> NABEL
Luftbelastung 2011

Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL)

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

EMPA

Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt

> NABEL
Luftbelastung 2011

Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL)

Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt BAFU und von der Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Empa
Bern, 2012

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. 031 322 93 12
Fax 031 324 01 37
E-Mail: luftreinhaltung@bafu.admin.ch

Zitiervorschlag
BAFU 2012: NABEL – Luftbelastung 2011. Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1221: 128 S.

Titelbild
Messstation Lugano

Download PDF
www.bafu.admin.ch/uz-1221-d
(eine gedruckte Fassung liegt nicht vor)

Diese Publikation ist auch in französischer Sprache verfügbar.

© BAFU 2012

> Inhalt

Abstracts **5**
Vorwort **7**
Zusammenfassung **9**

1 Luftverschmutzung in der Schweiz (Übersicht) 15
1.1 Schadstoffemissionen 15
1.2 Transport und chemische Umwandlung der Schadstoffe (Transmission) 15
1.3 Immissionssituation in der Schweiz 17
1.4 Auswirkungen der Luftverschmutzung 18
1.5 Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung 20

2 Das Nationale Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL) 21
2.1 Entstehung des Messnetzes 21
2.2 Ziel und Zweck des Messnetzes 21
2.3 Aufgaben des Messnetzes 22
2.4 Standorte der Messstationen 23
2.5 Messprogramm und Messverfahren 24
2.6 Qualitätssicherung 24
2.7 Weitere NABEL-Publikationen 26

3 Stickoxide 27
3.1 Entstehung und Charakterisierung 27
3.2 Zeitliche Entwicklung 27
3.3 Situation 2011 29
3.4 Bewertung 33

4 Feinstaub 34
4.1 Entstehung und Charakterisierung 34
4.2 Zeitliche Entwicklung 34
4.3 Situation 2011 35
4.4 PM2.5 und PM1-Messungen 37
4.5 Partikelanzahl – Messungen 38
4.6 Schwefel im Feinstaub 39
4.7 Bewertung 40
4.8 Benzo(a)pyren im Feinstaub 41
4.9 Russgehalt im Feinstaub 42

5 Ozon 44
5.1 Entstehung und Charakterisierung 44
5.2 Zeitliche Entwicklung 45
5.3 Situation 2011 49
5.4 Ozon Jahresgang 50
5.5 Bewertung 50

6 Flüchtige organische Verbindungen 51
6.1 Entstehung und Charakterisierung 51
6.2 VOC-Summenmessung 52
6.3 Aromatische Verbindungen 53
6.4 Gesättigte und ungesättigte Kohlenwasserstoffe 54
6.5 Halogenierte Verbindungen 55
6.6 Bewertung 57

7 Schwefeldioxid 58
7.1 Entstehung und Charakterisierung 58
7.2 Zeitliche Entwicklung 58
7.3 Situation 2011 59
7.4 Bewertung 60

8 Kohlenmonoxid 61
8.1 Entstehung und Charakterisierung 61
8.2 Zeitliche Entwicklung 61
8.3 Situation 2011 62
8.4 Bewertung 63

9 Staubniederschlag 64

10 Schwermetalle im Feinstaub und im Staubniederschlag 65
10.1 Blei 65
10.2 Kadmium 67
10.3 Zink 69
10.4 Thallium 70
10.5 Bewertung 70
10.6 Weitere Metalle 70

11 Regen-Inhaltsstoffe 71
11.1 Entstehung und Charakterisierung 71
11.2 Zeitliche Entwicklung 72
11.3 Situation 2011 74
11.4 Bewertung 76

12 Gasförmige und partikuläre Stickstoffverbindungen 77
12.1 Summenmessung von Stickstoffkomponenten 77
12.2 Gas- und Aerosolphase von Stickstoffverbindungen 79
12.3 Ammoniak 79

