständige Datenreihen. Quelle [14]

## 2.4. Beispiel einer lokalspezifischen PM10-Messung: Bericht zu PM10-Messungen in Schaan (FL) 2008 [25]

- Von Dezember 2007 – Dezember 2008 PM10-Messung in Schaan an der Lindenkreuzung.

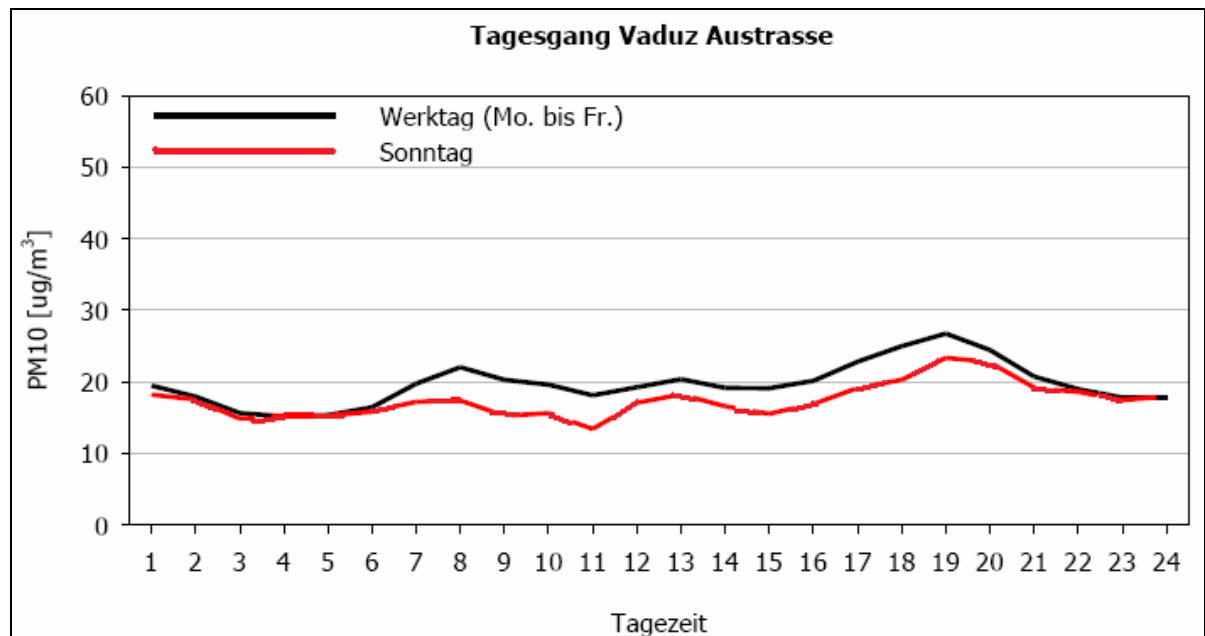
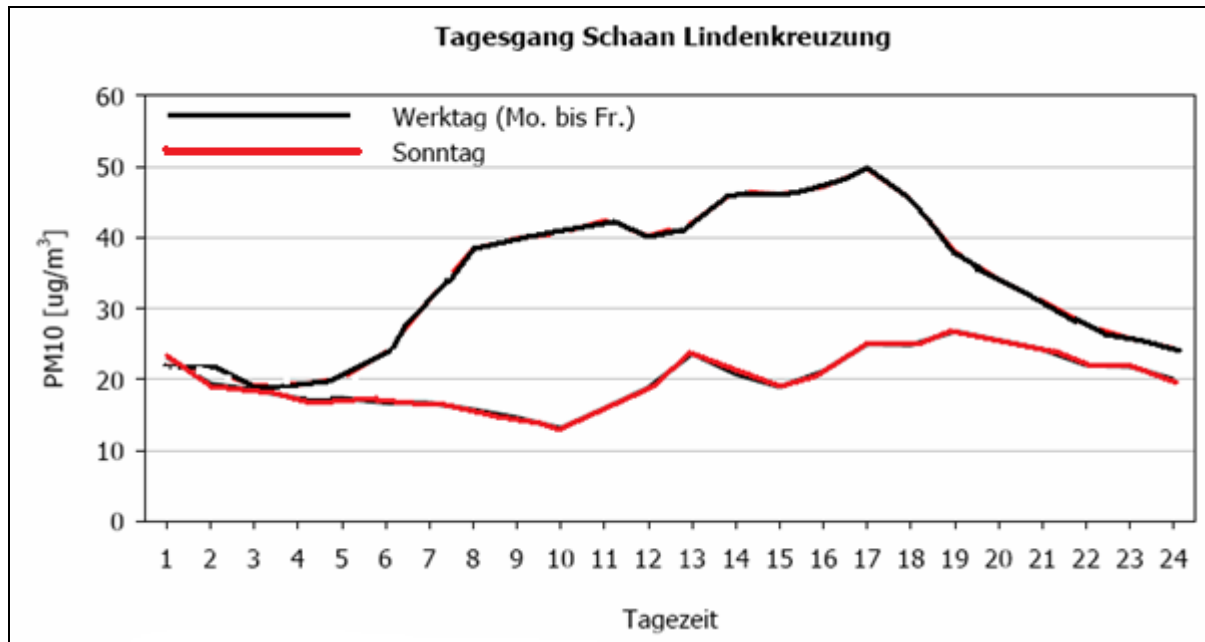


Abbildung 2.5: Mittlerer Tagesgang des PM10 an den Standorten Schaan Lindenkreuzung (oben) und Vaduz Austrasse (unten), 2008. Quelle [25]

- Jahresmittelwert  $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gegenüber  $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in Vaduz an der Austrasse in der gleichen Region.
- Vergleiche mit anderen Standorten und mit früheren Messungen legen nahe, dass ein grosser Teil der Differenz zur Austrasse temporär durch Baustellen bedingt war. Ein weiterer Teil dürfte durch die unterschiedliche Verkehrscharakteristik bedingt sein: Die Messstation Schaan steht an einer Kreuzung mit intensivem „Stop and Go“-Verkehr. Auf der Strasse bei der Station Austrasse in Vaduz hingegen fliesst der Verkehr kontinuierlich.
- Unterschiede in der PM10-Belastung sind vor allem werktags tagsüber zu verzeichnen (s. beide Abbildungen). Beispiel, dass PM10 trotz der grossen Bedeutung der sekundären Bestandteile auch lokal stark erhöht sein kann.



### 3. Zur Qualitätssicherung der PM10-Messungen im Ostluftgebiet

#### 3.1. Feinstaub PM10 Messgerätevergleich 2007 [22]

Vergleich der PM10-Messgeräte im Ostluftgebiet anlässlich Ringkontrolle Cercl'Air 2007:

- Vergleich zwischen 13 Digiteln und 19 kontinuierlichen Messgeräten.
- Hohe Übereinstimmung der HVS-Geräte (Digitel):

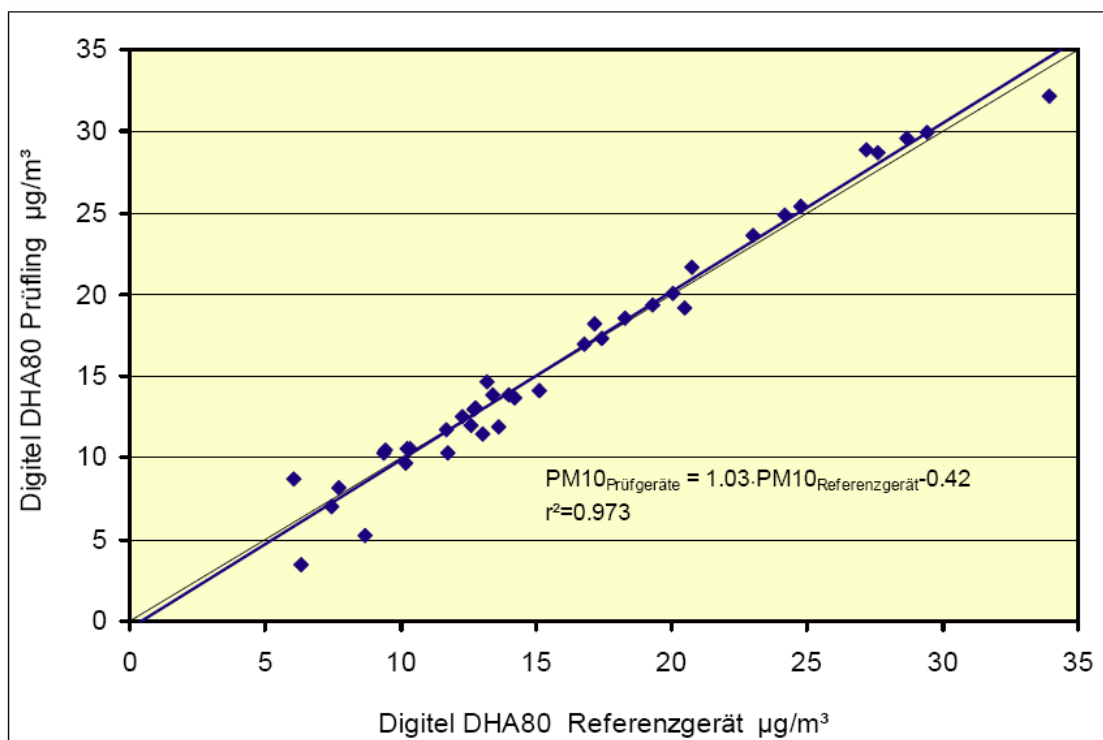


Abbildung 3.1: Qualitätssicherung der 13 HVS-Digital-Geräte im Ostluftgebiet. Quelle [22]

- Innerhalb Leistungszentrum Ostluft gute Übereinstimmung zwischen Referenzgerät Digital und TEOM FDMS. TEOM misst 5% höher als Digital-Referenz. Die von OSTLUFT veröffentlichten TEOM-Daten werden jedoch immer auf den Digital-Referenzwert korrigiert.

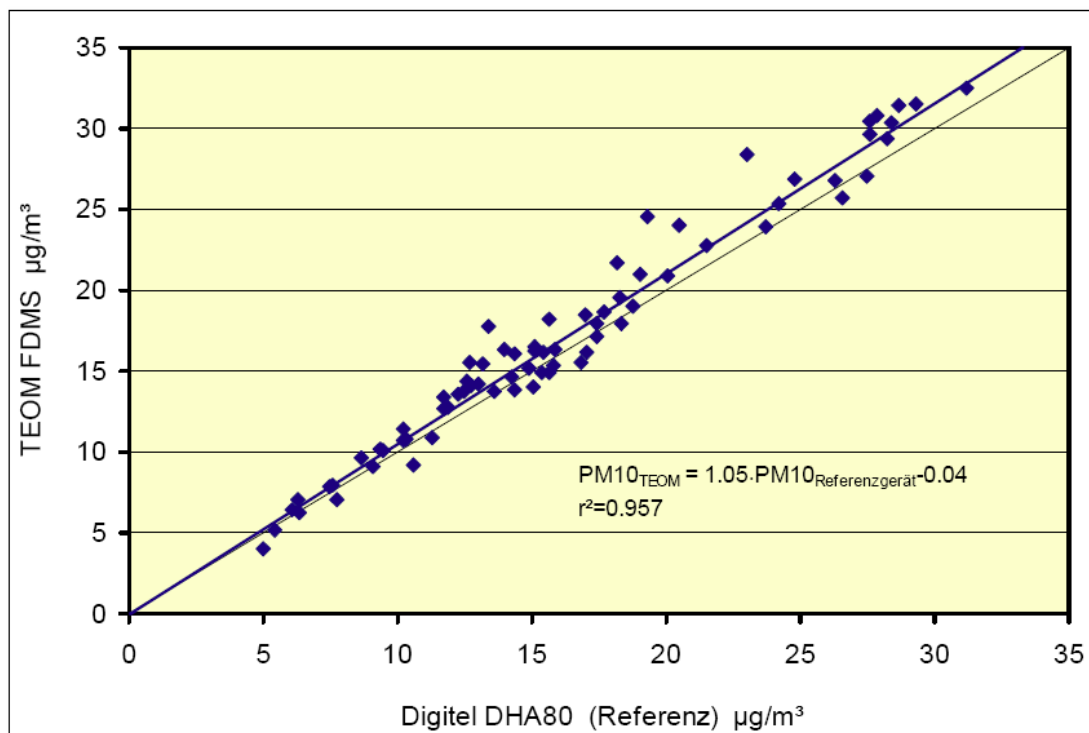


Abbildung 3.2: Vergleich Referenzgeräte HVS-Digital und TEOM-FDMS im Leistungszentrum Ostluft.  
Quelle [22]

- Dichtheitsprüfung zwingend nach jeder Manipulation am Probenahme-system des TEOM-FDMS.
- TEOM-Prüflinge streuen ziemlich stark um die Digital-Referenz, messen im Schnitt tiefer als Referenz:

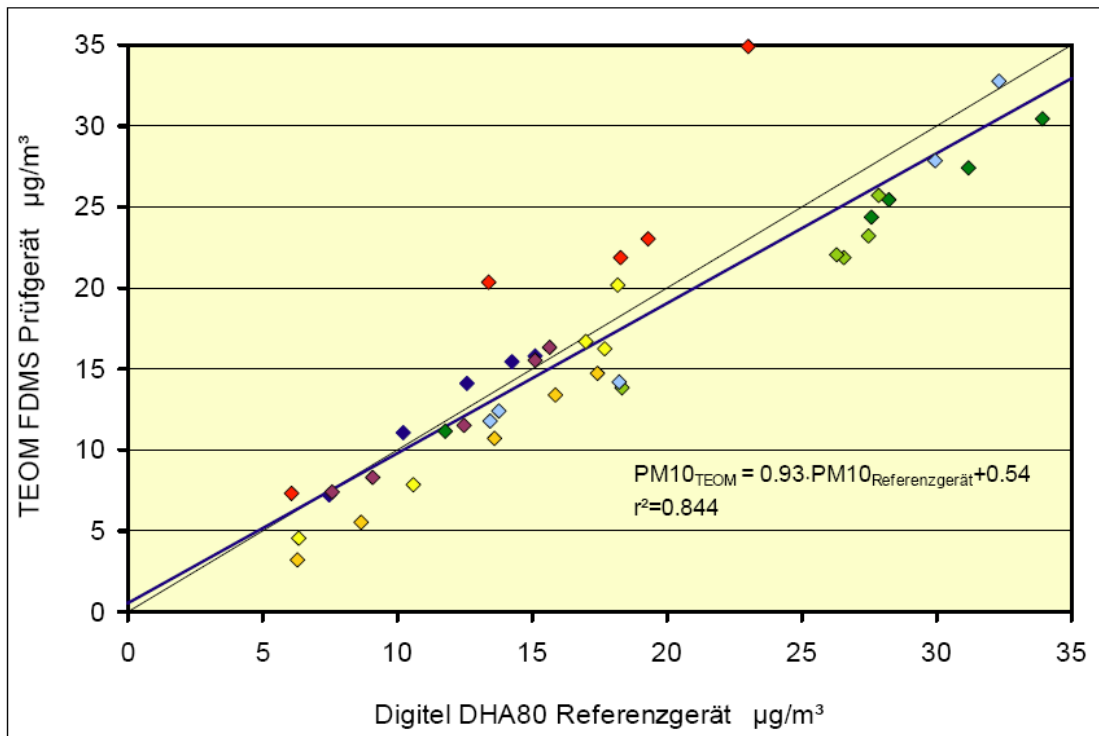


Abbildung 3.3: Qualitätssicherung der TEOM-FDMS-Geräte im Ostluftgebiet. Quelle [22]

- Thermo FH-Geräte streuen weniger als TEOM um die Digital-Referenz:

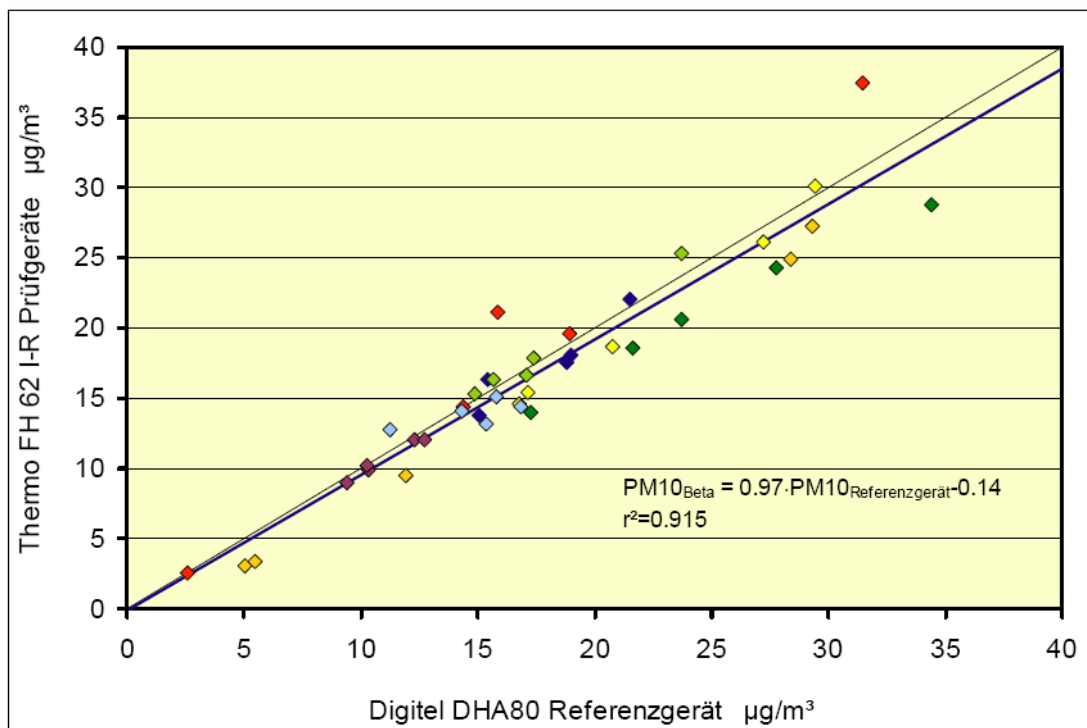


Abbildung 3.4: Qualitätssicherung der Thermo FH-Geräte im Ostluftgebiet. Quelle [22]

- Fazit: Weiterhin werden sämtliche kontinuierlichen PM10-Messverfahren mittels Vergleichsmessungen auf eine gemeinsame Referenz (Digital DHA80) bezogen.

## 3.2. Vergleich zwischen HVS und kontinuierlicher Messmethode an zwei Standorten

An zwei Standorten liegen parallele Messungen mittels HVS (Digital) und kontinuierlicher Messmethode vor. Der Vergleich zeigt, dass der Bezug auf die Digital-Referenz in beiden Fällen durchgeführt worden ist und zu verhältnismässig geringen Streuungen der Monatsmittelwerte führt:

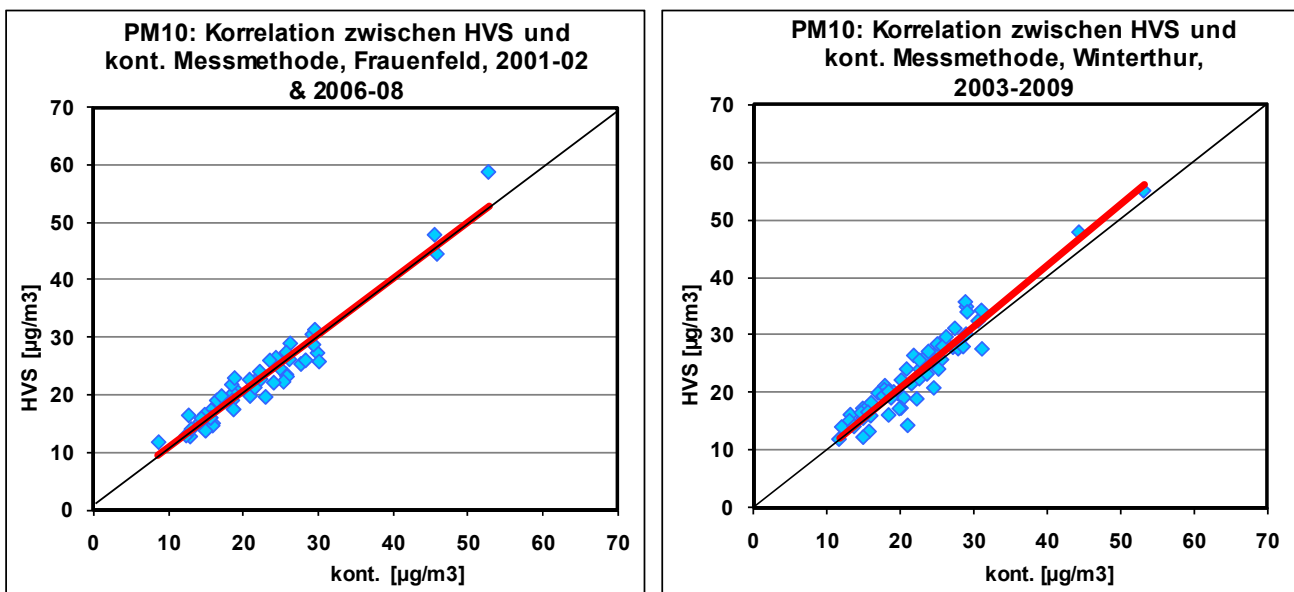


Abbildung 3.5: PM10: Korrelation zwischen HVS und kontinuierlicher Messmethode, Frauenfeld (2001-2002 & 2006-2008; links) und Winterthur (2003-2009; rechts).

## 4. Modellierung der PM-Immissionen [15]

- Ausgangsbasis schweizerisches Partikelmodell.
- Lokale/regionale Emission (primär und sekundär) und überregionaler Import.
- Emissionsbilanz Primärpartikel für Ostluft, total 5300 t/a PM10 bzw. 2850 t/a PM2.5. Aufteilung gemäss untenstehenden Grafiken:

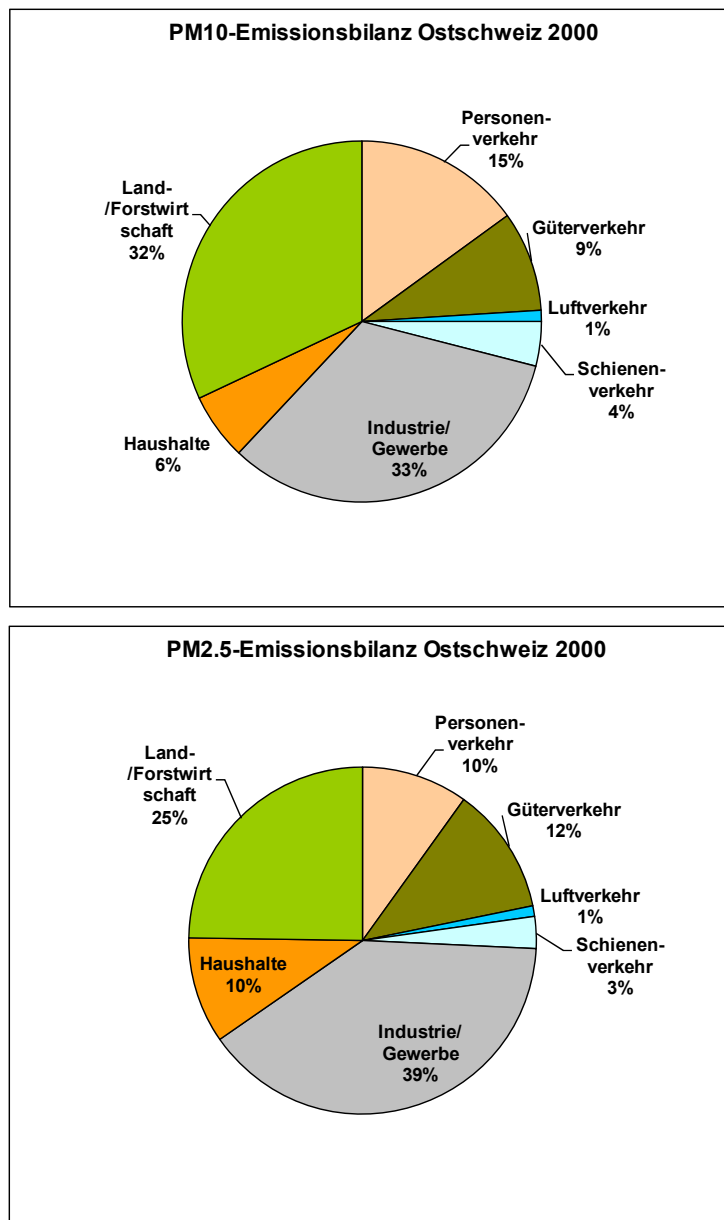
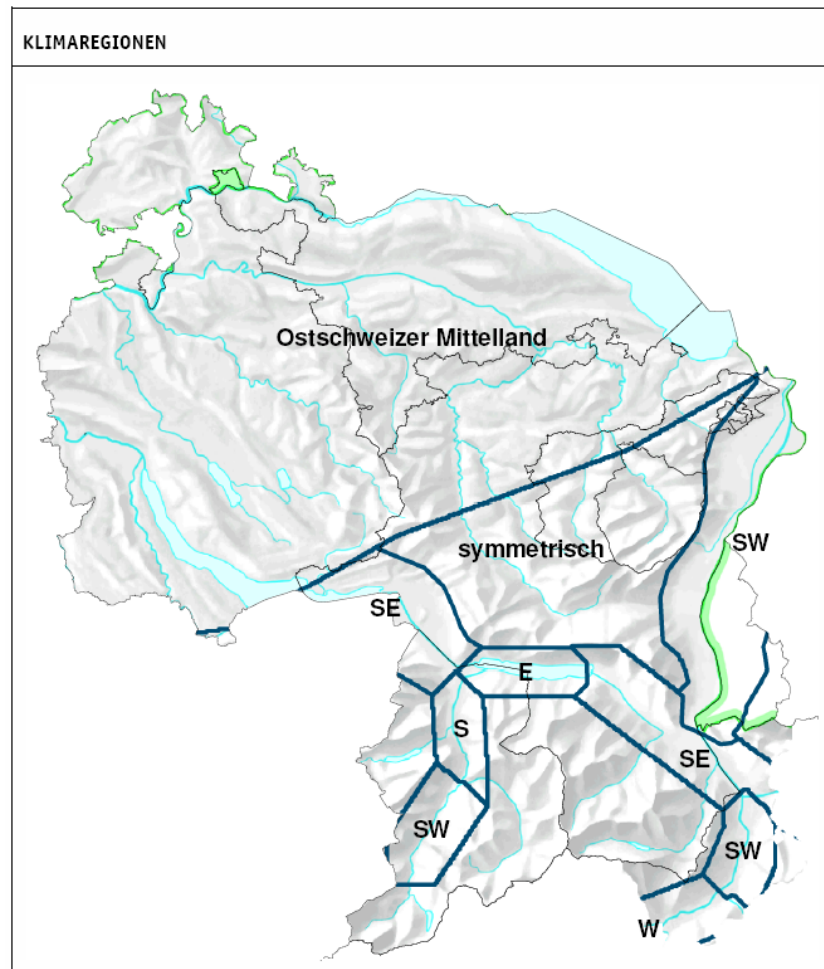


Abbildung 4.1: Emissionsbilanzen PM10 (oben) , PM2.5 (unten) für die Ostschweiz, 2000. Daten [15]

- Zum grossen Teil spezifisch ostschweizerische Emissionsberechnungen, teilweise gesamtschweizerischer Ansatz.
- Immissionsmodell:
  - Immissionsbeitrag ostschweizerischer Quellen mit Transferfunktionen (Emission → Immission) je Region:



**Abbildung 4.2: Einteilung des OSTLUFT-Gebiets in „Ostschweizer-Mittelland“, Alpentäler - jeweils charakterisiert durch die Haupt-Himmelsrichtung der Talachse: „E“ Ost, „S“ Süd etc. und übrige Gebiete mit "Ausbreitungsrechnung symmetrisch". (PK1000©swisstopo). Quelle [15]**

- Übernahme der Immissionen sekundärer und weiträumig verfrachteter Partikel aus dem schweizerischen Modell.
- Modellierung sekundärer Partikelimmissionen an Nitrat, Sulfat, Ammonium und organisches Material: Aus Konzentration der Vorläufgase SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> bzw. aus VOC-Emissionskataster unter Berücksichtigung unterschiedlicher Anteile in der partikulären Phase.

