

Zusätzliche Partikelmessungen im NABEL Bericht über die Messungen 2014

Messbericht

Andrea Fischer und Christoph Hüglin

Empa, Abteilung Luftfremdstoffe/Umwelttechnik
Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf

Dübendorf, November 2015

Impressum

Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Luftreinhaltung und Chemikalien,
Sektion Luftqualität, 3003 Bern

Auftragnehmer: Empa, Abt. Luftfremdstoffe/Umwelttechnik
Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf

Autoren: Andrea Fischer, Christoph Hüglin

Kontakt: andrea.fischer@empa.ch

Dieser Bericht ist abrufbar unter: www.bafu.admin.ch/luft
www.empa.ch/nabel

Dübendorf, November 2015

Inhalt:

1	<i>Einleitung</i>	4
2	<i>Messprogramm, Messmethodik</i>	4
3	<i>Resultate der gravimetrischen Feinstaub- und der Partikelanzahlmessungen</i>	8
4	<i>Literatur</i>	23

1 Einleitung

Umfassende nationale und internationale Studien belegen eindeutig die schädlichen Auswirkungen der Feinstaubbelastung auf die menschliche Gesundheit. Neben PM₁₀ wird auch die feinere Fraktion PM_{2.5} als Indikator für die Feinstaubbelastung verwendet. Weltweit (WHO 2013) und in Europa (Europäische Union 2008) hat aus diesen Gründen PM_{2.5} in der Vergangenheit stark an Bedeutung gewonnen. An ausgewählten NABEL-Standorten werden daher bereits seit 1998 zusätzlich zu den routinemässigen PM₁₀-Feinstaubmessungen gravimetrische PM_{2.5}-Messungen durchgeführt. Da eine zunehmende Besorgnis über spezifische Gesundheitseffekte von ultrafeinen Partikeln besteht, wird zudem seit einigen Jahren an verschiedenen NABEL-Stationen die Anzahlkonzentration ultrafeiner Partikel gemessen. Dieser Bericht gibt eine Übersicht über das Messprogramm, die angewendeten Messverfahren und über die Resultate der durchgeführten Messungen in der Messperiode 1998 - 2014.

2 Messprogramm, Messmethodik

Tabelle 1 zeigt eine Aufstellung jener NABEL-Stationen, an denen zusätzliche Partikelmessungen seit 1998 durchgeführt werden. Eine detaillierte Beschreibung der NABEL-Stationen betreffend Lage und Umgebung findet sich im Technischen Bericht zum NABEL (Empa 2015), welcher unter www.empa.ch/nabel verfügbar ist.

Tabelle 2 gibt einen Überblick über das Programm der ergänzenden Partikelmessungen an den einzelnen Stationen. Nicht alle Messreihen decken den gesamten Zeitraum seit 1. Januar 1998 ab. Das Start- resp. das End-Datum der Messreihen ist jeweils in der Tabelle ersichtlich. PM₁₀-Messungen wurden an einzelnen Stationen im Zeitraum 1998 – 2013 durchgeführt.

Methodisch erfolgen die gravimetrischen Messungen nach den Vorgaben der entsprechenden europäischen Normen EN 12341 (CEN 2014). Als Probenahmekopf für die PM₁₀-Messungen wurde ein zweistufiger Impaktor verwendet. Dieser besteht aus einem PM_{2.5}-Einlass und einem zusätzlichen PM₁₀-Abscheider, bei welchem Anzahl und Durchmesser der Impaktordüsen so dimensioniert sind, dass nach den in Hinds (1999) beschriebenen Prinzipien ein Cut-point von 10 µm resultiert.

Eine aktuelle Beschreibung aller im NABEL verwendeten Methoden findet sich im Technischen Bericht zum NABEL (Empa 2015). Ab dem Zeitpunkt der Inbetriebnahme der PM-Monitoren (Betameter resp. TEOM-FDMS) bis Ende April 2010 wurden die gravimetrischen PM₁₀-Messungen vorübergehend auf Probenahmen jeden 4. Tag reduziert. Während dieser Zeit wurden die PM₁₀-Tageswerte aus den Monitordaten sowie den verbleibenden gravimetrischen

Tageswerten berechnet. Die Einzelheiten dieser Methode sind in Gehrig *et al.* (2005) beschrieben.

Wegen der hohen lufthygienischen Bedeutung der PM10-Messung war dieses Messkonzept nicht befriedigend und es wurden deshalb ab Mai 2010 im NABEL wieder tägliche gravimetrische PM10-Messungen durchgeführt (Chaumont und Tänikon ab November 2010). Da der personelle Aufwand nicht erhöht werden konnte, werden als Kompensation die gravimetrischen PM2.5 und PM1-Messungen nur noch jeden 4. Tag durchgeführt. Für das Übergangsjahr 2010 hatte dies zur Folge, dass die PM2.5- und PM1-Jahresmittelwerte nicht durch einfache Mittelung aller Tageswerte berechnet werden konnten, da sonst die Periode Januar – April übergewichtet worden wäre. Die Jahresmittelwerte 2010 wurden deshalb aus den Monatsmittelwerten berechnet. Analog wurde auch für die Berechnung der mittleren Verhältnisse der Tageswerte (PM2.5/PM10 und PM1/PM10) die Gewichtung so angepasst, dass keine Übergewichtung der Periode Januar - April resultierte.

In den vergangenen Jahren hat PM2.5 als Kenngrösse der Feinstaubbelastung stark an Bedeutung gewonnen (Europäische Union, 2008) und daher wurden ab 2011 PM2.5-Messungen an den Stationen Dübendorf-Empa, Lugano-Universität, Härkingen-A1 und Magadino-Cadenazzo ins Messprogramm aufgenommen. Seit März 2014 werden an den Stationen Bern, Dübendorf, Lugano und Zürich wieder täglich gravimetrische PM2.5-Messungen durchgeführt. An den restlichen Stationen (Basel, Härkingen, Magadino, Payerne und Rigi) finden weiterhin Probenahmen an jedem 4. Tag statt.

Da PM1 hochkorreliert mit PM2.5 ist, wurden die Messungen von PM1 an den Stationen Basel-Binningen, Bern-Bollwerk, Lugano-Universität und Rigi-Seebodenalp per Ende 2010 beendet. An den letzten beiden Stationen Härkingen-A1 und Payerne wurden die Messungen per Ende 2013 eingestellt.

Die Messungen der Partikelanzahl werden mit Kondensationskernzählern des Typs TSI 3775 an den Stationen Basel-Binningen, Bern-Bollwerk, Härkingen-A1, Lugano-Universität, Rigi-Seebodenalp und Zürich-Kaserne durchgeführt. Während vier Jahren (2003 – 2006) wurde auch am Standort Chaumont die Partikelanzahl gemessen. Die angesaugte Probeluft wird zunächst durch eine butanoldampfgesättigte Kammer geleitet, dabei kondensiert Butanol auf den durchgeleiteten Partikeln. Die Kondensation bewirkt die Vergrösserung der Partikel auf eine optisch erfassbare Grösse. Die Zählung der Partikel erfolgt bis zu einer Konzentration von 50'000 Partikel/cm³ im Einzelzählmodus, bei höheren Konzentrationen durch Messung der gesamten Streulichtintensität und Umrechnung auf Partikelkonzentrationen mit Hilfe einer Kalibrierfunktion (photometrischer Modus). Ausser an den Stationen Rigi-Seebodenalp, Basel-Binningen und Zürich-Kaserne wird an allen Stationen die Probeluft mit Hilfe einer speziellen Verdünnungseinheit aufbereitet. An den Standorten Bern und Härkingen beträgt das Verdünnungsverhältnis 1:20, am Standort Lugano 1:3. Durch diese Probenaufbereitung können

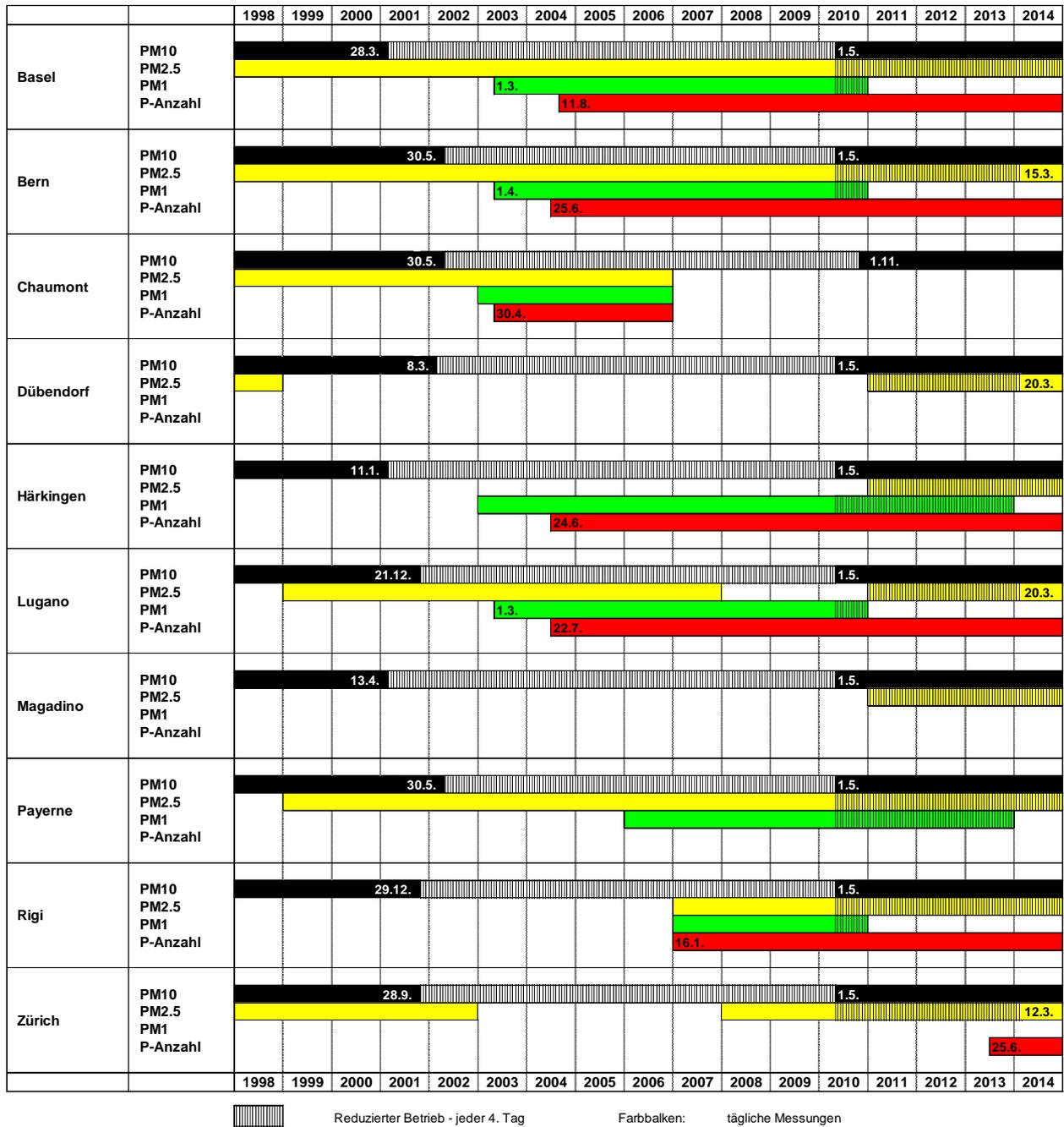
die Geräte weitestgehend im Einzelzählmodus betrieben werden. Erfasst werden Teilchen mit einem Durchmesser grösser als etwa 4 nm. Der obere Cut-point der Probenahme spielt keine Rolle, solange er über rund 1 µm liegt, da die Partikelanzahlen von den submikronen kleineren Partikeln um Grössenordnungen dominiert werden.