13 Witterung 81
13.1 Situation 2011 81
13.2 Inversionen 82

14 Verkehrszahlen 83

15 Ausblick 84

Anhang A 87
Anhang A1: Standortcharakterisierung 88
Anhang A2: NABEL-Messprogramm 89
Anhang A3: Messverfahren 90
Anhang A4: Masseinheiten und statistische Masszahlen 91
Anhang A5: Homogenisierung von Messreihen der Station Bern 92

Anhang B 93
Anhang B1: Messwerte 2011 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 2011. The ambient air quality during 2011 can be characterised as follows: Exceedances of the ambient air quality standard were observed for nitrogen dioxide, respirable fine particulates (PM10) and ozone. 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.

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

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 2011. Die Luftbelastung des Jahres 2011 kann wie folgt charakterisiert werden: Grenzwertüberschreitungen werden bei den Schadstoffen Stickstoffdioxid, lungengängiger Feinstaub (PM10) und Ozon beobachtet. Überall eingehalten werden die Grenzwerte für Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid, Staubniederschlag und die Schwermetalle. Die Entwicklung der Luftbelastung in den letzten 25 Jahren zeigt eine deutliche Verbesserung.

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

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 2011. Pour 2011, la situation en matière d'immissions peut être caractérisée ainsi: Les valeurs limites fixées pour le dioxyde d'azote, les fines particules respirables (PM10) et l'ozone 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.

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

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 2011. La situazione relativa alle immissioni in Svizzera nel 2011 può essere descritta nel modo seguente: sono stati rilevati superamenti dei valori limite per le sostanze biossido di azoto, polveri fini respirabili (PM10) e ozono. 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.

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 und zum Beispiel von Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid und Blei sogar deutlich unterschritten. Noch nicht der Fall ist dies jedoch bei den Schadstoffen Ozon, Feinstaub und Stickstoffdioxid. Obgleich sich auch hier die Situation verbessert hat, treten noch immer übermässige Immissionen auf. Daneben stellen auch die zu hohen Säure- und Stickstoffeinträge eine Gefährdung empfindlicher Ökosysteme wie Wälder und Hochmoore dar. 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 (z. B. Dieselruss, 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.

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 2011

Überblick

Die Luftbelastung des Jahres 2011 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 2010 lag. Trotz der Verbesserungen der letzten zwanzig Jahre sind die Immissionsgrenzwerte für Stickstoffdioxid, Ozon und PM10 weiterhin überschritten, infolge der immer noch zu hohen Emissionen von Luftschadstoffen in der Schweiz und den Nachbarländern.

Witterung

Während der Wintermonate des Jahres 2011 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 Ende August brachte zwar sehr hohe Temperaturen, aber keine sehr hohen Ozonwerte.

Stickstoffdioxid

Wie in den vergangenen Jahren wurden die Immissionsgrenzwerte des Jahresmittels von Stickstoffdioxid im Jahr 2011 in den grossen Städten leicht überschritten und entlang von stark befahrenen Hauptverkehrsstrassen zum Teil noch deutlich überschritten. In den vorstädtischen Gebieten lag die Belastung knapp unter dem Grenzwert, im ländlichen Raum abseits der Strassen deutlich darunter. Die meisten Grenzwertüberschreitungen des Tagesmittelwerts von Stickstoffdioxid wurden 2011 in einer städtischen Strassenschlucht und entlang von Autobahnen gezählt. Es wurden bis zu 8 Tage mit Tagesmittelwerten über 80 µg/m³ registriert.

