

# **Zusätzliche Partikelmessungen im NABEL Bericht über die Messungen 2016**

## **Messbericht**

**Andrea Fischer und Christoph Hüglin**

Empa, Abteilung Luftfremdstoffe/Umwelttechnik

Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf

Dübendorf, Juli 2017

---

## 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](mailto:andrea.fischer@empa.ch)

Dieser Bericht ist abrufbar unter: [www.bafu.admin.ch/luft](http://www.bafu.admin.ch/luft)  
<http://empa.ch/web/s503/nabel>

Dübendorf, Juli 2017

**Inhaltsverzeichnis:**

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Résumé</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Messkonzept</b> .....	<b>6</b>
3.1	Messstationen .....	6
3.2	Messprogramm .....	7
3.3	Probenahme und Analytik .....	7
<b>4</b>	<b>Resultate der gravimetrischen Feinstaub- und der Partikelanzahlmessungen</b> .....	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>24</b>
	<b>Anhang</b> .....	<b>26</b>

## 1 Zusammenfassung

Nationale und internationale Studien belegen eindeutig die schädlichen Auswirkungen der Feinstaubbelastung auf die menschliche Gesundheit. Eine für das Jahr 2010 aktualisierte Studie des Bundesamts für Raumentwicklung ARE (Ecoplan / Infrac 2014) kommt zum Ergebnis, dass wegen der Luftverschmutzung (durch PM<sub>10</sub>) in der Schweiz jährlich rund 3'000 Personen vorzeitig sterben, dabei gehen 30'000 Lebensjahre verloren (BAFU 2015). Nach einem Bericht der Europäischen Umweltagentur (EEA 2015) ist im Jahr 2012 Feinstaub in der Luft für etwa 400'000 vorzeitige Todesfälle in Europa verantwortlich. Gemäss Angabe der WHO (2014) starben 2012 rund 3.7 Millionen Menschen weltweit vorzeitig an den Folgen von Luftverschmutzung. Neben PM<sub>10</sub> wird auch die feinere Fraktion PM<sub>2.5</sub> als Indikator für die Feinstaubbelastung verwendet. Weltweit (WHO 2016, WHO 2013a, WHO 2013b) und in Europa (Europäische Union 2008) hat PM<sub>2.5</sub> in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen. In ihrem Bericht aus dem Jahr 2013 empfiehlt die Eidgenössische Kommission für Lufthygiene (EKL) die geltenden Grenzwerte für PM<sub>10</sub> durch einen Langzeitgrenzwert für PM<sub>2.5</sub> zu ergänzen (EKL 2013). Zurzeit läuft die Vernehmlassung für eine entsprechende Revision der Luftreinhalte-Verordnung. Quellennahe Schadstoffe wie ultrafeine Partikel werden durch PM<sub>10</sub> und PM<sub>2.5</sub> nicht genügend abgebildet. Da ultrafeine Partikel über andere Mechanismen als die gröberen, durch PM<sub>10</sub> und PM<sub>2.5</sub> abgebildeten Partikel wirken können, verlangt die EKL, dass die Anzahlkonzentration von ultrafeinen Partikeln in der Aussenluft gemäss Vorsorgeprinzip minimiert wird (EKL 2013).

An ausgewählten NABEL-Standorten werden seit 1998 zusätzlich zu den PM<sub>10</sub>-Feinstaubmessungen gravimetrische PM<sub>2.5</sub>-Messungen durchgeführt. Zudem wird seit einigen Jahren an verschiedenen NABEL-Stationen die Anzahlkonzentration ultrafeiner Partikel gemessen. Dieser Bericht gibt eine Übersicht über das Messprogramm (Tab. 2), die angewendeten Messverfahren und die Resultate der durchgeführten Messungen in der Messperiode 1998 - 2016.

Die Resultate der zusätzlichen Partikelmessungen im NABEL zeigen 2016 ein ähnliches Bild wie in den vergangenen Jahren. Die PM<sub>10</sub>-, PM<sub>2.5</sub>- und die Partikelanzahl-Konzentrationen haben über den gesamten Messzeitraum deutlich abgenommen, diese Entwicklung setzte sich auch im Jahr 2016 fort (Abb. 2 + Abb. 9). An der Station Bern-Bollwerk liegt der PM<sub>10</sub>-Jahresmittelwert mit 19.4 µg/m<sup>3</sup> knapp unter dem Jahresgrenzwert, an den anderen NABEL-Stationen mit zusätzlichen Partikelmessungen liegen die PM<sub>10</sub>-Jahresmittelwerte zwischen 6.2 - 17.1 µg/m<sup>3</sup> und damit deutlich unter dem Grenzwert (Tab. 3 + Abb. 1).

Wie bei den Jahresmittelwerten ist auch bei der Anzahl von Überschreitungen des PM10-Tagesgrenzwertes von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  eine im langjährigen Verlauf markante Abnahme zu verzeichnen (Abb. 3). Während zu Beginn der zusätzlichen Partikelmessungen an den zehn berücksichtigten NABEL-Stationen 251 Überschreitungen des PM10-Tagesgrenzwertes pro Jahr registriert wurden (Mittelwert 2004 bis 2006), werden aktuell noch 23 Überschreitungen pro Jahr beobachtet (Mittelwert 2014-2016).

Das Verhältnis des Jahresmittelwerts von PM2.5 zum Jahresmittelwert von PM10 liegt für die meisten Standorte im Mittelland im Bereich von 0.70 - 0.78, einzig am verkehrsbelasteten Standort Bern-Bollwerk wird ein deutlich tieferes Verhältnis von 0.65 registriert (Abb. 4).

Die Verläufe der Partikelanzahl-Konzentrationen seit Beginn der Messreihen zeigen an den verschiedenen Stationen grosse Unterschiede, weisen aber generell eine sinkende Tendenz auf (Abb. 9).

## 2 Résumé

Des études nationales et internationales démontrent clairement que la pollution par les poussières fines a une action nocive sur la santé humaine. Une étude de l'Office fédéral du développement territorial ARE actualisée pour l'année 2010 (Ecoplan / Infrac 2014) arrive à la conclusion qu'en Suisse la pollution atmosphérique (par les PM10) provoque chaque année 3000 décès prématurés, ce qui correspond à 30'000 années de vie perdues (OFEV 2015). Selon un rapport de l'Agence européenne pour l'environnement (AEE 2015), en 2012 les poussières fines ont été responsables de 400'000 décès prématurés en Europe. Une publication de l'OMS (WHO 2014) estime que 3.7 millions de personnes sont décédées prématurément dans le monde en 2012 du fait de la pollution atmosphérique. A côté des PM10, la fraction plus fine des PM2.5 est aussi utilisée comme indicateur de la pollution par les poussières fines. Depuis ces dernières années, dans le monde entier (WHO 2016, WHO 2013a, WHO 2013b) et en Europe (Union européenne 2008) une attention accrue est portée aux PM2.5. Dans son rapport de 2013, la Commission fédérale pour l'hygiène de l'air (CFHA) recommande de compléter les valeurs limites en vigueur pour les PM10 par l'introduction d'une valeur limite d'immission à long terme pour les PM2.5 (CFHA 2013). Une consultation en vue de la révision dans ce sens de l'Ordonnance sur la protection de l'air est actuellement en cours. La mesure des particules PM10 et PM2.5 ne reflète qu'insuffisamment la situation pour certains polluants, telles que les particules ultrafines, à proximité des sources. Comme les mécanismes d'action des particules ultrafines peuvent différer de ceux des particules plus grossières représentées par les fractions PM10 et PM2.5, la CFHA requiert la minimisation des concentrations de ces particules dans l'air en vertu du principe de précaution (CFHA 2013).

Depuis 1998, sur plusieurs stations NABEL, on procède, en plus des mesures des PM10, à la mesure gravimétrique des PM2.5. En outre, depuis quelques années on mesure aussi sur certaines stations NABEL les concentrations numériques des particules ultrafines. Le présent rapport donne une vue d'ensemble du programme de mesure (Tab. 2), des méthodes de mesure utilisées et des résultats des mesures effectuées au cours de la période de mesure 1998 - 2016.

En 2016, les résultats des mesures supplémentaires effectuées sur le réseau NABEL présentaient une image semblable à celles des années précédentes. Les concentrations des PM10, des PM2.5 et les concentrations numériques des particules ont nettement diminué sur l'ensemble de la période de mesure. Cette évolution s'est aussi poursuivie en 2016 (Fig. 2 + Fig. 9). Sur la station de Bern-Bollwerk, la moyenne annuelle des PM10 de 19.4 µg/m<sup>3</sup> se situe juste au-dessous de la valeur limite annuelle; sur les autres stations NABEL où des mesures supplémentaires des particules ont été réalisées, les moyennes annuelles des PM10 se situent

entre 6.2 et 17.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , et sont donc ainsi nettement inférieures à la valeur limite (Tab. 3 + Fig. 1).

Tout comme pour les moyennes annuelles, on enregistre aussi une diminution marquante du nombre des dépassements de la valeur limite journalière de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  au cours des années (Fig. 3). Alors qu'au début des mesures supplémentaires des particules sur les dix stations NABEL sélectionnées à cet effet, on enregistrait 251 dépassements de la valeur limite journalière des PM10 (moyenne de 2004-2006) par année, on n'observe actuellement plus que 26 dépassements par année (moyenne 2014-2016).

Le rapport entre la moyenne annuelle des PM2.5 et la moyenne annuelle des PM10 se situe entre 0.70 et 0.78 pour la majorité des stations du Plateau suisse, ce n'est que sur le site de Bern-Bollwerk, proche du trafic routier, que l'on enregistre un rapport nettement plus bas de 0.65 (Fig. 4).

L'évolution dans le temps des concentrations numériques des particules depuis le début des séries de mesure présente de grandes différences selon les stations mais toutefois avec une tendance générale à la baisse. (Fig. 9).

### 3 Messkonzept

#### 3.1 Messstationen

In Tabelle 1 sind jene NABEL-Stationen aufgeführt und kurz charakterisiert, an denen seit 1998 zusätzliche Partikelmessungen durchgeführt werden. Eine detaillierte Beschreibung der Stationen betreffend Lage und Umgebung findet sich im Technischen Bericht zum NABEL (Empa 2016), welcher unter <http://empa.ch/web/s503/nabel> verfügbar ist.