- Weiträumig verfrachtete PM10-Immissionen gemäss schweizerischem Modell: Primäres PM10 aus Schätzung, sekundäres aus Differenz zwischen Messungen und Modellierungen verschiedener Komponenten.

IMPORT SEKUNDÄRER PARTIKEL				
Station	Höhe [m ü.M.]	Sulfat [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Nitrat [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Ammonium [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
<b>Messungen</b>				
Basel	320	3.90	3.20	1.90
Bern	540	3.30	3.50	1.40
Zürich	410	3.60	3.40	2.00
<b>Modell</b>				
Basel	320	0.20	1.98	0.65
Bern	540	0.14	1.66	0.54
Zürich	410	0.19	1.99	0.65
<b>Import</b>				
Basel	320	3.71	1.22	1.25
Bern	540	3.16	1.84	0.86
Zürich	410	3.41	1.41	1.35

**Abbildung 4.3: Messungen sekundärer Partikel (enthält schweizerische Quellen und importierte Konzentrationen), modellierte Werte (ausschliesslich schweizerische Quellen) und damit berechneter Import sekundärer Partikel. Quelle [15]**

- Insgesamt sind ca.  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  PM10 importiert (primär und sekundär; gegen die Hälfte der Gesamtimmission), dabei etwa 95% des Sulfats.
- Bevölkerungs- und Verkehrsdichte, in den Tälern verstärkt durch den "Alpenfaktor" (eine bestimmte Emissionsmenge führt in einem Alpental wegen den eingeschränkten Ausbreitungsbedingungen zu einer etwa 3 mal grösseren Immission als im schweizerischen Mittelland), sind für die resultierenden Immissionsunterschiede verantwortlich (s. folgende Karten).

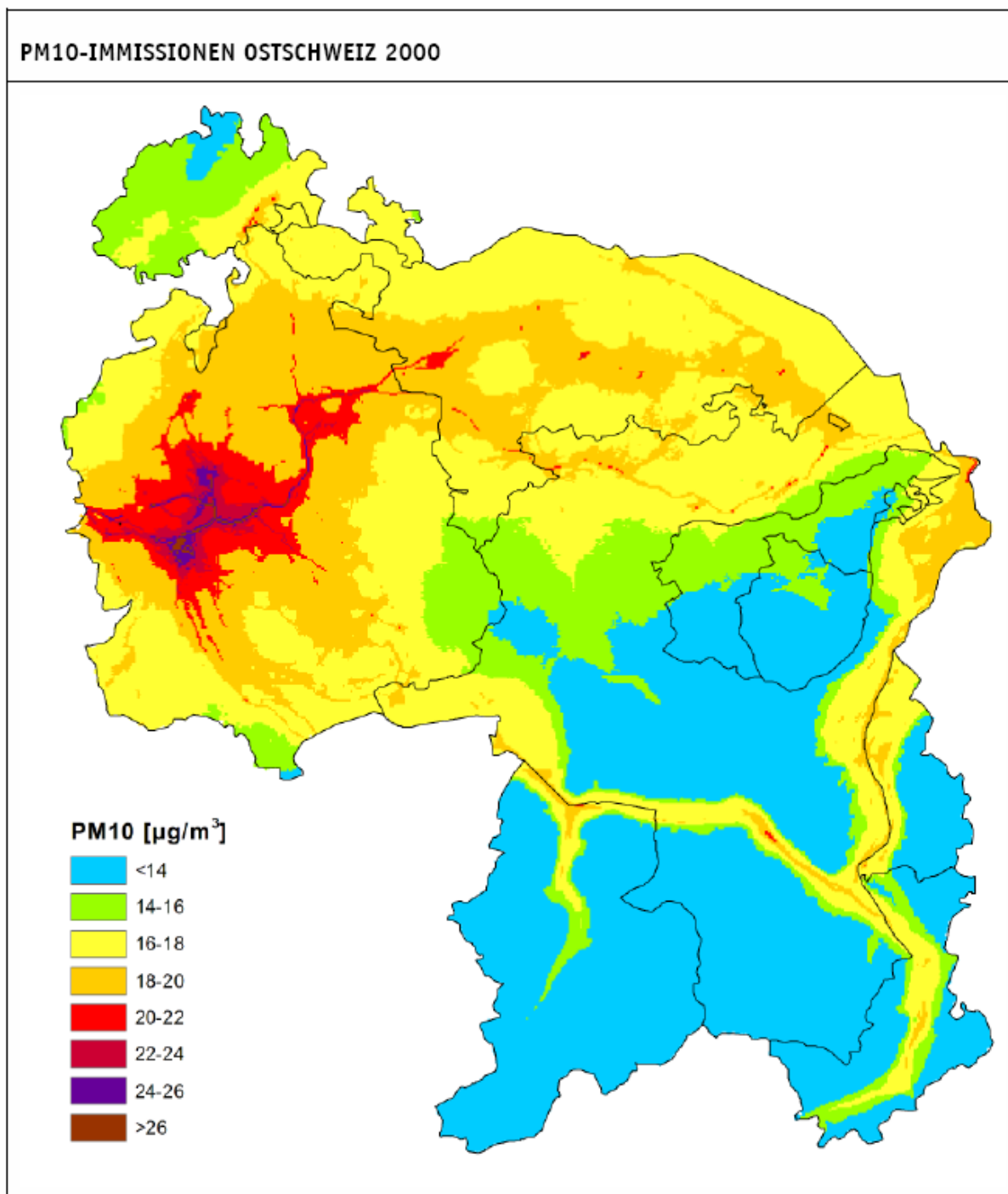
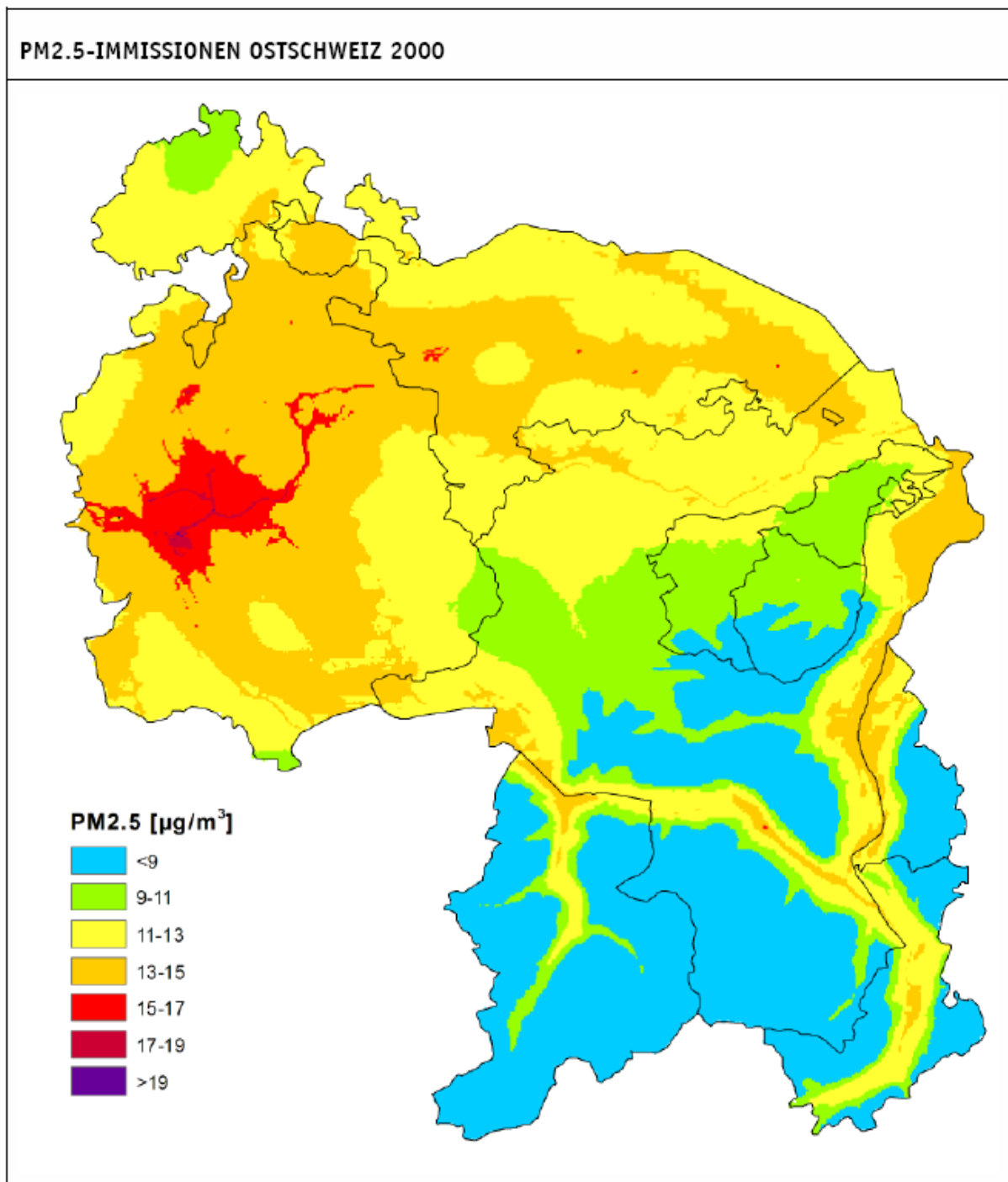


Abbildung 4.4: PM10-Immissionen 2000. Für Gebiete mit mehr als  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ist der Langzeitgrenzwert (Jahresmittel) überschritten. In Gebieten mit  $18-20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ist der Kurzzeitgrenzwert „sehr wahrscheinlich“ überschritten, In Gebieten mit  $16-18 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ist der Kurzzeitgrenzwert „wahrscheinlich“ überschritten. Quelle [15]





**Abbildung 4.5: PM2.5-Immissionen 2000. Quelle [15]**

- Ansprechende Übereinstimmung zwischen modellierten und gemessenen PM10-Immissionen ( $-1.7$  bis  $+3.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Mittel über alle Stationen  $+0.08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).
- In der Perspektive bis 2020 wird mit markanten Abnahmen der Partikelbelastung gerechnet:

- PM10-Emissionen -17%;
- Sulfat -6%;
- Nitrat und org. Material -23%;
- Importierte Anteile -26%.

## 5. Zusammenfassung zu gesundheitlichen Auswirkungen der Partikel [26] [27]

Je kleiner die Partikel sind, umso tiefer dringen sie bis in die feinsten Verästelungen der Lunge ein. Von dort gelangen sie zum Teil in die Blutbahn und in die Organe.

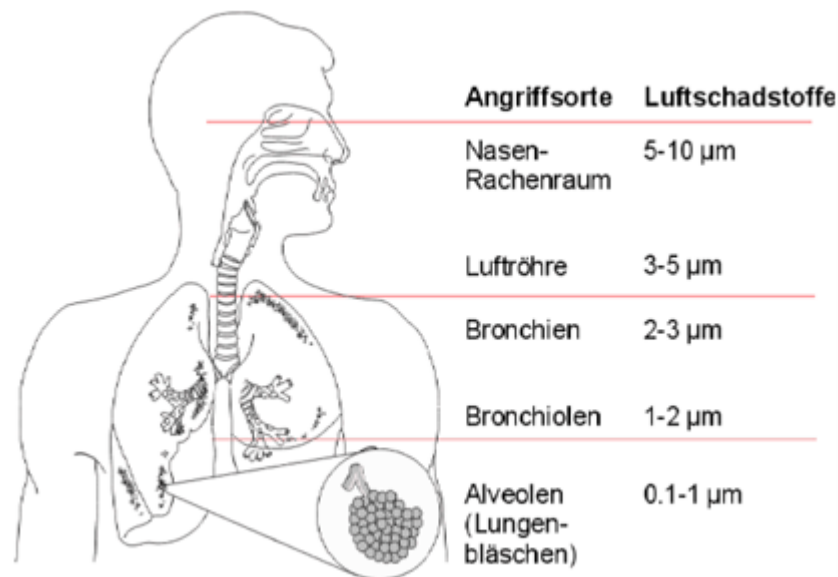


Abbildung 5.1: Ablagerungen von Feinpartikeln im menschlichen Atemtrakt. Quelle [26]

### Zitat aus [26]:

"Zusammenfassung der gesundheitlichen Auswirkungen:

- PM<sub>2.5</sub> ist konsistent und ausgeprägt mit Wirkungen auf die Gesundheit korreliert (Epi).
- Partikel aus dem Verkehr scheinen besonders toxisch zu wirken (Epi).
- Eine Schwelle, unterhalb derer keine Wirkungen auftreten, ist in Studien mit grösseren Bevölkerungsgruppen nicht erkennbar (Epi).
- Chronische Auswirkungen von konstant zu hohen Partikelbelastungen sind aus Public-Health-Sicht bedeutender als die akuten Wirkungen.
- Verbrennungsaerosole (EC, Transitionsmetalle, OC, grosse Oberfläche und grosse Zahl) haben ein grosses toxisches Potential, Salze ein geringes (Tox).

- Russ hat ein grosses kanzerogenes Potential.
- Sowohl grobe, feine sowie die ultrafeinen Partikel haben Auswirkungen auf Mortalität und Morbidität. Die Wirkungen sind z.T. unabhängig voneinander.
- Die Wirkungen der groben und ultrafeinen Partikel zeigen sich vor allem nach kurzfristig erhöhten Schadstoffbelastungen. Feine Partikel haben akute und chronische Wirkungen auf die Gesundheit. (...)
- Grobe Partikel sind stärker mit Husten, Asthmaanfällen und respiratorischer Mortalität assoziiert (vor allem akute Wirkungen), feine stärker mit Herzrhythmusstörungen."

Ergänzungen aus [27]:

- Wegen des grossen kanzerogenen Potentials von Russ gilt das Minimierungsgebot für dessen Konzentration in der Atemluft.
- Erhöhte PM10-Werte lassen die Zahl notfallmässiger Spitaleinlieferungen kurzfristig ansteigen. Die gesundheitlichen Auswirkungen betreffen dabei vor allem das Herz und die Lunge.

## 6. Zusammensetzung der Partikel

### 6.1. Überblick (Chemie von Aerosolen [18])

- Heterogene Reaktionen (zwischen verschiedenen Phasen gasförmig/flüssig bzw. flüssig/fest etc.) im atmosphärischen Aerosol haben mannigfache Einflüsse:
  - Z.B. Beschleunigung von Gasphasenreaktionen;
  - Z.B. Veränderung der Eigenschaften der Partikel (insbesondere auch ihrer Oberfläche), was ihren "Lebenslauf" verändert.
- Zwei Möglichkeiten für schwerflüchtige Moleküle in der Atmosphäre zur Partikelbildung:
  - Kondensation an bestehenden (primären) Partikeln;
  - Nukleation über Cluster zu sehr kleinen Partikeln.
- In der Folge Wachstum durch weitere Aufnahme von Gasmolekülen;
- Chemische Reaktionen auf den beiden Wegen sehr verschieden;
- Grosser Einfluss von Wasser, bis hin zu Wolkenkondensationskernen (CCN).

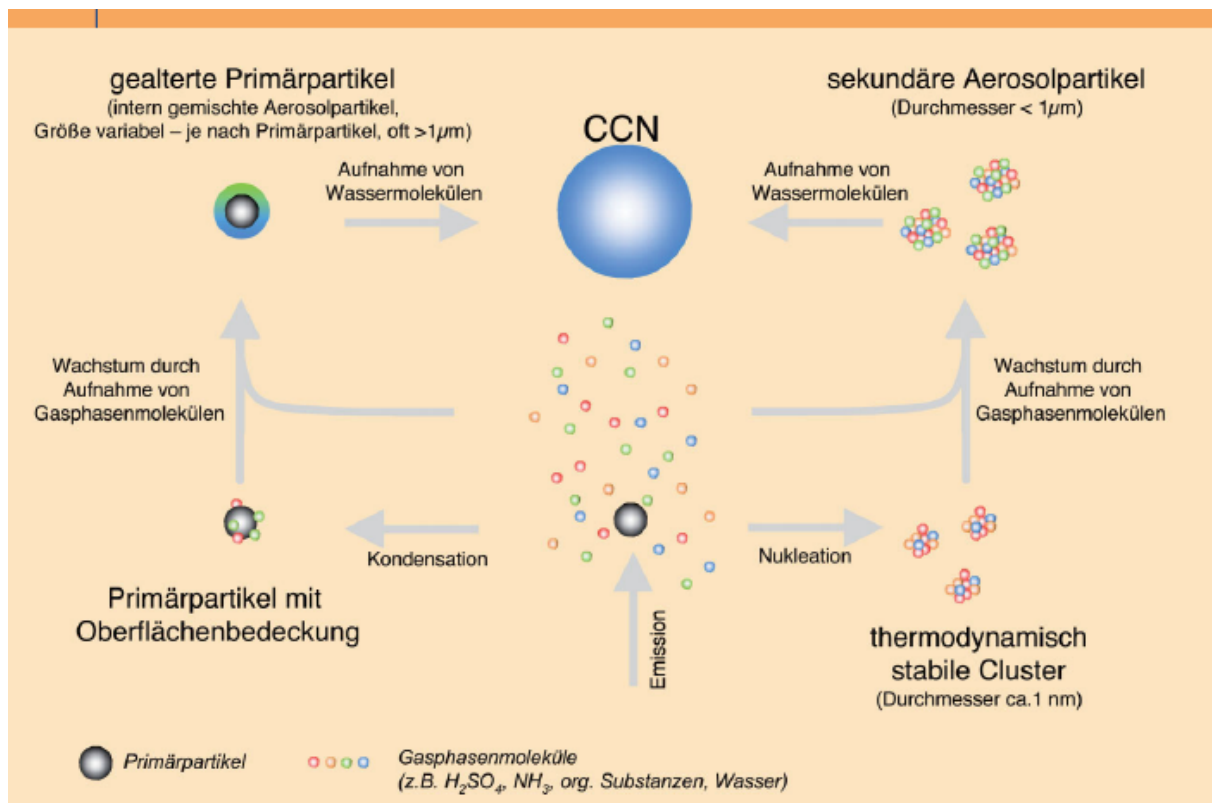


Abbildung 6.1: Schematische Darstellung zur Entwicklung der atmosphärischen Partikel. Quelle [18]

- Bildung organischer Partikel aus biogenen und anthropogenen Vorläufern (z. B. Carbonylverbindungen), welche auch Polymere bilden (große Moleküle).
- Heterogene Reaktionen mit primären Partikeln: Einfluss auf Spurengaskonzentrationen, Oberflächeneigenschaften der Partikel (z.B. nasse Deposition durch Wasserdampfaufnahme lange vor Wasserdampfsättigung).
- Ausführlich diskutierte Beispiele:
  - Ozonerstörung durch Bromverbindungen;
  - Reaktion mit Russaerosolen;
  - Reaktionen mit Mineralstäuben.
- Viele Prozesse heterogener Reaktionen im Aerosol sind noch unbekannt, aber wichtig für das Verständnis der atmosphärischen Vorgänge.

## 6.2. Verhältnisse PM1/PM2.5/PM10 [4] [4a]

- Etwa drei Viertel der PM10-Masse ist PM2.5.
- 50-60% der PM10-Masse sind PM1.
- Wenige Schwankungen zwischen den Jahren und den Stationen mit Ausnahmen.
- Bern: Strassenschluchtstandort mit viel Grobstaub.
- Payerne und Basel: Noch ungeklärte Abnahmen der PM2.5- bzw. PM1-Anteile.

Tabelle 6.1: Mittlere PM2.5/PM10-Verhältnisse (oben) bzw. mittlere PM1/PM10-Verhältnisse (unten) der Tagesmittelwerte. Quelle [4]

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Basel	0.72	0.77	0.75	0.78	0.76	0.76	0.76	0.77	0.72	0.71	0.71
Bern	0.58	0.55	0.59	0.65	0.64	0.64	0.62	0.62	0.58	0.61	0.61
Chaumont	0.74	0.78	0.74	0.74	0.74	0.77	0.77	0.78	0.80		
Lugano		0.77	0.72	0.73	0.74	0.77	0.74	0.70	0.70	0.71	
Payerne		0.78	0.72	0.76	0.74	0.75	0.72	0.73	0.71	0.62	0.61
Zürich	0.76	0.75	0.73	0.76	0.74						0.72
Rigi-Seebodenalp										0.75	0.73

	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Basel	0.57 *)	0.59	0.60	0.57	0.53	0.50
Bern	0.53 *)	0.50	0.49	0.47	0.48	0.49
Chaumont	0.62	0.66	0.67	0.63		
Härkingen	0.60	0.59	0.60	0.56	0.53	0.54
Lugano	0.61 *)	0.61	0.57	0.55	0.56	0.56
Payerne				0.54	0.50	0.50
Rigi-Seebodenalp					0.62	0.63

\*) unvollständige Messreihen, siehe Tabelle 2

- Die PM2.5/PM10-Verhältnisse der einzelnen Tagesmittelwerte schwanken beträchtlich.

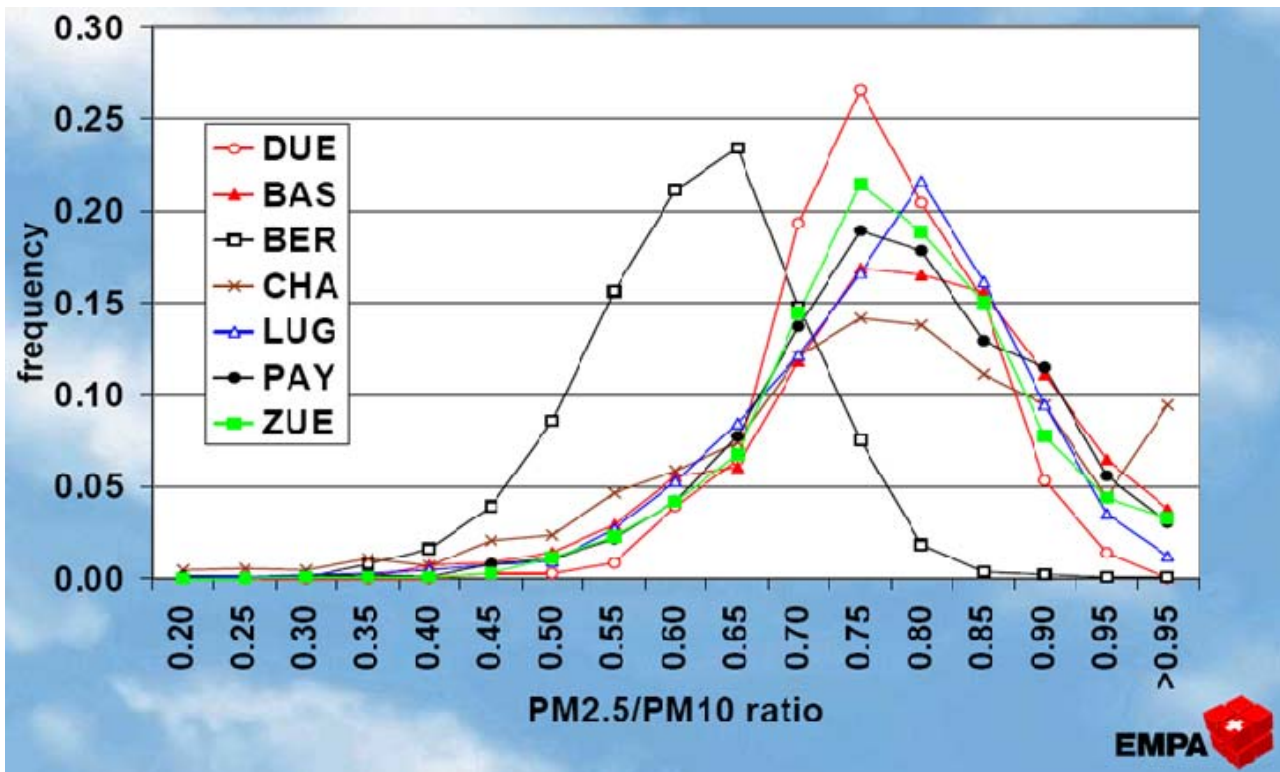


Abbildung 6.2: Häufigkeitsverteilung der täglichen PM2.5/PM10-Verhältnisse. Quelle [4a]

### 6.3. Schwermetallkonzentrationen in der Partikelmasse am Standort Zürich-Kaserne [4] [28]

- Generell stark abnehmende Tendenz in den Schwermetallkonzentrationen am Standort Zürich-Kasernenstrasse (in der Grössenordnung einer Halbierung von 1998 bis 2008). Aber auch an den Standorten Stampfenbachstrasse und Schimmelstrasse in Zürich haben die Belastungen deutlich abgenommen.



**Tabelle 6.2: Jahresmittelwerte der Blei-, Cadmium-, Nickel- und Arsenkonzentrationen (ng/m<sup>3</sup>) im PM10, PM2.5 und PM1 an der Station Zürich. Quelle [4]**

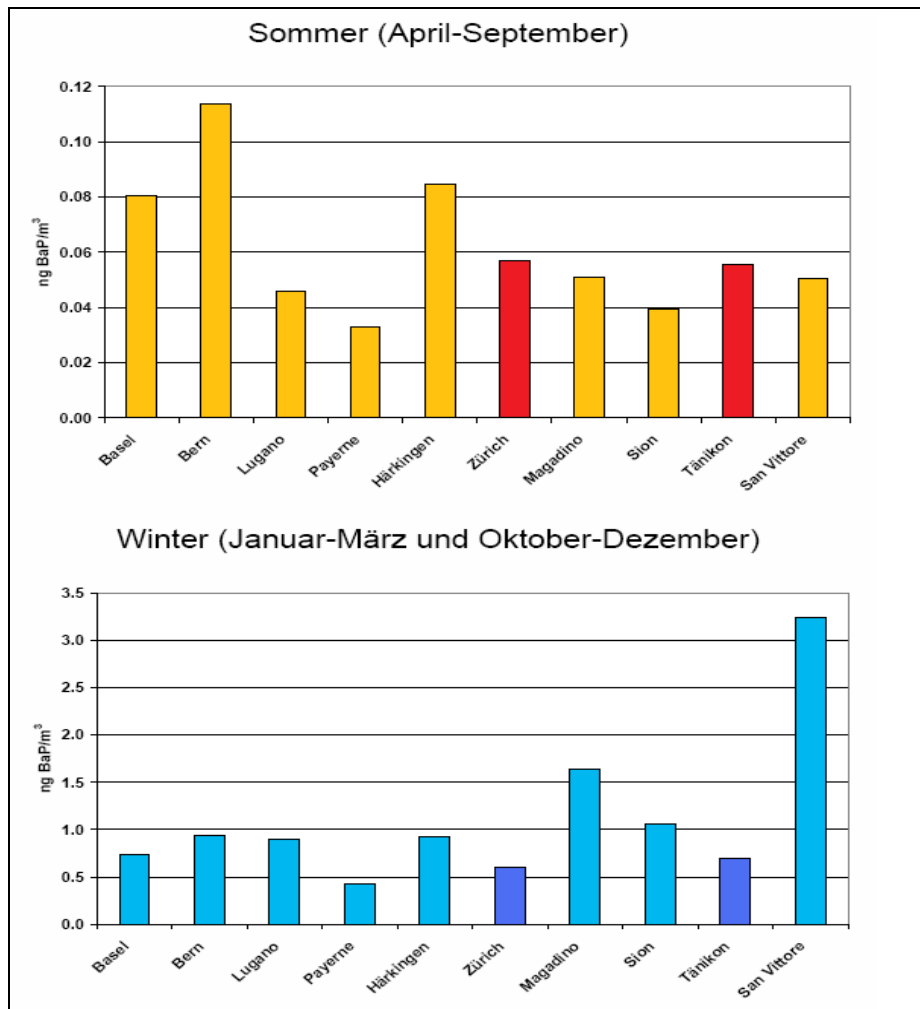
	Pb PM10	Pb PM2.5	Pb PM1	Cd PM10	Cd PM2.5	Cd PM1
1998	25	19		0.29	0.23	
1999	19	15		0.24	0.21	
2000	15	11		0.27	0.21	
2001	12	9		0.20	0.18	
2002	17	10		0.24	0.20	
2003	13			0.21		
2004	9			0.17		
2005	11			0.19		
2006	13			0.19		
2007	8			0.13		
2008	8	6		0.13	0.11	

	Ni PM10	Ni PM2.5	Ni PM1	As PM10	As PM2.5	As PM1
2006	2.0			0.63		
2007	1.6			0.38		
2008	1.3	0.5		0.35	0.26	

## 6.4. Gehalt an Benzo(a)pyren im PM10 [8] [9]

- Untersuchung im Rahmen von "Polyaromatische Kohlenwasserstoffe im PM10 an ausgewählten Stationen des NABEL sowie im Misox"
- Im Winter dominieren die Beiträge der Biomassenverbrennung (allen voran San Vittore und Magadino).
- Im Sommer dominieren die Verkehrsbeiträge (Bern, Basel, Härkingen; um einen Faktor 30 weniger als im Winter).



**Abbildung 6.3: Vergleich der Konzentrationen von Benzo(a)pyren im PM10 in den 6 Sommermonaten und den 6 Wintermonaten von 2006-2008. Man beachte die unterschiedliche Skalierung der Sommer- und Wintergrafiken. Quelle [9]**

- Benzo(a)pyren ist für etwa 60% der Toxizität der PAK im Feinstaub verantwortlich.
- Dominierend für die BaP-Belastung ist die Biomassenverbrennung. Tänikon ist von daher leicht höher belastet als Zürich-Kaserne. Beide Ostschweizer Stationen sind insgesamt gesehen unterdurchschnittlich belastet.
- Mit Hemmental (SH) wird ab 2009 eine ebenfalls stark durch Biomassenverbrennung dominierte Belastungssituation auf der Alpennordseite zusätzlich untersucht. PAH-Messungen wurden auch in Grabs durchgeführt.

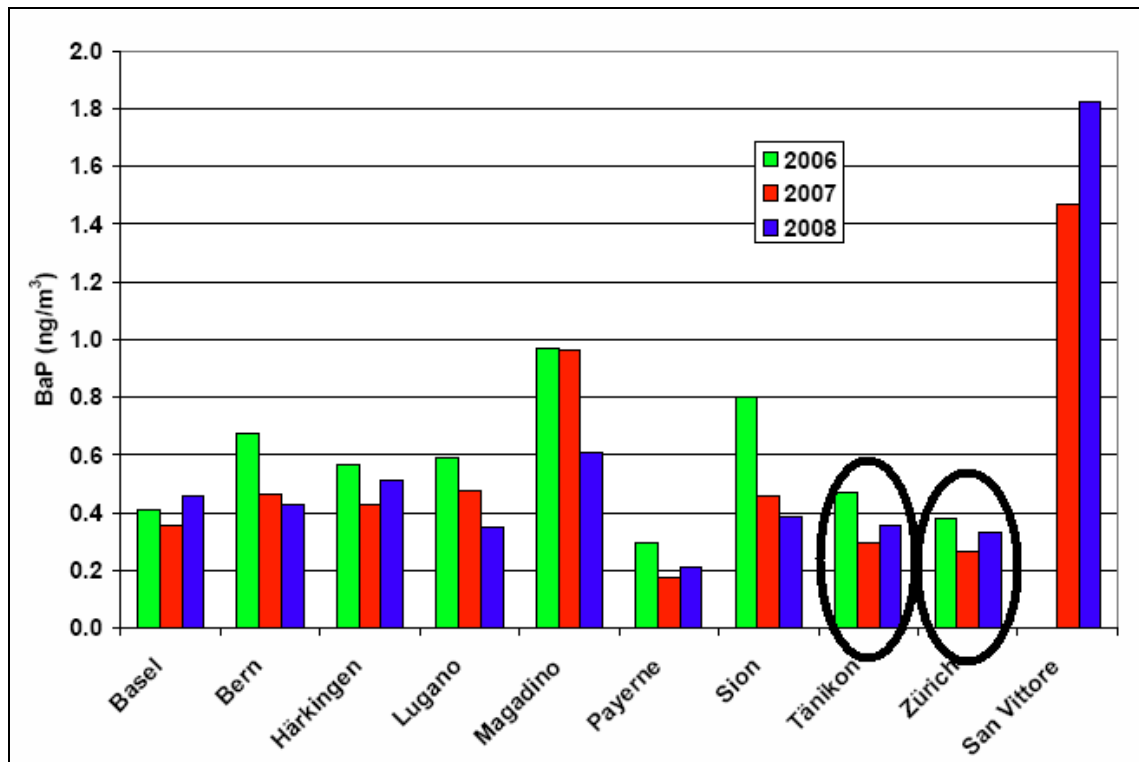


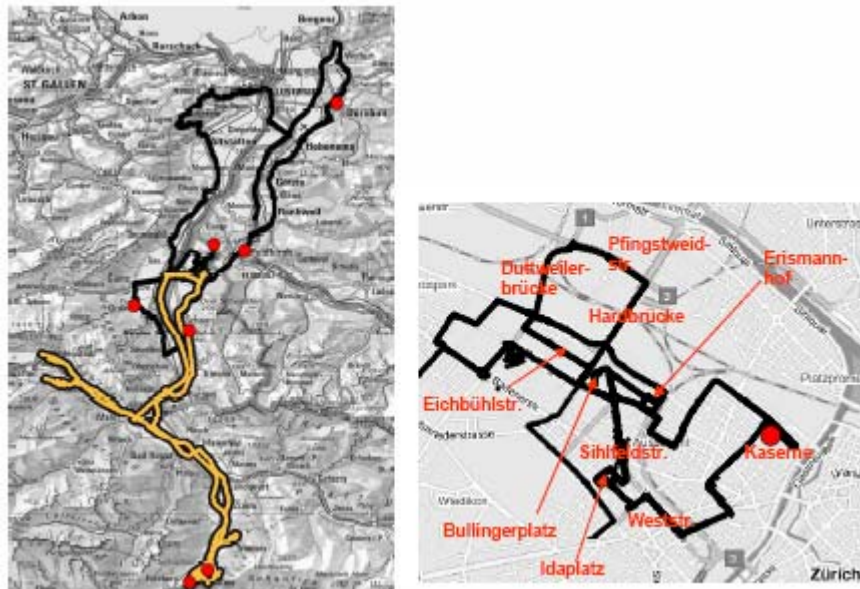
Abbildung 6.4: Jahresmittelwerte 2006 bis 2008 der Konzentrationen von Benzo(a)pyren im PM10.  
Quelle [9]

## 6.5. Gebundenes Wasser im PM10 [5]

- Untersuchungen u.a. an zwei Standorten in der Stadt Zürich 1998/1999.
- Massenbilanz (Summe analysierter Massen im Vergleich zur gewogenen Gesamtmasse) gelingt nur in grober Näherung wegen Unschärfen in Analysen (v.a. OM (organisches Material) und bestimmte Elemente) und wegen des gebundenen Wassers.
- Gebundenes Wasser etwa 10% von PM10, im Winter weniger, im Sommer mehr. Im Winter kommen Salze eher in kristalliner Form vor.
- Bestimmung: Einwägung bei 22 °C, 50% r.F. Danach Trocknung bei <5% relativer Feuchte für 14 Tage, Bestimmung Massenverlust unter Berücksichtigung des Verlusts halbflüchtiger Komponenten (Ammonium, Nitrat, OC) → gebundenes Wasser bei 50% relativer Feuchte.

## 6.6. Partikelzusammensetzung im Rheintal und in der Stadt Zürich 2007/08 [1] [1a] [1b]

- Analyse der Zusammensetzung des Feinstaubanteils (PM<sub>1</sub>) während winterlichen Belastungsphasen. Die mobilen Messungen stellen eine momentane Aufnahme der Luftbelastung an winterlichen Tagen mit Inversionen dar. Es dürfen daraus keine Aussagen über die durchschnittliche jährliche Partikelbelastung und deren Zusammensetzung abgeleitet werden.
- Durchführung durch das Labor für Atmosphärenchemie vom Paul Scherrer Institut.
- Untersuchungsgebiete: Rheintal zwischen dem Bodensee und Chur sowie in der Stadt Zürich.



**Abbildung 6.5: Messstrecken im Rheintal (links) und in der Stadt Zürich (rechts). Die schwarze Strecke im Rheintal ist die Nordroute, die orange Strecke die Südroute. Rote Punkte zeigen Standorte der Immissionsmessstationen OSTLUFT, NABEL und Vorarlberg. Rot bezeichnet sind die im Detail analysierten Standorte des Datensatzes von Zürich. Quelle [1]**

- Messzeiten: Winterliche Hochdrucklagen (2007 / 2008) bei mässigen und bei erhöhten PM<sub>10</sub>-Belastungen.
- Die Messungen erfolgten auf den Strassen, die teilweise stark befahren waren.

- Messung der Zusammensetzung von PM1 in hoher zeitlicher Auflösung auf vorbestimmten Messrouten. Auswertung von 1-Minuten-Mittelwerten.
- Zusammenfassung der Komponenten des Feinstaubes:
  - primäre Partikel (Russ, organischer Anteil aus Verkehr, organischer Anteil aus Holzverbrennung);
  - sekundäre Partikelmasse (organische Komponenten, Chloride, Sulfate, Nitrate und Ammonium);
  - Partikelanzahl.

- **Zitat aus [1] zur Methodik:**

"Die wichtigsten chemischen Bestandteile von PM1 sind anorganische Spezies wie Ammonium, Nitrat, Sulfat, Chlorid und schwarzer Kohlenstoff („Russ“) sowie organische Masse. Die chemische Zusammensetzung von PM1 wird hier untersucht als Funktion der Zeit (Morgen oder Abend), als Funktion des Ortes (nördliches/südliches Rheintal, Dörfer und Autobahn, Höhe über Meer, verschiedene Standorte in der Stadt Zürich usw.) und als Funktion der Umgebungskonzentration (wie verändert sich die chemische Zusammensetzung von PM1 bei tiefen oder hohen Konzentrationen?).

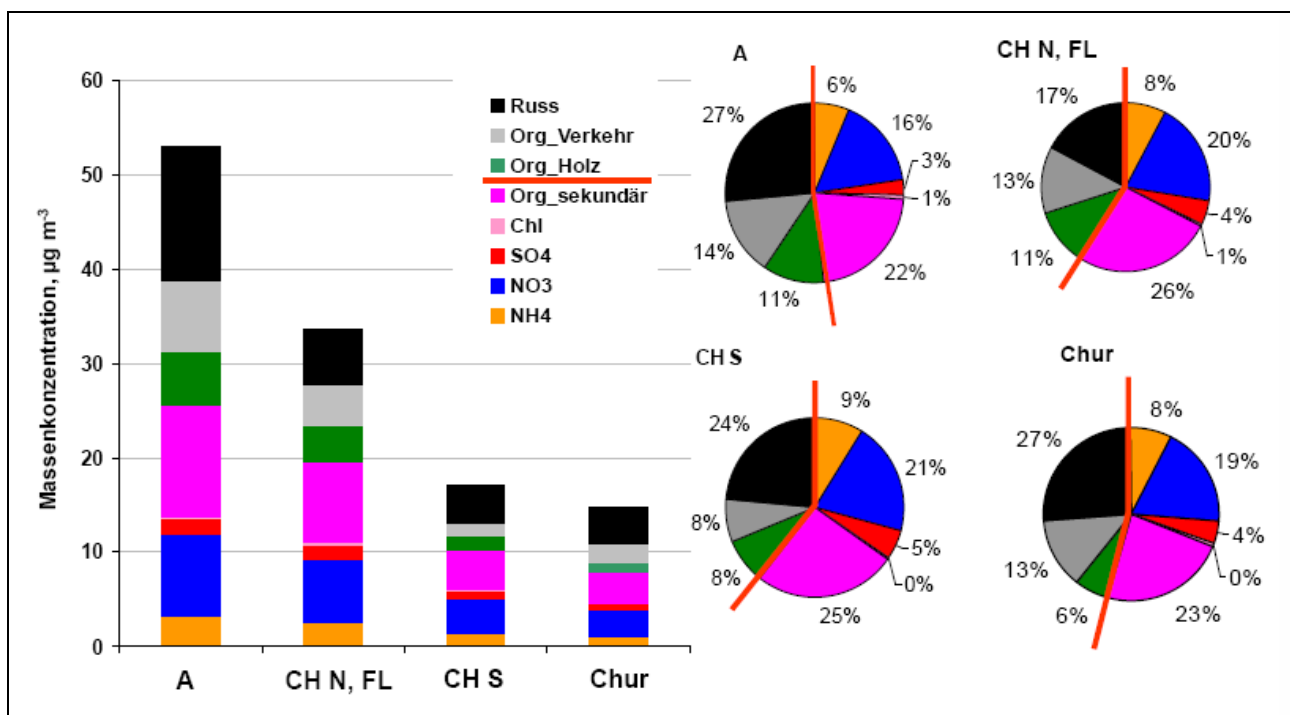
Einen weiteren Schwerpunkt bildet die Quellenzuordnung der organischen Masse von PM1. Organische Bestandteile können direkt emittiert werden (primäre Partikel) durch z.Bsp. Verkehr, Verbrennung von Biomasse (Holzfeuerungen), Ölfeuerungen, aber auch sekundär gebildet werden aus gasförmigen Vorläufersubstanzen (volatile organische Kohlenwasserstoffe), welche von Verkehr, Industrie, Ölfeuerungen, Holzfeuerungen, aber auch von natürlichen Quellen, v. a. Terpen-Emissionen von Nadelbäumen, stammen können. Organische Massenspektren vereinen somit Signaturen verschiedener Quellen. Mittel der multivariaten Statistik wie Faktoranalysen (hier Positive Matrix Factorization, PMF) erlauben die Bestimmung der verschiedenen Quellprofile und der dazugehörigen Quellstärken. Die Zuordnung der aus der Faktoranalyse resultierenden Quellprofile zu bestimmten Quellen erfolgt mittels eines Vergleichs der Quellprofile mit Referenzspektren. Diese Methode wurde mit Erfolg für eine Sommermesskampagne in Zürich verwendet (Lanz et al., 2007) und hier auf mobile Messungen angewandt."

- **Zitat aus [1] zu den Ergebnissen:**

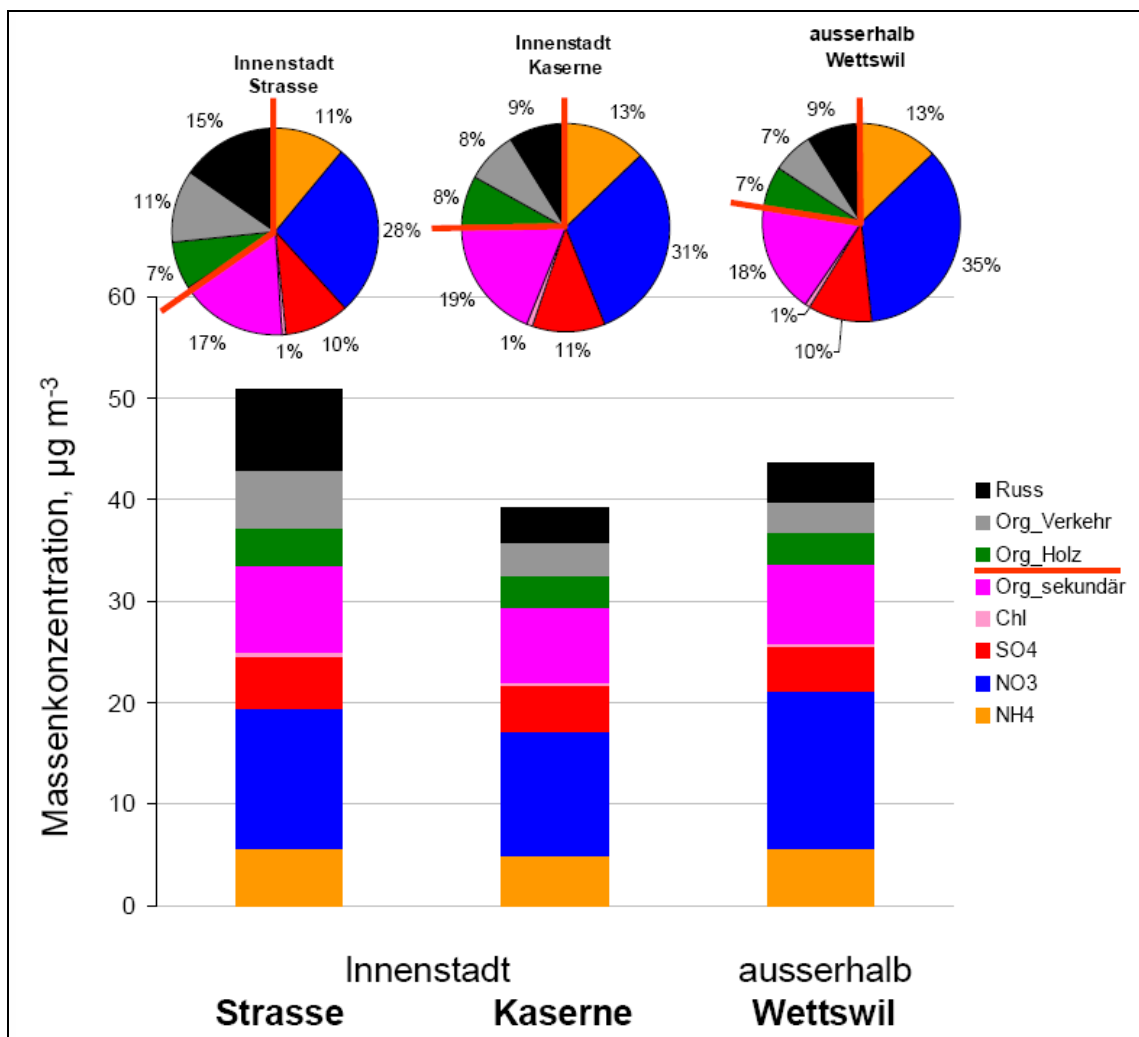
" Die höchsten Konzentrationen wurden im Rheintal in Österreich sowie im Raum Zürich in den verkehrsbelasteten Gebieten gefunden. Die höchsten absoluten und relativen Beiträge vom Verkehr wurden in Österreich gemessen. Dies kann durch den hohen Schwerverkehrsanteil und viel höheren Diesel-Personenfahrzeuganteil als in der Schweiz erklärt werden. Der primäre Anteil an PM1 betrug im österreichischen Rheintal über 50%, in den anderen Gebieten 23 – 41%.

Generell war im Rheintal das Verhältnis der Konzentrationen von anorganischem Ammoniumnitrat und Ammoniumsulfat gegenüber den Konzentrationen der organischen Komponenten deutlich kleiner als im Raum Zürich.

Generell waren die primären Anteile bei tiefen PM10-Konzentrationen deutlich höher als bei hohen Konzentrationen. Dies wurde für beide Gebiete, Zürich und Rheintal, festgestellt. Im Rheintal jedoch war der primäre Anteil, insbesondere in Österreich, generell höher als in Zürich (zwischen 36 und 60% für die verschiedenen Messtage). Auch auf einer Höhe von über 900 m ü. M. (alle Datenpunkte ab dieser Höhe) betrug der primäre Anteil über 30%."



**Abbildung 6.6: Durchschnittliche chemische Zusammensetzung und Quellbeiträge zu organischen Bestandteilen von PM1, aufgeteilt in österreichischen Teil (A), nördlichen Teil (CH N, FL) und südlichen Teil (CH S, inkl. Chur) des Rheintals sowie Chur (Stadt). Die roten Linien trennen primäre und sekundäre Massenanteile. Quelle [1]**



**Abbildung 6.7: Chemische Zusammensetzung und organische Quellbeiträge für PM1 an den drei Standorten Innenstadt (mobile Messungen auf der Strasse, Route in Zürich), Innenstadt Kaserne und Wettwil. Durchschnittswerte über ganzes Datenset. Die roten Linien trennen primäre und sekundäre Komponenten. Quelle [1]**

"Die kleinsten primären Anteile wurden in Zürich und Reiden im Jahre 2006 sowie in Wettwil (2007/2008) gefunden. Im Winter 2007/2008 waren die primären Anteile bei der Kaserne mit 25% grösser als 2006 (21%). Auf den Strassen in Zürich (mobile Messungen 2007/2008) betrug der primäre Anteil im Durchschnitt 34%, mit einer Variabilität zwischen verschiedenen Messfahrten von 25 bis 62% und zwischen verschiedenen Standorten von 28 - 39%."

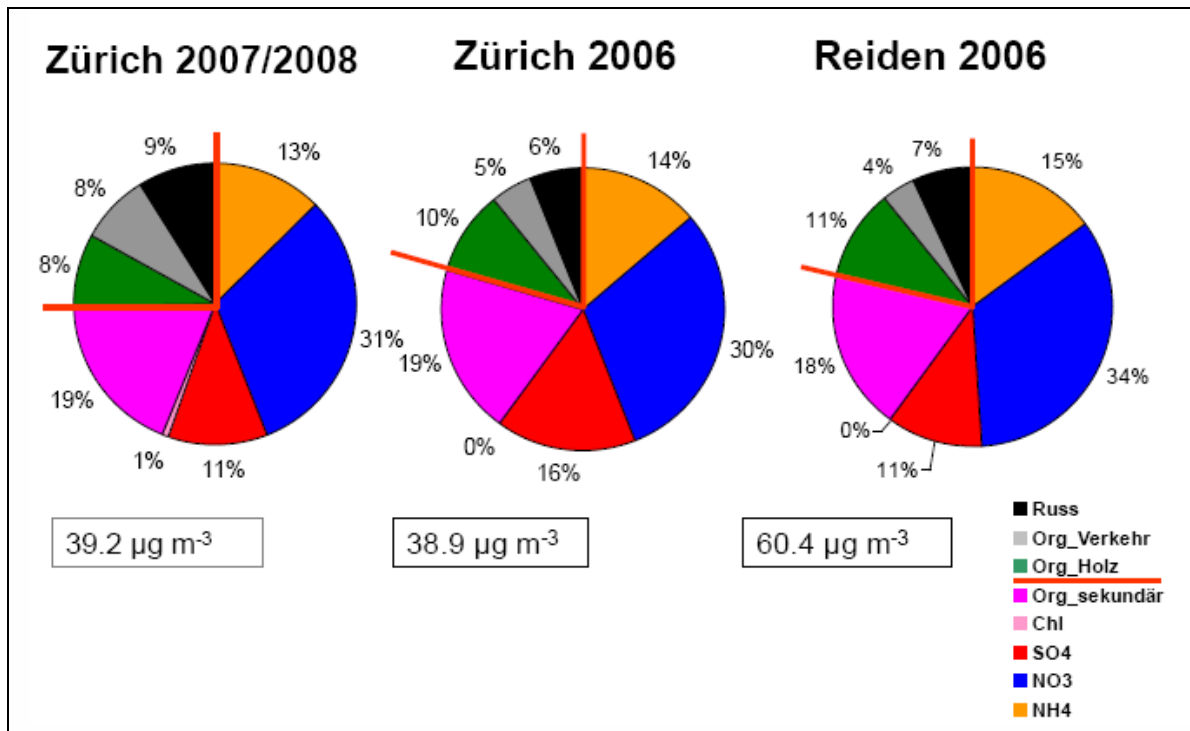


Abbildung 6.8: Vergleich der chemischen Zusammensetzung von PM1 am Standort Zürich Kaserne für Winter 2007/2008 und Januar 2006 und in Reiden (Februar 2006). Die roten Linien trennen primäre und sekundäre Komponenten. Quelle [1]

- **Zitat aus [1] zur Bestimmung lokaler Anteile:**

"Sekundäres partikuläres Sulfat wird sehr langsam aufgebaut (mit einer Oxidationsrate von SO<sub>2</sub> von etwa 1% pro Stunde – im Vergleich dazu wird partikuläres Nitrat 10mal schneller gebildet). Somit muss der Unterschied im gemessenen Sulfat zwischen Hintergrundstandort und einem Standort X durch Transport (Verdünnung) bedingt sein. Das Verhältnis von Sulfat am Standort X zum Hintergrund-sulfat wird somit zu einem Mass für den Einfluss von Transportprozessen wie vertikaler Durchmischung. Die Differenz zwischen dem gemessenen Wert der Spezies Y am Standort X und dem mit dem Sulfatverhältnis normierten Wert der Hintergrundkonzentration von Y quantifiziert den lokalen Beitrag der Spezies Y."



- Lokale Beiträge im Rheintal zu etwa drei Vierteln primär, in Zürich zu etwa 90%. Russanteil ein Viertel bis zwei Drittel (Zürich). Beispiel Rheintal Nord:

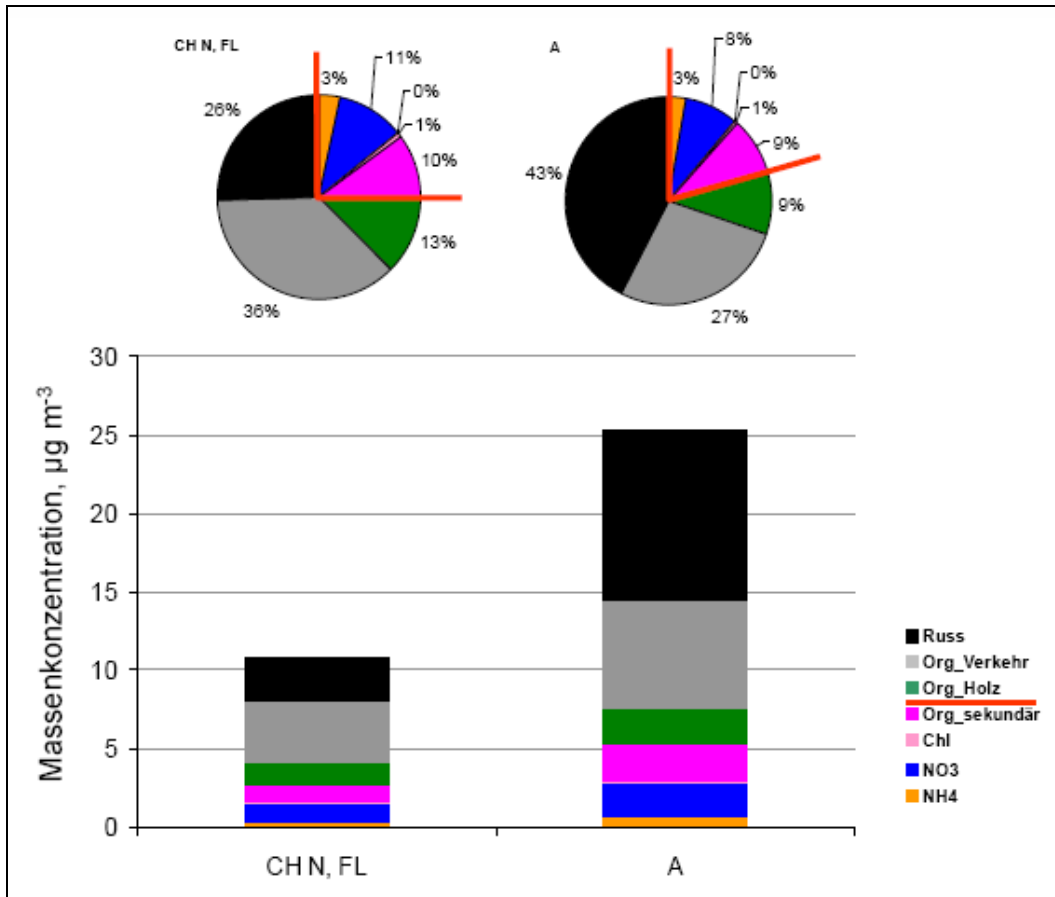


Abbildung 6.9: Quantifizierung lokaler Beiträge nach Spezies, absolute und relative Werte, für den nördlichen Teil des Rheintals, ohne Funkentage. Die roten Linien trennen primäre und sekundäre Komponenten. Der Hintergrund-Standort wurde bei Sennwald gewählt. Quelle [1]

- Während den 'Funkentagen' (Brauchtumsfeuern) war der Anteil aus primärem und sekundärem organischem Material aus der Holzverbrennung im lokalen Anteil beidseits des Rheins stark erhöht.

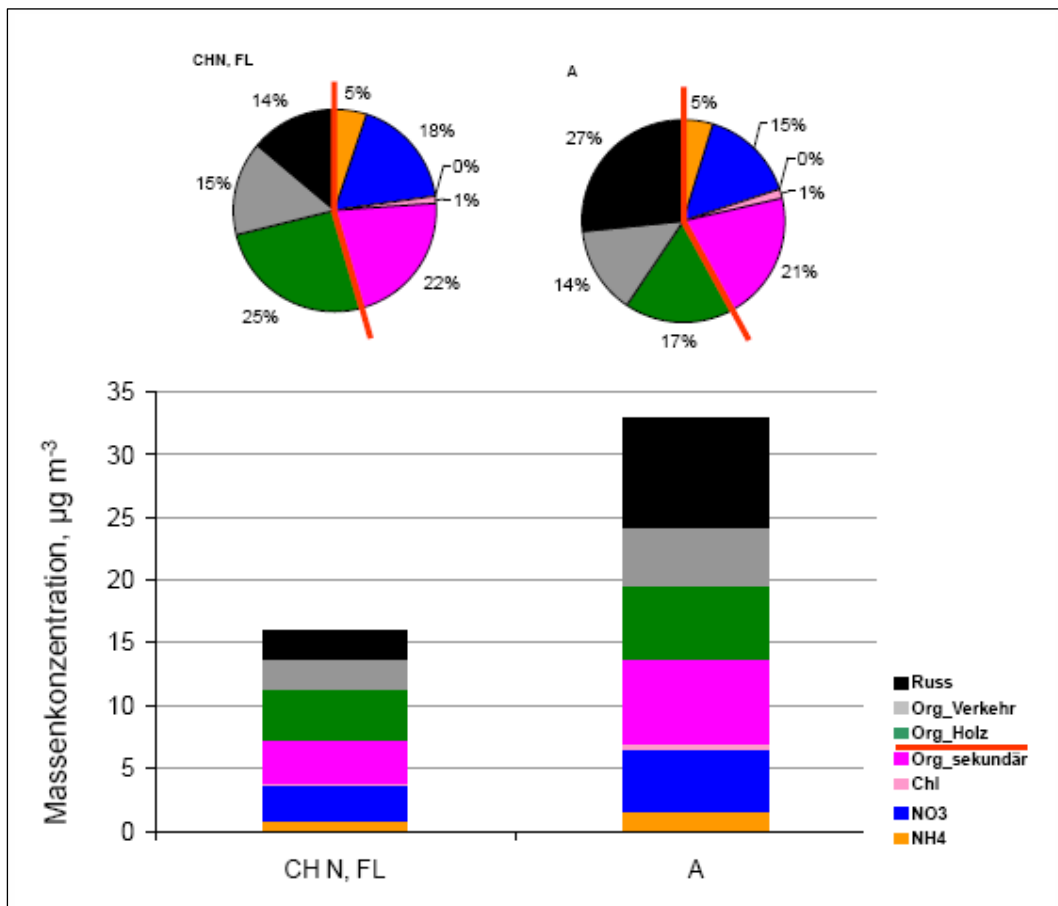


Abbildung 6.10: Quantifizierung lokaler Beiträge nach Spezies, absolute und relative Werte, für den nördlichen Teil des Rheintals, nur Funkentage (09.02.2008 – 11.02.2008). Die roten Linien trennen primäre und sekundäre Komponenten. Der Hintergrund-Standardort wurde bei Sennwald gewählt. Quelle [1]

## 6.7. Aufteilung der fossilen und nicht-fossilen organischen Anteile in den Partikeln nach der $^{14}\text{C}$ -Methode [2] [2a] [2b]

- Ein Teil des Kohlenstoffs besteht aus dem radioaktiven Isotop  $^{14}\text{C}$  mit einer Halbwertszeit von 5730 Jahren.
- Radiokarbon-Messungen liefern den Anteil des 'modernen' Kohlenstoffs in einer Probe gemäss der 'Fraction of modern'  $f\text{M} = (^{14}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{Probe}}) / (^{14}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{AD 1950}})$ . AD 1950: Vergleich mit  $^{14}\text{C}$ -Anteil anno 1950.

- Fossiles Material wird mit  $f_M=0$  charakterisiert.
- Nicht-fossiles Material hätte – in Relation zu 1950 – eigentlich  $f_M=1$ . Aufgrund der ausgiebigen Atombombentests ist dies nicht mehr möglich.
- Die  $f_M$ -Werte für Biomasse und Holzverbrennung sind unsicher, was sich auf die Bestimmungsergebnisse niederschlägt.
- Für Bestimmungen in Zürich wurden verwendet:  $f_M = 1.24 \pm 0.05$  für Holzverbrennung (30 – 50 jährige Bäume) und  $f_M = 1.072 \pm 0.015$  für aktuelles biogenes organisches Material (OC).
- Vorgehensweise:
  - Chemisch-thermische Auftrennung der Probe in EC und OC. Keine Unterscheidung primär – sekundär im OC.
  - Bestimmung des  $^{14}\text{C}$ -Anteils am Gesamtkohlenstoff im resultierenden  $\text{CO}_2$ .
  - Aufgrund der  $f_M$ -Werte Zuordnung zu fossil – nicht-fossil.
  - Mit Hilfe EC/OC-Emissionsverhältnis bei der Holzverbrennung Aufteilung des nicht-fossilen OC in biogen und Holzverbrennung.

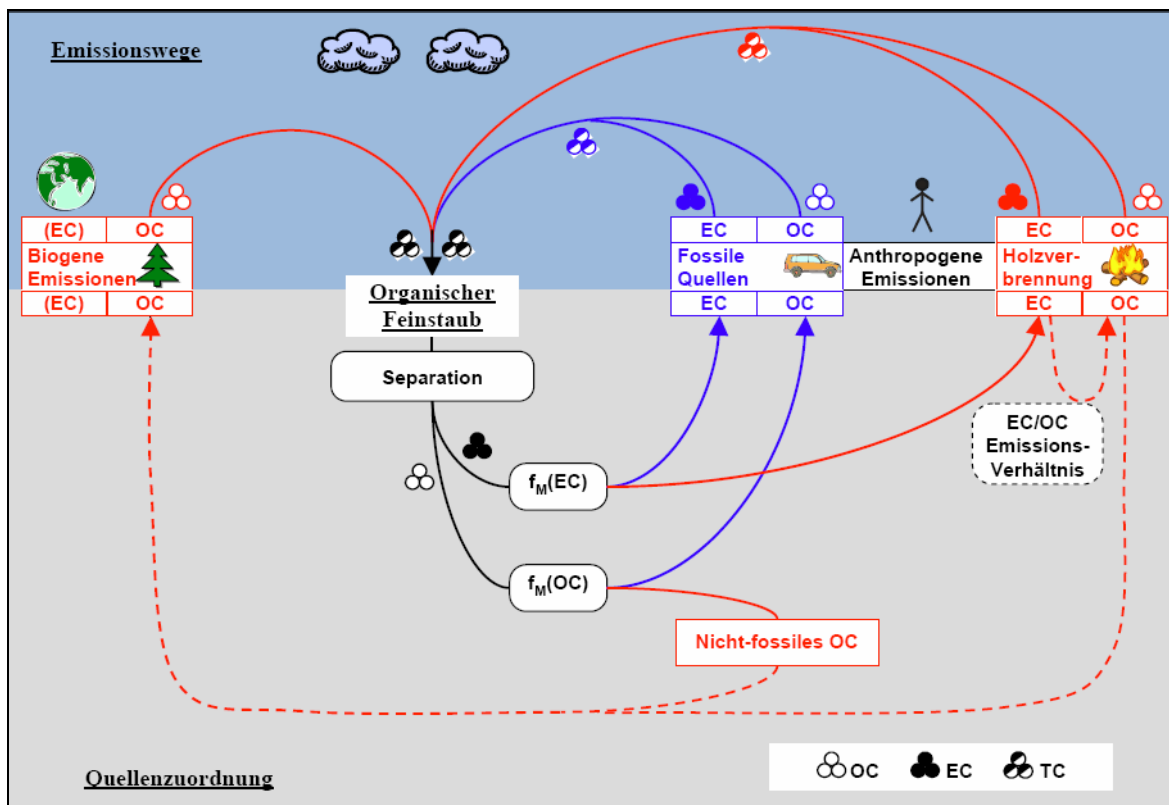


Abbildung 6.11: Zuordnung von elementarem Kohlenstoff (EC) und organischem Kohlenstoff (OC) zu fossilen und nicht-fossilen Quellen mit der  $^{14}\text{C}$ -Methode. Quelle [2]

- Ergebnisse: Nicht-fossile (nf) Anteile am OC (ein Ergebnis pro Standort besteht aus einigen Messtagen im Winter, für 2008 von Januar und Februar); Unklarheiten bestehen bei Basel, St. Gallen und Vaduz:

	PM10 [µg/m <sup>3</sup> ]	OC [µg/m <sup>3</sup> ]	OC/PM10	f <sub>M</sub> (OC)	OC <sub>nf</sub> /OC [%]
Basel	55	13	24%	1.32	>100%
Payerne	42	13	32%	0.89	80%
Reiden	61	13	20%	0.89	80%
Sissach	58	13	23%	0.94	85%
Solothurn	52	10	20%	0.94	85%
St. Gallen	47	6	12%	0.71	64%
Vaduz	38	10	24%	0.80	72%
Zürich	61	11	19%	0.82	74%
<b>Nord</b>	<b>52</b>	<b>11</b>	<b>22%</b>	<b>0.91</b>	<b>77%</b>
Chiasso	117	20	19%	0.85	76%
Magadino	72	17	26%	0.86	77%
Moleno	65	15	24%	0.89	80%
Roveredo	55	16	30%	0.97	87%
San Vittore		36		1.08	98%
<b>Süd</b>	<b>77</b>	<b>17</b>	<b>25%</b>	<b>0.89</b>	<b>80%</b>
<b>Gesamt</b>	<b>65</b>	<b>14</b>	<b>23%</b>	<b>0.90</b>	<b>79%</b>

Station (Datum)	OC <sub>nf</sub> /OC (2008)	OC <sub>nf</sub> /OC (früher)
Zürich (2003/2006)	74%	69%
Reiden (2006)	80%	72%
Roveredo (Jan 2005)	87%	89%
Roveredo (Dez 2005)	87%	94%
Moleno (Feb 2005)	80%	69%

Abbildung 6.12: OC<sub>nf</sub>/OC-Verhältnisse im Winter (einige Messtage je Standort) 2008 (oben) und Vergleich mit früheren Bestimmungen (unten). Quelle [2]

- Die nicht-fossilen Anteile am OC betragen im Winter zumeist 70-90%.

**Tabelle 6.3: Mit der  $^{14}\text{C}$ -Methode bestimmte Quellenanteile von fossilem und nicht-fossilem organischem (OC) und elementarem Kohlenstoff (EC) am gesamten Kohlenstoff (TC). Verschiedene Standorte Schweiz und Schweden, 2002 – 2006. Quelle [2]**

Location	Site	Date	Size	EC <sub>f</sub> [%]	EC <sub>wood</sub> [%]	OC <sub>f</sub> [%]	OC <sub>nf</sub> [%]	OC <sub>wood</sub> [%]	OC <sub>bio</sub> [%]	TC <sub>f</sub> [%]	TC [µg m <sup>-3</sup> ]
Zurich, CH <sup>[14,15]</sup>	Urban	Aug-Sep 2002	PM10	19	1	27	–	8	45	46	5.9
Zurich, CH <sup>[14,15]</sup>	Urban	Feb 2003	PM10	16	5	25	–	31	23	41	19
Zurich, CH <sup>[14,15]</sup>	Urban	Mar 2003	PM10	21	3	23	–	17	37	44	6.3
Roveredo (GR), CH <sup>[30,31]</sup>	Alpine valley	Jan 2004	PM10	10	10	8	72	–	–	17	16
Roveredo (GR), CH <sup>[30,31]</sup>	Alpine valley	Nov/Dec 2004	PM1	11	12	4	73	–	–	15	15
Moleno (TI), CH <sup>[30,31]</sup>	Highway	Feb 2004	PM10	26	4	21	49	–	–	47	23
Zurich, CH <sup>[31]</sup>	Urban	Jan 2006	PM1	19	7	20	54	–	–	39	14
Sedel (LU), CH <sup>[31]</sup>	Rural	Jan-Feb 2006	PM10	13	6	24	57	–	–	37	26
Reiden (LU), CH <sup>[31]</sup>	Highway	Jan-Feb 2006	PM10	17	6	22	56	–	–	39	32
Gothenburg, S <sup>[22]</sup>	Urban	Feb-Mar 2005	PM10	27	3	29	–	20	22	56	3.0
Råö, S <sup>[22]</sup>	Rural	Feb 2005	PM2.5	16	8	28	–	31	17	44	1.8
Gothenburg, S <sup>[22]</sup>	Urban	Jun-Jul 2006	PM2.5	15	1	31	–	8	44	47	2.7

- Hauptquellen des organischen Aerosols in Zürich und auf dem Jungfrau-joch:
  - Daten vom Sommer 2002 und Winter 2003.
  - Von Sommer auf Winter wächst in Zürich der Anteil von OC<sub>bb</sub> (biomass burning) 'auf Kosten' von OC<sub>biogen</sub>.
  - Auf dem Jungfrau-joch wächst vom Sommer auf den Winter der Anteil von EC<sub>fossil</sub> und OC<sub>fossil</sub> ebenfalls 'auf Kosten' von OC<sub>biogen</sub>.
  - Weitere Messergebnisse sollten abgewartet werden.

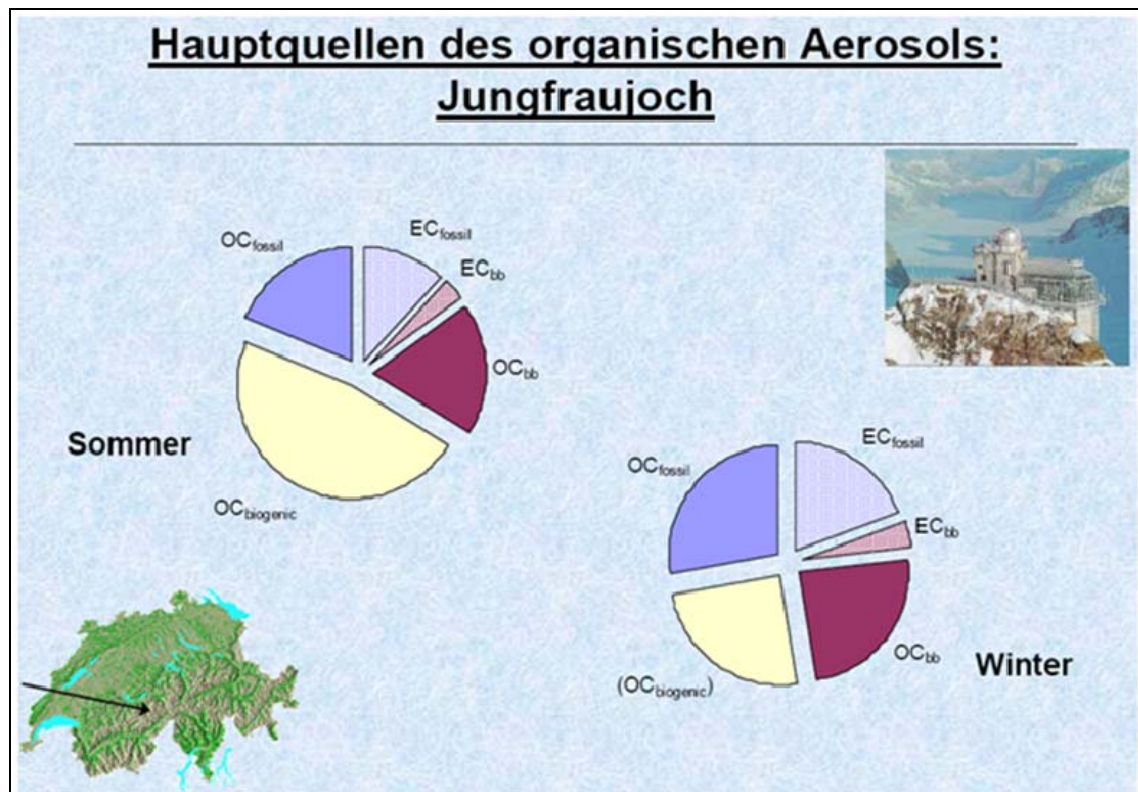
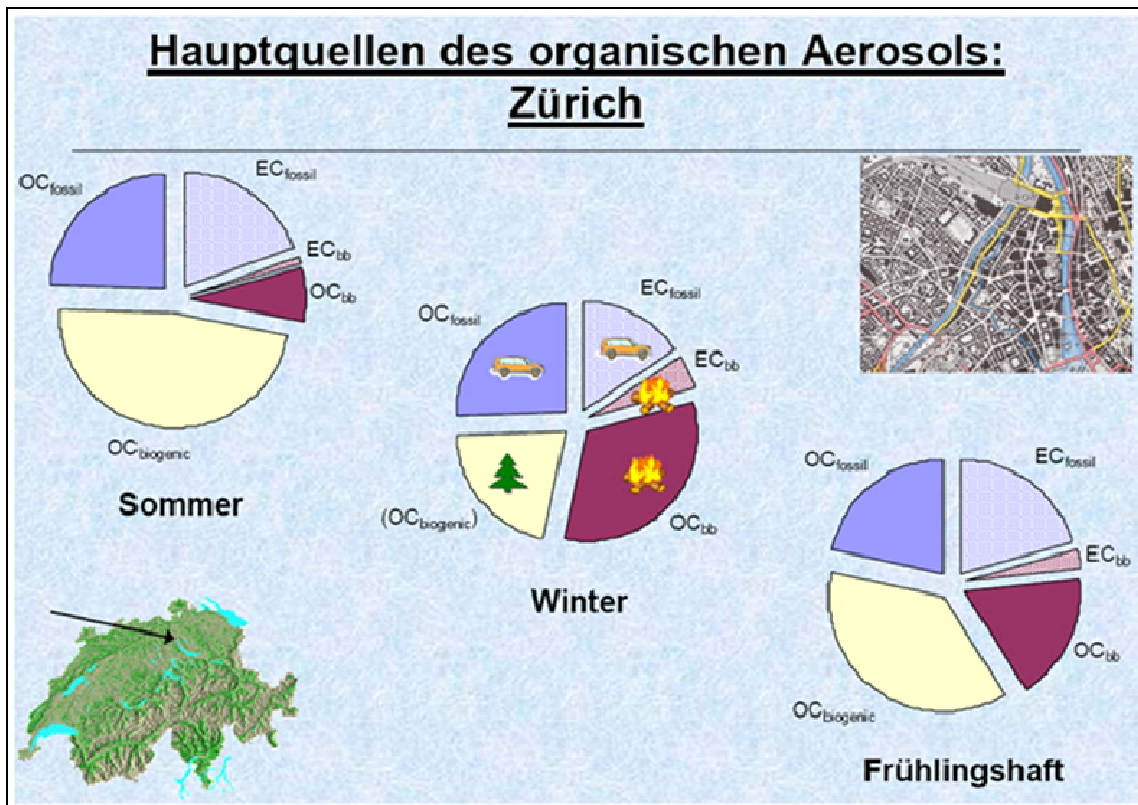


Abbildung 6.13: Hauptquellen des organischen Aerosols in Zürich und auf dem Jungfrauoch, Sommer 2002 und Winter 2003. Quelle [2b]

## 6.8. Russuntersuchungen im OSTLUFT-Gebiet

### 6.8.1. Russ-Monitoring an Standorten im Kanton Zürich mit hohem Anteil Strassenverkehr [20]

- Russmessungen über 9 Monate an Donnerstagen und Sonntagen an drei Standorten im 2004, gesammelt mit Low Volume Sampler (NUPS):
  - Zürich-Schimmelstrasse (Stadtstrasse);
  - Zürich-Schwamendingen (Stadtautobahn);
  - Effretikon (ländlich, direkt an Autobahn).
- Hohe Korrelation zwischen den beiden Bestimmungsmethoden Reflektometrie und Thermographie.
- Sehr hohe Korrelation mit Vergleichsmessung an der Schimmelstrasse (Betameter mit Russkopf).
- Am Strassenrand der Schimmelstrasse (Höhe 1.2 m, Abstand 1.5m) 60% höhere Russwerte als in 3.5 Höhe und 4.5 m Abstand bei sehr hoher Korrelation.
- Effretikon:
  - Deutlich unterschiedliche Verkehrsverteilung Donnerstag – Sonntag:

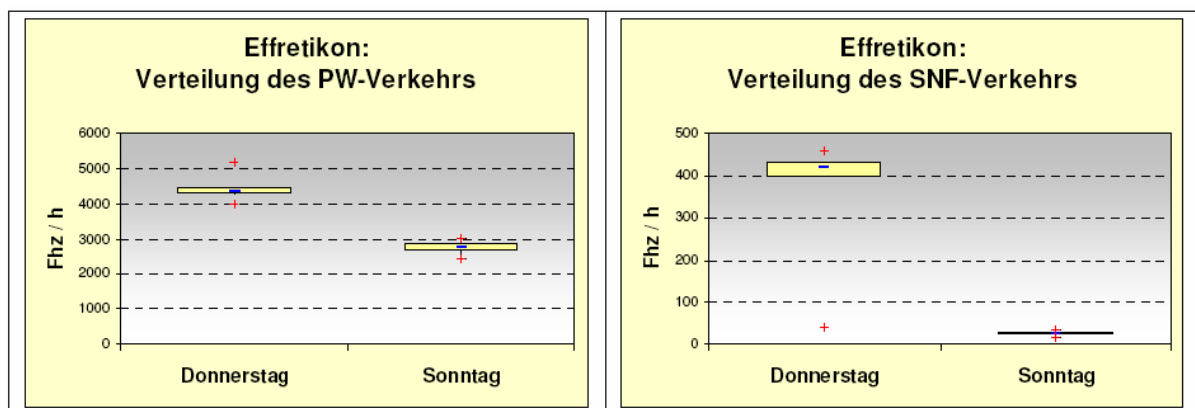


Abbildung 6.14: Verteilung des PW- und des SNF-Verkehrs bei Effretikon, 2004. Quelle [20]



- Russbelastung an Donnerstagen deutlich höher als an Sonntagen:

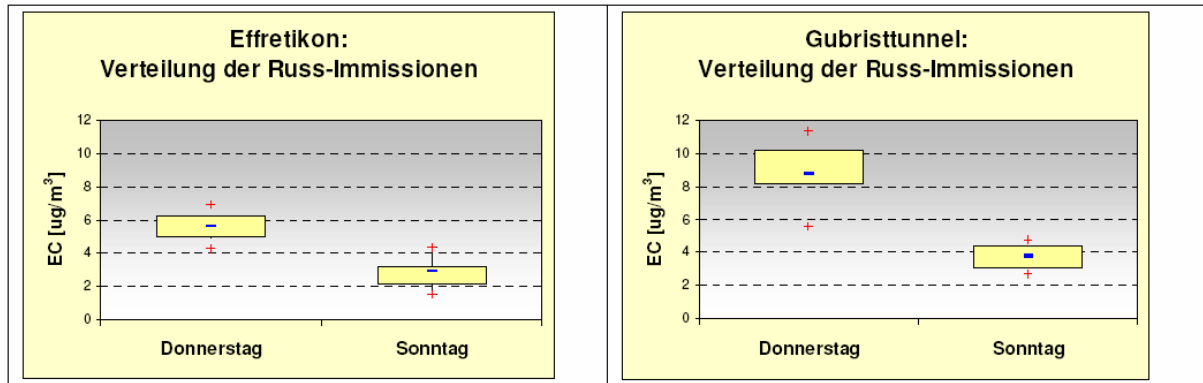


Abbildung 6.15: Verteilung der Russ-Immissionen bei Effretikon und im Gubristtunnel, 2004. Quelle [20]

- Zürich-Schimmelstrasse: Russbelastung werktags fast dreimal so hoch wie sonntags.