In Härkingen wurde für die Messungen der Partikelanzahlkonzentrationen vom 27.11.2008 bis zum 23.3.2011 eine Ansaugleitung mit 1/8-Zoll Durchmesser verwendet, vorher und nachher eine solche mit ¼-Zoll Durchmesser. Die Verwendung von verschiedenen Durchmessern hat möglicherweise einen Einfluss auf die Messwerte: Einerseits werden bei einem kleineren Durchmesser die Diffusionsverluste verringert, andererseits steigt die Gefahr einer Verschmutzung der Ansaugleitung (z.B. durch Insekten) wodurch Partikelverluste ansteigen können. Festzuhalten ist, dass es für die Messung der Partikelanzahlkonzentration noch keine Referenzmethode gibt. Eine solche wird zurzeit durch eine Arbeitsgruppe des Europäischen Komitees für Normung (CEN) erarbeitet. Das wichtigste Element der Qualitätssicherung der Messung von Partikelanzahlkonzentrationen im NABEL ist die jährliche Rückführung der Messgeräte auf einen Kondensationskernzähler, welcher regelmässig durch das Eidgenössische Institut für Metrologie (METAS) zertifiziert wird und der ausschliesslich für diese Vergleichsmessungen eingesetzt wird.

Tab. 1: Charakterisierung der NABEL-Stationen mit zusätzlichen Partikelmessungen

Basel-Binningen	BAS	Vorstädtisch; am Stadtrand auf dem Gebiet der Gemeinde Binningen
Bern-Bollwerk	BER	Städtisch, verkehrsbelastet; direkt an Hauptverkehrsachse, ca. 3 m vom Strassenrand in einer Strassenschlucht
Chaumont	CHA	Ländlich, oberhalb 1000 m ü.M.
Dübendorf-Empa	DUE	Vorstädtisch; ca. 150 m von Hauptverkehrsstrasse
Härkingen-A1	HAE	Ländlich, Autobahn; ca. 20 m nördlich der Autobahn A1
Lugano-Università	LUG	Städtisch; in relativ offener Hofsituation
Magadino-Cadenazzo	MAG	Ländlich, unterhalb 1000 m ü.M.
Payerne	PAY	Ländlich, unterhalb 1000 m ü.M.
Rigi-Seebodenalp	RIG	Ländlich, oberhalb 1000 m ü.M.
Zürich-Kaserne	ZUE	Städtisch; Hofsituation, nicht unmittelbar verkehrsbelastet

Tab. 2: Zeitlicher Überblick über das Programm der ergänzenden Partikelmessungen



3 Resultate der gravimetrischen Feinstaub- und der Partikelanzahlmessungen

Die Jahresmittelwerte 2014 der PM10- und PM2.5-Konzentrationen sowie der Partikelanzahlkonzentrationen sind in Tabelle 3 dargestellt. Abbildung 1 gibt einen grafischen Überblick über die Jahresmittel 2014 der Massenkonzentrationen (siehe Abb. 1 oben) und der Partikelanzahlkonzentrationen (siehe Abb.1 unten). Um einen korrekten Vergleich der PM10-Konzentrationen mit den PM2.5-Konzentrationen zu gewährleisten, wurden für die Berechnung des PM10-Jahresmittels nur die Tageswerte jedes 4. Tages verwendet (d.h. nur Tage mit PM2.5-Messungen). Die Differenzen zu den andernorts publizierten vollständigen PM10-Jahresmitteln sind nur gering und liegen durchwegs unterhalb $0.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Für das Übergangsjahr 2014 wurden auch für die vier PM2.5-Stationen (Bern, Dübendorf, Lugano und Zürich), an denen im März auf tägliche Probenahme umgestellt wurde, für die Berechnung des PM2.5-Jahresmittels nur die Tageswerte jedes 4. Tages verwendet.

Auffallend sind die im Vergleich zu den Massenkonzentrationen (PM10 und PM2.5) deutlich grösseren relativen Unterschiede der Anzahlkonzentrationen zwischen belasteten und weniger belasteten Standorten. So beträgt z.B. das Verhältnis der mittleren Partikelanzahlkonzentrationen von Härkingen und Rigi rund 7.4 gegenüber lediglich rund 2.3 für PM10 und PM2.5. Dieser Befund illustriert die räumlich viel ausgeprägtere Variabilität der massenmässig nicht relevanten ultrafeinen Partikel (Partikeldurchmesser $< 100 \text{ nm}$) in unmittelbarer Quellennähe (Verkehr).

Abbildung 2 zeigt als Vergleich die langjährigen Verläufe der Jahresmittelwerte für PM10, PM2.5 und PM1, wobei die PM1-Messungen an allen Stationen per Ende 2013 eingestellt wurden. An allen Stationen wurde eine klare Abnahme der PM10- und der PM2.5-Massenkonzentration für das Jahr 2014 beobachtet und es wurden für alle Stationen die jeweils tiefsten Jahresmittelwerte seit Beginn der Messreihen registriert. Gegenüber den hohen Werten im Jahre 2003 weisen die aktuellen Jahresmittelwerte ungefähr die Hälfte auf. Erstmals sind die Jahresmittelwerte aller NABEL-Stationen unter dem Grenzwert von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Stationen die in den vergangenen Jahren jeweils im Bereich des Grenzwertes lagen (Härkingen, Lugano, Magadino, Zürich) weisen einen Jahresmittelwert von $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf.

Die auffallend tiefen Jahresmittelwerte 2007 und 2008 der Massenkonzentrationen PM10, PM2.5 und PM1 an der Station Bern sind durch den stark verminderten Verkehr am Bollwerk während des Umbaus des Bahnhofplatzes beeinflusst (Bauarbeiten von Mitte 2007 bis Mitte 2008). Interessant ist die Tatsache, dass ab 2009 nach der Wiederfreigabe des Verkehrs am Bollwerk, trotz Zunahme der Verkehrsfrequenz auf beinahe die ursprünglichen Werte, die PM-Konzentrationen nicht erneut zunahmten, sondern bis 2012 gesunken sind. Diverse umfangreiche Bauarbeiten unmittelbar in der Nähe der Messstation haben im Jahr 2013 zu einem Anstieg der Massenkonzentrationen geführt. An der Station Bern-Bollwerk wurden 2007

und 2008 zudem vergleichsweise tiefe Partikelanzahlkonzentrationen beobachtet (siehe Abb. 9). Auch hier nahmen die Konzentrationen nach Ende der Bauarbeiten nicht mehr signifikant zu, sondern stagnierten bis 2011. Im Jahr 2012 und 2014 nahmen die Partikelanzahlkonzentrationen nochmals jeweils stark ab, und der aktuelle Jahresmittelwert 2014 am Standort Bern liegt bei $19\,000\text{ Part/cm}^3$. Gegenüber den Jahresmittelwerten am Anfang der Messreihen (2005, 2006) entspricht dies einer Halbierung der Konzentration.

Auch in Härkingen ist zu beachten, dass es einen Einfluss durch umfangreiche Bauarbeiten in unmittelbarer Nähe zur Station (Ausbau der Autobahn auf sechs Fahrspuren; Oktober 2011 – März 2015) auf die Messungen gab.

Wie bei den Jahresmittelwerten ist analog bei der Anzahl von Überschreitungen des PM10-Tagesgrenzwertes von $50\text{ }\mu\text{g/m}^3$ im langjährigen Verlauf eine Abnahme zu verzeichnen (Abb. 3). Im Jahr 2006 führten häufige Inversionswetterlagen im Winter auf der Alpennordseite zu zahlreichen Überschreitungen, seither hat die Anzahl der Grenzwertüberschreitungen generell abgenommen. 2014 wurde eine starke Abnahme an Grenzwertüberschreitungen an allen Stationen verzeichnet, wobei der Standort Bern mit fünf Überschreitungen die höchste Anzahl an Grenzwertüberschreitungen aufwies und an den Stationen Rigi, Chaumont und Magadino keine Überschreitungen registriert wurden.