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

<b>Basel-Binningen</b>	<b>BAS</b>	Vorstädtisch; am Stadtrand auf dem Gebiet der Gemeinde Binningen
<b>Bern-Bollwerk</b>	<b>BER</b>	Städtisch, verkehrsbelastet; direkt an Hauptverkehrsachse, ca. 3 m vom Strassenrand entfernt in einer Strassenschlucht
<b>Chaumont</b>	<b>CHA</b>	Ländlich, oberhalb 1000 m ü.M. Umgebung wird durch Wiesen und Weideland dominiert
<b>Dübendorf-Empa</b>	<b>DUE</b>	Vorstädtisch; ca. 150 m entfernt von Hauptverkehrsstrasse
<b>Härkingen-A1</b>	<b>HAE</b>	Ländlich, Autobahn; ca. 20 m nördlich der Autobahn A1
<b>Lugano-Università</b>	<b>LUG</b>	Städtisch; in relativ offener Hofsituation
<b>Magadino-Cadenazzo</b>	<b>MAG</b>	Ländlich, unterhalb 1000 m ü.M. umgeben von Feldern einer landwirtschaftlichen Versuchsanstalt
<b>Payerne</b>	<b>PAY</b>	Ländlich, unterhalb 1000 m ü.M. auf dem Gelände der Météo-Suisse Payerne
<b>Rigi-Seebodenalp</b>	<b>RIG</b>	Ländlich, oberhalb 1000 m ü.M. voralpine Umgebung, Weideland und Waldpartien
<b>Zürich-Kaserne</b>	<b>ZUE</b>	Städtisch; Hofsituation, nicht unmittelbar verkehrsbelastet

### 3.2 Messprogramm

Einen zeitlichen Überblick über das Programm der ergänzenden Partikelmessungen an den einzelnen Stationen gibt Tabelle 2. Da nicht alle Messreihen den gesamten Zeitraum seit dem 1. Januar 1998 abdecken, sind in der Tabelle 2 auch das Start- bzw. das End-Datum der jeweiligen Messung notiert.

PM<sub>10</sub>-Messungen wurden an allen Stationen während dem gesamten Zeitraum seit dem 1. Januar 1998 durchgeführt. Zu Beginn der Messreihe und seit Juni 2010 werden tägliche gravimetrische PM<sub>10</sub>-Messungen durchgeführt. Im Zeitraum 2001 bis Juni 2010 wurde die Probenahme an allen Stationen auf jeden 4. Tag reduziert (siehe Kapitel 2.3).

In den vergangenen Jahren hat PM<sub>2.5</sub> als Kenngrösse der Feinstaubbelastung stark an Bedeutung gewonnen (Europäische Union, 2008; WHO 2013a; 2013b). Daher wurden ab 2011, neben den bereits vorhandenen PM<sub>2.5</sub>-Messungen an den Stationen Basel-Binningen, Bern-Bollwerk, Payerne, Rigi-Seebodenalp und Zürich-Kaserne, Messungen an den Stationen Dübendorf-Empa, Lugano-Universität, Härkingen-A1 und Magadino-Cadenazzo ins Messprogramm aufgenommen (mit Probenahme an jedem vierten Tag). Für eine befristete Zeit (von März 2014 bis Ende 2015) wurden an den Stationen Bern-Bollwerk, Dübendorf-Empa, Lugano-Universität und Zürich-Kaserne tägliche gravimetrische PM<sub>2.5</sub>-Messungen durchgeführt.

PM<sub>1</sub>-Messungen wurden an einzelnen Stationen im Zeitraum 2003 – 2013 durchgeführt. Da PM<sub>1</sub> hochkorreliert mit PM<sub>2.5</sub> ist, wurden die Messungen von PM<sub>1</sub> 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.

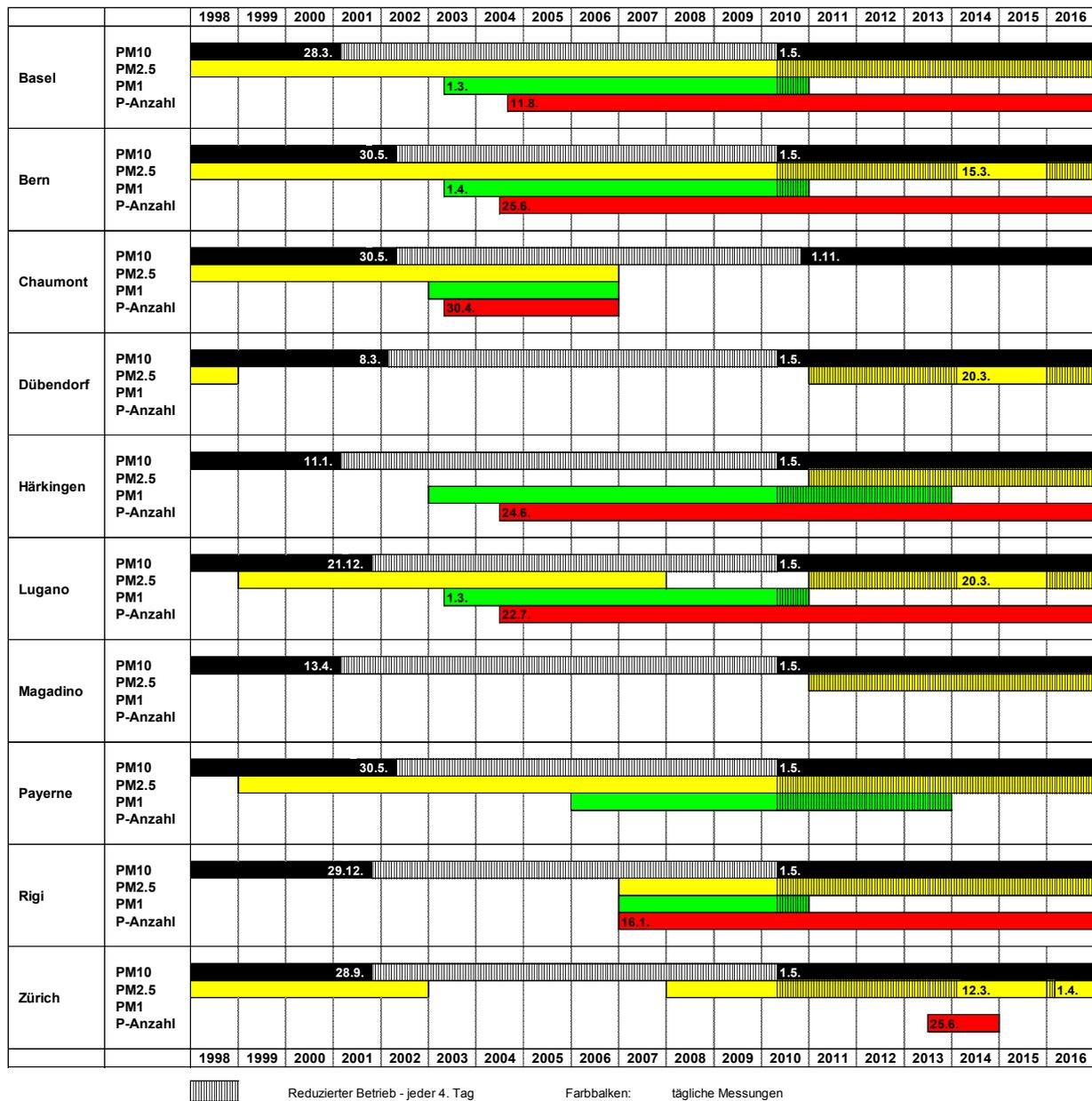
Erste Messungen der Partikelanzahl wurden 2003 am Standort Chaumont gestartet, diese wurden Ende 2006 beendet. Unterschiedlich lange Messreihen gibt es für die Stationen Basel-Binningen, Bern-Bollwerk, Härkingen-A1, Lugano-Cadenazzo, Rigi-Seebodenalp und Zürich-Kaserne für den Zeitraum seit 2004.

### 3.3 Probenahme und Analytik

Die gravimetrischen Messungen erfolgten gemäss den Vorgaben der europäischen Norm EN 12341 "Aussenluft – Gravimetrisches Standardmessverfahren für die Bestimmung der PM<sub>10</sub>- oder PM<sub>2.5</sub>-Massenkonzentration des Schwebstaubes" (CEN 2014).

Als Probenahmekopf für die PM<sub>1</sub>-Messungen wurde ein zweistufiger Impaktor verwendet. Dieser besteht aus einem PM<sub>2.5</sub>-Einlass und einem zusätzlichen PM<sub>1</sub>-Abscheider, bei welchem Anzahl und Durchmesser der Impaktordüsen so dimensioniert sind, dass nach den in Hinds (1999) beschriebenen Prinzipien ein Cut-point von 1µm resultiert.

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



Ab dem Zeitpunkt der Inbetriebnahme der PM-Monitore (Betameter resp. TEOM-FDMS) bis Ende April 2010 wurden die gravimetrischen PM10-Messungen vorübergehend auf Probenahmen jeden 4. Tag reduziert (siehe Tabelle 2). Während dieser Zeit wurden die PM10-Tageswerte aus den Monitordaten sowie den verbleibenden gravimetrischen Tageswerten berechnet. Einzelheiten zur angewendeten Methode sind in Gehrig et al. (2005) beschrieben.

Wegen der hohen lufthygienischen Bedeutung von PM10 war dieses Messkonzept nicht befriedigend, und es wurden deshalb ab Mai 2010 im NABEL wieder tägliche gravimetrische PM10-Messungen durchgeführt (Chaumont ab November 2010). Um den personellen Aufwand nicht zu erhöhen, wurden als Kompensation die gravimetrischen PM2.5 und PM1-Messungen Empa, Abteilung Luftfremdstoffe/Umwelttechnik; Juli 2017

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.

Die Messungen der Partikelanzahl wurden mit Kondensationskernzählern des Typs TSI 3775 durchgeführt. Bei diesem Messverfahren wird die angesaugte Probeluft zunächst durch eine mit Butanol gesättigte 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/cm<sup>3</sup> 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-Bollwerk und Härkingen-A1 beträgt das Verdünnungsverhältnis ca. 1:20, am Standort Lugano-Università ca. 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 im Bereich von 1 µm liegt, da die Partikelanzahl von den submikronen kleineren Partikeln um Grössenordnungen dominiert wird.

In Härkingen-A1 wurde für die Messung der Partikelanzahlkonzentration 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. Die Messungen der Partikelanzahlkonzentration erfolgen gemäss der Technischen Spezifikation TS 16976 des Europäischen Komitees für Normung (CEN 2016). 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.