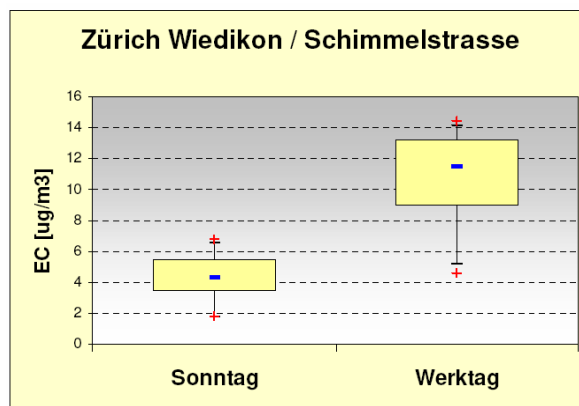


Abbildung 6.16: Verteilung der Russ-Immissionen an der Schimmelstrasse in Zürich, 2004. Quelle [20]

- Modelle auf der Basis multipler Regression zur Schätzung der Russwerte:
  - Effretikon: Beispiel mit PW, NF (Nutzfahrzeuge) und PM10 (von Wallisellen; als Mass für die atmosphärischen Ausbreitungsbedingungen),  $R^2 = 0.94$ .



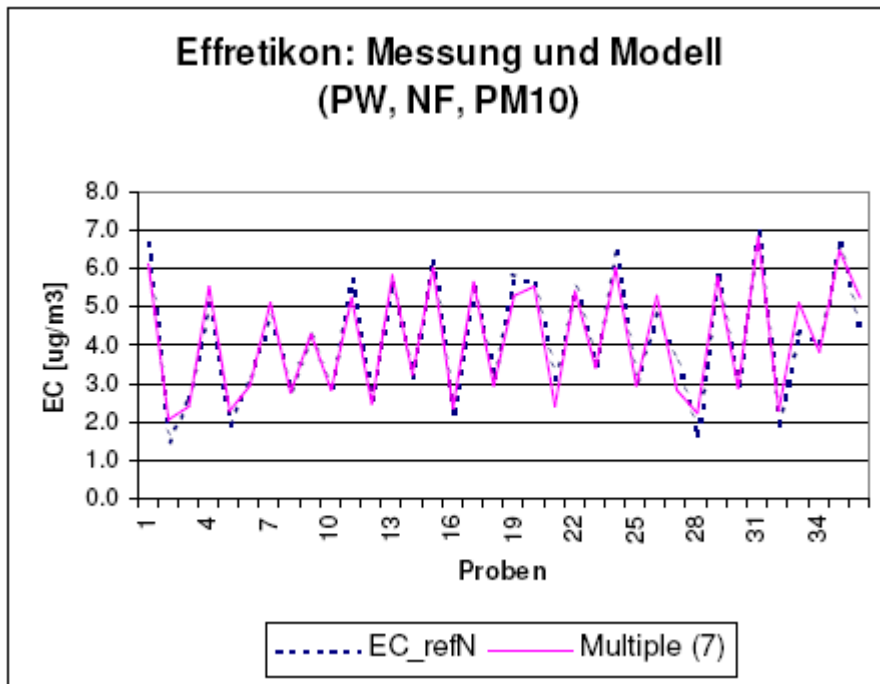


Abbildung 6.17: Vergleich Messung zu Regressionsmodell 7 für Russ in Effretikon. Quelle [20]

- o Effretikon: Beispiel mit Partikelemission (gem. HBEFA2.1) und PM10 (von Wallisellen; als Mass für die atmosphärischen Ausbreitungsbedingungen),  $R^2 = 0.93$ .

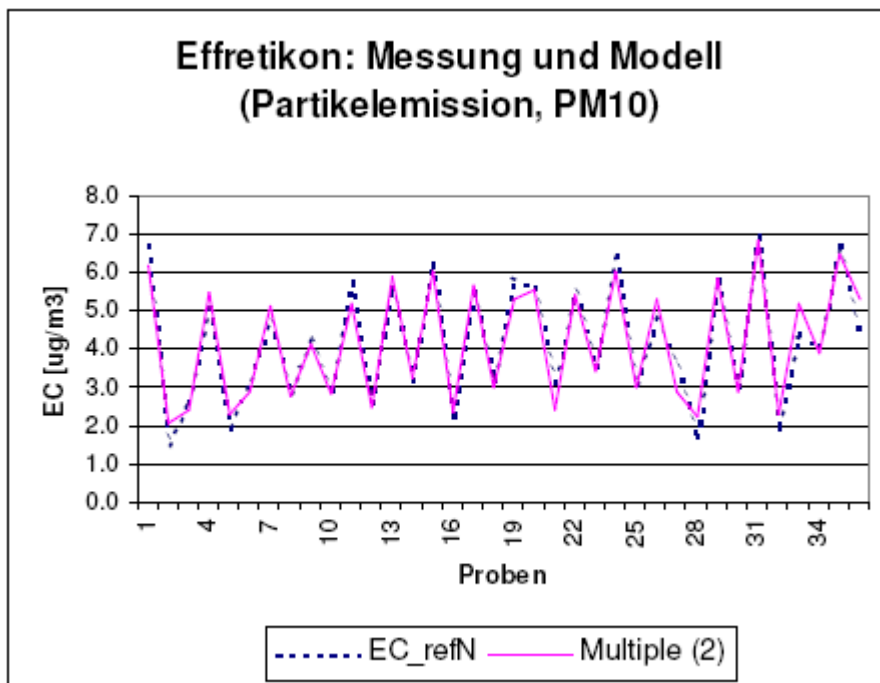


Abbildung 6.18: Vergleich Messung zu Regressionsmodell 2 für Russ in Effretikon. Quelle [20]

- Zürich-Schimmelstrasse: Bester Zusammenhang mit NO<sub>x</sub>-Immission. Keine gute Korrelation mit Immissionswerten bei Wallisellen.

## 6.8.2. Russuntersuchungen in der Stadt Zürich 2006/07 [21]

- An den beiden städtischen Standorten Schimmelstrasse und Stampfenbachstrasse zeigt sich eine gute Korrelation ( $R^2 = 0.87$ ) zwischen Russ (EC) und PM<sub>0.32</sub> (Masse der Partikel bis 320 nm). Offensichtlich kommt ein Teil des Russes auch in grösseren Partikeln vor.

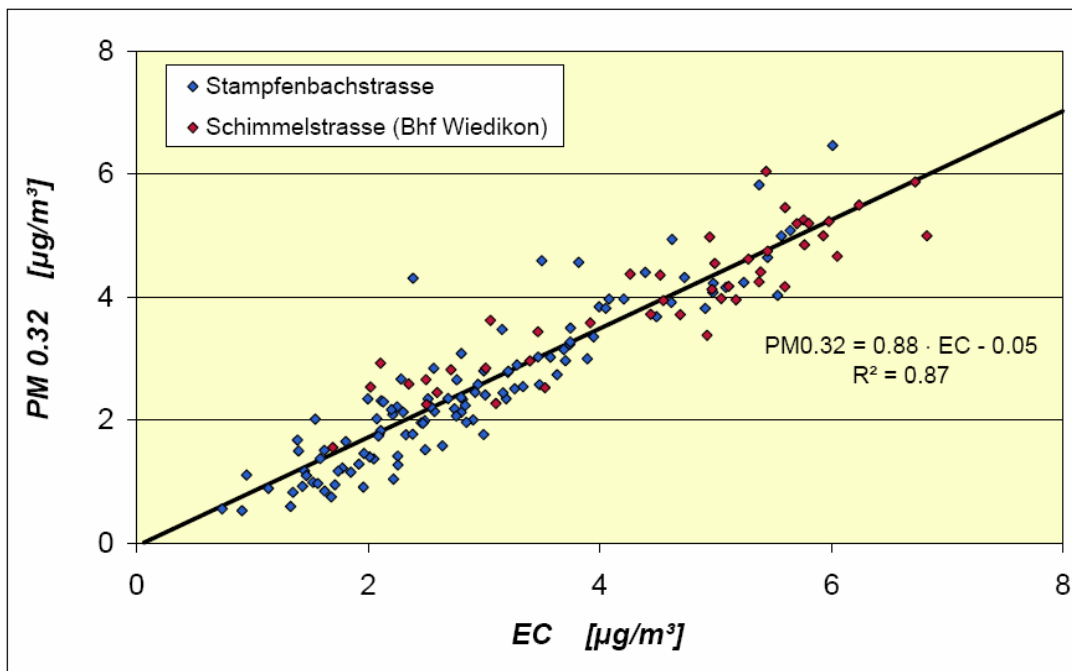
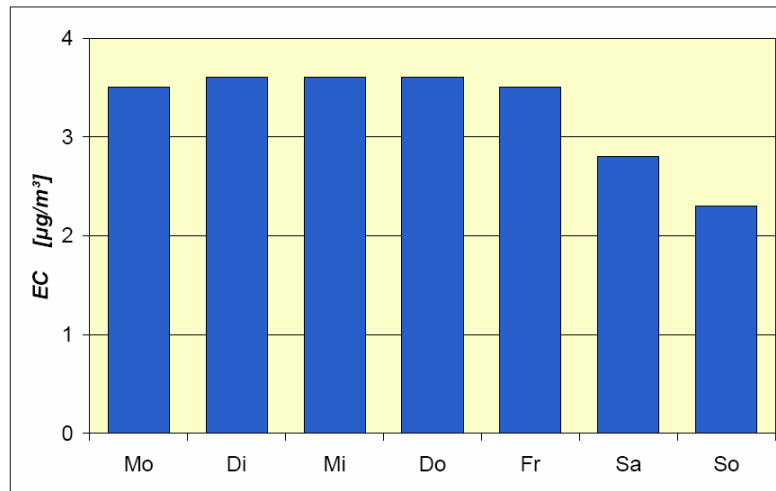


Abbildung 6.19: Korrelation zwischen elementarem Kohlenstoff (EC) und PM<sub>0.32</sub> an zwei Standorten in Zürich. Daten umgerechnet auf das TOT-Messverfahren (Messprogramm Eu-saar2). Quelle [21]

- Am Wochenende hat es an der Stampfenbachstrasse weniger Russ als werktags (Messungen 1999/2000); dann fahren weniger PW und weniger Schwerfahrzeuge.



**Abbildung 6.20: Mittlere Russkonzentration an der Stampfenbachstrasse in Zürich 1999/2000 je Wochentag. Messmethode: Betastaubmeter-Reflexion, kalibriert mit EC-Werten Digital, korrigiert nach TOT-Messverfahren. Quelle [21]**

### 6.8.3. Russmessungen im OSTLUFT-Gebiet

Die Russ-Messungen (EC) werden im OSTLUFT-Gebiet seit 2008 mit der TOT-Methode durchgeführt. Der Vergleich mit den coulometrischen Analysen und die Umrechnung der langjährigen Datenreihen auf die TOT-Methode werden in einem Bericht dokumentiert. [Technischer Bericht über bisherige Messungen und Kalibrationen zu Russ-Immissionsmessungen nach EUSAAR2, OSTLUFT, 2010, in Vorbereitung].

- Verkehrsexponierte Standorte zeigen erhöhte Russkonzentrationen.
- Standorte mit erhöhten Russwerten weisen auch erhöhte PM10-Konzentrationen auf; die relativen Unterschiede zwischen den Standorten sind beim PM10 allerdings wesentlich geringer als beim Russ.

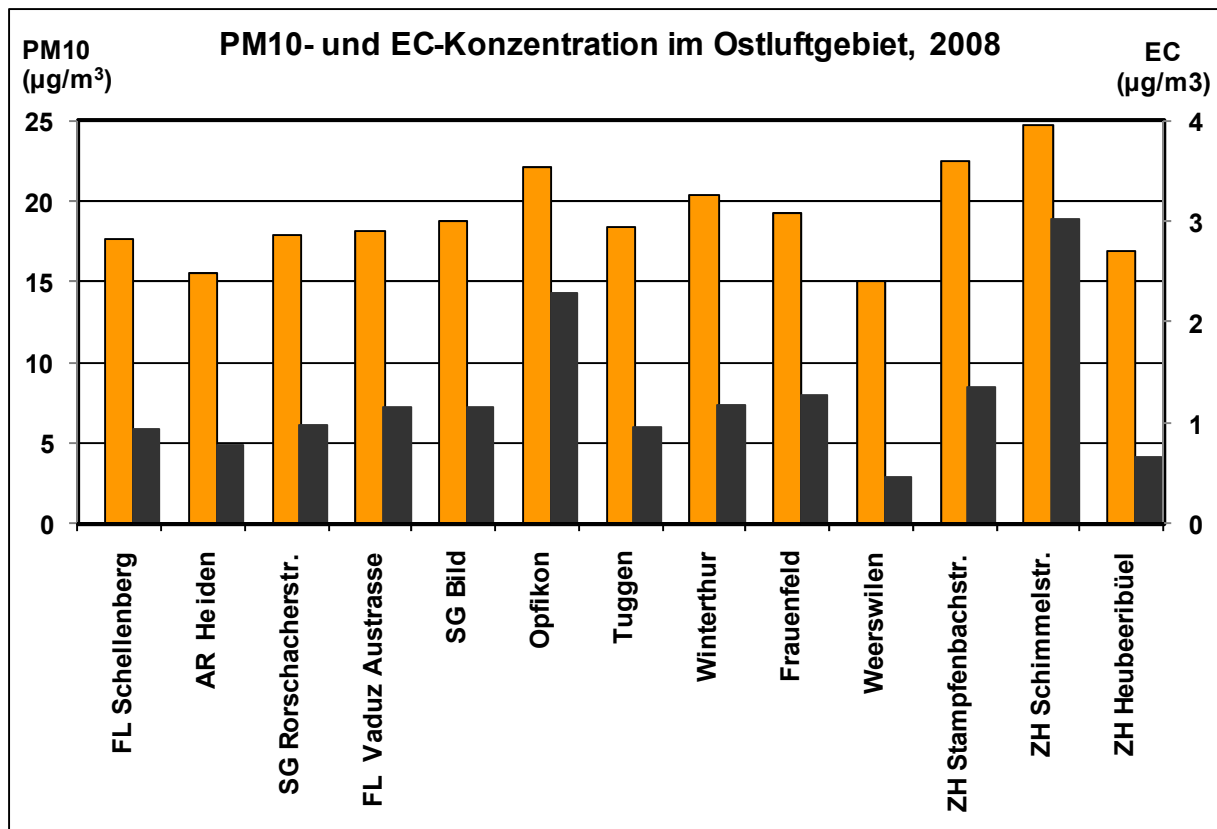


Abbildung 6.21: Jahresmittelwerte von PM10- und EC-Konzentrationen im OSTLUFT-Gebiet 2008. Analyse von Digital-HVS-Filtern jeden 12. Tag mit der TOT-Methode. Datenquelle: OSTLUFT Datenzentrale.

- Mehrjährige Russmessungen seit 2001 an drei verkehrsexponierten Standorten in Zürich und an der Austrasse in Vaduz.
- Der Verlauf der Jahresmittel im Zeitraum 2001-2008 zeigt eine leicht abnehmende Tendenz.
- Grosse Unterschiede zwischen den betrachteten vier strassenexponierten Standorten mit mehrjährigen Messungen.
- Deutlich geringere Russkonzentrationen an den Wochenenden, vor allem an Sonntagen.

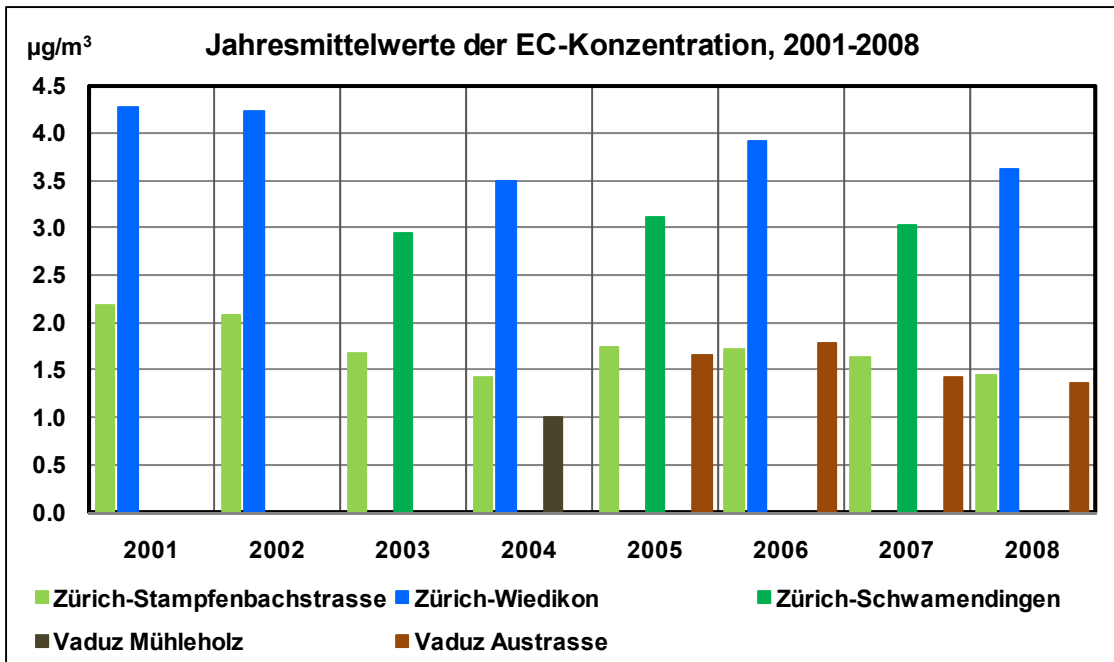


Abbildung 6.22: Jahresmittelwerte von EC-Konzentrationen im OSTLUFT-Gebiet 2001-2008. Analyse nach der TOT-Methode. Datenquelle: OSTLUFT Datenzentrale.

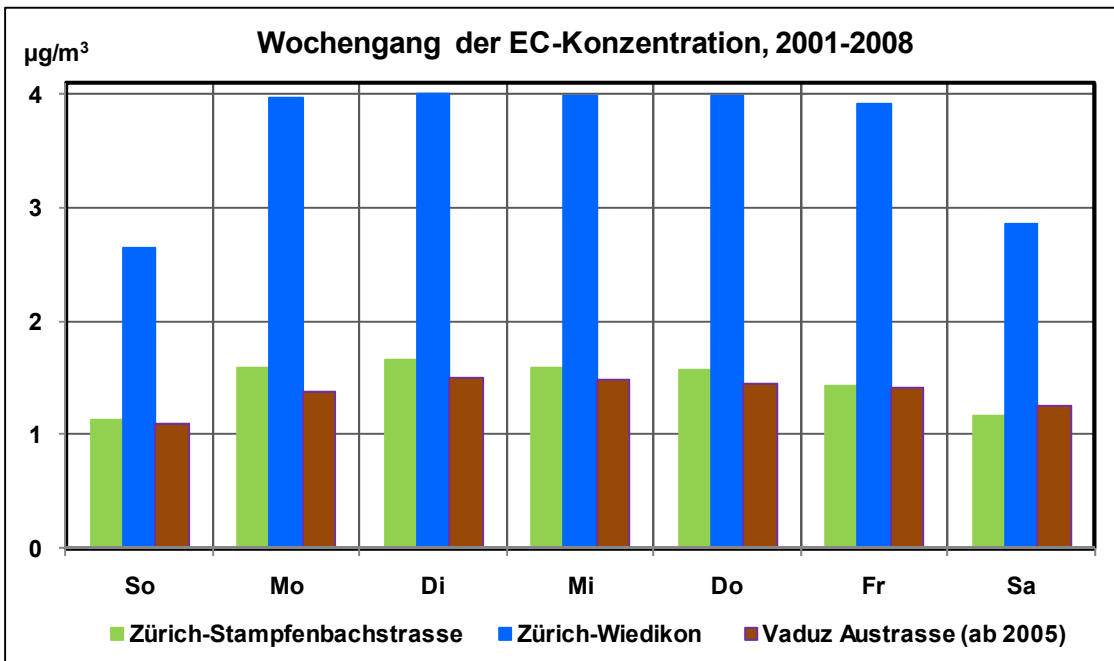


Abbildung 6.23: Wochengang der EC-Konzentrationen im OSTLUFT-Gebiet 2001-2008 (Vaduz Austrasse ab 2005). Analyse nach der TOT-Methode. Datenquelle: OSTLUFT Datenzentrale.

## 6.9. Partikel aus Holzverbrennungen [24]

- Rauchgase von Holzverbrennung liefern ein anderes Massenspektrum als die Fahrzeugabgase.
- Typisch für Holzfeuerung: Levoglucosan.
- Verschiedene Holztypen lassen sich nicht voneinander unterscheiden.
- In der Schwelphase am Schluss der Holzverbrennung hohe Anteile von mit Sauerstoff angereicherten organischen Aerosolen (OOA).

## 7. Partikelgrößenverteilungen und –Anzahl

### 7.1. Mobile Messungen von Partikelgrößen und Gasmischungen in der Region Zürich (Projekt YOGAM) [11] [12]

- Messrouten der mobilen Messungen von Partikelgrößen und Gasmischungen von Sommer 2001 bis Frühjahr 2002:

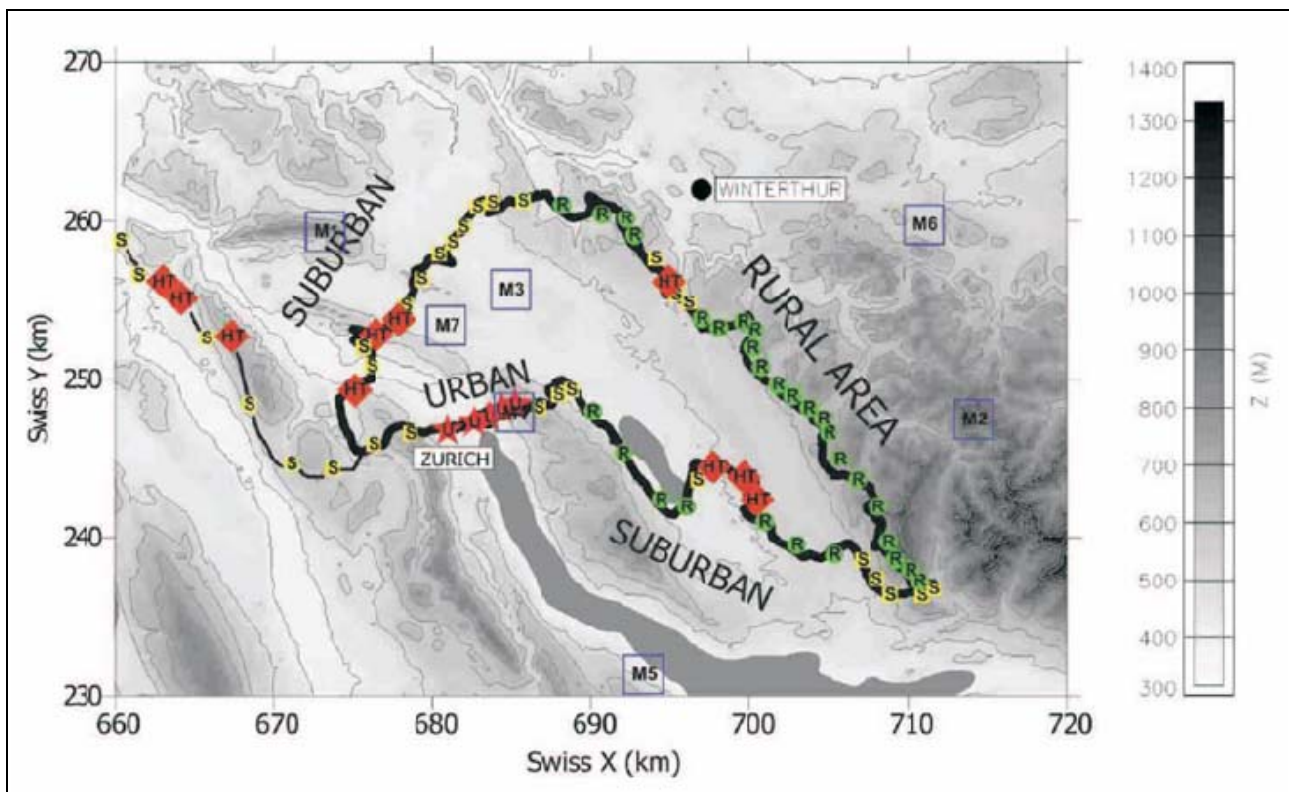
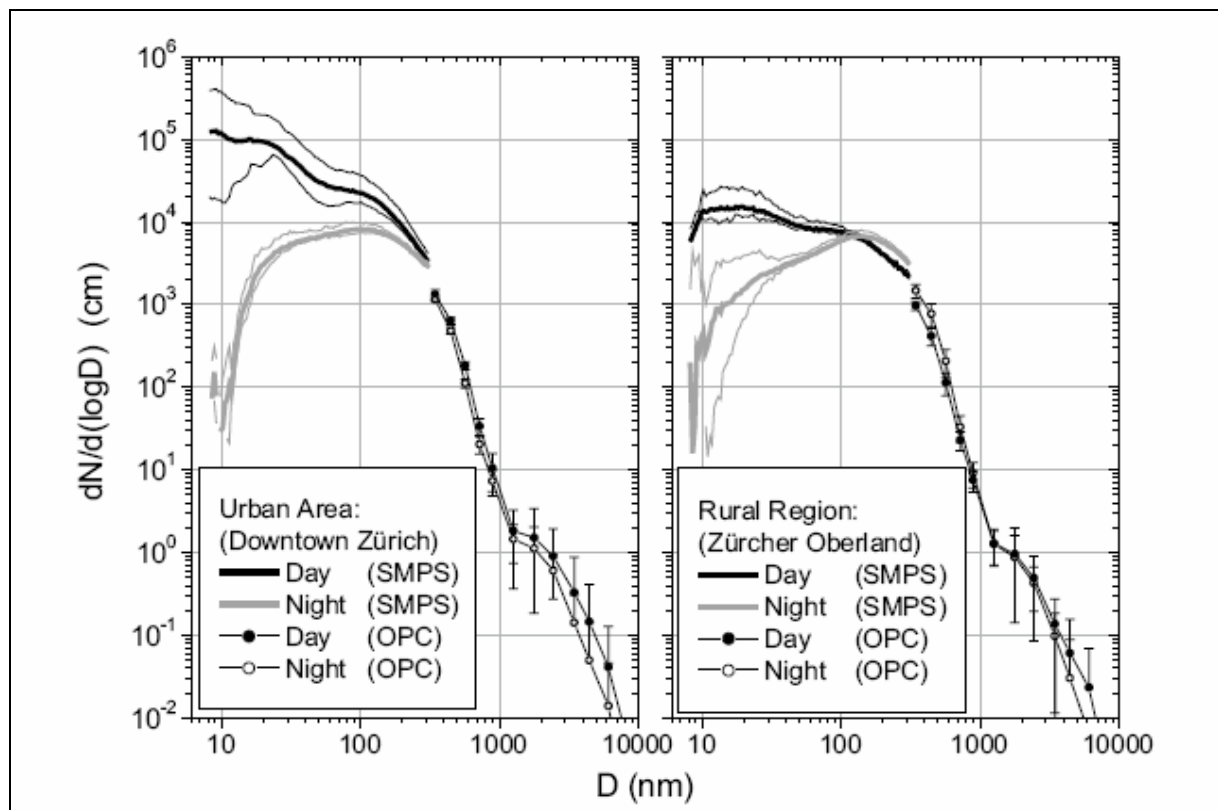


Abbildung 7.1: Main (solid black line) and access (thin black line) route of the YOGAM project. Dark gray filled areas represent lakes, and the contours show the altitude profile ( $z$ , meters above sea level). The two main cities in the selected area, Zürich and Winterthur, are also indicated. Swiss X and Y designate the coordinates in the official Swiss kilometer grid. Additionally, location bin classifications according to Table 1 (R: rural, S: suburban, U: urban, HT: heavy-traffic areas) and official meteorological monitoring stations (M1–M7) are shown. Quelle [12]

- Verkehrsaktivität (ausgedrückt als CO-Immission) korreliert besser mit der Partikelanzahl im Grössenbereich 50 – 150 nm als mit der Gesamtpartikelanzahl oder der Ultrafeinpartikelanzahl (7 – 50 nm).
- Aerosolgrössenverteilung Tag/Nacht & Stadt/Land: Grössenbereich bis ca. 150 nm tagsüber v.a. durch Verkehr und auch sekundär induziert, nachts grösserer Anteil durch Sekundärpartikel, v.a. auf dem Land mit stark schwankenden Grössenverteilungen. Hier spielt auch Wachstum durch erhöhte Feuchtigkeit und Koagulation eine Rolle.