Die Abbildung 4 sowie die Tabellen 4 und 5 geben einen Überblick über die langjährigen Verläufe der durchschnittlichen PM2.5/PM10 - Verhältnisse der Tageswerte, resp. der Jahresmittelwerte. Als Vergleich dazu sind die entsprechenden Resultate der PM1/PM10 - Verhältnisse der Tageswerte, resp. der Jahresmittelwerte in den Tabellen 6 und 7 zusammengefasst und in Abbildung 5 dargestellt. Die Resultate illustrieren die relativ geringe Bandbreite der Schwankungen dieser Verhältnisse von Station zu Station. Eine Ausnahme bildete bis 2009 die Strassenschlucht in Bern mit deutlich höherem Anteil im Grössenbereich von 2.5 bis $10\text{ }\mu\text{m}$ und entsprechend tieferen Verhältnissen. Allerdings hat sich dieser Unterschied im Laufe der Jahre deutlich verringert und ab 2011 lag das PM2.5/PM10-Verhältnis auch in Bern im Bereich der anderen NABEL-Stationen. Im Jahr 2013 ist das PM2.5/PM10-Verhältnis am Standort Bern, im Gegensatz zu den anderen Standorten, weiter gesunken und nach einem erneuten Abfall 2014 liegt der Wert von 0.6 jetzt wieder im Bereich des bis 2008 beobachteten Wertes. Ein ebenfalls etwas abweichendes Verhalten gegenüber den anderen Stationen wird in Payerne beobachtet. Hier hat sich das bis 2006 stets zwischen 0.71 und 0.78 liegende PM2.5/PM10-Verhältnis der Tageswerte in den Jahren 2007 und 2008 auf etwa 0.6 verringert. Von 2009 bis 2013 hat sich das Verhältnis auf das frühere Niveau von 0.75 erhöht. Nach der Zunahme der mittleren PM2.5/PM10-Verhältnisse im Jahr 2013 an allen Stationen, mit Ausnahme von Bern, wurde für das Jahr 2014 ein starker Abfall an allen Stationen beobachtet.

Im langjährigen durchschnittlichen Verlauf der Monatsmittelwerte der PM2.5/PM10-Verhältnisse (2003 – 2014) zeigen alle Stationen höhere Werte im Winter, wenn auch unterschiedlich

ausgeprägt (siehe Abb. 6). Ähnlich, aber deutlich weniger ausgeprägt sind die Jahregänge der durchschnittlichen PM₁/PM₁₀-Verhältnisse (siehe Abb. 7) in der Zeitperiode 2003 - 2013.

Abbildung 8 zeigt den mittleren Verlauf der Monatswerte 2003-2014 von PM₁₀ und PM_{2.5}, sowie für PM₁ von 2003 - 2013. Für die nicht erhöht gelegenen Stationen zeigt sich der erwartete typische Verlauf mit höheren Konzentrationen in der kalten Jahreszeit aufgrund der im Winter im Durchschnitt stabileren Schichtung der bodennahen Luftmassen mit entsprechend schlechterer Verdünnung der emittierten Schadstoffe. Die erhöhten Stationen Chaumont und Rigi-Seebodenalp, welche im Winter häufig über der Inversionsgrenze liegen, weisen dagegen im Winter tiefere Werte auf als im Sommer.

Den Verlauf der Jahresmittelwerte der Partikelanzahlkonzentrationen seit Beginn der Messreihen zeigt Abbildung 9. Die Verläufe sind an den einzelnen Stationen etwas uneinheitlich, weisen aber generell eine sinkende Tendenz auf. Wie im Abschnitt über Messmethodik bereits erwähnt, wurde in Härkingen vom 27.11.2008 bis 23.03.2011 eine Ansaugleitung mit 1/8-Zoll Durchmesser verwendet, vorher und nachher eine solche mit 1/4-Zoll Durchmesser. Der unterschiedliche Querschnitt der Ansaugleitung hat möglicherweise einen Einfluss auf die gemessenen Werte, kann allerdings den starken Rückgang der Partikelanzahlkonzentration an dieser Station zwischen 2008 und 2009 nicht erklären. Generell fällt auf, dass an den quellennahen Standorten Bern-Bollwerk, Lugano-Università und Härkingen-A1 teilweise grosse Veränderungen der Partikelanzahlkonzentrationen innerhalb von wenigen Jahren zu beobachten sind. Es wird vermutet, dass dies auf Veränderungen der Aktivitäten von Emissionsquellen in unmittelbarer Nähe der Messstationen zurückzuführen ist. Messtechnische Gründe, insbesondere zeitlich variierende Verluste der Probenahme, können allerdings nicht ganz ausgeschlossen werden.

Abbildung 10 und 11 zeigen den Jahresverlauf der Monatsmittelwerte im Jahr 2014, sowie den durchschnittlichen Jahresverlauf der Monatsmittelwerte der Partikelanzahlkonzentration seit Beginn der Messreihen. Qualitativ gleichen sie denen der Massenkonzentrationen (siehe Abb. 8) mit Ausnahme der Station Härkingen, welche einen etwas deformierten Jahresgang aufweist. Der Grund dafür liegt an den Werten im Sommer/Herbst 2004, wo aus nicht geklärten Gründen untypisch hohe Partikelanzahlkonzentrationen gemessen wurden.

Generell zeigen die Resultate der seit Anfang 2007 begonnenen zusätzlichen Partikelmessungen an der Station Rigi-Seebodenalp sehr ähnliche Charakteristika wie die davor gemessenen Werte an der Station Chaumont. Dies heisst, dass durch die Verlegung der zusätzlichen Messungen von Chaumont nach Rigi-Seebodenalp im Zuge der Konzentration des Messprogramms keine wesentlichen Informationen über die Belastung erhöht gelegener Standorte an dieser wichtigen EMEP-Station verloren gehen.

Tab. 3: Jahresmittelwerte 2014 von PM10, PM2.5 und Partikelanzahlkonzentrationen

	PM10* ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	P-Anzahl (Part/ cm^3)
Basel	12.5	9.1	9'692
Bern	18.8	12.1**	18'484
Dübendorf	13.2	9.1**	
Härkingen	14.9	10.3	20'410
Lugano	14.9	10.9**	13'688
Magadino	15.0	10.2	
Payerne	11.1	7.9	
Rigi-SBA	6.4	4.4	2'761
Zürich	13.9	10.0**	12'862

* Um einen korrekten Vergleich der PM10-Konzentrationen mit den nur jeden 4. Tag gemessenen PM2.5-Konzentrationen zu gewährleisten, wurden für die Berechnung des PM10-Jahresmittels ebenfalls nur die Tageswerte jedes 4. Tages verwendet (d.h. nur Tage mit PM2.5-Messungen). Dadurch können geringfügige Abweichungen ($< 0.77 \mu\text{g}/\text{m}^3$) zu den publizierten vollständigen PM10-Jahresmittelwerten auftreten.

** Für das Übergangsjahr 2014 wurden für die Berechnung des PM2.5-Jahresmittels nur die Tageswerte jedes 4. Tages verwendet, da im März 2014 auf tägliche Probenahme gewechselt wurde. Dadurch können geringfügige Abweichungen zu den publizierten vollständigen PM2.5-Jahresmittelwerten auftreten.

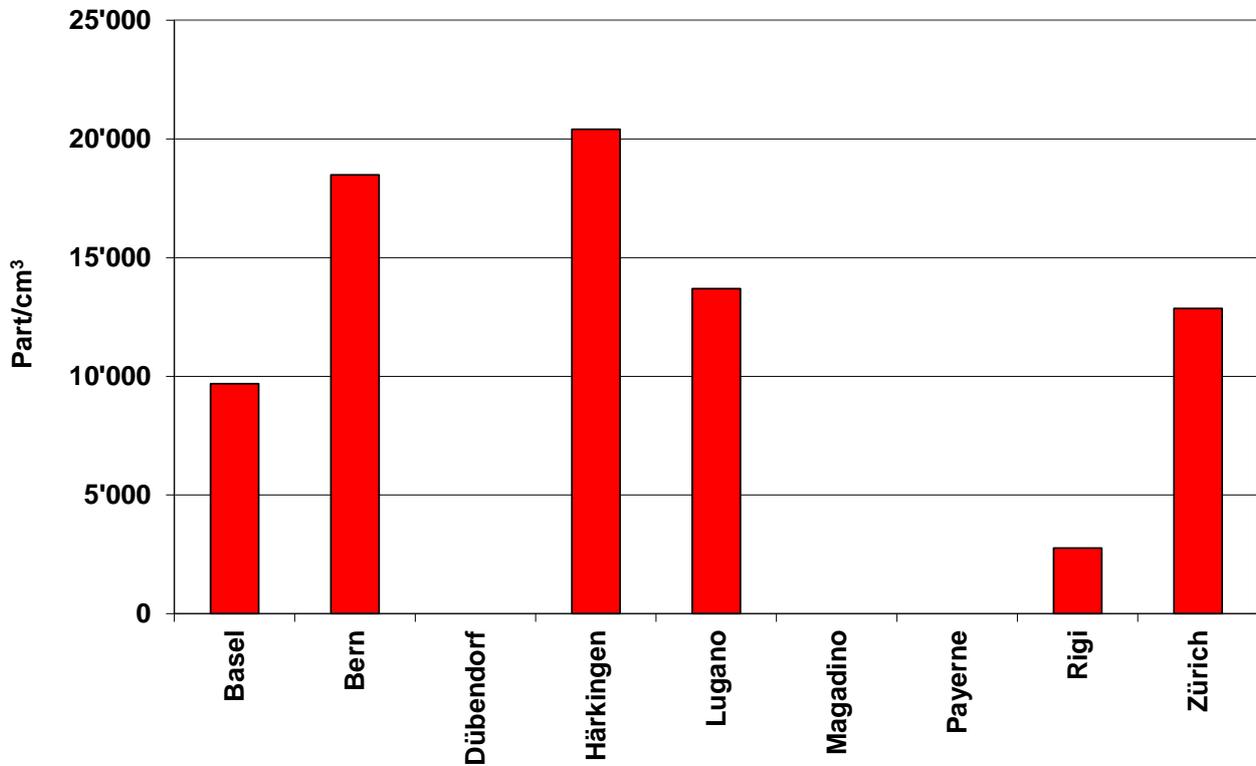
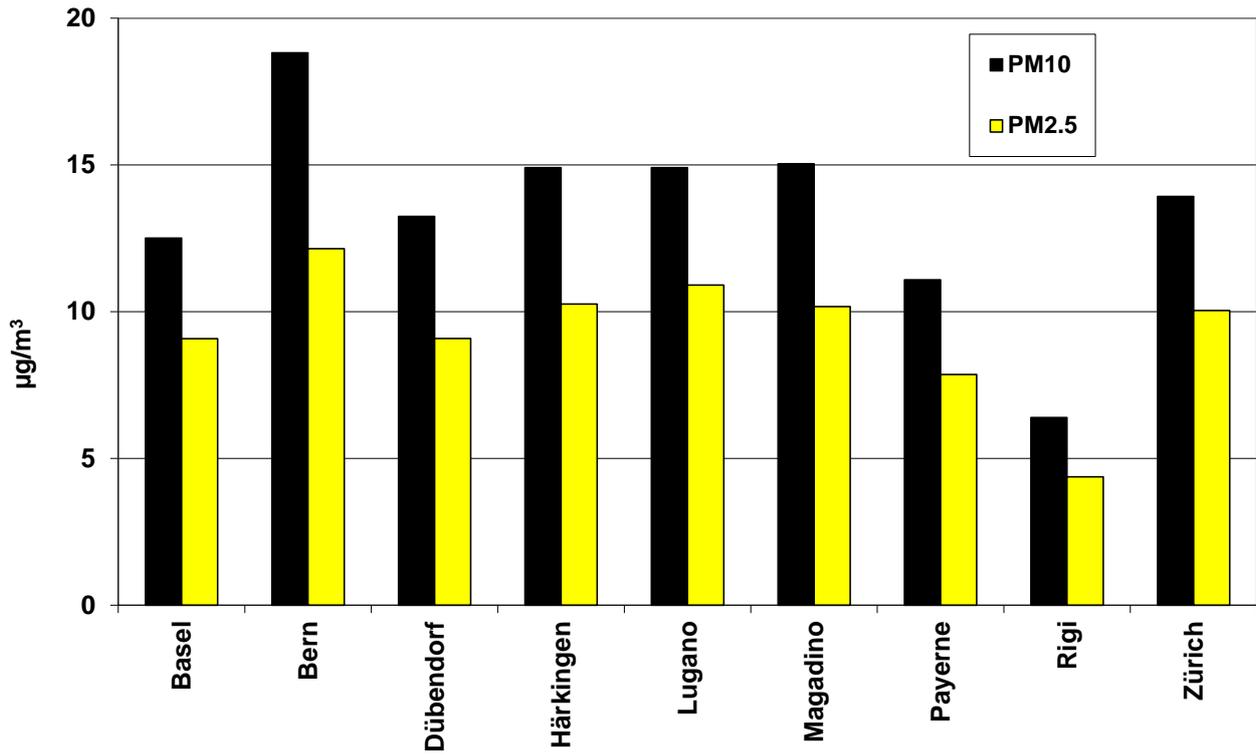


Abb. 1: Übersicht über die Jahresmittelwerte 2014 von PM10 und PM2.5 (oben) und die Jahresmittelwerte 2014 der Partikelanzahlkonzentrationen (unten)

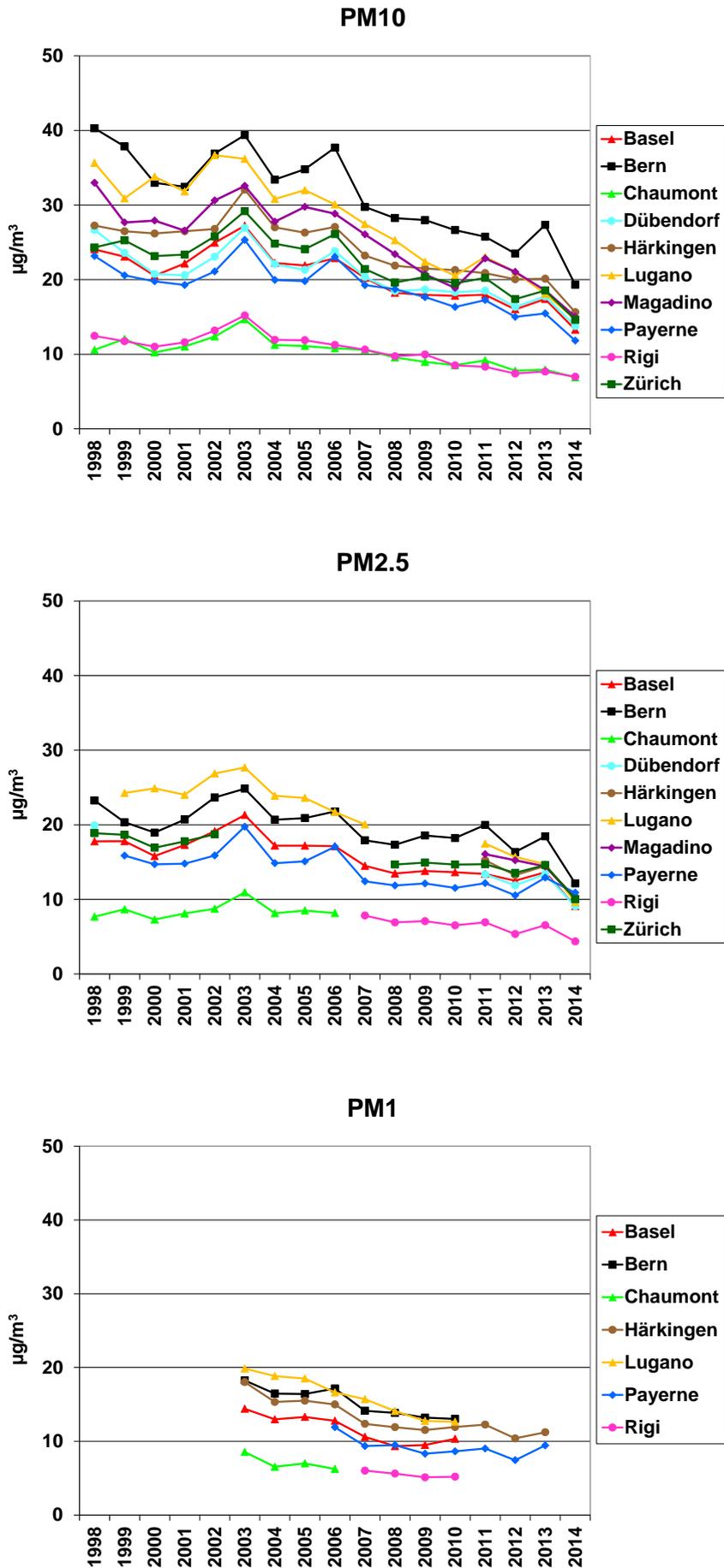


Abb. 2: Langjährige Verläufe der Jahresmittelwerte von PM10, PM2.5 und PM1

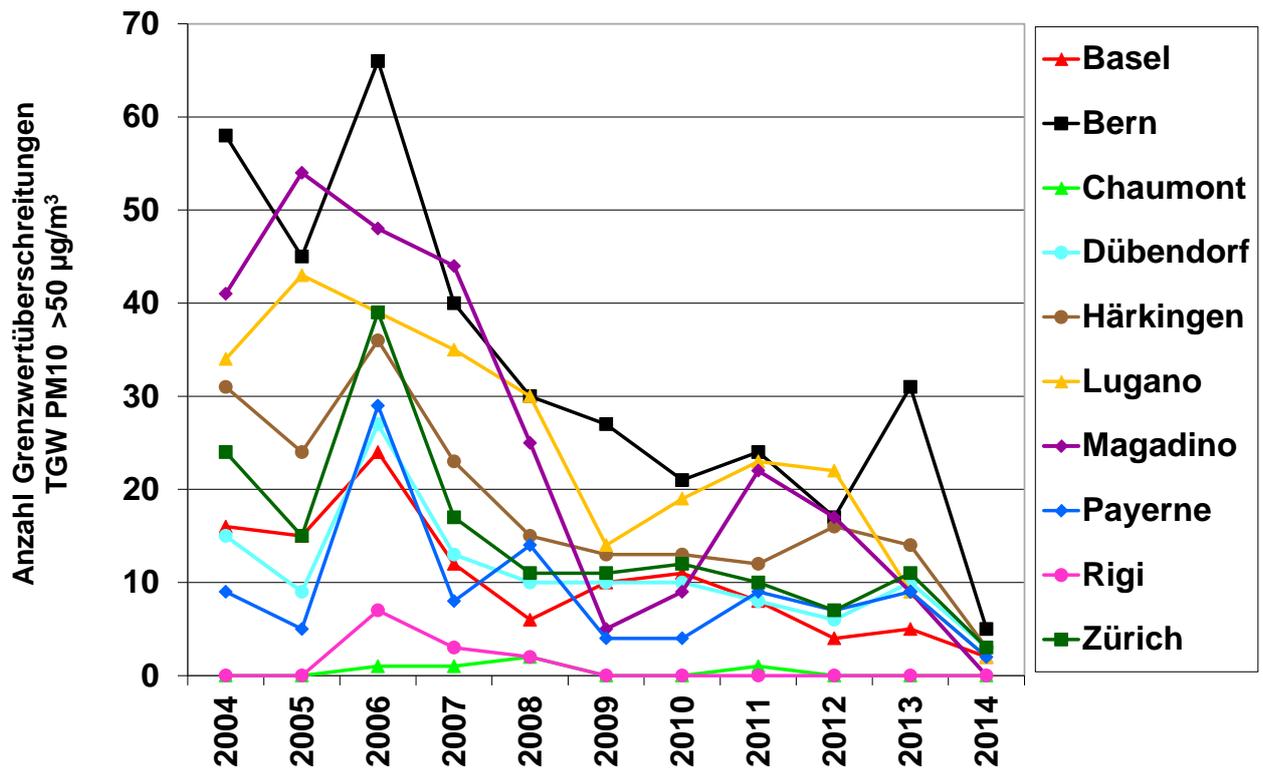


Abb. 3: Langjähriger Verlauf der jährlichen Anzahl Überschreitungen des Tagesgrenzwertes ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