Eine aktuelle Beschreibung aller im NABEL verwendeten Methoden findet sich im Technischen Bericht zum NABEL (Empa 2016).

## 4 Resultate der gravimetrischen Feinstaub- und der Partikelanzahlmessungen

Die Jahresmittelwerte 2016 der PM10- und PM2.5-Konzentrationen sowie der Partikelanzahlkonzentrationen sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Einen grafischen Überblick über die Jahresmittel der Massenkonzentrationen und der Partikelanzahlkonzentrationen für das Jahr 2016 gibt Abbildung 1. Um einen korrekten Vergleich der PM10-Konzentrationen mit den PM2.5-Konzentrationen an den Stationen zu gewährleisten, wurden für die Berechnung der PM10-Jahresmittel 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 an den meisten Standorten nur gering und liegen meist unterhalb von  $0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . An den Stationen Dübendorf-Empa, Magadino-Cadenazzo und Zürich-Kaserne wurden grössere Abweichungen ( $-1.07$ ;  $-0.94$  und  $-0.84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) registriert. Diese Abweichungen entsprechen 5 - 7 % der vollständigen PM10-Jahresmittel aus Tageswerten.

Im Jahr 2016 sind die Jahresmittelwerte aller Stationen unter dem Grenzwert von  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Der Jahresmittelwert der strassennahen Station Bern liegt mit  $19.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  allerdings nur knapp unter dem Grenzwert. An den ländlichen Stationen lagen die Jahresmittel deutlich unterhalb des Grenzwertes.

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-A1 und Rigi-Seebodenalp rund 9.5 gegenüber lediglich rund 2.5 für PM10 und 2.4 für PM2.5. Die analogen Werte für die entsprechenden Verhältnisse von Bern-Bollwerk und Rigi-Seebodenalp betragen 6.9 (mittlere Partikelanzahlkonzentrationen), 3.1 (PM10) und 2.6 (PM2.5). Diese Befunde illustrieren die räumlich viel ausgeprägtere Variabilität der massenmässig nicht relevanten ultrafeinen Partikel (Partikeldurchmesser  $< 100 \text{ nm}$ ) in unmittelbarer Quellennähe (Verkehr).

Tab. 3: Jahresmittelwerte 2016 von PM10, PM2.5 und Partikelanzahlkonzentrationen, sowie 95%-Perzentil der Halbstundenmittel der Partikelanzahlkonzentrationen (P-Anzahl)

	PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P-Anzahl (Part/ $\text{cm}^3$ )	
	JMW	JMW	JMW	95% Perzentil
<b>Basel-Binningen</b>	<b>13.7<sup>*</sup></b>	<b>10.1</b>	<b>8354</b>	<b>18113</b>
<b>Bern-Bollwerk</b>	<b>19.4<sup>*</sup></b>	<b>12.5</b>	<b>17422</b>	<b>38671</b>
<b>Dübendorf-Empa</b>	<b>14.8<sup>*</sup></b>	<b>10.5</b>		
<b>Härkingen-A1</b>	<b>15.3<sup>*</sup></b>	<b>11.3</b>	<b>26380</b>	<b>72148</b>
<b>Lugano-Universität</b>	<b>16.4<sup>*</sup></b>	<b>12.7</b>	<b>13245</b>	<b>33487</b>
<b>Magadino-Cadenazzo</b>	<b>17.1<sup>*</sup></b>	<b>12.1</b>		
<b>Payerne</b>	<b>11.6<sup>*</sup></b>	<b>8.1</b>		
<b>Rigi-Seebodenalp</b>	<b>6.2<sup>*</sup></b>	<b>4.8</b>	<b>2773</b>	<b>6655</b>
<b>Zürich-Kaserne</b>	<b>15.4<sup>*</sup></b>	<b>10.9</b>		

\* 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). Die Differenzen zu den andernorts publizierten vollständigen PM10-Jahresmitteln sind an den meisten Standorten nur gering und liegen meist unterhalb von  $0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . An den Stationen Dübendorf-Empa, Magadino-Cadenazzo und Zürich-Kaserne wurden grössere Abweichungen ( $-1.07$ ;  $-0.94$  und  $-0.84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) registriert.

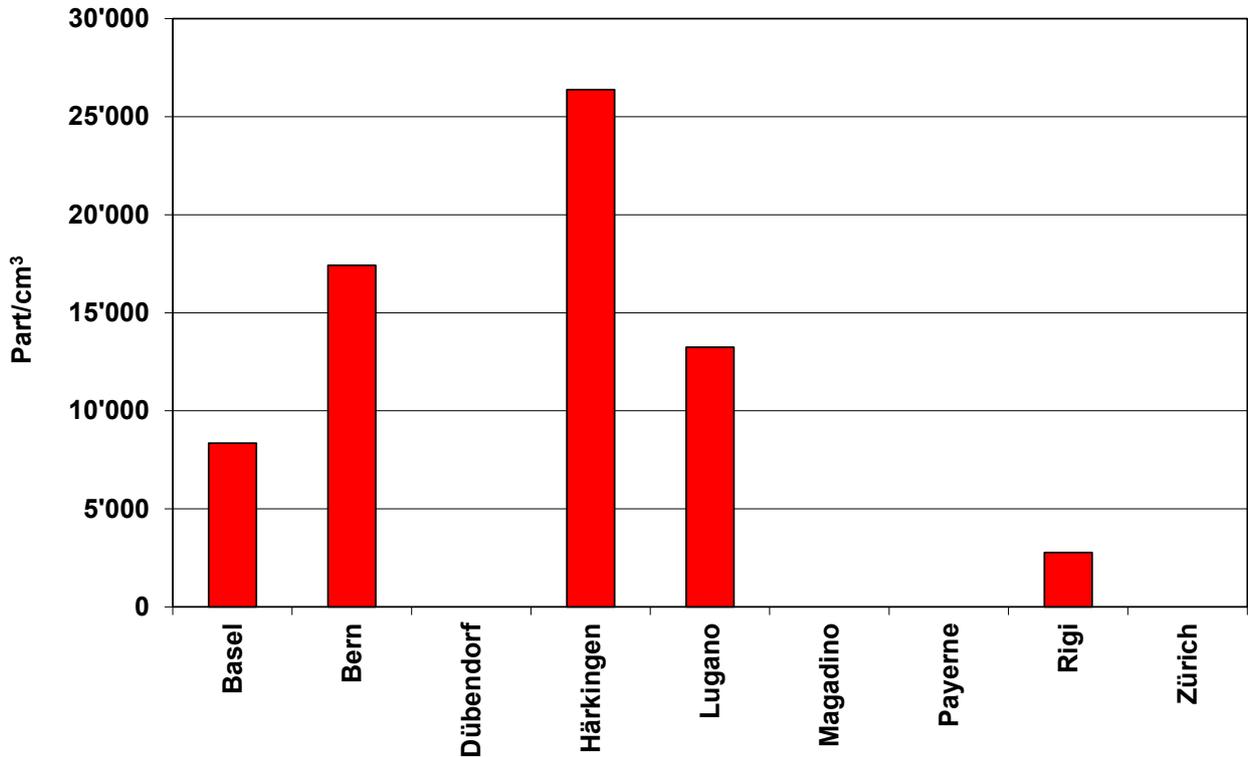
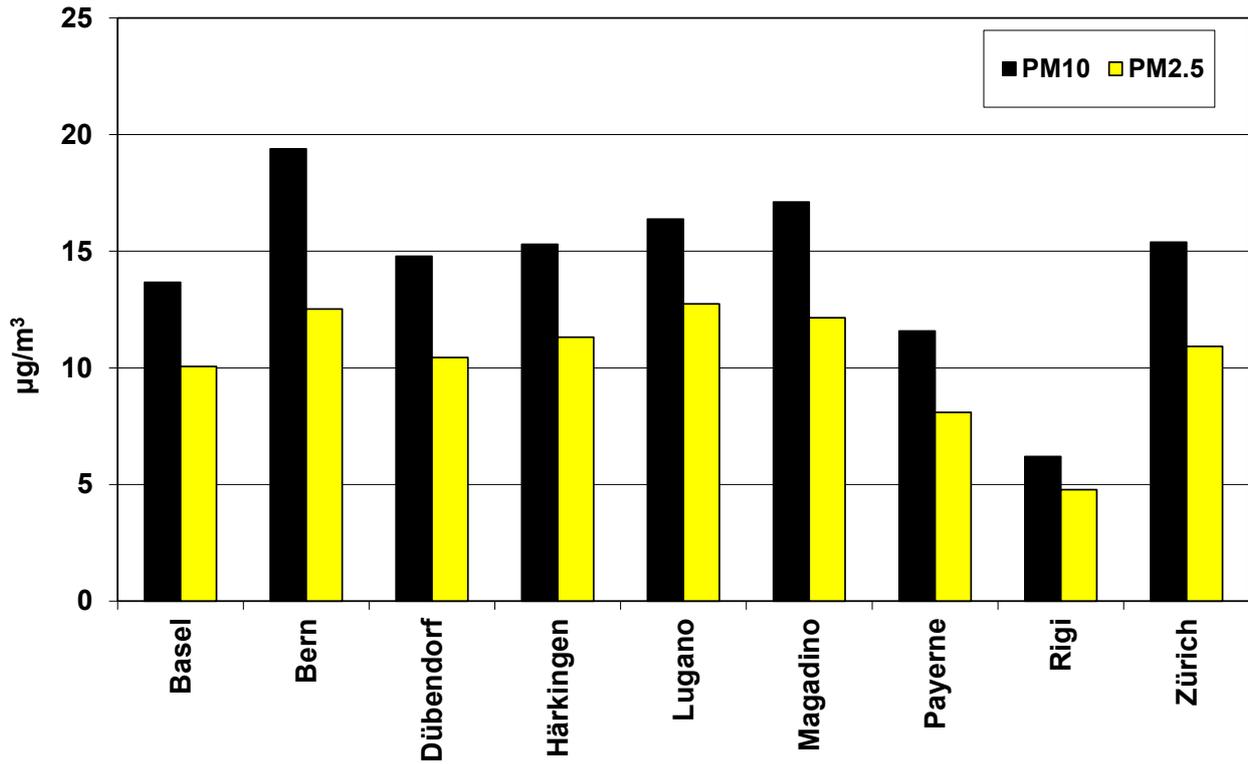


Abb. 1: Übersicht über die Jahresmittelwerte 2016 von PM10 und PM2.5 (oben) und die Jahresmittelwerte 2016 der Partikelanzahlkonzentrationen (unten)

Abbildung 2 zeigt als Vergleich den langjährigen Verlauf der Jahresmittelwerte für PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> und PM<sub>1</sub>, wobei die PM<sub>1</sub>-Messungen an allen Stationen per Ende 2013 eingestellt wurden. An allen Stationen sind die Feinstaubbelastungen über den gesamten Messzeitraum zurückgegangen. In den Jahren 2003 und 2006 gab es auf der Alpennordseite häufig Inversionslagen die wetterbedingt zu erhöhten Belastungen führten.

Im Jahr 2014 wurden nach einer klaren Abnahme der PM<sub>10</sub>- und der PM<sub>2.5</sub> Massenkonzentrationen die jeweils tiefsten Jahresmittelwerte seit Beginn der Messreihen registriert. Nach einem Anstieg im Jahr 2015 ist für 2016 bei allen Stationen wieder ein Rückgang in den Bereich der tiefsten Konzentrationen von 2014 zu verzeichnen. Gegenüber den hohen Werten im Jahre 2003 weisen die aktuellen Jahresmittelwerte der Stationen ungefähr die Hälfte auf. Während im Jahr 2015 der Jahresmittelwert (21.5 µg/m<sup>3</sup>) der Station Bern-Bollwerk wieder über dem Grenzwert von 20 µg/m<sup>3</sup> lag, liegt der aktuelle Jahresmittelwert von 19.4 µg/m<sup>3</sup>, wie bereits 2014 knapp unter dem Grenzwert. Alle anderen NABEL-Stationen liegen im Bereich von 6.2 (Rigi-Seebodenalp) – 17.1 µg/m<sup>3</sup> (Magadino-Cadenazzo) und sind damit deutlich unterhalb des Grenzwertes.

Von Mitte 2007 bis Mitte 2008 wurden die Messwerte der Station Bern-Bollwerk während des Umbaus des Bahnhofplatzes durch den stark verminderten Verkehr am Bollwerk beeinflusst (tiefere Jahresmittelwerte der Massenkonzentrationen PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> und PM<sub>1</sub>). 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 zunahmen, sondern bis 2012 weiter 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 stark ab, und der aktuelle Jahresmittelwert 2016 am Standort Bern-Bollwerk liegt bei 17422 Part/cm<sup>3</sup>. Gegenüber den Jahresmittelwerten am Anfang der Messreihen (2005, 2006) entspricht dies einer Halbierung der Konzentration.

Auch in Härkingen-A1 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.

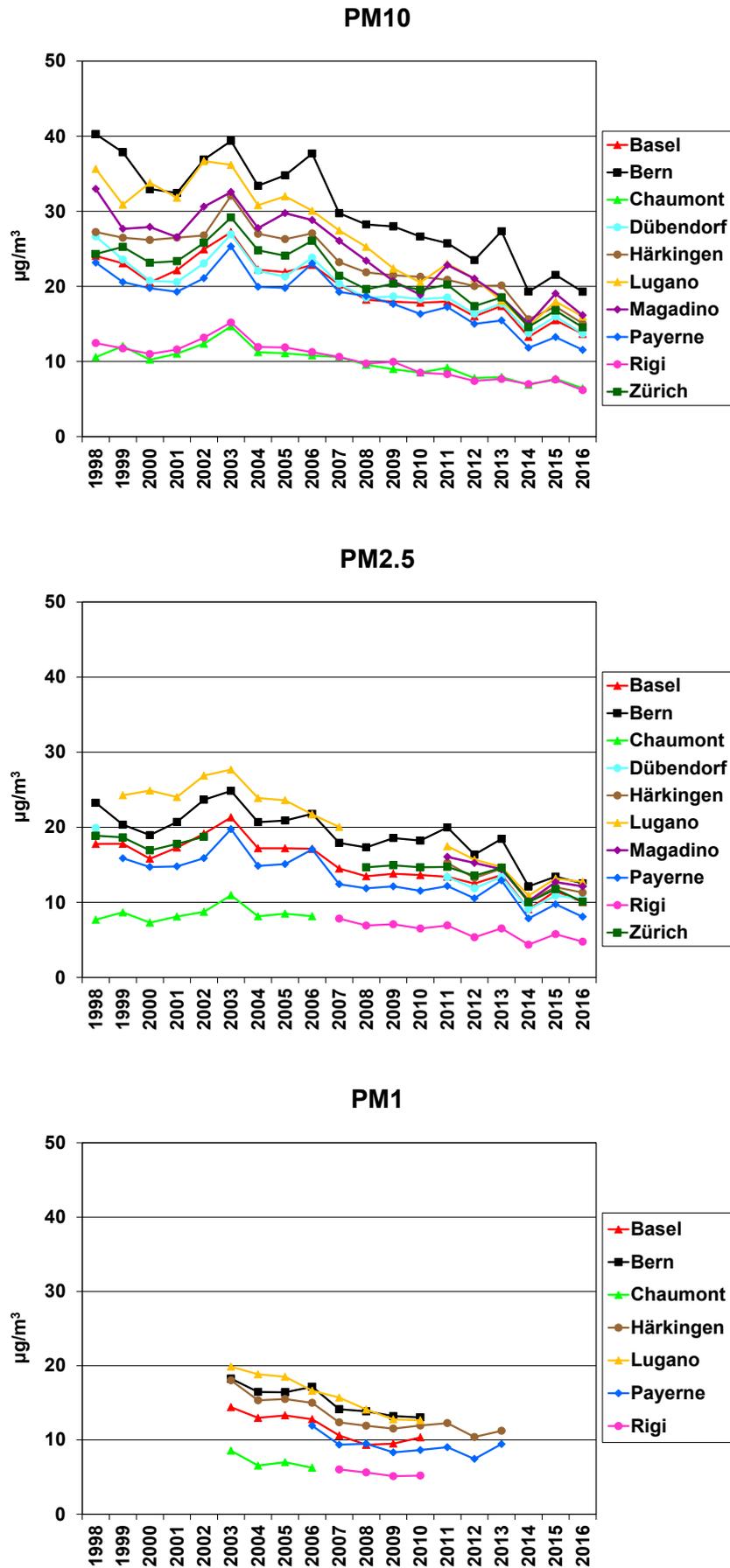


Abb. 2: Langjährige Verläufe der Jahresmittelwerte von PM10, PM2.5 und PM1

Wie bei den Jahresmittelwerten ist bei der Anzahl von Überschreitungen des PM10-Tagesgrenzwertes von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  eine Abnahme im langjährigen Verlauf 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. Nach einer starken Abnahme an Grenzwertüberschreitungen an allen Stationen im Jahr 2014 und einem leichten Anstieg im Jahr 2015, sind im Jahr 2016 die tiefsten Werte seit Beginn der Messreihen registriert worden. Ausnahmen bilden einzig die beiden Standorte Magadino-Cadenazzo und Lugano-Universität auf der Alpensüdseite, dort hat die Anzahl an Grenzwertüberschreitungen 2016 stagniert. Die Summe aller Überschreitungen aller Stationen hat sich von 228 im Jahr 2004 auf 23 im Jahr 2016 kontinuierlich reduziert.

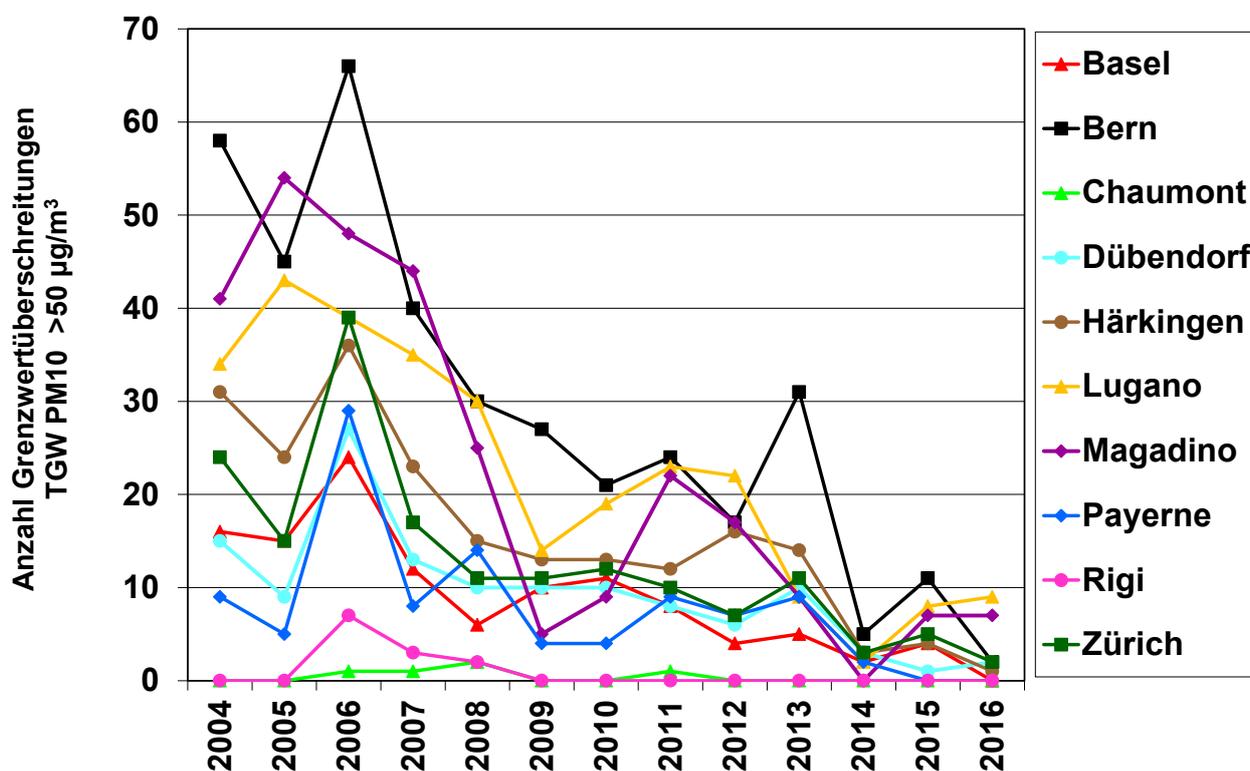


Abb. 3: Langjähriger Verlauf der jährlichen Anzahl Überschreitungen des Tagesgrenzwertes ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Die Abbildung 4 gibt 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 Empa, Abteilung Luftfremdstoffe/Umwelttechnik; Juli 2017

Jahresmittelwerte in Abbildung 5 dargestellt. Die entsprechenden Einzelwerte sind in den Tabellen A1- A4 im Anhang zusammengefasst. 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  $\mu\text{m}$  und entsprechend tieferen Verhältnissen. Allerdings hat sich dieser Unterschied im Laufe der Jahre deutlich verringert und ab 2011 lag das PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>-Verhältnis auch in Bern im Bereich der anderen NABEL-Stationen. Im Jahr 2013 ist das PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>-Verhältnis am Standort Bern-Bollwerk, im Gegensatz zu den anderen Standorten, weiter gesunken und nach einem erneuten Abfall 2014, einer Stagnation im Jahr 2015 und einer leichten Zunahme im Jahr 2016 liegt der Wert von 0.62 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 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>-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 einer Zunahme der mittleren PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>-Verhältnisse im Jahr 2013 an allen Stationen (Ausnahme Bern-Bollwerk) und einem starken Abfall im Jahr 2014 ist die Entwicklung in den vergangenen Jahren an den verschiedenen Stationen nicht identisch. In Abbildung 4 ist ersichtlich, dass an den Stationen Basel-Binnigen, Payerne und Zürich-Kaserne die mittleren Verhältnisse der vergangenen 2 Jahre stagnieren, während an den übrigen Stationen das PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>-Verhältnis ansteigt. Das Verhältnis des Jahresmittels von PM<sub>2.5</sub> zum Jahresmittel von PM<sub>10</sub> liegt für die meisten Standorte im Bereich von 0.70 – 0.78, einzig am Verkehrsstandort Bern-Bollwerk wird ein deutlich tieferes Verhältnis von 0.65 registriert.