Feinstaub

In den Städten und Vorstädten wurden im 2011 Jahresmittelwerte zwischen 18 und 23 µg/m³ gemessen, verkehrsnah bis 26 µg/m³ (Immissionsgrenzwert: 20 µg/m³). Auf dem Land, entlang den Autobahnen, wurden Werte von 21 µg/m³ beobachtet. Abseits von Strassen lagen die ländlichen Werte mit 15–17 µg/m³ unter dem Grenzwert. An den Stationen oberhalb 1000 m über Meer sind die Messwerte mit 8–9 µg/m³ deutlich niedriger als der Grenzwert. Der Tagesmittelgrenzwert von 50 µg/m³ wurde in den Städten und Agglomerationen an 8 bis 24 Tagen überschritten. Dabei wurden maximale Tagesmittelwerte von 63–108 µg/m³ erreicht. Auf dem Land wurde der Wert von 50 µg/m³ noch an 4 bis 9 Tagen überschritten (Maximum: 66 µg/m³). An den Stationen Chaumont und Rigi-Seebodenalp, über 1000 m gelegen, wurde ein Tagesmittelwert über 50 µg/m³ registriert. Die Stationen der Alpensüdseite weisen eine höhere PM10-Belastung auf als vergleichbare Stationen auf der Alpennordseite. So wurde in Magadino-Cadenazzo der höchste Tagesmittelwert von 125 µg/m³ gemessen.

Ozon

Wie in den Vorjahren wurde der Immissionsgrenzwert von 120 µg/m³ für den Stundenmittelwert an allen Stationen überschritten. Die häufigsten Grenzwertüberschreitungen (533–679 Stunden) wurden im Tessin und in den mittleren Höhenlagen der Alpennordseite (um 1000 m über Meer) gemessen. Diese Stunden verteilten sich auf 64 bis 108 Tage. In den übrigen Gebieten der Alpennordseite wurden an 16 bis 58 Tagen während 62–479 Stunden zu hohe Ozonwerte gemessen. Eine der NABEL-Messstellen registrierte im Tessin einen maximalen Ozonwert von 282 µg/m³, auf der Alpennordseite lag der Spitzenwert bei 192 µg/m³. 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 µg/m³ deutlich überschritten.

Übrige Schadstoffe

Keine Grenzwertüberschreitungen wurden im Jahr 2011 bei Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid, Staubniederschlag und den Schwermetallen beobachtet. Die Belastung durch diese Schadstoffe liegt mehrheitlich weit unter den Grenzwerten.

Entwicklung der Luftbelastung im Überblick

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

Stickoxide

Die Belastung der Luft durch Stickstoffdioxid (NO_2) 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_x) stärker abgenommen 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 der NO_x-Emissionen und einem gleich bleibenden Oxidationspotenzial der Atmosphäre ist diese Verschiebung jedoch zu erwarten.

Feinstaub

Auf Grund ausgedehnter Vergleichsmessungen zwischen Feinstaub (PM10) und Gesamtschwebestaub (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.

Ozon

Obwohl die Ozon-Vorläuferschadstoffe (NO_x 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_2), 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.

Übrige Schadstoffe

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 noch keinen schlüssigen Trend.

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 Kap. 11).

Der Zustand der Schweizer Luft im Jahre 2011 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 2011.

Beurteilung

Trotz bedeutender Fortschritte muss die Luft noch sauberer werden

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 zu hohen Stickstoffdioxid- und Ozonbelastungen, an die gesundheitlichen Risiken, verursacht durch lungengängigen Feinstaub und kanzerogene Luftschadstoffe, aber auch an die zu hohen Säure- und Stickstoffeinträge in empfindliche Ökosysteme zu denken.

Weitere Massnahmen sind erforderlich

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 Signaturstaaten des Göteborger Protokolls in Europa und Nordamerika nationale Emissionsziele für Stickoxide, Schwefeldioxid, Ammoniak und flüchtige organische Verbindungen fest.

Abb. 1 > Immissionsentwicklung 1986–2011 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 A5).

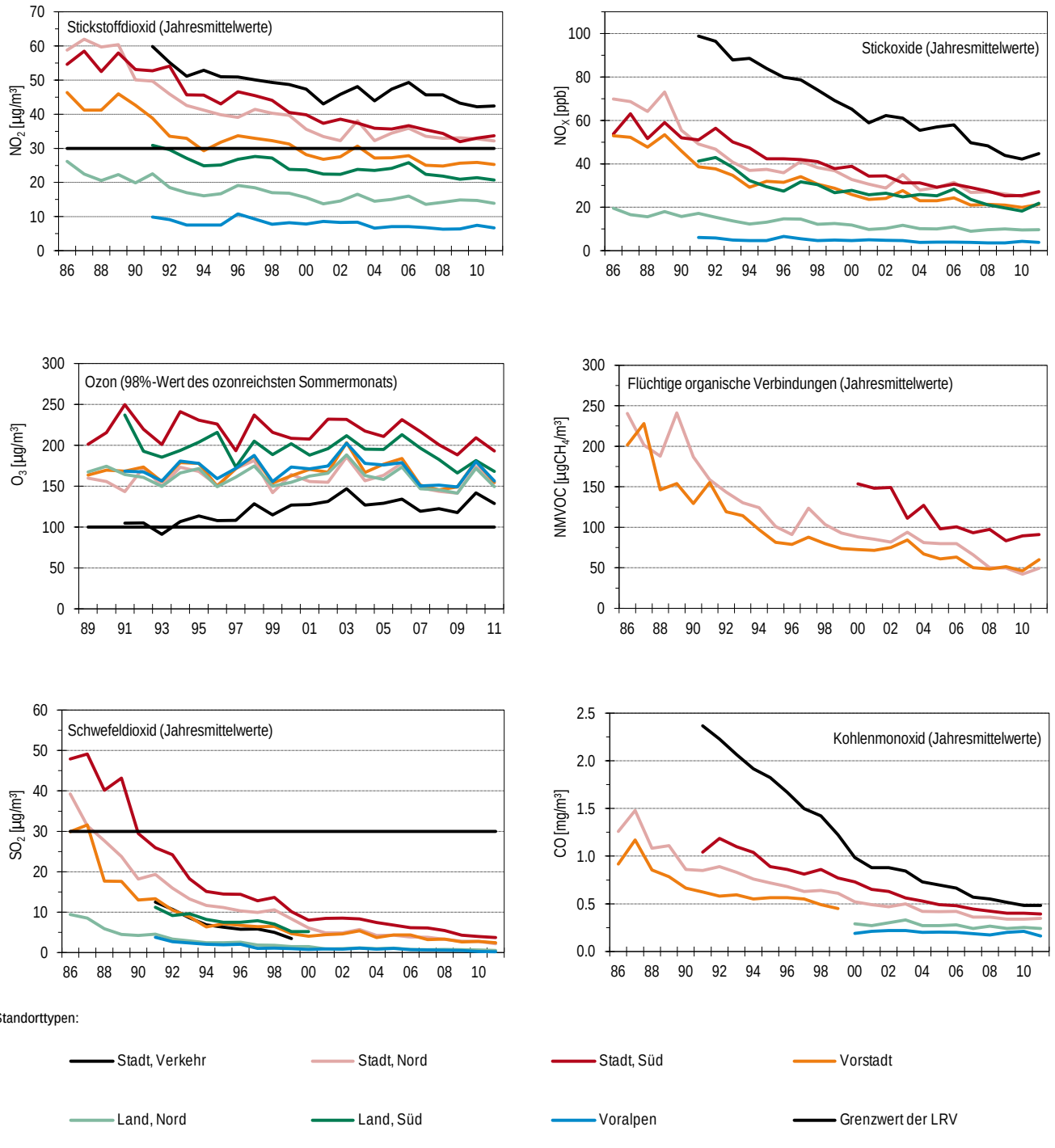


Abb. 2 > Schadstoffentwicklung 1986–2011 an verschiedenen Standorttypen für Feinstaub (PM10, Werte vor 1997 aus TSP-Messungen umgerechnet) und Staubniederschlag, sowie für Blei und Kadmium im Feinbestaub und Staubniederschlag, Jahresmittelwerte

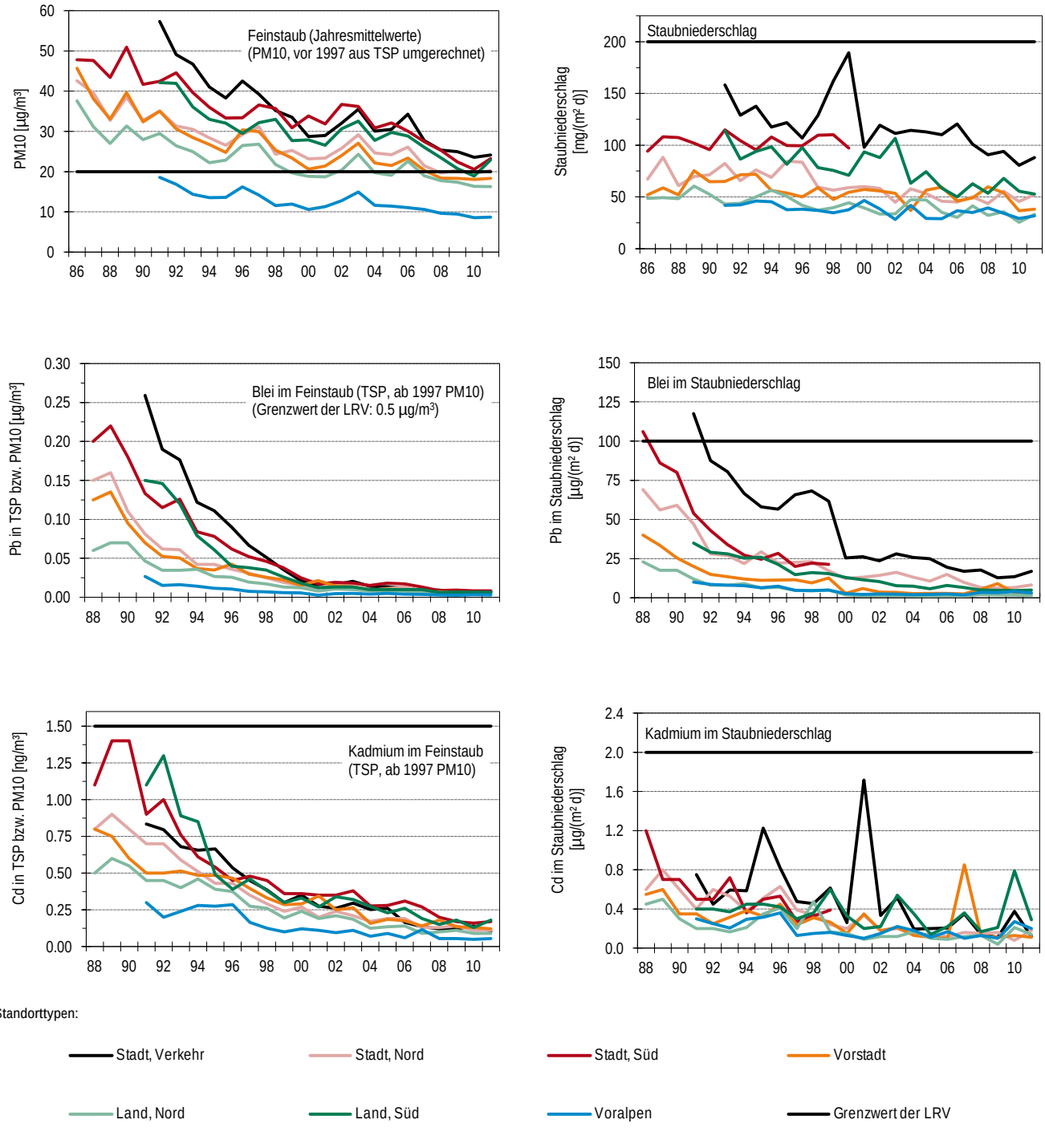
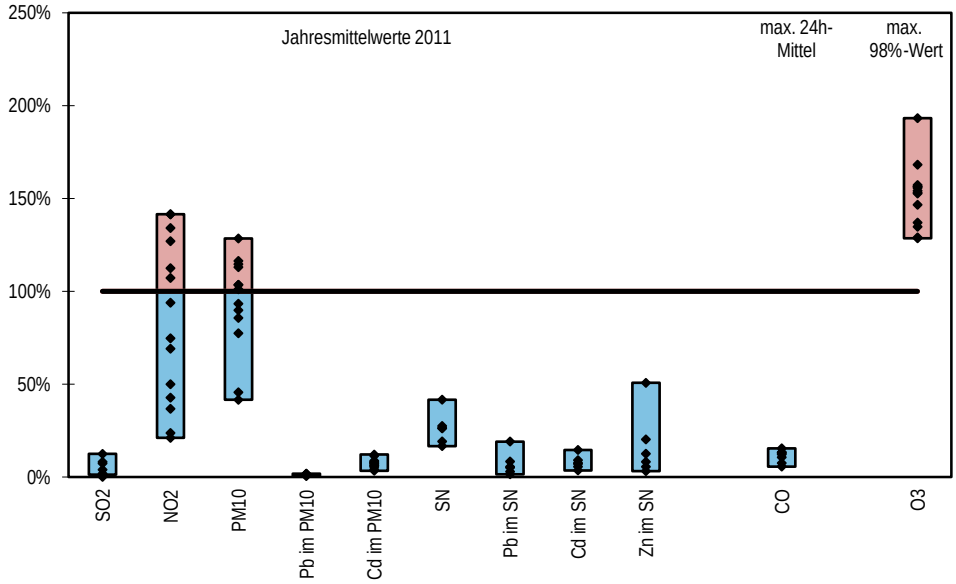


Abb. 3 > Übersicht der Schadstoffbelastung 2011 im Vergleich zu den Immissionsgrenzwerten der Luftreinhalte-Verordnung

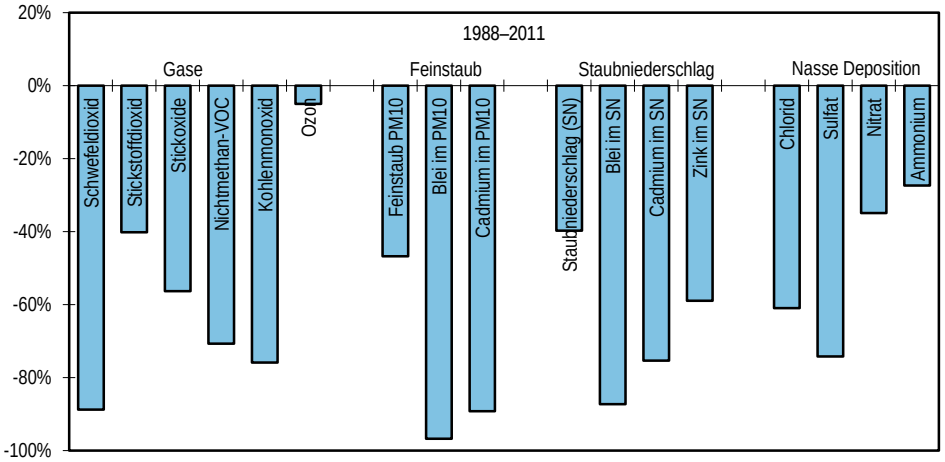
Eingezeichnet sind die Werte der einzelnen NABEL-Stationen, ausser der alpinen Stationen Davos und Jungfraujoch.



SN = Staubniederschlag

Abb. 4 > Veränderung der Luftbelastung in der Schweiz zwischen 1988 und 2011

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

Anthropogene Schadstoffemission

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 (NO_x), Feinstaub (PM10), flüchtigen organischen Verbindungen (VOC), Schwefeldioxid (SO_2), Kohlenmonoxid (CO), Staub und Schwermetallen (z. B. Blei, Kadmium) werden überwiegend freigesetzt bei Verbrennungsvorgängen in Motoren und Feuerungen, bei industriellen Prozessen, durch mechanischen Abrieb und beim Einsatz von Lösemitteln und Treibstoffen.

Natürliche Quellen

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 NO_x, SO_2 und CO in der Schweiz weniger als 3 % der Gesamtemissionen beträgt. Bei den Nichtmethan-VOC (NMVOC) beträgt der Anteil der natürlichen Emissionen zur Zeit rund 45 %. Die vom Menschen verursachten Emissionen überwiegen also in den meisten Fällen in der Schweiz die natürlichen Emissionen bei weitem.

Beiträge verschiedener Quellengruppen

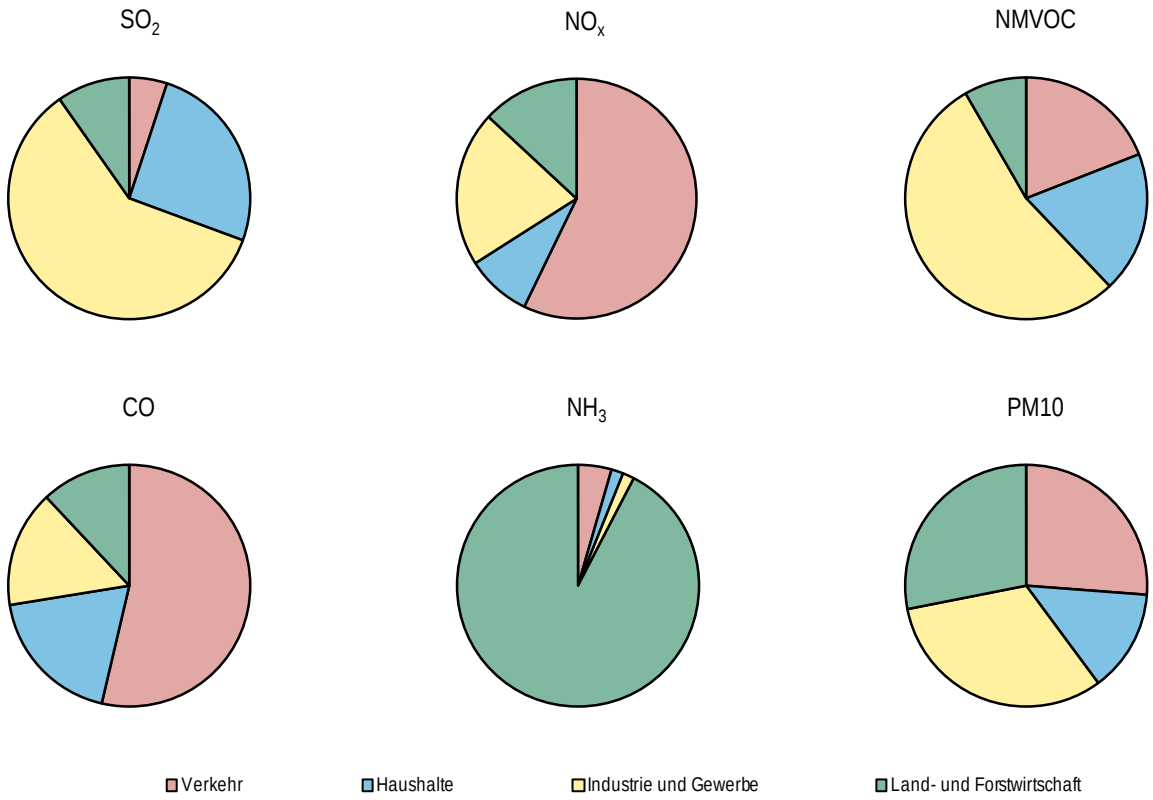
Die von Menschen verursachten Schadstoffemissionen werden vier Quellengruppen zugeordnet: Verkehr, Haushalt, Industrie und Gewerbe sowie Land- und Forstwirtschaft. