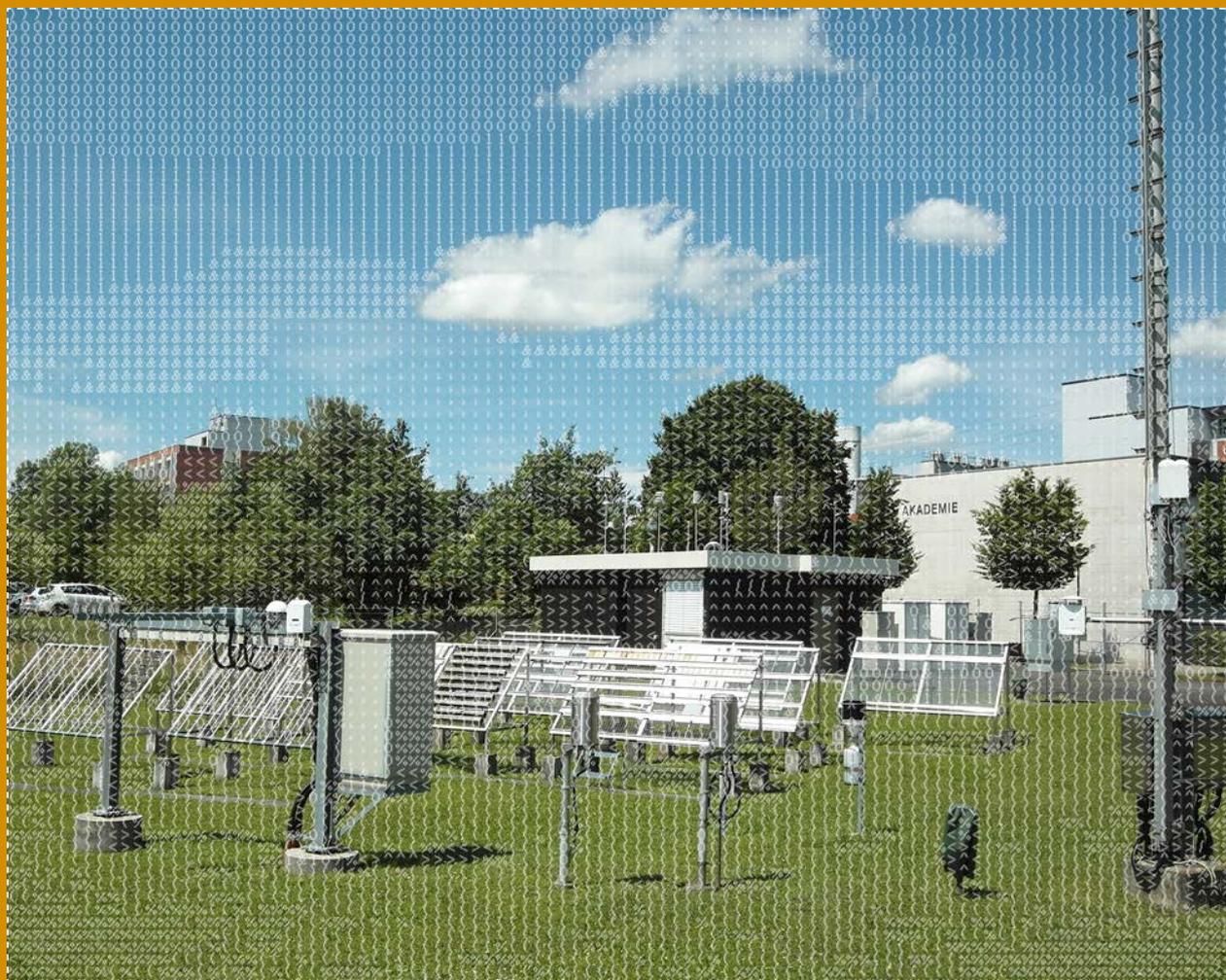


# > NABEL Luftbelastung 2013

*Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes  
für Luftfremdstoffe (NABEL)*



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU



Eidg. Materialprüfungs-  
und Forschungsanstalt



# > NABEL Luftbelastung 2013

*Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes  
für Luftfremdstoffe (NABEL)*

## **Impressum**

### **Herausgeber**

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr,  
Energie und Kommunikation (UVEK)

Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa)

### **Kontaktstelle**

BAFU

Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien

3003 Bern

Tel. 058 462 93 12

Fax 058 464 01 37

E-Mail: [luftreinhaltung@bafu.admin.ch](mailto:luftreinhaltung@bafu.admin.ch)

### **Zitiervorschlag**

BAFU 2014: NABEL – Luftbelastung 2013. Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1415: 130 S.

### **Titelbild**

Messstation Dübendorf

### **Download PDF**

[www.bafu.admin.ch/uz-1415-d](http://www.bafu.admin.ch/uz-1415-d)

(eine gedruckte Fassung liegt nicht vor)

Diese Publikation ist auch in französischer Sprache verfügbar.

© BAFU 2014

# > Inhalt

<b>Abstracts</b>	<b>5</b>	<b>5 Ozon</b>	<b>43</b>
<b>Vorwort</b>	<b>7</b>	5.1 Entstehung und Charakterisierung	43
<b>Zusammenfassung</b>	<b>8</b>	5.2 Zeitliche Entwicklung	44
		5.3 Situation 2013	48
		5.4 Ozon Jahresgang	49
		5.5 Bewertung	49
<b>1 Luftverschmutzung in der Schweiz (Übersicht)</b>	<b>14</b>	<b>6 Flüchtige organische Verbindungen</b>	<b>50</b>
1.1 Schadstoffemissionen	14	6.1 Entstehung und Charakterisierung	50
1.2 Transport und chemische Umwandlung der Schadstoffe (Transmission)	14	6.2 VOC-Summenmessung	51
1.3 Immissionssituation in der Schweiz	16	6.3 Aromatische Verbindungen	52
1.4 Auswirkungen der Luftverschmutzung	17	6.4 Gesättigte und ungesättigte Kohlenwasserstoffe	53
		6.5 Halogenierte Verbindungen	54
		6.6 Bewertung	56
<b>2 Das Nationale Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL)</b>	<b>19</b>	<b>7 Schwefeldioxid</b>	<b>57</b>
2.1 Entstehung des Messnetzes	19	7.1 Entstehung und Charakterisierung	57
2.2 Ziel und Zweck des Messnetzes	19	7.2 Zeitliche Entwicklung	57
2.3 Aufgaben des Messnetzes	20	7.3 Situation 2013	58
2.4 Standorte der Messstationen	21	7.4 Bewertung	59
2.5 Messprogramm und Messverfahren	22		
2.6 Qualitätssicherung	22	<b>8 Kohlenmonoxid</b>	<b>60</b>
2.7 Weitere NABEL-Publikationen	24	8.1 Entstehung und Charakterisierung	60
		8.2 Zeitliche Entwicklung	60
		8.3 Situation 2013	61
		8.4 Bewertung	62
<b>3 Stickoxide</b>	<b>25</b>	<b>9 Staubbiederschlag</b>	<b>63</b>
3.1 Entstehung und Charakterisierung	25		
3.2 Zeitliche Entwicklung	25	<b>10 Schwermetalle im Feinstaub und im Staubbiederschlag</b>	<b>64</b>
3.3 Situation 2013	27	10.1 Blei	64
3.4 Bewertung	31	10.2 Cadmium	66
		10.3 Zink	68
		10.4 Thallium	69
		10.5 Bewertung	69
		10.6 Weitere Metalle	69
<b>4 Feinstaub</b>	<b>32</b>		
4.1 Entstehung und Charakterisierung	32		
4.2 Zeitliche Entwicklung	32		
4.3 Situation 2013	33		
4.4 PM2.5 und PM1-Messungen	35		
4.5 Partikelanzahl – Messungen	37		
4.6 Schwefel im Feinstaub	38		
4.7 Bewertung	39		
4.8 Benzo(a)pyren im Feinstaub	40		
4.9 Russgehalt im Feinstaub	41		

<b>11 Regen-Inhaltsstoffe</b>	<b>70</b>
11.1 Entstehung und Charakterisierung	70
11.2 Zeitliche Entwicklung	71
11.3 Situation 2013	73
11.4 Bewertung	75
<b>12 Gasförmige und partikuläre Stickstoffverbindungen</b>	<b>76</b>
12.1 Summenmessung von Stickstoffkomponenten	76
12.2 Gas- und Aerosolphase von Stickstoffverbindungen	78
12.3 Ammoniak	78
<b>13 Witterung</b>	<b>80</b>
13.1 Situation 2013	80
13.2 Inversionen	81
<b>14 Verkehrszahlen</b>	<b>82</b>
<b>15 Ausblick</b>	<b>83</b>
<b>Anhang A</b>	<b>85</b>
Anhang A1: Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte- Verordnung	86
Anhang A2: Standortcharakterisierung	87
Anhang A3: NABEL-Messprogramm	88
Anhang A4: Messverfahren	89
Anhang A5: Masseinheiten und statistische Masszahlen	90
Anhang A6: Homogenisierung von Messreihen der Station Bern	91
<b>Anhang B</b>	<b>93</b>
Anhang B1: Messwerte 2013 der 16 Stationen des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe, NABEL	93

## > Abstracts

The present report analyses the state of air quality and the extent of air pollution in Switzerland on the basis of data collected by the National Air Pollution Monitoring Network (NABEL). It documents the evolution of air pollution since the beginning of the eighties and comprehensively presents the measurements obtained in 2013. The ambient air quality during 2013 can be characterised as follows: Exceedances of the ambient air quality standard were observed for ozone, respirable fine particulates (PM10) and nitrogen dioxide. The standards for sulphur dioxide, carbon monoxide, dust fall, and heavy metals were respected in all cases. The air quality has significantly improved over the last 25 years.

Der Bericht dokumentiert anhand von Messresultaten des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL) den Zustand der Luft in der Schweiz. Er zeigt die Entwicklung der Luftverschmutzung seit Beginn der 1980er-Jahre und präsentiert ausführlich die Messwerte des Jahres 2013. Die Luftbelastung des Jahres 2013 kann wie folgt charakterisiert werden: Grenzwertüberschreitungen werden bei den Schadstoffen Ozon, lungengängiger Feinstaub (PM10) und Stickstoffdioxid beobachtet. Überall eingehalten werden die Grenzwerte für Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid, Staubbiederschlag und die Schwermetalle. Die Entwicklung der Luftbelastung in den letzten 25 Jahren zeigt eine deutliche Verbesserung.

Le présent rapport analyse, sur la base des mesures enregistrées par les stations du réseau national d'observation des polluants atmosphériques (NABEL), l'état de l'air en Suisse. Il met en lumière l'évolution de la situation depuis le début des années 1980 et présente en détail les résultats des mesures effectuées en 2013. Pour 2013, la situation en matière d'immissions peut être caractérisée ainsi: Les valeurs limites fixées pour l'ozone, les fines particules respirables (PM10) et le dioxyde d'azote ont été dépassées, celles pour le dioxyde de soufre, le monoxyde de carbone, les retombées de poussières et les métaux lourds ont pu être respectées partout. La charge polluante de l'air s'est nettement améliorée ces 25 dernières années.

Sulla base delle misurazioni effettuate dalla Rete nazionale d'osservazione degli inquinanti atmosferici (NABEL), il rapporto documenta la situazione in Svizzera dell'inquinamento atmosferico, mostra l'evolvere della situazione a partire dagli anni '80 e presenta in dettaglio i valori misurati nel 2013. La situazione relativa alle immissioni in Svizzera nel 2013 può essere descritta nel modo seguente: sono stati rilevati superamenti dei valori limite per ozono, polveri fini respirabili (PM10) e le sostanze biossido di azoto. I valori dell'anidride solforosa, del monossido di carbonio, della precipitazione di polveri e dei metalli pesanti sono stati rispettati ovunque. Il carico di inquinanti atmosferici negli ultimi 25 anni mostra un evidente miglioramento.

**Keywords:**

air pollution control, air quality measurements, air pollutants and temporal evolution, assessment of air quality

**Stichwörter:**

Luftreinhaltung, Immissionsmessungen, Luftschadstoffe und zeitliche Entwicklung, Beurteilung der Luftqualität

**Mots-clés:**

protection de l'air, mesures d'immissions, polluants atmosphériques et évolution temporelle, appréciation de la qualité de l'air

**Parole chiave:**

lotta contro l'inquinamento atmosferico, misurazione delle immissioni, inquinati atmosferici e evoluzione temporale, valutazione della qualità dell'aria



---

## > Vorwort

Ein Mensch atmet pro Tag etwa 15'000 Liter oder umgerechnet gut 15 Kilogramm Luft ein. Damit ist die Umgebungsluft unser wichtigstes Lebensmittel und es stellen sich sofort Fragen: Wie gut ist dieses Lebensmittel? Genügt die Umgebungsluft dem Anspruch, Gesundheit und Umwelt nicht zu gefährden? Waren die bisherigen Luftreinhalte-Massnahmen erfolgreich? Wo liegen allfällige Defizite?

Zu diesen und weiteren Fragen geben die Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL) Auskunft. Sie belegen den Erfolg der bisherigen Luftreinhalte-Politik von Bund, Kantonen und Gemeinden. Die Qualität der Luft ist seit etwa 1985 deutlich besser geworden. Die Mehrzahl der Grenzwerte zum Schutz der Gesundheit und der Umwelt werden heute eingehalten. Trotzdem ist das gesetzlich verankerte Ziel einer sauberen Luft noch nicht erreicht. Es ist dabei insbesondere an die gesundheitlichen Risiken durch zu hohe Belastung mit Ozon, Feinstaub, Stickstoffdioxid und kanzerogenen Luftschadstoffen, aber auch an die zu hohen Stickstoffeinträge in empfindliche Ökosysteme zu denken. Die Fortführung einer konsequenten und griffigen Luftreinhalte-Politik ist unabdingbar, um auch die verbleibenden übermässigen Immissionen nachhaltig zu beseitigen.

Dazu sind Massnahmen zur Verminderung der Schadstoffemissionen nötig. Insbesondere der Ausstoss von Stickoxiden, Ammoniak, flüchtigen organischen Verbindungen, lungengängigem Feinstaub sowie krebserregenden Stoffen (zum Beispiel Dieseleruss, Benzo(a)pyren aus Holzverbrennung oder Benzol) muss noch weiter gesenkt werden. Die technischen Möglichkeiten zur Emissionsminderung sollen bei allen Quellen ausgeschöpft werden. Der Schadstoffausstoss hängt aber auch von der Entwicklung der Mobilität, des Energieverbrauchs, der industriellen und landwirtschaftlichen Produktion und des Konsums ab.

An mehreren Standorten des NABEL werden zusätzliche Grössen wie PM2.5, die Partikelanzahl, Russ und andere gemessen, um die Wirksamkeit von Massnahmen zur Emissionsminderung zu verfolgen.

Der vorliegende, jährlich erscheinende Bericht mit seiner Beurteilung der Luftbelastung ist ein wichtiger Bestandteil der Erfolgskontrolle und zeigt die Notwendigkeit weiterer Luftreinhalte-Massnahmen klar auf.

Martin Schiess  
Chef der Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien  
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

## > Zusammenfassung

### Luftbelastung des Jahres 2013

Die Luftbelastung des Jahres 2013 zeigte ein ähnliches Bild wie in den letzten Jahren. Die Belastung durch Feinstaub (PM10), Stickstoffdioxid und Schwefeldioxid hat an den meisten Standorten seit dem Jahr 2000 weiter abgenommen, während die Belastung durch Ozon im Streubereich der Jahre 2000 bis 2012 lag. Trotz der Verbesserungen der letzten zwanzig Jahre sind die Immissionsgrenzwerte für Ozon, PM10 und Stickstoffdioxid weiterhin überschritten, infolge der immer noch zu hohen Emissionen von Luftschadstoffen in der Schweiz und den Nachbarländern.

Überblick

Während der Wintermonate des Jahres 2013 traten über der Schweiz keine lang anhaltenden austauscharmen Inversionslagen auf. Infolgedessen war die Belastung durch Feinstaub und Stickstoffdioxid geringer als in Jahren mit langen Inversionsperioden. Der Sommer war in der ganzen Schweiz gekennzeichnet durch häufige Frontdurchgänge und Gewitter, entsprechend war die Ozonbelastung tiefer als in Jahren mit vielen langanhaltenden sonnigen Perioden. Die Schönwetterphase im Juli und August brachte zwar sehr hohe Temperaturen, aber keine sehr hohen Ozonwerte.

Witterung

Wie in den Vorjahren wurde der Immissionsgrenzwert von 120 Mikrogramm pro Kubikmeter ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) für den Stundenmittelwert an allen Stationen überschritten. Die häufigsten Grenzwertüberschreitungen (491–698 Stunden) wurden im Tessin und in den mittleren Höhenlagen der Alpennordseite (um 1000 m über Meer) gemessen. Diese Stunden verteilten sich auf 49 bis 86 Tage. In den übrigen Gebieten der Alpennordseite wurden an 15 bis 54 Tagen während 39–504 Stunden zu hohe Ozonwerte gemessen.

Ozon

Eine der NABEL-Messstellen registrierte im Tessin einen maximalen Ozonwert von  $215 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , auf der Alpennordseite lag der Spitzenwert bei  $189 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die Belastung durch hohe Ozonkonzentrationen wird durch den höchsten monatlichen 98 %-Werte der Ozon-Halbstundenmittel beschrieben. In der ganzen Schweiz wird der dafür festgelegte Immissionsgrenzwert von  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  deutlich überschritten.

In den Städten und Vorstädten wurden im 2013 Jahresmittelwerte zwischen  $17$  und  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gemessen, verkehrsnah bis  $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Immissionsgrenzwert:  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Auf dem Land, entlang den Autobahnen, wurden Werte von  $20$ – $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$  beobachtet. Abseits von Strassen lagen auf der Alpennordseite die ländlichen Werte mit  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  unter dem Grenzwert. An den Stationen oberhalb 1000 m über Meer sind die Messwerte mit  $7$ – $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  deutlich niedriger als der Grenzwert. Der Tagesmittelgrenzwert von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wurde in den Städten und Agglomerationen an 5 bis 11 Tagen überschritten. Dabei wurden maximale Tagesmittelwerte von  $65$ – $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$  erreicht. Auf dem Land der Alpennordseite wurde der Wert von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  noch an 7 bis 9 Tagen überschritten (Maximum:  $72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). An den Stationen Chaumont und Rigi-Seebodenalp, über 1000 m gelegen, wurde kein Tagesmittelwert über  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  registriert.

Feinstaub

Wie in den vergangenen Jahren wurden die Immissionsgrenzwerte des Jahresmittels von Stickstoffdioxid im Jahr 2013 in den grossen Städten leicht überschritten und entlang von stark befahrenen Hauptverkehrsstrassen zum Teil noch deutlich überschritten. In den vorstädtischen Gebieten lag die Belastung unter dem Grenzwert, im ländlichen Raum abseits der Strassen deutlich darunter. Die meisten Grenzwertüberschreitungen des Tagesmittelwerts von Stickstoffdioxid wurden 2013 in den Städten und entlang von Autobahnen gezählt. Es wurden bis zu 13 Tage mit Tagesmittelwerten über 80 µg/m<sup>3</sup> registriert.

Stickstoffdioxid

Keine Grenzwertüberschreitungen wurden im Jahr 2013 bei Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid, Staubniederschlag und den Schwermetallen beobachtet. Die Belastung durch diese Schadstoffe liegt mehrheitlich weit unter den Grenzwerten.

Übrige Schadstoffe

### Entwicklung der Luftbelastung im Überblick

Die langjährige Entwicklung der Luftbelastung mit einzelnen Schadstoffen ist in Abb. 1 und Abb. 2 dargestellt.

Obwohl die Ozon-Vorläuferschadstoffe (NO<sub>x</sub> und VOC) seit Mitte der 80er-Jahre deutlich zurückgegangen sind, hat die Ozonbelastung im gleichen Zeitraum weniger stark abgenommen. Verantwortlich dafür sind die komplexen chemischen Prozesse bei der Bildung von Ozon und grösserräumige Transportprozesse. Die Reduktion der Vorläuferschadstoffe führt nicht automatisch zu einer gleich grossen Abnahme der Ozonbelastung. So hat das Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>), welches für die Ozonbildung massgeblich ist, weniger stark abgenommen als das Stickstoffmonoxid (NO). Vor allem die Spitzenwerte von Ozon sind durch schweizerische Emissionen bestimmt und haben seit Messbeginn abgenommen.

Ozon

Auf Grund ausgedehnter Vergleichsmessungen zwischen Feinstaub (PM10) und Gesamtschwebstaub (TSP), die 1997/98 durchgeführt wurden, konnten die PM10-Werte der ersten Hälfte der 90er-Jahre geschätzt werden. Die PM10-Belastung hat seit 1990 deutlich abgenommen. Die erhöhte Belastung durch PM10 in den Jahren 2003 und 2006 ist auf die langanhaltenden Inversionslagen dieser Jahre zurückzuführen. Die Höhe der PM10-Belastung wird sehr stark durch die Häufigkeit des Auftretens von winterlichen Inversionslagen bestimmt. Diese unterbinden den Luftaustausch und führen zu hohen PM10-Konzentrationen in Bodennähe.

Feinstaub

Die Belastung der Luft durch Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) hat seit dem Jahr 1990 deutlich abgenommen. Die zu beobachtenden Schwankungen in der Belastung von Jahr zu Jahr sind im Wesentlichen auf die Witterungsbedingungen zurückzuführen. An verkehrsbeeinflussten Standorten haben die Stickoxidwerte (NO<sub>x</sub>) stärker abgenommen als die NO<sub>2</sub>-Werte. Dies bedeutet, dass sich das Verhältnis zwischen NO und NO<sub>2</sub> in den letzten Jahren systematisch verschoben hat. Bei einem Rückgang der NO<sub>x</sub>-Emissionen und einem gleich bleibenden Oxidationspotenzial der Atmosphäre ist diese Verschiebung jedoch zu erwarten.

Stickoxide

Die Belastung durch Schwefeldioxid hat seit dem Jahr 2000 weiter abgenommen. Sie ist heute auf weniger als ein Zehntel der Belastung zu Beginn der 80er-Jahre gesunken. Mehrheitlich rückläufig sind ebenfalls Kohlenmonoxid, die flüchtigen organischen Verbindungen, die Schwermetalle im Feinstaub und auch das krebserregende Benzol. Die kürzlich aufgenommenen Messungen von Russ und Benzo(a)pyren zeigen eine Abnahme der Konzentrationen seit Messbeginn.

Übrige Schadstoffe

Auch der Säuregehalt des Regens und damit der Säureeintrag in Ökosysteme sind in den letzten Jahren zurückgegangen. Kaum abgenommen hat demgegenüber der Stickstoffeintrag durch den Regen. Beide Einträge liegen noch immer deutlich über den kritischen Belastungsgrenzen für empfindliche Ökosysteme (siehe Kapitel 11).

Der Zustand der Schweizer Luft im Jahre 2013 in Bezug auf die Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung ist in Abb. 3 dargestellt. Abb. 4 gibt eine Übersicht der Veränderung der Luftbelastung in der Schweiz zwischen 1988 und 2013.

### Beurteilung

Obwohl in den letzten Jahren bedeutende Fortschritte in der Reinhaltung der Luft erzielt wurden, ist das gesetzlich verankerte Ziel einer sauberen Luft noch lange nicht erreicht. Es ist dabei insbesondere an die gesundheitlichen Risiken durch zu hohe Belastung mit Feinstaub, Ozon, Stickstoffdioxid und kanzerogenen Luftschadstoffen, aber auch an die zu hohen Stickstoffeinträge in empfindliche Ökosysteme zu denken.

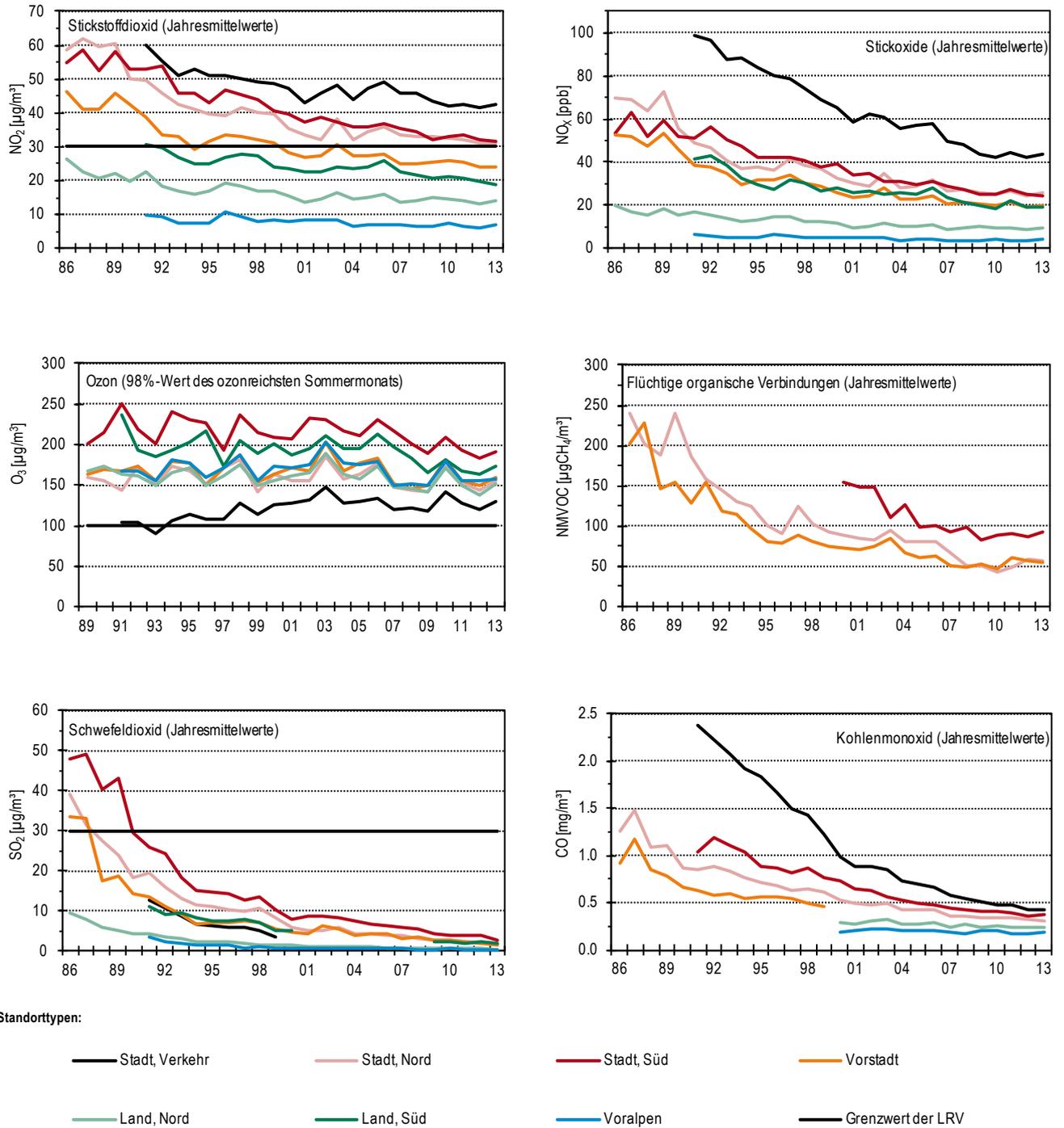
Trotz bedeutender Fortschritte muss die Luft noch sauberer werden

Die Verbesserung der Luftqualität ist eine komplexe Aufgabe. Sie muss in vielen Schritten erfolgen, da es keine einzelne Massnahme gibt, die die Probleme auf einen Schlag lösen könnte. Jede Massnahme, die zu einer Verminderung von Schadstoffemissionen führt, ist sinnvoll. Wichtig ist dabei, dass bei allen Entscheiden über Verkehr, Energie, Raumplanung, Landwirtschaft und Finanzen auch deren Auswirkungen auf die Luftqualität beurteilt und berücksichtigt werden. Lösungsansätze ergeben sich aus einer konsequenten Umsetzung des Verursacherprinzips, der Kostenwahrheit im Verkehr und der Schaffung von Anreizen, die umweltschonendes Verhalten für Wirtschaft und Konsumenten lohnend werden lassen. Da Luftschadstoffe nicht an nationalen Grenzen halt machen, sind auch internationale Anstrengungen zur Emissionsminderung notwendig. Einen weiteren grossen Schritt stellt das Protokoll zur Bekämpfung der Versauerung, der Eutrophierung und des bodennahen Ozons (Göteborger Protokoll) des UNECE-Übereinkommens über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung dar. Dieses legt für die 31 Unterzeichnerstaaten des Göteborger Protokolls in Europa und Nordamerika nationale Emissionsziele für Stickoxide, Schwefeldioxid, Ammoniak und flüchtige organische Verbindungen fest.

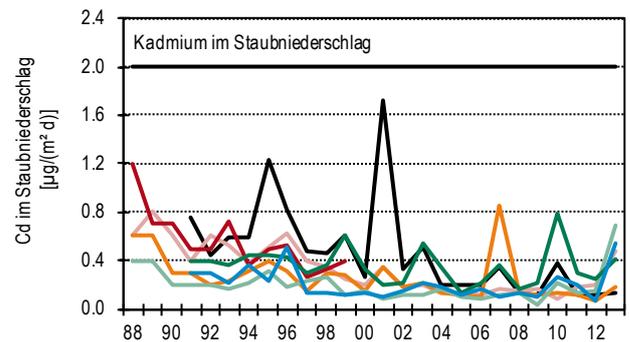
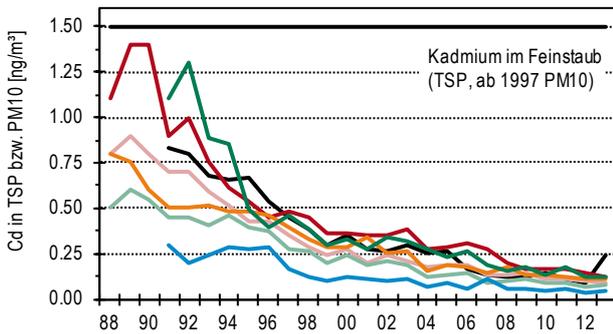
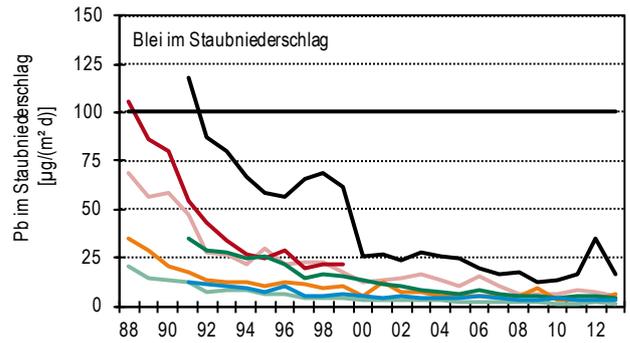
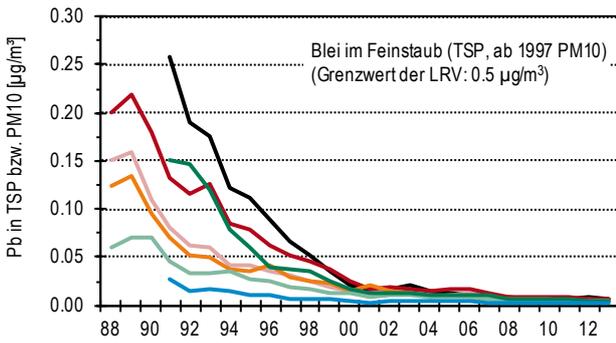
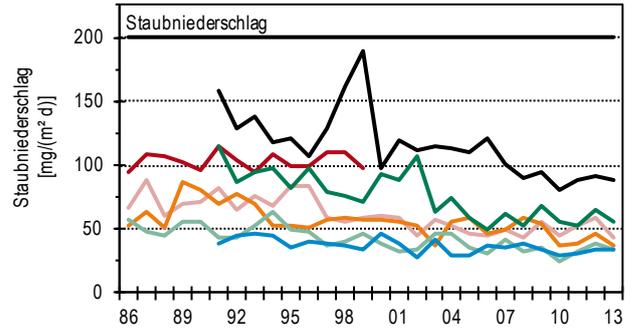
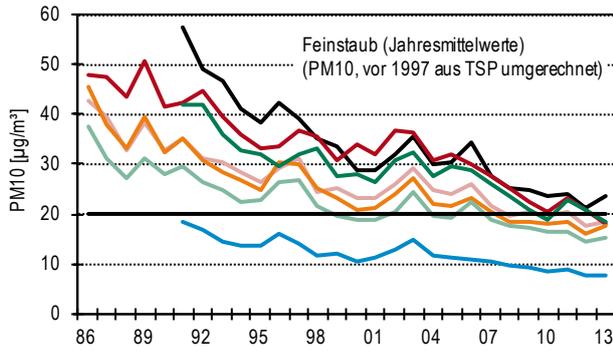
Weitere Massnahmen sind erforderlich

**Abb. 1 > Immissionsentwicklung 1986–2013 an verschiedenen Standorttypen für die Schadstoffe Stickstoffdioxid, Stickoxide, Ozon, flüchtige organische Verbindungen (NMVOC), Schwefeldioxid und Kohlenmonoxid**

Die Messwerte der Station Bern wurden homogenisiert (siehe Anhang 6).



**Abb. 2 > Schadstoffentwicklung 1986–2013 an verschiedenen Standorttypen für Feinstaub (PM10, Werte vor 1997 aus TSP-Messungen umgerechnet) und Staubbiederschlag, sowie für Blei und Cadmium im Feinstaub und Staubbiederschlag, Jahresmittelwerte**

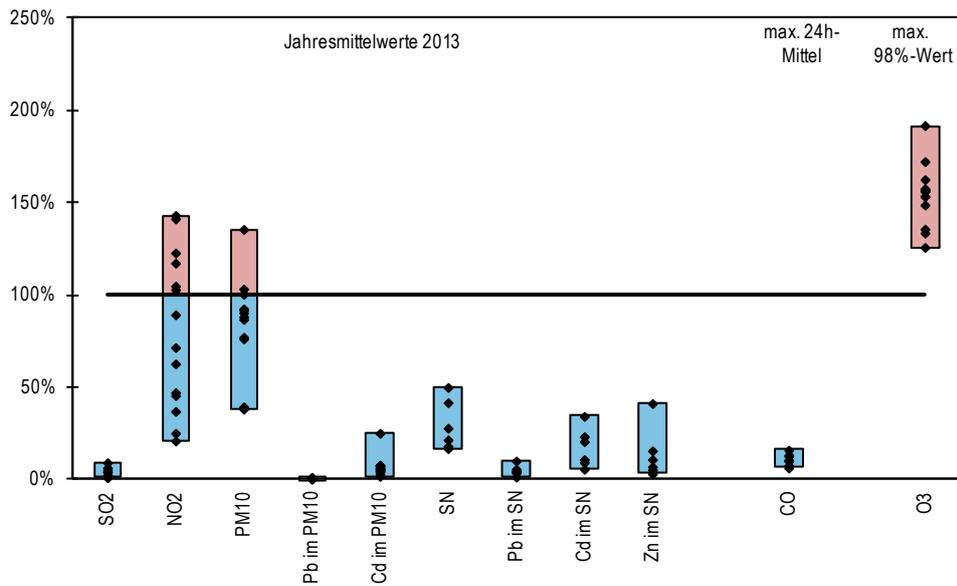


Standorttypen:

- Stadt, Verkehr
  - Land, Nord
- Stadt, Nord
  - Land, Süd
- Stadt, Süd
  - Voralpen
- Vorstadt
  - Grenzwert der LRV

**Abb. 3 > Übersicht der Schadstoffbelastung 2013 im Vergleich zu den Immissionsgrenzwerten der Luftreinhalte-Verordnung**

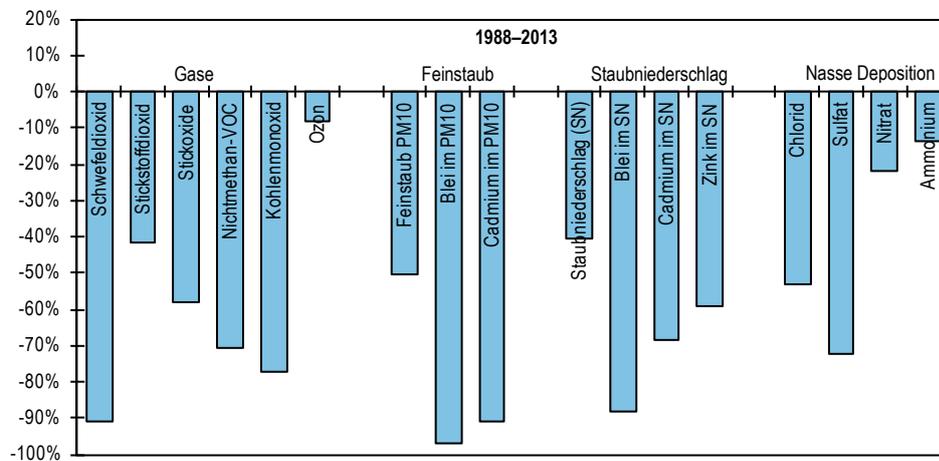
Eingezeichnet sind die Werte der einzelnen NABEL-Stationen, ausser der alpinen Stationen Davos und Jungfrauoch.



SN = Staubniederschlag

**Abb. 4 > Veränderung der Luftbelastung in der Schweiz zwischen 1988 und 2013**

Berücksichtigt wurden alle NABEL-Stationen mit durchgehenden Messreihen, ausser den Bergstationen.



SN = Staubniederschlag

Prozentuale Abnahme der Jahresmittel, ausser CO (maximales Tagesmittel) und Ozon (maximaler monatlicher 98 %-Wert)

# 1 > Luftverschmutzung in der Schweiz (Übersicht)

---

## 1.1 Schadstoffemissionen

Unter Schadstoffemissionen versteht man in der Lufthygiene vor allem anthropogene, d. h. durch menschliche Tätigkeit bedingte Prozesse, wodurch der Atmosphäre Stoffe zugemischt werden. Die anthropogenen Emissionen von Stickoxiden ( $\text{NO}_x$ ), Feinstaub ( $\text{PM}_{10}$ ), flüchtigen organischen Verbindungen (VOC), Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ), Kohlenmonoxid ( $\text{CO}$ ), Staub und Schwermetallen (z. B. Blei, Cadmium) werden überwiegend freigesetzt bei Verbrennungsvorgängen in Motoren und Feuerungen, bei industriellen Prozessen, durch mechanischen Abrieb und beim Einsatz von Lösemitteln und Treibstoffen.

Anthropogene  
Schadstoffemission

Neben den anthropogenen Emissionen gibt es auch Emissionen aus natürlichen Quellen. Vergleicht man die natürlichen und die anthropogenen Emissionen, so ergibt sich, dass der Anteil der natürlichen Emissionen von  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  und  $\text{CO}$  in der Schweiz weniger als 3 % der Gesamtemissionen beträgt. Bei den Nichtmethan-VOC (NMVOC) tragen die natürlichen Emissionen knapp zur Hälfte bei. Die vom Menschen verursachten Emissionen überwiegen also in den meisten Fällen in der Schweiz die natürlichen Emissionen bei weitem.

Natürliche Quellen

Die von Menschen verursachten Schadstoffemissionen werden vier Quellengruppen zugeordnet: Verkehr, Haushalt, Industrie und Gewerbe sowie Land- und Forstwirtschaft. Abb. 5 zeigt die Beiträge dieser Quellengruppen an den Emissionen einiger Leitschadstoffe.

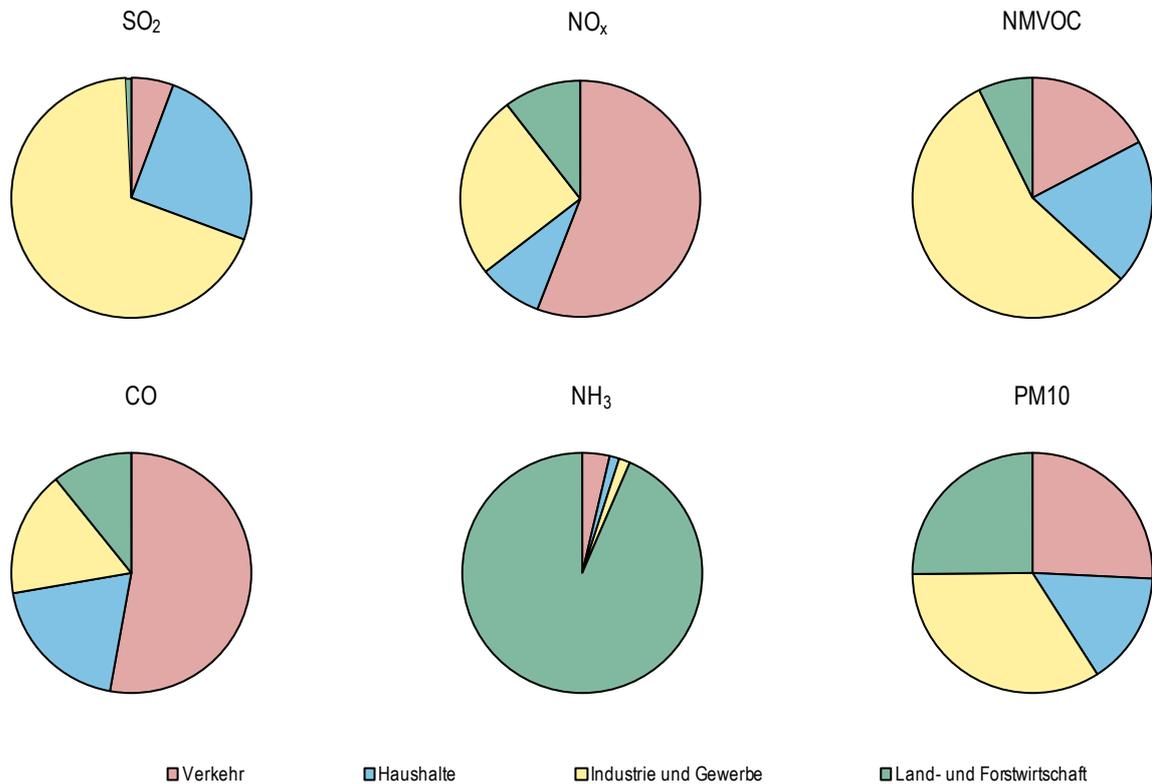
Beiträge verschiedener  
Quellengruppen

## 1.2 Transport und chemische Umwandlung der Schadstoffe (Transmission)

Die von den Emissionsquellen ausgestossenen Schadstoffe wie Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ), Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ), flüchtige organische Verbindungen (NMVOC), Kohlenmonoxid ( $\text{CO}$ ), Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) und bedeutende Bestandteile des Feinstaubes ( $\text{PM}_{10}$ , vor allem Russ und mineralische Feststoffe) werden als primäre Luftschadstoffe bezeichnet. Die Konzentration der primären Luftschadstoffe ist im Allgemeinen in der Nähe der Emissionsquellen am grössten. Mit zunehmender Entfernung von der Quelle nimmt die Konzentration dieser primären Schadstoffe in der Luft ab, da sie mit der Umgebungsluft vermischt und dadurch verdünnt werden. Darüber hinaus können die emittierten Schadstoffe in der Atmosphäre chemisch umgewandelt werden, wobei neue, sogenannte sekundäre Schadstoffe (z. B. Ozon und Bestandteile des Feinstaubes) mit teilweise ganz anderen Eigenschaften und Wirkungen entstehen.

Primäre und sekundäre  
Schadstoffe

**Abb. 5 > Beiträge verschiedener Quellengruppen an den anthropogenen schweizerischen Emissionen nach Territorialprinzip: Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Stickoxide (NO<sub>x</sub>), flüchtige organische Verbindungen (NMVOC), Kohlenmonoxid (CO), Ammoniak (NH<sub>3</sub>) und primärer Feinstaub (PM<sub>10</sub>)**



Transport und chemische Umwandlung der Schadstoffe werden entscheidend beeinflusst durch die Höhe der Emissionsquelle, die emittierte Schadstoffmenge, die Art und die Zusammensetzung der Schadstoffe, die Geländeform sowie durch meteorologische Faktoren wie Sonneneinstrahlung, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Windverhältnisse und Wetterlage. Diese Bedingungen können je nach Jahreszeit erheblich variieren.

**Transport, chemische Umwandlung, Meteorologie**

Im Winter können austauscharme Wetterlagen – sogenannte Inversionslagen – auftreten. Die Verdünnungskapazität der Atmosphäre ist während solchen Wetterlagen stark reduziert und die Schadstoffverfrachtung wird vermindert. Die Schadstoffe sammeln sich in einem relativ geringen Luftvolumen an, was zu erhöhten Belastungen, insbesondere von Stickoxiden, Feinstaub und Schwefeldioxid führt.

**Wintersmog**

Im Sommer können aus Stickoxiden und flüchtigen organischen Verbindungen durch chemische Umwandlungen sogenannte Photooxidantien wie das Ozon entstehen (Sommersmog). Da zur photochemischen Ozon- und Oxidantienbildung intensive und andauernde Sonneneinstrahlung notwendig sind und erhöhte Lufttemperaturen den Reaktionsablauf begünstigen, treten besonders hohe Ozonbelastungen bei windschwachen Schönwetterlagen (Hochdruckwetterlagen) von Frühling bis Herbst auf.

**Sommersmog**

Die in die Atmosphäre abgegebenen Schadstoffe werden durch verschiedene Prozesse wieder aus der Atmosphäre entfernt, wodurch sich stoffspezifische Verweilzeiten in der Atmosphäre von Stunden bis zu Tagen und Wochen ergeben. Dementsprechend werden kleine oder grosse Schadstoffverfrachtungen über Distanzen von einigen wenigen bis zu Tausenden von Kilometern möglich. So können Depositionen von Schwefel- und Stickstoffverbindungen, z. B. durch den sauren Regen, zum Teil bedeutende Anteile aus weiträumiger Herkunft haben.

Deposition

### 1.3 Immissionssituation in der Schweiz

Die Grenzwerte für den Schadstoff Stickstoffdioxid werden in den Stadtzentren noch überschritten. In den vorstädtischen Gebieten liegen die NO<sub>2</sub>-Werte abseits der Hauptverkehrsstrassen unter dem Grenzwert, entlang der Hauptverkehrsstrassen in der Regel deutlich darüber. Im ländlichen Raum werden die NO<sub>2</sub>-Grenzwerte, mit Ausnahme von Korridoren entlang der Hauptverkehrsachsen, eingehalten.

Stickstoffdioxid

Die Konzentration von lungengängigem Feinstaub (PM10) liegt in den Städten und Vorstädten deutlich über den Immissionsgrenzwerten und auf dem Land im Bereich der Immissionsgrenzwerte. Erst in höheren Lagen (oberhalb von 1000 m ü. M.) wird der Jahres- und Tagesgrenzwert von PM10 deutlich unterschritten.

Feinstaub

Die Belastung durch den Schadstoff Ozon liegt während Sommersmoglagen in der ganzen Schweiz flächendeckend und zum Teil erheblich über den Grenzwerten. Für die Beurteilung der Ozonbelastung dient der 98 %-Wert der Halbstundenmittelwerte des ozonreichsten Sommermonats. Er gibt an, welcher Ozonwert während 15 Stunden eines Monats überschritten wird. Entlang von Strassen werden zum Teil niedrigere Ozonwerte gemessen, da das in grossen Mengen vorkommende Stickstoffmonoxid das Ozon abbaut und dabei in Stickstoffdioxid umgewandelt wird. Die Stadtzentrumstationen mit den niedrigsten Ozonwerten sind aus diesem Grund gleichzeitig diejenigen Stationen mit den höchsten NO<sub>2</sub>-Werten.

Ozon

Keine Grenzwertüberschreitungen wurden 2013 bei den Schadstoffen Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid und bei den Schwermetallen im Feinstaub beobachtet. Die Belastung durch Schwermetalle (Blei, Cadmium, Zink) im Staubbiederschlag liegt in der Regel deutlich unter den Grenzwerten.

Übrige Schadstoffe

Diese Beurteilung macht deutlich, dass in der Schweiz insbesondere Stickstoffdioxid, lungengängiger Feinstaub und Ozon ein Problem darstellen. Die früher zu beobachtenden hohen Belastungen durch Schwefeldioxid haben sich dagegen – als Folge der Entschwefelung von Brenn- und Treibstoffen – deutlich verringert und stellen heute praktisch kein Problem mehr dar.

Drei Problemschadstoffe:  
NO<sub>2</sub>, PM10, Ozon

## 1.4 Auswirkungen der Luftverschmutzung

Luftverschmutzung ist eine nachweisliche Ursache für Krankheit und vorzeitige Todesfälle. Luftschadstoffe können beim Menschen auch in den in der Schweiz üblichen Konzentrationen sowohl akute wie auch chronische Wirkungen hervorrufen. Je nach Schadstoff sind einzelne Organe stärker betroffen: so die Atemwege durch PM10, Stickstoffdioxid, Ozon und Schwefeldioxid; das Herz-Kreislaufsystem durch PM2.5, ultrafeine Partikel, Stickstoffdioxid und Kohlenmonoxid; Nervensystem, Blut und Niere durch Blei; die Niere auch durch Cadmium (weitere Informationen in der Broschüre: «Luftverschmutzung und Gesundheit», 2010:

[www.ersnet.org/index.php/publications/air-quality-and-health.html](http://www.ersnet.org/index.php/publications/air-quality-and-health.html)).

PM10, PM2.5 und auch Russ haben sich als gute Indikatoren für das gesundheitlich relevante Schadstoffgemisch erwiesen. Je feiner die Partikel, desto tiefer können sie in die Lunge eindringen, das Reinigungssystem der Lunge schädigen und zu entzündlichen Reaktionen führen. Studien aus der USA zeigen, dass die Reduktion der Feinstaubbelastung (PM2.5) in den 80er- und 90er-Jahren zu rund 15 % der beobachteten Erhöhung der Lebenserwartung beigetragen haben könnte.

Untersuchungen im Rahmen von SCARPOL und SAPALDIA haben gezeigt, dass sich die Gesundheit von Kindern und Erwachsenen rasch verbessert, wenn der Schadstoffgehalt der Luft abnimmt. Massnahmen zur Verbesserung der Luftqualität haben also einen messbaren positiven Einfluss auf die Gesundheit der Bevölkerung.

Stickstoffdioxid führt zu Entzündungserscheinungen in den Atemwegen und verstärkt die Reizwirkung von Allergenen. Nimmt die NO<sub>2</sub>-Belastung der Aussenluft zu, werden kurzfristig die Sterbefälle und Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen häufiger und es treten mehr Herzrhythmusstörungen auf.

Beim Ozon stehen akute Wirkungen im Vordergrund. Es sind dies – je nach Konzentration und Dauer der Belastung – Reizungen von Augen, Nase, Hals und tieferen Atemwegen, Enge und Druck auf der Brust sowie Husten. Ferner werden die Lungenfunktion und die körperliche Leistungsfähigkeit herabgesetzt und die Sterblichkeit erhöht.

Dieselpartikel, Benzol, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) sowie Cadmium und Asbest zählen zu den krebserzeugenden Luftschadstoffen. Diese sind für den Menschen bereits in kleinsten Mengen schädlich – eine unschädliche Schwellenkonzentration gibt es nicht. In Städten und Ballungsgebieten tragen Dieselpartikel am meisten zum luftschadstoffbedingten Krebsrisiko bei.