Im langjährigen durchschnittlichen Verlauf der Monatsmittelwerte der PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>-Verhältnisse (2003 – 2016) zeigen alle Stationen höhere Werte im Winter, wenn auch unterschiedlich ausgeprägt (siehe Abb. 6). Ähnlich, aber deutlich weniger ausgeprägt sind die Jahressgänge der durchschnittlichen PM<sub>1</sub>/PM<sub>10</sub>-Verhältnisse (siehe Abb. 7) in der Zeitperiode 2003 – 2013 (Messungen eingestellt).

Den mittleren Verlauf der Monatswerte 2003-2016 von PM<sub>10</sub> und PM<sub>2.5</sub>, sowie für PM<sub>1</sub> von 2003 – 2013 zeigt Abbildung 8. 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.

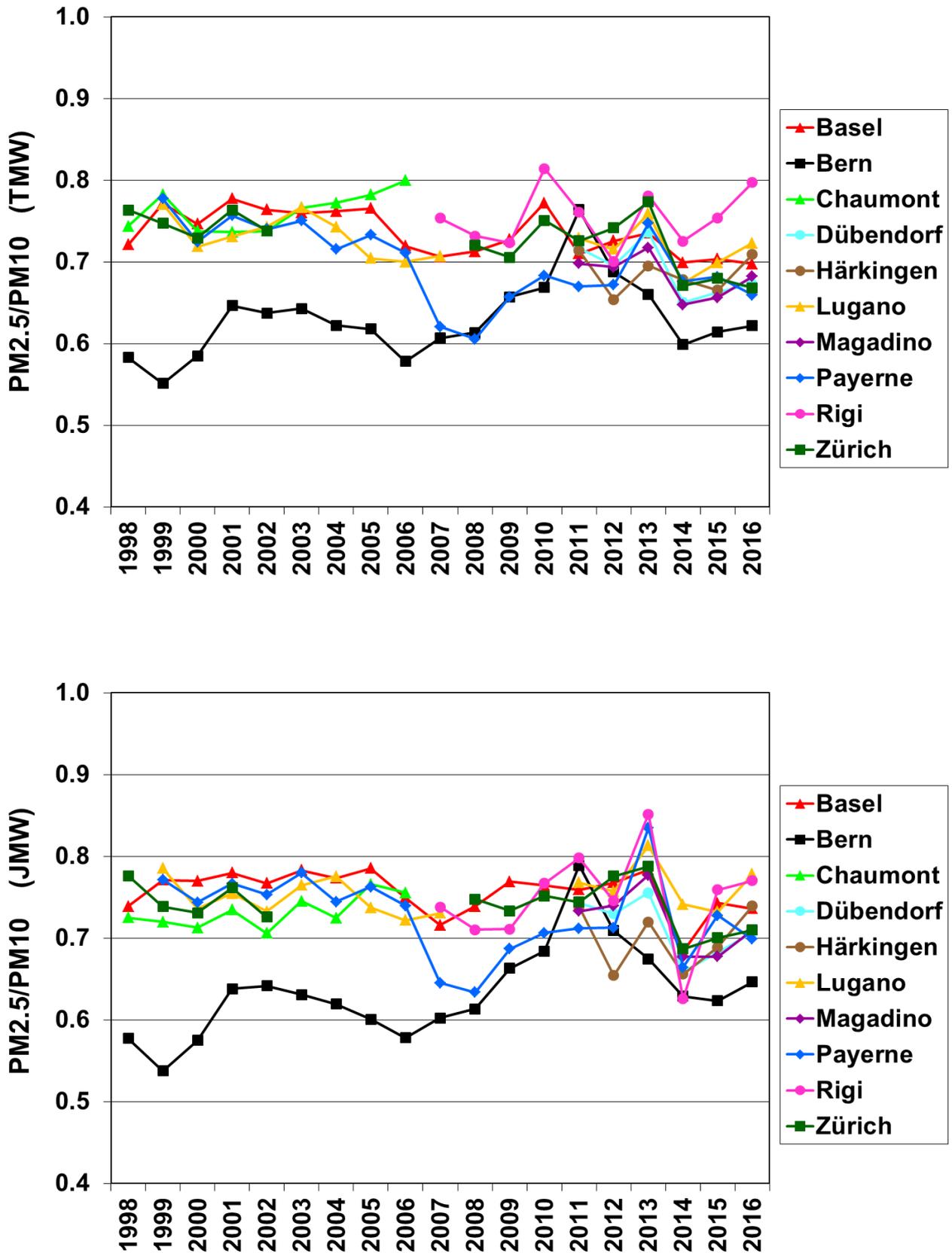


Abb. 4: Langjähriger Verlauf der mittleren PM2.5/PM10-Verhältnisse der Tageswerte (oben) und der PM2.5/PM10-Verhältnisse der Jahresmittelwerte (unten)

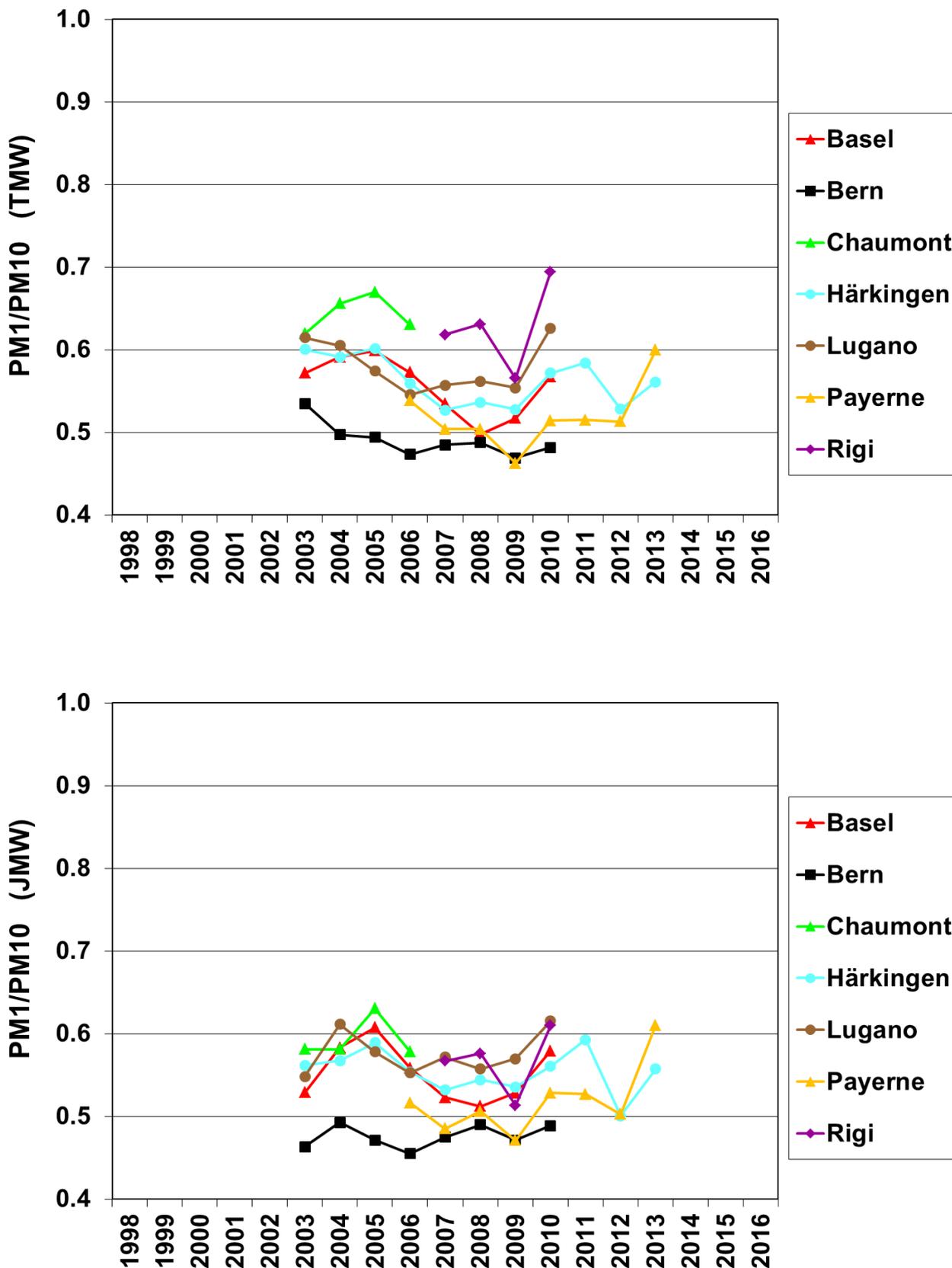


Abb. 5: Langjähriger Verlauf der mittleren PM1/PM10-Verhältnisse der Tageswerte (oben) und der PM1/PM10-Verhältnisse der Jahresmittelwerte (unten)