**Abbildung 7.2: SMPS and OPC particle number size distributions measured with the PSI mobile laboratory. The indicated distributions represent on-road averages for the regions and times indicated in the graph legend. For SMPS distributions, 25% and 75% percentiles are indicated (thin curves), while the OPC distributions show standard deviation error bars. Quelle [12]**

- Die zeitliche Variabilität der Partikelanzahl (total und im Grössenbereich 80 – 140 nm) überstieg während des Jahres (23 Messtage) die räumliche.
- Grundsätzlich tritt im Winter und im urbanen Milieu die grösste lufthygienische Belastung mit Partikeln auf.



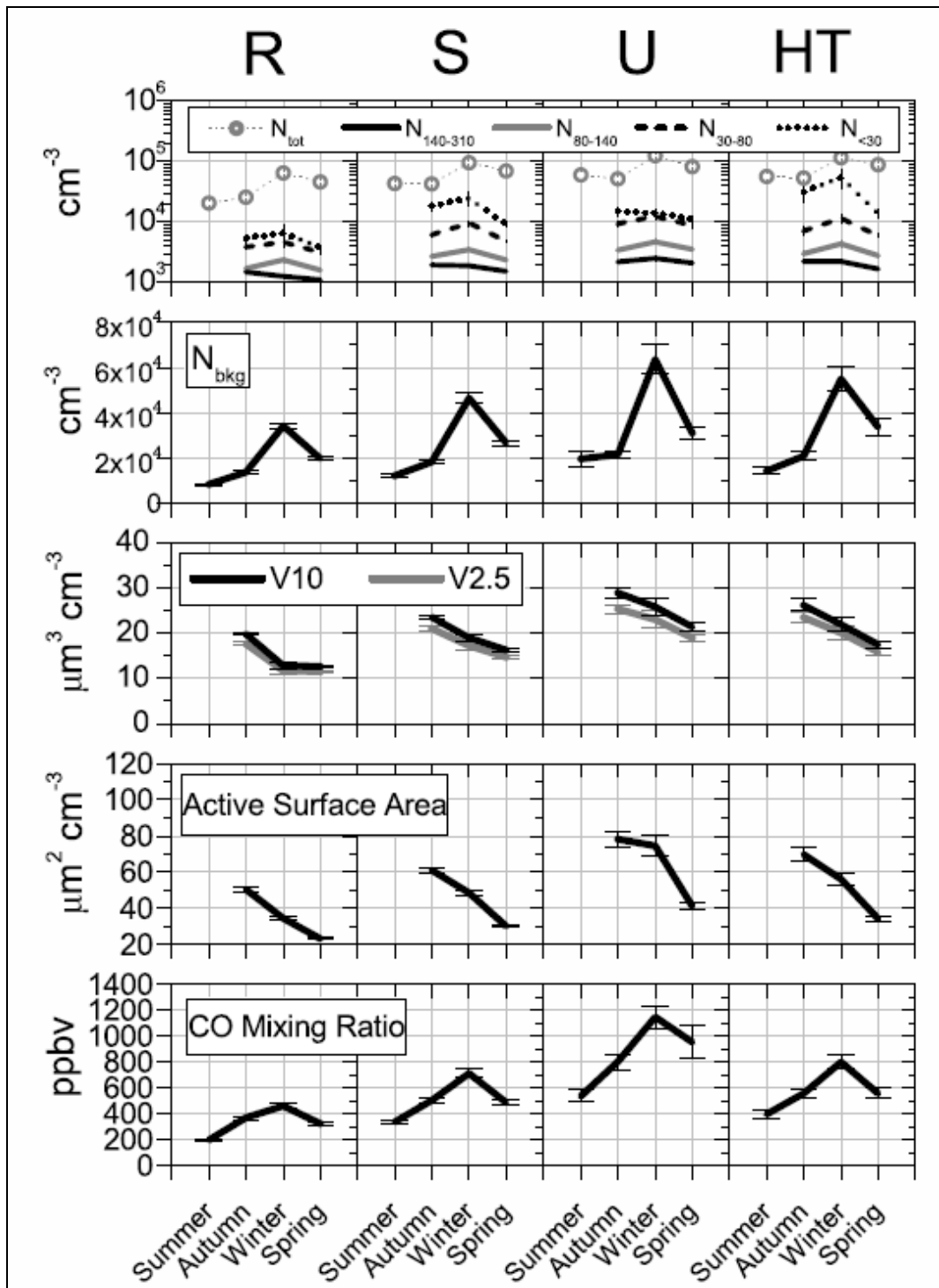
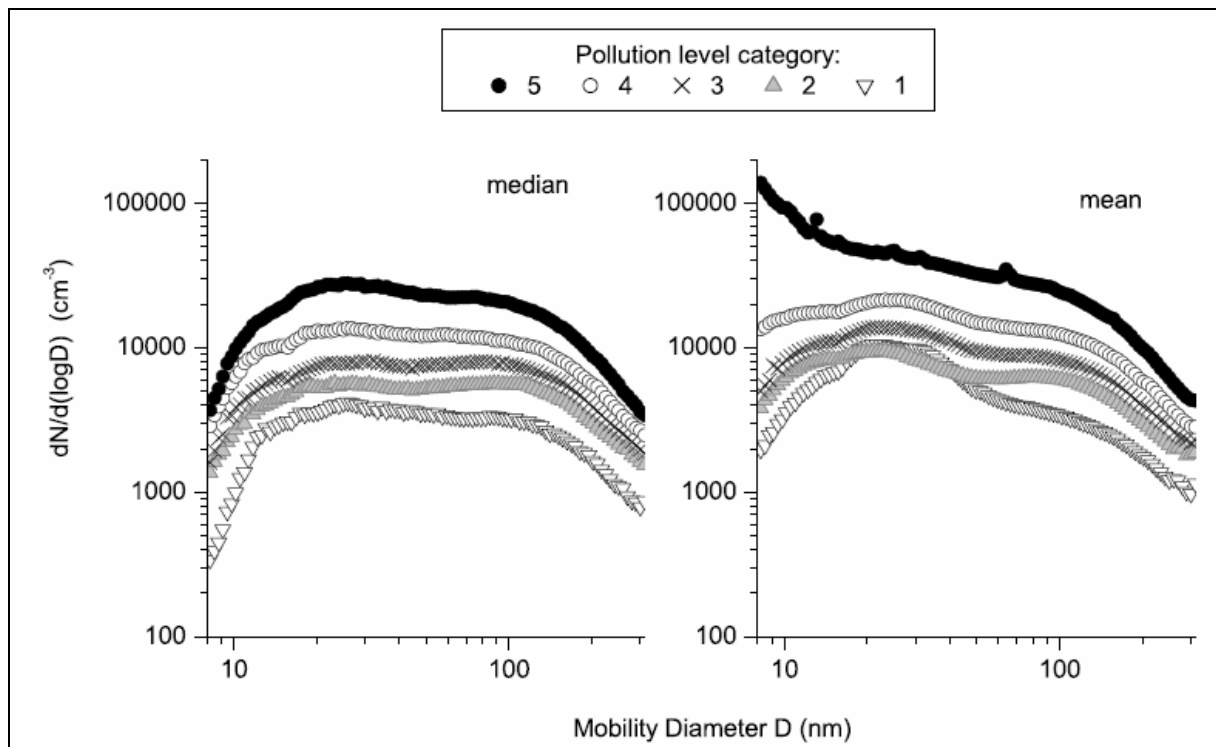


Abbildung 7.3: Seasonal variation of  $N_{\text{tot}}$ ,  $N_{\text{bkg}}$ ,  $N(<30)$ ,  $N(30-80)$ ,  $N(80-140)$ ,  $N(140-310)$ ,  $V_{2.5}$ ,  $V_{10}$ , active surface and carbon monoxide, resolved by location category (R: rural, S: sub-urban, U: urban, HT: heavy-traffic areas, see Table 1 and Fig. 1). Mean values are shown, with bars representing one standard error of mean. Due to SMPS and DC measurement problems no summer data are available except for  $N_{\text{tot}}$ ,  $N_{\text{bkg}}$  and CO. Quelle [12]

- Unterteilt man die vorgefundenen Grössenverteilungen (alle Messtage, alle Orte zusammen) in 5 'Verschmutzungsklassen', so unterscheiden sich diese markant → grosse Variabilität der Partikelanzahl. Die Unterschiede beziehen sich auf den gesamten Grössenbereich, sind bei den Ultrafeinpartikeln am grössten. Bei diesem Untersuchungsansatz keine Evidenz, dass eine erhöhte Anzahl Partikel im Akkumulationsmodus die Anzahl ultrafeiner Partikel vermindert. Allerdings wurden damit keine Standortvergleiche durchgeführt.



**Abbildung 7.4: SMPS number size distributions for the event-based pollution categories defined in Sect. 5.2. Both median and mean distributions are shown. The distributions are based on the whole-year YOGAM data set. Quelle [12]**

- Vor allem bei den Ultrafeinpartikeln zeigt sich eine deutliche Temperaturabhängigkeit der Konzentration:

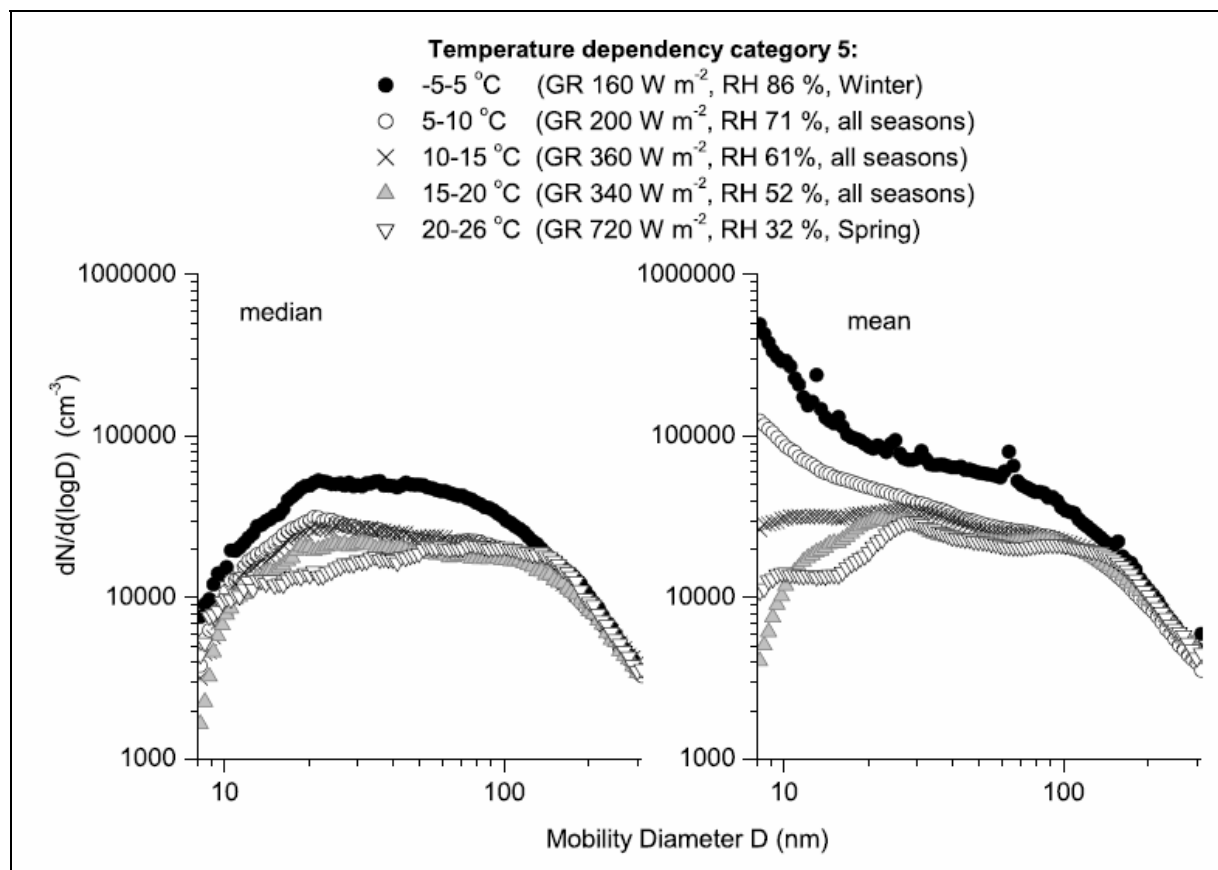


Abbildung 7.5: Temperature-resolved SMPS number size distributions using all YOGAM database entries assigned to pollution category 5. Both median and mean distributions are shown. The average number of individual distributions per temperature category is 150–200. GR: Global radiation. Quelle [12]

## 7.2. Untersuchungen zu Partikelgrößenverteilungen in der Stadt Zürich 2006/07 [21]

- Messung der Partikelgrößenverteilungen an drei unterschiedlichen städtischen Standorten in Zürich:

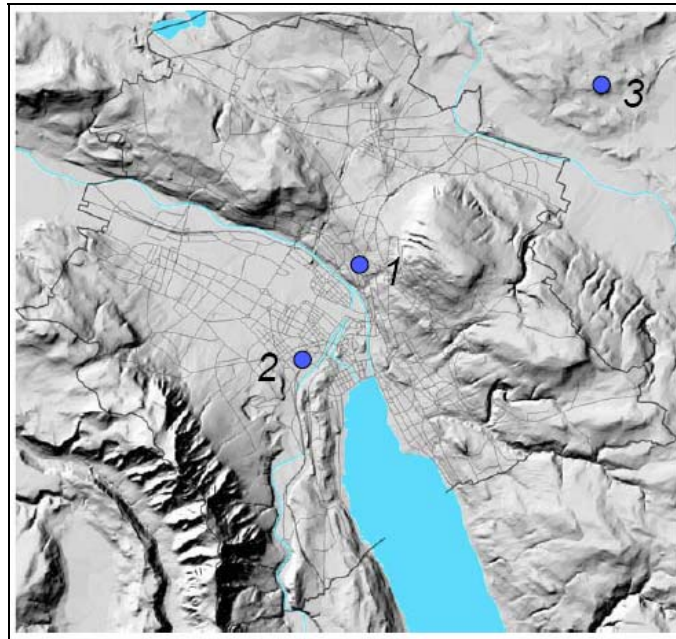


Abbildung 7.6: Standorte der Partikeluntersuchungen in der Stadt Zürich 2006/07: 1 Stampfenbachstrasse; mittlere städtische Belastung 7'700 Fz/d, 1.6% Schwerverkehr, 28. August –12. Dezember 2006. 2 Schimmelstrasse (BhfWiedikon); Transitachse Chur – Bern-Basel 23'600 Fz/d, 7.2% Schwerverkehr, 19. Juni –2. August 2006. 3 Wallisellen Agglomerationsrand, geringer Verkehr, ab 25. Juni 2007. Quelle [21]

- Anzahl- und Massenverteilung (eigentlich Volumenverteilung) nach Partikelgrösse:

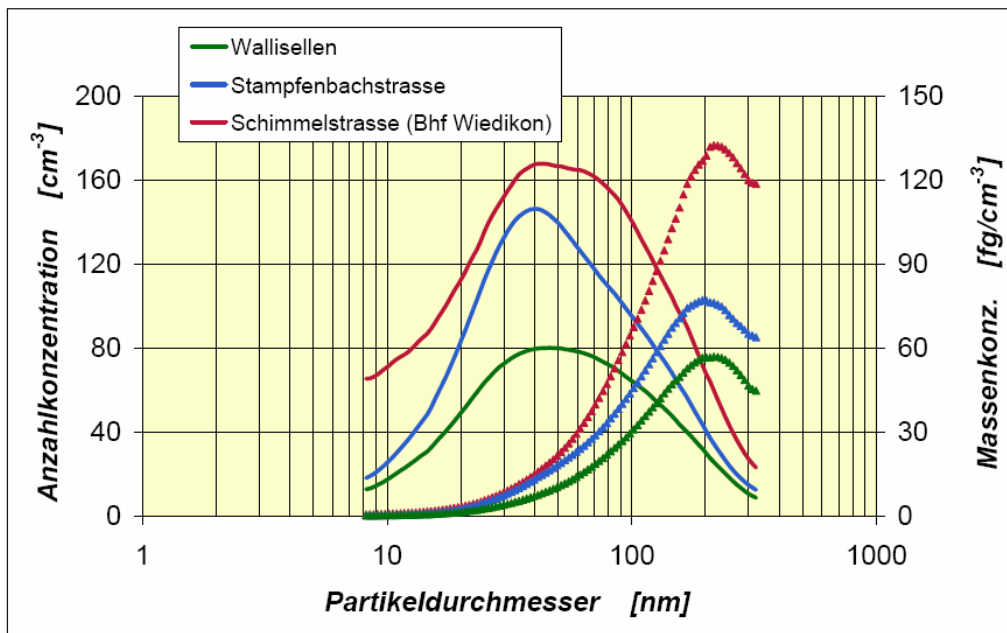


Abbildung 7.7: Partikelanzahl- und Massenverteilung für drei Standorte in Zürich. Quelle [21]

- Das Anzahlmaximum liegt im Bereich von 30 – 60 nm, das Massenmaximum im Bereich um die 200 nm.
- An Wochenenden hat es weniger Partikel in der Stadt, in Wallisellen ist es umgekehrt. Dies wird auf die in der Nähe liegenden Einkaufszentren und die Grilladen zurückgeführt.

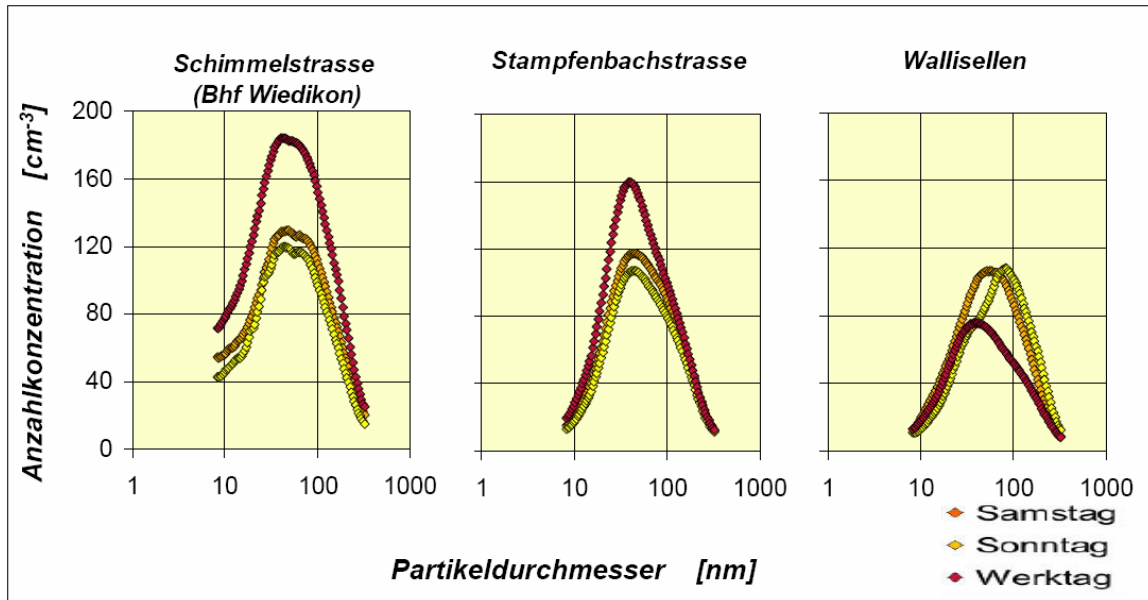


Abbildung 7.8: Partikelgrößenverteilungen je Wochentag an drei Standorten in Zürich. Quelle [21]

- Am Abend des 1. August 2007, als auch das PM10 sehr hoch war, zeigten sich besonders viele Partikel um die 100 nm herum.

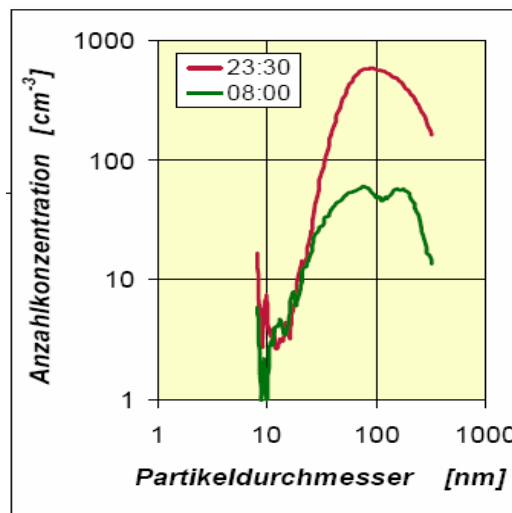


Abbildung 7.9: Partikelgrößenverteilungen am 1. August 2007 in Wallisellen. Quelle [21]

- An der Stampfenbachstrasse zeigte das CO einen guten Gleichlauf mit der Partikelkonzentration für Grössen zwischen 8 und 320 nm.

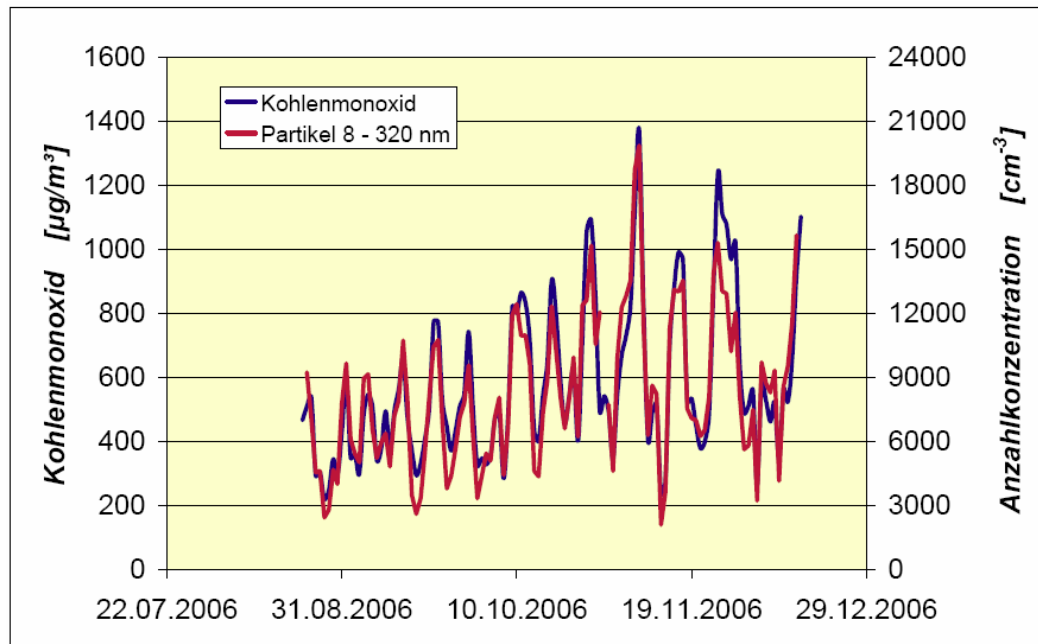


Abbildung 7.10: Tagesmittelwerte von CO und Partikelanzahl (8 – 320 nm) an der Stampfenbachstrasse in Zürich. Quelle [21]

- Partikelanzahl und –Grössenverteilung sind zur Kontrolle verkehrlicher Veränderungen (wie auch Massnahmen) besser geeignet als die Partikelmasse (wie PM10).

### 7.3. Partikelgrössenverteilungen im Rheintal [1]

- Maximum der Partikelgrössenverteilung bei etwa 10 nm → Verbrennungsmotoren.
- In Vorarlberg erhöhte Partikelzahl im Bereich 30-60 nm (Dieselruss?).
- Maximum der Volumenverteilung in allen Fällen um die 200 nm.

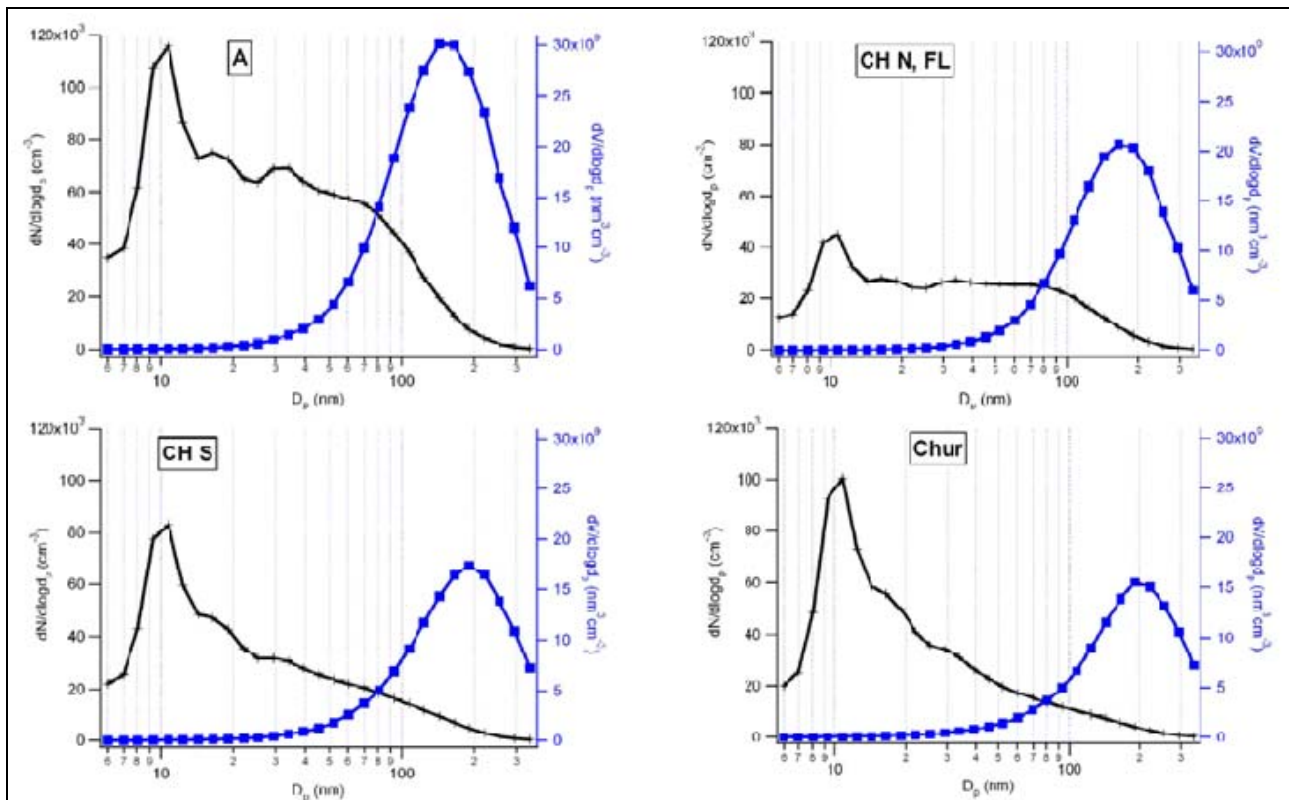


Abbildung 7.11: Durchschnittliche Anzahl (schwarz)- und Volumengrößenverteilungen (blau) von PM0.3 für die österreichische Seite des Rheintals (A), den nördlichen Schweizer Teil inkl. Liechtenstein (CH N, FL), den südlichen Teil (CH S) und Chur. Februar 2007 und Februar 2008. Quelle [1]

- Am Morgen des 20. Februar 2007 Vergleich der Partikelgrößenverteilungen zwischen schweizerischer und österreichischer Autobahn und Kantons- bzw. Bundesstrasse.
- Auf der Schweizer Autobahn bis ca. 20 nm, auf der österreichischen bis ca. 40 nm Partikelzahl im Vergleich zur unterrangigen Strasse wesentlich erhöht.
- Maximum der Volumenverteilung zwischen 150 und 200 nm.



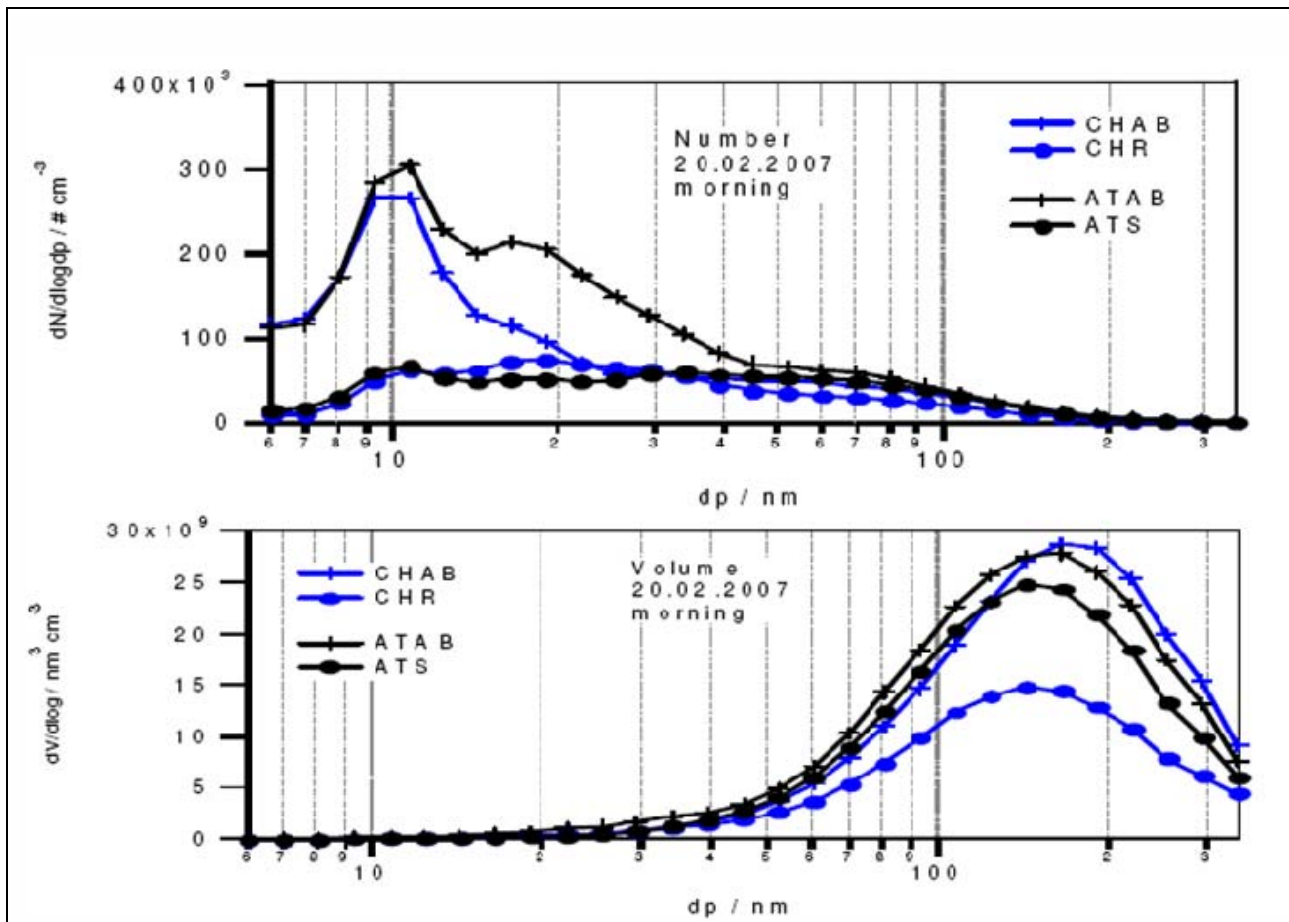


Abbildung 7.12: Partikelanzahl- und Volumenverteilung am 20.02.2007. CHAB: Schweizer Autobahn; ATAB: österreichische Autobahn; CHR: Schweizer Kantonsstrasse; ATS: österreichische Bundesstrasse. Quelle [1]

## 7.4. Partikelanzahlmessungen auf Schiffen der ZSG (Zürichsee Schifffahrtsgesellschaft) [23]

- Ein Partikelfilter hat die Immissionen eines sonst baugleichen Schiffes drastisch (ca. Faktor 25) gesenkt.
- Allerdings stellen die Raucher auf den Schiffen die erheblichste Partikelquelle dar; kurzfristige Konzentrationen bis über  $100'000 / \text{cm}^3$  wurden unter ihrem Einfluss gemessen:



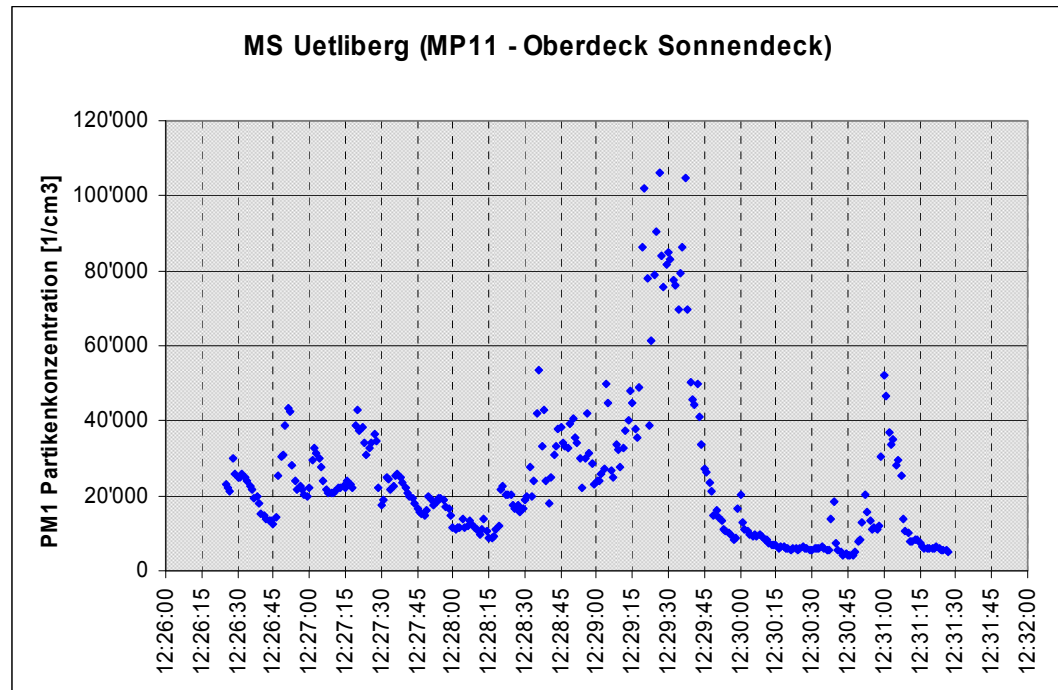


Abbildung 7.13: Partikelkonzentration auf dem Oberdeck der MS Uetliberg unter dem Einfluss von Rauchern. Quelle [23]

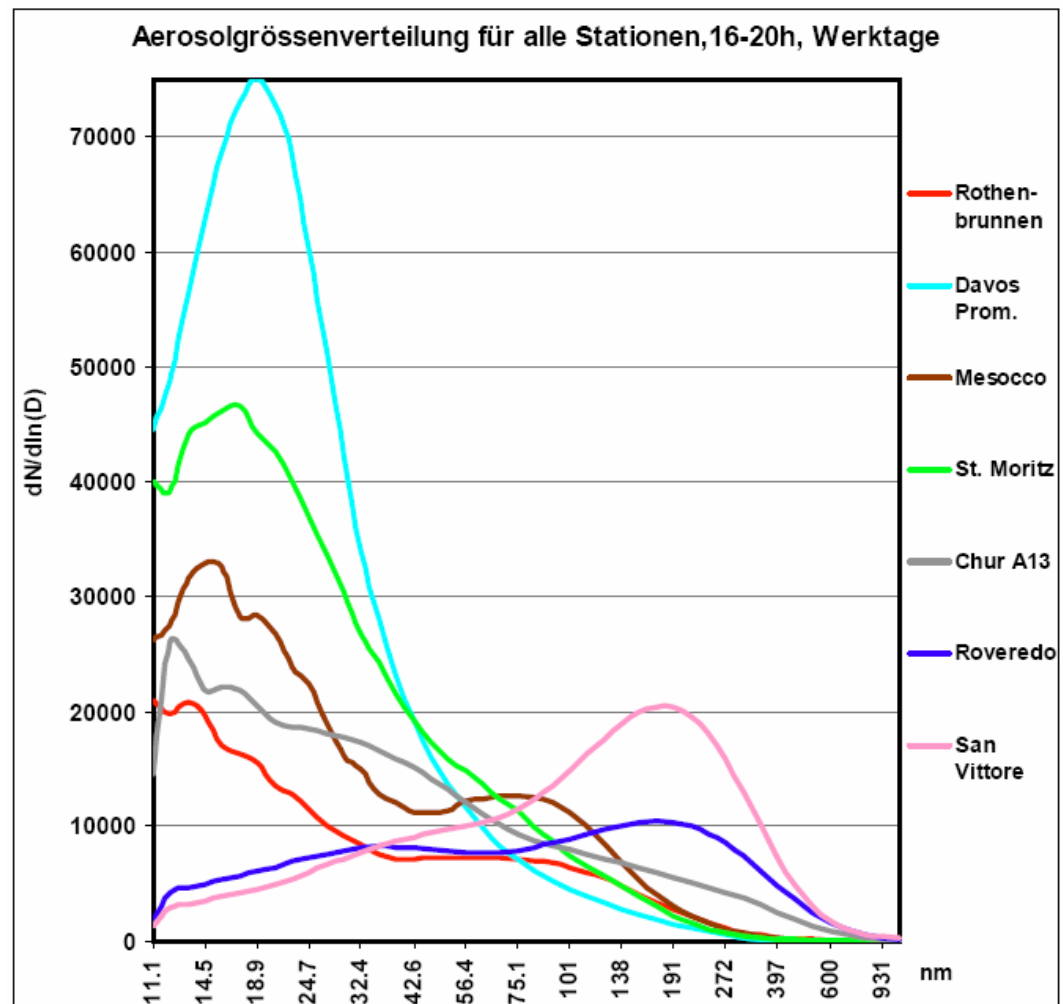
- Empfehlungen:
  - Ausrüsten aller Schiffe mit Partikelfiltern;
  - Generelles Rauchverbot auch auf den offenen Decks;
  - Allenfalls Raucherlaubnis auf dem Panoramadeck bzw. auf dem Heck, da der Fahrtwind dort den Rauch nach hinten vom Schiff wegbläst.

## 7.5. Erkenntnisse aus Bestimmungen der Partikelgrößenverteilungen in Graubünden [10] [19a]

- Erfassung der Partikelanzahlkonzentrationen zwischen 11 und etwa 1000 nm (=1  $\mu$ m) an insgesamt 7 Messstandorten in Graubünden mit einem Grimm-Gerät in den Wintern 2005/06 und 2006/07.
- Die Aerosolgrößenverteilungen sind stark standort- und tageszeitabhängig. NO<sub>x</sub>-Konzentrationen während der jeweiligen Messkampagnen in Ro-

thenbrunnen, Davos, Roveredo und San Vittore ähnlich, die Partikelkonzentrationen und ihre Grössenverteilung aber völlig verschieden.

- Entscheidende Einflussfaktoren für die Aerosolgrössenverteilungen sind Verkehr und Holzheizungen, offene Fragen vor allem bei Roveredo und Davos.



**Abbildung 7.14: Aerosolgrössenverteilung für alle Stationen, 16-20h, Werktage.  $dN/d\ln(D)$ : Anz. Partikel / $\text{cm}^3$  je Intervalleinheit des nat. Logarithmus der Partikeldurchmesser. Quelle [10]**

- Roveredo: Die Konzentration an Ultrafeinpartikeln  $<20$  nm im Verhältnis zum Verkehrsaufkommen ist bei Roveredo atypisch klein für die Bündner Standorte (Roveredo 70% des Verkehrsaufkommens und der Emissionen von Rothenbrunnen, aber nur etwa ein Viertel der Ultrafeinpartikel). Einfluss der Holzheizungen auf das gesamte Partikelkollektiv?

- In Davos ganztags, auch in der Nacht von 0-4 Uhr, die höchsten Konzentrationen bei den Kleinstpartikeln bis 30 nm.
- Unklare Rolle der Art der Holzheizung (Lagerung des Holzes, Betrieb und Wartung).
- Auch bei Messungen an einzelnen Wintertagen 2005 zeigten die Aerosolgrößenverteilungen eine starke Abhängigkeit vom Standort (Roveredo GR Dorfzentrum etwa 20 m von der A13 und Moleno TI etwa 5 m von der A2) und von der Tageszeit:

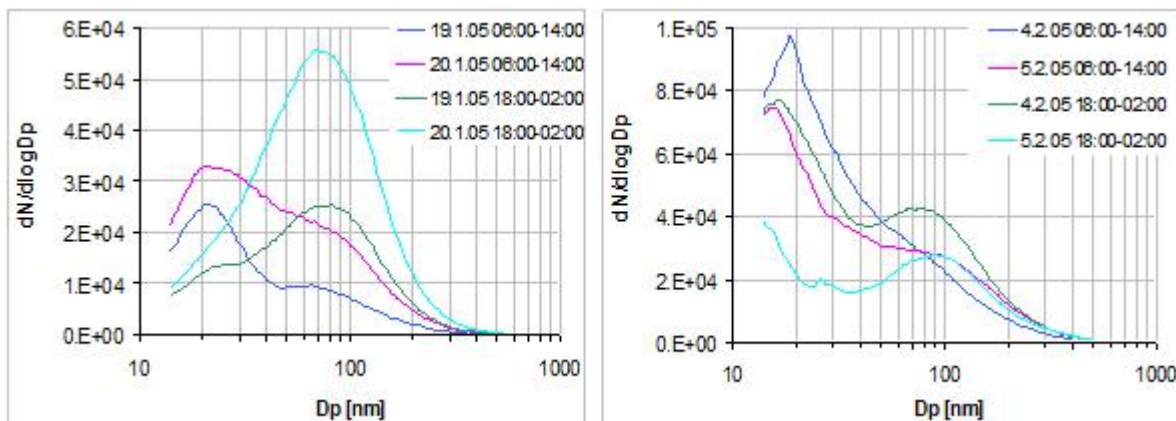


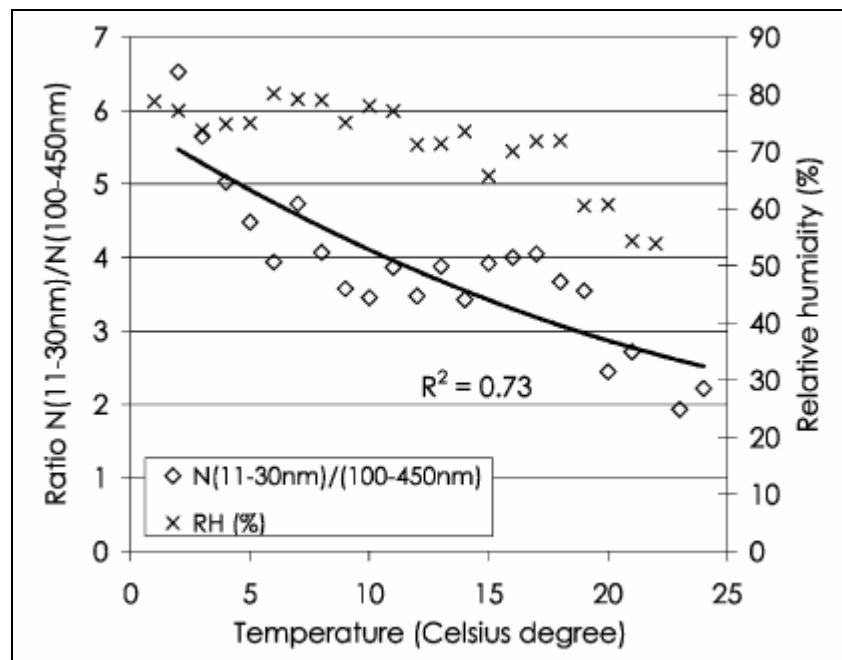
Abbildung 7.15: Aerosolgrößenverteilung in Roveredo (links) und in Moleno (rechts). Am Morgen in Roveredo und generell in Moleno sind die Verkehrsanteile grösser und die Konzentration der Nanopartikel ( $D < 50$  nm) deutlich grösser als in Roveredo am Abend, wo die Holzfeuerungen bezüglich Partikelmasse überwiegen. Quelle [19a]

## 7.6. Erkenntnisse aus Bestimmungen der Partikelgrößenverteilungen in London [19]

- Messung der Partikelgrößenverteilungen an stark befahrener Strasse im Zentrum Londons.
- Partikelanzahl im Bereich 30-60 nm korreliert hauptsächlich mit dem Leichtverkehr.
- Partikelanzahl im Akkumulationsmodus (100 – 450 nm) korreliert hauptsächlich mit dem Schwerverkehr.
- Partikel im Nukleationsmodus (11-30 nm) kommen hauptsächlich am frühen Morgen (Rush-Hour) und in den Weekend-Nächten vor, wenn zu we-

nige Partikel für Kondensation zur Verfügung stehen → Angebot an Kondensationsoberfläche reduziert Nukleationen.

- Tiefe Temperaturen erhöhen die Partikelzahl im Bereich 11-30 nm im Verhältnis zu derjenigen für 100 – 450 nm → effektivere 'Gas-to-particle-conversion'.



**Abbildung 7.16:** Relation between the temperature and the ratio of integrated particle counts from 11 to 30nm to integrated particle counts from 100 to 450 nm. The relation between the relative humidity and the temperature is also shown. Quelle [19]

- Ergebnisse stehen in vollem Einklang mit den Messungen der Partikelgrößenverteilungen in Graubünden. (s. Kap. 7.5).

## 8. Hohe PM10-Immissionen im Winter 2006

### 8.1. Untersuchung zu den sehr hohen PM10-Immissionen in der Ostschweiz im Januar/Februar 2006 [6]

- Vom 08. – 16.01. sowie vom 24.01. – 06.02.2006 hohe PM10-Immissionen im Gebiet von Ostluft wie auch in übrigen Teilen Mittel- und Osteuropas.
- Messstationen von Ostluft: Tagesmittel PM10 bis  $175 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , bis 36 Tage Grenzwertüberschreitung von Dez 2005 – Feb 2006.
- Alpentäler und erhöht liegende Hügelzonen nur teilweise von der verschmutzten Luft erfasst.
- Grundsätzlicher relativer Gleichlauf von  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_2$  und PM10 im Winter 2005/06 → Dominanz der meteorologischen Ausbreitungsbedingungen.
- In den beiden PM10-Hochphasen aber relativer Anstieg des PM10 deutlich über  $\text{NO}_x$  hinaus. Hoher Anteil sekundärer Partikel im PM10 (in Zürich 79%).
- In jenen Phasen zäher Kaltluftsee über schweizerischem Mittelland, in der ersten Phase dünn, in der zweiten Phase viel mächtiger mit schwankender Obergrenze, in sich neutral geschichtet.
- In der zweiten Phase kurzfristig starke flächendeckende Anstiege in den PM10-Konzentrationen; dabei ziemlich stabile Verhältnisse zwischen den Massen der hauptsächlichen Komponenten der Partikel.

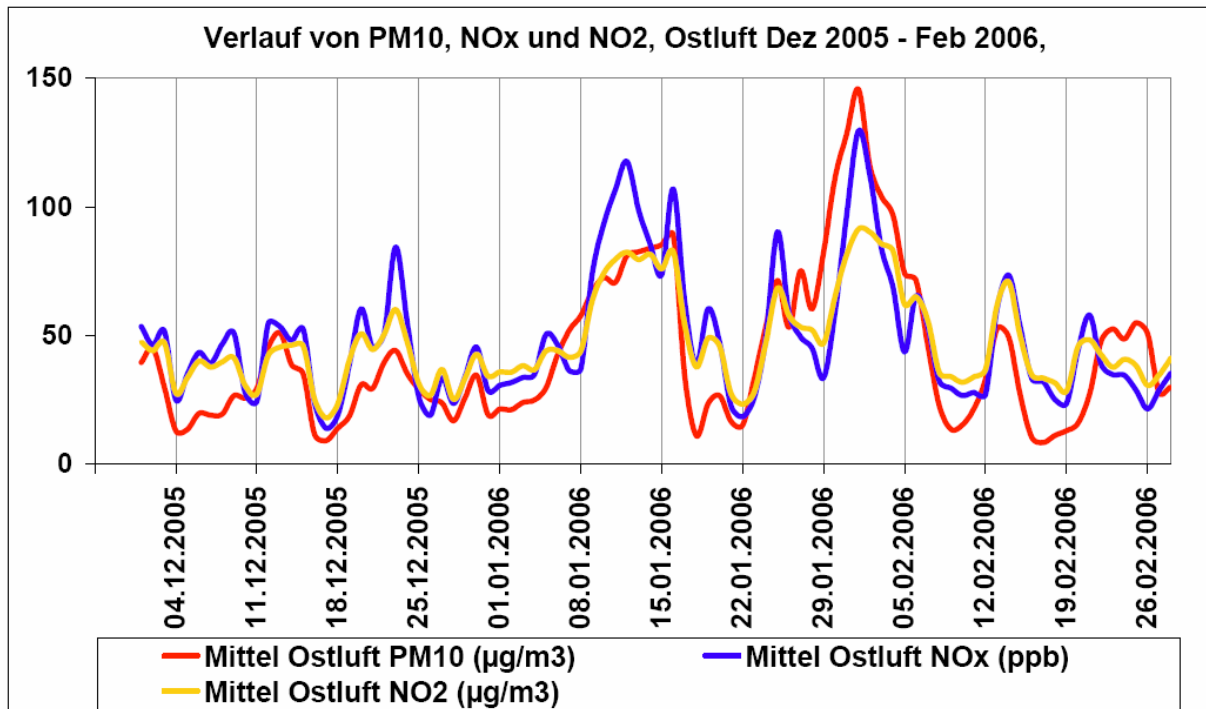


Abbildung 8.1: Verlauf von PM10, NOx und NO<sub>2</sub> im Mittel über alle OSTLUFT-Stationen, Dez 2005 – Feb 2006. Quelle [6]

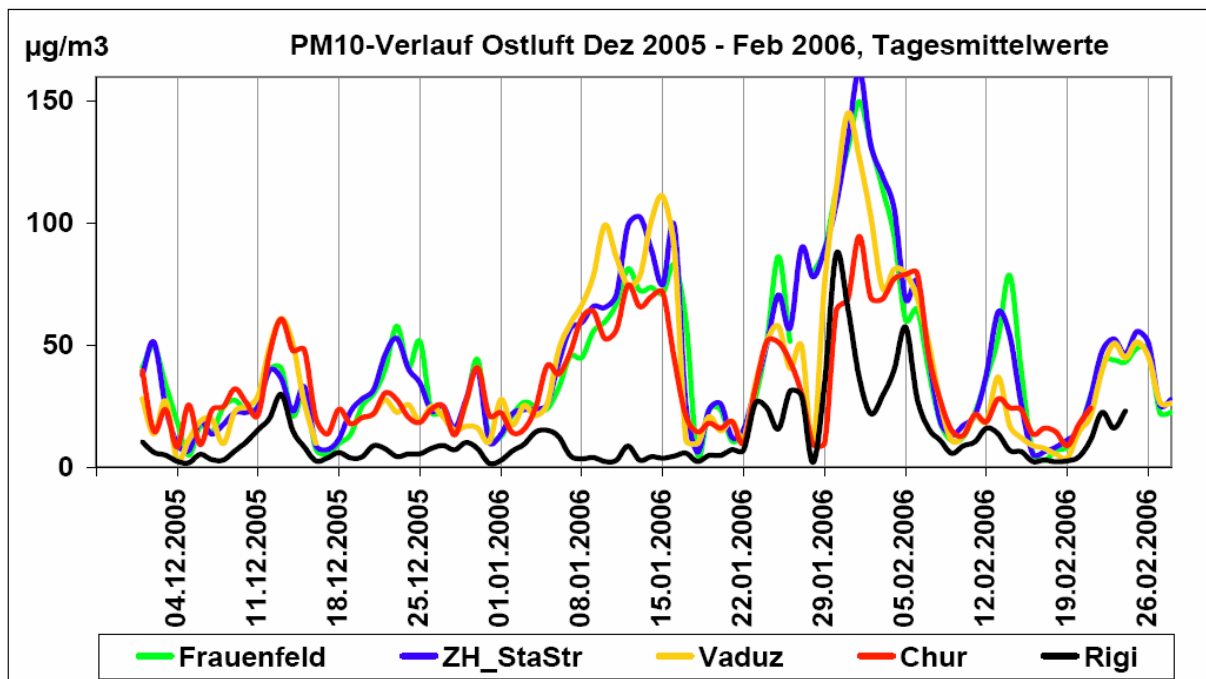


Abbildung 8.2: Repräsentativer PM10-Verlauf (Tagesmittelwerte) Dez 2005 – Feb 2006 in der Ostschweiz, Liechtenstein und am Rigi (ZH\_StaStr: Zürich-Stampfenbachstrasse). Quelle [6]

## 8.2. Fazit der Wintersmog-Workshops vom 2006 und 2007 [7] [16] [29] [30]

- Relative chemische Zusammensetzung des PM10 im Winterdurchschnitt und in Smogphasen in Reiden und Zürich sehr ähnlich, auch bei hoher zeitlicher Auflösung nur wenig Schwankungen.
- Grundsätzliche meteorologische Lage s. Kap. 8.1.
- PM10-Immissionen ungeeignet zur Wirkungskontrolle von Massnahmen.
- Langfristige weiträumige Massnahmen auch bei Vorläuferschadstoffen sind notwendig.
- Wintersmogphase im Januar und Februar 2006 ausserordentlich, kam in ähnlichem Ausmass letztmals 1986 vor.
- Unterschiedliche Meinungen zur Möglichkeit einer herangeführten Vorbelastung der in der zweiten ausserordentlichen Smogphase 2006 über der Ostschweiz liegenden Luftmasse mit PM10:
  - Bzgl. der Möglichkeit, in der zur Verfügung stehenden Zeit den gesamten Kaltluftsee mit der gemessenen Partikelmasse anzufüllen;
  - Bzgl. des Vorhandenseins einer Nordostströmung innerhalb der Kaltluftschicht;
  - Bzgl. der Bedeutung des stark erhöhten Benzol/Toluol-Verhältnisses an einigen Tagen, was auf oxidierte (gealterte) Luft hinweist;
  - Bzgl. der Bedeutung der stabilen relativen Anteile der verschiedenen Spezies im PM10 über die Smogphasen hinweg, insbesondere beim Sulfat, welches nur langsam gebildet wird (s. auch Kap. 6.6. Seite 39).
- Betrachtungen über jene ausserordentliche, vielleicht alle 20 Jahre auftretende Phase hinaus haben gezeigt, dass die Wintersmogbelastung im Allgemeinen hausgemacht ist. Darüber hinaus zeigen EMEP-Modellrechnungen für das ganze Jahr 2007 (R. Gehrig, EMPA-Fachtagung "Stickstoffverbindungen in der Atmosphäre, Jan. 2010), dass die Schweiz deutlich mehr oxidierten und reduzierten Stickstoff exportiert als importiert.
- Innerhalb eines Kaltluftsees tendiert das PM10 zu einer gleichmässigen Verteilung. In dessen Randregionen können meteorologische Bedingungen und chemische Prozesse zur Produktion von sekundären Partikeln führen, welche von den Stickoxidquellen entkoppelt ist.

## 9. Partikelemissionen [13]

- Verkehrs- und Schadstoffmessungen 2008 im Gubristtunnel.
- Bestimmung der Emissionsfaktoren von kurzen und langen Fahrzeugen in der richtungsgetrennten Südröhre des Gubristtunnels.
- Mittlere Fahrzeuggeschwindigkeit: 95 km/h
- Mittlere Geschwindigkeit der Luft (in Fahrtrichtung): 26 km/h
  
- **Zitat aus [13] zum Allgemeinen Prinzip von Messung und Auswertung:**
  - "Mechanische Tunnellüftung vollständig ausser Betrieb (Abschlussklappen der Ventilatoren geschlossen), natürliche Längslüftung durch die Kolbenwirkung der Fahrzeuge. Zeiten mit Lüftungsbetrieb werden in der Auswertung nicht berücksichtigt.
  - Messung der Tunnelluftkonzentrationen kurz nach dem Einfahrtsportal und vor dem Ausfahrtsportal der Südröhre (Differenzmessung). Die Tunnelluft enthält alle bis zur Messstelle im Tunnel angefallenen Abgasemissionen.
  - Berechnung des Luftvolumenstroms aus der Messung der Strömungsgeschwindigkeit im Tunnel. Für Zeiten mit fehlender Messung wird dieser Wert aus den Verkehrsmengen und den Fahrzeuggeschwindigkeiten berechnet.
  - Bestimmung der massgebenden Verkehrsdaten, dabei wird die Zeitverzögerung durch die ausserhalb des Tunnels liegende Verkehrszählstelle berücksichtigt.
  - Berechnung der mittleren Emissionsfaktoren pro Fahrzeug. Die Daten der Schadstoffkonzentration werden aufgrund der Strömungsgeschwindigkeit im Tunnel und der gefahrenen Fahrzeuggeschwindigkeit durch bestmögliche Annäherung den Verkehrsdaten zugeordnet."



- Entwicklung der Emissionsfaktoren gem. Gubristmessung seit 1990:

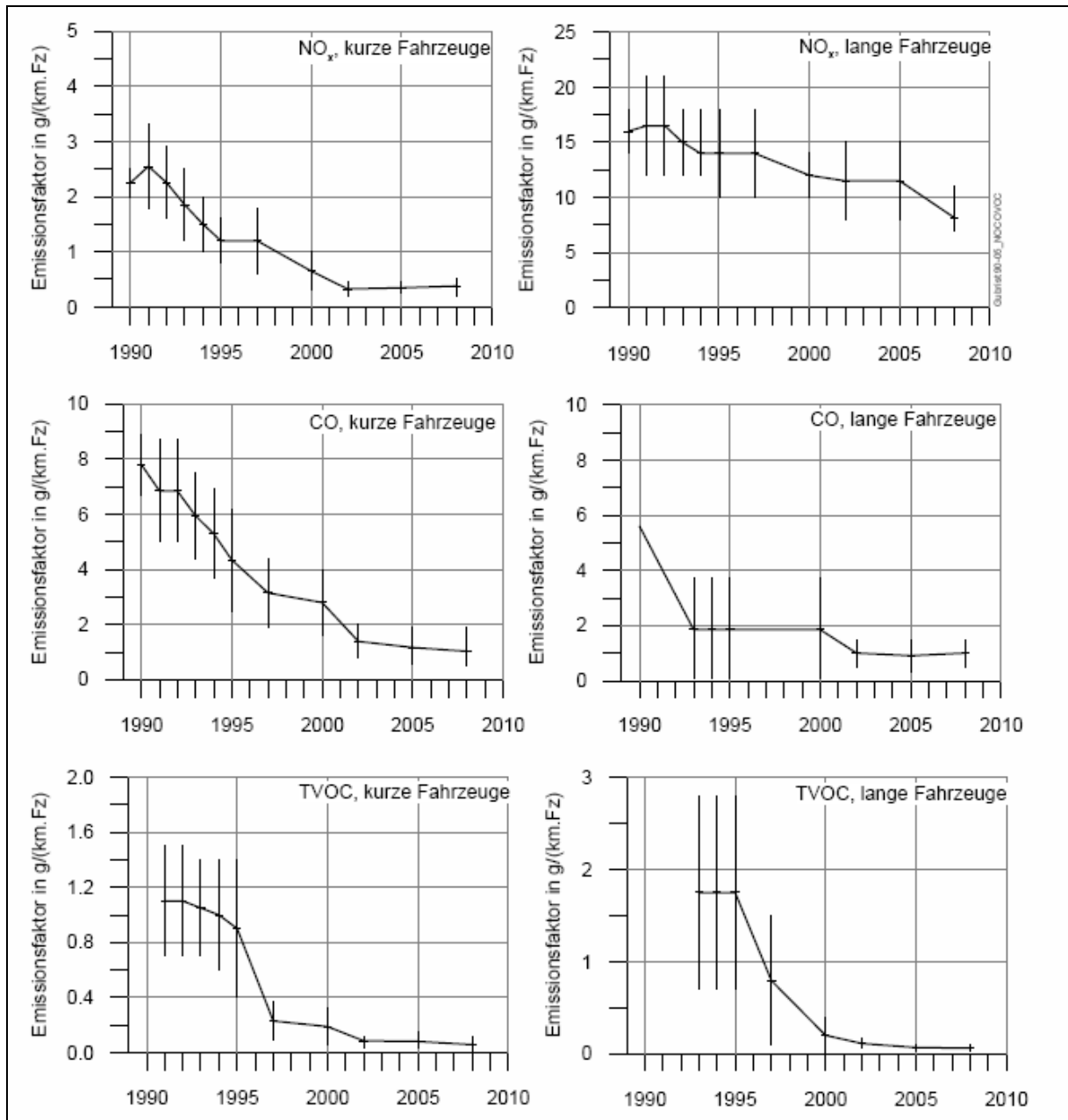
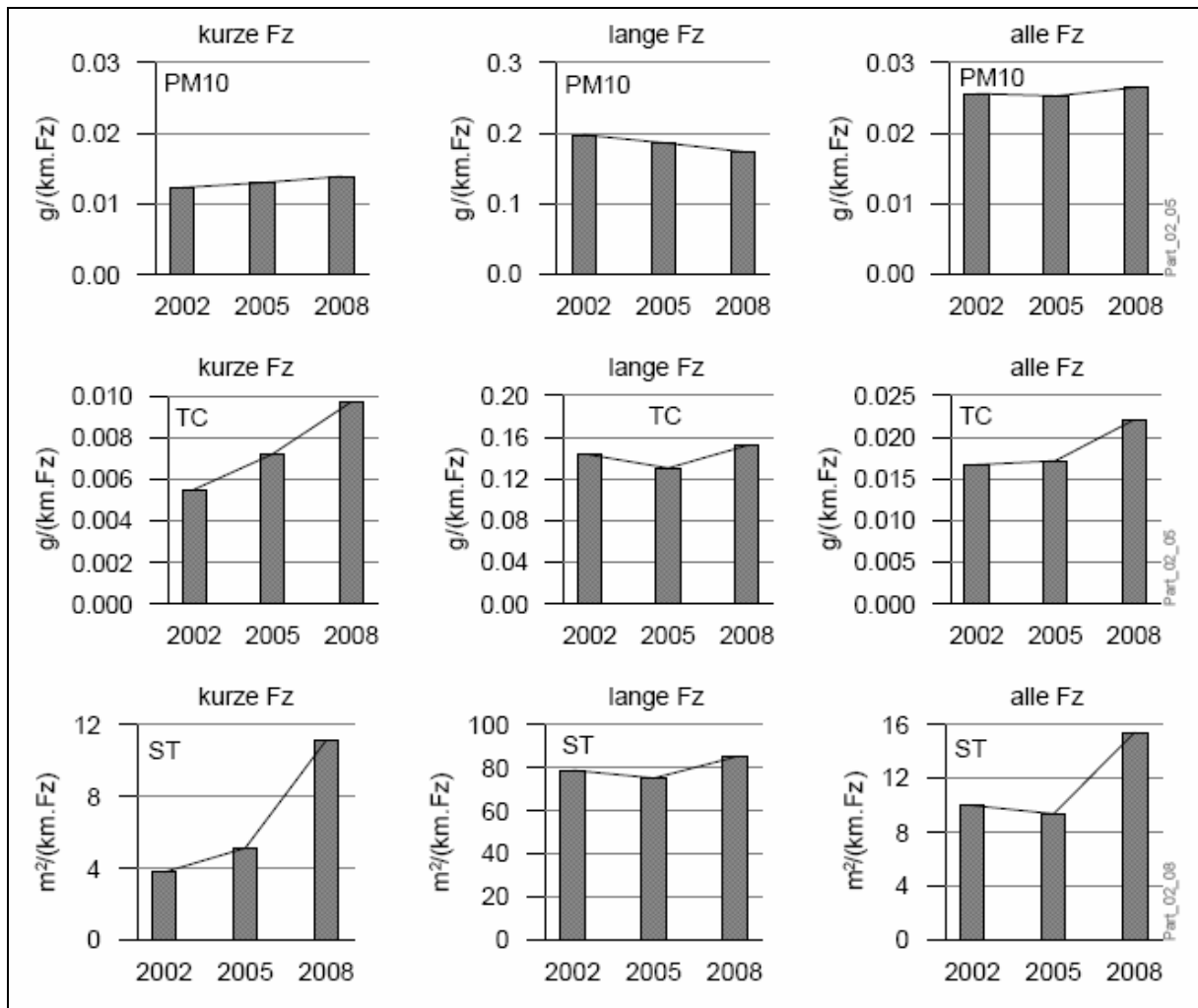


Abbildung 9.1: Entwicklung der Emissionsfaktoren für NO<sub>x</sub>, CO und TVOC bei den Messungen in der Südöhre des Gubristunnels seit 1990 mit Angabe der Streubreite und differenziert nach kurzen Fahrzeugen (links) und langen Fahrzeugen (rechts). Quelle [13]



**Abbildung 9.2: Vergleich der Messungen von 2002 bis 2008 der PM10-, Totaler Kohlenstoff (TC)- und Sichttrübungs(ST)-Emission im Gubristunnel. Quelle [13]**

- Bei NO<sub>x</sub>, CO und TVOC markanter Rückgang der EFA (Emissionsfaktoren) seit 1990, bei langen Fahrzeugen beim NO<sub>x</sub> geringer. Seit 2002 nur mehr geringe Abnahme, ausser lange Fahrzeuge beim NO<sub>x</sub>.
- Bei den partikelbezogenen Emissionen Zunahme seit 2002, ausser beim PM10 der langen Fahrzeuge. Sichttrübung: Mass für die Ultrafeinpartikel (Russ; grosse opazitive Wirksamkeit).

- Vergleich mit EFA (Emissionsfaktoren) gem. HBEFA 2.1:
  - Fahrzyklus AB\_100 mit Referenzgeschwindigkeit 103 km/h für Pw und 86 km/h für schwere Güterfahrzeuge, Steigung +1.3%.
  - Abweichungen der Messungen der EFA von den Handbuchwerten:

**Tabelle 9.1: Abweichungen der Emissionsmessungen im Gubristtunnel 2008 von den EFA des HBEFA 2.1: Quelle [13]**

Stoff	Kurze Fz	Lange Fz
NOx	-17%	-1%
CO (starke Streuung)	-64%	?
TVOC (starke Streuung)	0%	ca. -80%
PM10 (ohne Einbezug von Abrieb und Wiederaufwirbelung im HB)	+14%	+2%
TC (Gesamt-Kohlenstoff) (starke Streuung)	-19%	-11%

- Die Fahrgeschwindigkeit relativ zur umgebenden Luft ist um 26 km/h geringer als die Geschwindigkeit auf der Strasse (Kolbenwirkung). Andererseits gibt es negative aerodynamische Effekte durch die Tunnelwände (Erhöhung des Strömungswiderstandsbeiwertes  $c_w$  der Fahrzeuge), und die Motordrehzahl entspricht der Fahrgeschwindigkeit. Jedenfalls sollten Vergleiche mit EFA gemäss Handbuch zurückhaltend beurteilt werden.

## 10. Literatur

- [1] MOHR, C.; WEIMER, S.; GOOD, C.; RICHTER, R.; PREVOT, A. S.H.; BALTENSBERGER, U.; (2009), *Mobile Messungen der Partikelzusammensetzung im Rheintal und in der Stadt Zürich (Winter 2007/2008)*, Paul Scherrer Institut (Villigen), 87.  
Datei: 1\_MobMsgRheintal&ZH.pdf
- [1a] MALY P.; MOHR, C.; WEIMER, S.; GOOD, C.; DeCARLO, P.; PREVOT, A. S.H.; BALTENSBERGER, U.; (2009), *Partikelzusammensetzung im Rheintal und in der Stadt Zürich*, Beitrag zum Messtechn. Kolloquium Goslar, 5.  
Datei: 1a\_MTK\_2009\_Beitrag.pdf
- [1b] CHIRICO, R.; WEIMER, S.; RICHTER, R.; PREVOT, A. S.H.; BALTENSBERGER, U.; (2009), *Spatial Gradients of Particle Composition in the Rhine Valley*, 3.  
Datei: 1b\_ETHZ-Poster\_Chirico\_2007.pdf
- [2] SZIDAT, S.; (2005), *<sup>14</sup>C-Messungen: Tests und Resultate*, Labor für Radio- und Umweltchemie Universität Bern, 29.  
Datei: 2\_c14 - szidat\_cerclair\_meeting0905.pdf
- [2a] SZIDAT, S.; (2005), *<sup>14</sup>C Projekt*, interner Statusbericht.  
Datei: 2a\_c14 - PSI\_2009\_May\_status.pdf
- [2b] SZIDAT, S.; (2005), *Quellenzuordnung von anthropogenen und biogenen organischen Aerosolen mittels <sup>14</sup>C*, Labor für Radio- und Umweltchemie Universität Bern und des Paul Scherrer Institut (Villigen), 17.  
Datei: 2b\_\_Szidat\_EMPATagung2006.pdf
- [3] PREVOT, A. S.H.; ALFARRA, R.; SZIDAT, S.; WEHRLI, M.; LANZ, V.; WEIMER, S.; SYNAL, H-A.; SANDRADEWI, J.; BALTENSBERGER, U.; (2006), *Feinstaub in Reiden und Sedel im Januar/Februar 2006*, Labor für Atmosphärenchemie, Paul Scherrer Institut, Uni Bern, EMPA (Dübendorf), PSI/ETH Zürich, 27.  
Datei: 3\_Feinstaub Reiden Sedel Jan Feb 2006.pdf

- [4] EMPA. (GEHRIG, R.); (2009), *Zusätzliche Partikelmessungen im NABEL Bericht über die Messungen 2008*, EMPA (Dübendorf)-Bericht Nr. 203'056/9 vom Juni 2009, 18.  
Datei: 4\_Partikel-Bericht\_NABEL\_2008.pdf
- [4a] GEHRIG, R.; (2006), *Ergänzende Partikelmessungen im NABEL PM1, PM2.5 und Partikelanzahl*, Beitrag zur EMPA-Tagung Jan 2006, 25.  
Datei: 4a\_Gehrig\_\_EMPATagung2006.pdf
- [5] HUEGLIN, C.; GEHRIG, R.; BALTENSBERGER, U.; GYSEL, M.; MONN, C.; VONMONT, H.; (2005), *Chemical characterisation of PM2.5, PM10 and coarse particles at urban, near-city and rural sites in Switzerland*, EMPA (Dübendorf), Paul Scherrer Institut (Villigen), University of Manchester Institute of Science and Technology Manchester UK, ETH (Zurich), *in Atmospheric Environment* 39 (2005), 637-65118.  
Datei: 5\_ChemicalCharPM2005.pdf
- [6] THUDIUM, J.; SCHUMACHER, E.; (2006), *Hohe PM10-Immissionen im Januar und Februar 2006*, Oekoscience AG, 78.  
Datei: 6\_Be\_PM10JanFeb2006\_V2.pdf
- [7] SIEGRIST, F.; (2005), *OSTLUFT Workshop Wintersmog 26. Oktober 2006, Zusammenfassung für Cercl'Air 30. November 2006*, Ostluft und Frasuk, 6.  
Datei: 7\_CerclAir OSTLUFT Wintersmog Siegrist Fazit.pdf
- [8] EMPA. (GEHRIG, R.); (2008), *Polyaromatische Kohlenwasserstoffe im PM10 an ausgewählten Stationen des NABEL 2006 und 2007 sowie im Misox 2007*, EMPA (Dübendorf)-Bericht Nr. 203'056/7 vom Juni 2008, 14.  
Datei: 8\_NABEL\_PAH-Bericht2007.pdf
- [9] EMPA. (GEHRIG, R.); (2009), *Polyaromatische Kohlenwasserstoffe im PM10 an ausgewählten Stationen des NABEL sowie im Misox, Messbericht 2008*, EMPA (Dübendorf)-Bericht Nr. 203'056/11 vom Juni 2009, 13.  
Datei: 9\_NABEL\_PAH-Bericht2008.pdf
- [10] THUDIUM, J.; CHELALA, C.; (2009), *Partikel in der Bündner Luft Eine Zusammenfassung bisheriger Untersuchungen*, Oekoscience AG, 48.  
Datei: 10\_GR\_PartikelOverview2009.pdf

- [11] BUKOWIECKI, N.; DOMMEN, J.; PREVOT, A. S.H.; RICHTER, R.; WEINGARTNER, E.; BALTENSBERGER, U.; (2002), *A mobile pollutant measurement laboratory—measuring gas phase and aerosol ambient concentrations with high spatial and temporal resolution*, Paul Scherrer Institut (Villigen), in *Atmospheric Environment* 36 (2002) 5569–5579.  
Datei: 11\_bukowiecki\_atmosenviron\_2002.pdf
- [12] BUKOWIECKI, N.; DOMMEN, J.; PREVOT, A. S.H.; WEINGARTNER, E.; BALTENSBERGER, U.; (2003), *Fine and ultrafine particles in the Zürich (Switzerland) area measured with a mobile laboratory: an assessment of the seasonal and regional variation throughout a year*, Paul Scherrer Institut (Villigen), in *Atmospheric Chemistry and Physics* 3 (2003) 1477–1494.  
Datei: 12\_bukowiecki\_ACP\_2003.pdf
- [13] STEINEMANN, U.; ZUMSTEG, F.; (2009), *Verkehrs- und Schadstoffmessungen 2008 im Gubristtunnel*, US+FZ, Bericht: US 89 - 16 – 13, 38.  
Datei: 13\_Gubristmessungen\_2008.pdf
- [13a] AWEL, Ostluft. (2006), *Verkehrs- und Schadstoffmessungen 2005 im Gubristtunnel Zusammenfassung*, 3.  
Datei: 13a\_Gubrist\_Bericht\_2005\_Zusammenfassung\_2
- [14] BRODER, B.; Emch+Berger.; (2006), *Belastung Feinstaub im Bodensee-raum, Grundlagenbericht zu Emissionen-Immissionen-Massnahmen*, Internationale Bodenseekonferenz, Kommission Umwelt, 98.  
Datei: 14\_IBK-U PL Luft PM10 Bericht 2006-09-06 TOP 4-2.pdf
- [15] Ostluft. (2007), *Partikelimmissionen Ostschweiz/ Liechtenstein Modell und Resultate*, Schlussbericht der Arbeitsgemeinschaft Ostluft / Infrac / Meteo-test, Zürich/Bern, 44.  
Datei: 15\_OSTLUFT-Partikelmodell-070706\_awel.pdf
- [16] Ostluft. (2006), *OSTLUFT Workshop Wintersmog, Zusammenstellung der Folien*, 26. Oktober 2006, 37.  
Datei: 16\_Workshop 261006 Folienzusammenstellung.ppt
- [17] Strategie-Diskussion Ostluft. (2005)  
Datei: 17\_OL\_Strategie2005\_Partikeldiskussion.pdf

- [18] HOFFMANN, T.; ZETZSCH, C.; ROSSI M.J.; (2007), *Chemie von Aerosolen*, in Chem. Unserer Zeit, 2007, 41, 232 – 246.  
Datei: 18\_Hoffmann\_Chemie von Aerosolen\_2007.pdf
- [19] CHARRON, A.; HARRISON, R.M.; (2003), *Primary particle formation from vehicle emissions during exhaust dilution in the roadside atmosphere*, The University of Birmingham (UK), in Atmospheric Environment 37 (2003) 4109–4119.  
Datei: 19\_Harrison4109-4119.pdf
- [19a] PREVOT, A.S.H. et al.; (2005), *AEROWOOD (Aerosols from wood burning versus other sources)*, Labor für Atmosphärenchemie, Paul Scherrer Institut, Uni Bern, 6.  
Datei: 19a\_Aerowood\_summary\_final.pdf
- [20] MALY, P.; (2005), *RUSS-Monitoring an Standorten mit hohem Anteil Strassenverkehr*, Bericht Ostluft, 9.  
Datei: 20\_BE\_RUSS\_2005.PDF
- [20a] MALY, P.; SCHLATTER, S.; MEIER, A.; BAUR, H-J.; (2005), *RUSS-Monitoring an Standorten mit hohem Anteil Strassenverkehr*, Ostluft, 31.  
Datei: 20a\_OL\_Diesel\_Zusammenfassung0511.pdf
- [21] BRUNNER, J.; (2007), *Partikelimmissionen in der Stadt Zürich*, Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Beitrag zum Focus-Event „Feinpartikel in urbaner Luft“ 11th ETH Conference on Combustion Generated Nanoparticles, 15. August 2007, 31.  
Datei: 21\_2007\_08\_15\_PartikellmmZürich\_folien.pdf
- [22] BRUNNER, J.; (2008), *Feinstaub PM10 Messgerätevergleich*, Vergleich verschiedener Messmethoden im Rahmen der Ringkontrolle Cercl’Air 2007, Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ), Beitrag zur OSTLUFT Vollversammlung 2008, 15. Mai 2008, 14.  
Datei: 22\_2008\_05\_27\_OSTLUFT PM10 Vergleich.pdf
- [23] AWEL. (2009), *Partikelanzahlmessungen auf Schiffen der ZSG*, 10.  
Datei: 23\_Partikelmessung ZSG.pdf

- [24] WEIMER, S.; ALFARRA, M.R.; SCHREIBER, D.; MOHR, M.; PREVOT, A.S.H.; (2006), *Characterisation of the mass spectra of fine particulate matter from wood burning emissions*, Laboratory for internal combustion engines, EMPA (Dübendorf) und Paul Scherrer Institut (Villigen) , 2.  
Datei: 24\_ETHZ-Poster\_Weimer\_2007WB.pdf
- [25] BECKBISSINGER, J.; (2009), *Feinstaubmessungen FL, Messbericht Messungen in Schaan 2008*, Acontec, 18.  
Datei: 25\_PM10\_Bericht Schaan 2008\_ENTWURF.pdf
- [26] STRAEHL, P.; (2006), *Warum befassen wir uns mit Feinstaub ?*, BAFU, Beitrag zur EMPA-Tagung Jan 2006, 28.  
Datei: 26\_Straehl\_EMPATagung2006.pdf
- [27] Untersuchung des Einflusses der Feinstaubbelastung (PM10) auf die notfallmässigen Spitaleinweisungen in den Jahren 2001 bis 2006, Kantonale Umweltfachstellen, u.a. AWEL Zürich, 2009.
- [28] Luftbilanz Stadt Zürich, Resultate der flächendeckenden Messkampagne 2008, UGZ Zürich, 2009.
- [29] Zusammenfassung Wintersmog 2007, ACP, OSTLUFT, 2007.
- [30] Hohe PM10-Werte ausserhalb von Quellengebieten, OSTLUFT, 2007.



# 11. Überblick der im OSTLUFT-Gebiet durchgeführten Partikelmessungen

Tabelle 11.1: Auflistung der im OSTLUFT-Gebiet durchgeführten Partikelmessungen ausserhalb der PM10-Routinemessungen:

Auflistung der im OSTLUFT-Gebiet durchgeführten Partikelmessungen										
	Stadt Zürich	Region Zürich	Rheintal	Bodenseeraum	Liechtenstein	Tänikon				
1998	[4] [4,5]									
1999	[4] [4,5]	[21]								
2000	[4]	[21]								
2001	[4] [11]	[*]								
2002	[4] [2,4]	[12]								
2003	[2,4]	[*]		[14]						
2004	[4]	[20,*]		[14]			[*]			
2005	[4]	[*]		[14]			[*]			
2006	[2,4]	[21]	[10]				[*]			[4]
2007	[1,4]	[21,*]	[1]		[25]		[*]	[2]		[4]
2008	[4] [1,2,4]	[*]	[1]		[*]		[*]			[4]
2009	[*]	[23]	[*]		[*]		[*]			[*]

PM-Masse
Partikelzusammensetzung
Partikelanzahl/-grössenverteilung
Russ

[\*] : Bericht in Vorbereitung