In einer Studie des Bundesamtes für Raumentwicklung (Ecoplan / Infrac 2014: Externe Effekte des Verkehrs 2010), sind die Auswirkungen der Luftverschmutzung auf die menschliche Gesundheit in der Schweiz quantifiziert und als volkswirtschaftliche Kosten von gut 4 Milliarden Franken bewertet worden.

Verschiedene Organe sind betroffen

Auswirkungen von Feinstaub

Studien in der Schweiz

Wirkungen von Stickstoffdioxid

Wirkungen erhöhter Ozonwerte

Krebserregende Schadstoffe

Externe Kosten der Luftverschmutzung

Die sommerliche Ozonbelastung führt periodisch zu sichtbaren Schäden hauptsächlich an den Blättern von Laubbäumen, Sträuchern und Kulturpflanzen. Eine anhaltende Dauerbelastung durch Ozon kann das Wachstum und die Vitalität empfindlicher Pflanzenarten beeinträchtigen. Dabei treten nachgewiesenermassen Ertragseinbussen an landwirtschaftlichen Kulturen auf. Die Ernteauffälle liegen in der Schweiz je nach Region und Kultur bei 5–15%. Waldbäume müssen durch die Luftverschmutzung mit einem zusätzlichen, anthropogen verursachten Stress fertig werden. Die Luftverschmutzung ist ein wichtiger Faktor, der zur Schwächung und zur Destabilisierung des Ökosystems Wald führt. Neben den beobachteten direkten Wirkungen gasförmiger Luftschadstoffe, vor allem Ozon, beeinflussen die Einträge von versauernden und stickstoffhaltigen Luftschadstoffen in den Waldboden das Ökosystem Wald auf vielfältige Weise negativ und stellen mittelfristig ein erhebliches Risiko dar. Erhöhte Stickstoffeinträge beeinträchtigen auch naturnahe Ökosysteme wie artenreiche Naturwiesen und Trockenrasen, alpine Heiden sowie Hoch- und Flachmoore.

Schäden an Pflanzen

Gebäudeschäden werden vor allem durch Säuren (aus  $\text{NO}_2$  und  $\text{SO}_2$ ), aber auch durch Ammoniak verursacht, die gasförmig, mit Staubpartikeln oder mit dem Regen transportiert werden. Russ führt zu einer Verschmutzung von Oberflächen. Organische Materialien wie Farbstoffe, Lacke, Gummi, Kunststoffe oder Textilfasern können durch Photooxidantien wie Ozon angegriffen, ausgebleicht und zerstört werden. Durch die Luftverschmutzung werden zudem Kulturdenkmäler unwiederbringlich zerstört.

Schäden an Gebäuden und  
Materialien

## 2 > Das Nationale Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL)

---

### 2.1 Entstehung des Messnetzes

Systematische Messungen von Schadstoffen in der Aussenluft, sogenannte Immissionsmessungen, werden in der Schweiz etwa seit Mitte der sechziger Jahre durchgeführt, wobei man sich damals auf die Schadstoffe Schwefeldioxid und Staub konzentrierte. Seit 1968 beteiligt sich die Schweiz mit zwei Messstationen an internationalen Messprogrammen. Daraus ging 1978 das Nationale Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL) hervor. Das Messnetz hat seinen Betrieb 1979 etappenweise aufgenommen. In den Jahren 1989 bis 1991 wurde das NABEL-Messnetz modernisiert und von 8 auf 16 Stationen erweitert. Der Betrieb und die Wartung der Messsysteme, die Qualitätssicherung und die Datenkontrolle werden von der Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa), Dübendorf durchgeführt. Das BAFU ist für das Konzept des Messnetzes, das Datenmanagement, die Auswertung der Daten und für die Datenpublikation zuständig.

NABEL Geschichte

Zuständigkeiten

### 2.2 Ziel und Zweck des Messnetzes

Gemäss Artikel 39 Absatz 1 der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) vom 16. Dezember 1985 führt das Bundesamt für Umwelt Erhebungen über die Luftverschmutzung im gesamtschweizerischen Rahmen durch. Das NABEL dient insbesondere der Erfüllung dieser gesetzlichen Aufgabe. Es ist somit ein wichtiges Vollzugsinstrument der LRV, indem es vor allem der Erfolgskontrolle über die gegen die Luftverschmutzung ergriffenen Massnahmen (Art. 44 des Umweltschutzgesetzes) dient. Die Empa betreibt im Auftrag des BAFU das NABEL (Art. 39 Abs. 2 LRV).

Gesetzliche Aufgaben

Beim NABEL stehen grundsätzlich die gesamtschweizerischen Bedürfnisse im Vordergrund. Das Messnetz misst in erster Linie Luftschadstoffe von nationaler Bedeutung und Verbreitung. Es sind dies vor allem Schadstoffe, die von einer Vielzahl von Emitenten verursacht und in der ganzen Schweiz in beträchtlichen Mengen in die Luft ausgestossen werden. Sie gelten deshalb als Leitschadstoffe.

Gesamtschweizerische  
Bedürfnisse, Messung von  
Leitschadstoffen

2.3

**Aufgaben des Messnetzes**

- > Messung der aktuellen Luftbelastung und Vergleich mit den Grenzwerten der Luftreinhalte-Verordnung
- > Beobachtung der langfristigen Entwicklung der Luftbelastung als Basis für die Erfolgskontrolle
- > Information der Öffentlichkeit (Internet, Teletext, Berichte)
- > Beratung der Kantone und Städte für ihre Messaktivitäten (NABEL als Referenzmessnetz)
- > Beurteilung des Schadstoffeintrags aus der Atmosphäre in die Ökosysteme im Zusammenhang mit dem internationalen Übereinkommen von 1979 über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung (UNECE/CLRTAP)
- > Mitarbeit in internationalen Messnetzen und Datenlieferungen an internationale Organisationen sowie bilaterale Zusammenarbeit mit Nachbarstaaten
- > Bereitstellung qualitativ hochwertiger Daten für Projekte und Studien von Hochschulen und privaten Umweltbüros

Nationale und internationale Aufgaben

Seit Beginn der Messaktivitäten des NABEL sind mehrere ländliche Stationen Teil des «European Monitoring and Evaluation Program» (EMEP). Daneben stellt das NABEL der europäischen Umweltagentur von Anfang an Daten, insbesondere von Stationen aus den Städten und Vorstädten, für das EUROAIRNET zur Verfügung. Schliesslich sind die Stationen Jungfraujoch und Rigi-Seebodenalp Teil des Programms «Global Atmosphere Watch» (GAW) der World Meteorological Organization.

Internationaler Datenaustausch

**Tab. 1 > Verwendung von Messdaten des NABEL-Messnetzes in nationalen und internationalen Programmen und Aktivitäten**

Daten aus:	an:	Verwendung:
NABEL →	Bundesrat, Eidg. Parlament	Reporting und Erfolgskontrolle für den Vollzug der Luftreinhaltung
	Kantone, Gemeinden	Regionale Luftmessnetze
	Hochschulen, private Umweltbüros	Forschungsprojekte, Studien
	Öffentlichkeit	Internet, Teletext, Berichte
	UNECE CLRTAP	EMEP, Schadstoff-Protokolle, Integrated Monitoring
	EU / EEA	Ozon-Informations-System, Luftqualität in Europa, EUROAIRNET
	WMO	GAW
	Nachbarstaaten	Bilaterale Zusammenarbeit

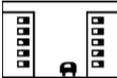
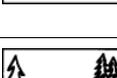
Organisationen:	UNECE	United Nations Economic Commission for Europe
	CLRTAP	Convention on Long-range Transboundary Air Pollution
	WMO	World Meteorological Organisation
	EU	European Union
	EEA	European Environment Agency
Programme:	EMEP	European Monitoring and Evaluation Program
	GAW	Global Atmosphere Watch
	EUROAIRNET	European Air Quality Monitoring Network

## 2.4 Standorte der Messstationen

Die Schadstoffbelastung in der Schweiz zeigt grosse räumliche Unterschiede, die in erster Linie von der Art des Standortes und den dort vorhandenen Emissionsquellen abhängen. Es ist daher sinnvoll, eine Klassierung der Messstationen nach Standorttypen vorzunehmen. Das NABEL-Messnetz erfasst die Luftschadstoffbelastung an solchen Standorttypen. Aufgrund einer Beurteilung der Stationsumgebung und der an den Stationen gemessenen Schadstoffbelastung ergibt sich folgende Einteilung der NABEL-Stationen nach Standorttypen:

Standorttypen

Tab. 2 > Klassierung der NABEL-Stationen nach Standorttyp

	Standorttyp	Abkürzung	Station
	Städtisch, verkehrsbelastet	BER LAU	Bern-Bollwerk Lausanne-César-Roux
	Städtisch	LUG ZUE	Lugano-Universität Zürich-Kaserne
	Vorstädtisch	BAS DUE	Basel-Binningen Dübendorf-Empa
	Ländlich, Autobahn	HAE SIO	Härkingen-A1 Sion-Aéroport-A9
	Ländlich, unterhalb 1000 m	MAG PAY TAE LAE	Magadino-Cadenazzo Payerne Tänikon Lägeren
	Ländlich, oberhalb 1000 m	CHA RIG DAV	Chaumont Rigi-Seebodenalp Davos-Seehornwald
	Hochgebirge	JUN	Jungfraujoch

Die 16 Stationen des NABEL-Netzes sind räumlich weit über die Schweiz verteilt und repräsentieren verschiedene Stufen der Belastung (siehe Tab. 2), von sehr hoch bis sehr niedrig. Das NABEL deckt damit die wichtigsten in der Schweiz vorkommenden Belastungstypen ab.

Alle Belastungsstufen  
sind vertreten

Eine ausführliche Stationsbeschreibung ist im Anhang A (Tab. A2) zu finden. Weitere Angaben zu den Stationen finden sich auf [www.bafu.admin/luft](http://www.bafu.admin/luft).

## 2.5 Messprogramm und Messverfahren

Mit dem NABEL werden vor allem die Schadstoffe Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>), Stickstoffmonoxid (NO), lungengängiger Feinstaub (PM10), Ozon (O<sub>3</sub>), Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Kohlenmonoxid (CO) und der Staubbiederschlag gemessen. Im Feinstaub und im Staubbiederschlag werden einige Schwermetalle bestimmt. An einzelnen Stationen werden zusätzlich Messungen der flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) sowie chemische Analysen des Niederschlags und der Stickstoffaerosole durchgeführt.

Schadstoffe

An allen Standorten werden daneben die wichtigsten meteorologischen Grössen (Wind, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Strahlung, Niederschlag, Druck) erfasst. Sieben NABEL-Standorte befinden sich in der Nähe von Stationen der MeteoSchweiz. An diesen Standorten übernimmt das NABEL die Messwerte der MeteoSchweiz. An den übrigen 9 Standorten werden die meteorologischen Messwerte direkt durch das NABEL erhoben.

Meteorologie

An den Standorten Bern, Härkingen, Lausanne und Sion-Aéroport werden zusätzlich Verkehrszähler betrieben, die die Zahl der Fahrzeuge auf den nahe der Station vorbeiführenden Hauptverkehrsstrassen registrieren. Der Verkehrszähler der Station Härkingen wird vom Bundesamt für Strassen (ASTRA) betrieben. Auswertungen der Verkehrszahlen finden sich in Kapitel 14.

Verkehrszählungen

Die im NABEL eingesetzten Messverfahren sind kompatibel mit den Empfehlungen über die Immissionsmessung von Luftfremdstoffen (BUWAL 2004). Sie entsprechen dem neuesten Stand der Technik. Eine Liste des Messprogramms sowie zusammenfassende Angaben über die verwendeten Messverfahren befinden sich im Anhang A (Tab. A3 und A4).

Messmethoden

## 2.6 Qualitätssicherung

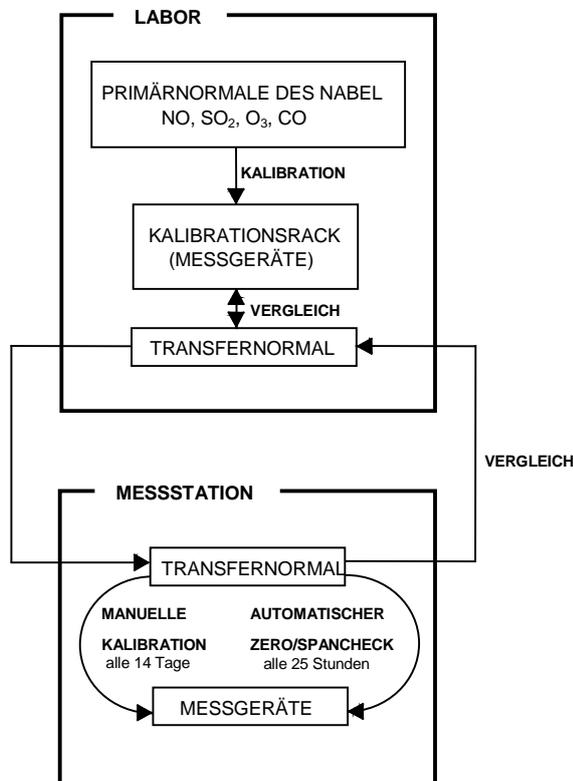
Im NABEL wird der Qualitätssicherung der Messdaten eine grosse Bedeutung zugemessen. Es gelten folgende allgemeine Qualitätssicherungsmaßnahmen:

- > Einsatz empfohlener Messprinzipien (Referenzmethoden)
- > Verwendung geprüfter und empfohlener Messgeräte
- > Rückführung der Messungen auf nationale und internationale Normale
- > Teilnahme an Ringversuchen

Die Messungen werden wo immer möglich auf Primärnormale zurückgeführt. Diese befinden sich in einem klimatisierten Kalibrierlabor, welches sie nur in Ausnahmefällen (bei Ringversuchen von Primärnormalen) verlassen. Die Primärnormale des NABEL werden ihrerseits auf nationale und internationale Normale zurückgeführt. Im Kalibrierlabor befindet sich ebenfalls ein Kalibrierstand für SO<sub>2</sub>, NO, O<sub>3</sub> und CO. Alle für die Kalibrierung der Messgeräte auf den Messstationen verwendeten Transfornormale werden hier zu Beginn und am Ende der Einsatzzeit mit dem NABEL-Primärnormal

verglichen. Die Messgeräte der oben genannten Messgrößen werden auf den Messstationen mit den TransfERNormalen alle zwei Wochen manuell kalibriert. Zusätzlich wird das TransfERNormal alle 25 Stunden für einen automatischen Test des Kalibrierpunktes verwendet. Die Rückverfolgbarkeit für SO<sub>2</sub>, NO, O<sub>3</sub> und CO ist in Abb. 6 dargestellt. Durch eine konsequente Umsetzung der Qualitätssicherungsmassnahmen können die Unsicherheiten der eingesetzten Messmethoden klein gehalten werden. Eine Zusammenstellung der Messunsicherheiten einer Auswahl von Luftschadstoffen, die im NABEL gemessen werden, ist in Tab. 3 zu finden.

**Abb. 6** > Rückverfolgbarkeit von SO<sub>2</sub>, NO, O<sub>3</sub> und CO



Ausführlichere Informationen zu den Messverfahren, der Qualitätssicherung sowie zu den Messunsicherheiten können dem Technischen Bericht zum Nationalen Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL) 2013 ([www.empa.ch/nabel](http://www.empa.ch/nabel)) entnommen werden.

**Tab. 3 > Messunsicherheiten der im NABEL verwendeten Messverfahren bei den Grenzwerten**  
(siehe Technischer Bericht 2013, [www.empa.ch/nabel](http://www.empa.ch/nabel))

Schadstoff	Grenzwert	Messunsicherheit
NO <sub>2</sub>	bei 80 µg/m <sup>3</sup> (Tagesmittelwert) (trace level Gerät)	4,5 µg/m <sup>3</sup>
		7,8 µg/m <sup>3</sup>
	bei 30 µg/m <sup>3</sup> (Jahresmittelwert) (trace level Gerät)	1,6 µg/m <sup>3</sup>
		2,9 µg/m <sup>3</sup>
PM10 / TSP	bei 50 µg/m <sup>3</sup> (Tagesmittelwert)	5,0 µg/m <sup>3</sup>
	bei 20 µg/m <sup>3</sup> (Jahresmittelwert)	1,0 µg/m <sup>3</sup>
O <sub>3</sub>	bei 120 µg/m <sup>3</sup> (Stundenmittelwert)	3,9 µg/m <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	bei 100 µg/m <sup>3</sup> (Tagesmittelwert)	6,1 µg/m <sup>3</sup>
	bei 30 µg/m <sup>3</sup> (Jahresmittelwert)	1,4 µg/m <sup>3</sup>
CO	bei 8 mg/m <sup>3</sup> (Tagesmittelwert)	0,1 mg/m <sup>3</sup>

## 2.7

### Weitere NABEL-Publikationen

Auf dem Internet stehen unter der Adresse [www.bafu.admin.ch/luft](http://www.bafu.admin.ch/luft) (Stichwort Luftbelastung) grosse Teile der NABEL-Daten zur Verfügung. Es werden dort sowohl aktuelle Werte (stündlich aktualisiert) wie auch die Entwicklung der Schadstoffbelastung seit 1980 publiziert. Angaben zum Messnetz und zu den einzelnen Stationen, sowie pdf-Dateien diverser Publikationen, sind ebenfalls im Internet zu finden. Zusammen mit den Messwerten von kantonalen und städtischen Stationen dienen die NABEL-Daten als Grundlage für stündlich aktualisierte Karten der Schadstoffbelastung.

Internet

Daneben werden aktuelle Messwerte und gleitende Jahreswerte über die drei schweizerischen Landessender auf der Teletextseite 666 (SF1, RTS1 und RSI1) ausgestrahlt.

Teletext

Zusätzlich werden Monatsberichte veröffentlicht, die die wichtigsten Kenngrössen der Schadstoffbelastung eines Kalendermonats in tabellarischer und graphischer Form enthalten ([www.bafu.admin.ch/luft](http://www.bafu.admin.ch/luft) unter Luftbelastung/Historische Daten/Jahres- und Monatsberichte NABEL).

Monatsbericht

Ein Bericht der Empa (Technischer Bericht zum Nationalen Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe NABEL) orientiert ausführlich über alle technischen Aspekte des NABEL-Messnetzes ([www.empa.ch/nabel](http://www.empa.ch/nabel)).

Technischer Bericht der Empa

## 3 > Stickoxide

### 3.1 Entstehung und Charakterisierung

Unter den Begriff der Stickoxide fällt eine Vielzahl von Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen des Typs  $N_xO_y$ . Die Verbindung  $N_2O$  ist als Lachgas bekannt und ist ein langlebiges klimarelevantes Spurengas. Sie wird zusammen mit anderen Klimagasen auf dem Jungfraujoch gemessen ([www.empa.ch/klimagase](http://www.empa.ch/klimagase)). Die aus lufthygienischer Sicht wichtigsten Stickstoff-Verbindungen in der Atmosphäre sind die beiden Verbindungen Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid ( $NO_2$ ). Die Summe beider Substanzen wird als  $NO_x$  bezeichnet. Stickstoffmonoxid ist ein farb- und geruchloses Gas. Stickstoffdioxid ist ein in höheren Konzentrationen rötlich-braunes, stechend riechendes Reizgas. Aus den Stickoxiden bildet sich auch Nitrat, welches zur Feinstaubbelastung beiträgt.

Begriffe, Eigenschaften

Die Stickoxid-Emissionen entstehen beim Verbrennen fossiler Brenn- und Treibstoffe, insbesondere bei hohen Verbrennungstemperaturen, aus dem atmosphärischen Stickstoff und Sauerstoff, sowie bei der Verbrennung von Biomasse aus dem darin enthaltenen Stickstoff. Die Stickoxide werden zu einem grossen Teil als Stickstoffmonoxid (NO) emittiert, welches in der Folge in der Atmosphäre relativ rasch in das giftigere Stickstoffdioxid ( $NO_2$ ) umgewandelt wird.

$NO_x$ -Emission

Für die negativen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt ist insbesondere das Stickstoffdioxid verantwortlich. Es begünstigt zusammen mit anderen Reizgasen Atemwegserkrankungen, wobei Kinder speziell betroffen sind. Darüber hinaus sind die Stickoxide wichtige Vorläufersubstanzen für die Bildung von bodennahem Ozon und von sauren Niederschlägen. Zusammen mit Ammoniak tragen sie auch zur Überdüngung von Ökosystemen bei.

Auswirkungen

### 3.2 Zeitliche Entwicklung

In den Abb. 7 bis Abb. 9 sind die Entwicklungen der Schadstoffe Stickstoffdioxid und Stickstoffmonoxid sowie der Gesamt-Stickoxidbelastung ( $NO_x$ ) für die NABEL-Stationen mit längeren Messreihen dargestellt.

Trend seit 1981

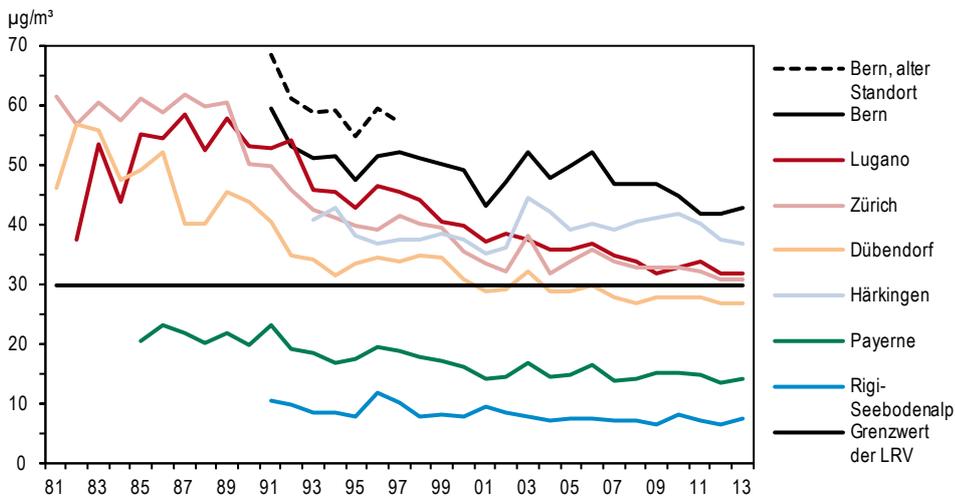
Die Abbildungen zeigen, dass die Belastung der Luft durch Stickoxide bis gegen Ende der 80er-Jahre keinen klaren Trend aufwies. An einzelnen Stationen nahm sie leicht ab, an anderen leicht zu. Seit 1989 zeigen die meisten Stationen eine deutliche Abnahme der Stickoxidbelastung. Seit 1995 sind die  $NO_x$ -Werte von 7 NABEL-Stationen stärker zurückgegangen als die  $NO_2$ -Werte. Dies bedeutet, dass sich das Verhältnis zwischen NO und  $NO_2$  in den letzten Jahren systematisch verschoben hat. Bei einem Rückgang

Bis Ende 80er-Jahre in etwa konstant, danach Abnahme;  $NO_x$  nimmt stärker ab als  $NO_2$

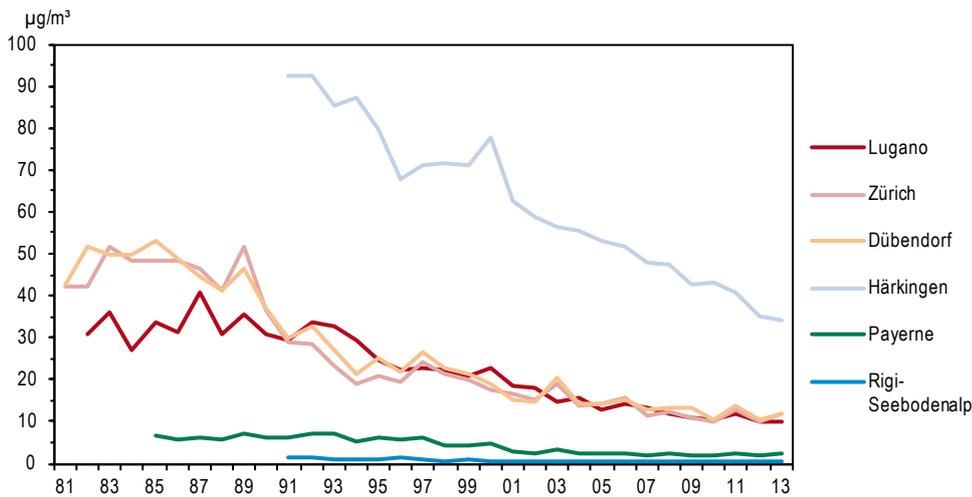
der NO<sub>x</sub>-Emissionen und einem gleich bleibenden Oxidationspotenzial der Atmosphäre ist diese Verschiebung jedoch zu erwarten.

**Abb. 7** > Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>), Jahresmittelwerte 1981–2013

Die Messwerte der Station Bern wurden homogenisiert (siehe Anhang 6).

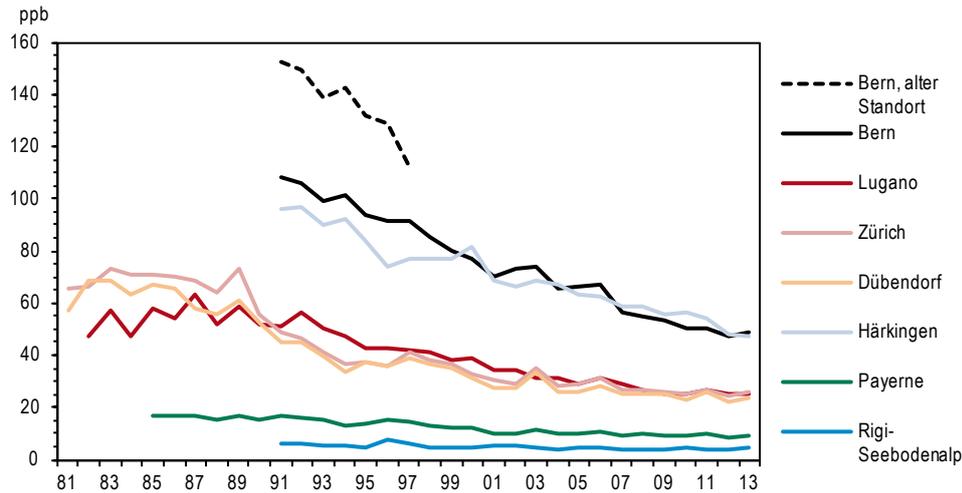


**Abb. 8** > Stickstoffmonoxid (NO), Jahresmittelwerte 1981–2013



**Abb. 9 > Stickoxide (NO<sub>x</sub>), Jahresmittelwerte 1981–2013**

Die Messwerte der Station Bern wurden homogenisiert (siehe Anhang 6).



Vergleicht man die 2013 gemessenen Werte mit denjenigen Mitte der 80er-Jahre, so sind Belastungsrückgänge von 35–52 % beim NO<sub>2</sub> und von 44–64 % beim NO<sub>x</sub> zu beobachten. Eine Ausnahme bildet die Station Sion-Aéroport, wo Ende 1988 in unmittelbarer Nähe der Station die Autobahn eröffnet wurde, was sich in einer drastischen Zunahme der Stickoxidbelastung zwischen 1988 und 1989 äusserte. Seit 1989 hat sich aber auch dort die NO<sub>2</sub>- und NO<sub>x</sub>-Belastung deutlich reduziert (-36 % resp. -51 %).

**NO<sub>2</sub>-Rückgang 35–50 %  
seit Mitte der 80er Jahre**

### 3.3 Situation 2013

Die wichtigsten Messergebnisse des NABEL des Jahres 2013 sind in Tab. 4 bis Tab. 6 zusammengefasst. Die Stadtzentrams-Stationen und autobahnnahen, ländlichen Stationen zeigen deutliche Grenzwertüberschreitungen des NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerts. An einzelnen Tagen ist das Tagesmittel grösser als 80 µg/m<sup>3</sup> (Überschreitung des Kurzzeitgrenzwertes), während die 95 %-Werte grösstenteils unter dem Grenzwert von 100 µg/m<sup>3</sup> liegen. Dies weist auf eine permanent zu hohe NO<sub>2</sub>-Belastung hin, wohingegen hohe Spitzenwerte eher selten sind.

**Stadt: Grenzwert überschritten**

Die vorstädtischen Standorte zeigen gegenüber den Stadtzentramsstandorten eine tiefere mittlere Belastung. Die NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte lagen dort 2013 unterhalb des Grenzwerts.

**Vorstädtische Gebiete:  
im Grenzwertbereich**

An den ländlichen Stationen im schweizerischen Mittelland liegen die NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte deutlich unter dem Jahresgrenzwert. Mit zunehmender Meereshöhe nimmt die Stickoxidbelastung deutlich ab.

**Land: Grenzwert eingehalten**

Der Jahresgang der Stickstoffdioxid-Belastung (Abb. 10) ist vom Standorttyp abhängig. Die höher gelegenen ländlichen Stationen wie auch die städtischen Verkehrsstandorte zeigen wenig Jahresgang. Bei den übrigen Stationen sind dagegen die Monatsmittelwerte im Winter ungefähr doppelt so hoch wie im Sommer.

Jahresgang: in der Regel tiefere Werte im Sommer

Tab. 4 > Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>), Jahresstatistik 2013

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert µg/m <sup>3</sup>	95%-Wert µg/m <sup>3</sup>	max. 24h-Mittelwert µg/m <sup>3</sup>	Anzahl Grenzwert- überschreitungen 24h-Mittelwert
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	43	86	96	2
	Lausanne-César-Roux	42	80	87	1
Städtisch	Lugano-Universität	32	71	77	0
	Zürich-Kaserne	31	69	93	4
Vorstädtisch	Basel-Binningen	22	55	64	0
	Dübendorf-Empa	27	64	83	2
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	37	82	85	3
	Sion-Aéroport-A9	35	83	101	13
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	19	53	63	0
	Payerne	14	39	49	0
	Tänikon	14	38	45	0
	Lägeren	11	31	58	0
Ländlich, oberhalb 1000 m	Chaumont	6	18	27	0
	Rigi-Seebodenalp	8	23	39	0
	Davos-Seehornwald	4	12	23	0
Hochgebirge	Jungfrauojoch	<1	<1	3	0
LRV-Immissionsgrenzwert		30	100	80	1

Abb. 10 > Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>), Monatsmittelwerte 2013

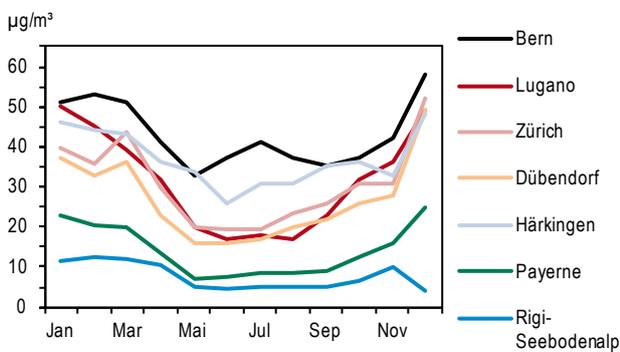
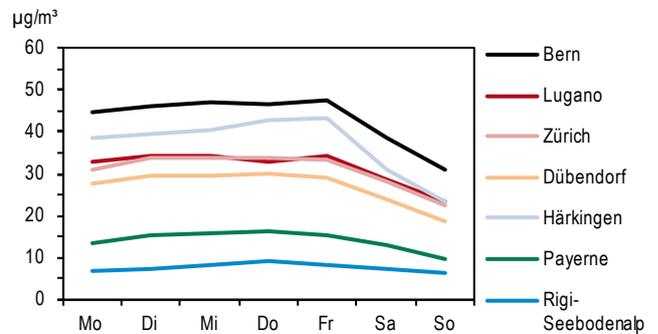


Abb. 11 > Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>), mittlerer Wochengang 2013



**Tab. 5 > Stickstoffmonoxid (NO), Jahresstatistik 2013**

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert µg/m <sup>3</sup>	95 %-Wert µg/m <sup>3</sup>	max. 24h-Mittelwert µg/m <sup>3</sup>
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	33	119	160
	Lausanne-César-Roux	21	65	99
Städtisch	Lugano-Università	10	49	78
	Zürich-Kaserne	12	59	201
Vorstädtisch	Basel-Binningen	6	31	69
	Dübendorf-Empa	12	65	208
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	34	141	163
	Sion-Aéroport-A9	24	101	167
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	12	66	156
	Payerne	2	12	53
	Tänikon	3	17	57
	Lägeren	1	4	27
Ländlich, oberhalb 1000 m	Chaumont	<1	2	3
	Rigi-Seebodenalp	<1	2	6
	Davos-Seehornwald	<1	1	6
Hochgebirge	Jungfrauojoch	<1	<1	<1

Deutlicher ausgeprägt ist der Jahresgang bei der Summe der Stickoxide (NO<sub>x</sub>, Abb. 12). An den verkehrsbelasteten Standorten ist die Stickoxidbelastung während des ganzen Jahres wesentlich höher als an den nicht-strassennahen Stationen. Die tieferen NO<sub>x</sub>-Konzentrationen während der Sommermonate sind nicht durch den Rückgang der Emissionen begründet. Vielmehr werden die überwiegend vom Motorfahrzeugverkehr stammenden Stickoxide in der warmen Jahreszeit wegen der erhöhten Turbulenzintensität besser verdünnt, das NO rascher in NO<sub>2</sub> umgewandelt und dieses vermehrt unter Einfluss von Sonnenlicht in Sekundärschadstoffe (z. B. Salpetersäure, PAN) transformiert.

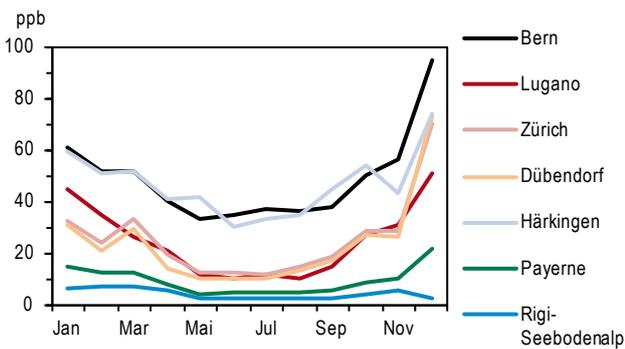
Der Wochengang (Abb. 11 und Abb. 13) zeigt an praktisch allen Stationen eine charakteristische Abnahme der Stickoxid-Belastung am Wochenende. Sehr ausgeprägt ist der Rückgang bei der Summe der Stickoxide (NO<sub>x</sub>). Die Ursache dafür ist der Rückgang der Zahl der Lastwagenfahrten am Wochenende. Beim NO<sub>2</sub> ist die Abnahme weniger stark, aber immer noch deutlich erkennbar.

**Wochengang: starker Rückgang  
am Wochenende**

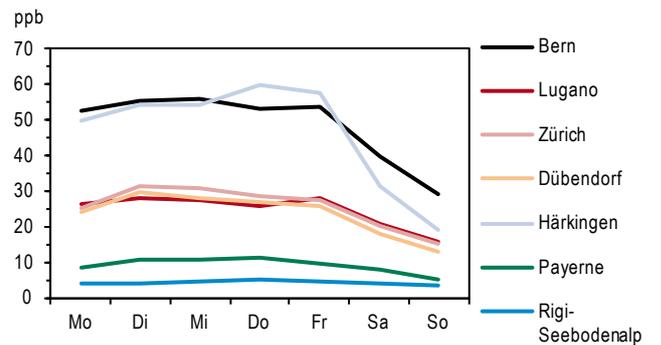
**Tab. 6 > Stickoxide (NO<sub>x</sub>), Jahresstatistik 2013**

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert ppb	95 %-Wert ppb	max. 24h-Mittelwert ppb
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	49	135	169
	Lausanne-César-Roux	39	90	118
Städtisch	Lugano-Universität	25	72	99
	Zürich-Kaserne	26	79	207
Vorstädtisch	Basel-Binningen	16	51	82
	Dübendorf-Empa	24	81	210
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	47	152	165
	Sion-Aéroport-A9	37	121	187
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	19	77	158
	Payerne	9	29	62
	Tänikon	10	32	69
	Lägeren	7	19	52
Ländlich, oberhalb 1000 m	Chaumont	4	10	16
	Rigi-Seebodenalp	4	13	23
	Davos-Seehornwald	3	8	19
Hochgebirge	Jungfraujoch	<1	1	2

**Abb. 12 > Stickoxide (NO<sub>x</sub>), Monatsmittelwerte 2013**



**Abb. 13 > Stickoxide (NO<sub>x</sub>), mittlerer Wochengang 2013**



## 3.4

**Bewertung**

Die Stickstoffdioxid-Immissionen sind in den Städten und entlang den Hauptverkehrsachsen nach wie vor zu hoch. Der Jahresmittel-Grenzwert wird dort, besonders verkehrsnah, deutlich überschritten. An den vorstädtischen Standorten (abseits von Hauptverkehrsstrassen) ist die Belastung tiefer, die NO<sub>2</sub>-Werte liegen unterhalb des Grenzwerts. In den ländlichen Gebieten abseits der Hauptverkehrsstrassen liegen die Jahresmittelwerte deutlich unterhalb des Immissionsgrenzwertes. Entlang der Hauptverkehrsachsen treten dagegen Belastungskorridore auf, in denen auch im ländlichen Raum die NO<sub>2</sub>-Grenzwerte überschritten sind.

Neue Messungen (Handbook Emission Factors for Road Transport HBEFA Version 3.1, 2010, [www.hbefa.net/e/index.html](http://www.hbefa.net/e/index.html)) zeigen, dass die Stickoxidemissionen des Verkehrs weniger stark abgenommen haben als in früheren Szenarien erwartet. Dazu beigetragen hat der stark gestiegene Anteil von Dieselfahrzeugen bei den Personen- und Lieferwagen mit ihren im Vergleich zu äquivalenten Benzinfahrzeugen um ein Mehrfaches höheren Stickoxidemissionen, besonders im Innerortsverkehr.

Das Stickoxid-Problem ist im Wesentlichen das Problem einer permanent zu hohen Belastung. Dies äussert sich in den Jahresmittelwerten, die das 1,4-fache des Grenzwertes noch immer überschreiten können. Hohe Spitzenwerte der Stickstoffdioxidbelastung treten dagegen nicht sehr häufig auf. Die Belastungssituation durch Stickoxide, insbesondere durch Stickstoffdioxid, ist im Weiteren von der Distanz zu stark befahrenen Strassen abhängig. Dies führt dazu, dass auch in kleineren Ortschaften entlang der Strassen Grenzwertüberschreitungen vorkommen.

Neben der Belastung von Mensch und Umwelt durch zu hohe NO<sub>2</sub>-Konzentrationen sind die Stickoxide auch für den Säureeintrag und die Überdüngung empfindlicher Ökosysteme mitverantwortlich. Der Eintrag von Stickstoffverbindungen in empfindliche Ökosysteme liegt ebenfalls noch weit über den tolerierbaren Werten.

Obschon die Stickoxidbelastung in den letzten Jahren zurückgegangen ist, stellt sie nach wie vor ein ernstzunehmendes Problem dar, welches grosse Teile der Bevölkerung betrifft.

**NO<sub>2</sub>-Belastung in Städten und an Hauptverkehrssachsen zu hoch**

**Verkehrsemissionen nehmen langsamer ab als erwartet**

**Hohe Langzeitwerte, aber moderate Spitzenwerte**

**Auch für Säure und Stickstoffeintrag wichtig**

## 4 > Feinstaub

### 4.1 Entstehung und Charakterisierung

Partikelförmige Schadstoffe in der Atmosphäre kommen in sehr unterschiedlicher Grösse vor. Aus lufthygienischer Sicht interessiert insbesondere der lungengängige Feinstaub, daneben wird aber auch der grobkörnige Sedimentstaub als Staubbiederschlag gemessen. Die Zusammensetzung der Stäube ist sehr variabel. Sie können zahlreiche anorganische (z. B. Schwermetalle, Sulfat, Nitrat) und organische Verbindungen (z. B. polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) enthalten. Zu den Stäuben zählen auch Russpartikel, die vorwiegend aus Kohlenstoff bestehen.

Grösse und Zusammensetzung

Als Ursache für die Staubbelastung in der Atmosphäre kommen sowohl motorisierter Verkehr, Feuerungen und Industrie, wie auch natürliche Quellen (z. B. Blütenstaub, vom Boden aufgewirbelter Staub) in Frage. Feinste schwebefähige Staubpartikel, einschliesslich des lungengängigen Anteils, werden als Schwebestaub gemessen. Schwebestaub besteht aus primären, direkt als Teilchen emittierten Anteilen und aus sekundären Bestandteilen, welche sich erst in der Luft durch chemische und physikalische Prozesse aus gasförmigen Vorläufersubstanzen bilden.

Quellen

Wird die Gesamtheit der feindispersen Schwebestoffe mit einer Sinkgeschwindigkeit von weniger als 10 cm/s und einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als etwa 50 µm gemessen, so spricht man von einer TSP-Messung (TSP = total suspended particles). Werden nur die lungengängigen Feinstäube mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als 10 µm gemessen, so spricht man von einer PM10-Messung (PM10 = particulate matter <10 µm, thorakale Fraktion des Schwebestaubs). Wird nur der Feinstaub mit einem Durchmesser von weniger als 2,5 µm erfasst, spricht man von einer PM2.5-Messung (alveolengängige Fraktion des Schwebestaubs). Im Feinstaub enthalten sind die sehr feinen Verbrennungsaerosole, beispielsweise die Russemissionen von Dieselmotoren. Da es sich dabei um sehr feine lungengängige Partikel handelt, tragen sie gewichtsmässig nicht sehr viel bei. Sie sind jedoch von grosser Bedeutung für die gesundheitlichen Auswirkungen. Die sogenannten ultrafeinen Partikel (<0.1 µm) bilden zahlenmässig den grössten Anteil. Weiterführende Informationen finden sich im Status-Bericht «Feinstaub in der Schweiz 2013» der eidgenössischen Kommission für Lufthygiene (Bern, 2013).

TSP, PM10, PM2.5

### 4.2 Zeitliche Entwicklung

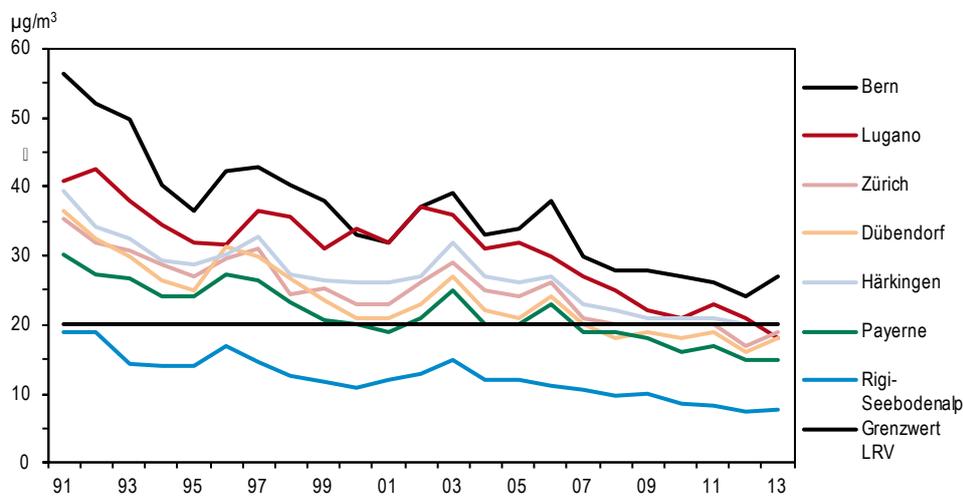
In der Abb. 14 sind die aus den TSP-Werten berechneten PM10-Jahresmittelwerte (vor 1997) zusammen mit den gemessenen PM10-Werten (ab 1997) dargestellt. Seit 1991 ist die PM10-Belastung zurückgegangen. Dieser Rückgang dürfte einerseits auf die

Deutlicher Rückgang der PM10-Belastung seit 1991

Reduktion der sekundären Partikel (insbesondere Sulfat) und andererseits auf die Reduktion der primären Partikelemission zurückzuführen sein. Seit dem Jahr 2000 hat die PM10-Belastung weiter abgenommen, mit Ausnahme der Jahre 2003 und 2006, wo häufige Inversionen auf der Alpennordseite zu einer erhöhten PM10-Belastung führten.

**Abb. 14 > Feinstaub (PM10), Jahresmittelwerte 1991–2013**

Die Werte vor 1997 wurden aus TSP-Messungen umgerechnet.



#### 4.3

### Situation 2013

In städtischen Gebieten und entlang von Autobahnen überschritten die PM10-Jahresmittelwerte teilweise den Grenzwert von 20 µg/m³. An den ländlichen Stationen lagen die Messwerte deutlich unterhalb des Grenzwertes (Tab. 7).

Der Stadt-Land Gegensatz ist beim lungengängigen Feinstaub (PM10) weniger stark ausgeprägt als beim Stickstoff- oder Schwefeldioxid. Zwei Ursachen sind dafür verantwortlich. Ein Drittel bis über die Hälfte der PM10-Belastung besteht aus sekundär gebildeten Feinstaubpartikeln (sekundären Aerosolen), die erst abseits der Quellen der Vorläuferschadstoffe in der Atmosphäre gebildet werden, was zu einer homogenen räumlichen Verteilung führt. Solche sekundären Komponenten sind: Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) aus Schwefeldioxid, Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) aus Stickoxiden, Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) aus Ammoniak und organische Kohlenstoffkomponenten (OC) aus flüchtigen organischen Verbindungen. Als zweite Ursache ist der grossräumige Transport von Feinstaub zu nennen. Eine neue Studie der Empa beschreibt detailliert die Zusammensetzung und Quellenzuordnung von PM10 ([www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch); Luft; Themen Feinstaub).

Jahresmittelwerte strassennah zu hoch

Sekundäres PM10, grossräumiger Transport

**Tab. 7 > Feinstaub (PM10), Jahresstatistik 2013**

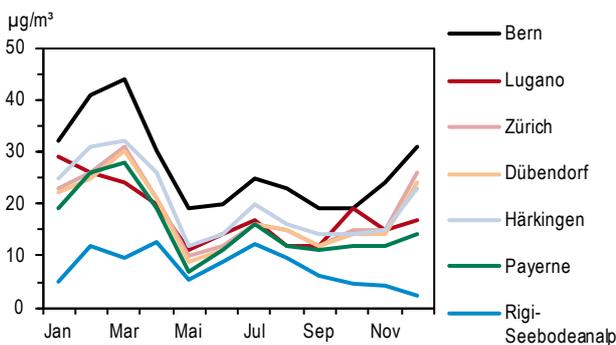
Standorttyp	Station	Jahresmittelwert µg/m³	max. 24h-Mittelwert µg/m³	Anzahl Grenzwert- überschreitungen 24h-Mittelwert
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	27	102	30
	Lausanne-César-Roux	20	91	17
Städtisch	Lugano-Università	18	67	9
	Zürich-Kaserne	19	69	11
Vorstädtisch	Basel-Binningen	17	66	5
	Dübendorf-Empa	18	65	10
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	20	72	14
	Sion-Aéroport-A9	21	61	10
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	18	63	8
	Payerne	15	72	9
	Tänikon	15	68	7
Ländlich, oberhalb 1000 m	Chaumont	8	49	0
	Rigi-Seebodenalp	8	44	0
	Davos-Seehornwald	5	32	0
Hochgebirge	Jungfrauoch	2	36	0
<i>LRV-Immissionsgrenzwert</i>		20	50	1

Der Tagesgrenzwert von 50 µg/m³ wurde ebenfalls und zum Teil sehr häufig überschritten. An den Stationen oberhalb 1000 m über Meer, wurde kein Tagesmittelwert über 50 µg/m³ registriert.

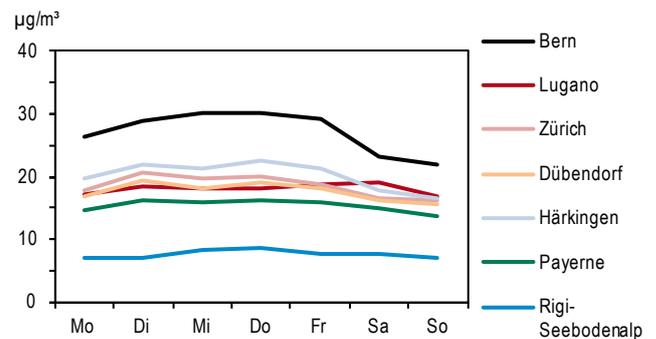
Tagesgrenzwert zum Teil sehr häufig überschritten

Der PM10-Jahresgang zeigt für die Stationen unterhalb 1000 m über Meer erhöhte Werte im Winter und tiefere Werte im Sommer (Abb. 15). Die Häufigkeit des Auftretens von winterlichen, windschwachen Hochdrucklagen mit Temperaturinversionen ist eine der bestimmenden Grössen für die Höhe der PM10-Belastung. Die Stationen über

**Abb. 15 > Feinstaub (PM10), Monatsmittelwerte 2013**



**Abb. 16 > Feinstaub (PM10), mittlerer Wochengang 2013**



1000 m über Meer zeigen höhere Werte im Sommer, da sie im Herbst und Winter in der sauberen Luft oberhalb der Temperaturinversion liegen. Verkehrsbeeinflusste Standorte zeigen einen deutlicheren Wochengang (Abb. 16) als ländliche Stationen.

Jahresgang:  
hohe Werte in den Wintermonaten

#### 4.4 PM2.5 und PM1-Messungen

An 9 NABEL-Stationen werden Messungen der sehr feinen Fraktionen des Feinstaubes durchgeführt (PM2.5 = particulate matter <2,5 µm, PM1 = particulate matter <1 µm).

PM2.5 und PM1 Messungen

Die PM2.5-Belastung (Tab. 8) zeigt in den tieferen Lagen der Alpennordseite geringe Unterschiede (13–19 µg/m<sup>3</sup>). Die Station Bern, die in einer Strassenschlucht liegt, weist die höchste PM2.5-Belastung auf. Es ist davon auszugehen, dass die räumlich homogen verteilte sekundäre Partikelbelastung beim PM2.5 eine noch grössere Rolle spielt als beim PM10. Die PM1-Belastung (Tab. 8) zeigt in den tieferen Lagen der Alpennordseite kleine Unterschiede (9–11 µg/m<sup>3</sup>). Am stark verkehrsbelasteten Standort Härkingen wurde mehr PM1 gemessen als in Payerne, einem ländlichen Standort abseits des direkten Einflusses von Strassenverkehr.

Räumliche Unterschiede im PM2.5 und PM1 gering

In Abb. 17 sind alle an den NABEL Standorten gemessenen PM2.5 Jahresmittelwerte dargestellt. Seit 1998 hat die Belastung durch PM2.5 um 20–40 % abgenommen und liegt heute in den Siedlungen bei 13–15 µg/m<sup>3</sup>.

Deutlicher Rückgang von PM2.5 seit 1998

Die PM2.5 Belastung zeigt an den Stationen unterhalb 1000 m über Meer einen noch stärker ausgeprägten Jahresgang als die PM10 Belastung (Abb. 18). Im Sommer treten dort die tiefsten Werte auf, was weitgehend durch die thermische Instabilität von Ammoniumnitrat bei höheren Temperaturen und die bessere Durchmischung der Atmosphäre im Sommer erklärt werden kann.