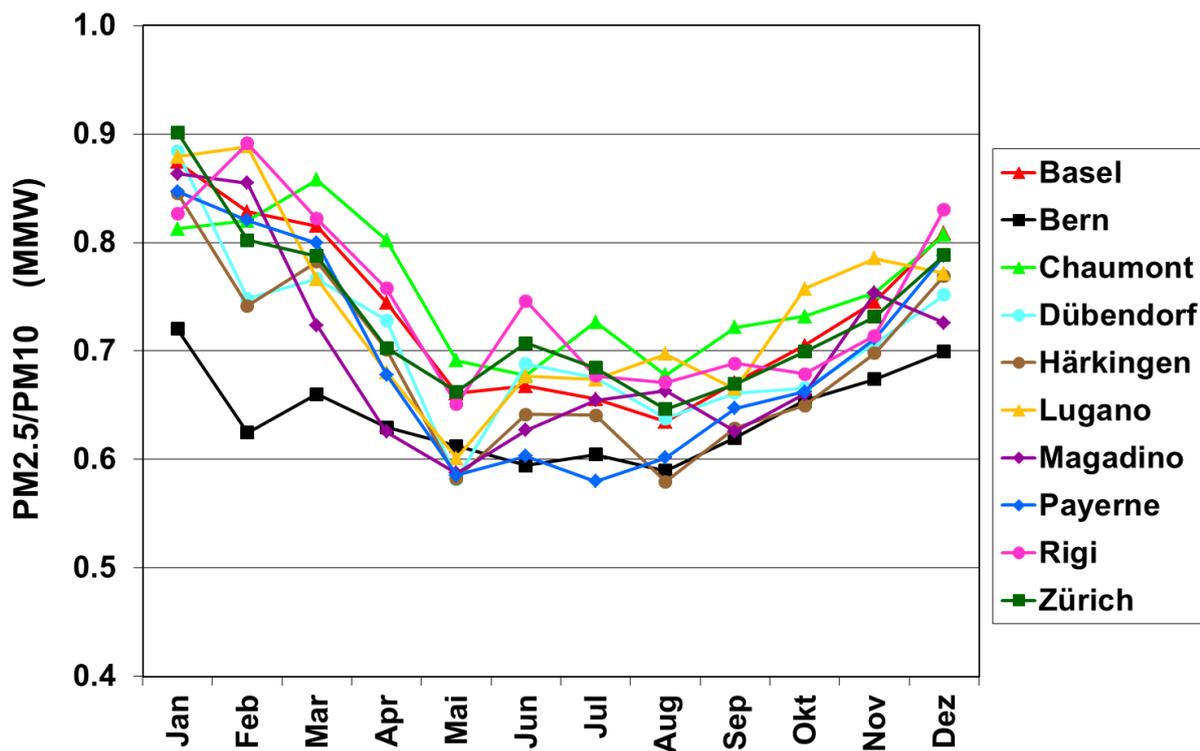


Abb. 6: Durchschnittlicher Jahresverlauf der Monatsmittelwerte der PM2.5/PM10-Verhältnisse in der Zeitperiode 2003- 2016

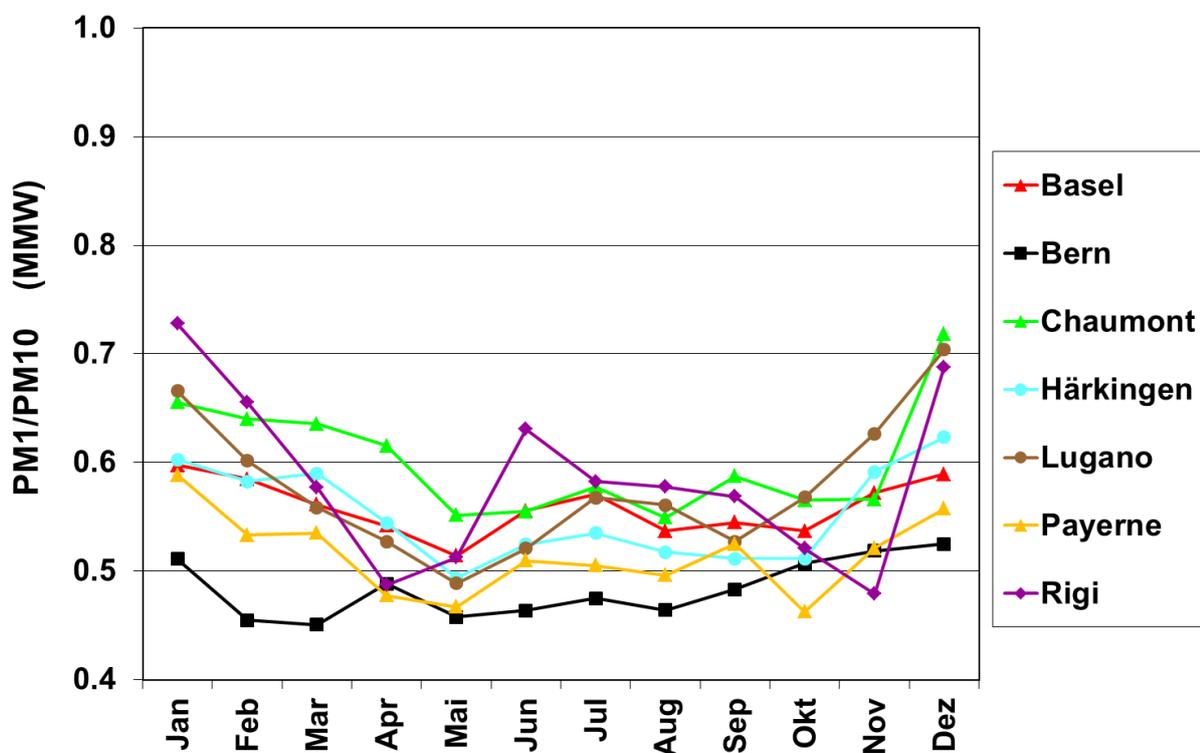


Abb. 7: Durchschnittlicher Jahresverlauf der Monatsmittelwerte der PM1/PM10-Verhältnisse in der Zeitperiode 2003- 2013

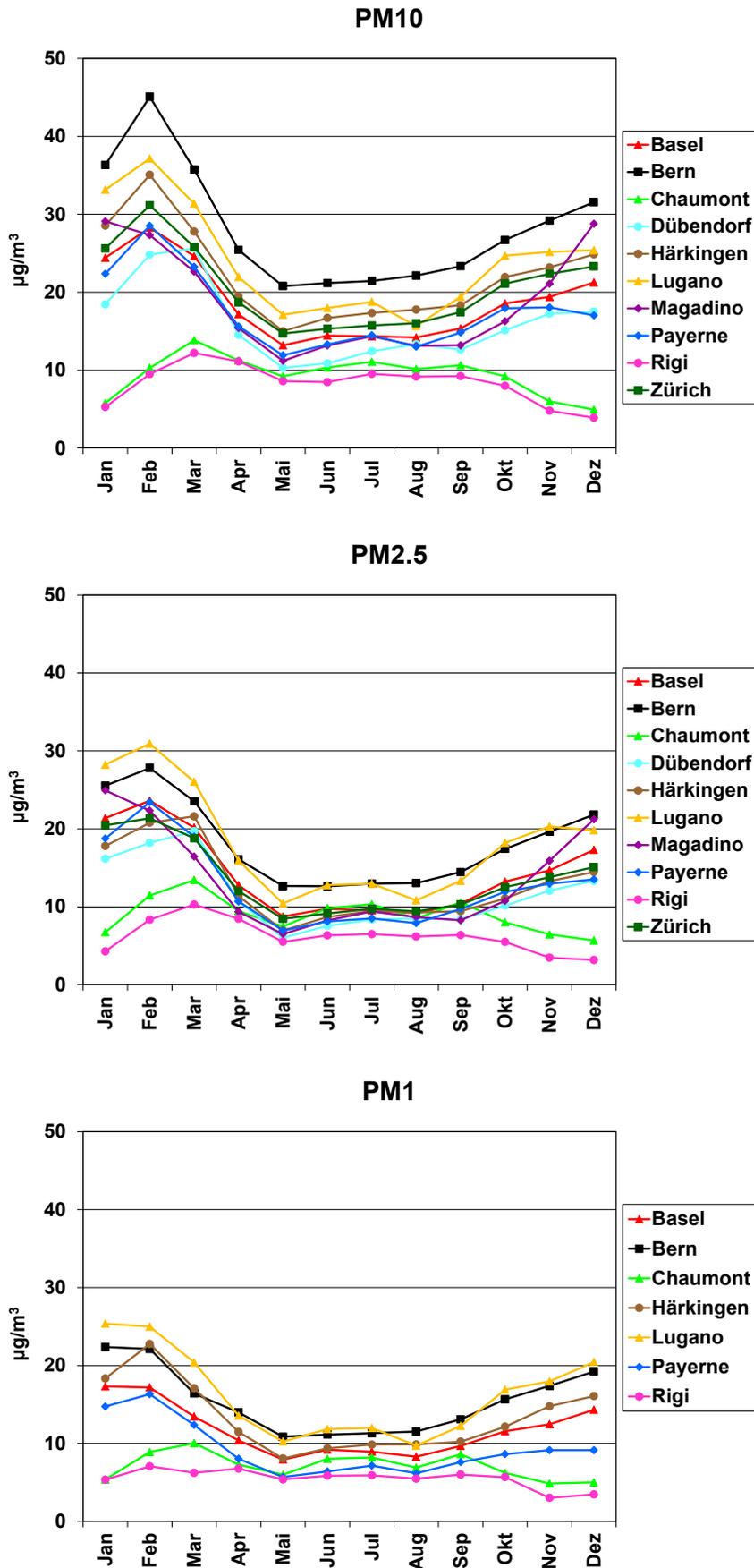


Abb. 8: Mittlerer Verlauf der Monatswerte ab 2003 von PM10, PM2.5 und PM1

Der Verlauf der Jahresmittelwerte der Partikelanzahlkonzentrationen seit Beginn der Messreihen ist in Abbildung 9 dargestellt. Die Verläufe sind an den einzelnen Stationen etwas uneinheitlich, weisen aber generell eine sinkende Tendenz mit einer Stagnation in den Jahren 2014-2016 auf.