Tab. 4: Mittlere PM2.5/PM10-Verhältnisse der Tagesmittelwerte

	BAS	BER	CHA	DUE	HAE	LUG	MAG	PAY	RIG	ZUE
1998	0.721	0.583	0.744							0.764
1999	0.772	0.551	0.782			0.771		0.777		0.747
2000	0.746	0.585	0.738			0.719		0.725		0.730
2001	0.777	0.646	0.736			0.731		0.757		0.763
2002	0.764	0.637	0.738			0.743		0.740		0.738
2003	0.760	0.643	0.766			0.767		0.751		
2004	0.762	0.622	0.772			0.743		0.716		
2005	0.766	0.618	0.782			0.705		0.733		
2006	0.719	0.578	0.799			0.700		0.711		
2007	0.706	0.607				0.707		0.621	0.754	
2008	0.713	0.613						0.605	0.732	0.720
2009	0.728	0.657						0.657	0.723	0.706
2010	0.772	0.669						0.683	0.815	0.751
2011	0.710	0.764		0.717	0.714	0.729	0.698	0.670	0.761	0.726
2012	0.726	0.688		0.696	0.654	0.716	0.694	0.672	0.701	0.742
2013	0.735	0.660		0.736	0.695	0.759	0.718	0.747	0.781	0.773
2014	0.699	0.599		0.650	0.678	0.674	0.648	0.676	0.725	0.671

Tab. 5: PM2.5/PM10-Verhältnisse der Jahresmittelwerte

	BAS	BER	CHA	DUE	HAE	LUG	MAG	PAY	RIG	ZUE
1998	0.739	0.577	0.725							0.776
1999	0.771	0.538	0.720			0.785		0.772		0.738
2000	0.770	0.575	0.713			0.736		0.744		0.731
2001	0.780	0.638	0.735			0.755		0.767		0.762
2002	0.767	0.641	0.706			0.733		0.753		0.726
2003	0.783	0.631	0.745			0.765		0.780		
2004	0.773	0.619	0.724			0.775		0.744		
2005	0.785	0.601	0.766			0.738		0.763		
2006	0.749	0.578	0.756			0.722		0.740		
2007	0.716	0.602				0.730		0.645	0.738	
2008	0.739	0.613						0.634	0.710	0.748
2009	0.769	0.663						0.687	0.711	0.733
2010	0.765	0.684						0.706	0.767	0.752
2011	0.759	0.789		0.743	0.738	0.768	0.733	0.712	0.798	0.744
2012	0.768	0.709		0.730	0.654	0.757	0.740	0.713	0.745	0.776
2013	0.784	0.675		0.756	0.720	0.813	0.777	0.835	0.852	0.788
2014	0.684	0.629		0.659	0.656	0.741	0.677	0.664	0.626	0.687

Tab. 6: Mittlere PM1/PM10-Verhältnisse der Tagesmittelwerte

	BAS	BER	CHA	LUG	PAY	HAE	RIG
2003	0.572*	0.535*	0.619	0.615		0.600	
2004	0.591	0.497	0.656	0.605		0.591	
2005	0.599	0.494	0.670	0.574		0.602	
2006	0.572	0.473	0.631	0.546	0.539	0.559	
2007	0.534	0.485		0.557	0.504	0.527	0.618
2008	0.498	0.488		0.562	0.504	0.536	0.631
2009	0.517	0.469		0.554	0.463	0.528	0.565
2010	0.567	0.482		0.626	0.514	0.572	0.695
2011					0.515	0.584	
2012					0.513	0.528	
2013					0.600	0.561	
2014	**	**	**	**	**	**	**

* unvollständige Messreihen, siehe Tabelle 2

** 2014 PM1-Messungen eingestellt

Tab. 7: PM1/PM10-Verhältnisse der Jahresmittelwerte

	BAS	BER	CHA	LUG	PAY	HAE	RIG
2003	0.529*	0.463*	0.581	0.548*		0.562	
2004	0.583	0.493	0.581	0.611		0.567	
2005	0.607	0.471	0.631	0.578		0.589	
2006	0.559	0.455	0.579	0.553	0.516	0.554	
2007	0.523	0.475		0.572	0.485	0.532	0.567
2008	0.512	0.490		0.558	0.506	0.544	0.576
2009	0.529	0.471		0.570	0.471	0.536	0.514
2010	0.579	0.489		0.616	0.528	0.561	0.610
2011					0.527	0.593	
2012					0.503	0.501	
2013					0.610	0.592	
2014	**	**	**	**	**	**	**

* unvollständige Messreihen, siehe Tabelle 2

** 2014 PM1-Messungen eingestellt

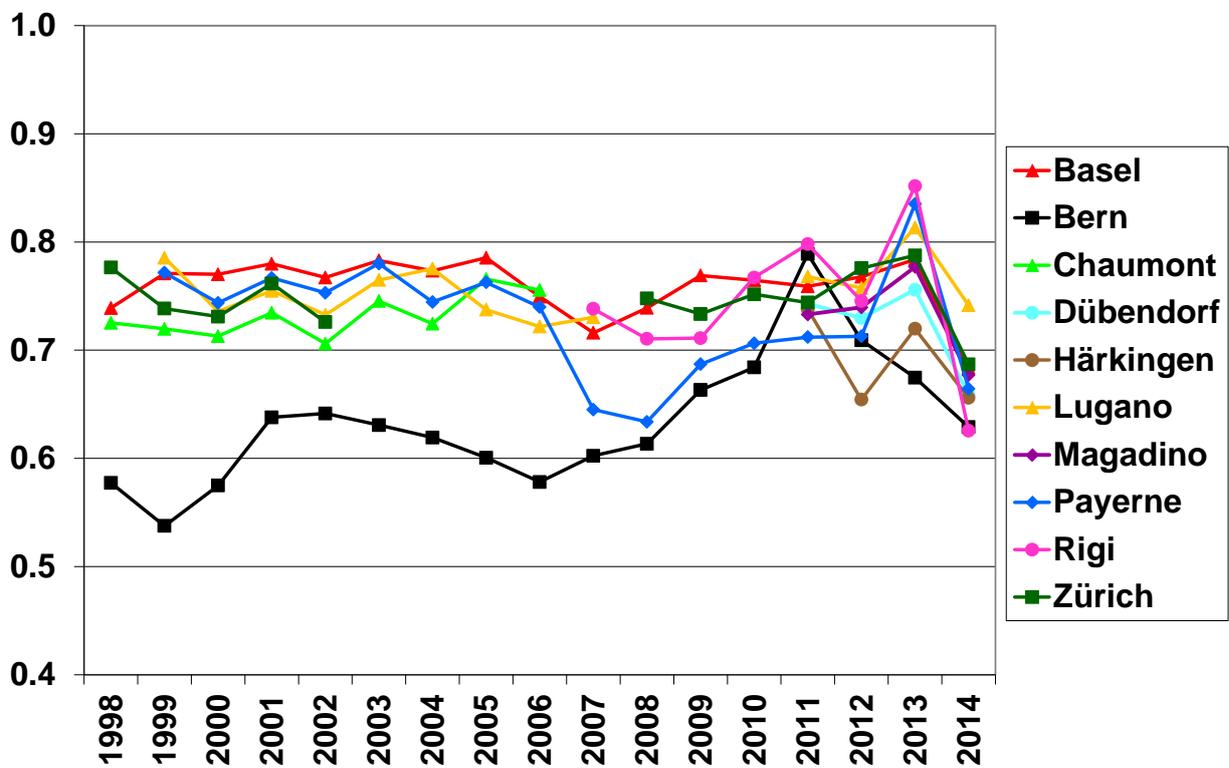
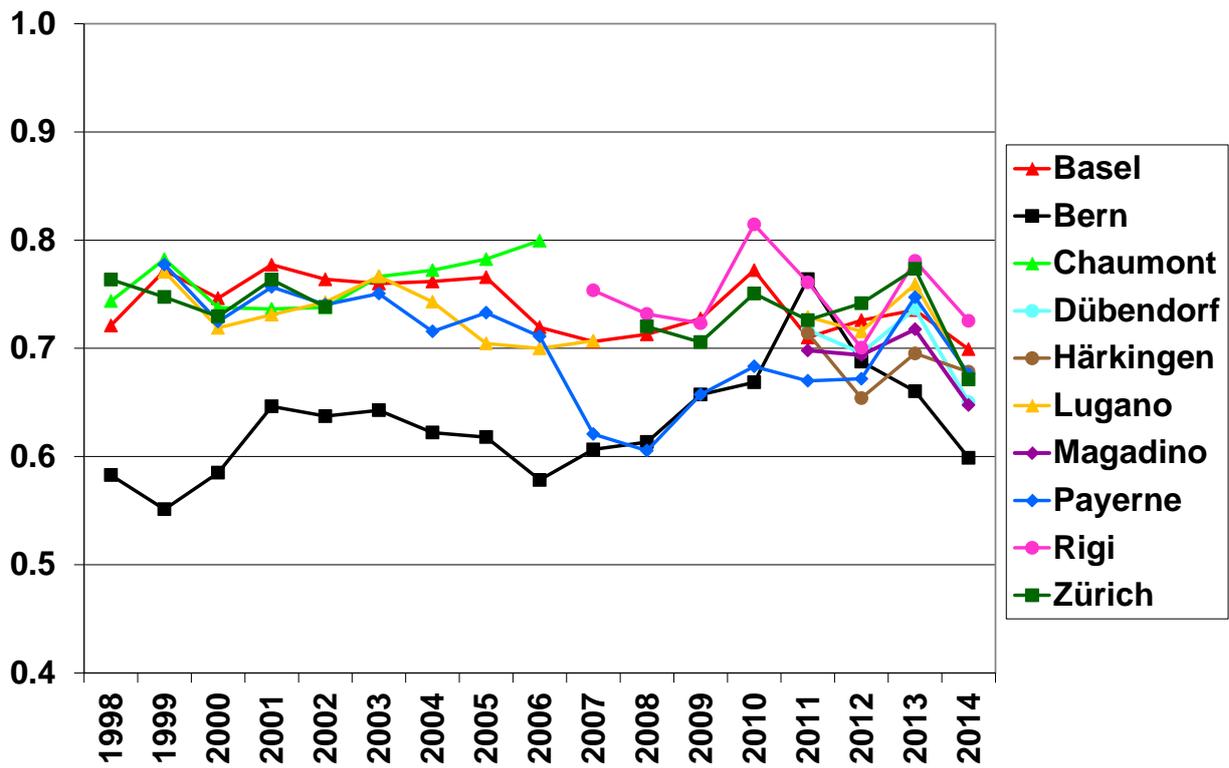


Abb. 4: Langjähriger Verlauf der mittleren PM2.5/PM10-Verhältnisse der Tageswerte (oben) und der PM2.5/PM10-Verhältnisse der Jahresmittelwerte (unten)

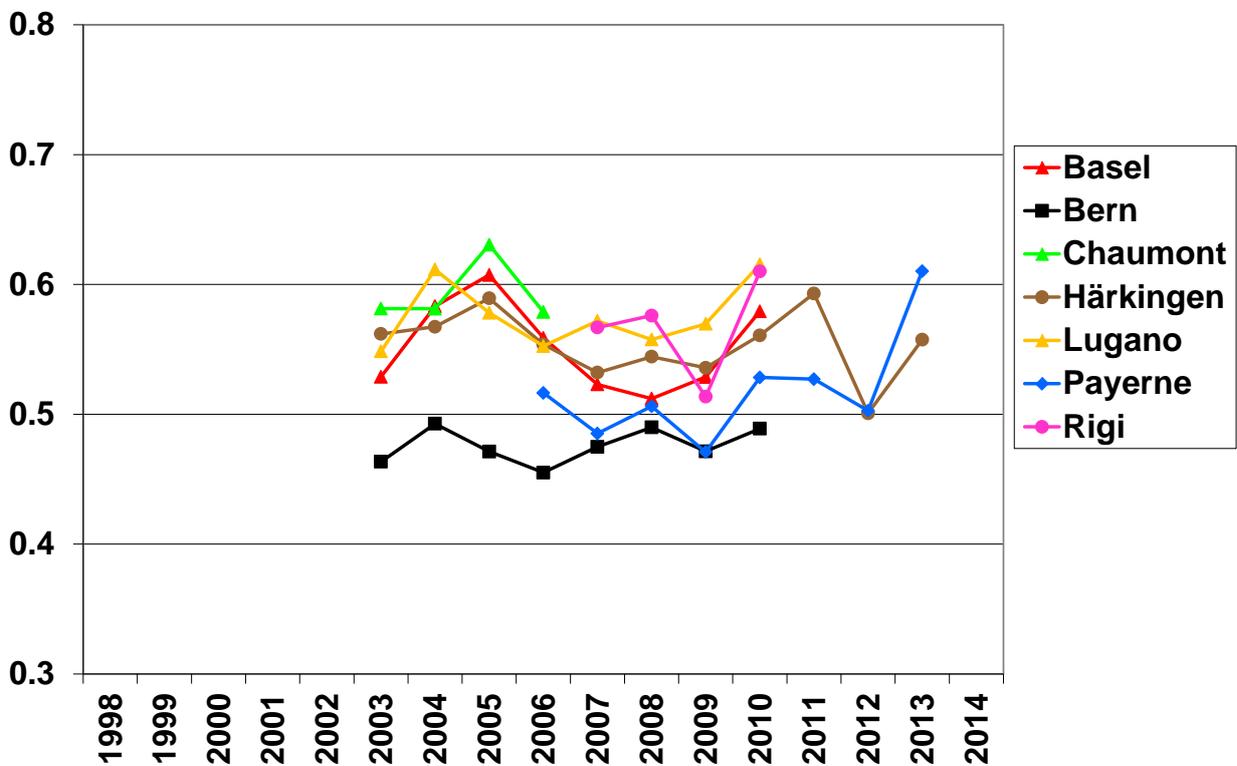
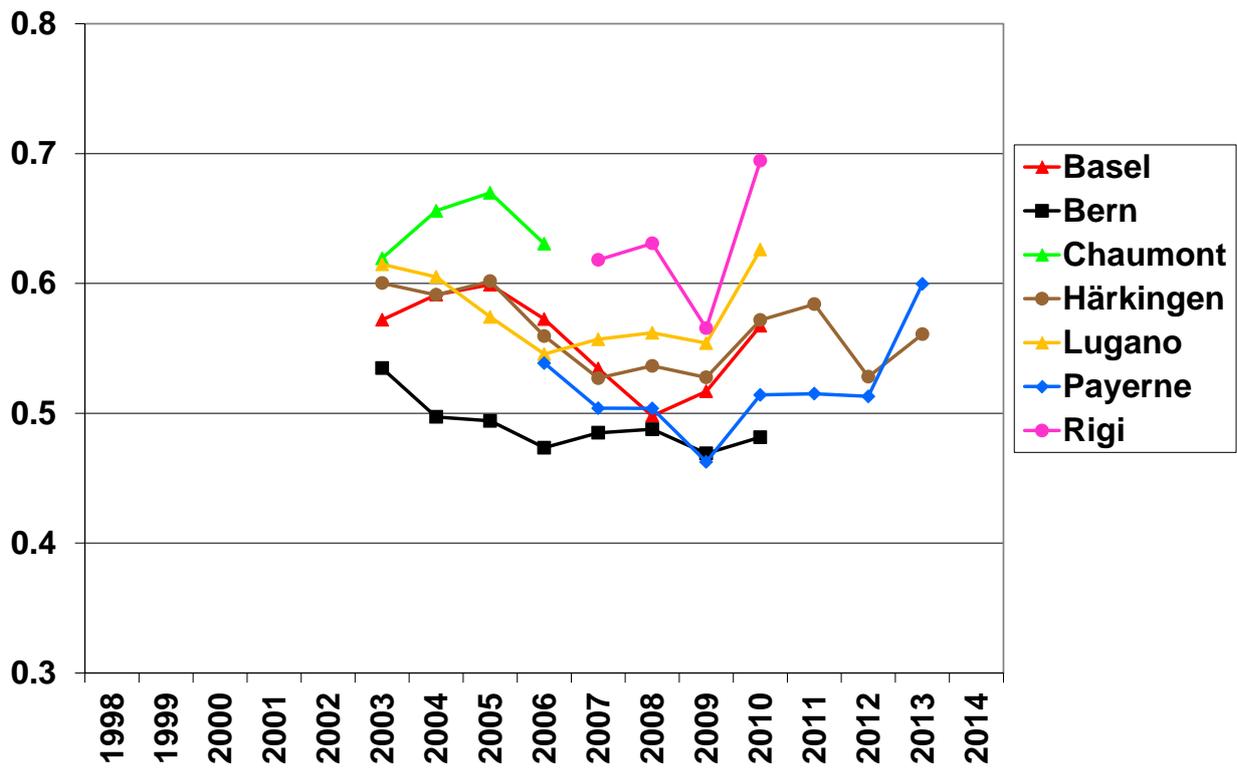


Abb. 5: Langjähriger Verlauf der mittleren PM1/PM10-Verhältnisse der Tageswerte (oben) und der PM1/PM10-Verhältnisse der Jahresmittelwerte (unten)

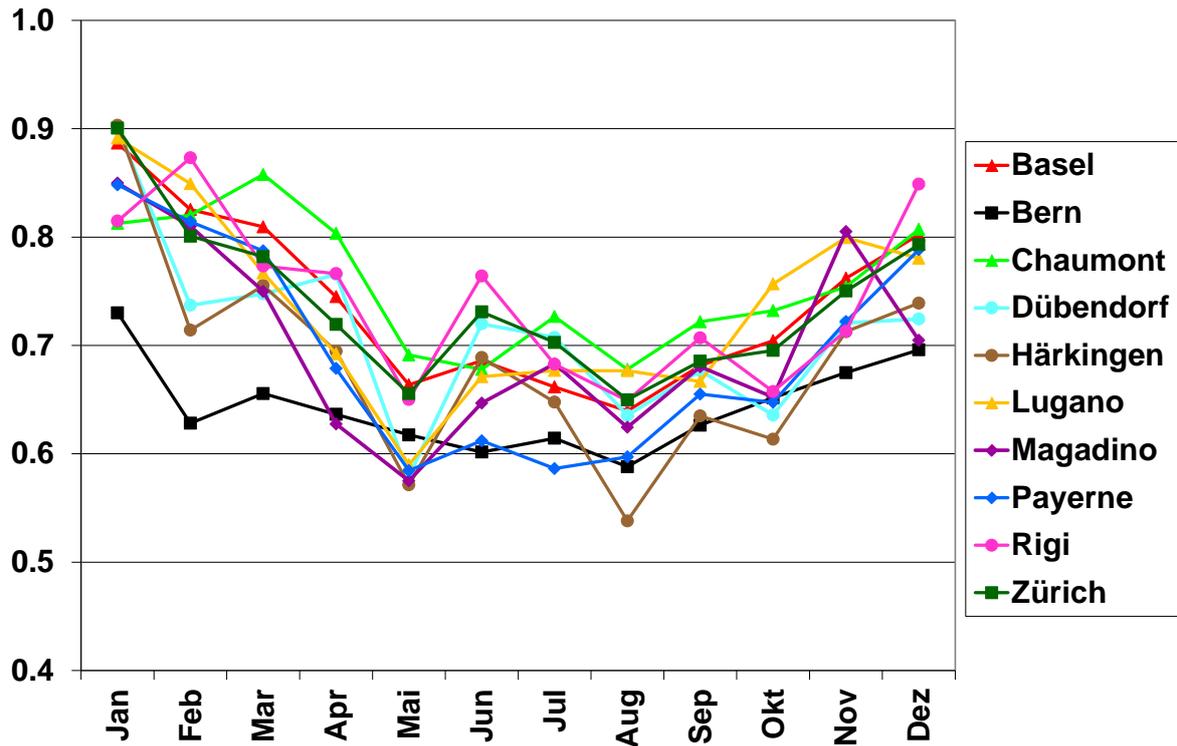


Abb. 6: Durchschnittlicher Jahresverlauf der Monatsmittelwerte der PM2.5/PM10-Verhältnisse in der Zeitperiode 2003- 2014

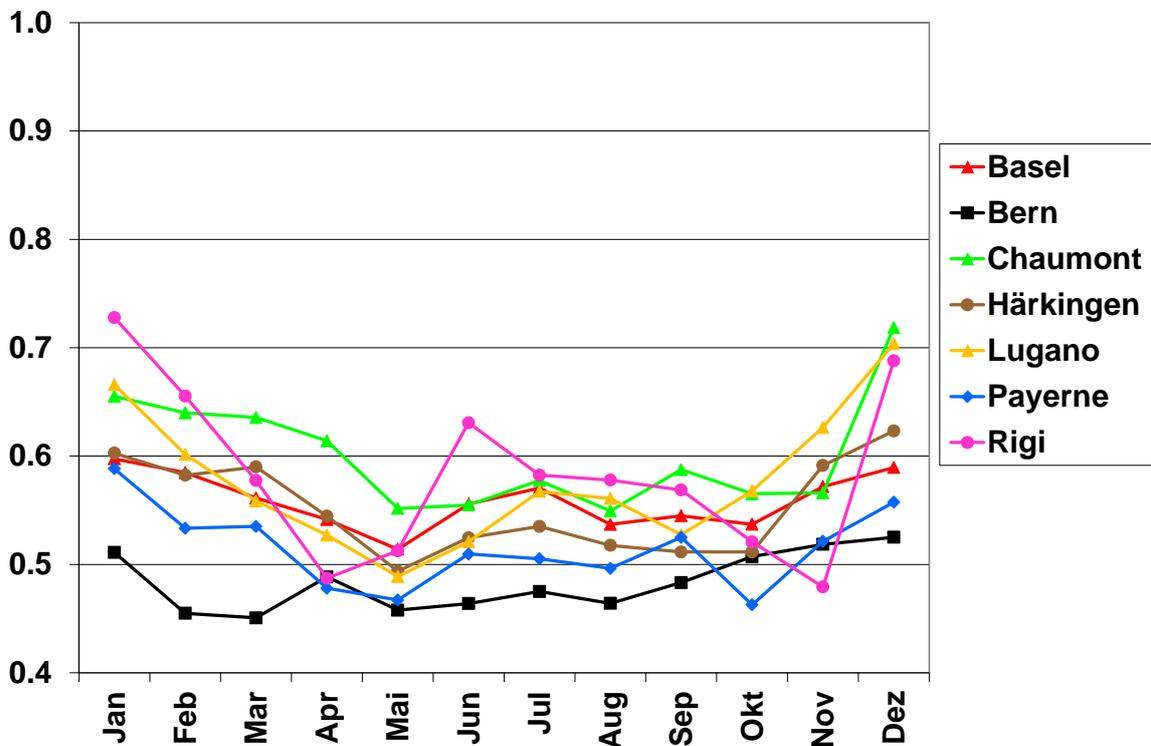


Abb. 7: Durchschnittlicher Jahresverlauf der Monatsmittelwerte der PM1/PM10-Verhältnisse in der Zeitperiode 2003- 2013

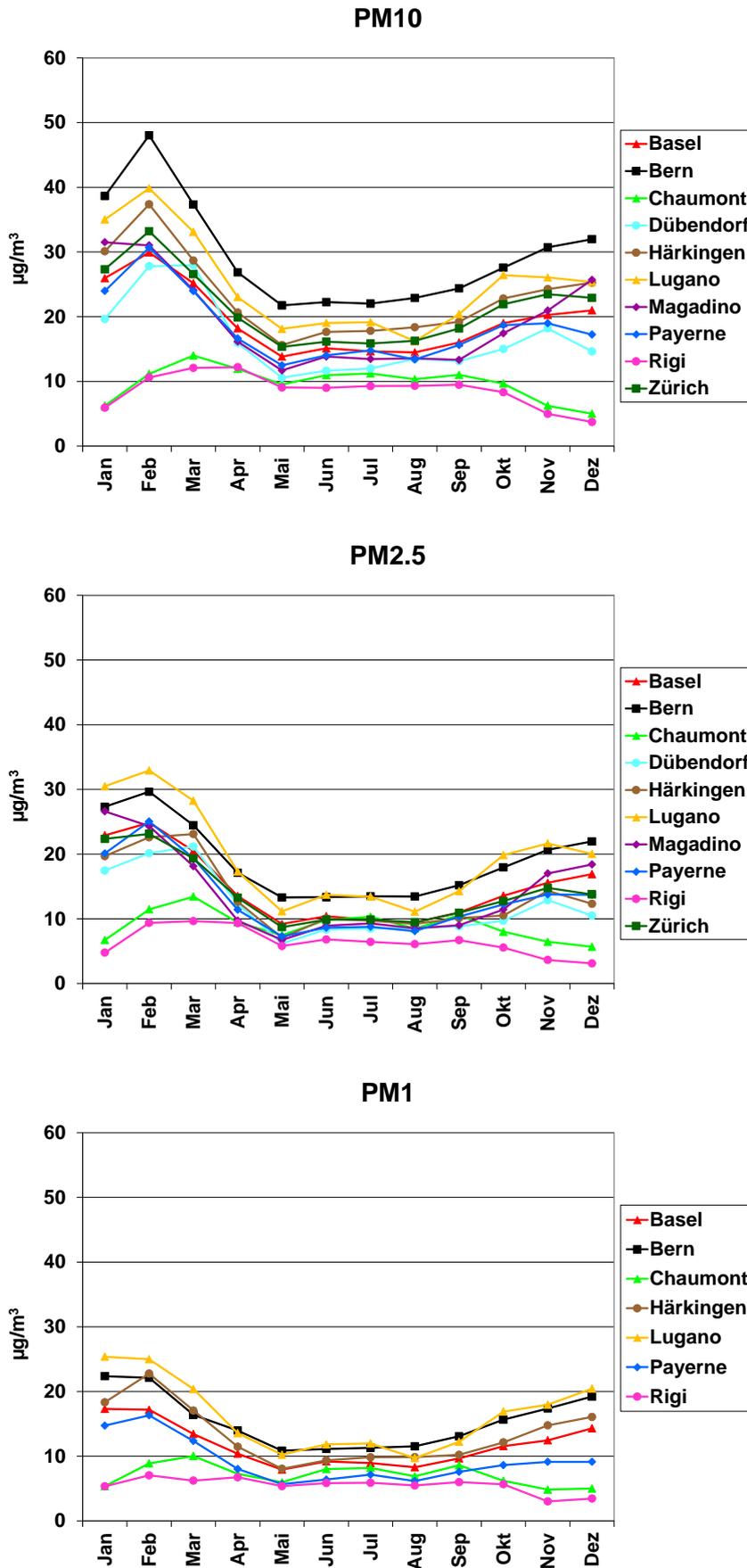


Abb. 8: Mittlerer Verlauf der Monatswerte ab 2003 von PM10, PM2.5 und PM1

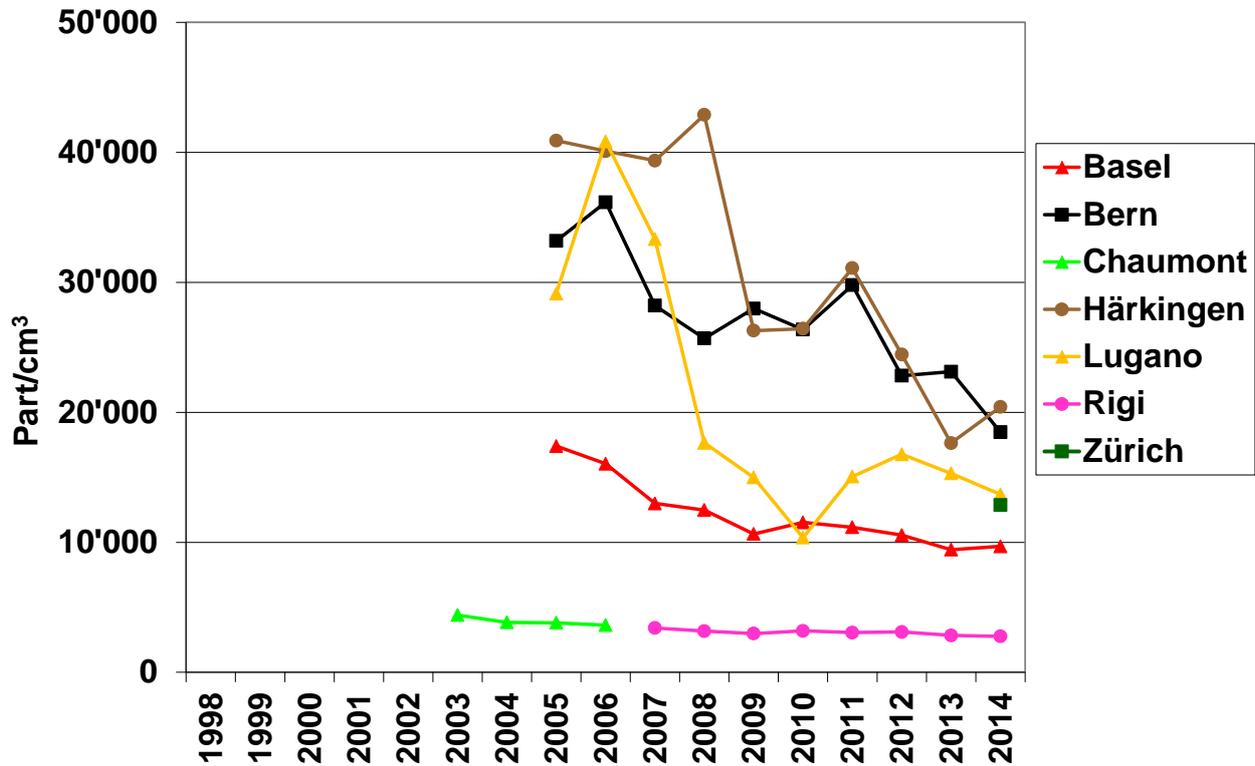


Abb. 9: Verlauf der Jahresmittelwerte der Partikelanzahl seit Beginn der Messreihen. An den quellennahen Standorten Bern, Lugano und Härkingen sind grosse Veränderungen der Partikelanzahlkonzentrationen innerhalb von wenigen Jahren zu beobachten. Vermutlich ist dies auf Änderungen der Aktivitäten von Emissionsquellen in unmittelbarer Nähe der Messstationen zurückzuführen

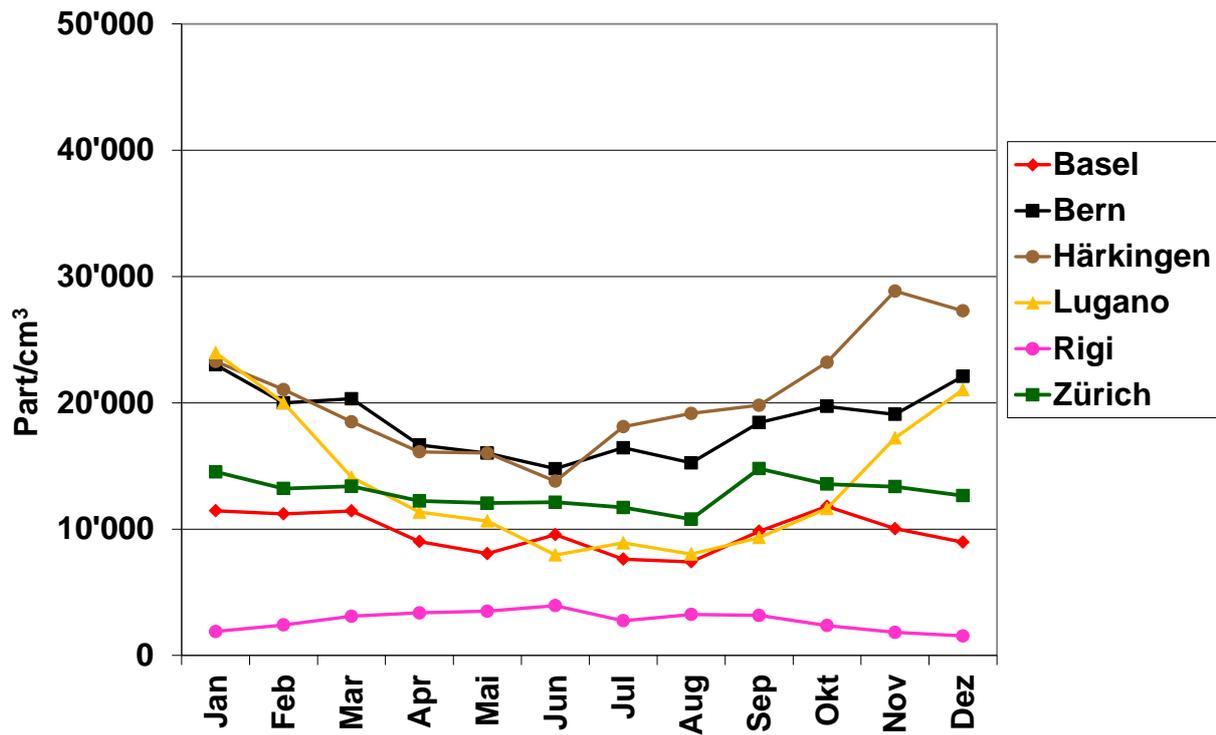


Abb. 10: Jahresverlauf der Monatsmittelwerte im Jahr 2014

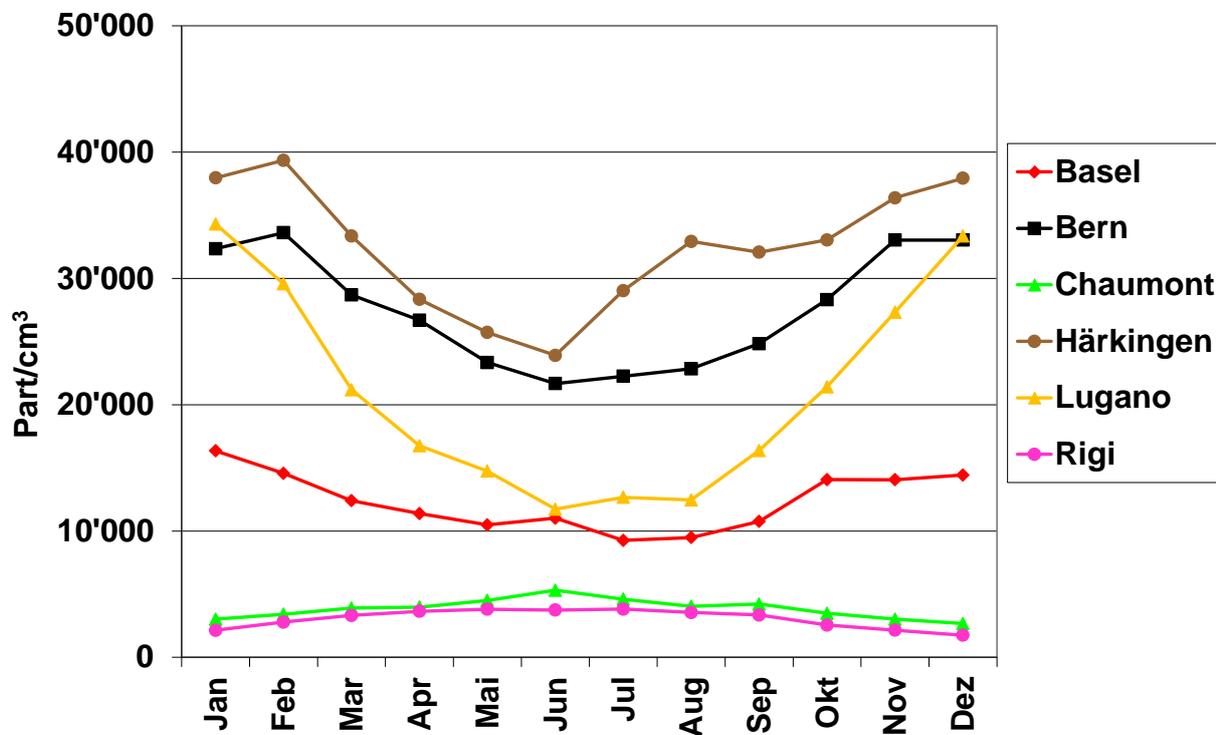


Abb. 11: Durchschnittlicher Jahresverlauf der Monatsmittelwerte der Partikelanzahlkonzentration seit Beginn der Messreihen

4 Literatur

- CEN (2014). Aussenluft - Gravimetrisches Standardmessverfahren für die Bestimmung der PM_{10} - oder $PM_{2.5}$ -Massenkonzentration des Schwebstaubes. EN 12341:2014.
- Empa (2015). Technischer Bericht zum Nationalen Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL) 2015; Dübendorf, Switzerland; www.empa.ch/nael.
- Europäische Union (2008). RICHTLINIE 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa. Amtsblatt der Europäischen Union, L 152.
- Gehrig, R., Hueglin, C., Schwarzenbach, B., Seitz, T. and Buchmann, B. (2005). A new method to link PM_{10} concentrations from automatic monitors to the manual gravimetric reference method according to EN12341. Atmos. Environ. 39(12): 2213-2223.
- Hinds, W. C. (1999). Aerosol Technology; Properties, Behavior and Measurement of Airborne Particles. New York, John Wiley & Sons.
- WHO (2013). Review of Evidence on Health Aspects of Air Pollution – REVIHAAP Project. Final Technical Report. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen; www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2013/review-of-evidence-on-health-aspects-of-air-pollution-revihaap-project-final-technical-report.