Jahresgang: Hohe Werte im Winterhalbjahr

**Tab. 8 > Feinstaub: PM10, PM2.5 und PM1 Parallelmessungen 2013 an jedem 4. Tag**

Standorttyp	Station	Jahresmittelwerte*		Mittel der täglichen Verhältnisse	
		PM2.5 µg/m <sup>3</sup>	PM1 µg/m <sup>3</sup>	PM2.5/PM10 %	PM1/PM10 %
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	18,5		66	
Städtisch	Lugano-Universität	14,7		76	
	Zürich-Kaserne	14,6		77	
Vorstädtisch	Basel-Binningen	13,6		74	
	Dübendorf-Empa	13,4		74	
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	14,5	11,2	70	55
Ländlich, unterhalb 1000 m	Payerne	12,9	9,4	75	60
	Magadino-Cadenazzo	14,4		72	
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	6,5		79	

\* Messung nur an jedem 4. Tag

Das Verhältnis zwischen PM2.5 und PM10-Tagesmittelwerten ist an 5 der tiefgelegenen Stationen ohne direkten Verkehrseinfluss sehr ähnlich (Tab. 8). Es liegt zwischen 70 % und 77 %. An der stark verkehrsbelasteten Station Bern ist das Verhältnis mit 66 % leicht tiefer. Abb. 19 zeigt die Entwicklung des Verhältnisses des Jahresmittels von PM2.5 zum Jahresmittel von PM10. Dieses Verhältnis liegt für die meisten Standorte und Jahre in einem engen Bereich um 0.75. Nur in der verkehrsbelasteten Strassenschlucht Bern-Bollwerk wurden tiefere Verhältnisse beobachtet.

Verhältnis PM2.5/PM10

Das Verhältnis der Tagesmittelwerte von PM1 und PM10 ist an den Stationen Härkingen und Payerne ähnlich (55 % resp. 60 %).

Verhältnis PM1/PM10

Abb. 17 > Feinstaub (PM2.5), Jahresmittelwerte 1998–2013

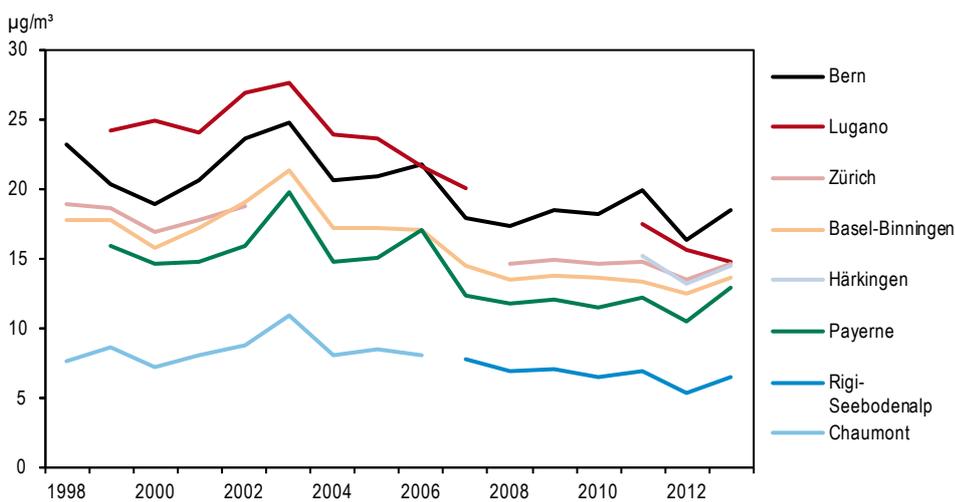


Abb. 18 > Feinstaub (PM2.5), Monatsmittelwerte 2013

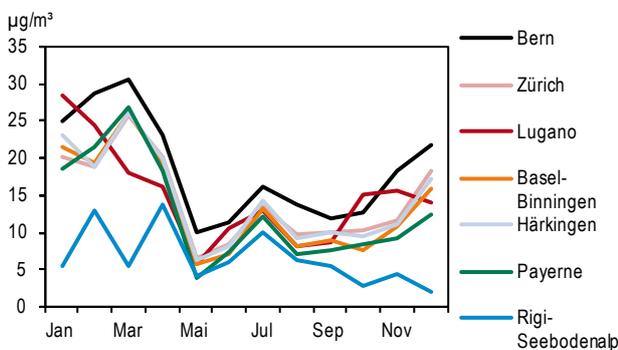
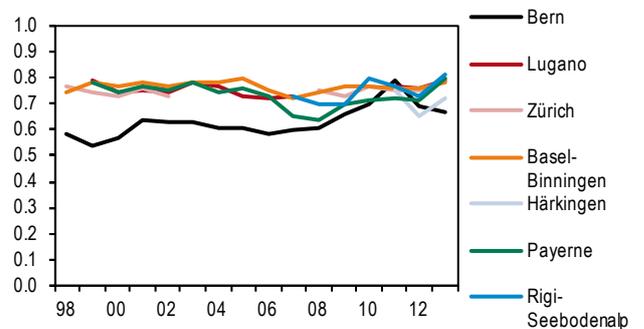


Abb. 19 > Verhältnis der Jahresmittel PM2.5/PM10 1998–2013



#### 4.5 Partikelanzahl – Messungen

Seit 2005 wird an mehreren Standorten des NABEL die Partikelanzahlkonzentration gemessen. Die Messungen erfolgen mit einem Kondensationspartikelzähler, der durch geeignete Verdünnung grösstenteils im Einzelzählmodus betrieben wird. Das Messgerät zählt Partikel zwischen 4 nm und 3 µm Grösse. Die meisten Partikel in der Umgebungsluft sind kleiner als 200 nm, in der Nähe von Emissionsquellen von Verbrennungsprozessen sogar kleiner als 100 nm (ultrafeine Partikel). Damit gibt die gemessene Partikelanzahl ein Mass für die kleinsten Partikel, die nicht nur in die Lunge sondern auch ins Blut eindringen können.

Partikelanzahl-Messungen,  
ultrafeine Partikel

Die gemessenen Partikelanzahlkonzentrationen zeigen grosse Unterschiede zwischen den verschiedenen Stationstypen (Tab. 9). So werden auf Rigi-Seebodenalp im Jahresmittel rund 3'000 Partikel pro Kubikzentimeter gezählt, unmittelbar an der Autobahn in Härkingen rund die siebenfache Anzahl. Die sehr feinen Partikel aus Verbrennungsprozessen dominieren in Quellennähe die Partikelanzahlkonzentration.

Grosse räumliche Unterschiede

Auch die maximalen Stundenmittelwerte zeigen deutliche Unterschiede je nach Standorttyp. Unmittelbar an der Autobahn werden rund 90'000 Partikel pro Kubikzentimeter als maximaler Tagesmittelwert gemessen, ähnlich hohe Werte werden in einer innerstädtischen Strassenschlucht erreicht.

Maximalwerte

Der Wochengang (Abb. 20) der Partikelanzahlkonzentration zeigt an den stark durch Emissionen des Strassenverkehrs beeinflussten Standorten eine deutliche Abnahme am Wochenende. So ist an der Station Härkingen in unmittelbarer Autobahnnähe die Partikelanzahl am Sonntag wesentlich tiefer als an Werktagen, was auf den Schwerverkehr als wesentlichen Emittenten von sehr feinen Partikeln hinweist.

Wochengang

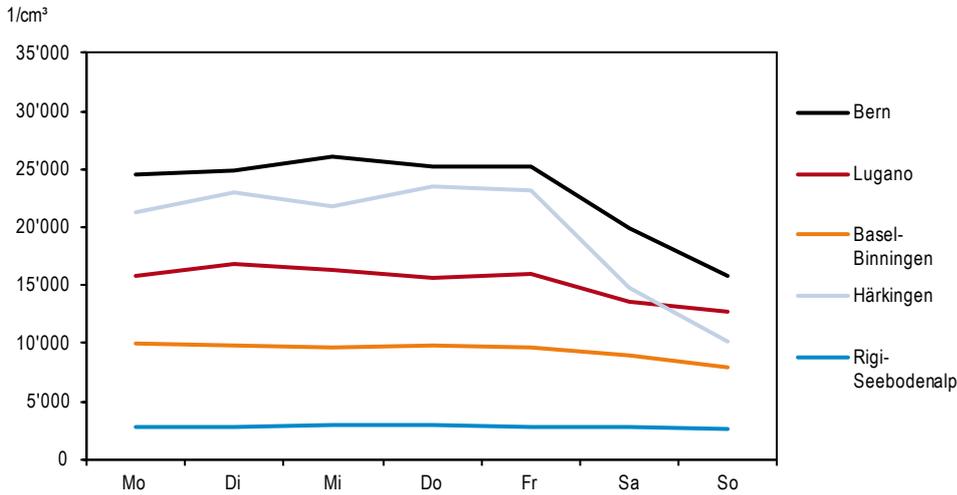
Die Partikelanzahlkonzentration weist an städtischen und verkehrsbelasteten Standorten einen ausgeprägten Tagesgang auf mit Maxima während den Hauptverkehrszeiten.

Tagesgang

**Tab. 9 > Partikelanzahl, Jahresstatistik 2013**

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert Partikelanzahl 1/cm <sup>3</sup>	Maximaler Tagesmittelwert 1/cm <sup>3</sup>	95 %-Wert der Halbstundenmittel 1/cm <sup>3</sup>
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	23'120	70'903	53'914
Städtisch	Lugano-Universität	15'303	41'400	39'690
Vorstädtisch	Basel-Binningen	9'435	20'385	20'422
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	19'699	92'473	60'727
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	2'843	8'435	6'283

Abb. 20 > Partikelanzahl-Konzentration, Mittlerer Wochengang, 2013



4.6

Schwefel im Feinstaub

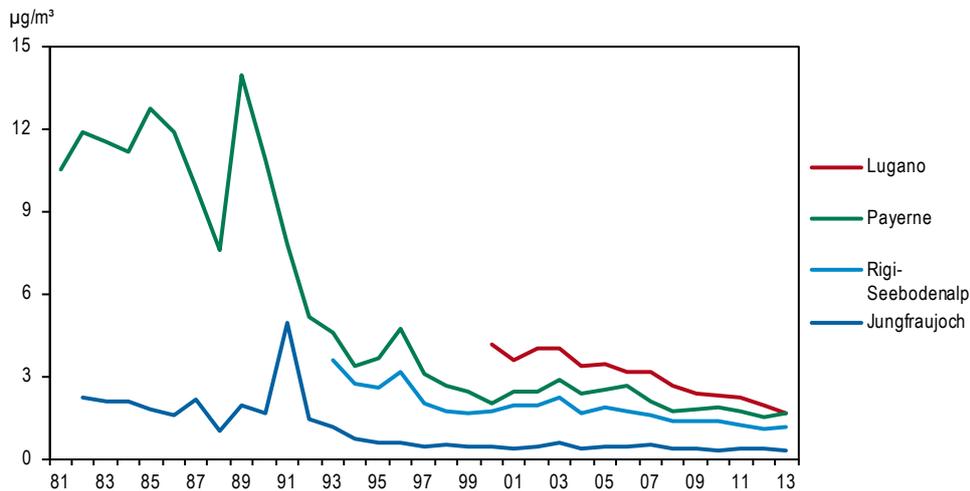
An vier Stationen wird täglich der Sulfatgehalt (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) im Feinstaub bestimmt. Bis 2010 wurde das partikelgebundene Sulfat gemessen, indem während 24 Stunden ein bekanntes Probevolumen durch einen Zellulosefilter gesaugt wurde. Sulfat ist zum grössten Teil in Partikeln, die kleiner als 10 µm sind, enthalten. Seit dem 1. August 2010 wird Sulfat direkt von den PM10-Filtern bestimmt. Die früheren Messwerte von Zellulosefiltern wurden, mit einem aus Parallelmessungen bestimmten Faktor, an die Sulfatmessungen im PM10 skaliert. Eine neue Studie der Empa beschreibt detailliert die Zusammensetzung und Quellenzuordnung von PM10 ([www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch); Luft; Themen Feinstaub).

Sulfatbestimmungen auf PM10-Filtern

Tab. 10 > Schwefel und Sulfatgehalt in PM10, Jahresstatistik 2013

Standorttyp	Station	Schwefel im PM10		Sulfatgehalt in PM10	
		Jahresmittelwert µg/m³	max. 24h-Mittelwert µg/m³	Jahresmittelwert µg/m³	Anteil Sulfat in PM10 %
Städtisch	Lugano-Universität	0,54	2,1	1,61	8,9
Ländlich, <1000 m	Payerne	0,54	3,3	1,61	10,4
Ländlich, >1000 m	Rigi-Seebodenalp	0,38	2,7	1,14	14,8
Hochgebirge	Jungfrauoch	0,09	0,5	0,26	12,0

Abb. 21 > Sulfat im PM10, Jahresmittelwerte 1981–2013



Grossräumige Prozesse bestimmen die räumliche Verteilung des Sulfats, das sich aus Schwefeldioxid bildet und eine Lebensdauer in der Atmosphäre von mehreren Tagen hat. Es ist deshalb von einer relativ homogenen räumlichen Verteilung auszugehen. Der bedeutende Rückgang der Sulfatwerte (Abb. 21) ist nicht nur auf den Rückgang der Schwefeldioxid-Emissionen in der Schweiz, sondern im ganzen mitteleuropäischen Raum zurückzuführen. Die hohen Sulfatwerte auf dem Jungfrauoch 1991 sind wahrscheinlich auf den Ausbruch des Vulkans Pinatubo zurückzuführen. Auch der Ausbruch des Eyjafjallajökull im Jahr 2010 führte zu kurzzeitig erhöhten Werten von Schwefeldioxid.

Homogene räumliche Verteilung

In der Tab. 10 sind die Messwerte des Jahres 2013 unter der Annahme angegeben, dass der Schwefel vollständig als Sulfat vorliegt. Aus dem Vergleich mit den PM10-Werten kann abgeleitet werden, dass heute noch immer 9–15 % des PM10 als Sulfat vorliegt. Dieser Wert ist zwar wesentlich niedriger als Mitte der 80er Jahre, als in Payerne und Jungfrauoch der Sulfatanteil im TSP 30–35 % betrug, er ist aber noch keineswegs vernachlässigbar gering. Die sekundären Komponenten Sulfat, Nitrat und Ammonium (siehe auch Kap.12) tragen einen wesentlichen Anteil zur PM10-Belastung bei.

Schätzung Schwefelgehalt im PM10

#### 4.7 Bewertung

Die Grenzwerte für den lungengängigen Feinstaub (PM10) wurde 2013 in städtischen und in verkehrsbelasteten Gebieten überschritten. Die übermässige Feinstaubbelastung stellt ein erhöhtes Risiko für die menschliche Gesundheit dar. Die Überschreitung der Grenzwerte ist zudem ein klares Signal, dass die Feinstaubbelastung gesenkt werden muss. Um dieses Ziel zu erreichen, ist die bisherige schweizerische Luftreinhalte-Politik konsequent weiter zu führen. Mit den bisher getroffenen und eingeleiteten

PM10-Grenzwerte in Städten deutlich überschritten

Massnahmen, beispielsweise mit der Verschärfung der Abgasvorschriften für Motorfahrzeuge (in Abstimmung mit der EU) oder strengeren Emissionsvorschriften für stationäre Anlagen, wird auch die Feinstaubbelastung reduziert.

Da verschiedene Quellen und Schadstoffe (primäre Staubemissionen und Vorläuferschadstoffe für die sekundären Partikel) zur PM10-Belastung beitragen, wird nur eine Summe von Massnahmen die Belastung erfolgreich senken können. Dabei sind Aktivitäten von der lokalen bis zur internationalen Ebene erforderlich. Die Aktivitäten der EU (z. B. Emissionsverminderung durch neue Abgasgrenzwerte) werden sich auch in der Schweiz positiv auswirken.

Massnahmen auf lokaler bis internationaler Ebene erforderlich

Besondere Anstrengungen braucht es bei den kleinen, krebserregenden Russpartikeln. Für diese Schadstoffe gibt es keine Unbedenklichkeitsschwelle. Gemäss der schweizerischen Gesetzgebung sind die Emissionen des krebserregenden Russes soweit zu begrenzen als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist.

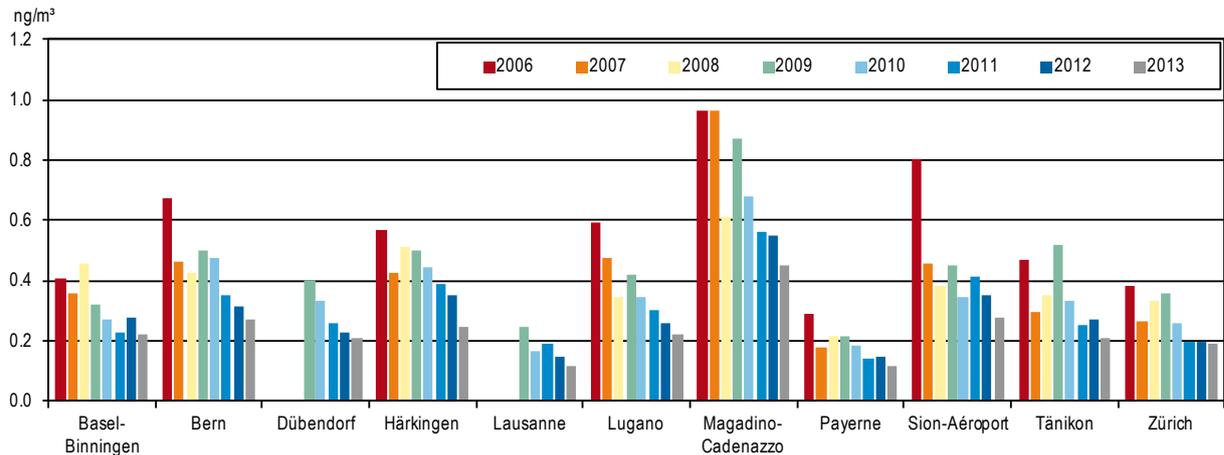
Russpartikel minimieren

4.8

### Benzo(a)pyren im Feinstaub

Feinstaub, wie er in der Aussenluft über der Schweiz gemessen wird, besteht aus einer Vielzahl unterschiedlicher chemischer Komponenten. Als besonders gefährlich für die menschliche Gesundheit eingestuft werden unter anderem Schwermetalle (siehe Kapitel 10) und gewisse polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe wie das Benzo(a)pyren. In der europäischen Union wurde in der Richtlinie 2004/107/EG vom 15. Dezember 2004 ein Zielwert für das krebserregende Benzo(a)pyren von  $1 \text{ ng/m}^3$  im PM10 festgelegt. Um einen Überblick über die in der Schweiz auftretenden Immissionskonzentrationen von Benzo(a)pyren im PM10 zu erhalten, werden seit 2006 Filterproben einiger NABEL-Stationen untersucht. Abb. 22 zeigt die Jahresmittel der Benzo(a)pyren-Konzentrationen für die Jahre 2006 bis 2013. An allen Standorten waren die Immissionen im Jahr 2013 tiefer als im Jahr 2006, was parallel verläuft mit der ebenfalls tieferen PM10-Belastung im Jahr 2013. An allen untersuchten NABEL-Standorten lag die Belastung unter dem europäischen Zielwert. Die höchsten Konzentrationen von Benzo(a)pyren werden im ländlichen Gebiet der Alpensüdseite (Magadino-Cadenazzo  $0.45 \text{ ng/m}^3$ ) gemessen. Noch höhere Konzentrationen wurden an kantonalen Messstationen in Dörfern mit vielen Holzheizungen gemessen (Empa-Bericht: Polyaromatische Kohlenwasserstoffe im PM10 an ausgewählten Stationen des NABEL sowie kantonalen Stationen Messbericht 2013). Gemäss der schweizerischen Gesetzgebung sind die Emissionen des krebserregenden Benzo(a)pyrens soweit zu begrenzen, als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist. Für grössere Anlagen sind in der Luftreinhalte-Verordnung (Anhang 1, Ziffer 82) maximale Emissionskonzentrationen festgelegt.

Abb. 22 &gt; Jahresmittelwerte der Konzentration von Benzo(a)pyren im PM10



## 4.9

**Russgehalt im Feinstaub**

Mikroskopisch kleine Russpartikel dringen tief in die Lunge ein und können zu Atemwegserkrankungen, Herz-Kreislaufstörungen und einem erhöhten Krebsrisiko führen. Um das Gesundheitsrisiko für die Bevölkerung genauer bestimmen zu können, ist es notwendig, eine Übersicht über die Russbelastung zu erstellen. Messungen von Russ an repräsentativen Standorten sind ein wichtiger Schritt dazu. Deshalb wurden seit dem Jahre 2007 an fünf NABEL-Stationen Russ-Messungen mit einem MAAP (Multi Angle Absorption Photometer) und an drei Standorten (MAG, PAY, ZUE) mit einem Mehrwellenlängen-Ätholometer aufgenommen.

Der Begriff Russ umfasst alle primären, kohlenstoffhaltigen Partikel eines unvollständigen Verbrennungsprozesses. Er besteht vor allem aus elementarem (schwarzem) Kohlenstoff (elemental carbon, EC) und organischen Verbindungen, die als organischer Kohlenstoff (organic carbon, OC) gemessen werden. In Immissionsmessungen wird oft der elementare Kohlenstoff allein als Russ bezeichnet. Die Abgrenzung von EC zu organischen Kohlenstoffverbindungen ist allerdings nicht exakt definiert und wird durch die Messmethode beeinflusst. Im Rahmen des Europäischen Komitees für Normierung CEN (TC264 WG35) wird derzeit ein Referenzverfahren zur Messung von elementarem Kohlenstoff festgelegt. Es steht bereits ein provisorisches Verfahren zur Verfügung, das sogenannte thermisch-optische Verfahren (TOT) mit dem EU-SAAR-2 Temperaturprotokoll. Die im Folgenden präsentierten Messwerte von Russ (EC) sind an dieses Verfahren angepasst (das früher in der Schweiz häufig gebrauchte VDI-Verfahren, nach Richtlinie 2465 Blatt 2, liefert in der Regel höhere EC-Werte als das TOT/EUSAAR-2 Verfahren). Die Tab. 11 zeigt eine Übersicht der Russ-Messwerte des Jahres 2013. Abb. 23 zeigt die Entwicklung der Russbelastung über die letzten Jahre. Entlang von stark befahrenen Strassen ist die Russbelastung deutlich grösser als im städtischen oder vorstädtischen Hintergrund. Dort bildet der Russ auch

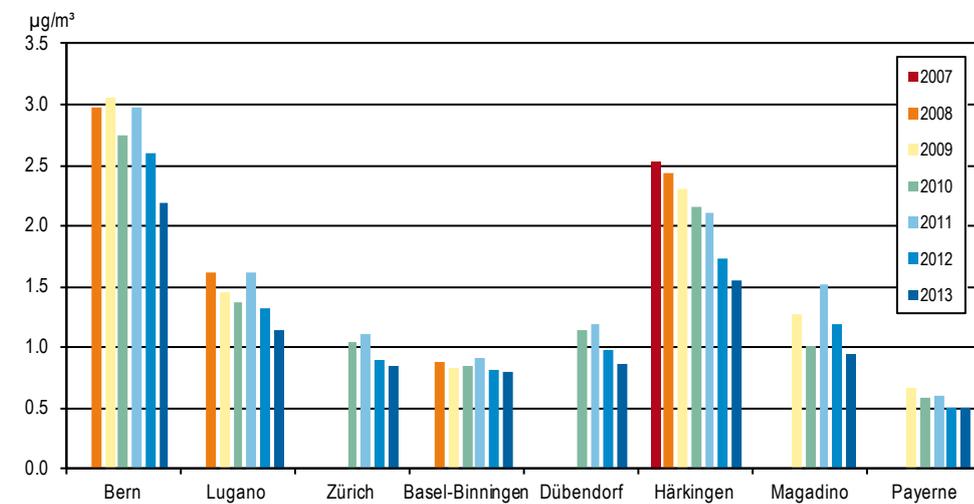
Messung von Russ

einen wesentlich grösseren Anteil an der Massenkonzentration PM2.5 als an den anderen Standorten.

**Tab. 11 > Russ im PM2.5 als EC gemäss TOT/EUSAAR-2 Verfahren, Jahresstatistik 2013**

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert µg/m³	Maximaler Tagesmittelwert µg/m³	Anteil Russ am PM2.5 %
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	2,2	5,0	12 %
Städtisch	Lugano-Universität	1,1	3,9	8 %
	Zürich-Kaserne	0,8	4,4	6 %
Vorstädtisch	Basel-Binningen	0,8	2,8	6 %
	Dübendorf-Empa	0,9	5,1	6 %
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	1,6	4,8	11 %
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	1,0	4,3	7 %
	Payerne	0,5	2,3	4 %

**Abb. 23 > Jahresmittelwerte der Russkonzentration im PM2.5 gemäss TOT/EUSAAR-2 Verfahren**



## 5 > Ozon

---

### 5.1 Entstehung und Charakterisierung

Ozon, ein farbloses Gas von etwas stechendem Geruch und geringer Löslichkeit in Wasser, ist eines der wichtigsten Spurengase in der Erdatmosphäre. In der Diskussion um die Umweltveränderungen durch den Menschen wird es im Zusammenhang mit drei verschiedenen Umweltproblemen erwähnt:

- > Unter dem Stichwort «Ozonloch» wird der Abbau der Ozonschicht in der Stratosphäre (10–50 km über der Erdoberfläche) diskutiert. Diese Ozonschicht schützt den Menschen und die Ökosysteme vor zu intensiver UV-Strahlung. Ihr Abbau wird durch die anthropogenen Emissionen von Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffen (FCKW) verursacht. Diese langlebigen Substanzen sind in der Troposphäre (bis ca. 10 km Höhe) völlig unreaktiv und entfalten erst in der Stratosphäre ihre negative Wirkung.

Ozonloch
- > Ein ganz anderes Problem sind die während des Sommers auftretenden übermäßigen Konzentrationen von bodennahem Ozon. Das bodennahe Ozon ist unerwünscht, da es wegen seiner Aggressivität und Giftigkeit den Menschen und die Umwelt direkt schädigen kann. Die übermäßigen Konzentrationen von bodennahem Ozon werden vor allem durch die anthropogenen Emissionen von Stickoxiden (NO<sub>x</sub>) und flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) verursacht.

Ozonsmog
- > Ozon absorbiert neben UV-Strahlung auch Infrarotstrahlung und wirkt deshalb in der Stratosphäre und in der Troposphäre als klimarelevantes Spurengas mit relativ kurzer Lebensdauer.

Treibhausgas

Zu Beginn des letzten Jahrhunderts lag die Ozonbelastung am Erdboden in der Größenordnung von 15 ppb (30 µg/m<sup>3</sup>) und in 1–2 km Höhe über Boden im Bereich von 20–30 ppb (35–52 µg/m<sup>3</sup>). Diese Werte ergeben sich aus alten Messdaten, die auf ihre Plausibilität überprüft wurden. Es wird angenommen, dass sie ungefähr der natürlichen Ozonbelastung entsprechen, die sich ohne menschliche Emissionen einstellen würde. Die hauptsächliche Quelle für dieses natürliche Ozon ist der Transport von Ozon aus der Stratosphäre in die Troposphäre. Daneben kommt als weitere Quelle eine photochemische Bildung auf Grund der natürlichen Emissionen von Stickoxiden, flüchtigen organischen Verbindungen, Kohlenmonoxid und Methan in Frage. Die heute in der freien Troposphäre zu beobachtenden Ozonkonzentrationen, die oft als Ozon-Hintergrundbelastung bezeichnet werden, liegen um mindestens einen Faktor 2 über diesem Niveau. Diese Hintergrundbelastung darf nicht mit dem natürlichen Ozongehalt der Atmosphäre verwechselt werden.

Natürliche Ozonbelastung

Das anthropogene Ozon in der Grundsicht der Atmosphäre entstammt nicht direkten Schadstoffquellen. Es wird erst in der Atmosphäre durch photochemische Reaktionen aus so genannten Vorläuferschadstoffen, dem Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) und den flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) gebildet. Ozon ist der dominierende Bestandteil des photochemischen Smogs, der jedoch eine Vielzahl weiterer Schadstoffe enthält (organische Säuren, Peroxide, Peroxyacetylnitrat [PAN] etc.). Zur Ozonbildung ist intensive Sonnenstrahlung notwendig, zudem begünstigen erhöhte Lufttemperaturen den Reaktionsablauf. Hohe Ozonkonzentrationen treten deshalb typischerweise während sommerlichen Hochdruckwetterlagen («Schönwetterperioden») auf. Die Ozonbildung in einem Hochdruckgebiet ist ein grösserräumiger Prozess. Sie ist jedoch in der Umgebung von grossen Agglomerationen besonders intensiv, da dort ein sehr reaktives Gemisch von Vorläuferschadstoffen (z. B. aus der Morgenverkehrsspitze) vorliegt. Bei der Bildung des grossräumigen Hintergrundozons spielen neben den Vorläuferschadstoffen NO<sub>2</sub> und NMVOC auch Kohlenmonoxid und Methan eine wesentliche Rolle ([www.empa.ch/klimagase](http://www.empa.ch/klimagase)).

Ozon als sekundärer Schadstoff

Ozon ist eines der stärksten Oxidationsmittel und eines der stärksten Reizgase überhaupt. Aus dieser Eigenschaft resultiert eine hohe Aggressivität gegen menschliche, tierische und pflanzliche Gewebe sowie Materialien. Es greift beim Menschen vor allem Atemwege und Lungengewebe an.

Ozon als Reizgas

## 5.2 Zeitliche Entwicklung

Die Beurteilung der Entwicklung der Ozonbelastung ist eine wesentlich anspruchsvollere Aufgabe als die Trendbeurteilung der übrigen Schadstoffe:

Trends der Spitzenwerte sind von Interesse

- > Wirkungsseitig interessieren beim Ozon vor allem die Spitzenwerte oder die Überschreitungshäufigkeiten bestimmter Schwellenwerte.
- > Die Häufigkeit des Auftretens von Ozonspitzenwerten ist abhängig von den Witterungsbedingungen des jeweiligen Sommers. Die dadurch entstehende Variation in den Datenreihen kann einen allfällig vorhandenen Trend überdecken.
- > Die Identifikation von Trends der hohen Ozonwerte stellt sehr hohe Anforderungen an die Vollständigkeit der Datensätze. Bereits kleine Datenlücken können, wenn sie zufälligerweise während einer Sommersmoglage auftreten, eine Trendanalyse massiv erschweren oder verunmöglichen. Unter diesem Problem leiden insbesondere die älteren Datenreihen der 80er-Jahre.
- > Die Trendentwicklung der Ozonmittelwerte ist unterschiedlich zu derjenigen der Ozonspitzenwerte. Zudem sind die Trends abhängig vom Stationstyp, eine städtische Station verhält sich anders als eine ländliche Station.

In der Abb. 24 sind die an den NABEL-Stationen seit den 90er-Jahren zu beobachtenden Ozentrends dargestellt. Um die Trends deutlicher zu machen, werden jeweils mehrere Stationen, die sich ähnlich verhalten, zusammengefasst: Städtische Stationen der Alpennordseite (Basel-Binningen, Dübendorf, Zürich), ländliche Stationen des Mittellandes (Payerne, Tänikon), Stationen in mittlerer Höhenlage (Chaumont, Rigi-

Ozentrends seit den 90er-Jahre

Seebodenalp) und die beiden Stationen der Alpensüdseite (Lugano, Magadino-Cadenazzo).

Dargestellt sind verschiedene Masszahlen (Quantile) der Ozonverteilung der 1h-Werte eines Jahres. Der 99,9%-Wert bedeutet, dass an 0,1% der Stunden eines Jahres (8 Stunden) der gemessene Ozonwert höher war als der dargestellte in der Abbildung. Beim 99%-Wert sind es 87 Stunden, beim 95%-Wert 438 Stunden, beim 75%-Wert 2190 Stunden und beim Median genau die Hälfte aller Stunden eines Jahres (4380 Stunden). Eingezeichnet sind ebenfalls die linearen Trends der verschiedenen Quantile.

**Quantile der Ozonverteilung**

Alle vier Abbildungen zeigen ein ähnliches Bild: Der maximale 1h-Wert und die hohen Quantile der Ozonverteilung zeigen eine Abnahme oder keinen signifikanten Trend. Der Median und die tiefen Quantile zeigen demgegenüber eine Zunahme. Der Regressionskoeffizient gibt die Änderung in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pro Jahr an. Die Abnahme der hohen Ozonwerte ist am grössten bei den beiden Stationen der Alpensüdseite. Die Variation von Jahr zu Jahr ist allerdings sehr gross, und der Regressionskoeffizient wird stark durch den Anfangs- und Schlusswert bestimmt. Erst weitere Messjahre werden zeigen, ob diese Trends signifikant oder durch zufällige meteorologische Bedingungen entstanden sind.

**Hohe Ozonwerte rückläufig,  
Mittelwerte ansteigend**

Die stärkste Zunahme des Medians wird an den städtischen Stationen (inkl. Alpensüdseite) beobachtet. In den Städten ist diese Zunahme aufgrund der Chemie der Ozonbildung zu erwarten. Wegen der gesunkenen Konzentration von NO wird weniger Ozon abgebaut.

**Zunahme der Ozonmittelwerte in  
Städten**

Bei den Stationen Chaumont und Rigi-Seebodenalp ist ebenfalls eine Zunahme des Medians zu beobachten. Die Zunahme an diesen Stationen deutet darauf hin, dass die anthropogene Ozon-Hintergrundbelastung auf der ganzen Nordhemisphäre nach wie vor zunimmt.

**Zunahme der Ozonmittelwerte in  
erhöhten Lagen**

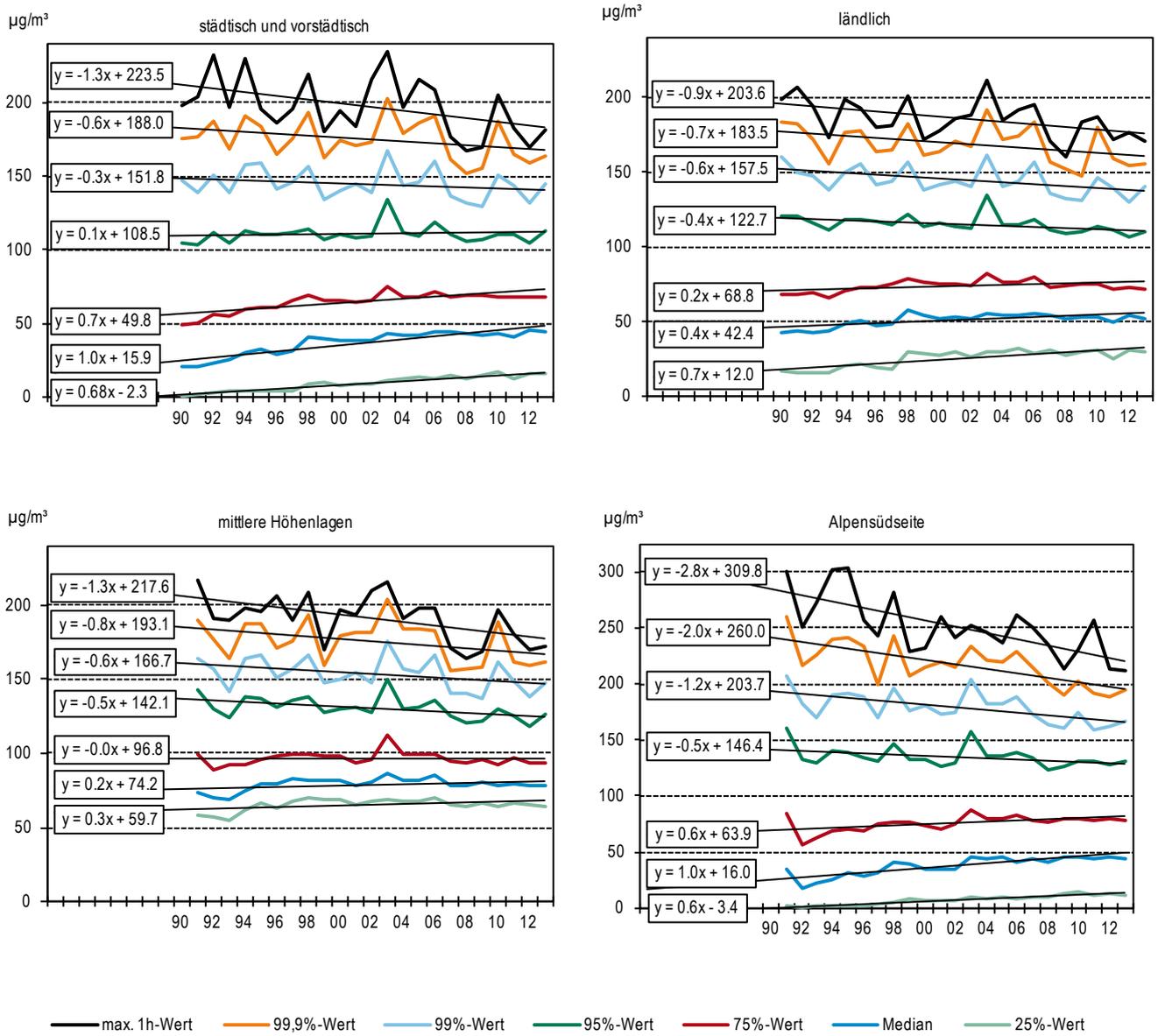
Die Trends, wie sie in den Abb. 24 dokumentiert sind, stimmen gut mit der theoretisch zu erwartenden Ozonentwicklungen überein, wie sie in Ozonmodellen berechnet werden. Zwischen 1990 und 2013 haben die gesamtschweizerischen  $\text{NO}_x$ -Emissionen um 50% und die NMVOC-Emissionen um 70% abgenommen. Dies verhinderte trotz anwachsender mittlerer Ozonbelastung ein Ansteigen der Ozonmaxima. Die hohen Ozonwerte nahmen sogar an einigen Stationen ab. Dies bestätigen Resultate von Modellrechnungen, welche für Emissionsminderungen von  $\text{NO}_x$  und NMVOC eine Abnahme der Ozonmaxima, aber kaum eine Änderung des Mittelwertes, voraussagen,

**Trends stimmen mit Aussagen  
von Ozonmodellen überein**

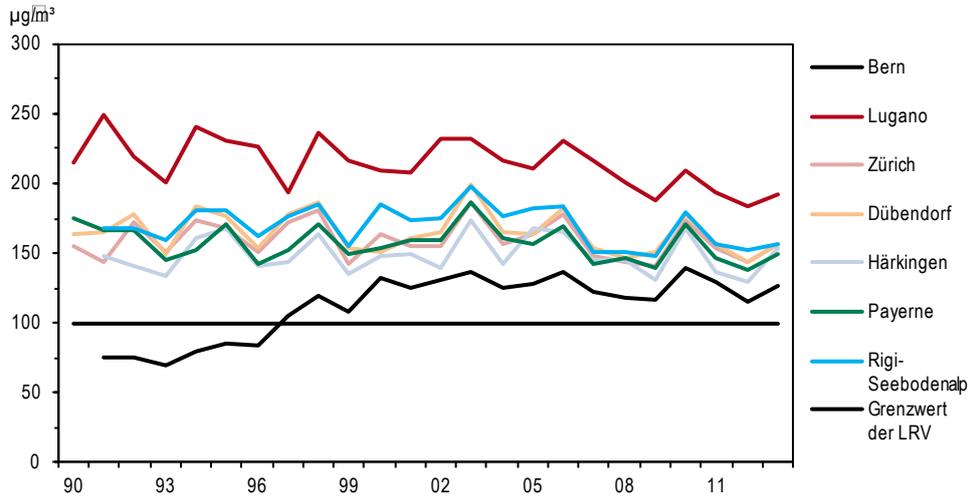
In den Abb. 25 und Abb. 26 sind die beiden Zeitreihen dargestellt, die sich auf die Grenzwerte der LRV beziehen. Beide Zeitreihen zeigen keine signifikante Zu- oder Abnahme. Die lang anhaltenden Schönwetterperioden des Jahres 2003 bewirkten zahlreiche Überschreitungen des Immissionsgrenzwerts, aber nur leicht erhöhte 98%-Werte.

**Abb. 24 > Statistik der Ozon-Stundenmittelwerte**

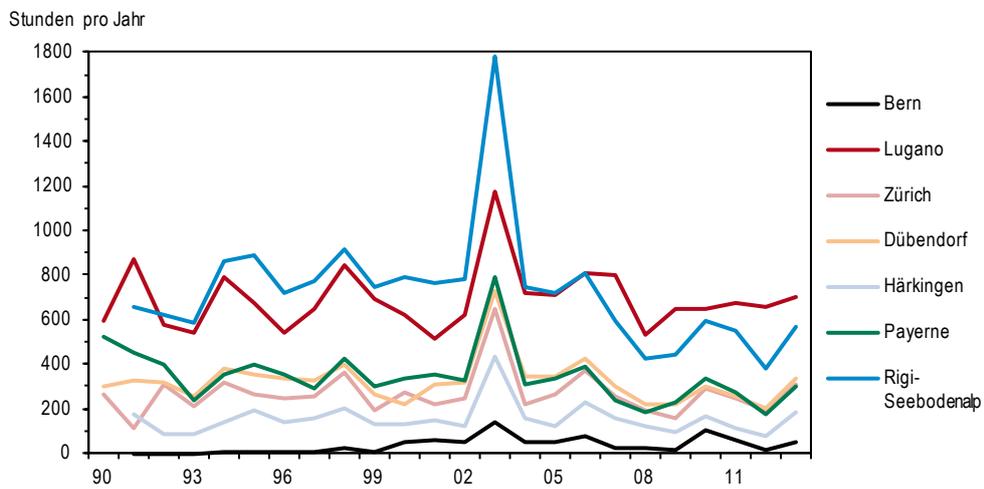
Die Stationen sind nach Standorttypen zusammengefasst: Städtisch und vorstädtisch der Alpennordseite (Basel-Binningen, Dübendorf, Zürich), ländlich im Mittelland (Payerne, Tänikon), in mittlerer Höhenlage (Chaumont, Rigi-Seebodenalp) und Alpensüdseite (Lugano, Magadino-Cadenazzo).



**Abb. 25 > Ozon, 98 %-Werte des ozonreichsten Sommermonats 1990–2013**



**Abb. 26 > Ozon, Anzahl Überschreitungen des 1h-Immissionsgrenzwertes 1990–2013**



## 5.3

**Situation 2013**

Die Jahresstatistik 2013 (Tab. 12) zeigt, dass die Ozongrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung (maximaler Stundenmittelwert von 120 µg/m<sup>3</sup>, 98 %-Wert der Summenhäufigkeit der Halbstundenmittelwerte eines Monats von 100 µg/m<sup>3</sup>) wie in den Vorjahren an allen Stationen und zum Teil erheblich überschritten wurden. Die Grenzwertüberschreitungen traten hauptsächlich zwischen März und September auf, mit maximalen Häufigkeiten von Juni bis August.

**Grenzwerte an allen Stationen überschritten**

Die vier stark verkehrsbeeinflussten Stationen (Bern, Härkingen, Lausanne, Sion-Aéroport) zeigen geringere Überschreitungshäufigkeiten des Ozongrenzwertes (1h-Mittelwert), was durch den Abbau des Ozons durch die hohen Konzentrationen von Stickstoffmonoxid – emittiert durch den Verkehr auf den nahe gelegenen Hauptverkehrsachsen – verursacht wird. Das dabei gebildete Stickstoffdioxid ist jedoch selbst ein Luftschadstoff und gleichzeitig Vorläufersubstanz für die Ozonbildung in grösserer Entfernung von der Strasse.

**Ozonabbau an strassennahen Standorten**

**Tab. 12 > Ozon (O<sub>3</sub>), Jahresstatistik 2013**

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert µg/m <sup>3</sup>	max. 98 %-Wert µg/m <sup>3</sup>	max. Stundenmittelwert µg/m <sup>3</sup>	Anz. Grenzwertüberschreitungen (1h-Wert)	Anzahl Tage mit max. 1h-Mittelwert			max. 8h-Mittelwert µg/m <sup>3</sup>	Anzahl Tage mit max. 8h-Mittelwert	
						>120 µg/m <sup>3</sup>	>180 µg/m <sup>3</sup>	>240 µg/m <sup>3</sup>		>100 µg/m <sup>3</sup>	>120 µg/m <sup>3</sup>
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	35	126	142	49	15	0	0	132	29	5
	Lausanne-César-Roux	43	134	153	88	21	0	0	133	33	11
Städtisch	Lugano-Università	53	192	215	698	86	19	0	197	107	70
	Zürich-Kaserne	47	156	179	305	53	0	0	159	69	36
Vorstädtisch	Basel-Binningen	48	163	177	293	47	0	0	164	69	34
	Dübendorf-Empa	45	157	189	333	57	1	0	164	69	37
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	38	154	171	185	34	0	0	155	37	20
	Sion-Aéroport-A9	41	136	151	107	24	0	0	142	55	12
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	48	173	207	491	78	5	0	185	103	57
	Payeme	52	149	158	298	47	0	0	152	66	32
	Tänikon	53	154	183	298	55	1	0	164	69	34
	Lägeren	64	158	175	504	52	0	0	162	83	51
Ländlich, oberhalb 1000 m	Chaumont	80	157	170	620	49	0	0	161	99	46
	Rigi-Seebodenalp	78	157	174	572	62	0	0	157	101	46
	Davos-Seehornwald	67	116	136	7	3	0	0	122	33	1
Hochgebirge	Jungfrauoch	75	130	180	49	8	0	0	140	32	5
<i>LRV-Immissionsgrenzwert</i>			100	120	1						

1) Die Umrechnung von ppb und µg/m<sup>3</sup> und ppm in mg/m<sup>3</sup> erfolgt für die Stationen Davos-Seehornwald und Jungfrauoch mit standortabhängigen Faktoren (Anhang A5).

## 5.4 Ozon Jahresgang

Ozon zeigt einen typischen Jahresgang, der sich grundlegend von den meisten anderen Schadstoffen unterscheidet (Abb. 27 und Abb. 28). Im Sommer werden bedeutend höhere Konzentrationen gemessen als im Winter. Die Darstellung der Monatsmittelwerte (Abb. 27) zeigt, dass die tiefsten mittleren sommerlichen Ozonwerte an den stark verkehrsbeeinflussten Stationen (Ozonabbau durch Stickstoffmonoxid) auftreten, die höchsten Werte dagegen an den Stationen in mittlerer Höhenlage (Chaumont und Rigi-Seebodenalp).

Höchste Monatsmittelwerte an Stationen in mittlerer Höhenlage

Die Monate Mai und August hatten ausserordentlich viele Sonnenstunden und wiesen entsprechend hohe Ozonwerte auf (Abb. 27).

Hohe Ozonwerte im April und Mai

Abb. 27 > Ozon (O<sub>3</sub>), Monatsmittelwerte 2013

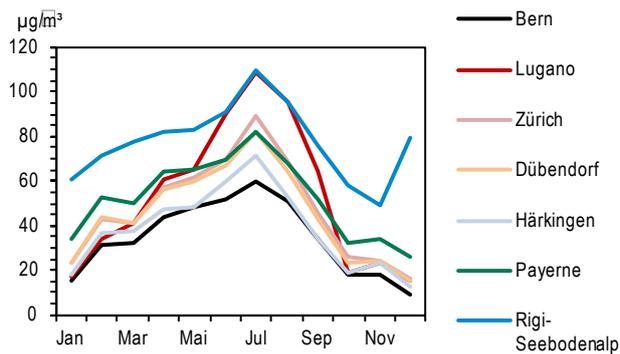
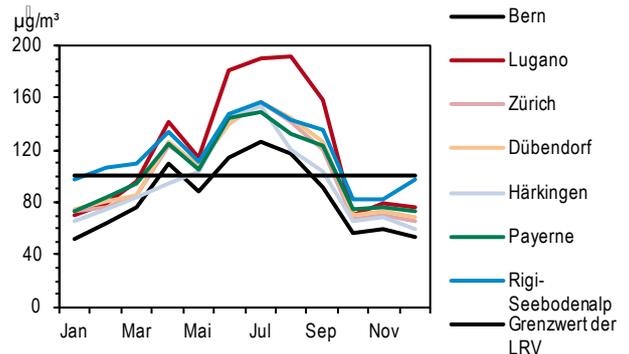


Abb. 28 > Ozon (O<sub>3</sub>), monatliche 98 %-Werte 2013



## 5.5 Bewertung

Die übermässigen Ozonimmissionen stellen ein Lufthygieneproblem von grösserräumigem Ausmass dar, mit entsprechend weitreichenden Folgen. Ursache dieser Ozonimmissionen ist die zu hohe Belastung der Luft durch die anthropogen bedingten Vorläufersubstanzen, das Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) und die flüchtigen organischen Verbindungen (VOC). Das Sommersmogproblem lässt sich nur durch eine massive Verminderung dieser Vorläuferschadstoffe lösen.

Lösung des Ozon-Problems erfordert massive Reduktion der Vorläuferschadstoffe

Das Sommersmogproblem soll grundsätzlich durch dauerhaft wirksame Massnahmen gelöst werden. Die bisher national und international eingeleiteten Massnahmen werden die Ozonvorläuferstoffe weiter vermindern. Zusätzliche dauerhaft wirksame Luftreinhalte-Massnahmen sind notwendig und vorgesehen. Mit der Realisierung dieser Massnahmen ist mittelfristig eine weitere Entschärfung des Sommersmogproblems zu erwarten.

Dauerhaft wirksame Massnahmen notwendig

## 6 > Flüchtige organische Verbindungen

### 6.1 Entstehung und Charakterisierung

Die Gruppe der flüchtigen organischen Verbindungen (sog. «VOC» = «volatile organic compounds») umfasst eine Vielzahl von Substanzen, die alle das Element Kohlenstoff enthalten. Neben Kohlenstoff sind nur verhältnismässig wenige andere Elemente am Aufbau organischer Verbindungen beteiligt (Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Halogene, Schwefel u.a.). Bestehen die flüchtigen organischen Verbindungen nur aus Kohlenstoff- und Wasserstoff-Atomen, so spricht man von Kohlenwasserstoffen. Der Begriff «Kohlenwasserstoffe» wird gelegentlich auch vereinfachend für die ganze Gruppe der VOC verwendet. Wichtige weitere Gruppen von VOC sind sauerstoffhaltige VOC (z. B. Aldehyde, Ketone, Alkohole), halogenierte VOC (z. B. Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe, FCKW) sowie schwefel- und stickstoffhaltige VOC.

Gruppe der VOC umfasst Vielzahl von Substanzen

Kohlenwasserstoffe

Als VOC bezeichnet man üblicherweise organische Verbindungen mit einem Siedepunkt unter 250 °C, die somit bei atmosphärischen Bedingungen einen genügend hohen Dampfdruck aufweisen, um gasförmig vorzuliegen. In der Atmosphäre gibt es auch organische Verbindungen, die partikelförmig vorliegen (z. B. schwerflüchtige Kohlenwasserstoffe). Diese zählen nicht zu den VOC.

Eigenschaften

Der einfachste Kohlenwasserstoff, der zudem in der Atmosphäre in grösseren Mengen vorkommt, ist das Methan (CH<sub>4</sub>). Wegen seiner relativen Häufigkeit und der von anderen VOC verschiedenen atmosphärischen Wirkung wird das Methan in der Regel separat betrachtet und von den übrigen Kohlenwasserstoffen abgetrennt. Man spricht in diesem Zusammenhang Nichtmethan-VOC (NMVOC).

Methan

Die flüchtigen organischen Verbindungen sind zusammen mit den Stickoxiden wichtige Vorläufersubstanzen für die Ozonbildung. Das Ozonbildungspotenzial der einzelnen VOC variiert sehr stark, wobei die betrachtete Zeitskala eine wesentliche Rolle spielt. Verantwortlich für das Auftreten von relativ kurzfristigen Ozonspitzenwerten in der näheren Umgebung der Emissionsquellen sind in erster Linie die hochreaktiven VOC. Die schwach reaktiven VOC tragen dagegen zur Erhöhung der grossräumigen Ozon-Grundbelastung bei.

Vorläufer für Ozonbildung

Verschiedene VOC haben krebserregende Eigenschaften (z. B. Benzol), andere sind toxisch, wobei die Toxizität der einzelnen VOC sehr stark variiert. Halogenierte VOC (insbesondere vollhalogenierte VOC wie FCKW-11, -12, -113, Tetrachlorkohlenstoff) tragen massgeblich zur Zerstörung der stratosphärischen Ozonschicht bei und verstärken die als Treibhauseffekt bekannte globale Erwärmung.

Wirkungen

## 6.2 VOC-Summenmessung

Kontinuierliche Messungen der Summe der flüchtigen organischen Verbindungen werden an drei Stationen durchgeführt. Durch Messung mit einem FID-Detektor werden einerseits die Summe der VOC und andererseits das Methan bestimmt. Die Konzentration der Nichtmethan-VOC wird als Differenz der beiden Messsignale erhalten.

Die Immissionsentwicklung seit 1986 (Abb. 29) ist für die Erfolgskontrolle von speziellem Interesse. Beide Stationen mit langen Messreihen zeigen eine Abnahme um rund 72 % seit Ende der 80er Jahre. In Tab. 13 sind die wichtigsten Messwerte des Jahres 2013 zusammengestellt.

Die Messungen in Lugano deuten auf eine höhere Belastung der Alpensüdseite mit NMVOC hin. Ob diese erhöhte Belastung, insbesondere im Winter, auf Grund von lokalen Quellen oder durch Transport aus der Po-Ebene zustande kommt, kann aus den Messungen nicht abgeleitet werden.

Messtechnik

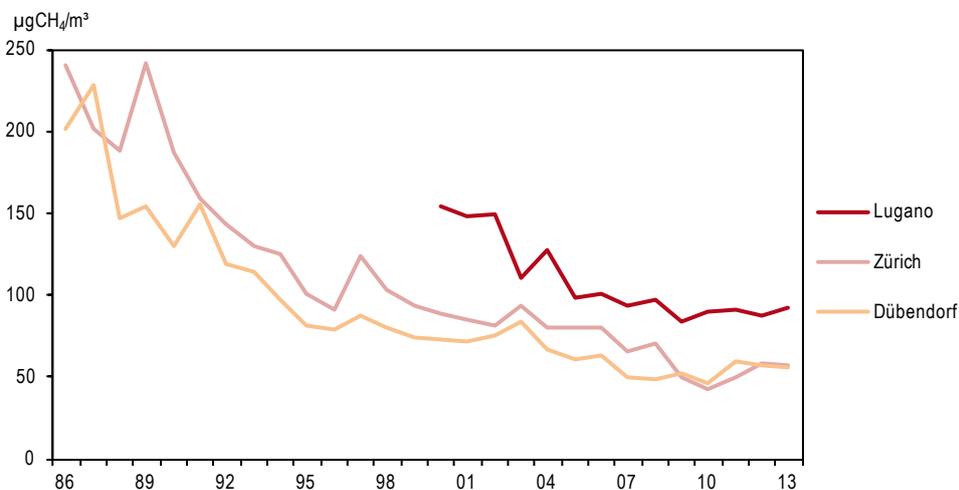
Reduktion der Belastung um rund 3/4 in den letzten 20 Jahren

Höhere Werte im Tessin

Tab. 13 > Nichtmethan-VOC (ausgedrückt als Methanäquivalent), Jahresstatistik 2013

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert $\mu\text{gCH}_4/\text{m}^3$	95 %-Wert $\mu\text{gCH}_4/\text{m}^3$	max. 24h-Mittelwert $\mu\text{gCH}_4/\text{m}^3$
Städtisch	Lugano-Universität	92	173	231
	Zürich-Kaserne	57	145	273
Vorstädtisch	Dübendorf-Empa	55	142	282

Abb. 29 > Nichtmethan-VOC (ausgedrückt als Methanäquivalent), Jahresmittelwerte 1986–2013



## 6.3

**Aromatische Verbindungen**

Die aromatischen Verbindungen Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol kommen im Motorenbenzin vor. Daneben werden Toluol und Xylol in Industrie und Gewerbe als Lösungsmittel eingesetzt. Benzol hat ein geringes bis mittleres Ozonbildungspotenzial. Es ist insbesondere wegen seiner krebserzeugenden Wirkung in der Atemluft unerwünscht. Toluol, Ethylbenzol und die drei isomeren Xylole haben ein hohes Ozonbildungspotenzial. Da sie zudem in grossen Mengen emittiert werden, sind sie wichtige Vorläufersubstanzen für die sommerliche Ozonbildung.

In Tab. 14 sind die Jahresmittel aller C<sub>6</sub>–C<sub>8</sub>-Aromaten der Stationen Bern-Bollwerk, Zürich, Dübendorf und Rigi-Seebodenalp zusammengestellt. An der verkehrsbelasteten Station Bern-Bollwerk werden die höchsten Aromaten-Konzentrationen gemessen. Ländlich, über 1000 m, sind die Konzentrationen erheblich geringer als in der Region Zürich.

**Tab. 14 > Aromatische Verbindungen, Jahresmittel 2013**

	Benzol µg/m <sup>3</sup>	Toluol µg/m <sup>3</sup>	Ethylbenzol µg/m <sup>3</sup>	m/p-Xylol µg/m <sup>3</sup>	o-Xylol µg/m <sup>3</sup>
Bern-Bollwerk	1,17	4,22	0,63	2,62	0,81
Zürich-Kaserne	0,88	3,04	0,35	1,3	0,48
Dübendorf-Empa	0,81	14,7*			
Rigi-Seebodenalp	0,39	0,44	0,07	0,15	0,06

\*) Beim Toluol traten im Jahre 2013 in Dübendorf starke lokale Verschmutzungen auf

Die Messung einzelner VOC-Komponenten erfolgt mit einer wesentlich aufwändigeren Messtechnik als die Messung anderer Spurengase. Deshalb ist die Datenverfügbarkeit geringer. Da alle Jahreszeiten genügend abgedeckt sind, ist die verlässliche Berechnung von Jahreswerten dennoch möglich.

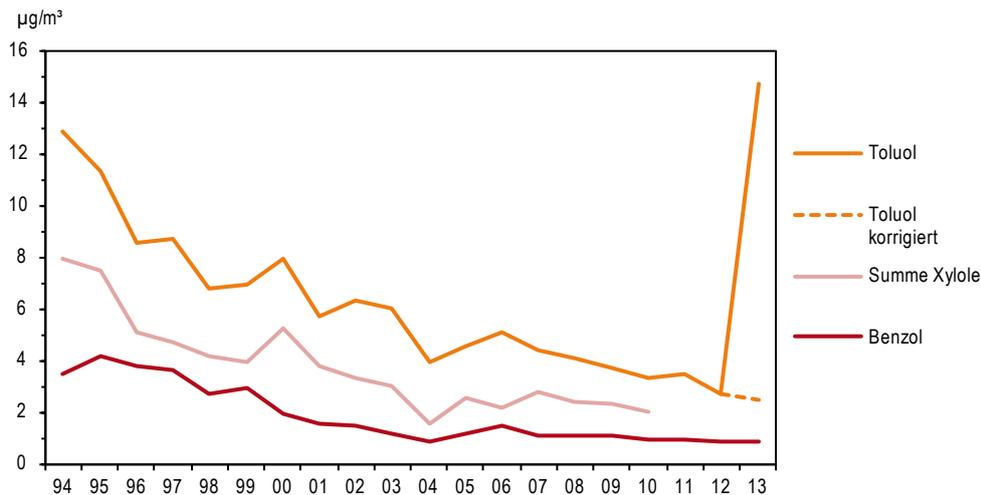
Die Konzentration von Toluol hat seit 1994 deutlich abgenommen (Abb. 30). Die Benzolwerte sind zwischen 1994 und 1999 nur wenig zurückgegangen. Zwischen 1999 und 2001 wurde dagegen ein deutlicher Rückgang beobachtet. Dieses Verhalten wurde auch an kantonalen Stationen beobachtet, die zum grossen Teil mit Passivsammlern messen. Der Rückgang zwischen 1999 und 2001 betrug im Mittel über 9 Stationen 30%. Die stärkste Abnahme wurde an strassennahen Standorten beobachtet. Die Hauptursache dieses Rückgangs ist die Reduktion des Benzolgehalts im Benzin.

**Benzol, Toluol und Xylol als wichtigste aromatische Verbindungen**

**Deutliche Abnahme der Benzolbelastung zwischen 1999 und 2001**

**Abb. 30 > Aromatische Verbindungen, Jahresmittelwerte 1994–2013, Dübendorf**

Beim Toluol traten im Jahre 2013 starke lokale Verschmutzungen auf. Die gestrichelte Linie zeigt für 2013 den korrigierten Wert ohne die starke lokale Verschmutzung.



## 6.4

**Gesättigte und ungesättigte Kohlenwasserstoffe**

Flüchtige organische Verbindungen sind wichtige Vorläufer für die Ozonbildung, denn bei ihrem Abbau entstehen Radikale, welche die Oxidationskapazität der Atmosphäre erhöhen und so zur Bildung von Ozon führen. Die Kenntnis der VOC-Konzentrationen ist deshalb für das Verständnis der Photochemie in der Troposphäre von zentraler Bedeutung.

**Ungesättigte Kohlenwasserstoffe**  
wichtig für Ozonbildung

Gesättigte und ungesättigte VOC stammen aus unterschiedlichen Quellen wie Verkehr, Verdampfungsverlusten von Treibstoffen, Lösungsmitteln oder Verlusten bei der Gasverteilung. Als VOC mit vorwiegend natürlichem Ursprung wird Isopren erfasst, welches in grösseren Mengen von Laubbäumen emittiert wird.

**Hauptemittenten**

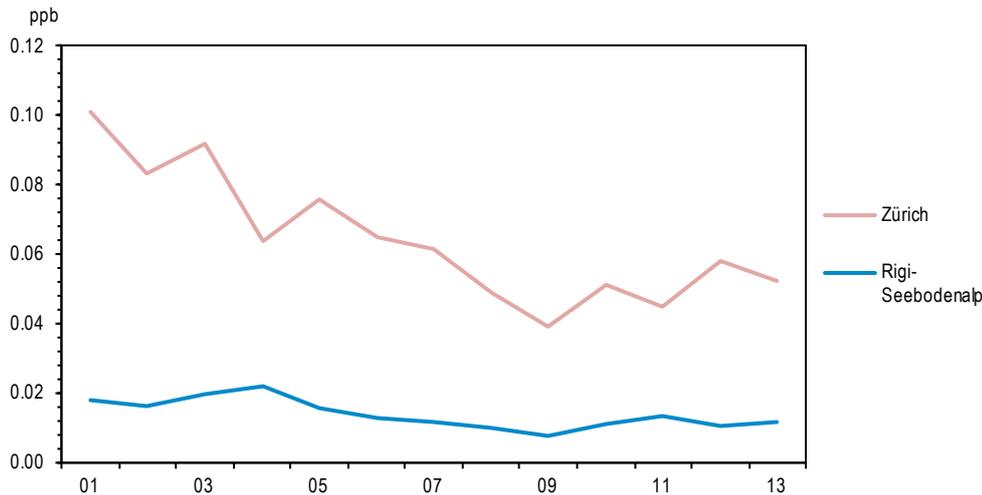
Die VOC-Messungen sind verknüpft mit einem europäischen Programm, das Daten für die Kalibrierung des europäischen EMEP-Modells bereitstellt. Seit 2001 werden VOC-Komponenten in Zürich und auf Rigi-Seebodenalp gemessen (siehe Anhang B).

**Messungen**

Humantoxikologisch ist das krebserregende 1,3-Butadien von Bedeutung. Abb. 31 zeigt die seit 2001 im NABEL gemessenen Konzentrationen. In der Stadt Zürich ist die Konzentration zwischen 2001 und 2013 fast auf die Hälfte gesunken, vermutlich als Folge der verbesserten Motorentechnik und Abgasreinigung bei Fahrzeugen.

**1,3-Butadien**

Abb. 31 &gt; 1,3-Butadien, Jahresmittelwerte 2001–2013



## 6.5 Halogenierte Verbindungen

Halogenierte Verbindungen sind in der Regel reaktionsträge und langlebig. Sie spielen in der Chemie der Troposphäre für die Ozonbildung keine grosse Rolle. Ähnliches gilt für die gesundheitlichen Wirkungen, zumindest für die Konzentrationen, wie sie in der Aussenluft vorkommen. Diese Verbindungen sind aber für globale Probleme wie Ozonzerstörung in der Stratosphäre und Klimaerwärmung von Bedeutung.

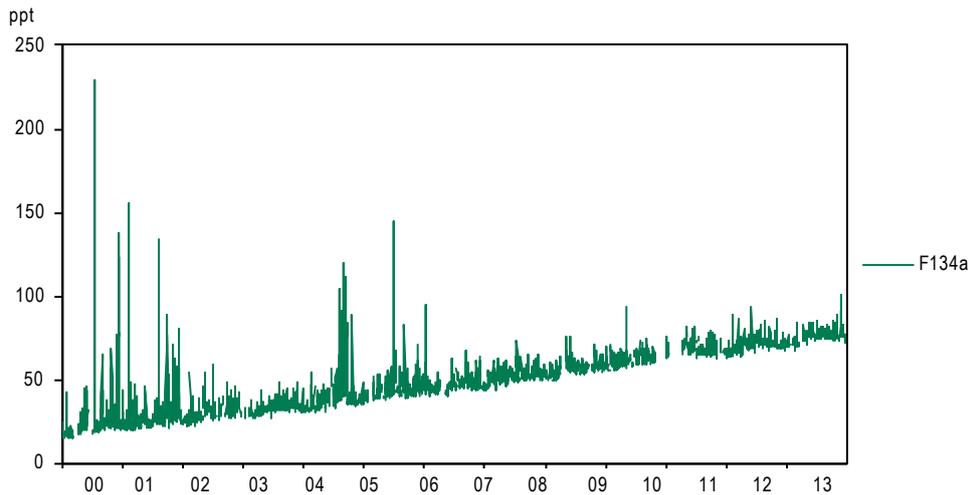
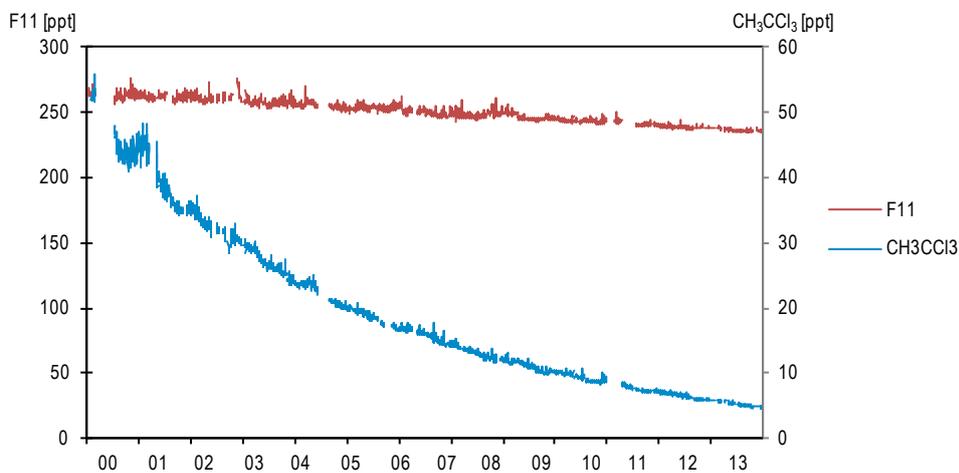
Bedeutung in der Atmosphäre

Zwischen 1994 und 1999 wurden in Dübendorf mehrere halogenierte Verbindungen gemessen (Jahresbericht 1999; BUWAL, SRU-316). Da bei diesen Komponenten insbesondere die grossräumige Hintergrundbelastung von Interesse ist, wurden die Messungen auf das Jungfraujoch verlegt, wo die Beeinflussung durch lokale Quellen wesentlich kleiner ist als in Dübendorf. Die Messungen werden im Rahmen eines grösseren Projekts (HALCLIM) durchgeführt und sind Teil des weltweiten Messnetzes für halogenierte Verbindungen (AGAGE). Weiterführende Informationen finden Sie unter: [www.empa.ch/klimagase](http://www.empa.ch/klimagase).

Messungen an NABEL-Stationen

Einige Beispiele für die auf dem Jungfraujoch gemessenen Konzentrationen von halogenierten Verbindungen sind in Abb. 32 und Abb. 33 dargestellt. Die Verbindung F134a ( $\text{CH}_2\text{FCF}_3$ ) wird als Kühlmittel und für Schäumungen eingesetzt. Sie darf gemäss internationalen Abkommen produziert und verwendet werden, muss aber in den Treibhausgasstatistiken gemäss dem Kyoto-Protokoll berücksichtigt werden. F134a ersetzt andere, mittlerweile verbotene Substanzen und zeigt einen deutlichen Anstieg in der Konzentration der Hintergrundluft. Wenn Luft aus tieferen Lagen aus der Schweiz oder aus dem Ausland aufs Jungfraujoch hochsteigt, sind wesentlich erhöhte Konzentrationen von F134a zu beobachten (Abb. 32).

Erlaubte Substanz F134a

**Abb. 32** > F134a, Tagesmittelwerte 2000 bis 2013 auf dem Jungfrauoch**Abb. 33** > 1,1,1-Trichlorethan und F11: Tagesmittelwerte von 2000 bis 2013 auf dem Jungfrauoch

Das in Schaumstoffen und Sprays eingesetzte F11 ( $\text{CCl}_3\text{F}$ ) ist durch das Montrealer-Protokoll in Produktion und Anwendung weltweit eingeschränkt. Da F11 jahrzehntelang in der Atmosphäre verbleibt, hat die Hintergrundkonzentration seit 2000 wenig abgenommen (Abb. 33). Es werden keine ausgeprägten Konzentrationsspitzen gemessen, was darauf hindeutet, dass in Europa keine Quellen von F11 vorhanden sind.

**Verbotene langlebige Substanz  
F11**

Das als Lösungsmittel verwendete 1,1,1-Trichlorethan ( $\text{CH}_3\text{CCl}_3$ ) ist gemäss dem Montrealer Protokoll ebenfalls in Produktion und Anwendung eingeschränkt. Wegen seiner kürzeren Lebenszeit in der Atmosphäre ist bereits ein deutlicher Rückgang der Konzentration seit dem Jahr 2000 zu beobachten (Abb. 33).

Verbotene kurzlebige Substanz  
1,1,1-Trichlorethan

## 6.6 Bewertung

Die Gruppe der flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) setzt sich aus einer Vielzahl von Substanzen mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften zusammen. Bei der Wirkung auf den Menschen stehen die krebserzeugenden Eigenschaften im Vordergrund. Von der atmosphärenchemischen Wirkung her gesehen ist grundsätzlich zwischen den VOC, die in der Troposphäre Ozon bilden, und den VOC, die in der Stratosphäre Ozon zerstören, zu unterscheiden. Gegenüber der Mitte der 1980er-Jahre konnte der Ausstoss von ozonbildenden VOC wesentlich vermindert werden. Zu diesem Erfolg trugen vor allem der Katalysator, die strengen Emissionsgrenzwerte der LRV für Industrie- und Gewerbebetriebe sowie die Benzindampfrückführung beim Treibstofftransport und -umschlag bei. Die Einführung der Lenkungsabgabe auf VOC im Jahre 2000 bewirkte einen weiteren deutlichen Rückgang der VOC-Emissionen. Dennoch genügen die bisherigen Massnahmen noch nicht, um die Emissions- und Immissionsziele zu erreichen.

Weitere Emissionsminderungen  
notwendig

# 7 > Schwefeldioxid

## 7.1 Entstehung und Charakterisierung

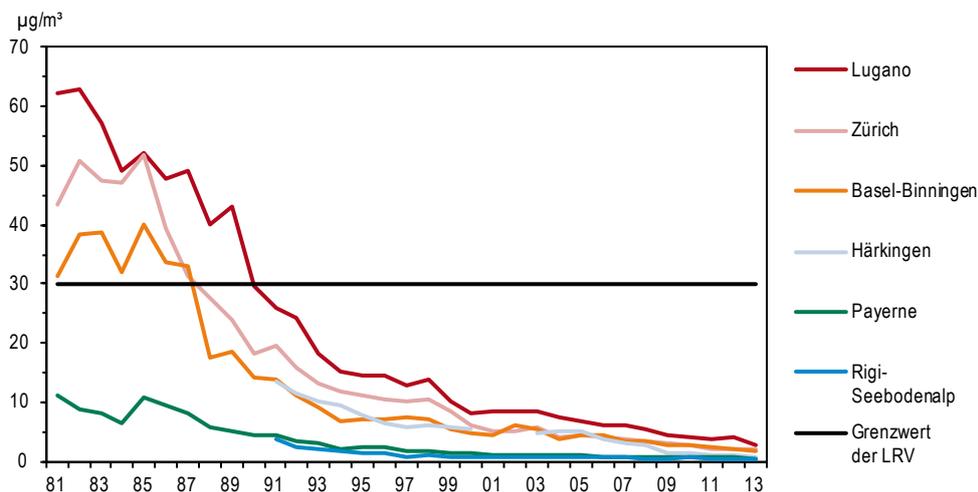
Schwefeldioxid ist ein farbloses, in höheren Konzentrationen stechend riechendes, gut wasserlösliches Reizgas. Es entsteht vor allem beim Verbrennen schwefelhaltiger Brenn- und Treibstoffe. Das Maximum der Schwefeldioxidemissionen wurde 1980 erreicht. Die Emissionen sind seither auf weniger als ein Sechstel des damaligen Maximalwertes zurückgegangen.

Emission seit 1980 auf ein Sechstel zurückgegangen

Gesundheitliche Auswirkungen erhöhter Belastungen von Schwefeldioxid betreffen insbesondere die Atemwege. Asthmatiker und Individuen mit chronischen Atemwegserkrankungen sind speziell betroffen.  $\text{SO}_2$  ist auch stark phytotoxisch. Es ist zudem eine wichtige Vorläufersubstanz für die Bildung von sauren Niederschlägen.

## 7.2 Zeitliche Entwicklung

Abb. 34 > Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ), Jahresmittelwerte 1981–2013



Die Schwefeldioxid-Belastung nahm zwischen 1985 und 1994 sehr stark ab (Abb. 34). Seit Mitte der 90er-Jahre ist die Abnahme geringer. Die SO<sub>2</sub>-Belastung liegt heute an allen NABEL-Stationen auf tiefem Niveau, deutlich unter dem Immissionsgrenzwert von 30 µg/m<sup>3</sup>. Auch an den ländlichen Stationen und an der Hochgebirgsstation Jungfrauoch war die Belastung deutlich rückläufig. Seit Mitte der 80er-Jahre hat die SO<sub>2</sub>-Belastung an allen Stationen um über 90 % abgenommen.

Abnahme der Immissionen  
um über 90 %

7.3

### Situation 2013

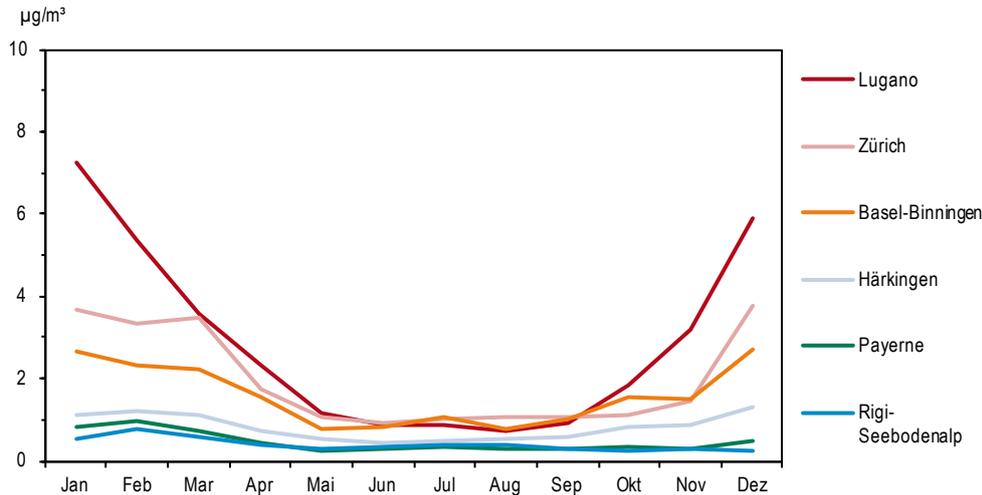
Die SO<sub>2</sub>-Messergebnisse des Jahres 2013 sind in der Tab. 15 zusammengestellt. Im NABEL sind keine Überschreitungen des Jahresgrenzwertes aufgetreten. Der 95 %-Wert als Mass für die Kurzzeitbelastung lag ebenfalls bei allen Stationen deutlich unter dem Grenzwert von 100 µg/m<sup>3</sup>. Dasselbe gilt für die höchsten Tagesmittelwerte.

Generell tiefe Belastung

Tab. 15 > Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Jahresstatistik 2013

Standorttyp	Station	Jahres- mittelwert µg/m <sup>3</sup>	95 %- Wert µg/m <sup>3</sup>	max. 24h- Mittelwert µg/m <sup>3</sup>	Anzahl Grenzwert- überschreitungen 24h-Mittelwert
Städtisch	Lugano-Universität	2,8	9	11	0
	Zürich-Kaserne	2,0	6	10	0
Vorstädtisch	Basel-Binningen	1,6	5	7	0
	Dübendorf-Empa	1,3	4	6	0
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	<1	2	3	0
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	1,8	6	6	0
	Payerne	<1	1	2	0
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	<1	<1	3	0
Hochgebirge	Jungfrauoch	<1	<1	<1	0
<i>LRV-Immissionsgrenzwert</i>		30	100	100	1

Da die SO<sub>2</sub>-Belastung nun seit Jahren weit unter den Grenzwerten liegt, wurde das SO<sub>2</sub>-Messprogramm im NABEL reduziert. Es wurde dabei darauf geachtet, dass künftig Messungen sowohl an städtischen wie auch an ländlichen und alpinen Standorten durchgeführt werden.

**Abb. 35 > Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Monatsmittelwerte 2013**

Die Abb. 35 zeigt mittlere Jahresgänge an 5 Stationen. Charakteristisch für die Immissionsbelastung durch Schwefeldioxid ist der ausgeprägte Jahresgang. Im Winter – d. h. während der Heizperiode und bei ungünstigeren atmosphärischen Ausbreitungsbedingungen (z. B. Inversionslagen) – werden bedeutend höhere Konzentrationen gemessen als im Sommer. Dieser Jahresgang ist in den Städten besonders ausgeprägt, an den ländlichen Stationen ist er kaum mehr zu erkennen. Im Weiteren weist die Abbildung auf den grossen Stadt-Land Gegensatz im Winter hin.

#### 7.4 Bewertung

Beim Schadstoff Schwefeldioxid wurden 2013 sowohl der Langzeitgrenzwert wie die Kurzzeit-Immissionsgrenzwerte an allen NABEL-Stationen eingehalten.

**Erfolg bestätigt Richtigkeit der Luftreinhaltestrategie**

Die günstige Situation ist eine direkte Folge der in den 90er-Jahren bedeutend verringerten SO<sub>2</sub>-Emissionen. Der Erfolg der getroffenen Massnahmen (insbesondere Herabsetzung des Schwefelgehalts im Heizöl sowie Umstellung auf Erdgas infolge strenger Emissionsgrenzwerte) zeigt sich im deutlichen Rückgang der Schwefeldioxid-Belastung. Dieses Beispiel macht deutlich, dass die im Luftreinhalte-Konzept des Bundesrates verfolgte Strategie richtig ist und dass durch konsequent durchgeführte Massnahmen in der Schweiz die Immissionsgrenzwerte selbst an vorher stärkst belasteten Standorten eingehalten werden können.

# 8 > Kohlenmonoxid

## 8.1 Entstehung und Charakterisierung

Kohlenmonoxid ist ein farb- und geruchloses Gas, das bei praktisch allen Verbrennungsprozessen, insbesondere bei unvollständiger Verbrennung, entsteht. Das Maximum der Kohlenmonoxidemissionen wurde Mitte der 70er-Jahre erreicht. Seither haben sich die Emissionen auf weniger als ein Drittel reduziert.

Reduktion der Emission auf 1/3 seit 70er-Jahren

Kohlenmonoxid ist – anders als Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Ozon – kein Reizgas. Es verdrängt jedoch den Sauerstoff aus seiner Bindung mit dem roten Blutfarbstoff Hämoglobin und vermindert dadurch die Sauerstoff-Transportkapazität des Blutes. Kohlenmonoxid ist deshalb für den Menschen und die warmblütigen Tiere ein Atemgift.

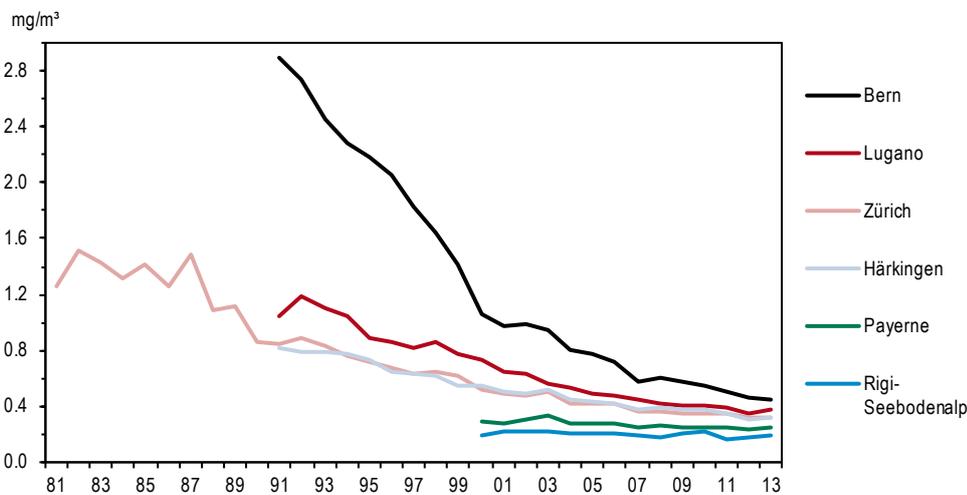
Wirkung

## 8.2 Zeitliche Entwicklung

Hinsichtlich der Belastung durch Kohlenmonoxid lässt sich an allen stark belasteten Stationen eine deutliche Abnahme seit 1990 erkennen (Abb. 36). Die beiden strassen-nahen Stationen in den Stadtzentren (Bern und Lausanne) zeigen die stärkste Abnahme.

Rückgang der Immission um rund 60 % seit 1992

Abb. 36 > Kohlenmonoxid (CO), Jahresmittelwerte 1981–2013



### 8.3 Situation 2013

Die Belastung der Luft durch Kohlenmonoxid bewegt sich heute auf einem tiefen Niveau und nähert sich in den höher gelegenen ländlichen Gebieten der grossräumigen Hintergrundbelastung an. Die Station Bern weist mit einem Jahresmittel von 0,44 mg/m<sup>3</sup> die höchste Belastung (Tab. 16) auf. Die Jahresmittelwerte des autobahnnahen Standorts Härkingen bewegt sich in der gleichen Grössenordnung wie die Werte der Stadtzentrum-Stationen Lugano und Zürich, die nicht direkt an Hauptverkehrsachsen liegen.

Deutlich tiefer sind die Werte an den nicht verkehrsbeeinflussten ländlichen Stationen sowie in den höheren Lagen. Die CO-Konzentrationen auf dem Jungfrauoch sind im Vergleich mit anderen primären Schadstoffen relativ hoch, was einerseits auf die relativ lange Lebensdauer von Kohlenmonoxid (mehrere Wochen) zurückzuführen ist und andererseits auf eine bedeutende grossräumige Hintergrundbelastung hinweist.

Hohe Hintergrundbelastung

Der Grenzwert für die Kohlenmonoxid-Belastung (Tagesmittelwert von 8 mg/m<sup>3</sup>) wird an keiner Station erreicht. Der höchste gemessene Tagesmittelwert betrug in Dübendorf 1,3 mg/m<sup>3</sup>. Die Werte der übrigen Stationen lagen noch tiefer.

Grenzwerte deutlich eingehalten

**Tab. 16 > Kohlenmonoxid (CO), Jahresstatistik 2013**

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert mg/m <sup>3</sup>	95 %-Wert mg/m <sup>3</sup>	max. 24h-Mittelwert mg/m <sup>3</sup>	Anzahl Grenzwert- überschreitungen 24h-Mittelwert
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	0,44	0,9	1,0	0
	Lausanne-César-Roux	0,40	0,7	0,8	0
Städtisch	Lugano-Università	0,37	0,7	0,8	0
	Zürich-Kaserne	0,31	0,6	1,1	0
Vorstädtisch	Dübendorf-Empa	0,32	0,7	1,3	0
Ländlich, Autobahn	Härkingen_A1	0,31	0,6	0,9	0
Ländlich, unterhalb 1000 m	Payerne	0,25	0,5	0,6	0
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	0,19	0,4	0,5	0
Hochgebirge	Jungfrauoch	0,10	0,1	0,2	0
<i>LRV-Immissionsgrenzwert</i>				8,0	1

Abb. 37 > Kohlenmonoxid (CO), Monatsmittelwerte 2013

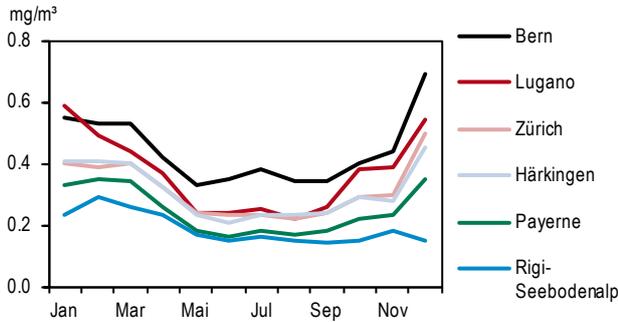
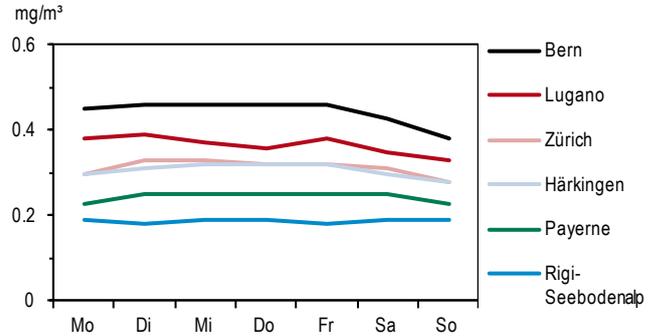


Abb. 38 > Kohlenmonoxid (CO), mittlerer Wochengang 2013



Der Jahresgang der Kohlenmonoxid-Belastung (Abb. 37) ist nur wenig ausgeprägt. Ähnliches gilt für den Wochengang (Abb. 38). Der Rückgang der Kohlenmonoxidbelastung am Wochenende ist nur gering, in Härkingen ist sogar eine leichte Zunahme am Wochenende zu erkennen. Diese Entwicklung läuft parallel zur Zahl der Personenwagen, die in der Nähe der Stationen vorbeifahren. In den Städten nimmt der Personenwagenverkehr am Wochenende eher ab, an Überlandstrassen dagegen zum Teil zu (z. B. Härkingen). Die Emissionen der Lastwagen spielen bei diesem Schadstoff praktisch keine Rolle, da die Emissionsfaktoren von Kohlenmonoxid der Lastwagen deutlich geringer sind als diejenigen der Personenwagen.

Wochengang läuft parallel zum PW-Verkehr

8.4 Bewertung

Die Kohlenmonoxidbelastung in der Schweiz stellt heute kein direktes Problem für die menschliche Gesundheit mehr dar. Die deutliche Reduktion der Emissionen seit Mitte der 70er-Jahre hat dazu geführt, dass selbst in innerstädtischen Strassenschluchten, wo die CO-Immissionen wegen des stockenden Verkehrs und der schlechten Durchlüftung am höchsten sind, die Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung nicht überschritten werden.

CO-Belastung heute kein gesundheitliches Problem mehr

Kohlenmonoxid ist ein langlebiges Spurengas und trägt als Vorläufersubstanz bei zur Bildung von Ozon in der oberen Troposphäre. Dieses grossräumige ‚Hintergrund‘-Ozon zeigt seit Jahren einen Anstieg.

CO ist Ozonvorläufer

## 9 > Staubniederschlag

Die Gesamtmenge des Staubniederschlags, bestimmt nach der Bergerhoff-Methode, spielt heute in der Luftreinheit eine untergeordnete Rolle. Die gemessenen Staubdepositionen haben in den letzten 20 Jahren abgenommen (Abb. 39).

Staubniederschlag heute nicht mehr von grosser Bedeutung

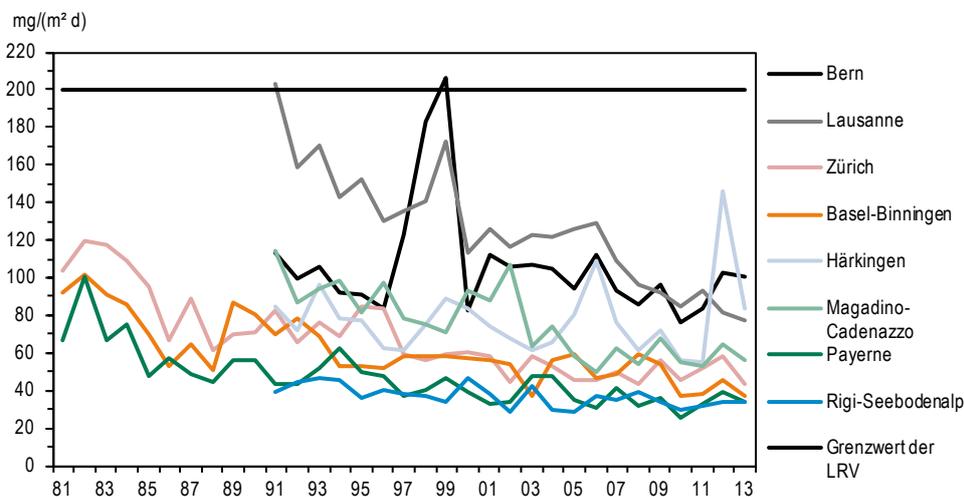
Die höchsten Staubniederschlagswerte werden an den verkehrsexponierten Standorten gemessen (Tab. 17, Abb. 39). Der höchste gemessene Jahresmittelwert (Bern-Bollwerk: 100 mg/(m<sup>2</sup> d)) liegt jedoch deutlich unterhalb des Grenzwertes. Auffallend ist die relativ hohe Belastung der Station Magadino-Cadenazzo.

Grenzwerte eingehalten

Tab. 17 > Staubniederschlag, Jahresstatistik 2013

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert mg/(m <sup>2</sup> d)
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	100
	Lausanne-César-Roux	78
Städtisch	Zürich-Kaserne	44
Vorstädtisch	Basel-Binningen	37
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	84
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	56
	Payerne	34
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	34
<i>LRV-Immissionsgrenzwert</i>		200

Abb. 39 > Staubniederschlag, Jahresmittelwerte 1981–2013



# 10 > Schwermetalle im Feinstaub und im Staubniederschlag

Abgesehen von einigen Schwermetall-Verbindungen und dem flüchtigen Element Quecksilber treten Schwermetalle in der Atmosphäre überwiegend an feine, luftgetragene Partikel gebunden auf. Durch Depositionsvorgänge werden diese Partikel – je nach Korngrösse – in unmittelbarer Umgebung der Emissionsquellen oder über weite Gebiete verteilt in Böden und Oberflächengewässer eingetragen.

In erhöhten Konzentrationen stellen die Schwermetalle ein Risiko für Mensch und Umwelt dar; viele Schwermetalle sind toxisch, einige wirken kanzerogen (z. B. Cadmium). Schwermetalle erweisen sich in mehrfacher Hinsicht als umweltgefährdend: Schwermetalle sind nicht abbaubar; Schwermetalle werden über mineralische und biologische Prozesse angereichert und in der Umwelt gespeichert; Schwermetalle können direkt oder über die Nahrungskette aufgenommen werden und akute oder chronische Schäden hervorrufen.

Wirkungen von erhöhten Schwermetallwerten

## 10.1 Blei

Die grössten Emissionen von Blei stammten früher aus dem Motorfahrzeugverkehr. Seit den 70er-Jahren haben die Blei-Emissionen dank der Senkung des Bleigehalts im Super- und Normalbenzin stark abgenommen. Mit der Einführung unverbleiten Normalbensins seit 1985 wurde eine weitere entscheidende Verminderung der Umweltbelastung durch Blei eingeleitet. Die Blei-Emissionen betragen heute nur noch knapp 5 % der Emissionen zu Beginn der 70er-Jahre.

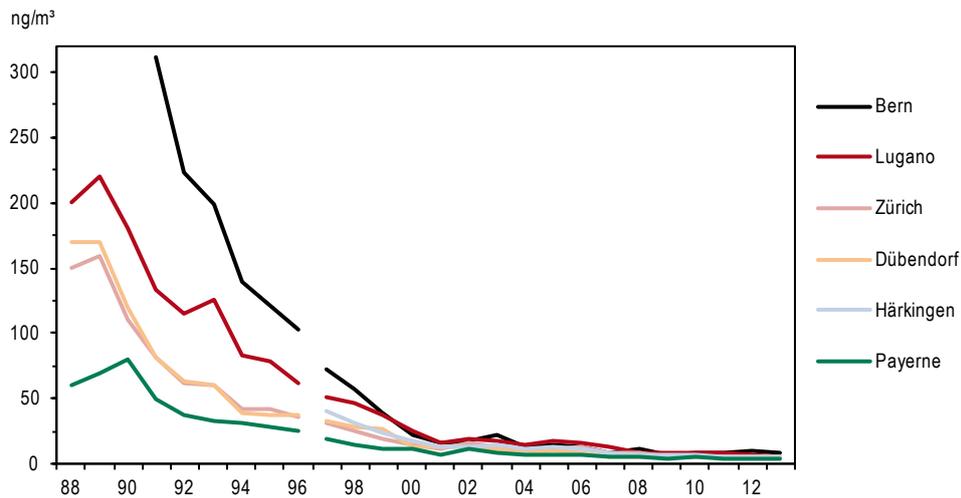
Emissionen um den Faktor 20 zurückgegangen

Die Konzentrationen von Blei im Feinstaub sind seit 1988 an den meisten Standorten sehr stark zurückgegangen (Abb. 40). Dasselbe gilt für die Bleidepositionen im Staubniederschlag (Abb. 41). Die Bleibelastung hat seit 1991 im Mittel um rund 90 % abgenommen. Die stark erhöhten Bleidepositionen der Jahre 1997–99 in Bern sind mit grosser Wahrscheinlichkeit auf einen sehr lokalen Effekt beim provisorischen Messstandort zurückzuführen.

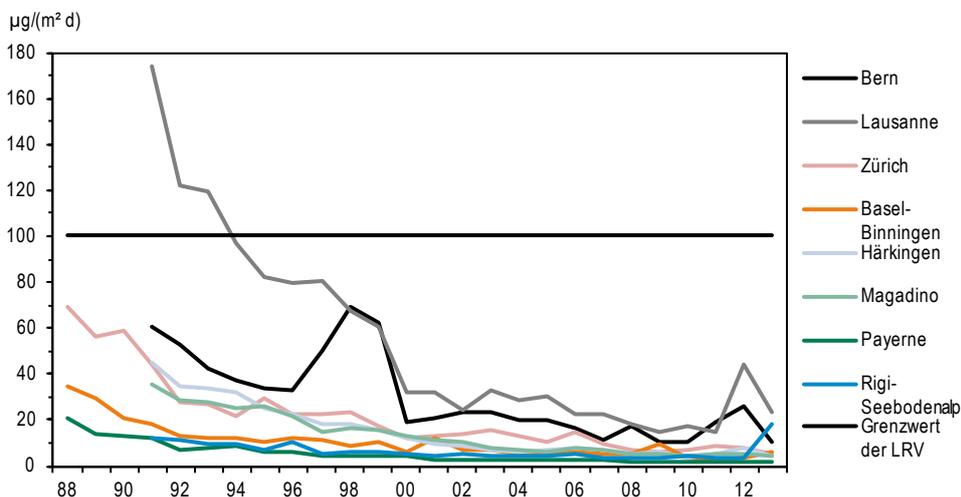
Massiver Rückgang der Bleibelastung

Seit dem Ersatz der TSP- durch PM10-Grenzwerte am 1. März 1998 werden auch die Schwermetalle im PM10 bestimmt. In der revidierten Luftreinhalte-Verordnung ist der Grenzwert für Blei im PM10 mit  $500 \text{ ng/m}^3$  als Jahresmittelwert festgelegt worden. Vergleichsmessungen zwischen TSP und PM10 zeigen, dass das Blei praktisch vollständig in der PM10-Fraktion des Schwebstaubs enthalten ist. Die bisherigen Bleimessungen im TSP (Abb. 40) können somit mit einer geringfügigen Korrektur auch als Bleimessungen im PM10 interpretiert werden.

**Abb. 40** > Blei im Feinstaub (PM10, vor 1997 TSP), Jahresmittelwerte 1988–2013  
(Grenzwert: 500 ng/m<sup>3</sup>)



**Abb. 41** > Blei im Staubbiederschlag, Jahresmittelwerte 1988–2013



Wie aus Tab. 18 ersichtlich ist, wird der Grenzwert von 500 ng/m<sup>3</sup> für die Bleikonzentration im Feinstaub heute an allen Stationen weit unterschritten. Die Bleideposition im Staubbiederschlag (Tab. 19, Abb. 41) ist an den städtischen verkehrsexponierten Stationen am höchsten. Die maximal gemessenen Werte in Bern und Lausanne betragen 10 resp. 23 µg/(m<sup>2</sup> d). Sie liegen deutlich unter dem Grenzwert von 100 µg/(m<sup>2</sup> d). An den übrigen Standorten des NABEL sind die Werte noch tiefer (2–6 µg/(m<sup>2</sup> d)).

Grenzwerte weit unterschritten

Tab. 18 &gt; Schwermetalle im Feinstaub (PM10), Jahresstatistik 2013

Standorttyp	Station	Jahresmittelwerte				
		Blei ng/m <sup>3</sup>	Cadmium ng/m <sup>3</sup>	Arsen ng/m <sup>3</sup>	Nickel ng/m <sup>3</sup>	Kupfer ng/m <sup>3</sup>
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	7,6	0,11	0,53	2,20	66,7
	Lausanne-César-Roux	4,9	0,38	0,43	0,90	33,3
Städtisch	Lugano-Universität	5,9	0,12	0,35	1,10	13,3
	Zürich-Kaserne	5,4	0,09	0,38	1,00	23,5
Vorstädtisch	Basel-Binningen	5,3	0,12	0,40	0,90	8,1
	Dübendorf_Empa	4,7	0,09	0,38	0,70	21,0
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	5,8	0,10	0,41	1,00	19,4
	Sion-Aéroport-A9	6,0	0,07	0,35	1,20	26,4
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	4,9	0,12	0,48	1,10	10,8
	Payerne	3,9	0,07	0,74	0,50	4,4
	Tänikon	4,7	0,08	0,30	0,50	6,1
Ländlich, oberhalb 1000 m	Chaumont	2,4	0,05	0,16	<0,5*	1,8
	Rigi-Seebodenalp	3,1	<0,05**	0,16	<0,5*	1,7
Hochgebirge	Jungfrauojoch	<0,5*	<0,05**	<0,1***	<0,5*	<0,5*
<i>LRV-Immissionsgrenzwert</i>		500	1,5			

\* Bestimmungsgrenze: 0,5 ng/m<sup>3</sup>\*\* Bestimmungsgrenze: 0,05 ng/m<sup>3</sup>\*\*\* Bestimmungsgrenze: 0,1 ng/m<sup>3</sup>

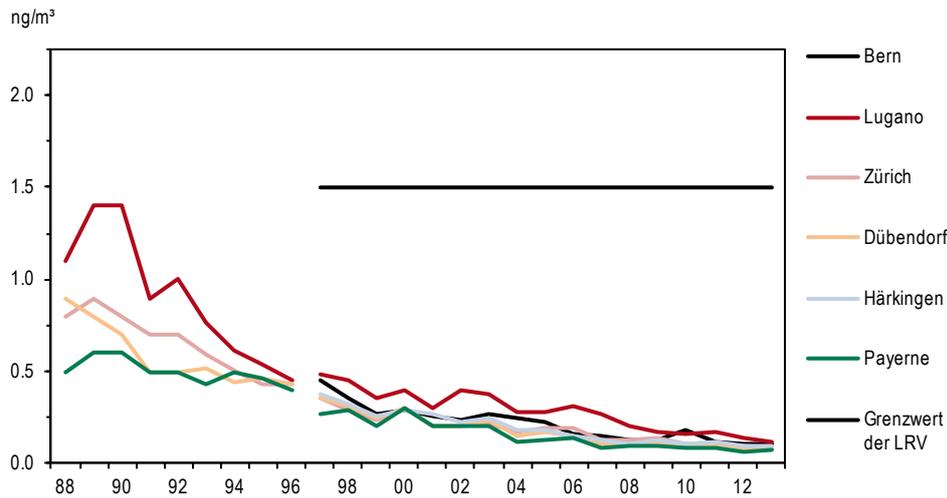
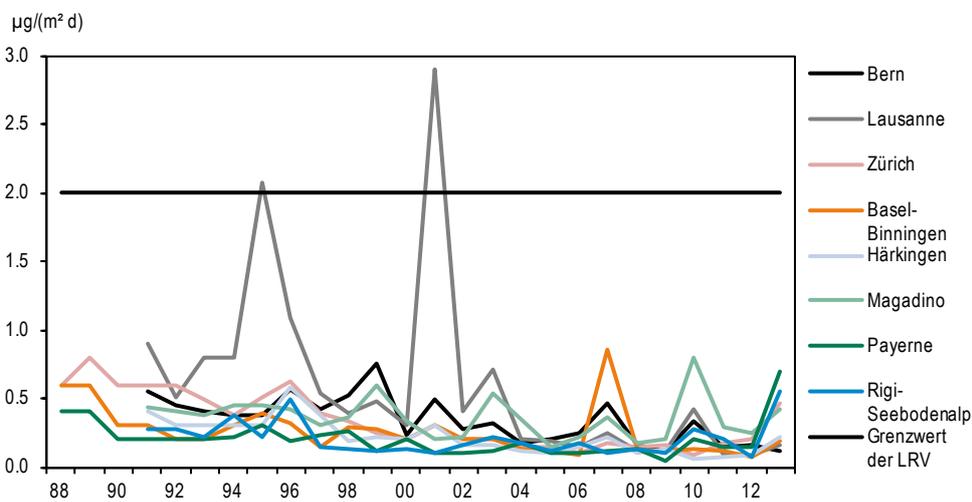
## 10.2 Cadmium

Cadmium wird durch Kehrlichtverbrennungsanlagen, metallverarbeitende Betriebe (Verschrottung, zinkverarbeitende Anlagen), bei der Verbrennung von Kohle sowie von Betrieben zur Verarbeitung von Cadmiumhaltigen Produkten (Farbpigmente, Stabilisatoren, Akkumulatoren, Legierungen, Korrosionsschutz etc.) emittiert. Seit Anfang der siebziger Jahre nahmen die Emissionen dank Rauchgasreinigungsverfahren und der Elimination von Cadmium in vielen Produkten ab. Die Cadmium-Emissionen betragen heute noch zirka ein Drittel der Maximalmissionen von 1970.

Quellen von Cadmium

Die Cadmiumbelastung im Feinstaub (Abb. 42) ist seit 1991 um rund 80 % zurückgegangen. Die Cadmiumbelastung im Staubbiederschlag (Abb. 43) ist ebenfalls um 40 % bis 80 % zurückgegangen. Die sehr hohen Cadmiumdepositionen in Lausanne in den Jahren 1995 und 2001 dürfen als Einzelereignisse, wahrscheinlich verursacht durch lokale Sanierungsarbeiten, erklärt werden.

Cadmiumbelastung reduziert

**Abb. 42** > Cadmium im Feinstaub (PM10, vor 1997 TSP), Jahresmittelwerte 1988–2013**Abb. 43** > Cadmium im Staubbiederschlag, Jahresmittelwerte 1988–2013

Wegen des Wechsels von der TSP- zur PM10-Messung ist wie beim Blei auch beim Cadmium eine Grenzwertanpassung vorgenommen worden. In der revidierten Luftreinhalte-Verordnung ist der Grenzwert für Cadmium PM10 mit 1,5 ng/m<sup>3</sup> als Jahresmittelwert festgelegt worden. Aus Vergleichsmessungen zwischen TSP und PM10 kann abgeleitet werden, dass Cadmium vollständig in der PM10-Fraktion des Schwebstaubs enthalten ist. Die bisherigen Messungen im TSP (Abb. 42) können somit auch als Cadmiummessungen im PM10 interpretiert werden.

Die Zusammenstellung in der Tab. 18 zeigt, dass der Grenzwert für Cadmium im Feinstaub an allen Stationen deutlich eingehalten wird. Die Konzentrationen liegen an allen Stationen unter  $0,4 \text{ ng/m}^3$ . Der Grenzwert für Cadmium im Staubbiederschlag (Tab. 19) ist ebenfalls an allen Stationen eingehalten.

Grenzwerte meist eingehalten

**Tab. 19 > Schwermetalle im Staubbiederschlag, Jahresstatistik 2013**

Standorttyp	Station	Jahresmittelwerte						
		Blei $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{ d})$	Cadmium $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{ d})$	Zink $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{ d})$	Thallium $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{ d})$	Arsen $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{ d})$	Nickel $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{ d})$	Kupfer $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{ d})$
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	10,3	0,12	165,8	0,015	0,65	6,18	90,6
	Lausanne-César-Roux	23,3	0,16	150,1	0,015	0,49	3,63	76,9
Städtisch	Zürich-Kaserne	4,9	0,47	44,4	0,014	0,38	2,17	30,4
Vorstädtisch	Basel-Binningen	5,9	0,19	28,7	0,012	0,28	1,08	17,3
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	3,9	0,22	63,3	0,013	0,61	2,22	18,1
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	4,6	0,42	22,2	0,025	0,52	2,63	8,0
	Payerne	1,6	0,69	13,3	0,009	0,19	0,85	3,7
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	3,5	0,55	17,6	0,017	0,29	1,27	4,7
LRV-Immissionsgrenzwert		100	2	400	2			

### 10.3 Zink

Zink ist ein für Pflanzen, Tiere und Menschen essentielles Spurenelement. Bei hohen Gehalten in Böden wirkt Zink auf Pflanzen und Mikroorganismen jedoch toxisch.

Zink ist ein Schwermetall, das vor allem in der industriellen Produktion verwendet wird. Daneben wird Zink auch durch das Verfeuern fossiler Brennstoffe, durch Kehrichtverbrennungsanlagen und durch den Motorfahrzeugverkehr (Reifen- und Strassenabrieb) in die Umwelt emittiert. Emissionsmindernde Massnahmen bewirkten seit Anfang der siebziger Jahre eine deutliche Abnahme der industriellen Emissionen. Die Bedeutung der verkehrsbedingten Zinkemissionen hat demgegenüber zugenommen.

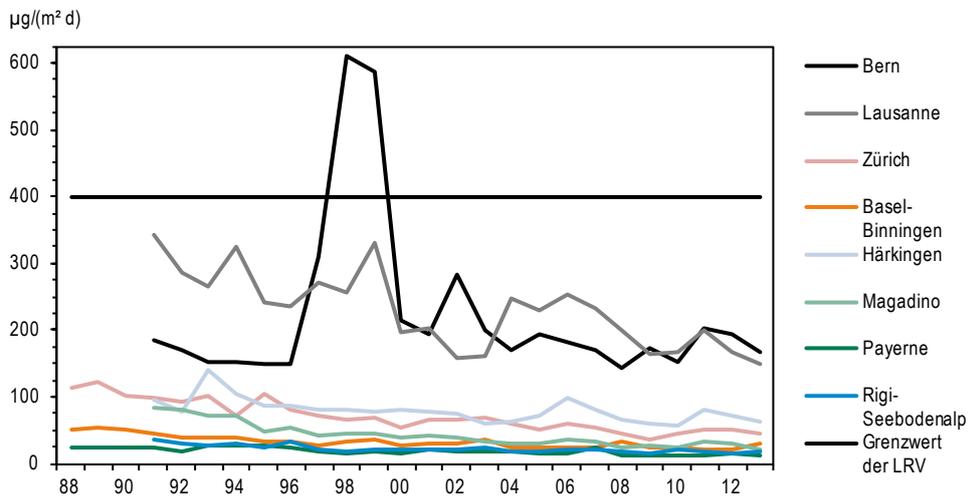
Quellen von Zink

Die Zinkdepositionen sind seit 1991 mit Ausnahme von Bern und Härkingen um 40–60 % zurückgegangen. Die höchsten Zinkdepositionen (Jahresmittelwerte) wurden im NABEL 2013 in Bern und Lausanne gemessen (Tab. 19 und Abb. 44). Der Reifen- und Strassenabrieb dürfte an diesen beiden Strassenstationen eine wesentliche Ursache der Zinkdepositionen sein.

Abnahme der Zinkdeposition um  
40–60 % seit 1991

Die stark erhöhten Zinkdepositionen der Jahre 1997–99 in Bern sind mit grosser Wahrscheinlichkeit auf einen sehr lokalen Effekt (Spritzwasser von einem verzinkten Eisenländer) beim provisorischen Messstandort zurückzuführen.

Abb. 44 &gt; Zink im Staubbiederschlag, Jahresmittelwerte 1988–2013



#### 10.4 Thallium

Thalliumemissionen treten insbesondere im Zusammenhang mit der Zementherstellung auf. Aufgrund der hohen Persistenz von Thallium im Boden können Pflanzen sowie Mensch und Tier über die Nahrungskette bereits durch relativ niedrige Thalliumbelastungen geschädigt werden. Die an NABEL Stationen gemessenen Thalliumwerte lagen mit maximal  $0,025 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{ d})$  weit unter dem Grenzwert von  $2 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{ d})$  (siehe Tab. 19).

Thalliumimmissionen kein Problem

#### 10.5 Bewertung

Die Schwermetallbelastung unserer Umwelt durch Schadstoffeintrag aus der Luft ist in den letzten Jahren deutlich zurückgegangen. Dies trifft insbesondere für Blei und Cadmium zu. In der Regel liegen die gemessenen Schwermetallbelastungen weit unter den Grenzwerten der Luftreinhalte-Verordnung. Vereinzelt erhöhte Werte sind durch Einzelereignisse verursacht, wie beim Cadmium in Lausanne (1995 und 2001).

In der Regel weit unter den Grenzwerten

#### 10.6 Weitere Metalle

In der Europäischen Union sind in der Richtlinie 2004/107/EG Zielwerte für den Gehalt an Arsen und Nickel im PM<sub>10</sub> festgelegt. An den NABEL-Standorten wurden 2013 maximale Arsen-Konzentrationen von  $0,74 \text{ ng}/\text{m}^3$  und maximale Nickel-Konzentrationen von  $2,2 \text{ ng}/\text{m}^3$  gemessen. Diese liegen deutlich unter den in der EU geltenden Zielwerten von  $6 \text{ ng}/\text{m}^3$  für Arsen und  $20 \text{ ng}/\text{m}^3$  für Nickel. Die Belastung durch Arsen und Nickel ist deshalb in der Schweiz generell als gering einzustufen.

# 11 > Regen-Inhaltsstoffe

## 11.1 Entstehung und Charakterisierung

Die in die Atmosphäre emittierten primären Schadstoffe wie auch die durch Umwandlung in der Atmosphäre entstandenen sekundären Schadstoffe werden durch verschiedene Eliminationsprozesse wieder aus der Atmosphäre entfernt. Ein wichtiger Eliminationsprozess ist die nasse Deposition. Schadstoffe gelangen jedoch auch durch trockene Deposition (Sedimentation von Partikeln, Deposition von Gasen) und Interzeption (Trägheitsabscheidung von Nebeltröpfchen und Partikeln an Pflanzenoberflächen, auch «okkulte Deposition» genannt) zum Boden. Die relative Bedeutung der verschiedenen Depositionsprozesse ist von vielen Faktoren abhängig, von der betrachteten Komponente, von meteorologischen, atmosphärenchemischen und topographischen Faktoren sowie der Oberflächenbeschaffenheit (z. B. Pflanzenbewuchs).

Nasse Deposition

Die Analyse des Regenwassers gibt Aufschluss über einen Teil des Eintrags an Schadstoffen, die von der Atmosphäre in den Boden und in die Gewässer gelangen. Dabei spielen einerseits der direkte und indirekte Säureeintrag für die Versauerung und andererseits der Stickstoffeintrag für die Eutrophierung empfindlicher Ökosysteme eine besonders wichtige Rolle.

Die im NABEL durchgeführten Messungen sind Teil des europäischen EMEP-Programms (European Monitoring and Evaluation Programme unter dem UNECE Übereinkommen CLRTAP). Es werden der pH-Wert, die Leitfähigkeit (LEIT) und verschiedene Ionen in Tages- oder Wochensammelproben bestimmt.

Das Sulfation ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) ist das Anion der Schwefelsäure und stammt vor allem aus der Umwandlung des Schwefeldioxids. Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) ist das Anion der Salpetersäure und wird aus den Stickoxiden gebildet. Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) ist ein Folgeprodukt der Ammoniakemissionen und Chlorid ( $\text{Cl}^-$ ) stammt zur Hauptsache aus der Emission von Salzsäure und von der Streusalzsuspension. Diese Komponenten sind zu einem wesentlichen Teil anthropogenen Ursprungs. Chlorid und in geringem Masse Sulfat gelangen zusätzlich über die Gischt des Meerwassers in die Atmosphäre.

Quellen der gemessenen Ionen

Zur Vervollständigung der Ionenbilanz werden die Kationen des Natriums ( $\text{Na}^+$ ), des Kaliums ( $\text{K}^+$ ), des Magnesiums ( $\text{Mg}^{2+}$ ) und des Kalziums ( $\text{Ca}^{2+}$ ) bestimmt. Als Hauptquelle für Ca und Mg gelten in erster Linie Bodenpartikel. Diese Komponenten sind somit zu einem grossen Teil natürlichen Ursprungs. Als Natriumquellen kommen hauptsächlich die Streusalzsuspension, der Boden und die Gischt von Meerwasser in Frage. Kalium stammt zu einem grossen Teil aus der Verbrennung von Biomasse (v. a. Holz).

Der pH-Wert ist ein Mass für die Wasserstoffionen-Konzentration ( $H^+$ ) und gibt an, wie sauer der Regen ist. Je tiefer der Wert ist, desto saurer ist der Regen: Ein pH-Wert von 4 entspricht einer  $H^+$ -Konzentration von 0,1 mg/l, ein pH-Wert von 5 einer  $H^+$ -Konzentration von 0,01 mg/l. Der pH-Wert ergibt sich durch das Zusammenwirken der vom Regen aufgenommenen säurebildenden und basischen Verbindungen.

pH-Wert

## 11.2 Zeitliche Entwicklung

In den Abb. 45 bis Abb. 50 sind die Entwicklungen der Konzentrationen der wichtigsten Komponenten dargestellt. Bei der Interpretation ist zu berücksichtigen, dass die beobachteten Konzentrationen im Regenwasser nicht nur durch lokale, sondern auch durch grossräumige Emissionen bestimmt werden. Die Entwicklung der Regeninhaltsstoffe muss deshalb mit den Emissionen der jeweiligen Ausgangssubstanzen im gesamten mitteleuropäischen Raum in Verbindung gebracht werden.

Die mittleren (mit der Regenmenge gewichteten) Konzentrationen der Regeninhaltsstoffe sowie die Frachten, die stark von der Niederschlagsmenge abhängig sind, variieren von Jahr zu Jahr deutlich. Eindeutige Aussagen über Trends in der Zusammensetzung der nassen Deposition lassen sich nur durch langjährige Messreihen gewinnen.

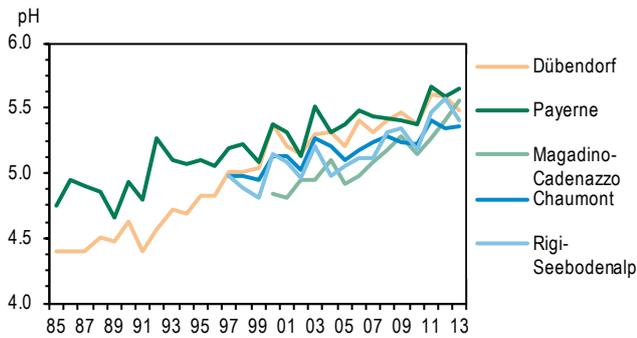
Der pH-Wert des Regenwassers (Abb. 45) ist seit 1988 stark angestiegen, was darauf hinweist, dass die starken Säuren in der Atmosphäre abgenommen haben. Dies ist vor allem auf die Abnahme der Konzentration von Schwefelsäure und in geringerem Ausmass von Salzsäure zurückzuführen. Ein Rückgang der Sulfatkonzentrationen im Regenwasser wurde sowohl in der Schweiz (Abb. 46) als auch gesamteuropäisch beobachtet und ist die Folge der im europäischen Raum getroffenen Massnahmen zur Verminderung des Schwefeldioxidausstosses. Der Nitratgehalt (Abb. 47) des Regenwassers zeigte bis Ende der 80er-Jahre keine oder eine leicht zunehmende Tendenz, danach eine leicht abnehmende. Wenig verändert haben sich der Ammonium- und Natriumgehalt (Abb. 49 und Abb. 50) wie auch die nicht dargestellten Gehalte an Kalzium, Magnesium und Kalium.

Säureeintrag hat abgenommen

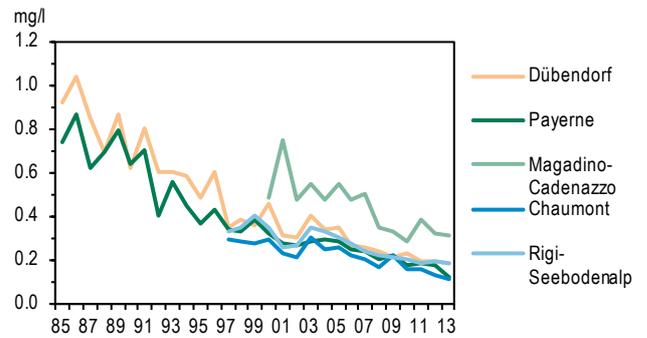
Die Niederschlagsmenge hat in den letzten 25 Jahren auf der Alpennordseite zugenommen (Abb. 51). Die Sulfatfracht hat in den letzten 25 Jahren abgenommen (Abb. 52), während die Frachten der anderen Ionen, wie zum Beispiel des Nitrats (Abb. 53) oder des Ammoniums (Abb. 54), praktisch unverändert geblieben sind.

Ionenfrachten unverändert

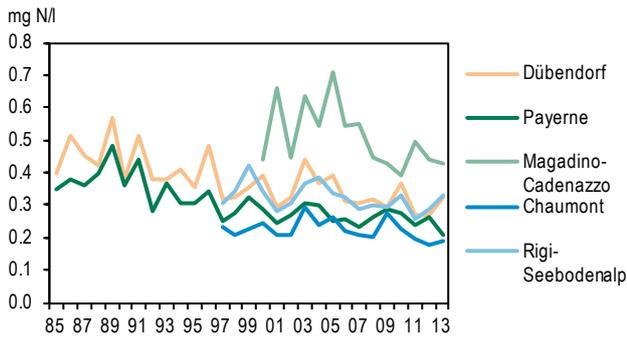
**Abb. 45** > pH-Wert des Regenwassers, Jahresmittelwerte 1985–2013



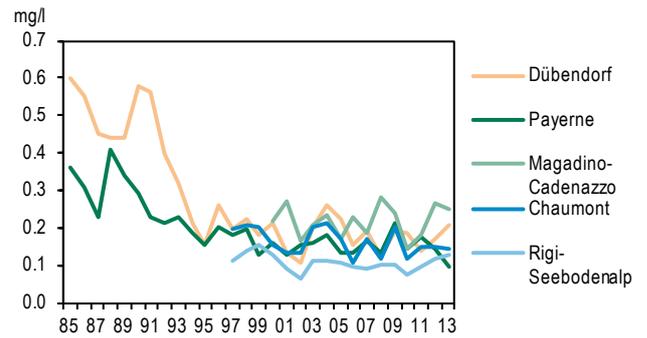
**Abb. 46** > Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ -S)-Konzentration im Regenwasser, Jahresmittelwerte 1985–2013



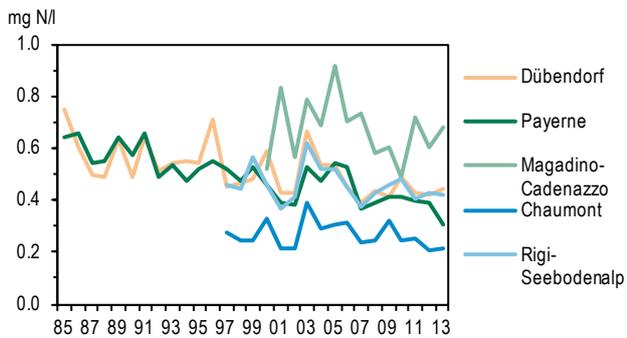
**Abb. 47** > Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ -N)-Konzentration im Regenwasser, Jahresmittelwerte 1985–2013



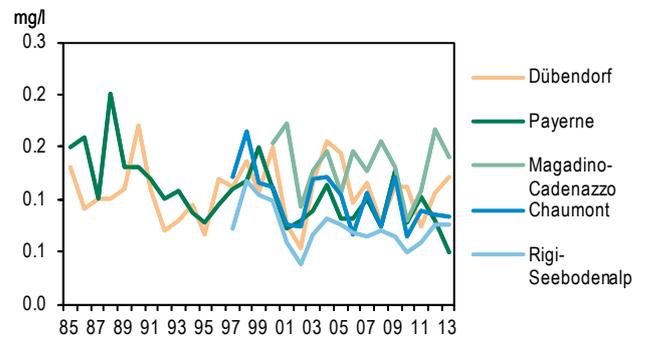
**Abb. 48** > Chlorid ( $\text{Cl}^-$ )-Konzentration im Regenwasser, Jahresmittelwerte 1985–2013



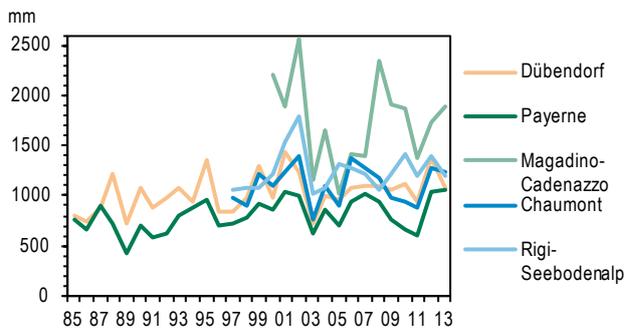
**Abb. 49** > Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ -N)-Konzentration im Regenwasser, Jahresmittelwerte 1985–2013



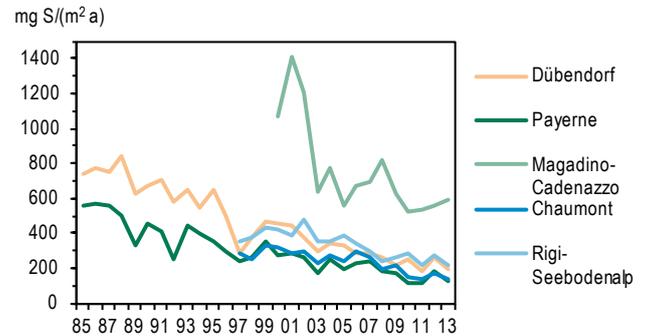
**Abb. 50** > Natrium ( $\text{Na}^+$ )-Konzentration im Regenwasser, Jahresmittelwerte 1985–2013



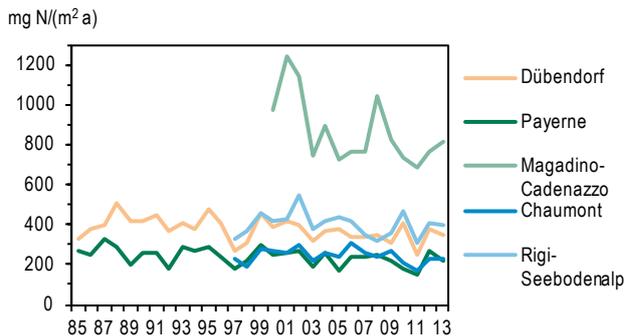
**Abb. 51 > Analyisierte Niederschlagsmengen:  
Jahressummen 1985–2013**



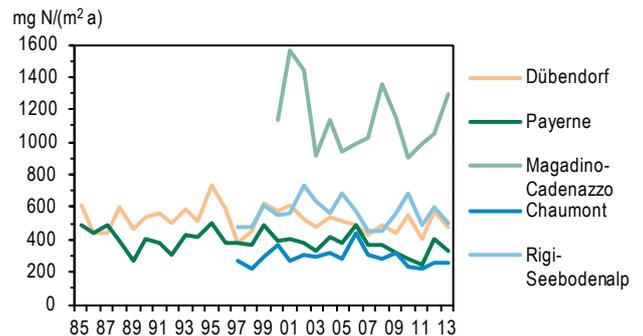
**Abb. 52 > Sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-S)-Fracht,  
Jahresfrachten 1985–2013**



**Abb. 53 > Nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)-Fracht,  
Jahresfrachten 1985–2013**



**Abb. 54 > Ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)-Fracht,  
Jahresfrachten 1985–2013**



### 11.3 Situation 2013

Die Jahresstatistik der Regeninhaltsstoffe ist in den Tab. 20 und Tab. 21 zusammengestellt. Die Jahresmittelwerte der Konzentrationen (Tab. 20) werden grundsätzlich mengengewichtet berechnet. Als Gewichtungsfaktor dient die Regenmenge der einzelnen Ereignisse. Die Mittelbildung des pH-Werts erfolgt über die mengengewichtete Mittelung der H<sup>+</sup>-Konzentrationen (pH = -log [H<sup>+</sup>]).

Die Jahresmittel der Konzentrationen sind insbesondere für Trendanalysen heranzuziehen. Für die Umwelt sind demgegenüber hauptsächlich die Jahresfrachten (Tab. 21) von Bedeutung. Sie sind von der Regenmenge abhängig. Gebiete mit grösserem Niederschlag erhalten bei gleicher Konzentration der Regeninhaltsstoffe grössere Frachten. Bei der Berechnung der Jahresfrachten ist zu beachten, dass für die Berechnung der Frachten alle Tagesproben, soweit sie vom wet-only Regensammler erfasst wurden und eine genügende Menge für die Analyse ergaben, berücksichtigt sind.

**Jahresfrachten sind für den  
Schadstoffeintrag massgebend**

Bezüglich der Ionenbilanzen ist zu beachten, dass die analysierten Anionen und Kationen eine Auswahl der hauptsächlichsten Bestandteile des Regens darstellen. Die routinemässig bei jeder einzelnen Tagesprobe durchgeführte Berechnung der Ionenbilanz ergibt in der Regel bei pH-Werten <5 eine gute Übereinstimmung der Anionen und Kationen. Bei den in jüngerer Zeit immer häufiger auftretenden Regenproben mit hohen pH-Werten >5 wird meist ein mit steigendem pH höherer Kationenüberschuss festgestellt, was auf ein oder mehrere nicht analysierte (basische) Anionen hindeutet. Die Zuverlässigkeit der Analyse der quantifizierten Ionen ist durch regelmässige Ringversuche hinreichend gesichert. Neben Bikarbonat können Komponenten mineralischer Herkunft eine Rolle spielen. In Payerne sind solche Einträge leicht vorstellbar, werden doch in der unmittelbaren Umgebung des Messgeländes weite Ackerflächen bewirtschaftet. Phosphat als nicht quantifiziertes Anion scheidet aus, da es bei evtl. Vorhandensein im Ionenchromatogramm erkannt würde.

Um die räumlichen Unterschiede der Nassdeposition erfassen zu können, werden an den NABEL-Stationen Chaumont, Dübendorf, Payerne, Rigi-Seebodenalp und Magadino-Cadenazzo die Regeninhaltsstoffe bestimmt. Alle Komponenten zeigen mehr oder weniger deutliche Unterschiede zwischen den Stationen (Tab. 20). Es ist jedoch kein einheitliches Muster zu erkennen. Die Station Magadino-Cadenazzo weist die höchsten Werte auf von Nitrat, Sulfat und Ammonium.

Ionenbilanz  
Räumlicher Unterschied nicht  
sehr ausgeprägt

**Tab. 20 > Konzentrationen der Regeninhaltsstoffe, Jahresstatistik 2013**

Station	Jahresmittelwerte									
	pH	LEIT µS/cm	Cl mg/l	NO <sub>3</sub> mg N/l	SO <sub>4</sub> mg S/l	Na mg/l	NH <sub>4</sub> mg N/l	K mg/l	Mg mg/l	Ca mg/l
Dübendorf-Empa	5,48	8,72	0,21	0,32	0,18	0,12	0,45	0,04	0,02	0,26
Magadino-Cadenazzo	5,56	12,01	0,25	0,43	0,31	0,14	0,68	0,04	0,04	0,43
Payerne	5,65	5,89	0,10	0,21	0,12	0,05	0,31	0,03	0,02	0,20
Chaumont	5,36	5,92	0,14	0,19	0,11	0,08	0,21	0,03	0,02	0,17
Rigi-Seebodenalp	5,41	8,22	0,13	0,33	0,18	0,08	0,42	0,04	0,02	0,21

**Tab. 21 > Jahresfrachten der Regeninhaltsstoffe, Jahresstatistik 2013**

Station	Jahresmittelwerte									
	Niederschlag mm	Cl mg/(m <sup>2</sup> a)	NO <sub>3</sub> mg N/(m <sup>2</sup> a)	SO <sub>4</sub> mg S/(m <sup>2</sup> a)	Na mg/(m <sup>2</sup> a)	NH <sub>4</sub> mg N/(m <sup>2</sup> a)	K mg/(m <sup>2</sup> a)	Mg mg/(m <sup>2</sup> a)	Ca mg/(m <sup>2</sup> a)	
Dübendorf-Empa	1072	223	345	195	131	478	42	24	279	
Magadino-Cadenazzo	1892	467	810	592	265	1290	81	83	817	
Payerne	1064	101	221	129	53	326	34	17	213	
Chaumont	1237	176	233	140	103	262	40	20	212	
Rigi-Seebodenalp	1206	151	398	215	90	507	47	21	248	

## 11.4 Bewertung

Der Eintrag von Luftschadstoffen aus der Atmosphäre in den Boden ist vor allem für empfindliche Ökosysteme von grosser Bedeutung. Der gesamte Eintrag umfasst ausser der nassen auch die trockene und die okkulte Deposition, die vor allem in Wäldern einen wichtigen Beitrag liefern kann. Die in diesem Kapitel beschriebenen Frachten der Regeninhaltsstoffe stellen somit nur einen Teil des gesamten Schadstoffeintrags dar. Obwohl für die nasse Deposition der grossräumige Transport von Schadstoffen eine beträchtliche Rolle spielt, zeigt sich im langjährigen Vergleich der beiden Stationen Dübendorf und Payerne, dass der Vorstadtstandort höhere  $\text{NO}_3^-$  und  $\text{NH}_4^+$ -Konzentrationen aufweist als der ländliche Standort. Gesamteuropäisch gesehen gehören diese Stationen zu den mittelstark belasteten.

Eine Bewertung der Schadstoffeinträge aus der Luft erfolgt über das Konzept der kritischen Belastungsgrenzen (critical load). Es wurde im Rahmen der Arbeiten für die Genfer Konvention der UNECE über die weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung eingeführt. Die kritischen Belastungsgrenzen wurden für verschiedene Ökosysteme definiert. Sie sind nicht nur vom Typ des Ökosystems abhängig, sondern von vielen weiteren Faktoren wie z. B. der Beschaffenheit des Bodens. Kritische Belastungsgrenzen wurden für den Säure-, Schwefel- und Stickstoffeintrag definiert. 1989 wurde ein gesamteuropäisches Kartierungsprogramm eingeleitet und laufend ergänzt, das die aktuellen Einträge mit den kritischen Einträgen vergleicht. Als Resultat ergibt sich, dass in der Schweiz die kritischen Belastungsgrenzen des Schadstoffeintrags in empfindliche Ökosysteme (z. B. Hochmoore, Wälder) insbesondere bei den Stickstoffeinträgen nach wie vor und zum Teil deutlich überschritten sind. Dasselbe gilt für weite Teile Europas.

Dies bedeutet insbesondere, dass es in Europa noch grosser Anstrengungen zur Reduktion der Emissionen von Stickstoff- und Schwefelverbindungen bedarf. Den Rahmen dafür bilden die internationalen Protokolle der UNECE-Konvention über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung. 1999 wurde in Göteborg das neueste Protokoll betreffend die Verringerung von Versauerung, Eutrophierung und bodennahem Ozon unterzeichnet. Zu den Unterzeichnerstaaten gehören neben der Schweiz die meisten EU-Mitgliedsstaaten sowie die USA und Kanada. Die Schweiz hat – ebenso wie die Mehrheit der 24 weiteren Unterzeichnerstaaten – die im Göteborg-Protokoll für 2010 definierten Ziele erreicht. Weitere Emissionsverringerungen sind aber nötig, da die Emissionen dieser Schadstoffe nach wie vor zu hoch sind. Aus diesem Grund haben die Unterzeichnerstaaten eine Revision des Göteborg-Protokolls beschlossen. Die Revision beinhaltet nationale Emissionsreduktionsziele für 2020 sowie verschärfte Grenzwerte für Schadstoffemissionen aus Feuerungsanlagen (Heizungen und industrielle Anlagen), für Emissionen von Lösungsmitteln, für Abgase von Motorfahrzeugen und Maschinen sowie für Ammoniakemissionen, die bei der Ausbringung und Lagerung von Gülle sowie bei der Tierhaltung in der Landwirtschaft entstehen.

Nasse Deposition als Teil des gesamten Eintrages

Kritische Belastungsgrenzen für die Gesamtdeposition

Reduktionsziele des Göteborg Protokolls

# 12 > Gasförmige und partikuläre Stickstoffverbindungen

## 12.1 Summenmessung von Stickstoffkomponenten

Im Rahmen des Programms EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) werden im NABEL seit April 1993 gasförmige und partikuläre Stickstoffkomponenten (N-Komponenten) gemessen. Die Messung umfasst die Summe von gasförmigem Ammoniak und partikelförmigem Ammonium ( $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ ) und die Summe von gasförmiger Salpetersäure und partikelförmigem Nitrat ( $\text{HNO}_3 + \text{NO}_3^-$ ). Die Messmethode wird durch das EMEP vorgegeben. Auf alkalisch resp. sauer imprägnierten Filtern wird je eine Tagesprobe erfasst. Die Messung erfolgte zwischen 1993 und 1999 in Payerne. Danach wurde sie zur Station Rigi-Seebodenalp verlegt, um dem Wunsch des EMEP nach einer Hintergrundstation besser gerecht zu werden. Seit März 2004 wird auch wieder an der Station Payerne gemessen. Die Messungen werden für die gesamteuropäischen Modellrechnungen zur Bestimmung des Stickstoffeintrags in Ökosysteme verwendet. Die gemessenen N-Komponenten sind für die Berechnung der trockenen Deposition von Stickstoff wichtig.

Beitrag zum Stickstoffeintrag

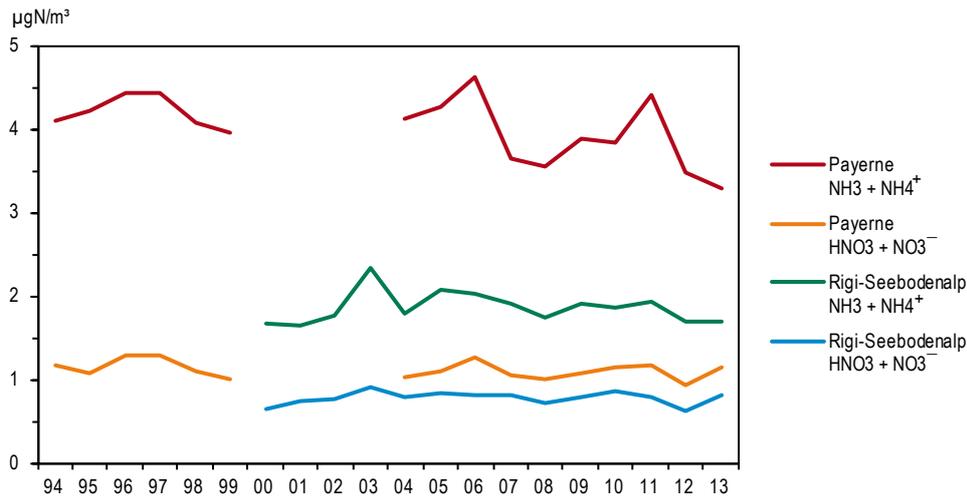
Tab. 22 > Summenmessungen von Stickstoffkomponenten, Jahresstatistik 2013

Standorttyp	Station	$\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$		$\text{HNO}_3 + \text{NO}_3^-$	
		Jahresmittel $\mu\text{g N/m}^3$	Max. 24-h Mittelwert $\mu\text{g N/m}^3$	Jahresmittel $\mu\text{g N/m}^3$	Max. 24-h Mittelwert $\mu\text{g N/m}^3$
Ländlich, unterhalb 1000 m	Payerne	3,3	16,1	1,1	7,1
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	1,7	9,2	0,8	4,7

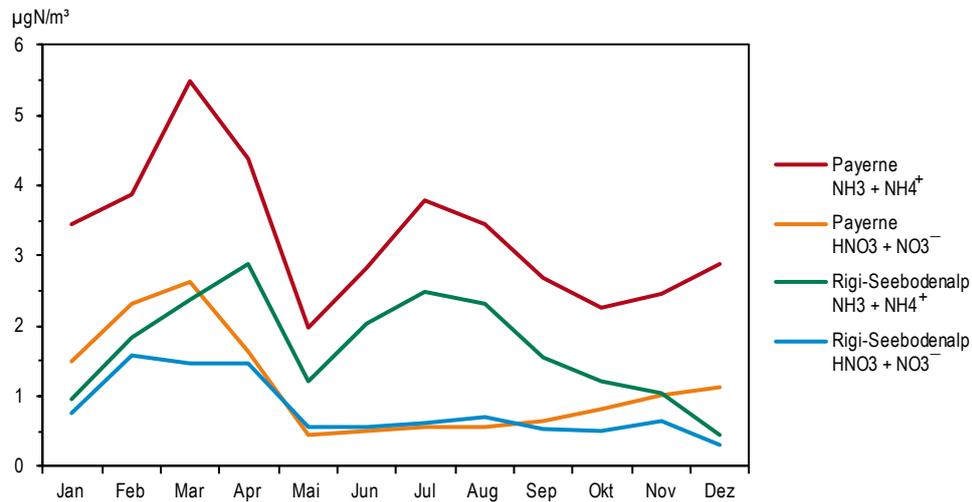
In der Abb. 55 werden die Jahresmittelwerte der bisherigen Messungen dargestellt. In den Messreihen von Payerne und Rigi-Seebodenalp ist keine signifikante Zu- oder Abnahme zu erkennen. Die Entwicklung ist vergleichbar mit den entsprechenden Komponenten in den Regeninhaltsstoffen (Abb. 47 und Abb. 49). In Payerne ist die Konzentration der reduzierten N-Komponenten ( $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ ) rund dreimal so hoch wie diejenige der oxidierten N-Komponenten ( $\text{HNO}_3 + \text{NO}_3^-$ ). In Rigi-Seebodenalp wird etwa die doppelte Konzentration von reduzierten wie von oxidierten N-Komponenten gemessen, was eine Folge der unterschiedlichen Lebensdauer der verschiedenen Substanzen ist. Insbesondere das Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) wird rasch deponiert und zeigt in Quellennähe hohe Werte.

Unveränderte Belastung

**Abb. 55** > Summenmessungen von Stickstoffkomponenten, Jahresmittelwerte 1994–1999 und 2004–2013 (Payerne) und 2000–2013 (Rigi-Seebodenalp)



**Abb. 56** > Summenmessungen von Stickstoffkomponenten, Monatsmittelwerte 2013 (Payerne und Rigi-Seebodenalp)



Die Messwerte auf Rigi-Seebodenalp sind meist tiefer als in Payerne. Dies trifft insbesondere auf die Summe der reduzierten N-Komponenten ( $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ ) zu. Die reduzierten N-Komponenten weisen ein Maximum im Frühjahr auf (Abb. 56). Die oxidierten N-Komponenten ( $\text{HNO}_3 + \text{NO}_3^-$ ) haben in Payerne höhere Werte im Winter.

**Reduzierte N-Komponenten auf Rigi-Seebodenalp niedriger als in Payerne**

## 12.2 Gas- und Aerosolphase von Stickstoffverbindungen

Im Rahmen des EMEP Messprogramms werden neben der Summenmessung von reduzierten und oxidierten Stickstoffverbindungen auch nach Gas- und Aerosolphase getrennte Messungen von Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ ) und Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), respektive Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) und Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) erwartet. Deshalb wurden 2007 an den Stationen Payerne und Rigi-Seebodenalp Messungen mit einer Zeitauflösung von zwei Wochen gemäss der vom CEH Edinburgh vorgeschlagenen und an der Empa weiterentwickelten Minidenumethode aufgenommen. Seit 2010 werden entsprechende Messungen auf der Alpensüdseite in Magadino-Cadenazzo durchgeführt, seit 2013 auch in Tänikon. Im Jahresmittel (Tab. 23) liegt in den tiefen Lagen beidseits der Alpen etwa gleich viel Stickstoff in Form der vier reaktiven Verbindungen vor. Hingegen ist auf der Alpensüdseite mehr Stickstoff in der Gasphase vorhanden als auf der Alpennordseite. Mit der Höhe über Meer nimmt die absolute Konzentration ab und auch der relative Anteil der Stickstoffverbindungen in der Gasphase wird kleiner.

Tab. 23 > Reaktive Stickstoffverbindungen, Jahresmittelwerte 2013

Standorttyp	Station	$\text{NH}_3$ Jahresmittel $\mu\text{g N/m}^3$	$\text{NH}_4^+$ Jahresmittel $\mu\text{g N/m}^3$	$\text{HNO}_3$ Jahresmittel $\mu\text{g N/m}^3$	$\text{NO}_3^-$ Jahresmittel $\mu\text{g N/m}^3$	Summe	Anteil N in Gasphase	Anteil N in Partikel-phase
Ländlich, unterhalb 1000 m	Payerne	1,90	1,35	0,23	0,92	4,40	48 %	52 %
	Tänikon	4,27	1,31	0,25	0,87	6,70	67 %	33 %
	Magadino-Cadenazzo	3,76	0,97	0,44	0,63	5,80	72 %	28 %
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	0,86	0,96	0,19	0,58	2,59	41 %	59 %

## 12.3 Ammoniak

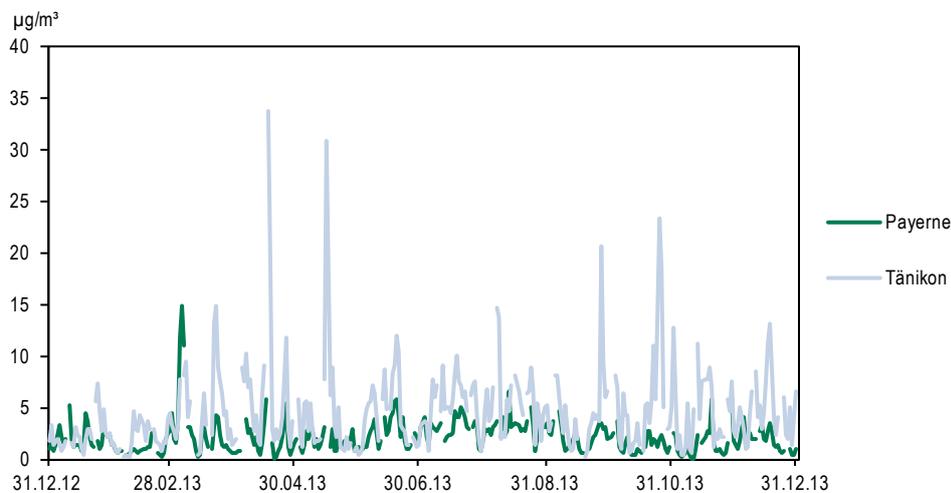
Im Laufe des Jahres 2005 wurden an den beiden Standorten Payerne und Härkingen kontinuierliche Messungen von Ammoniak aufgenommen. Seit 2008 werden auch in Tänikon kontinuierliche Ammoniakmessungen durchgeführt. Die kontinuierlich gemessenen  $\text{NH}_3$ -Konzentrationen sind tendenziell tiefer als die mit Passivsammlern oder Denudern erhobenen Messwerte. Ein Grund dafür könnten Ammoniakverluste in der Ansaugleitung sein. Die Belastung durch Ammoniak ist an beiden Standorten hoch (Tab. 24) im Vergleich zu den im Rahmen der Konvention über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung empfohlenen kritischen Konzentrationen (Jahresmittel, je nach Vegetationstyp 1 bis 3  $\mu\text{g/m}^3$  Ammoniak). An Standorten mit intensiver Tierhaltung wie in Tänikon werden noch höhere Ammoniakkonzentrationen gemessen (Bericht zu Ammoniak-Immissionsmessungen mit Passivsammlern, erhältlich unter [www.bafu.admin.ch/luft](http://www.bafu.admin.ch/luft) unter Schadstoffe/Ammoniak).

Kontinuierliche Messungen  
von Ammoniak

**Tab. 24 > Ammoniak, Jahresstatistik 2013**

Standorttyp	Station	Jahresmittel $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max. 24-h Mittelwert $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max. Stundenmittelwert $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Ländlich, unterhalb 1000 m	Payerne	2,3	15	26
	Tänikon	4,7	34	133

Der Jahresverlauf (Abb. 57) zeigt über lange Perioden einen parallelen Verlauf an den beiden Standorten, was auf einen starken Einfluss der meteorologischen Bedingungen auf die Ammoniakkonzentration hinweist. Einzelne sehr hohe Werte sind durch die Gülleausbringung in unmittelbarer Nähe der Stationen bedingt. Nach einigen Stunden sinkt die Belastung wieder auf die ortsübliche Hintergrundsbelastung ab, was zeigt, dass die Gülleausbringung zwar zur Hintergrundsbelastung beiträgt, dass aber insbesondere die kontinuierlich emittierenden Quellen von Bedeutung sind.

**Abb. 57 > Tagesmittelwerte der Ammoniakkonzentration, 2013**

# 13 > Witterung

## 13.1 Situation 2013

Für diese meteorologische Charakterisierung wurde das Klimabulletin von Meteo-Schweiz verwendet.

Zum Jahresanfang war es relativ mild. Im Tessin wurde es Anfang Januar mit Nordföhn über 20 Grad warm. Nach Schneefall Mitte Monat war es zum Monatswechsel erneut sehr mild. Der Winter brachte im Februar viel Neuschnee, zuerst in den Bergen, und später dank kalten Luftmassen auch im Flachland. Besonders in der Höhe war der Winter sehr kalt. Im März gab es nördlich der Alpen dank Föhn einige milde Tage. Kalte Luft aus Nordost brachte aber danach den Winter bis ins Mittelland zurück. Bis im April war es meist winterlich mit etwas Schnee.

Nach mildem Jahresanfang bis im April winterlich

Mitte April sorgte warme Luft aus Südwesten lokal für Temperaturen über 25 Grad. Zum Monatsende folgte ein Wintereinbruch. Im Norden fiel erneut Schnee bis ins Flachland. In den Alpen gab es verbreitet 50 bis 90 cm Neuschnee und im Tessin viel Regen. In fünf Tagen fiel im Maggiatal mit 300 bis 400 mm mehr als die mittlere monatliche Niederschlagsmenge. Mitte des Monats sorgte eine Staulage wieder im Süden für ergiebigen Regen. Der Lago Maggiore trat über die Ufer. Anfang Juni sorgte feuchte Luft vom Mittelmeer für viel Niederschlag am Alpennordhang. Die Sonne zeigte sich im Frühling extrem selten. Von der Nord- bis in die Ostschweiz war es die sonnenärmste Januar-Mai-Periode seit über 50 Jahren.

Extrem trüber Frühling

Im Juni gab es eine kurze Phase mit mehreren sonnigen Tagen, danach wurde das Wetter wieder unbeständig. Am 20. Juni zog eine Gewitterfront mit Hagel und Sturmböen über die Westschweiz. Der Hochsommer im Juli und August war ausgesprochen sonnig. Im Mittelland war es abgesehen von 2003 der sonnigste Sommer seit über 100 Jahren (Messreihe von Zürich). Bis Anfang September blieb es hochsommerlich und heiss mit bis 30 Grad.

Der Hochsommer wurde seinem Namen gerecht

Mitte September zog der Herbst ein mit kühler Luft, kräftigem Regen und stürmischem Wind. Bereits im Oktober sorgte ein Polarlufteinbruch für den ersten Schnee im Mittelland. Die zweite Oktoberhälfte verlief eher mild. Im November war es zuerst nass und windig, aber mild. Ab dem 11. November dominierte über lange Zeit Hochdruckwetter. Dies führte zunächst zu typischem Herbstwetter mit Sonne in den Bergen und Hochnebel im Flachland. Ab Dezember lag im Mittelland dank trockener Luft ungewöhnlich wenig Nebel und es gab viel Sonne. Zudem sorgten mehrere Föhnphasen für milde Temperaturen nördlich der Alpen. Südlich der Alpen fiel bedingt durch die Südstaulagen zum Jahresende viel Schnee.

Früher Wintereinbruch im Flachland – dann aber nur im Süden viel Schnee

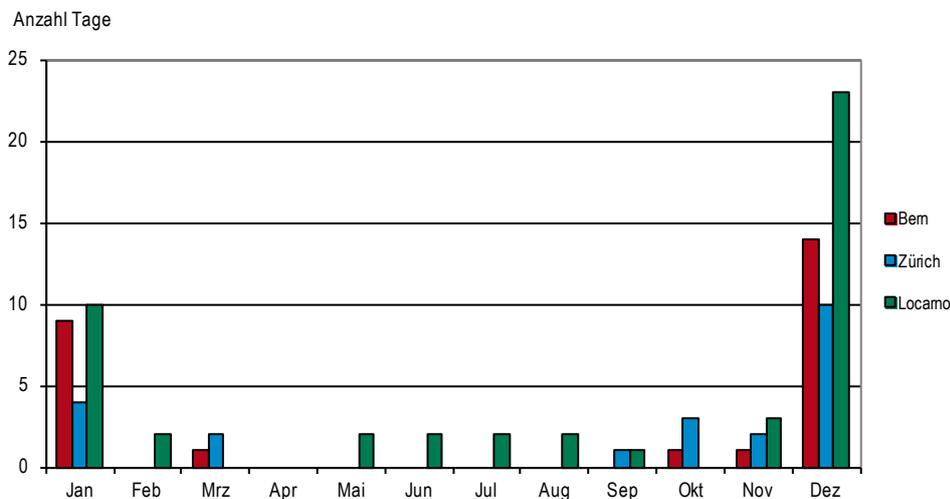
## 13.2 Inversionen

Temperaturinversionen verhindern die vertikale Ausbreitung von Luftschadstoffen. Besonders die bodennahen Inversionen mit einer Temperaturumkehr zwischen 800 und 1000 Metern ü.M. sorgen oft für hohe Schadstoffkonzentrationen. Für die Standorte Zürich und Bern im Mittelland sowie Locarno im Süden wurde die Häufigkeit von stabilen Temperaturschichtungen um die Mittagszeit (12 bis 14 Uhr MEZ) bestimmt. Dabei stehen für Zürich mit dem Üetliberg (Höhendifferenz 458 Meter) und für Bern mit dem Bantiger (542 Meter Differenz) zwei repräsentative Stationen zur Verfügung.

Abb. 58 zeigt für jeden Monat im Jahr 2013 die Anzahl Tage, an denen Inversionen auftraten. Wie zu erwarten ist, sind die Inversionen im Winterhalbjahr am häufigsten. Von März bis September lässt die starke Sonneneinstrahlung die Bildung von Inversionen und Hochnebel kaum zu. Im Mittelland zeigen Bern und Zürich ein ähnliches Bild. Die beiden Orte waren an total 26 bzw. 22 Tagen von einer Inversion betroffen. Klar am meisten Inversionstage (14 bzw. 10) gab es im Mittelland im Dezember. Da die Luft in dieser Zeit sehr trocken war, gab es dennoch nur selten Hochnebel.

Das Stationspaar Magadino-Cadenazzo und Locarno-Monti lässt nicht die gleich präzisen Inversionsbestimmungen zu. Die Höhendifferenz mit 180 Metern ist sehr klein und die Messstation in Monti ist am Südhang oberhalb der Stadt gelegen. Temperaturinversionen werden dort auch im Sommer gemessen (jeweils 2 Tage im Monat von Mai bis August). Dies ist wahrscheinlich auf stärkere Sonneneinstrahlung zurückzuführen. Dennoch zeigt sich auch an diesen Stationen der typische Jahresverlauf. Im Januar und Dezember traten am meisten Inversionen auf. Im Dezember 2013 gab es mit Ausnahme der Weihnachtszeit an fast jedem Tag eine Temperaturumkehr.

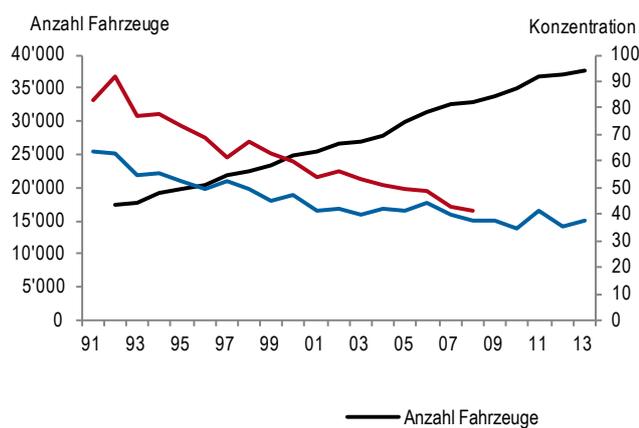
**Abb. 58 > Anzahl Tage mit stabiler Temperaturschichtung zwischen 12 und 14 MEZ (mindestens Isothermie, d. h. Höhen- und Talstation haben dieselbe Temperatur)**



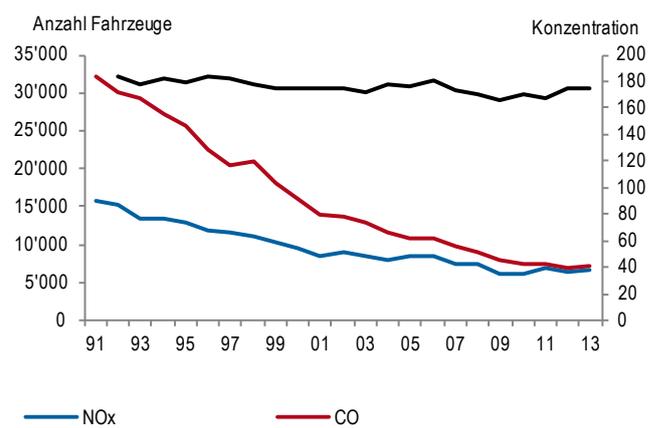
# 14 > Verkehrszahlen

Die Luftbelastung an verkehrsnahen Standorten hängt unter anderem vom Verkehrsaufkommen ab. Um die Entwicklung der gemessenen Schadstoffkonzentrationen beurteilen zu können, ist auch die Kenntnis der Entwicklung der Verkehrsmenge notwendig. Deshalb werden im NABEL an den vier Verkehrsstandorten auch Verkehrszahlen erhoben. Abb. 59 zeigt die Jahresmittel des Verkehrsaufkommens an der Station Sion-Aéroport zusammen mit den Konzentrationen von Stickoxiden (NO<sub>x</sub>) und Kohlenmonoxid (CO). Zwischen 1991 und heute hat sich die mittlere Anzahl Fahrzeuge pro Tag mehr als verdoppelt, während im gleichen Zeitraum die Konzentration der NO<sub>x</sub> um 35 % sank. Für CO beträgt die extrapolierte Abnahme mehr als 50 %. Da die Messwerte an dieser Station wesentlich durch den Verkehr beeinflusst sind und der Verkehr die grösste Emissionsquelle für NO<sub>x</sub> und CO darstellt, kann geschlossen werden, dass die mittleren Emissionen pro Fahrzeug noch wesentlich stärker gesunken sind als die gemessenen Konzentrationen. Das wird auch durch die Messungen in Lausanne bestätigt (Abb. 60), wo die Verkehrsmenge seit 1991 fast unverändert blieb, während die Schadstoffkonzentrationen seit 1991 deutlich sanken, NO<sub>x</sub> um 55 %, CO um 70 %. An den Standorten mit einer Zunahme des Verkehrs, Härkingen und Sion, hat das Wachstum des Verkehrsaufkommens einen Teil der Emissionsminderungen der Fahrzeuge aufgewogen.

**Abb. 59 > Verkehrsaufkommen und Schadstoffbelastung, 1991–2013, Sion-Aéroport**



**Abb. 60 > Verkehrsaufkommen und Schadstoffbelastung, 1991–2013, Lausanne-César-Roux**



Konzentration in ppb (NO<sub>x</sub>) und in mg/m<sup>3</sup>\*100 (CO)

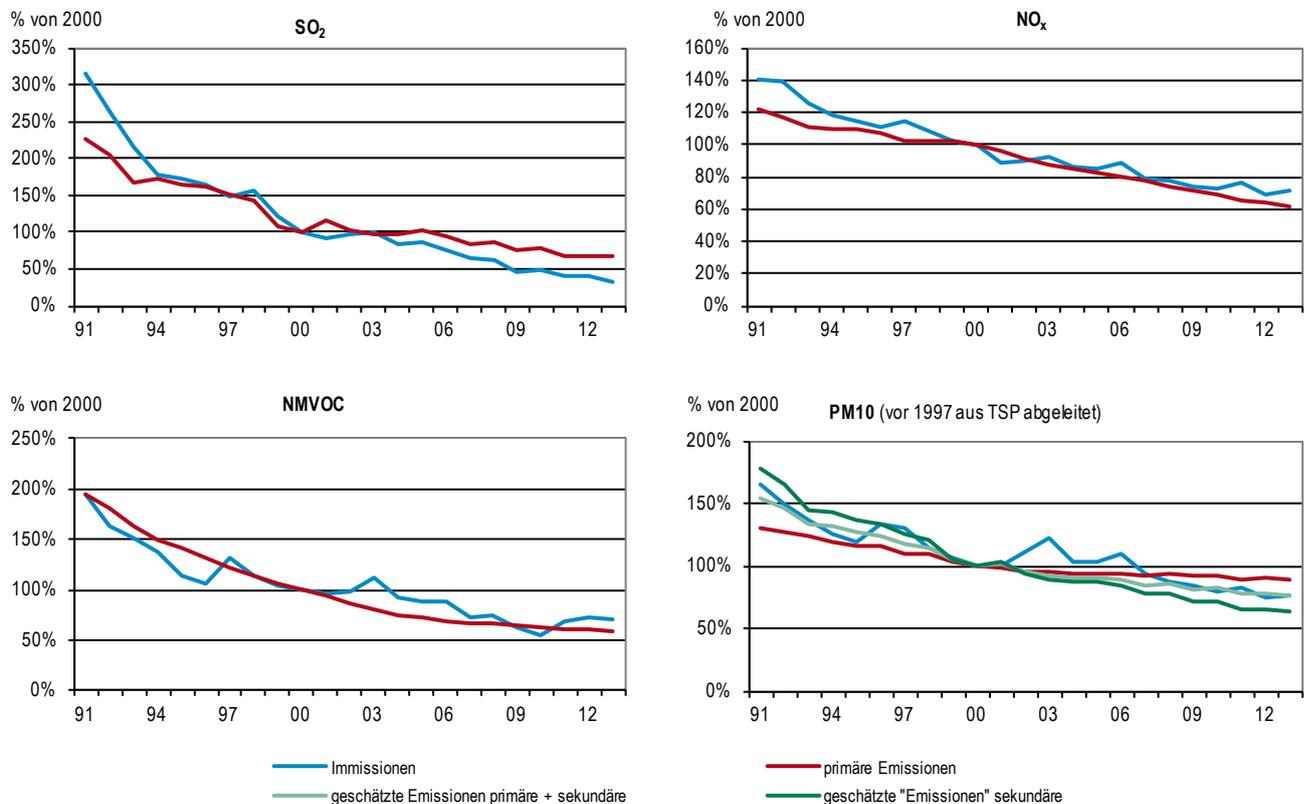
# 15 > Ausblick

Die Luftbelastung in der Schweiz konnte seit Mitte der 1980er Jahre deutlich verringert werden. Dies ist das Ergebnis von emissionsmindernden Massnahmen in der Schweiz und anderen Ländern Europas. Durch strengere Emissionsvorschriften bei stationären Anlagen und Fahrzeugen sowie auch durch ökonomische Anreize (z. B. die Lenkungsabgaben für VOC oder schwefelhaltige Brennstoffe) konnte der Ausstoss von vielen Luftschadstoffen verringert werden (Bericht Konzept betreffend lufthygienischen Massnahmen des Bundes, 11. September 2009, Bundesblatt Nr. 40, 2009, Seite 6585, [www.admin.ch/ch/d/ff/2009/6585.pdf](http://www.admin.ch/ch/d/ff/2009/6585.pdf)). Parallel zu den Emissionsreduktionen sanken die Konzentrationen von Schadstoffen in der Atmosphäre (Abb. 61).

Abnahme der Emissionen  
und Immissionen

**Abb. 61 > Über die NABEL-Stationen gemittelte Konzentration von Luftschadstoffen und Entwicklung der schweizerischen Emissionen nach Territorialprinzip**

Alle Grössen sind normiert auf das Bezugsjahr 2000. Zu den PM<sub>10</sub>-Immissionen tragen die primären PM<sub>10</sub>-Emissionen und die sekundär gebildeten Partikel je etwa hälftig bei.



Grosse Erfolge konnten bei den Luftschadstoffen Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid und bei Schwermetallen wie Blei, Cadmium oder Zink erreicht werden. Für diese Schadstoffe liegen die gemessenen Konzentrationen in aller Regel deutlich unter den Immissionsgrenzwerten. Für die Schadstoffe Stickstoffdioxid, Feinstaub und Ozon konnten zwar die Immissionen gesenkt werden, die gemessenen Konzentrationen liegen aber immer noch häufig und vielerorts über den Grenzwerten. Ebenfalls noch deutlich zu hoch sind die Stickstoff- und Säureinträge in Ökosysteme. Das Ziel einer guten Luftqualität ist noch nicht erreicht – trotz der beachtlichen Erfolge der schweizerischen Luftreinhaltepolitik. Es sind deshalb weitere Emissionsreduktionen notwendig.

**Erfolge und Problemschadstoffe**

Die schweizerische Gesetzgebung sieht zur Bekämpfung der Luftverschmutzung ein zweistufiges Vorgehen vor. Die erste Stufe verlangt, dass sämtliche Emissionen von Luftschadstoffen unabhängig von der bestehenden Umweltbelastung im Sinne der Vorsorge so weit zu begrenzen sind, als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist. Die zweite Stufe besteht darin, dass die Emissionen über das Ausmass der ersten Stufe hinaus schärfer begrenzt werden müssen, wenn feststeht oder zu erwarten ist, dass die Einwirkungen (Immissionen) unter Berücksichtigung der bereits bestehenden Umweltbelastung schädlich oder lästig (übermässig) werden.

**Vorsorgeprinzip und verschärfte Emissionsbegrenzungen**

Das NABEL ist ein wichtiges Vollzugsinstrument der LRV, indem es den Behörden und der Öffentlichkeit eine Übersicht über die gesamtschweizerische Luftqualität und deren zeitliche Entwicklung vermittelt, sowie die Beurteilung anhand der Immissionsgrenzwerte (IGW) ermöglicht. Eine weitere wichtige Aufgabe ist die Erfolgskontrolle betreffend die gegen die Luftverschmutzung ergriffenen Massnahmen. Wichtig dabei ist, dass die Immissionsüberwachung eine von den Emissionserhebungen unabhängige Kontrolle der Entwicklung der Luftschadstoffbelastung erlaubt. Die Immissionsmessung ist zur Beurteilung der Auswirkungen dieser Belastung auf den Menschen und die Umwelt unverzichtbar.

**Überwachung der Luftqualität**

---

## **> Anhang A**

**Anhang A1: Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung**

**Anhang A2: Standortcharakterisierung**

**Anhang A3: NABEL-Messprogramm**

**Anhang A4: Messverfahren**

**Anhang A5: Masseinheiten und statistische Masszahlen**

**Anhang A6: Homogenisierung von Messreihen der Station Bern**

## Anhang A1: Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung

Zur Beurteilung der Luftverschmutzung müssen die gemessenen Schadstoffkonzentrationen mit den Immissionsgrenzwerten der Luftreinhalte-Verordnung (Tab. A1) verglichen werden. Diese auf Grund der Anforderungen des Umweltschutzgesetzes festgelegten Werte sind wirkungsorientiert. Sie sind ein Mass für die Schadstoffbelastung, die zur Vermeidung von Schäden nicht überschritten werden sollte. Es sind dabei zwei Arten von Immissionsgrenzwerten zu unterscheiden. Die Kurzzeitgrenzwerte (wie z. B. Stundenmittelwerte, Tagesmittelwerte oder der 95 %-Perzentilwert der Halbstundenmittel) tragen den starken zeitlichen Konzentrationsänderungen und den Einwirkungen von kurzzeitigen Spitzenbelastungen Rechnung. Die Langzeitgrenzwerte (wie z. B. Jahresmittelwerte) dienen dagegen der Beurteilung von chronischen Schadstoffbelastungen. Das Ausmass der Luftbelastung wird im Folgenden vor dem Hintergrund dieser Immissionsgrenzwerte diskutiert.

Wirkungsorientierte Grenzwerte

Tab. A1 > Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung

Schadstoff	Immissionsgrenzwert	Statistische Definition
Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )	30 µg/m <sup>3</sup>	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
	100 µg/m <sup>3</sup>	95 % der 1/2h-Mittelwerte eines Jahres ≤100 µg/m <sup>3</sup>
	80 µg/m <sup>3</sup>	24h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
Feinstaub PM10	20 µg/m <sup>3</sup>	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
	50 µg/m <sup>3</sup>	24h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
Ozon (O <sub>3</sub> )	100 µg/m <sup>3</sup>	98 % der 1/2h-Mittelwerte eines Monats ≤100 µg/m <sup>3</sup>
	120 µg/m <sup>3</sup>	1h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> )	30 µg/m <sup>3</sup>	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
	100 µg/m <sup>3</sup>	95 % der 1/2h-Mittelwerte eines Jahres ≤100 µg/m <sup>3</sup>
	100 µg/m <sup>3</sup>	24h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
Kohlenmonoxid (CO)	8 mg/m <sup>3</sup>	24h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
Blei (Pb) im Feinstaub (PM10)	500 ng/m <sup>3</sup>	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Cadmium (Cd) im Feinstaub (PM10)	1,5 ng/m <sup>3</sup>	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Staubniederschlag insgesamt	200 mg/(m <sup>2</sup> d)	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Blei (Pb) im Staubniederschlag	100 µg/(m <sup>2</sup> d)	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Cadmium (Cd) im Staubniederschlag	2 µg/(m <sup>2</sup> d)	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Zink (Zn) im Staubniederschlag	400 µg/(m <sup>2</sup> d)	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Thallium (Tl) im Staubniederschlag	2 µg/(m <sup>2</sup> d)	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)

Hinweis: mg = Milligramm, 1 mg = 0,001 g; µg = Mikrogramm, 1 µg = 0,001 mg; ng = Nanogramm, 1 ng = 0,001 µg

Das Zeichen «≤» bedeutet «kleiner oder gleich»

## Anhang A2: Standortcharakterisierung

Die Angaben zu Koordinaten und Höhe beziehen sich auf den momentanen Standort der Messstationen. Einige Stationen wie Bern, Lugano oder Zürich wurden in früheren Jahren geringfügig verschoben. Diese Standortwechsel sind im technischen Bericht zum NABEL 2013 ([www.empa.ch/nabel](http://www.empa.ch/nabel)) dokumentiert.

**Tab. A2 > Standorte der Messstationen NABEL**

Ort; Koordinaten; Höhe über Meer	Standorttyp	Nähere Beschreibung
Basel-Binningen 316 m ü. M. 610'890/265'605; 47°32'28"/7°35'00"	Vorstädtisch	Gelände des ehemaligen astronom. Instituts der Universität, Parkgelände; unmittelbare Umgebung wenig überbaut, wenig Verkehr, Entfernung zum Stadtzentrum 2 km, zur Grossindustrie 4–6 km.
Bern-Bollwerk 536 m. ü. M. 600'170/199'990; 46°57'04"/7°26'27"	Städtisch, verkehrsbelastet	Areal des Bahnhofs, Messung an beidseitig geschlossen bebauter Strasse mit grossem Verkehrsaufkommen. Quartier mit hohem Anteil an Dienstleistungsbetrieben. Die Feinstaubmessgeräte sind ca. 80m von den Gasmessungen entfernt, auf der anderen Strassenseite, am Standort 600'135/199'910.
Chaumont 1136 m ü. M. 565'090/211'040; 47°02'58"/6°58'45"	Ländlich, oberhalb 1000 m	Auf der Jurahöhe, in extensiv genutztem Landwirtschaftsgebiet, offenes Gelände, 700 m über Neuenburger- und Bielersee, Entfernung zu Cressier 4,5 km, Neuenburg 7 km.
Davos-Seehornwald 1637 m ü. M. 784'450/187'735; 46°48'55"/9°51'21"	Ländlich, oberhalb 1000 m	Im Wald südöstlich des Davosersees, 70 m über dem Seeniveau; Ansaugsonde auf 35 m hohem Turm; Entfernung zu Davos 3 km.
Dübendorf-Empa 432 m ü. M. 688'675/250'900; 47°24'11"/8°36'48"	Vorstädtisch	Empa-Areal, offenes Gelände; Region stark besiedelt, mit Industrie, dichtem Strassennetz und Autobahn, 150 m zur nächstgelegenen Hauptverkehrsstrasse.
Härkingen-A1 431 m ü. M. 628'875/240'185; 47°18'43"/7°49'14"	Ländlich, Autobahn	Landwirtschaftsgebiet, offenes Gelände, 10 m nördlich der Autobahn A1, ca. 1 km östlich des Autobahnkreuzes A1/A2
Jungfrauojoch 3580 m ü. M. 641'910/155'280; 46°32'51"/7°59'06"	Hochgebirge	Im Gebäude des Sphinx-Observatoriums der hochalpinen Forschungsstation Jungfrauojoch, (Erfassung der Grundbelastung in der Troposphäre).
Lägeren 689 m ü. M. 669'780/259'020; 47°28'42"/8°21'52"	Ländlich, unterhalb 1000 m	Südlicher Abhang der Lägeren im Wald, 300 m über dem stark besiedelten und verkehrsreichen Limmattal, Distanz zur A1 3–4 km; Ansaugsonde auf 45 m hohem Turm. 2000 längerer Ausfall wegen Sturmschäden
Lausanne-César-Roux 530 m ü. M. 538'695/152'615; 46°31'19"/6°38'23"	Städtisch, verkehrsbelastet	Areal der Bibliothèque Pour Tous; Messung an beidseitig offen bebauter Strasse (rue César Roux) mit hohem Verkehrsaufkommen. Quartier mit Wohnhäusern, Schule, Dienstleistungsbetrieben.
Lugano-Universität 280 m ü. M. 717'615/96'645; 46°00'40"/8°57'26"	Städtisch	Areal der Università della Svizzera italiana (USI), in zentraler, städtischer Lage; Quartier mit Wohn- und Geschäftshäusern, nicht direkt an Strasse, jedoch starker Verkehr auf umliegenden Strassen.
Magadino-Cadenazzo 203 m ü. M. 715'500/113'200; 46°09'37"/8°56'02"	Ländlich, unterhalb 1000 m	Areal der landwirtschaftlichen Forschungsanstalt in Cadenazzo; intensiv genutztes Landwirtschaftsgebiet, offenes Gelände; ca. 1 km zur nächstgelegenen Strasse.
Payeme 489 m ü. M. 562'285/184'775; 46°48'47"/6°56'40"	Ländlich, unterhalb 1000 m	Areal der Station aérologique der MeteoSchweiz, offenes Gelände, ländliche Umgebung; Entfernung zu Payerne ca. 1 km.
Rigi-Seebodenalp 1031 m ü. M. 677'835/213'440; 47°04'03"/8°27'48"	Ländlich, oberhalb 1000 m	Nordhang der Rigi, extensiv genutztes Landwirtschaftsgebiet, offenes Gelände, 600 m über Vierwaldstättersee; Entfernung zu Luzern und Zug je 12 km.
Sion-Aéroport-A9 483 m ü. M. 592'540/118'755; 46°13'13"/7°20'31"	Ländlich, Autobahn	Areal des Flugplatzes, offenes Gebirgstal mit flachem Talboden; niedrige Bauten und Obstkulturen; zum Stadtzentrum von Sion 2 km; 30 m nördlich der Autobahn.
Tänikon 538 m ü. M. 710'500/259'810; 47°28'47"/8°54'17"	Ländlich, unterhalb 1000 m	Areal der landwirtschaftlichen Forschungsanstalt; offenes locker überbautes Gelände, ländliche Umgebung; Entfernung zu Aadorf 1 km.
Zürich-Kaserne 409 m ü. M. 682'450/247'990; 47°22'39"/8°31'50"	Städtisch	Zeughaus Hof Kaserne, zentrale Lage in Hinterhof-Situation der City; Quartier mit hohem Wohnanteil, Kleingewerbe und Geschäfte, keine Hauptverkehrsachse in unmittelbarer Nähe.

### Anhang A3: NABEL-Messprogramm

Tab. A3 > NABEL-Messprogramm (Stand 1. Januar 2013)

Messgrösse	BAS	BER	CHA	DAV	DUE	HAE	JUN	LAE	LAU	LUG	MAG	PAY	RIG	SIO	TAE	ZUE
Schwefeldioxid	X				X	X	X			X	X	X	X			X
Stickoxide (NO <sub>x</sub> , NO <sub>2</sub> , NO)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
NO <sub>2</sub> photolytisch							X					X	X			
NO <sub>y</sub>							X									
Lachgas (N <sub>2</sub> O)							X									
Ozon	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Kohlenmonoxid (CO)		X			X	X	X		X	X		X	X			X
Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )						X	X									
Methan (CH <sub>4</sub> )					X		X			X						X
Nichtmethankohlenwasserstoffe					X					X						X
BTX (Benzol, Toluol, Xylol)		S			S								S			S
VOC Komponenten <sup>1)</sup>							S						S			S
Halogenierte Verbindungen <sup>1)</sup>							S									
Ammoniak												X		X	X	
Feinstaub PM10, HiVol	T	T	T		T	T	T		T	T	T	T	T	T	T	T
Feinstaub PM10, kont.	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Feinstaub PM2.5, HiVol	T	T			T	T				T	T	T	T			T
Feinstaub PM1, HiVol / kont.						T / X						T				
Partikelanzahl	X	X				X				X			X			
Aerosol-Grössenverteilung																X
BC im Feinstaub PM2.5	X	X			X	X				X	X	X				X
EC/OC im Feinstaub PM2.5	T	T			T	T				T	T	T				T
Pb, Cd, As, Cu, Ni im Feinstaub PM10	J	J	J		J	J	J		J	J	J	J	J	J	J	J
Schwefel, partikelgebunden							T			T		T	T			
Staubniederschlag (SN)	M	M				M			M		M	M	M			M
Pb, Cd, Zn, Tl, As, Cu, Ni im SN	J	J				J			J		J	J	J			J
Regenmenge (Analytik)			W		W						W	W	W			
pH-Wert, Leitfähigkeit (Regen)			W		W						W	W	W			
Na <sup>+</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> (Regen)			W		W						W	W	W			
Cl <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (Regen)			W		W						W	W	W			
Σ (NH <sub>3</sub> + NH <sub>4</sub> ); Σ (HNO <sub>3</sub> + NO <sub>3</sub> )												T	T			
NH <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> ; HNO <sub>3</sub> , NO <sub>3</sub>											2W	2W	2W		2W	
Meteo	XA	X	X	X	X	X	XA	X	X	XA	XA	XA	X	XA	XA	X
Strahlungsbilanz				X				X			X				X	
Niederschlagsmenge (autom.)	XA	X	X	X	X	X		X	X	XA	XA	XA	X	XA	XA	X
Verkehrszähler		S							S					S		

X = Zehnminutenmittelwerte S = Stundenmittelwerte T = Tagesmittelwerte  
 W = Wochenmittelwerte 2W=14-Tage-Mittel M = Monatsmittelwerte J = Jahresmittelwerte  
 XA = Zehnminutenmittelwerte (Daten durch MeteoSchweiz erhoben)

<sup>1)</sup> Einzelkomponenten

## Anhang A4: Messverfahren

Tab. A4 > Messmethoden und Geräte (Stand 2013)

Schadstoff	Zeitliche Erfassung	Messmethoden*	Anmerkung
Stickoxide (NO und NO <sub>2</sub> )	Zehnminutenmittelwerte	Chemilumineszenz	Kalibration mit NO-Referenzgasen, Konverterwirkungsgrad: Gasphasentitration
Ozon (O <sub>3</sub> )	Zehnminutenmittelwerte	UV-Absorption	Funktionskontrolle mit O <sub>3</sub> -Generator; Kalibration: UV-Photometer (Standard-Referenz-Photometer von NIST)
Nichtmethan-VOC	Zehnminutenmittelwerte	FID-Detektor	Kalibration mit Methan, Cutter-Überprüfung mit Propan
VOC (Einzelkomponenten)	alle 1h oder 2h	Gaschromatographie mit FID- oder PID-Detektor	Kalibration mit Pentan und Benzol (NIST) oder NPL30-Komponenten-Standard
Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> )	Zehnminutenmittelwerte	UV-Fluoreszenz	Kalibration mit verdünnten SO <sub>2</sub> -Referenzgasen (SO <sub>2</sub> -Druckgasflasche)
Kohlenmonoxid (CO)	Zehnminutenmittelwerte	Infrarot-Absorption, Cavity Ring-Down Spectroscopy	Kalibration mit CO-Referenzgas
Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )	Zehnminutenmittelwerte	Cavity Ring-Down Spectroscopy	Kalibration mit CO <sub>2</sub> -Referenzgas
Feinstaub (PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>1</sub> )	Tagesmittelwerte	Gravimetrische Bestimmung auf Quarzfaserfiltern	Messwerte vergleichbar mit Referenz-Verfahren gemäss EN Norm 12341
	Zehnminutenmittelwerte	TEOM-FDMS, Betastrahlabsorption, optische Geräte	
Schwefel im PM <sub>10</sub>	Tagesmittelwerte	Ionenchromatographie	
Schwermetalle (Blei, Cadmium) im PM <sub>10</sub>	Halbjahressammelprobe/Jahresmittelwert	Aufschluss in Mitteldruckgefässen im Mikrowellenofen, Analyse mit ICP-MS	Messwerte vergleichbar mit Verfahren nach VDI 2267 Bl. 3 (Pb) und Bl. 6 (Cd).
Staubniederschlag	Monatsmittelwerte	Staubniederschlag nach Bergerhoff-Methode	Nach VDI 2119, Bl. 2, Kunststoffgefässe
Schwermetalle (Blei, Cadmium, Zink, Kupfer, Arsen, Thallium und Nickel) im Staubniederschlag	Quartalssammelprobe/Jahresmittelwert	Offener Säureaufschluss, Analyse mit ICP-MS	Nach VDI 2267, Bl. 4 (Cd, Pb), Zn, Cu, Tl, Ni und As aus gleicher Aufschlusslösung
Regeninhaltsstoffe	Wochenmittelwerte	«Wet-only» Regensammler Analyse: pH mit Glaselektrode, Leitfähigkeit mit Leitfähigkeitsmesszelle und Ionen mit Ionenchromatographie	EMEP Manual
Stickstoffaerosole	Tagesmittelwerte	Abscheidung auf imprägnierten Filtern; Ionenchromatographie	EMEP-Manual
Ammoniak	Zehnminutenmittelwerte	Cavity Ring-Down Spectroscopy	Kalibration mit Ammoniak-Permeationsquelle
Partikelanzahlkonzentration	Zehnminutenmittelwerte	Kondensation-Partikelzähler	Geräte werden durch vorgeschaltete Verdünnung im Einzelzählmodus betrieben
Russ (BC)	Zehnminutenmittelwerte	Mult Angle Absorption Photometer oder Aethalometer	Kalibration an EUSAAR-2 Protokoll

\*) Im Anhang C des Technischen Berichts zum NABEL sind die eingesetzten Gerätemodelle aufgeführt.

## Anhang A5: Masseinheiten und statistische Masszahlen

Die Geräte für die Messung von Immissions-Konzentrationen bestimmen in der Regel den Gehalt der gasförmigen Schadstoffe in der Umgebungsluft als Volumenanteile in ppm ( $10^{-6}$  Volumenanteile), ppb ( $10^{-9}$  Volumenanteile) oder ppt ( $10^{-12}$  Volumenanteile). In diesem Bericht werden die Messwerte grundsätzlich als Schadstoffmasse pro Volumeneinheit Luft angegeben (Ausnahme  $\text{NO}_x$ : Volumenanteil  $\text{NO}_x$  in der Umgebungsluft).

Die verwendeten Einheiten sind:

- >  $\text{ng/m}^3$  = Schadstoffkonzentration in Nanogramm pro Kubikmeter Luft
- >  $\mu\text{g/m}^3$  = Schadstoffkonzentration in Mikrogramm pro Kubikmeter Luft
- >  $\text{mg/m}^3$  = Schadstoffkonzentration in Milligramm pro Kubikmeter Luft

Die Umrechnung zwischen den beiden Masseinheiten erfolgt mit konstanten Faktoren und bezieht sich, mit Ausnahme der hochgelegenen Stationen Jungfrauoch und Davos, auf einen Luftdruck von 1013,25 hPa und eine Temperatur von 20 °C. Die Werte der Station Jungfrauoch werden auf einen Luftdruck von 653 hPa und eine Temperatur von -8 °C umgerechnet, diejenigen von Davos auf 831 hPa und 3 °C.

**Tab. A5 > Umrechnungsfaktoren für Konzentrationswerte von ppb in  $\mu\text{g/m}^3$**

Luftschadstoff	Umrechnungsfaktoren		
	Stationen unterhalb 1500 m ü. M.	Davos (1650 m ü. M.)	Jungfrauoch (3580 m ü. M.)
Stickstoffmonoxid	1,25	1,09	0,89
Stickstoffdioxid	1,91	1,67	1,36
Ozon	2,00	1,74	1,42
Nichtmethan-Kohlenwasserstoffe	0,67	0,58	0,48
Schwefeldioxid	2,66	2,32	1,90
Kohlenmonoxid	1,16	1,01	0,83

In der Tab. A5 sind die Umrechnungsfaktoren zusammengestellt, die für die Umrechnung von ppb in  $\mu\text{g/m}^3$  verwendet werden. (Beispiel: Bei Stationen unterhalb 1500 m ü. M. ist 1 ppb Schwefeldioxid = 2,66  $\mu\text{g}$  Schwefeldioxid pro  $\text{m}^3$ ).

Die Konzentrationen von Partikelmasse und Partikelanzahl werden zu Umgebungsbedingungen angegeben.

Die Schadstoff-Deposition wird entweder als trockene, nasse oder auch als gesamte Deposition (Niederschlag) von Stoffen auf die Erdoberfläche gemessen. Als Masseinheit für die Deposition dient die Menge des Stoffes, die pro Flächen- und Zeiteinheit abgelagert wird. Die verwendeten Masseinheiten sind:

- >  $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{ d})$  = Schadstoffdeposition in Mikrogramm pro Quadratmeter und Tag
- >  $\text{mg}/(\text{m}^2 \text{ d})$  = Schadstoffdeposition in Milligramm pro Quadratmeter und Tag

Die wichtigsten in diesem Bericht verwendeten statistischen Masszahlen sind wie folgt definiert:

- > Monatsmittelwert = arithmetischer Mittelwert aller Messwerte eines Monats
- > Jahresmittelwert = arithmetischer Mittelwert aller Messwerte eines Jahres
- > 95 %-Wert = 95 %-Wert der Summenhäufigkeitsverteilung der  $\frac{1}{2}\text{h}$ -Mittelwerte eines Jahres (95 % der Werte liegen unter, 5 % über diesem Wert)
- > 98 %-Wert (Ozon) = 98 %-Wert der Summenhäufigkeitsverteilung der  $\frac{1}{2}\text{h}$ -Mittelwerte eines Monats; (98 % der Werte liegen unter, 2 % [ca. 15 Stunden eines Monats] liegen über diesem Wert)
- > unvollständige Messreihe = Eine Messreihe wird als unvollständig bezeichnet, wenn sie den Kriterien der Empfehlungen über die Immissionsmessung von Luftfremdstoffen (BUWAL Nr. VU-5003-D 2004) nicht genügt. Es müssen mindestens 80 % der Mittelwerte in der kleinsten Zeitauflösung vorhanden sein. Beim Jahresmittelwert müssen 90 % der Daten vorhanden sein und es darf kein ununterbrochener Ausfall von länger als 10 Tagen vorkommen.

### **Anhang A6: Homogenisierung von Messreihen der Station Bern**

Die Station Bern-Bollwerk ist seit dem 1. Februar 1991 in Betrieb und wurde am 22. Juli 1997 an einen provisorischen Standort, etwa 100 m nördlich auf der gleichen Strassenseite, verlegt. Am 6. Dezember 1999 wurden die Messungen in die neue Station auf der Strassenseite gegenüber dem provisorischen Standort verlegt (nähere Angaben finden sich im Technischen Bericht zum NABEL). Die Feinstaubmessungen (PM10) blieben seit Beginn der Messungen am 9. April 1991 am selben Standort.

Während die zweite Verlegung der Messgeräte im Dezember 1999 keine merklichen Sprünge in den Zeitreihen bewirkte, hatte die erste Stationsverlegung im Juli 1997 deutliche Brüche in den Messreihen zur Folge. Diese Inhomogenitäten wurden nach folgendem Verfahren korrigiert. Vor und nach dem Standortwechsel vom 22. Juli 1997 wurde an die Tagesmittel einer Messgrösse eine Exponentialfunktion angepasst, welche die mehrjährige Abnahme der Messwerte beschreibt. Das Verhältnis der beiden Funktionen am Tag des Standortwechsels wurde als Korrekturfaktor zur Homogenisierung der alten Daten an den neuen Standort verwendet. Dies ergab folgende Faktoren:

- >  $\text{NO}_x$ : 0,71 (berücksichtigter Zeitraum: 23.07.1991 bis 22.07.2003)
- >  $\text{NO}_2$ : 0,87 (berücksichtigter Zeitraum: 23.07.1991 bis 22.07.2003)
- >  $\text{O}_3$ : 1,2 (berücksichtigter Zeitraum: 23.07.1992 bis 22.07.2002)

Das Stickstoffmonoxid  $\text{NO}$  wurde als Differenz der korrigierten  $\text{NO}_x$  und  $\text{NO}_2$  Werte berechnet. Für  $\text{CO}$  und  $\text{SO}_2$  wich der Faktor nur wenig von 1 ab und es wurde deshalb für diese beiden Messgrössen keine Korrektur vorgenommen.



---

## > Anhang B

### **Anhang B1: Messwerte 2013 der 16 Stationen des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe, NABEL**

Weitere Grafiken und Tabellen mit Daten des NABEL finden sich auf den Internetseiten des BAFU: [www.bafu.admin.ch/luft](http://www.bafu.admin.ch/luft) unter dem Stichwort Luftbelastung.

<b>Jahresübersicht 2013</b>	<b>Basel-Binningen</b>		Koordinaten: 610'890 / 265'605 Höhe: 316 m
	Vorstädtisch		

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO <sub>2</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	2,7	2,3	2,2	1,6	0,8	0,8	1,0	0,8	1,0	1,5	1,5	2,7	1,6
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	6,0	5,2	5,4	3,5	2,3	2,0	2,4	3,1	3,2	3,3	5,4	6,7	6,7
	24h-Mittel >100 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO <sub>2</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	32,3	29,2	30,9	20,1	10,3	10,4	14,5	13,0	14,8	21,6	25,6	35,9	21,5
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	54,6	55,8	63,9	34,6	21,7	24,7	31,5	22,4	28,0	38,4	53,6	62,6	63,9
	24h-Mittel >80 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	8,7	5,0	5,3	2,4	1,4	1,4	1,2	1,7	2,9	6,0	10,7	20,4	5,6
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	30,2	17,1	21,2	5,5	4,4	4,3	3,1	5,4	8,0	26,2	51,2	68,5	68,5
NO <sub>x</sub>	Mittelwerte	ppb	23,8	19,3	20,4	12,4	6,5	6,6	8,5	8,2	10,0	16,1	22,0	35,1	15,8
	max. 24h-Mittelwert	ppb	44,5	38,7	46,5	21,5	12,7	15,7	18,1	13,5	19,8	41,1	69,1	82,3	82,3
O <sub>3</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	23	41	44	60	60	72	84	67	47	28	24	21	48
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m <sup>3</sup>	78	85	93	123	109	146	163	136	118	76	75	69	163
	max. 1h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	85	101	97	151	120	171	177	158	147	89	80	77	177
	1h-Mittel >120 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	17	0	56	159	48	13	0	0	0	293
	1h-Mittel >180 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel >240 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	23	24	30	21	9	11	18	14	13	12	14	21	17
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	44	66	59	53	27	23	27	32	42	33	41	38	66
	24h-Mittel >50 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	1	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5
SN	Mittelwerte	mg/(m <sup>2</sup> d)	10	19	22	-	82	45	47	62	42	33	15	25	37

-) keine Messwerte vorhanden

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	1,7	0,4	3,8	10,2	11,9	17,5	21,6	19,5	15,7	12,6	5,3	3,0	10,3
	Heizgradtagzahl <sup>1)</sup>	(°C*d)	562	549	503	255	174	9	0	0	17	98	416	528	3112
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m <sup>2</sup>	36	62	87	147	162	251	272	226	146	86	39	48	131
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	84	78	75	71	77	69	67	71	78	82	82	81	76
Niederschlag	Summen	mm	42	64	58	85	93	71	83	90	68	98	80	77	908
Druck	Mittelwerte	hPa	978	977	970	977	975	981	982	981	980	980	979	985	979

1) Heizgradtagzahl: Monatliche Summe der täglichen Differenzen zwischen Raumtemperatur (20 °C) und der Tagesmittel-Temperatur aller Heiztage (Heiztag: Tag mit Tagesmitteltemperatur <= 12 °C)

Die meteorologischen Daten wurden durch die MeteoSchweiz erhoben.

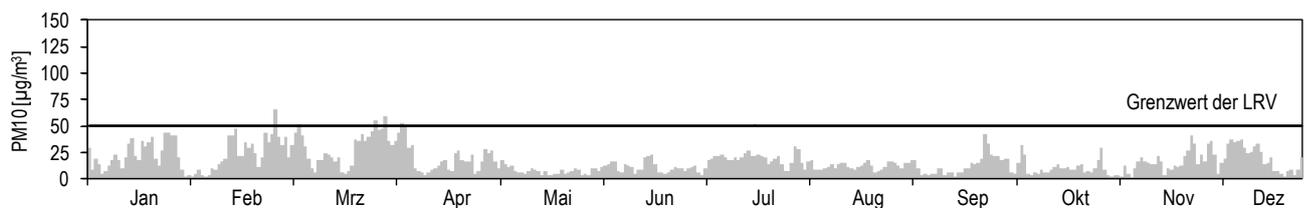
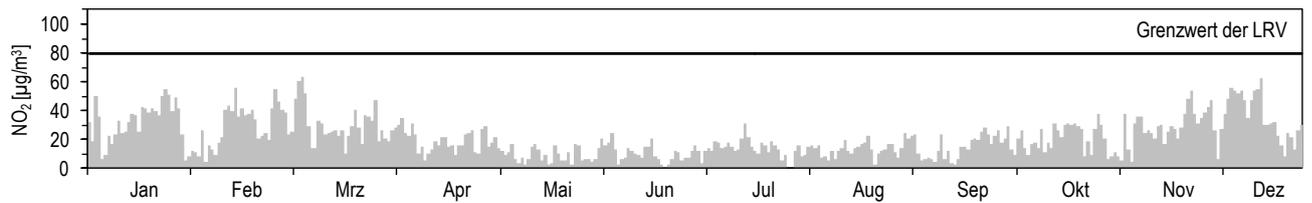
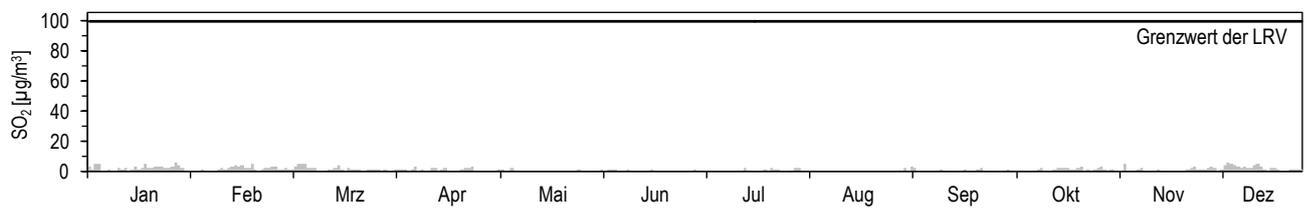
**Jahresübersicht  
2013**

**Basel-Binningen**  
Vorstädtisch

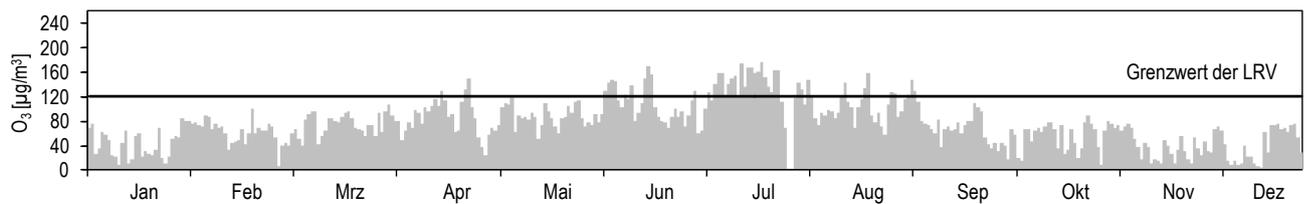


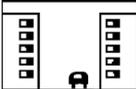
Koordinaten: 610'890 / 265'605  
Höhe: 316 m

**Tagesmittelwerte für SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> und PM10**



**Maximales Stundenmittel pro Tag für O<sub>3</sub>**



<b>Jahresübersicht 2013</b>	<b>Bern-Bollwerk</b>		Koordinaten: 600'170 / 199'990
	Städtisch, verkehrsbelastet		Höhe: 536 m

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
NO <sub>2</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	51	53	51	41	33	37	41	37	35	37	42	58	43
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	73	76	96	57	57	60	58	49	55	54	63	77	96
	24h-Mittel >80 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
NO	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	43	30	31	22	20	20	19	20	24	38	43	81	33
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	75	66	105	43	42	32	33	34	47	67	81	160	160
NO <sub>x</sub>	Mittelwerte	ppb	61	52	52	40	33	35	37	36	38	50	56	95	49
	max. 24h-Mittelwert	ppb	96	92	134	62	64	57	55	51	64	75	90	169	169
O <sub>3</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	15	31	32	44	48	52	60	51	34	18	18	9	35
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m <sup>3</sup>	52	64	76	109	89	114	126	117	91	57	59	53	126
	max. 1h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	62	81	82	123	101	142	140	130	122	67	70	62	142
	1h-Mittel >120 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	2	0	9	24	13	1	0	0	0	49
	1h-Mittel >180 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel >240 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO	Mittelwerte	mg/m <sup>3</sup>	0,55	0,53	0,53	0,42	0,33	0,35	0,38	0,34	0,34	0,40	0,44	0,69	0,44
	max. 24h-Mittelwert	mg/m <sup>3</sup>	0,78	0,82	0,91	0,57	0,44	0,63	0,66	0,45	0,50	0,67	0,79	1,04	1,04
	24h-Mittel >8 mg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	32	41	44	30	19	20	25	23	19	19	24	31	27
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	67	95	102	73	37	39	36	43	31	36	63	56	102
	24h-Mittel >50 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	4	9	9	4	0	0	0	0	0	0	2	2	30
SN	Mittelwerte	mg/(m <sup>2</sup> d)	55	73	110	144	162	112	112	134	82	70	91	59	100

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	1,0	-0,7	3,2	9,6	11,6	17,0	21,4	19,6	15,8	12,2	4,9	1,3	9,8
	Heizgradtagzahl <sup>1)</sup>	(°C*d)	588	579	522	283	175	18	0	0	10	100	433	578	3287
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m <sup>2</sup>	47	77	99	153	176	250	270	232	157	86	46	53	137
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	80	76	75	69	70	64	63	66	72	80	78	80	73
Niederschlag	Summen	mm	28	34	39	75	86	67	98	60	66	117	75	43	787
Druck	Mittelwerte	hPa	952	951	944	952	950	956	958	957	956	956	954	961	954

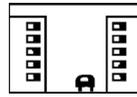
1) Heizgradtagzahl: Monatliche Summe der täglichen Differenzen zwischen Raumtemperatur (20 °C) und der Tagesmittel-Temperatur aller Heitztage (Heiztag: Tag mit Tagesmitteltemperatur <12 °C)

Verkehr		Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Verkehrszähler	Fz/Tag	18'994	19'723	20'347	20'809	21'205	21'677	Wegen Bauarbeiten liegen ab Juli keine gültigen Verkehrszahlen vor.						

**Jahresübersicht  
2013**

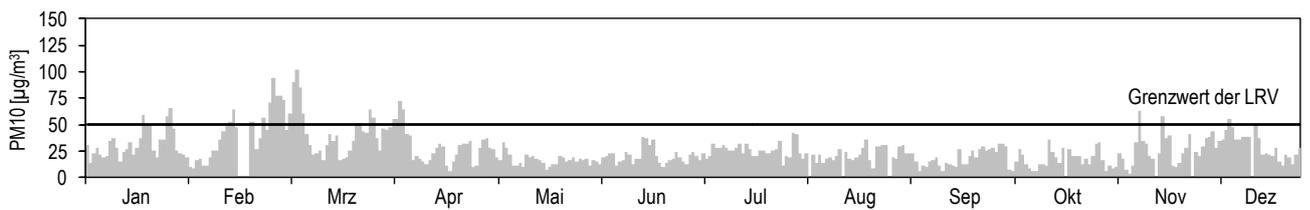
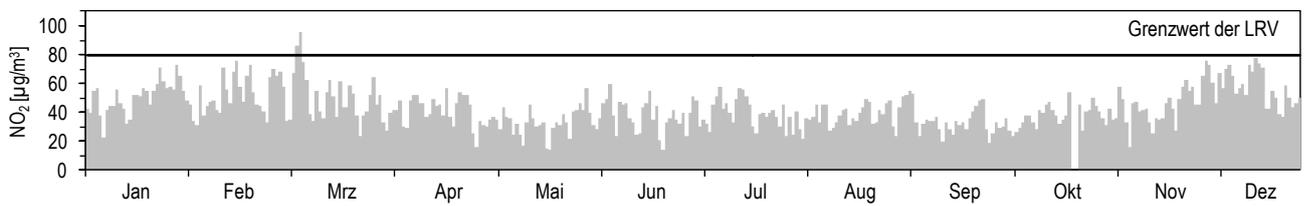
**Bern-Bollwerk**

Städtisch, verkehrsbelastet

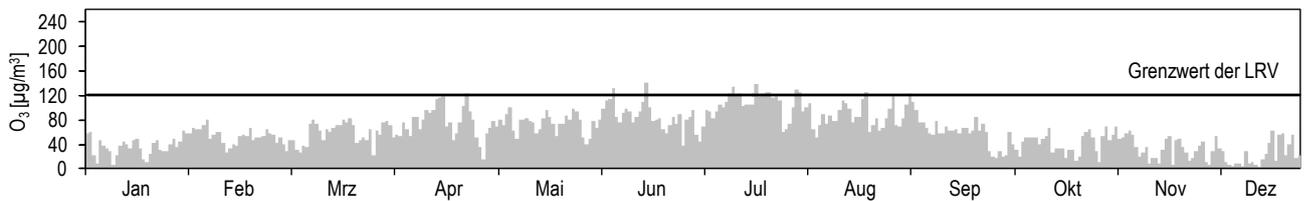


Koordinaten: 600'170 / 199'990  
Höhe: 536 m

**Tagesmittelwerte für NO<sub>2</sub> und PM<sub>10</sub>**



**Maximales Stundenmittel pro Tag für O<sub>3</sub>**



<b>Jahresübersicht 2013</b>	<b>Chaumont</b>		Koordinaten: 565'090 / 211'040
	Ländlich, oberhalb 1000 m		Höhe: 1136 m

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
NO <sub>2</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	7,8	10,7	10,3	9,1	4,0	4,2	5,2	4,3	4,4	5,0	7,2	4,3	6,3
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	27,2	25,2	20,8	20,2	9,8	6,5	8,6	6,9	9,0	10,3	16,2	11,7	27,2
	24h-Mittel >80 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	0,5	0,7	0,7	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,6	0,3	0,4
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	2,9	3,5	2,4	1,6	1,0	0,6	0,4	0,6	0,8	1,1	2,4	0,7	3,5
NO <sub>x</sub>	Mittelwerte	ppb	4,5	6,1	5,9	5,1	2,4	2,4	2,9	2,4	2,5	2,9	4,2	2,4	3,6
	max. 24h-Mittelwert	ppb	15,8	16,0	12,6	11,3	6,0	3,9	4,7	4,1	5,3	6,1	10,4	6,7	16,0
O <sub>3</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	65	71	81	85	82	92	112	97	78	62	55	76	80
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m <sup>3</sup>	94	98	106	137	111	151	157	140	139	83	82	94	157
	max. 1h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	100	111	116	167	119	170	164	155	163	90	88	98	170
	1h-Mittel >120 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	49	0	93	335	105	38	0	0	0	620
	1h-Mittel >180 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel >240 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	4,4	10,3	11,7	13,7	5,5	8,5	13,3	9,7	7,1	5,0	3,3	3,2	7,9
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	17,7	31,6	34,8	48,8	16,9	21,8	20,2	16,9	17,9	12,9	10,7	8,8	48,8
	24h-Mittel >50 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	-1,6	-5,0	-0,4	5,0	6,4	12,1	16,9	15,1	11,7	8,7	0,9	1,7	6,0
	Heizgradtagzahl <sup>1)</sup>	(°C*d)	669	701	634	407	421	191	8	46	191	324	574	567	4722
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m <sup>2</sup>	56	72	109	147	165	231	272	232	154	84	47	58	136
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	86	90	82	83	86	79	75	77	83	88	88	72	82
Niederschlag	Summen	mm	52	87	70	84	135	158	124	101	117	123	117	105	1273
Druck	Mittelwerte	hPa	884	882	877	885	884	890	893	892	889	889	885	891	887

1) Heizgradtagzahl: Monatliche Summe der täglichen Differenzen zwischen Raumtemperatur (20 °C) und der Tagesmittel-Temperatur aller Heiztage (Heiztag: Tag mit Tagesmitteltemperatur <= 12 °C)

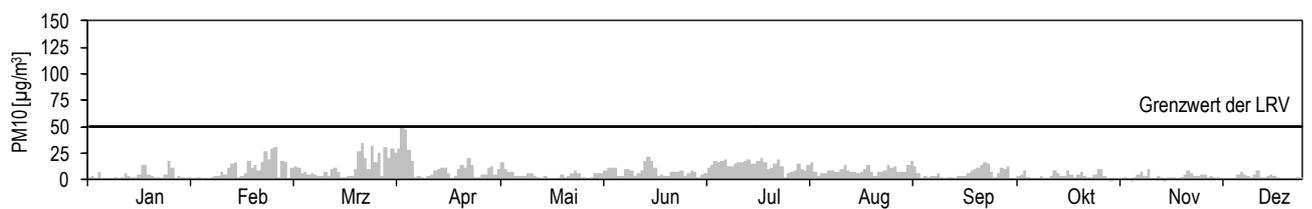
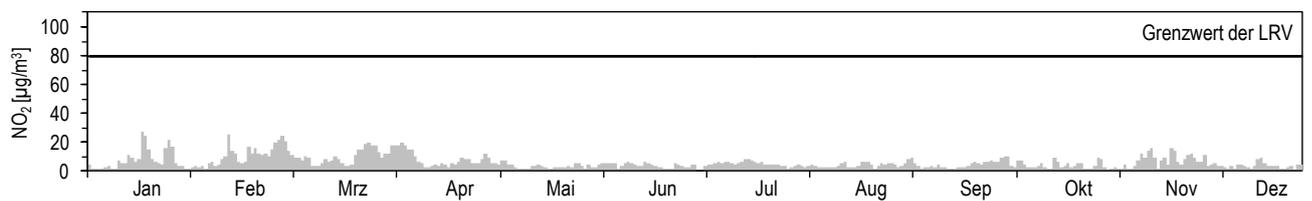
**Jahresübersicht  
2013**

**Chaumont**  
Ländlich, oberhalb 1000 m

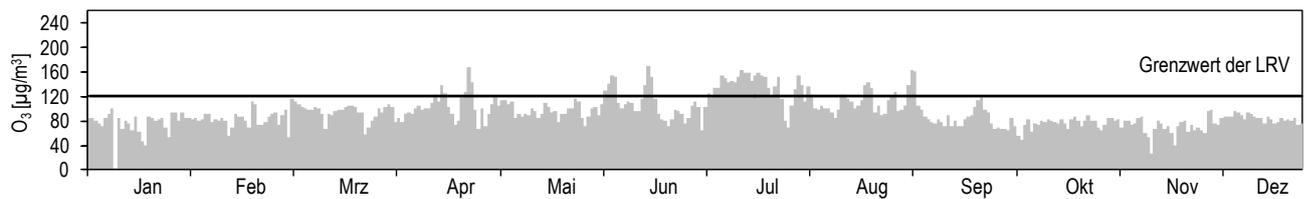


Koordinaten: 565'090 / 211'040  
Höhe: 1136 m

**Tagesmittelwerte für NO<sub>2</sub> und PM10**



**Maximales Stundenmittel pro Tag für O<sub>3</sub>**



<b>Jahresübersicht 2013</b>	<b>Davos-Seehornwald</b>		Koordinaten: 784'450 / 187'735 Höhe: 1637 m
	Ländlich, oberhalb 1000 m		

Luftschadstoffe <sup>1)</sup>			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
NO <sub>2</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	5,9	6,5	6,0	4,3	2,3	2,4	2,5	2,3	2,5	3,0	5,8	3,3	3,9
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	20,5	17,0	19,4	11,7	3,4	3,3	4,7	3,2	5,1	6,1	22,5	7,1	22,5
	24h-Mittel >80 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	0,41	0,38	0,35	0,22	0,14	0,11	0,10	0,10	0,18	0,35	0,63	0,22	0,26
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	2,52	1,13	2,02	0,45	0,33	0,33	0,35	0,28	0,53	1,20	5,60	0,57	5,60
NO <sub>x</sub>	Mittelwerte	ppb	3,9	4,2	3,9	2,8	1,5	1,5	1,6	1,5	1,7	2,2	4,1	2,2	2,6
	max. 24h-Mittelwert	ppb	14,6	11,3	13,5	7,4	2,3	2,1	3,2	2,0	3,4	4,0	18,7	4,4	18,7
O <sub>3</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	61	68	78	80	73	74	80	70	59	49	47	69	67
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m <sup>3</sup>	88	90	100	114	98	113	116	102	97	76	71	82	116
	max. 1h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	91	94	108	122	102	118	136	115	117	82	78	87	136
	1h-Mittel >120 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	2	0	0	5	0	0	0	0	0	7
	1h-Mittel >180 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel >240 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	3,06	5,6	5,8	7,17	4,19	5,5	7,1	6,87	3,01	2,65	2,25	0,98	4,5
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	13,21	30,44	22,24	22,98	31,74	14,68	18,25	20,34	8,45	6,91	4,34	1,8	31,74
	24h-Mittel >50 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

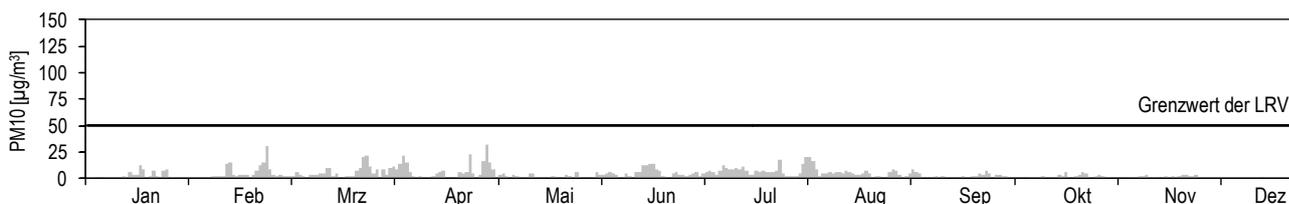
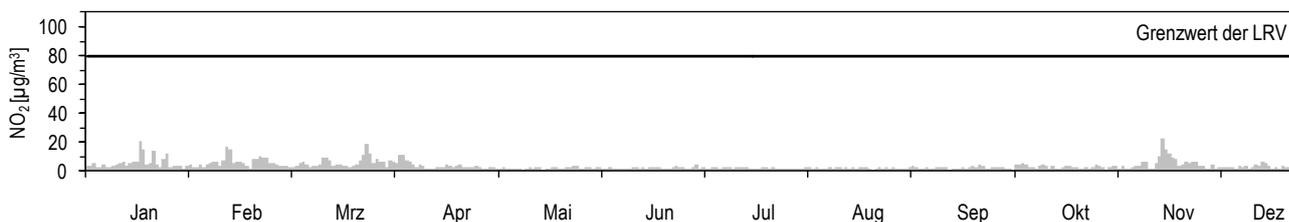
1) Die Umrechnung von ppb in µg/m<sup>3</sup> erfolgt für die Station Davos mit standortabhängigen Faktoren (Anhang A5)

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	-4,1	-7,6	-1,8	3,5	4,6	9,3	13,9	12,7	8,8	6,5	-1,5	-0,4	3,7
	Heizgradtagzahl <sup>2)</sup>	(°C*d)	746	773	676	494	478	297	44	173	307	433	644	633	5685
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m <sup>2</sup>	60	106	144	202	180	228	257	212	148	105	68	58	147
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	71	74	66	69	78	74	68	71	74	78	81	54	71
Niederschlag	Summen	mm	22	30	19	24	87	102	48	90	96	89	67	17	691
Druck	Mittelwerte	hPa	830	827	824	833	831	838	841	840	837	837	832	839	834

2) Heizgradtagzahl: Monatliche Summe der täglichen Differenzen zwischen Raumtemperatur (20 °C) und der Tagesmittel-Temperatur aller Heitztage (Heiztag: Tag mit Tagesmitteltemperatur ≤ 12 °C)

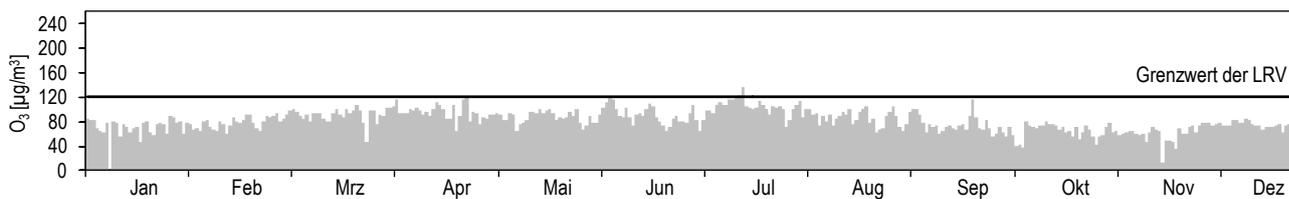
<b>Jahresübersicht 2013</b>	<b>Davos-Seehornwald</b>		Koordinaten: 784'450 / 187'735 Höhe: 1637 m
	Ländlich, oberhalb 1000 m		

**Tagesmittelwerte für NO<sub>2</sub> <sup>1)</sup>**



1) Die Umrechnung von ppb in µg/m<sup>3</sup> und ppm in mg/m<sup>3</sup> erfolgt für die Station Davos mit standortabhängigen Faktoren (Anhang A5)

**Maximales Stundenmittel pro Tag für O<sub>3</sub> <sup>1)</sup>**



1) Die Umrechnung von ppb in µg/m<sup>3</sup> erfolgt für die Station Davos mit standortabhängigen Faktoren (Anhang A5)

<b>Jahresübersicht 2013</b>	<b>Dübendorf-Empa</b>		Koordinaten: 688'675 / 250'900
	Vorstädtisch		Höhe: 432 m

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO <sub>2</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	2,4	2,3	2,1	1,0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	1,0	1,2	2,6	1,3
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	5,6	5,2	6,4	1,9	1,2	1,0	1,1	2,9	1,9	1,8	2,6	6,0	6,4
	24h-Mittel >100 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO <sub>2</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	37	33	36	23	16	16	17	20	22	26	28	49	27
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	65	62	79	34	31	30	30	36	40	39	47	83	83
	24h-Mittel >80 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
NO	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	14,4	5,2	12,2	3,1	1,9	2,2	1,5	3,4	7,2	17,5	14,8	58,7	12,0
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	67,5	25,8	81,7	12,0	8,0	6,7	5,7	11,2	29,6	65,0	85,9	208,3	208,3
NO <sub>x</sub>	Mittelwerte	ppb	31	21	29	14	10	10	10	13	17	27	26	73	24
	max. 24h-Mittelwert	ppb	88	47	107	27	20	20	18	26	45	70	89	210	210
O <sub>3</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	23	44	41	56	60	67	82	64	43	23	24	15	45
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m <sup>3</sup>	75	81	86	127	108	140	157	145	126	70	74	69	157
	max. 1h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	80	100	93	150	124	157	189	158	151	82	79	73	189
	1h-Mittel >120 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	24	3	58	162	67	19	0	0	0	333
	1h-Mittel >180 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	1h-Mittel >240 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO	Mittelwerte	mg/m <sup>3</sup>	0,40	0,38	0,39	0,30	0,21	0,21	0,23	0,24	0,25	0,33	0,32	0,60	0,32
	max. 24h-Mittelwert	mg/m <sup>3</sup>	0,64	0,63	0,78	0,42	0,28	0,29	0,29	0,38	0,40	0,58	0,70	1,30	1,30
	24h-Mittel >8 mg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NMVOC	Mittelwerte	µgCH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup>	61	47	58	41	31	36	44	51	59	69	52	112	55
	max. 24h-Mittelwert	µgCH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup>	125	90	165	75	55	86	69	161	178	177	143	282	282
CH <sub>4</sub>	Mittelwerte	mg/m <sup>3</sup>	1,38	1,36	1,37	1,34	1,30	1,30	1,31	1,32	1,32	1,35	1,33	1,43	1,34
PM10	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	22	25	30	21	9	11	16	15	12	14	14	24	18
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	48	64	65	57	35	24	25	47	25	31	35	51	65
	24h-Mittel >50 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	2	5	2	0	0	0	0	0	0	0	1	10

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	1,2	-0,4	3,1	9,6	11,9	16,9	21,6	19,4	15,3	11,7	4,7	0,8	9,7
	Heizgradtagzahl <sup>1)</sup>	(°C*d)	584	572	524	282	165	18	0	0	10	146	439	594	3332
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m <sup>2</sup>	37	58	96	134	168	227	253	203	134	74	35	41	122
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	83	78	75	71	74	69	64	69	76	84	82	87	76
Niederschlag	Summen	mm	43	48	42	83	165	98	86	64	84	101	99	34	946
Druck	Mittelwerte	hPa	964	963	956	964	961	967	968	968	966	967	965	972	965

1) Heizgradtagzahl: Monatliche Summe der täglichen Differenzen zwischen Raumtemperatur (20 °C) und der Tagesmittel-Temperatur aller Heiztage (Heiztag: Tag mit Tagesmitteltemperatur <= 12 °C)

**Jahresübersicht  
2013**

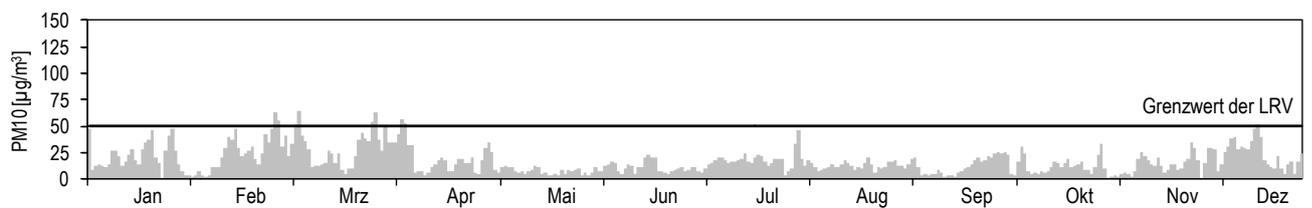
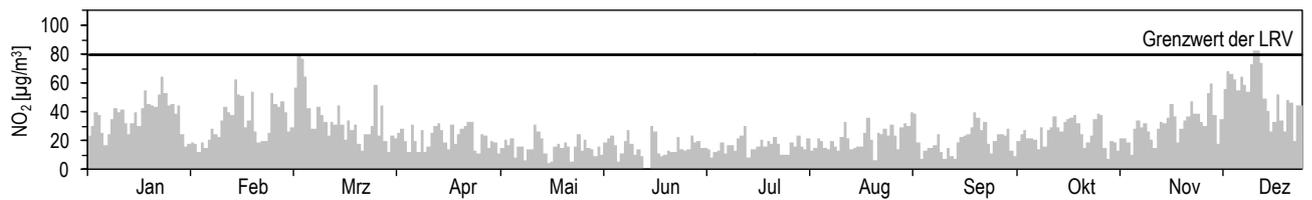
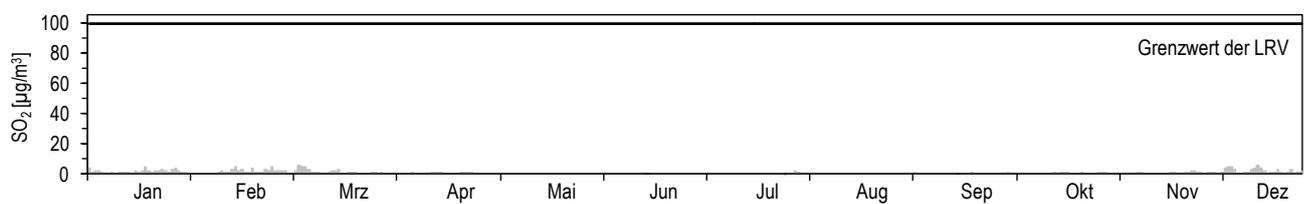
**Dübendorf-Empa**

Vorstädtisch

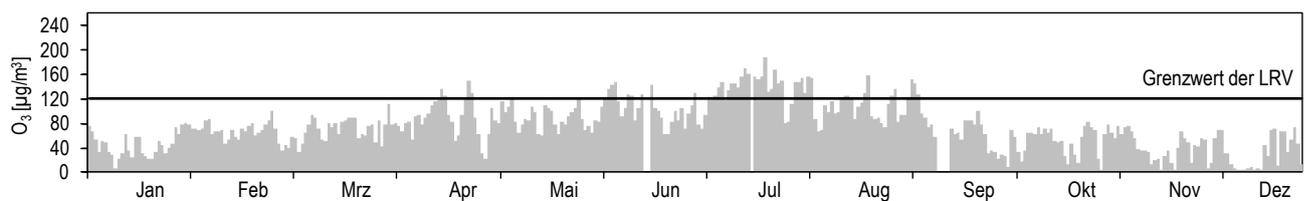


Koordinaten: 688'675 / 250'900  
Höhe: 432 m

**Tagesmittelwerte für SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> und PM10**



**Maximales Stundenmittel pro Tag für O<sub>3</sub>**



<b>Jahresübersicht 2013</b>	<b>Härkingen-A1</b>		Koordinaten: 628'875 / 240'185	
	Ländlich, Autobahn		Höhe: 431 m	

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO <sub>2</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	1,1	1,2	1,1	0,7	0,6	0,4	0,5	0,5	0,6	0,8	0,9	1,3	0,8
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	2,7	2,6	2,3	1,5	0,8	0,8	0,8	1,0	0,9	1,7	2,2	3,0	3,0
	24h-Mittel >100 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO <sub>2</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	46	44	43	36	34	26	31	31	35	36	33	48	37
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	75	85	78	61	56	49	61	62	58	57	58	67	85
	24h-Mittel >80 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
NO	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	43	34	38	27	30	21	21	23	33	44	32	61	34
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	92	133	126	75	63	55	47	50	70	104	93	163	163
NO <sub>x</sub>	Mittelwerte	ppb	59	51	52	41	42	30	33	35	45	54	43	74	47
	max. 24h-Mittelwert	ppb	112	151	142	92	80	70	62	73	86	111	98	165	165
O <sub>3</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	18	37	38	47	48	60	71	53	34	19	23	13	38
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m <sup>3</sup>	65	75	84	95	104	145	154	120	103	65	69	59	154
	max. 1h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	79	87	99	129	116	171	170	146	154	74	82	72	171
	1h-Mittel >120 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	1	0	48	114	15	7	0	0	0	185
	1h-Mittel >180 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel >240 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO	Mittelwerte	mg/m <sup>3</sup>	0,41	0,41	0,40	0,32	0,23	0,21	0,23	0,23	0,24	0,29	0,28	0,45	0,31
	max. 24h-Mittelwert	mg/m <sup>3</sup>	0,62	0,72	0,68	0,44	0,30	0,27	0,32	0,39	0,35	0,42	0,48	0,87	0,87
	24h-Mittel >8 mg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	25	31	32	26	12	14	20	16	14	14	15	23	20
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	51	72	71	56	30	35	30	48	29	31	36	44	72
	24h-Mittel >50 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	1	6	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	14
SN	Mittelwerte	mg/(m <sup>2</sup> d)	70	96	68	161	125	81	104	59	63	59	61	59	84

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	1,0	-0,5	3,0	9,6	12,1	17,2	21,8	19,8	15,7	12,0	5,0	1,0	9,9
	Heizgradtagzahl <sup>1)</sup>	(°C*d)	589	573	526	277	143	9	0	0	9	126	435	590	3277
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m <sup>2</sup>	44	69	100	144	181	246	273	229	144	78	43	41	133
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	85	80	77	74	74	69	65	68	76	82	80	88	76
Niederschlag	Summen	mm	32*	54	34	110	120	73	111	44	84	91	108	61	920
Druck	Mittelwerte	hPa	964	964	958	965	963	969	970	969	968	968	967	974	966

1) Heizgradtagzahl: Monatliche Summe der täglichen Differenzen zwischen Raumtemperatur (20 °C) und der Tagesmittel-Temperatur aller Heiztage (Heiztag: Tag mit Tagesmitteltemperatur <= 12 °C)  
 \*) unvollständige Messreihe (siehe Anhang A5), aber mindestens 50 % der Messwerte vorhanden

Verkehr	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
---------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

Verkehrszähler Fz/Tag Wegen Bauarbeiten liegen keine gültigen Verkehrszahlen vor.

Die Verkehrsdaten wurden durch das Bundesamt für Strassen (ASTRA) erhoben.

**Jahresübersicht  
2013**

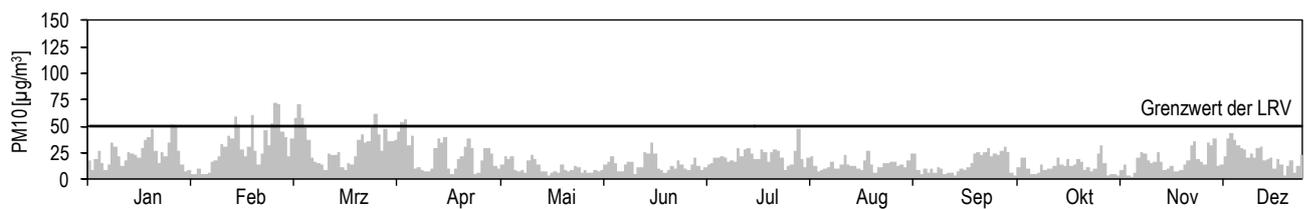
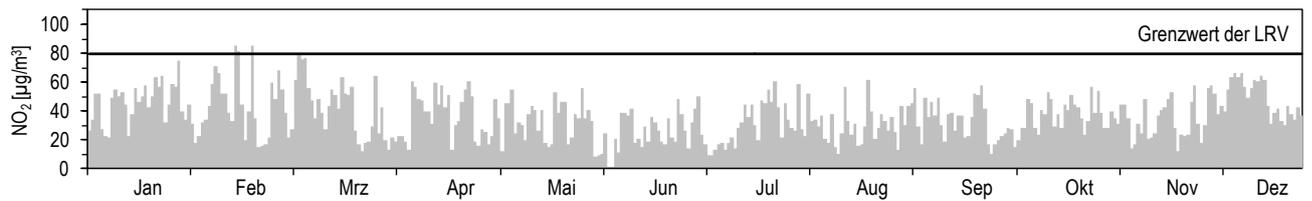
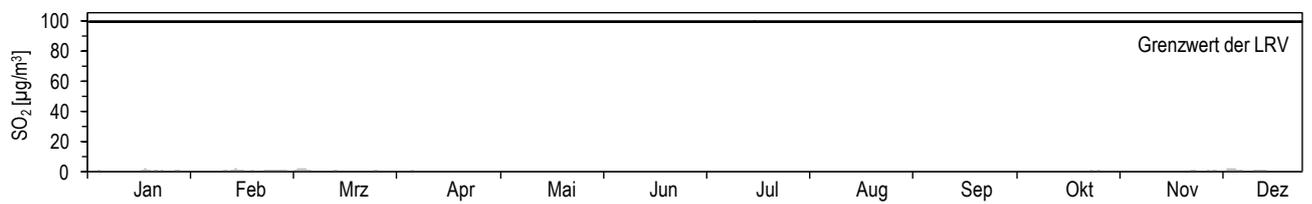
**Härkingen-A1**

Ländlich, Autobahn

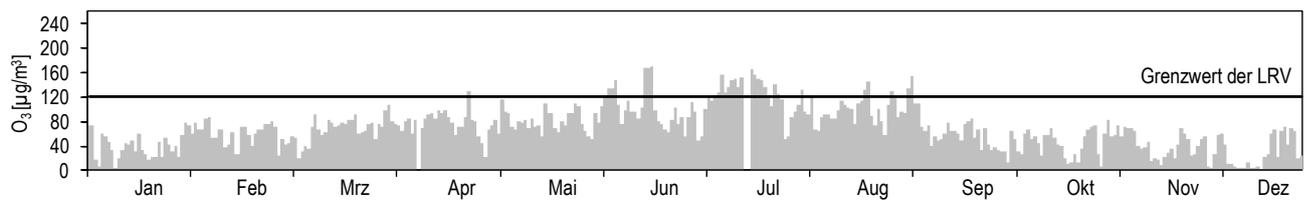


Koordinaten: 628'875 / 240'185  
Höhe: 431m

**Tagesmittelwerte für SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> und PM<sub>10</sub>**



**Maximales Stundenmittel pro Tag für O<sub>3</sub>**



<b>Jahresübersicht 2013</b>	<b>Jungfrauoch</b>		Koordinaten: 641'910 / 155'280
	Hochgebirge		Höhe: 3580 m

Luftschadstoffe <sup>1)</sup>			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO <sub>2</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	0,05	0,07	0,02	0,01	0,00	0,03	0,02	0,03	0,01	0,10	0,06	0,06	0,04
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	0,73	0,30	0,19	0,13	0,03	0,12	0,06	0,15	0,08	0,19	0,45	0,13	0,73
	24h-Mittel >100 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO <sub>2</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	0,32	0,56	0,44*	-	-	-	0,18*	0,16	0,16	0,27	0,39	0,33	0,31
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	1,79	2,54	2,69*	-	-	-	0,39*	0,27	0,36	2,07	1,28	2,61	2,69
	24h-Mittel >80 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	0*	-	-	-	0*	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	0,05	0,11	0,06*	-	-	-	0,02*	0,02	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	0,31	0,56	0,27*	-	-	-	0,06*	0,05	0,07	0,23	0,17	0,41	0,56
NO <sub>x</sub>	Mittelwerte	ppb	0,29	0,54	0,39*	-	-	-	0,16*	0,15	0,14	0,24	0,33	0,29	0,27
	max. 24h-Mittelwert	ppb	1,43	2,19	2,28*	-	-	-	0,35*	0,25	0,34	1,77	1,13	2,38	2,38
O <sub>3</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	66	67	78	83	78	80	93	77	74	65	67	68	75
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m <sup>3</sup>	79	84	93	106	95	105	130	99	111	82	129	85	130
	max. 1h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	89	106	99	151	103	112	143	110	143	100	180	114	180
	1h-Mittel >120 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	6	0	0	19	0	7	0	17	0	49
	1h-Mittel >180 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel >240 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO	Mittelwerte	mg/m <sup>3</sup>	0,11	0,13	0,13	0,12	0,11	0,09	0,10	0,09	0,08	0,08	0,09	0,09	0,10
	max. 24h-Mittelwert	mg/m <sup>3</sup>	0,16	0,21	0,17	0,18	0,12	0,13	0,14	0,11	0,10	0,11	0,12	0,15	0,21
	24h-Mittel >8 mg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	0,7	1,0	1,3	2,6	2,4	3,7	4,8	5,3	1,8	1,3	0,3	0,3	2,1
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	2,0	1,9	3,3	7,4	16,6	17,4	10,5	36,0	13,7	9,1	0,9	0,8	36,0
	24h-Mittel >50 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

1) Die Umrechnung von ppb in µg/m<sup>3</sup> und ppm in mg/m<sup>3</sup> erfolgt für die Station Jungfrauoch mit standortabhängigen Faktoren (Anhang A5)

-) keine Messwerte vorhanden

\*) unvollständige Messreihe (siehe Anhang A5), aber mindestens 50 % der Messwerte vorhanden

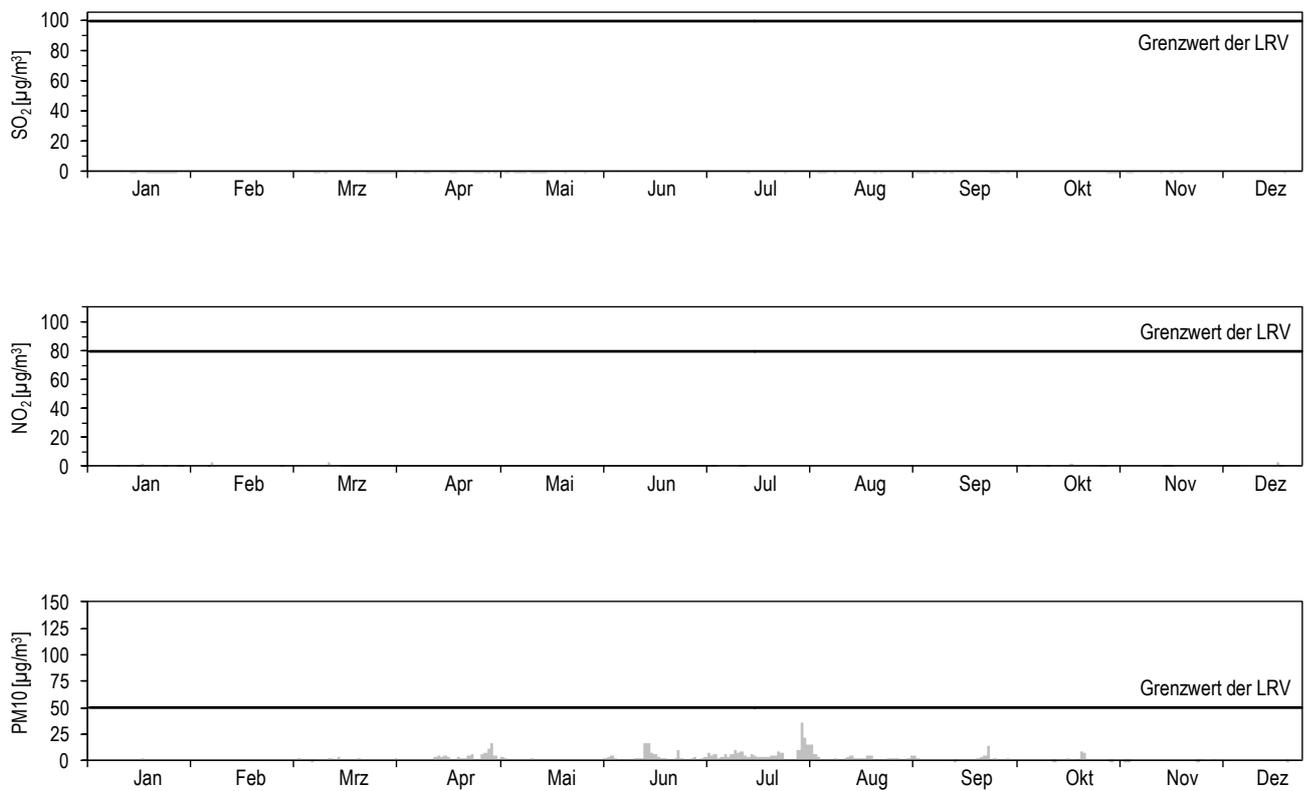
Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	-13,6	-18,6	-13,8	-7,8	-8,0	-3,2	1,7	0,7	-1,8	-4,1	-10,0	-9,6	-7,2
	Heizgradtagzahl <sup>2)</sup>	(°C*d)	1040	889	1047	833	869	695	568	598	655	770	900	918	9759
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m <sup>2</sup>	86	129	176	242	278	298	302	254	194	133	80	71	187
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	63	75	71	73	89	81	68	70	73	74	63	46	70
Druck	Mittelwerte	hPa	647	642	642	652	651	660	665	664	660	658	650	656	654

2) Heizgradtagzahl: Monatliche Summe der täglichen Differenzen zwischen Raumtemperatur (20 °C) und der Tagesmittel-Temperatur aller Heiztage (Heiztag: Tag mit Tagesmitteltemperatur ≤ 12 °C)

Die meteorologischen Daten wurden durch die MeteoSchweiz erhoben.

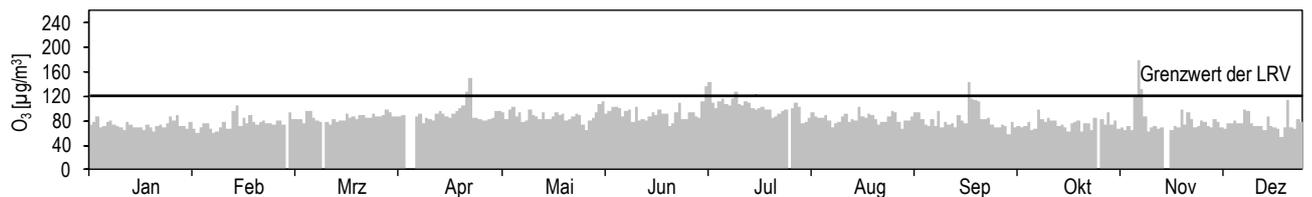
<b>Jahresübersicht 2013</b>	<b>Jungfrauoch</b>		Koordinaten: 641'910 / 155'280 Höhe: 3580 m
	Hochgebirge		

### Tagesmittelwerte für SO<sub>2</sub><sup>1)</sup>, NO<sub>2</sub><sup>1)</sup> und PM10

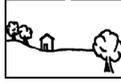


1) Die Umrechnung von ppb in µg/m<sup>3</sup> und ppm in mg/m<sup>3</sup> erfolgt für die Station Jungfrauoch mit standortabhängigen Faktoren (Anhang A5)

### Maximales Stundenmittel pro Tag für O<sub>3</sub><sup>1)</sup>



1) Die Umrechnung von ppb in µg/m<sup>3</sup> und ppm in mg/m<sup>3</sup> erfolgt für die Station Jungfrauoch mit standortabhängigen Faktoren (Anhang A5)

<b>Jahresübersicht 2013</b>	<b>Lägeren</b>		Koordinaten: 669'780 / 259'020 Höhe: 689 m
	Ländlich, unterhalb 1000 m		

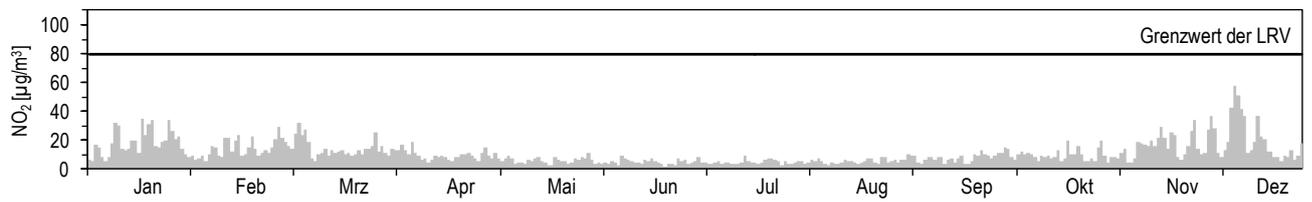
Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
NO <sub>2</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	18,5	14,4	14,9	10,1	6,6	5,0	5,2	5,5	7,5	10,2	15,4	20,5	11,2
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	35,3	29,0	32,5	18,7	11,5	9,1	9,8	8,7	13,0	19,5	34,6	57,9	57,9
	24h-Mittel >80 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	2,4	1,3	1,4	1,0	0,8	0,6	0,4	0,5	1,0	1,3	2,0	3,5	1,4
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	11,0	2,8	4,6	1,9	1,3	1,1	0,6	1,0	2,0	5,7	10,8	26,6	26,6
NO <sub>x</sub>	Mittelwerte	ppb	11,6	8,6	8,9	6,1	4,1	3,1	3,0	3,3	4,7	6,4	9,7	13,5	6,9
	max. 24h-Mittelwert	ppb	25,5	17,4	20,7	11,3	6,8	5,2	5,5	5,2	7,8	14,8	24,2	51,6	51,6
O <sub>3</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	39	59	66	77	74	85	106	90	66	42	26	35	64
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m <sup>3</sup>	78	87	95	132	110	146	158	146	135	67	55	61	158
	max. 1h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	81	95	103	148	118	159	175	158	149	75	62	65	175
	1h-Mittel >120 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	38	0	80	276	83	27	0	0	0	504
	1h-Mittel >180 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel >240 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	-0,8	-2,6	1,4	7,5	9,3	14,8	19,9	17,8	13,7	10,5	2,6	1,9	8,1
	Heizgradtagzahl <sup>1)</sup>	(°C*d)	646	633	577	340	270	108	0	0	111	236	515	561	3987
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m <sup>2</sup>	39	60	99	140	180	236	284	233	147	80	41	53	133
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	89	87	78	76	80	72	63	69	80	84	88	78	79
Niederschlag	Summen	mm	38	32	41	115	127	42	86	42	77	104	99	40	843
Druck	Mittelwerte	hPa	933	932	926	934	932	938	940	939	937	937	935	941	935

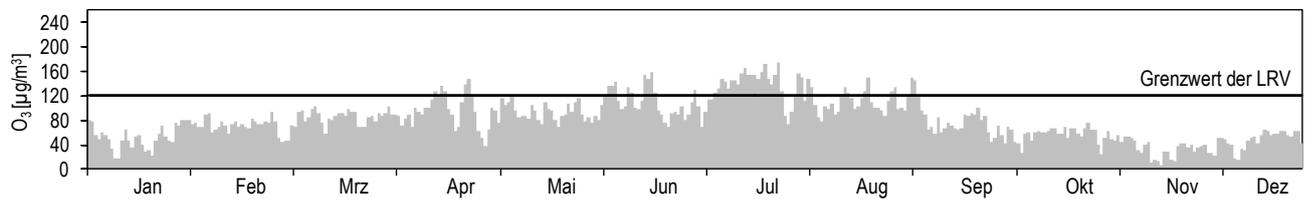
1) Heizgradtagzahl: Monatliche Summe der täglichen Differenzen zwischen Raumtemperatur (20 °C) und der Tagesmittel-Temperatur aller Heitztage (Heiztag: Tag mit Tagesmitteltemperatur <= 12 °C)

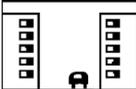
<b>Jahresübersicht 2013</b>	<b>Lägeren</b>		Koordinaten: 669'780 / 259'020 Höhe: 689 m
	Ländlich, unterhalb 1000 m		

**Tagesmittelwerte für NO<sub>2</sub>**



**Maximales Stundenmittel pro Tag für O<sub>3</sub>**



<b>Jahresübersicht 2013</b>	<b>Lausanne-César-Roux</b>		Koordinaten: 538'695 / 152'615 Höhe: 530 m
	Städtisch verkehrsbelastet		

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
NO <sub>2</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	47	45	50	40	39	39	38	34	42	40	36	57	42
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	62	74	87	66	55	62	54	55	71	51	58	78	87
	24h-Mittel >80 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
NO	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	26	20	25	18	18	13	12	10	18	26	21	40	21
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	45	42	64	45	30	24	21	19	43	45	46	99	99
NO <sub>x</sub>	Mittelwerte	ppb	46	39	47	35	35	31	30	26	36	42	36	62	39
	max. 24h-Mittelwert	ppb	65	71	97	60	48	48	42	41	71	62	64	118	118
O <sub>3</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	23	41	35	51	52	60	76	67	43	25	26	19	43
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m <sup>3</sup>	61	71	80	97	87	114	134	112	91	60	62	61	134
	max. 1h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	70	81	92	118	96	153	141	142	108	70	73	70	153
	1h-Mittel >120 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	10	69	9	0	0	0	0	88
	1h-Mittel >180 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel >240 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO	Mittelwerte	mg/m <sup>3</sup>	0,44	0,44	0,48	0,39	0,33	0,34	0,37	0,33	0,39	0,41	0,37	0,53	0,40
	max. 24h-Mittelwert	mg/m <sup>3</sup>	0,65	0,74	0,80	0,55	0,48	0,48	0,45	0,46	0,64	0,58	0,56	0,83	0,83
	24h-Mittel >8 mg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	24	30	37	25	12	15	18	14	14	15	15	25	20
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	52	77	91	67	32	36	29	23	31	36	37	46	91
	24h-Mittel >50 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	1	4	8	4	0	0	0	0	0	0	0	0	17
SN	Mittelwerte	mg/(m <sup>2</sup> d)	57	80	93	94	108	98	78	66	66	66	80	44	78

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	2,2	0,6	4,7	10,6	12,0	17,7	22,4	20,9	17,0	13,7	6,0	3,9	11,0
	Heizgradtagzahl <sup>1)</sup>	(°C*d)	551	543	473	240	152	8	0	0	9	74	394	500	2944
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m <sup>2</sup>	46	85	99	171	174	248	273	242	157	83	54	46	140
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	76	72	70	64	69	62	60	60	68	76	73	77	69
Niederschlag	Summen	mm	65	48	80	86	139	89	122	40	90	213	113	101	1186
Druck	Mittelwerte	hPa	953	952	945	953	951	957	958	957	956	956	954	961	955

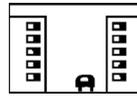
1) Heizgradtagzahl: Monatliche Summe der täglichen Differenzen zwischen Raumtemperatur (20 °C) und der Tagesmittel-Temperatur aller Heitztage (Heiztag: Tag mit Tagesmitteltemperatur <= 12 °C)

Verkehr		Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Verkehrszähler	Fz/Tag	29'354	30'351	31'293	30'737	31'058	31'353	29'155	27'872	31'207	31'628	32'534	30'471	30'566

**Jahresübersicht  
2013**

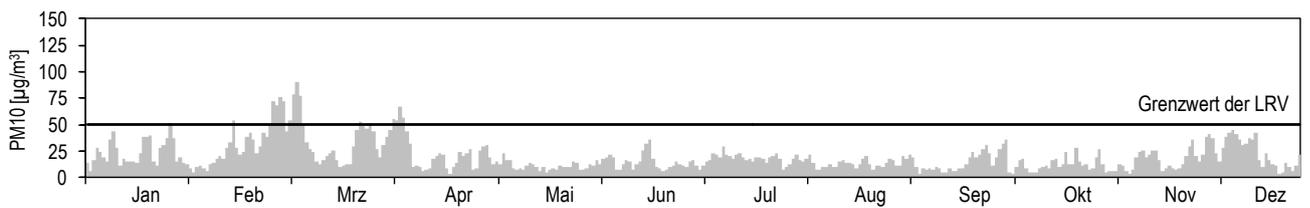
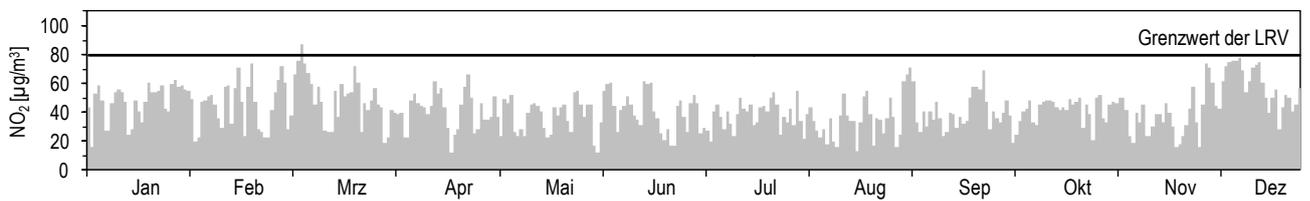
**Lausanne-César-Roux**

Städtisch, verkehrsbelastet

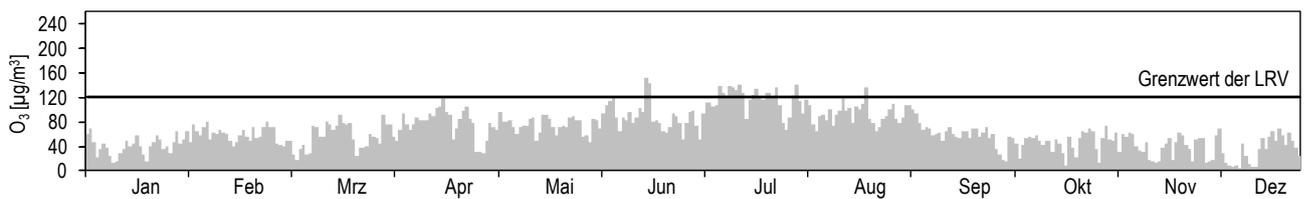


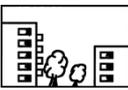
Koordinaten: 538'695 / 152'615  
Höhe: 530 m

**Tagesmittelwerte für NO<sub>2</sub> und PM<sub>10</sub>**



**Maximales Stundenmittel pro Tag für O<sub>3</sub>**



<b>Jahresübersicht 2013</b>	<b>Lugano-Universität</b>		Koordinaten: 717'615 / 096'645	
	Städtisch		Höhe: 280 m	

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO <sub>2</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	7,2	5,4	3,6	2,3	1,2	0,9	0,9	0,7	0,9	1,9	3,2	5,9	2,8
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	11,1	9,2	6,0	3,9	1,7	1,4	1,9	1,1	1,3	3,0	6,6	9,0	11,1
	24h-Mittel >100 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO <sub>2</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	50	45	39	32	20	17	18	17	23	32	36	49	32
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	73	77	71	50	37	28	27	25	30	50	57	70	77
	24h-Mittel >80 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	24,1	13,9	6,2	4,6	2,5	1,4	2,6	1,8	3,8	12,9	15,0	32,1	10,1
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	57,1	44,0	15,9	21,9	6,1	4,3	8,0	4,3	9,6	28,9	38,2	77,5	77,5
NO <sub>x</sub>	Mittelwerte	ppb	45	35	26	21	12	10	12	10	15	27	31	51	25
	max. 24h-Mittelwert	ppb	84	70	50	42	22	17	18	15	22	48	57	99	99
O <sub>3</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	17	34	41	61	65	90	109	95	64	19	23	15	53
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m <sup>3</sup>	71	79	96	141	115	181	190	192	158	71	80	77	192
	max. 1h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	99	90	108	170	124	206	203	215	191	90	91	85	215
	1h-Mittel >120 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	48	4	123	289	180	54	0	0	0	698
	1h-Mittel >180 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	13	37	19	2	0	0	0	71
	1h-Mittel >240 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO	Mittelwerte	mg/m <sup>3</sup>	0,59	0,49	0,44	0,37	0,24	0,24	0,25	0,22	0,26	0,38	0,39	0,54	0,37
	max. 24h-Mittelwert	mg/m <sup>3</sup>	0,78	0,79	0,63	0,53	0,31	0,33	0,30	0,32	0,33	0,51	0,63	0,82	0,82
	24h-Mittel >8 mg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NMVOC	Mittelwerte	µgCH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup>	112	92	82	91	67	82	82	71	82	113	97	130	92
	max. 24h-Mittelwert	µgCH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup>	199	163	117	142	109	129	101	101	114	177	172	231	231
CH <sub>4</sub>	Mittelwerte	mg/m <sup>3</sup>	1,33	1,33	1,32	1,33	1,27	1,29	1,29	1,29	1,28	1,31	1,32	1,33	1,31
PM10	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	29	26	24	20	11	14	17	12	12	19	15	17	18
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	55	67	52	49	34	29	26	28	21	51	60	29	67
	24h-Mittel >50 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	4	2	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	9

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	4,8	3,7	6,3	11,6	14,4	20,2	23,7	22,7	18,8	13,8	8,8	5,3	12,9
	Heizgradtagzahl <sup>1)</sup>	(°C*d)	462	457	425	175	37	0	0	0	0	47	278	457	2336
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m <sup>2</sup>	61	99	118	162	197	282	283	245	179	65	61	54	151
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	70	64	75	79	71	63	66	65	70	86	72	73	71
Niederschlag	Summen	mm	38	36	118	288	303	64	139	74	123	215	116	198	1713
Druck	Mittelwerte	hPa	977	976	972	979	975	980	983	981	980	984	978	988	980

1) Heizgradtagzahl: Monatliche Summe der täglichen Differenzen zwischen Raumtemperatur (20 °C) und der Tagesmittel-Temperatur aller Heiztage (Heiztag: Tag mit Tagesmitteltemperatur <= 12 °C)

Die meteorologischen Daten wurden durch die MeteoSchweiz erhoben.

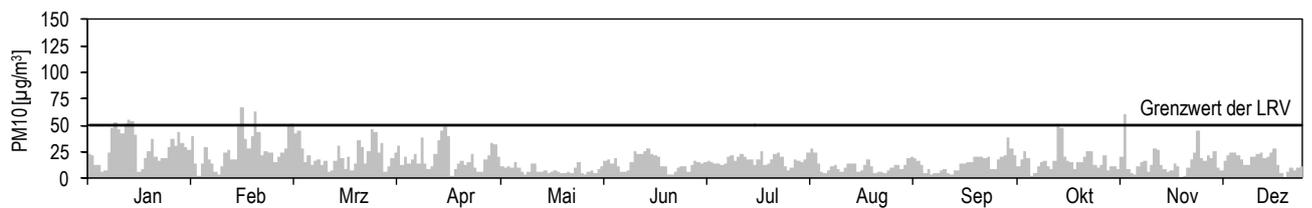
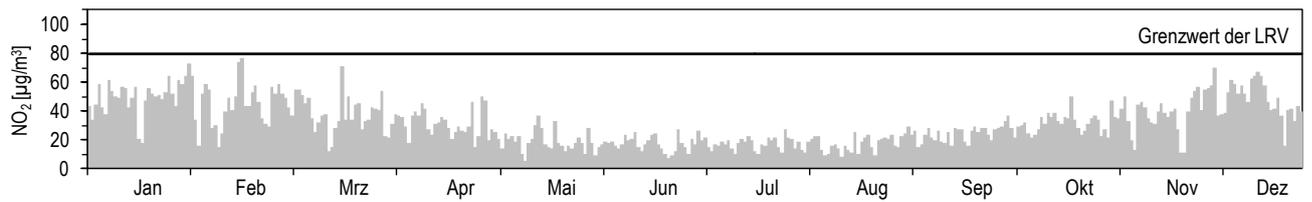
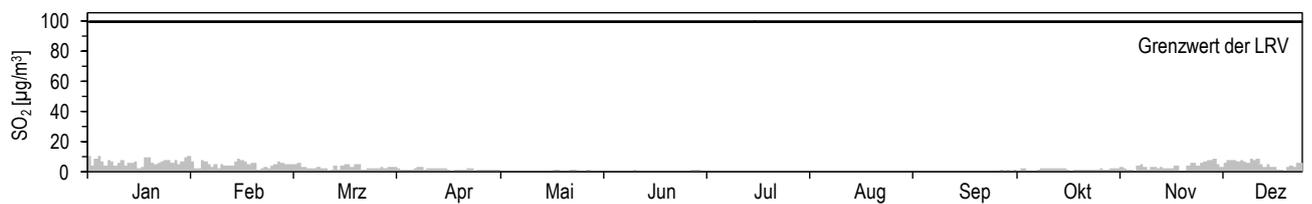
**Jahresübersicht  
2013**

**Lugano-Universität**  
Städtisch

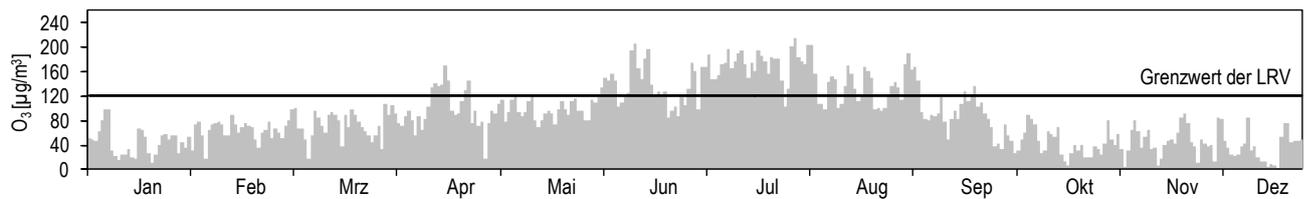


Koordinaten: 717'615 / 096'645  
Höhe: 280 m

**Tagesmittelwerte für SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> und PM<sub>10</sub>**



**Maximales Stundenmittel pro Tag für O<sub>3</sub>**



<b>Jahresübersicht 2013</b>	<b>Magadino-Cadenazzo</b>		Koordinaten: 715'500 / 113'200 Höhe: 203 m
	Ländlich, unterhalb 1000 m		

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO <sub>2</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	3,6	2,5	2,4	2,7	1,4	0,9	0,8	0,6	0,7	1,0	1,6	3,4	1,8
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	5,4	4,6	4,2	5,6	3,1	3,1	2,1	1,1	1,5	2,0	5,2	5,6	5,6
	24h-Mittel >100 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO <sub>2</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	34	28	22	17	10	8	10	9	12	17	22	39	19
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	47	56	34	24	20	14	16	14	18	27	49	63	63
	24h-Mittel >80 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	23,9	9,9	3,2	2,0	1,2	1,3	1,4	1,0	2,4	6,5	19,9	65,4	11,6
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	69,4	42,7	10,2	7,7	4,9	2,1	1,9	2,1	6,0	21,4	81,7	155,6	155,6
NO <sub>x</sub>	Mittelwerte	ppb	36,8	22,8	14,0	10,2	6,1	5,0	6,3	5,4	8,0	14,0	27,7	72,9	19,2
	max. 24h-Mittelwert	ppb	79,5	63,3	25,4	16,6	11,8	8,8	9,7	9,0	13,4	29,1	91,0	157,6	157,6
O <sub>3</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	19	38	48	65	67	79	85	70	48	20	23	13	48
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m <sup>3</sup>	72	86	105	146	116	157	173	159	140	70	82	79	173
	max. 1h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	94	97	114	163	124	192	207	207	164	91	88	91	207
	1h-Mittel >120 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	55	6	98	210	95	27	0	0	0	491
	1h-Mittel >180 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	2	8	8	0	0	0	0	18
	1h-Mittel >240 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	31	24	23	16	9	14	17	12	11	17	17	30	18
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	63	53	45	37	29	28	25	26	24	41	48	59	63
	24h-Mittel >50 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	8
SN	Mittelwerte	mg/(m <sup>2</sup> d)	17	25	26	160	73	90	59	64	56	61	26	17	56

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	2,6	2,7	6,0	11,9	14,2	19,7	22,5	21,1	17,1	13,0	7,2	1,8	11,7
	Heizgradtagzahl <sup>1)</sup>	(°C*d)	534	486	434	171	55	0	0	0	0	98	363	563	2703
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m <sup>2</sup>	59	97	126	165	197	275	279	240	176	69	56	45	149
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	74	65	73	75	70	65	72	72	76	87	77	81	74
Niederschlag	Summen	mm	35	16	103	337	308	91	104	105	141	301	106	277	1923
Druck	Mittelwerte	hPa	989	987	983	990	987	992	994	992	991	995	990	1000	991

1) Heizgradtagzahl: Monatliche Summe der täglichen Differenzen zwischen Raumtemperatur (20 °C) und der Tagesmittel-Temperatur aller Heitztage (Heiztag: Tag mit Tagesmitteltemperatur <= 12 °C)

Die meteorologischen Daten wurden durch die MeteoSchweiz erhoben.

**Jahresübersicht  
2013**

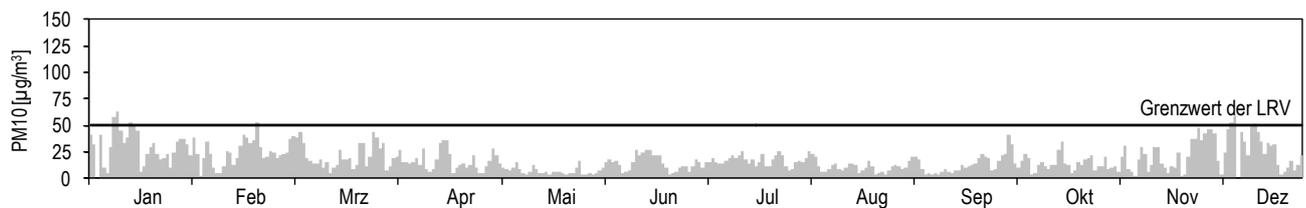
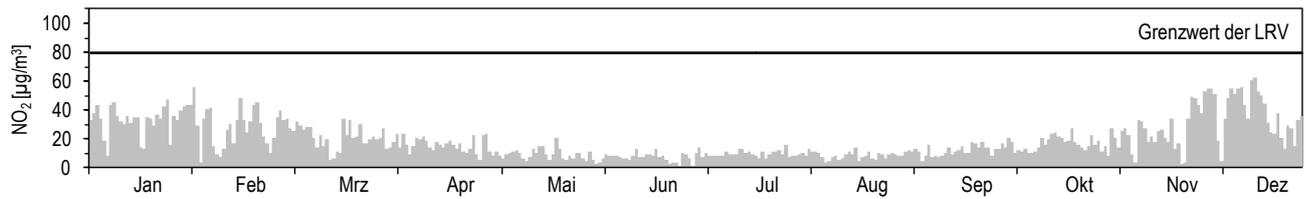
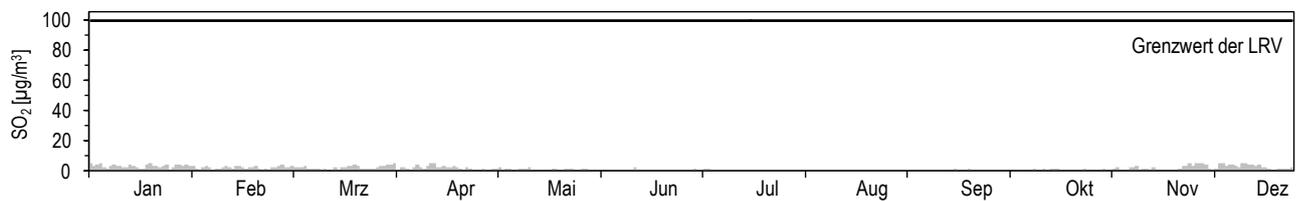
**Magadino-Cadenazzo**

Ländlich, unterhalb 1000 m

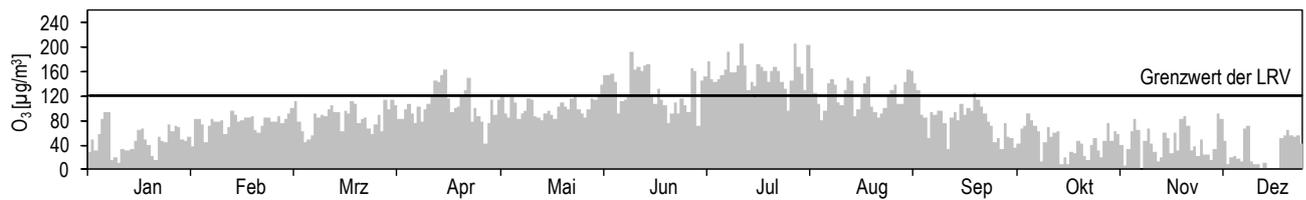


Koordinaten: 715'500 / 113'200  
Höhe: 203 m

**Tagesmittelwerte für SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> und PM<sub>10</sub>**



**Maximales Stundenmittel pro Tag für O<sub>3</sub>**



<b>Jahresübersicht 2013</b>	<b>Payerne</b>		Koordinaten: 562'285 / 184'775 Höhe: 489 m
	Ländlich, unterhalb 1000 m		

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO <sub>2</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	0,84	0,99	0,71	0,45	0,22	0,31	0,36	0,31	0,29	0,33	0,28	0,48	0,46
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	2,19	1,96	1,68	0,75	0,38	0,51	0,58	0,80	0,74	0,48	0,84	1,15	2,19
	24h-Mittel >100 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO <sub>2</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	22,9	20,4	19,7	13,5	7,2	7,5	8,7	8,3	9,1	12,6	15,9	24,8	14,2
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	48,9	42,3	41,4	24,5	16,3	12,2	13,4	13,6	16,3	20,3	38,8	47,6	48,9
	24h-Mittel >80 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	3,2	1,7	2,2	1,2	0,7	0,6	0,7	0,7	1,2	2,6	2,5	10,9	2,4
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	13,1	8,4	14,4	3,2	2,1	1,4	2,0	1,9	4,2	9,1	12,2	52,8	52,8
NO <sub>x</sub>	Mittelwerte	ppb	14,6	12,1	12,1	8,0	4,3	4,4	5,1	5,0	5,7	8,6	10,3	21,7	9,3
	max. 24h-Mittelwert	ppb	36,1	28,8	32,1	14,5	9,7	7,5	7,8	8,1	10,1	17,9	26,1	61,8	61,8
O <sub>3</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	34	53	50	64	65	70	82	68	52	32	34	26	52
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m <sup>3</sup>	74	84	95	125	105	144	149	132	124	75	76	74	149
	max. 1h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	83	92	106	141	122	154	158	147	157	89	83	79	158
	1h-Mittel >120 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	24	1	50	155	49	19	0	0	0	298
	1h-Mittel >180 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel >240 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO	Mittelwerte	mg/m <sup>3</sup>	0,33	0,35	0,34	0,26	0,18	0,16	0,18*	0,17	0,18	0,22	0,23	0,35	0,25
	max. 24h-Mittelwert	mg/m <sup>3</sup>	0,63	0,59	0,60	0,41	0,27	0,21	0,22*	0,23	0,25	0,38	0,37	0,64	0,64
	24h-Mittel >8 mg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0*	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	19	26	28	19	7	11	16	12	11	12	12	14	15
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	46	65	72	59	24	29	23	22	28	33	29	26	72
	24h-Mittel >50 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	3	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	9
SN	Mittelwerte	mg/(m <sup>2</sup> d)	10	13	23	60	98	43	23	52	36	27	11	13	34

\*) unvollständige Messreihe (siehe Anhang A5), aber mindestens 50 % der Messwerte vorhanden

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	0,7	-0,9	2,6	9,2	10,9	16,2	20,6	18,6	15,0	11,5	4,7	0,5	9,2
	Heizgradtagzahl <sup>1)</sup>	(°C*d)	598	584	538	282	208	34	0	0	27	160	445	605	3483
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m <sup>2</sup>	50	83	100	166	187	262	280	247	163	85	52	46	144
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	84	80	82	76	78	73	70	74	80	88	82	89	80
Niederschlag	Summen	mm	37	47	72	92	115	57	90	69	75	137	90	77	957
Druck	Mittelwerte	hPa	958	957	950	957	955	961	962	961	960	961	959	966	959

1) Heizgradtagzahl: Monatliche Summe der täglichen Differenzen zwischen Raumtemperatur (20 °C) und der Tagesmittel-Temperatur aller Heiztage (Heiztag: Tag mit Tagesmitteltemperatur <= 12 °C)

Die meteorologischen Daten wurden durch die MeteoSchweiz erhoben.

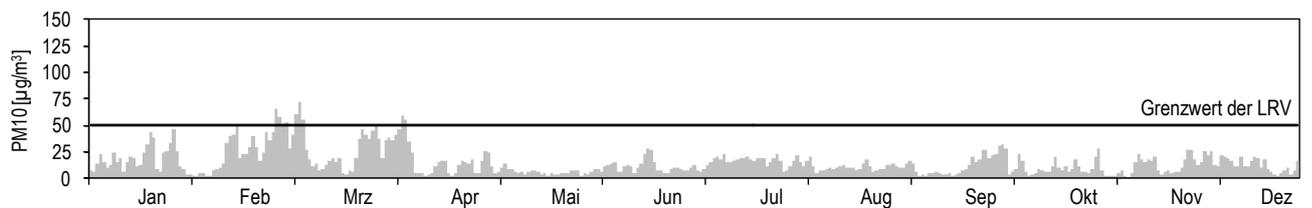
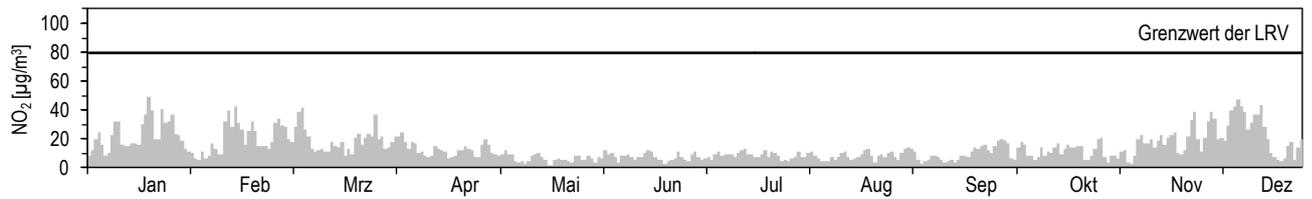
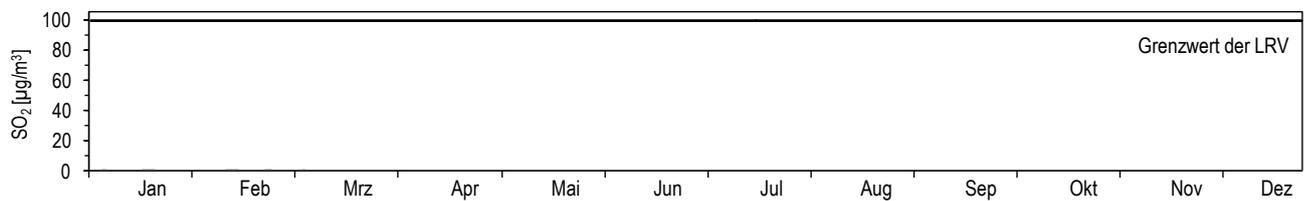
**Jahresübersicht  
2013**

**Payerne**  
Ländlich, unterhalb 1000 m

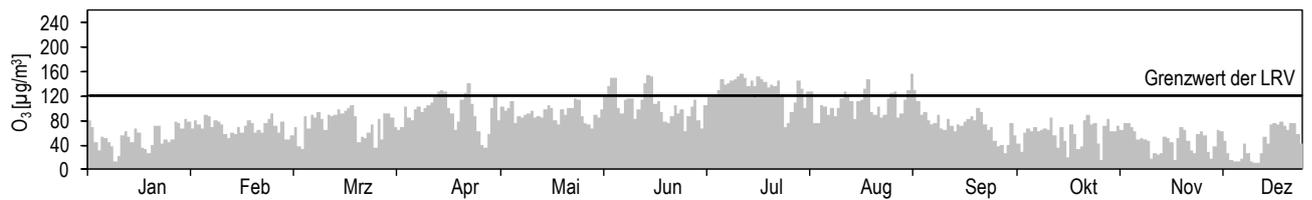


Koordinaten: 562'285 / 184'775  
Höhe: 489 m

**Tagesmittelwerte für SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> und PM<sub>10</sub>**



**Maximales Stundenmittel pro Tag für O<sub>3</sub>**



<b>Jahresübersicht 2013</b>	<b>Rigi-Seebodenalp</b>		Koordinaten: 677'835 / 213'440
	Ländlich, oberhalb 1000 m		Höhe: 1031 m

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO <sub>2</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	0,52	0,75	0,56	0,37	0,27	0,33	0,41	0,38	0,31	0,23	0,27	0,23	0,38
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	2,81	2,17	1,15	0,78	0,41	0,49	0,77	0,72	0,81	0,36	0,75	0,51	2,81
	24h-Mittel >100 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO <sub>2</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	11,4	12,5	11,9	10,5	5,0	4,7	5,2	5,2	5,0	6,4	10,0	3,8	7,6
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	38,7	30,4	27,4	25,3	14,1	6,9	7,6	8,1	11,5	17,5	28,4	18,6	38,7
	24h-Mittel >80 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	0,79	0,80	0,74	0,55	0,20	0,17	0,18	0,19	0,28	0,51	0,82	0,15	0,45
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	4,40	2,58	2,81	2,27	1,01	0,51	0,53	0,57	0,90	3,93	5,52	1,29	5,52
NO <sub>x</sub>	Mittelwerte	ppb	6,6	7,2	6,8	5,9	2,8	2,6	2,8	2,8	2,8	3,7	5,9	2,1	4,3
	max. 24h-Mittelwert	ppb	23,4	18,0	16,3	15,1	8,2	4,0	4,2	4,6	6,7	12,3	17,0	10,8	23,4
O <sub>3</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	61	71	78	82	83	91	110	95	76	58	49	79	78
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m <sup>3</sup>	97	106	110	134	111	148	157	143	136	83	82	98	157
	max. 1h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	104	113	113	150	126	174	166	158	148	94	89	106	174
	1h-Mittel >120 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	63	6	76	293	96	38	0	0	0	572
	1h-Mittel >180 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel >240 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO	Mittelwerte	mg/m <sup>3</sup>	0,23	0,29	0,26	0,23	0,17	0,15	0,16	0,15	0,14	0,15	0,18	0,15	0,19
	max. 24h-Mittelwert	mg/m <sup>3</sup>	0,43	0,52	0,42	0,39	0,25	0,18	0,19	0,19	0,21	0,24	0,31	0,23	0,52
	24h-Mittel >8 mg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	5,2	12,0	9,5	12,6	5,4	8,7	12,1	9,7	6,1	4,7	4,4	2,2	7,7
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	16,5	39,0	42,0	44,1	18,6	21,6	19,3	15,8	13,2	9,5	22,1	6,7	44,1
	24h-Mittel >50 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SN	Mittelwerte	mg/(m <sup>2</sup> d)	14	16	12	43	68	67	68	34	35	28	16	11	34

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	-0,9	-4,3	0,6	5,9	7,6	13,2	17,9	16,0	12,5	9,9	1,4	2,4	6,9
	Heizgradtagzahl <sup>1)</sup>	(°C*d)	648	680	603	381	377	154	0	34	164	246	558	544	4380
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m <sup>2</sup>	39	60	99	139	149	204	256	204	139	77	36	45	121
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	78	86	77	80	83	75	71	76	79	81	87	60	78
Niederschlag	Summen	mm	44	37	52	95	174	170	106	99	132	105	88	30	1132
Druck	Mittelwerte	hPa	895	893	888	896	895	901	904	902	900	900	897	903	898

1) Heizgradtagzahl: Monatliche Summe der täglichen Differenzen zwischen Raumtemperatur (20 °C) und der Tagesmittel-Temperatur aller Heiztage (Heiztag: Tag mit Tagesmitteltemperatur <= 12 °C)

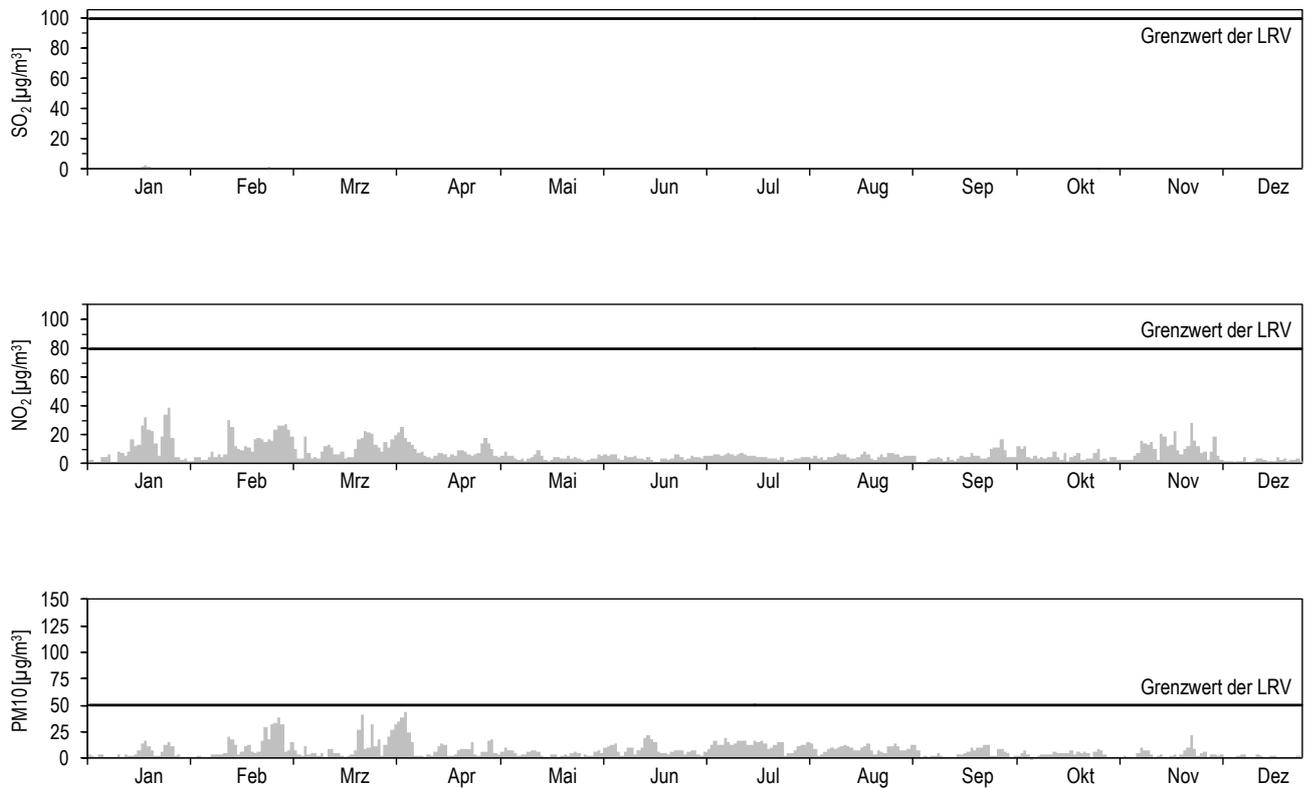
**Jahresübersicht  
2013**

**Rigi-Seebodenalp**  
Ländlich, oberhalb 1000 m

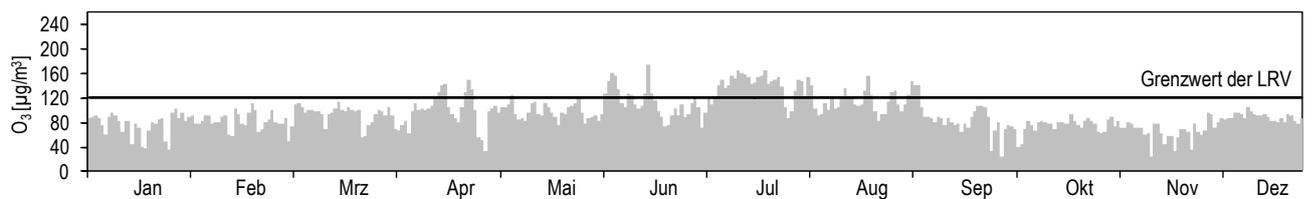


Koordinaten: 677'835 / 213'440  
Höhe: 1031 m

**Tagesmittelwerte für NO<sub>2</sub> und PM10**



**Maximales Stundenmittel pro Tag für O<sub>3</sub>**



<b>Jahresübersicht 2013</b>	<b>Sion-Aéroport-A9</b>		Koordinaten: 592'540 / 118'755
	Ländlich, Autobahn		Höhe: 483 m

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
NO <sub>2</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	59	46	39	26	18	20	23	22	26	31	44	68	35
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	82	66	65	42	28	31	35	34	47	48	66	101	101
	24h-Mittel >80 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	13
NO	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	43,7	20,3	17,1	10,2	6,6	6,2	7,3	7,5	14,7	25,1	43,2	80,3	23,6
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	91,5	52,9	41,9	34,1	15,7	13,0	11,7	14,8	33,3	58,2	92,2	167,2	167,2
NO <sub>x</sub>	Mittelwerte	ppb	66	40	34	22	15	16	18	17	26	36	57	100	37
	max. 24h-Mittelwert	ppb	116	76	68	45	27	27	28	28	51	71	109	187	187
O <sub>3</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	14	36	42	55	62	64	69	60	43	21	13	11	41
	98 %-Wert der 1/2h-Mittel	µg/m <sup>3</sup>	55	80	97	117	103	120	136	120	111	63	60	51	136
	max. 1h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	74	89	104	129	111	134	148	151	125	76	75	61	151
	1h-Mittel >120 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	6	0	16	68	13	4	0	0	0	107
	1h-Mittel >180 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel >240 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	32	29	26	21	10	14	17	15	14	15	23	33	21
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	46	61	60	60	35	40	26	23	30	33	46	51	61
	24h-Mittel >50 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	2	10

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	0,9	0,4	5,6	11,2	12,8	18,2	21,9	20,5	16,3	12,7	3,8	0,5	10,5
	Heizgradtagzahl <sup>1)</sup>	(°C*d)	593	548	448	223	116	17	0	0	0	125	485	606	3161
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m <sup>2</sup>	59	110	141	210	236	281	286	256	187	111	59	50	166
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	74	70	65	66	66	62	65	65	72	79	84	78	70
Niederschlag	Summen	mm	21	59	30	45	82	25	52	31	45	66	96	17	568
Druck	Mittelwerte	hPa	959	957	950	958	956	961	962	962	961	962	959	967	959

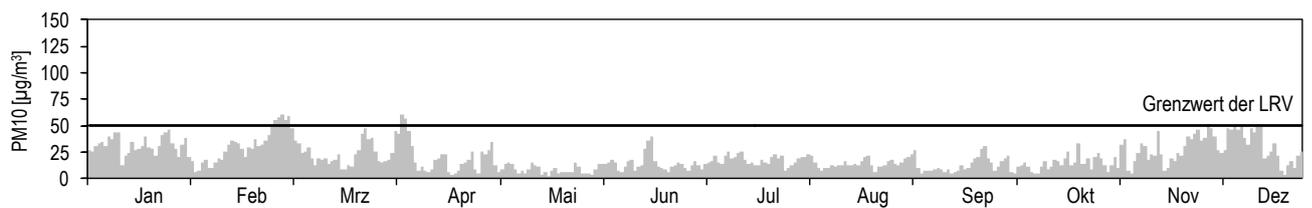
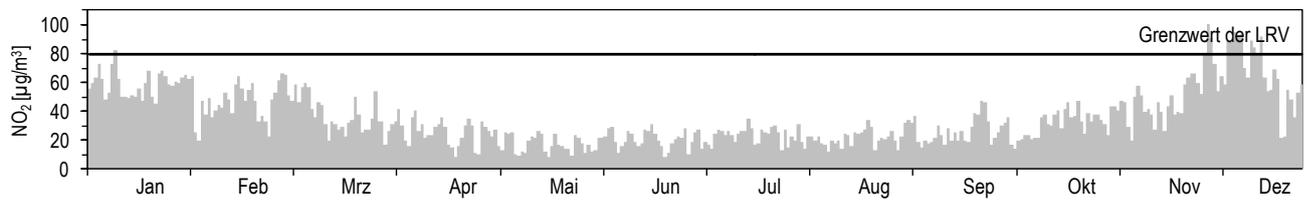
1) Heizgradtagzahl: Monatliche Summe der täglichen Differenzen zwischen Raumtemperatur (20 °C) und der Tagesmittel-Temperatur aller Heizztage (Heiztag: Tag mit Tagesmitteltemperatur <= 12 °C)

Die meteorologischen Daten wurden durch die MeteoSchweiz erhoben.

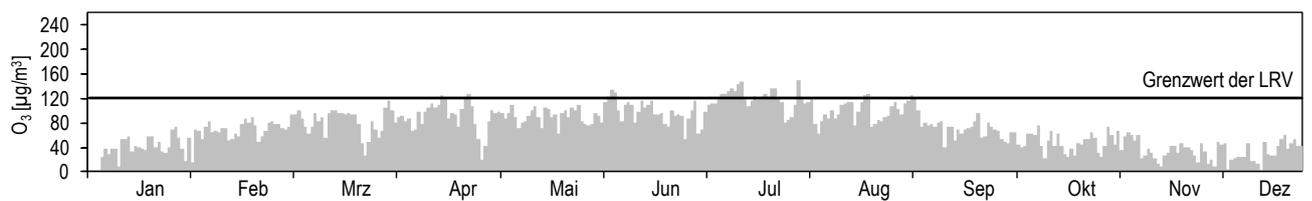
Verkehr		Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Verkehrszähler	Fz/Tag	35'501	38'063	38'953	37'521	36'636	37'406	38'707	38'866	38'755	39'120	36'955	36'982	37'758

<b>Jahresübersicht 2013</b>	<b>Sion-Aéroport-A9</b>		Koordinaten: 592'540 / 118'755 Höhe: 483 m
	Ländlich, Autobahn		

### Tagesmittelwerte für NO<sub>2</sub> und PM<sub>10</sub>



### Maximales Stundenmittel pro Tag für O<sub>3</sub>



<b>Jahresübersicht 2013</b>	<b>Tänikon</b>		Koordinaten: 710'500 / 259'810 Höhe: 538 m
	Ländlich, unterhalb 1000 m		

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
NO <sub>2</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	21,2	20,7	18,5	11,5	7,6	7,1	7,4	8,0	8,9	13,0	16,7	24,6	13,7
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	42,0	41,8	42,9	18,1	14,8	11,7	10,3	14,9	14,5	19,8	32,0	45,2	45,2
	24h-Mittel >80 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	4,6	2,5	2,8	1,6	1,0	1,0	0,8	1,2	1,7	4,3	5,6	14,0	3,4
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	23,6	7,0	12,7	3,9	4,0	2,7	1,9	2,9	7,7	20,1	34,1	57,0	57,0
NO <sub>x</sub>	Mittelwerte	ppb	14,8	12,8	11,9	7,3	4,7	4,5	4,5	5,2	6,0	10,3	13,3	24,1	9,9
	max. 24h-Mittelwert	ppb	36,6	27,5	32,6	12,2	10,9	7,4	6,3	9,9	13,3	24,8	36,7	69,2	69,2
O <sub>3</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	36	53	54	65	67	71	85	69	51	32	30	26	53
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m <sup>3</sup>	80	88	92	126	110	141	154	135	123	74	75	72	154
	max. 1h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	90	99	100	145	122	154	183	171	154	87	82	75	183
	1h-Mittel >120 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	20	3	50	151	58	16	0	0	0	298
	1h-Mittel >180 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	1h-Mittel >240 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	18,0	26,0	27,0	18,0	9,0	10,0	15,0	12,0	10,0	12,0	12,0	16,0	15,0
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	43,0	68,0	65,0	55,0	36,0	22,0	21,0	23,0	26,0	31,0	32,0	28,0	68,0
	24h-Mittel >50 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	2	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	7

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	0,5	-1,8	2,0	8,6	11,0	15,5	19,8	17,8	14,0	10,7	3,8	0,0	8,6
	Heizgradtagzahl <sup>1)</sup>	(°C*d)	604	610	559	301	205	53	0	0	81	231	464	619	3718
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m <sup>2</sup>	42	66	104	141	182	232	277	222	143	78	39	49	132
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	84	84	80	77	78	76	71	76	82	87	86	88	81
Niederschlag	Summen	mm	67	76	58	106	146	130	87	68	112	110	140	35	1134
Druck	Mittelwerte	hPa	951	950	944	952	949	955	957	956	954	955	953	960	953

1) Heizgradtagzahl: Monatliche Summe der täglichen Differenzen zwischen Raumtemperatur (20 °C) und der Tagesmittel-Temperatur aller Heitztage (Heiztag: Tag mit Tagesmitteltemperatur <= 12 °C)

Die meteorologischen Daten wurden durch die MeteoSchweiz erhoben.

**Jahresübersicht  
2013**

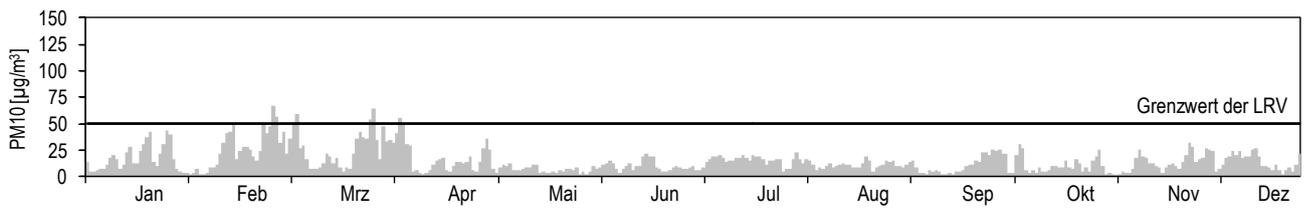
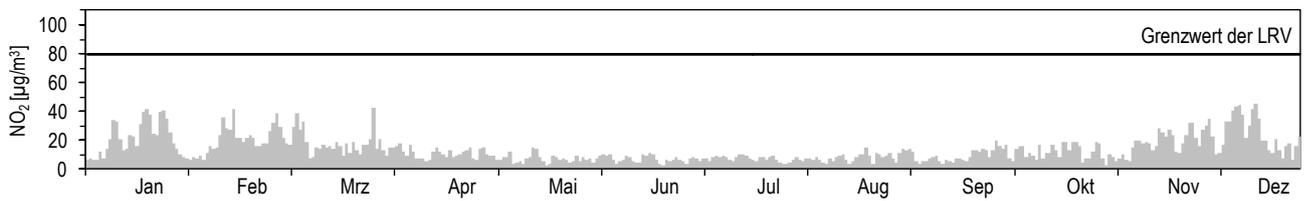
**Tänikon**

Ländlich, unterhalb 1000 m

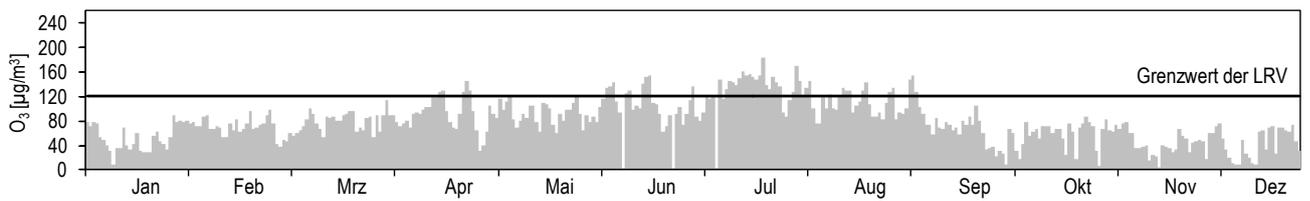


Koordinaten: 710'500 / 259'810  
Höhe: 538 m

**Tagesmittelwerte für NO<sub>2</sub> und PM10**



**Maximales Stundenmittel pro Tag für O<sub>3</sub>**



<b>Jahresübersicht 2013</b>	<b>Zürich-Kaserne</b>		Koordinaten: 682'450 / 247'990
	Städtisch		Höhe: 409 m

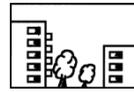
Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO <sub>2</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	3,7	3,3	3,5	1,7	1,1	0,9	1,0	1,1	1,1	1,1	1,4	3,8	2,0
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	6,3	6,8	10,0	3,2	1,9	1,5	2,1	2,8	1,9	1,9	3,6	8,3	10,0
	24h-Mittel >100 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO <sub>2</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	40	36	44	30	20	20	20	24	26	31	31	52	31
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	71	58	93	45	32	35	33	46	51	46	52	90	93
	24h-Mittel >80 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4
NO	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	14,8	6,7	12,8	4,6	2,7	2,4	2,2	3,3	6,4	15,8	15,1	53,2	11,8
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	67,0	21,3	73,9	16,9	7,5	4,7	5,0	11,8	22,1	60,6	93,6	200,6	200,6
NO <sub>x</sub>	Mittelwerte	ppb	33	24	33	19	13	12	12	15	19	29	28	70	26
	max. 24h-Mittelwert	ppb	91	47	107	37	22	22	19	34	42	72	101	207	207
O <sub>3</sub>	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	23	43	41	57	62	70	89	69	46	26	24	16	47
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m <sup>3</sup>	73	77	86	123	108	140	156	142	121	68	71	65	156
	max. 1h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	78	86	93	150	122	156	179	161	149	82	77	70	179
	1h-Mittel >120 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	20	2	49	161	57	16	0	0	0	305
	1h-Mittel >180 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel >240 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO	Mittelwerte	mg/m <sup>3</sup>	0,40	0,39	0,40	0,32	0,24	0,23	0,23	0,22	0,24	0,29	0,30	0,50	0,31
	max. 24h-Mittelwert	mg/m <sup>3</sup>	0,64	0,64	0,73	0,45	0,32	0,36	0,32	0,36	0,40	0,53	0,65	1,09	1,09
	24h-Mittel >8 mg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NMVOC	Mittelwerte	µgCH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup>	62	51	64	51	43	41	46	51	49	59	55	109	57
	max. 24h-Mittelwert	µgCH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup>	133	79	181	122	158	84	69	106	116	157	173	273	273
CH <sub>4</sub>	Mittelwerte	mg/m <sup>3</sup>	1,36	1,35	1,35	1,32	1,29	1,29	1,29	1,30	1,30	1,34	1,33	1,42	1,33
PM10	Mittelwerte	µg/m <sup>3</sup>	23	26	31	21	10	12	16	15	12	15	15	26	19
	max. 24h-Mittelwert	µg/m <sup>3</sup>	48	65	69	59	39	25	25	32	26	30	39	50	69
	24h-Mittel >50 µg/m <sup>3</sup>	Anz. Tage	0	2	6	2	0	0	0	0	0	0	0	1	11
SN	Mittelwerte	mg/(m <sup>2</sup> d)	17	39	47	57	9	103	50	55	51	41	28	25	44

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	2,4	0,7	4,2	10,5	12,8	18,0	22,9	20,8	16,7	13,1	5,9	3,0	11,0
	Heizgradtagzahl <sup>1)</sup>	(°C*d)	546	541	490	249	122	9	0	0	9	82	398	528	2973
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m <sup>2</sup>	36	58	95	137	169	225	267	213	141	76	36	43	125
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	77	74	70	67	69	63	58	62	70	76	76	79	70
Niederschlag	Summen	mm	48	43	43	89	179	100	86	69	100	114	119	36	1023
Druck	Mittelwerte	hPa	967	966	959	967	964	970	971	971	969	970	968	975	968

1) Heizgradtagzahl: Monatliche Summe der täglichen Differenzen zwischen Raumtemperatur (20 °C) und der Tagesmittel-Temperatur aller Heiztage (Heiztag: Tag mit Tagesmitteltemperatur <= 12 °C)

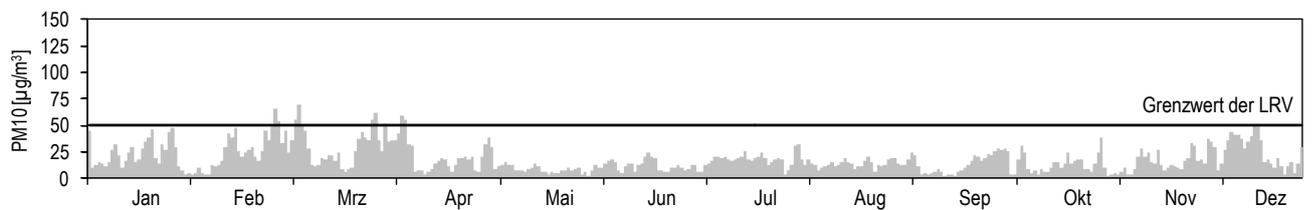
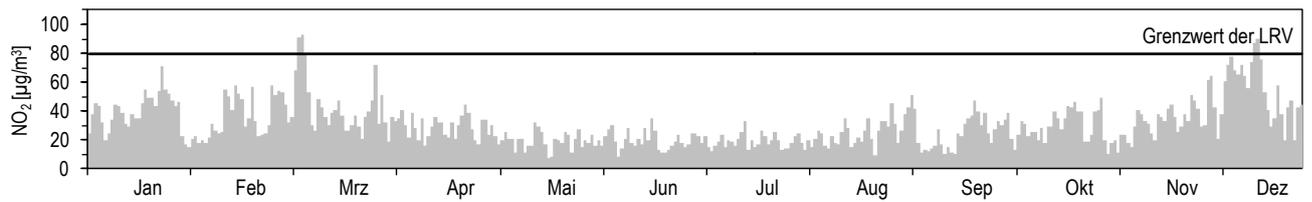
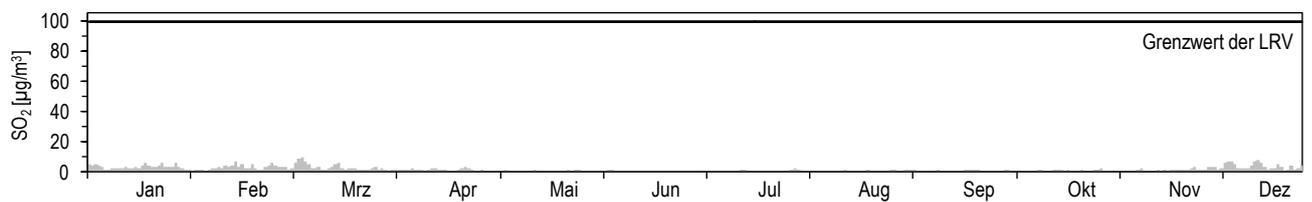
**Jahresübersicht  
2013**

**Zürich-Kaserne**  
Städtisch

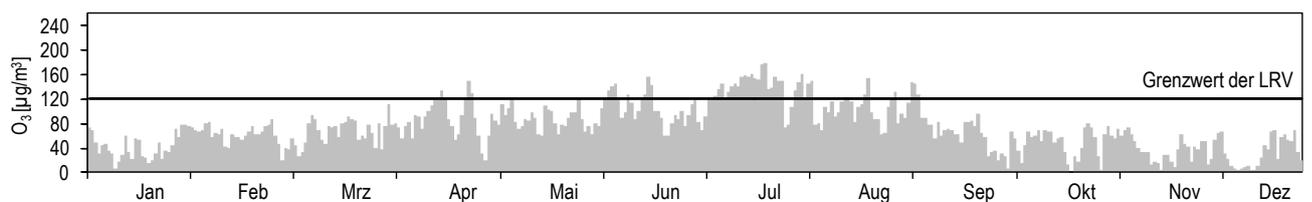


Koordinaten: 682'450 / 247'990  
Höhe: 409 m

**Tagesmittelwerte für SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> und PM<sub>10</sub>**



**Maximales Stundenmittel pro Tag für O<sub>3</sub>**



<b>Jahresübersicht VOC 2013</b>	<b>Rigi-Seebodenalp</b>		Koordinaten: 677'835 / 213'440
	Ländlich, oberhalb 1000 m		Höhe: 1031 m

Aromatische Verbindungen			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Benzol	Mittelwerte	µg/m³	0,68	1,02	0,71	0,52	0,18	0,11	0,12	0,13	0,18	0,27	0,45	0,28	0,39
Toluol	Mittelwerte	µg/m³	0,62	0,65	0,54	0,51	0,30	0,29	0,35	0,33	0,36	0,54	0,60	0,23	0,44
Ethylbenzol	Mittelwerte	µg/m³	0,09	0,08	0,07	0,08	0,05	0,06	0,06	0,04	0,05	0,08	0,10	0,04	0,07
m/p-Xylol	Mittelwerte	µg/m³	0,23	0,16	0,15	0,17	0,09	0,13	0,09	0,08	0,12	0,20	0,26	0,10	0,15
o-Xylol	Mittelwerte	µg/m³	0,10	0,07	0,06	0,07	0,04	0,05	0,04	0,03	0,05	0,08	0,11	0,06	0,06

Umrechnungsfaktoren (F): [ppb] \* F = [µg/m³]  
 F\_Benzol = 3,25      F\_Toluol = 3,83      F\_Ethylbenzol = 4,41      F\_m/p-Xylol = 4,41      F\_o-Xylol = 4,41

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

**Gesättigte Kohlenwasserstoffe**

Ethan	Mittelwerte	µg/m³	2,84	3,70	3,25	2,79	2,16	1,43	1,11	1,04	1,16	1,57	2,22	2,10	2,11
Propan	Mittelwerte	µg/m³	1,86	2,38	1,83	1,28	0,68	0,47	0,48	0,49	0,55	0,88	1,46	1,21	1,13
n-Butan	Mittelwerte	µg/m³	0,90	1,05	0,78	0,53	0,29	0,25	0,28	0,30	0,31	0,48	0,76	0,55	0,54
n-Pentan	Mittelwerte	µg/m³	0,44	0,48	0,39	0,36	0,21	0,25	0,36	0,32	0,33	0,44	0,48	0,20	0,36
n-Hexan	Mittelwerte	µg/m³	0,11	0,11	0,08	0,07	0,05	0,04	0,05	0,05	0,06	0,10	0,11	0,06	0,07
Isobutan	Mittelwerte	µg/m³	0,51	0,64	0,47	0,32	0,16	0,14	0,15	0,16	0,17	0,28	0,43	0,29	0,31
Isopentan	Mittelwerte	µg/m³	0,59	0,63	0,52	0,51	0,30	0,41	0,56	0,55	0,49	0,58	0,63	0,33	0,51
Σ Isohexane	Mittelwerte	µg/m³	0,52	0,55	0,45	0,42	0,27	0,32	0,42	0,42	0,43	0,51	0,58	0,35	0,44
Σ Isoheptane	Mittelwerte	µg/m³	0,27	0,28	0,22	0,19	0,12	0,09	0,11	0,11	0,14	0,22	0,27	0,10	0,18

**Ungesättigte Kohlenwasserstoffe**

Ethen	Mittelwerte	µg/m³	1,15	1,05	0,78	0,42	0,25	0,19	0,18	0,19	0,23	0,36	0,80	0,36	0,50
Propen	Mittelwerte	µg/m³	0,19	0,15	0,13	0,11	0,10	0,05	0,07	0,07	0,08	0,08	0,16	0,09	0,11
Σ Butene	Mittelwerte	µg/m³	0,18	0,12	0,10	0,10	0,12	0,17	0,14	0,13	0,12	0,14	0,14	0,07	0,13
Σ Pentene	Mittelwerte	µg/m³	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05	0,08	0,06	0,04	0,04	0,06	0,07	0,04	0,06
Ethin	Mittelwerte	µg/m³	0,65	0,87	0,69	0,50	0,18	0,10	0,11	0,11	0,13	0,20	0,35	0,24	0,34
Isopren	Mittelwerte	µg/m³	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,07	0,15	0,12	0,07	0,07	0,04	0,02	0,08
1,3-Butadien	Mittelwerte	µg/m³	0,05	0,03	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03

Umrechnungsfaktoren (F): [ppb] \* F = [µg/m³]  
 F\_Ethan = 1,25      F\_Propan = 1,83      F\_n-Butan = 2,42      F\_n-Pentan = 3,00      F\_n-Hexan = 3,58  
 F\_Isobutan = 2,42      F\_Isopentan = 3,00      F\_Summe Isohexane = 3,58      F\_Summe Isoheptane = 4,17  
 F\_Ethen = 1,17      F\_Propen = 1,75      F\_Summe Butene = 2,33      F\_Summe Pentene = 2,92      F\_Ethin = 1,08  
 F\_Isopren = 2,83      F\_1,3-Butadien = 2,25

<b>Jahresübersicht VOC 2013</b>	<b>Zürich</b>		Koordinaten: 682'450 / 247'990
	Städtisch		Höhe: 409 m

Aromatische Verbindungen			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Benzol	Mittelwerte	µg/m³	1,18	1,15	1,24	0,80	0,41	0,42	0,44	0,52	0,63	0,99	0,98	1,68	0,88
Toluol	Mittelwerte	µg/m³	2,89	2,12	2,95	2,36	1,85	2,29	2,32	2,60	2,85	4,21	3,75	5,57	3,04
Ethylbenzol	Mittelwerte	µg/m³	0,57	0,42	0,45	0,36	0,33	0,29	0,28	0,26	0,22	0,35	0,32	0,36	0,35
m/p-Xylol	Mittelwerte	µg/m³	1,82	1,28	1,76	1,33	1,12	1,18	1,22	0,76	0,82	1,35	1,08	1,50	1,30
o-Xylol	Mittelwerte	µg/m³	0,64	0,46	0,58	0,46	0,45	0,43	0,43	0,37	0,35	0,53	0,42	0,53	0,48
Umrechnungsfaktoren (F):			[ppb] * F = [µg/m³]												
F_Benzol = 3,25			F_Toluol = 3,83			F_Ethylbenzol = 4,41			F_m/p-Xylol = 4,41			F_o-Xylol = 4,41			

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

**Gesättigte Kohlenwasserstoffe**

Ethan	Mittelwerte	µg/m³	4,14	4,27	4,19	3,43	2,13	1,70	1,33	1,38	1,65	2,27	2,77	3,88	2,78
Propan	Mittelwerte	µg/m³	3,57	3,31	3,42	2,50	1,40	1,60	1,59	1,75	2,00	2,70	2,79	4,70	2,64
n-Butan	Mittelwerte	µg/m³	2,64	2,19	2,71	1,69	1,27	1,39	1,45	1,64	1,84	2,72	2,67	4,84	2,32
n-Pentan	Mittelwerte	µg/m³	1,05	0,79	1,07	0,83	0,60	0,84	0,97	0,95	1,17	1,49	1,15	1,92	1,09
n-Hexan	Mittelwerte	µg/m³	0,30	0,24	0,29	0,21	0,16	0,21	0,24	0,29	0,33	0,58	0,41	0,65	0,33
Heptan	Mittelwerte	µg/m³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Isobutan	Mittelwerte	µg/m³	1,54	1,28	1,64	0,97	0,70	0,75	0,74	0,83	0,95	1,50	1,29	2,55	1,26
Isopentan	Mittelwerte	µg/m³	1,97	1,41	2,17	1,84	1,53	2,32	2,78	2,97	3,03	3,52	2,47	4,67	2,59
Σ Isohexane	Mittelwerte	µg/m³	1,83	1,38	1,94	1,50	1,24	1,59	1,76	1,98	2,17	3,25	2,25	3,49	2,04
Σ Isoheptane	Mittelwerte	µg/m³	1,29	0,90	1,54	1,15	0,68	0,76	0,82	0,85	0,90	1,40	1,01	1,78	1,12

**Ungesättigte Kohlenwasserstoffe**

Ethen	Mittelwerte	µg/m³	2,55	1,74	1,89	1,09	0,61	0,66	0,61	0,70	0,94	1,35	1,67	3,37	1,47
Propen	Mittelwerte	µg/m³	0,68	0,50	0,60	0,42	0,32	0,35	0,38	0,42	0,48	0,60	0,64	1,15	0,56
Σ Butene	Mittelwerte	µg/m³	0,76	0,62	0,82	0,60	0,56	0,53	0,44	0,54	0,69	0,81	0,67	1,05	0,68
Σ Pentene	Mittelwerte	µg/m³	0,36	0,27	0,38	0,22	0,20	0,24	0,26	0,33	0,41	0,49	0,37	0,70	0,37
Ethin	Mittelwerte	µg/m³	1,72	1,42	1,61	1,05	0,48	0,48	0,47	0,49	0,60	0,93	1,14	1,88	1,05
Isopren	Mittelwerte	µg/m³	0,16	0,11	0,15	0,11	0,12	0,23	0,30	0,30	0,23	0,24	0,23	0,38	0,22
1,3-Butadien	Mittelwerte	µg/m³	0,13	0,11	0,13	0,08	0,07	0,08	0,09	0,10	0,12	0,13	0,15	0,23	0,12

-) keine Messwerte vorhanden

Umrechnungsfaktoren (F): [ppb] \* F = [µg/m³]

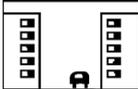
F_Ethan = 1,25	F_Propan = 1,83	F_n-Butan = 2,42	F_n-Pentan = 3,00	Fn-Hexan = 3,58
F_Isobutan = 2,42	F_Isopentan = 3,00	F_Summe Isohexane = 3,58	F_Summe Isoheptane = 4,17	
F_Ethen = 1,17	F_Propen = 1,75	F_Summe Butene = 2,33	F_Summe Pentene = 2,92	F_Ethin = 1,08
F_Isopren = 2,83	F_1,3-Butadien = 2,25			

<b>Jahresübersicht VOC 2013</b>	<b>Dübendorf-Empa</b>		Koordinaten: 688'675 / 250'900
	Vorstädtisch		Höhe: 432 m

Aromatische Verbindungen			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Benzol	Mittelwerte	µg/m³	1,14	1,10	1,09	0,70	0,36	0,33	0,39	0,48	0,55	0,82	1,01	1,81	0,81
Toluol	Mittelwerte	µg/m³	2,32	1,59	2,37	1,76*	1,25	1,70	2,00*	17,26*	92,47*	43,07*	2,75	6,54	14,70

\* Hohe Werte aufgrund von Phasen mit starker lokaler Verschmutzung

Umrechnungsfaktoren (F): [ppb] \* F = [µg/m³]  
 F\_Benzol = 3,25 F\_Toluol = 3,83

<b>Jahresübersicht VOC 2013</b>	<b>Bern-Bollwerk</b>		Koordinaten: 600'170 / 199'990
	Städtisch, verkehrsbelastet		Höhe: 536 m

Aromatische Verbindungen			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Benzol	Mittelwerte	µg/m³	1,71	1,46	1,38	1,07	0,86	0,84	1,05	0,98	0,93	1,02	0,98	1,75	1,17
Toluol	Mittelwerte	µg/m³	5,63	3,64	4,01	3,11	2,84	3,89	4,20	3,94	4,23	4,53	3,94	6,55	4,22
Ethylbenzol	Mittelwerte	µg/m³	0,78	0,51	0,59	0,52	0,51	0,58	0,68	0,62	0,64	0,69	0,53	0,86	0,63
m/p-Xylol	Mittelwerte	µg/m³	3,46	2,16	2,54	2,16	1,97	2,43	2,70	2,49	2,58	2,82	2,29	3,77	2,62
o-Xylol	Mittelwerte	µg/m³	0,97	0,65	0,77	0,68	0,63	0,76	0,86	0,79	0,81	0,89	0,71	1,14	0,81

Umrechnungsfaktoren (F): [ppb] \* F = [µg/m³]  
 F\_Benzol = 3,25 F\_Toluol = 3,83 F\_Ethylbenzol = 4,41 F\_m/p-Xylol = 4,41 F\_o-Xylol = 4,41