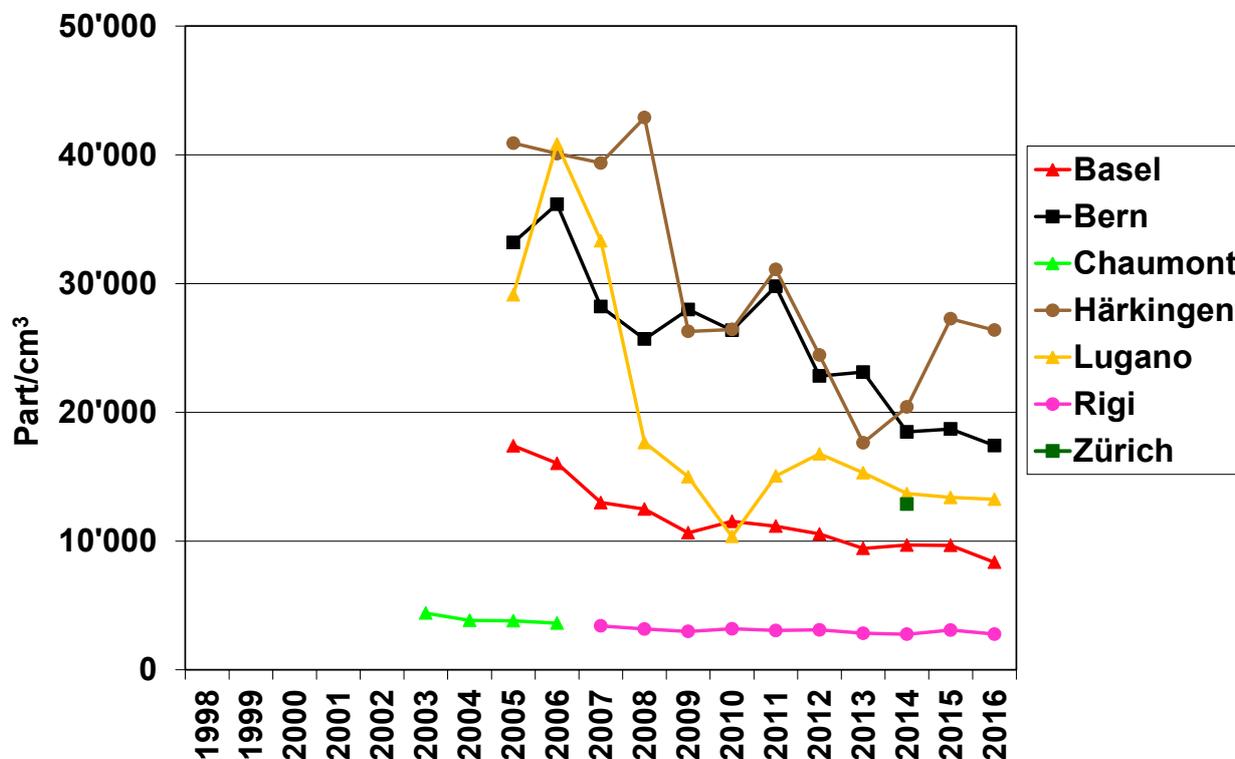


Abb. 9: Verlauf der Jahresmittelwerte der Partikelanzahl seit Beginn der Messreihen. An den quellennahen Standorten Bern, Lugano und Härkingen sind grosse Veränderungen der Partikelanzahlkonzentrationen innerhalb von wenigen Jahren zu beobachten. Vermutlich ist dies auf Änderungen der Aktivitäten von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

Wie im Kapitel 2.3 (Probenahme und Analytik) bereits erwähnt, wurde in Härkingen-A1 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-Universität 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. Im Gegensatz zu allen anderen Stationen, an denen die Jahresmittelwerte der Partikelanzahl in den 3 letzten Jahre stagnieren, weist Härkingen-A1 einen starken Anstieg im Jahr 2015 und eine

Stagnation im 2016 auf. Nachdem im Jahr 2013 die geringsten Jahresmittelwerte für die Partikelanzahlkonzentration seit Messbeginn registriert wurden, sind die Werte inzwischen wieder auf das Niveau von 2009 gestiegen. Es ist zu beachten, dass zwischen Oktober 2011 und März 2015 umfangreiche Bauarbeiten in unmittelbarer Nähe zur Messstation Härkingen-A1 durchgeführt wurden (Ausbau der Autobahn auf sechs Fahrspuren).

In Abbildung 10 und 11 sind der Jahresverlauf der Monatsmittelwerte im Jahr 2016, sowie der durchschnittliche Jahresverlauf der Monatsmittelwerte der Partikelanzahlkonzentration seit Beginn der Messreihen dargestellt. Qualitativ gleichen sie denen der Massenkonzentrationen (siehe Abb. 8) mit Ausnahme der Station Härkingen-A1, welche einen etwas deformierten Jahresgang aufweist. Der Grund dafür liegt in den Werten vom 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 der Messaktivitäten am Standort Rigi-Seebodenalp keine wesentlichen Informationen über die Belastung erhöht gelegener Standorte an dieser wichtigen EMEP-Station verloren gehen.

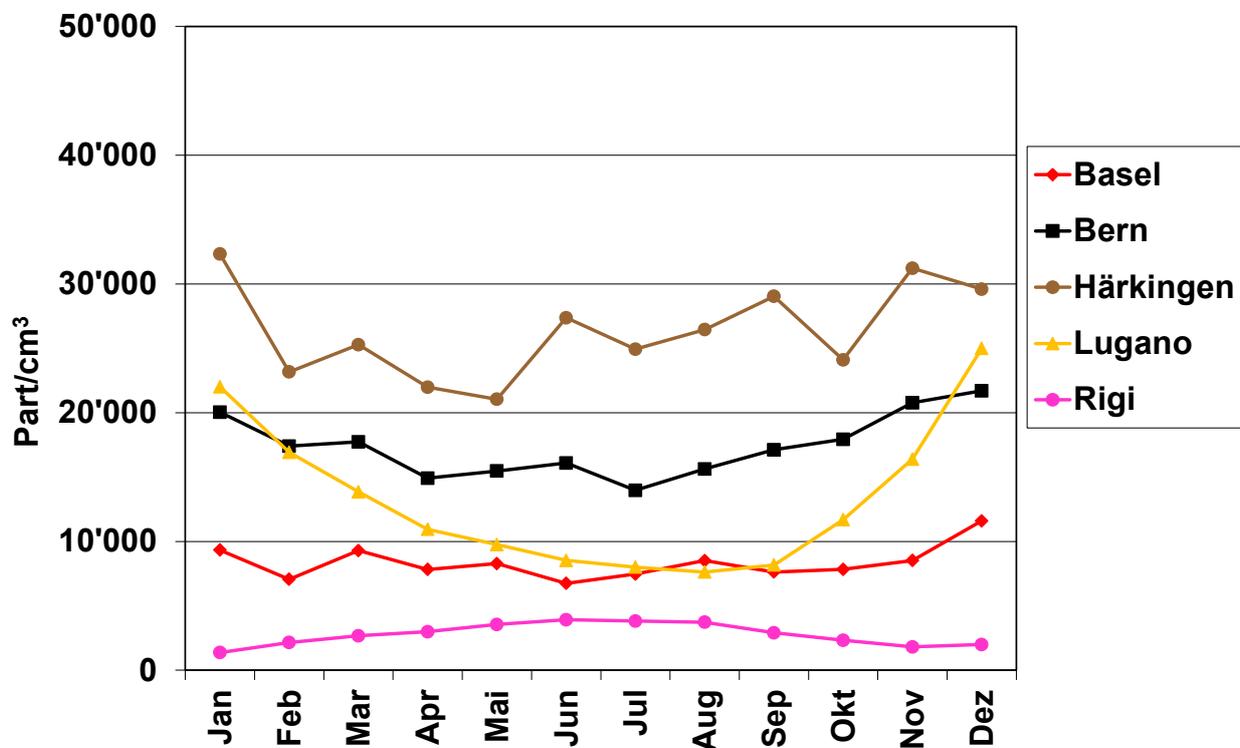


Abb. 10: Jahresverlauf der Monatsmittelwerte im Jahr 2016

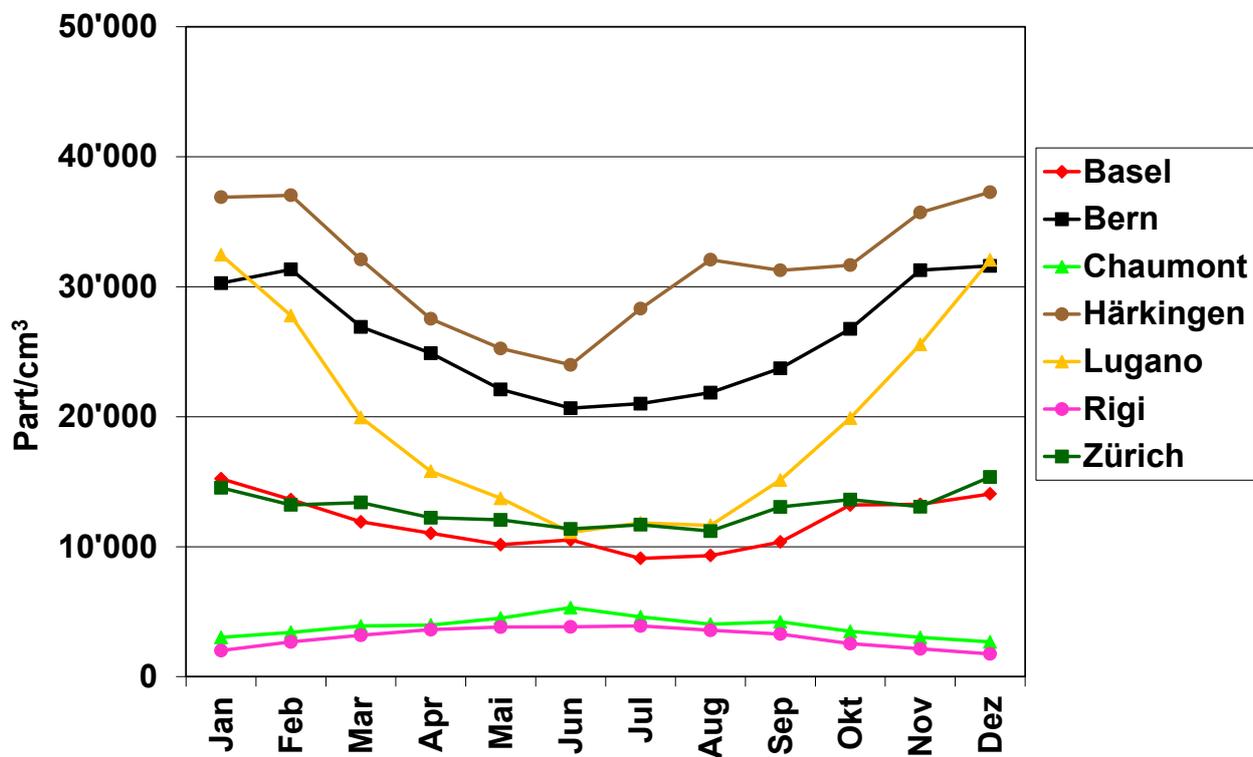


Abb. 11: Durchschnittlicher Jahresverlauf der Monatsmittelwerte der Partikelanzahlkonzentration seit Beginn der Messreihen

## 5 Literaturverzeichnis

- AEE (2015). Mortalité prématurée imputable à la pollution atmosphérique. <https://www.eea.europa.eu/fr/pressroom/newsreleases/de-nombreux-europeens-restent-exposes/mortalite-prematuree-imputable-a-la>
- BAFU (2015). Auswirkungen der Luftverschmutzung auf die Gesundheit. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/fachinformationen/auswirkungen-der-luftverschmutzung/auswirkungen-der-luftverschmutzung-auf-die-gesundheit.html>
- CEN (2014). Aussenluft - Gravimetrisches Standardmessverfahren für die Bestimmung der PM<sub>10</sub> - oder PM<sub>2,5</sub>-Massenkonzentration des Schwebstaubes. EN 12341:2014.
- CEN (2016). Aussenluft – Bestimmung der Partikelanzahlkonzentration des atmosphärischen Aerosols. CEN/TS 16976:2016.
- CFHA (2013). Les poussières fines en Suisse 2013. Commission fédérale de l'hygiène de l'air (CFHA). Berne. 66 p. <http://www.ekl.admin.ch/fr/dokumentation/publikationen.html>
- Ecoplan / Infras (2014). Externe Effekte des Verkehrs 2010. – Monetarisierung von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten. Auftraggeber: Bundesamt für Raumentwicklung (ARE). Schlussbericht 605 S.
- EEA (2015). Premature death attributable to air pollution. <https://www.eea.europa.eu/media/newsreleases/many-europeans-still-exposed-to-air-pollution-2015/premature-deaths-attributable-to-air-pollution>.
- EKL (2013). Feinstaub in der Schweiz 2013. Eidgenössische Kommission für Lufthygiene (EKL). Bern. 63 S. <http://www.ekl.admin.ch/de/dokumentation/publikationen/>
- Empa (2016). Technischer Bericht zum Nationalen Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL) 2016; Dübendorf, Switzerland; <http://empa.ch/web/s503/nabel>.
- 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 PM10 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.
- OFEV (2015). Effets de la pollution atmosphérique sur la santé. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/air/info-specialistes/effets-de-la-pollution-atmospherique/effets-de-la-pollution-atmospherique-sur-la-sante.html>
- Union européenne (2008). DIRECTIVES 2008/50/ CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe. Journal officiel de l'Union européenne L 152/1.

- WHO (2013a). 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](http://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).
- WHO (2013b). Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project: Recommendations for concentration-response functions for cost-benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. WHO Regional Office for Europe.; <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2013/health-risks-of-air-pollution-in-europe-hrapie-project.-recommendations-for-concentrationresponse-functions-for-costbenefit-analysis-of-particulate-matter,-ozone-and-nitrogen-dioxide>.
- WHO (2014). Burden of disease from ambient air pollution for 2012. [http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/databases/AAP\\_BoD\\_results\\_March2014.pdf?ua=1](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/AAP_BoD_results_March2014.pdf?ua=1).
- WHO (2016). WHO Expert Consultation: Available evidence for the future update of the WHO Global Air Quality Guidelines (AQGs) Meeting report, Bonn, Germany, 29 September-1 October 2015: WHO Regional Office for Europe; <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2016/who-expert-consultation-available-evidence-for-the-future-update-of-the-who-global-air-quality-guidelines-aqgs-2016>.

## Anhang

Tab. A1: Mittlere PM2.5/PM10-Verhältnisse der Tagesmittelwerte

	<b>BAS</b>	<b>BER</b>	<b>CHA</b>	<b>DUE</b>	<b>HAE</b>	<b>LUG</b>	<b>MAG</b>	<b>PAY</b>	<b>RIG</b>	<b>ZUE</b>
<b>1998</b>	0.72	0.58	0.74							0.76
<b>1999</b>	0.77	0.55	0.78			0.77		0.78		0.75
<b>2000</b>	0.75	0.59	0.74			0.72		0.73		0.73
<b>2001</b>	0.78	0.65	0.74			0.73		0.76		0.76
<b>2002</b>	0.76	0.64	0.74			0.74		0.74		0.74
<b>2003</b>	0.76	0.64	0.77			0.77		0.75		
<b>2004</b>	0.76	0.62	0.77			0.74		0.72		
<b>2005</b>	0.77	0.69	0.78			0.71		0.73		
<b>2006</b>	0.72	0.58	0.80			0.70		0.71		
<b>2007</b>	0.71	0.61				0.71		0.62	0.75	
<b>2008</b>	0.71	0.61						0.61	0.73	0.72
<b>2009</b>	0.73	0.66						0.66	0.72	0.71
<b>2010</b>	0.77	0.67						0.68	0.82	0.75
<b>2011</b>	0.71	0.76		0.72	0.71	0.73	0.70	0.67	0.76	0.73
<b>2012</b>	0.73	0.69		0.70	0.65	0.72	0.69	0.67	0.70	0.74
<b>2013</b>	0.74	0.66		0.74	0.70	0.76	0.72	0.75	0.78	0.77
<b>2014</b>	0.70	0.60		0.65	0.68	0.67	0.65	0.68	0.73	0.67
<b>2015</b>	0.70	0.61		0.66	0.67	0.70	0.66	0.68	0.75	0.68
<b>2016</b>	0.70	0.62		0.67	0.71	0.72	0.68	0.66	0.80	0.69

Tab. A2: PM2.5/PM10-Verhältnisse der Jahresmittelwerte

	<b>BAS</b>	<b>BER</b>	<b>CHA</b>	<b>DUE</b>	<b>HAE</b>	<b>LUG</b>	<b>MAG</b>	<b>PAY</b>	<b>RIG</b>	<b>ZUE</b>
<b>1998</b>	0.74	0.58	0.73							0.78
<b>1999</b>	0.77	0.54	0.72			0.79		0.77		0.74
<b>2000</b>	0.77	0.58	0.71			0.74		0.74		0.73
<b>2001</b>	0.78	0.64	0.74			0.76		0.77		0.76
<b>2002</b>	0.77	0.64	0.71			0.73		0.75		0.73
<b>2003</b>	0.78	0.63	0.75			0.77		0.78		
<b>2004</b>	0.77	0.62	0.72			0.78		0.74		
<b>2005</b>	0.79	0.60	0.77			0.74		0.76		
<b>2006</b>	0.75	0.58	0.76			0.72		0.74		
<b>2007</b>	0.72	0.60				0.73		0.65	0.74	
<b>2008</b>	0.74	0.61						0.63	0.71	0.75
<b>2009</b>	0.77	0.66						0.69	0.71	0.73
<b>2010</b>	0.77	0.68						0.71	0.77	0.75
<b>2011</b>	0.76	0.79		0.74	0.74	0.77	0.73	0.71	0.80	0.74
<b>2012</b>	0.77	0.71		0.73	0.65	0.76	0.74	0.71	0.75	0.78
<b>2013</b>	0.78	0.68		0.76	0.72	0.81	0.78	0.84	0.85	0.79
<b>2014</b>	0.68	0.63		0.66	0.66	0.74	0.68	0.66	0.63	0.69
<b>2015</b>	0.74	0.62		0.68	0.69	0.73	0.68	0.73	0.76	0.70
<b>2016</b>	0.74	0.65		0.71	0.74	0.78	0.71	0.70	0.77	0.71

Tab. A3: Mittlere PM1/PM10-Verhältnisse der Tagesmittelwerte

	<b>BAS</b>	<b>BER</b>	<b>CHA</b>	<b>LUG</b>	<b>PAY</b>	<b>HAE</b>	<b>RIG</b>
<b>2003</b>	0.57*	0.54*	0.62	0.62		0.60	
<b>2004</b>	0.59	0.50	0.66	0.61		0.59	
<b>2005</b>	0.60	0.49	0.67	0.57		0.60	
<b>2006</b>	0.57	0.47	0.63	0.55	0.54	0.56	
<b>2007</b>	0.53	0.49		0.56	0.50	0.53	0.62
<b>2008</b>	0.50	0.49		0.56	0.50	0.54	0.63
<b>2009</b>	0.52	0.47		0.55	0.46	0.53	0.57
<b>2010</b>	0.57	0.48		0.63	0.51	0.57	0.70
<b>2011</b>					0.52	0.58	
<b>2012</b>					0.51	0.53	
<b>2013</b>					0.60	0.56	
<b>2014</b>	**	**	**	**	**	**	**
<b>2015</b>	**	**	**	**	**	**	**
<b>2016</b>	**	**	**	**	**	**	**

*unvollständige Messreihen, siehe Tabelle 2*

*\*\* 2014 PM1-Messungen eingestellt*

Tab. A4: PM1/PM10-Verhältnisse der Jahresmittelwerte

	<b>BAS</b>	<b>BER</b>	<b>CHA</b>	<b>LUG</b>	<b>PAY</b>	<b>HAE</b>	<b>RIG</b>
<b>2003</b>	0.53*	0.46*	0.58	0.59*		0.56	
<b>2004</b>	0.58	0.49	0.58	0.61		0.57	
<b>2005</b>	0.61	0.47	0.63	0.58		0.59	
<b>2006</b>	0.56	0.46	0.58	0.55	0.52	0.55	
<b>2007</b>	0.52	0.48		0.57	0.49	0.53	0.57
<b>2008</b>	0.51	0.49		0.56	0.51	0.54	0.58
<b>2009</b>	0.53	0.47		0.57	0.47	0.54	0.51
<b>2010</b>	0.58	0.49		0.62	0.53	0.56	0.61
<b>2011</b>					0.53	0.59	
<b>2012</b>					0.50	0.50	
<b>2013</b>					0.61	0.59	
<b>2014</b>	**	**	**	**	**	**	**
<b>2015</b>	**	**	**	**	**	**	**
<b>2016</b>	**	**	**	**	**	**	**

*\* unvollständige Messreihen, siehe Tabelle 2*

*\*\* 2014 PM1-Messungen eingestellt*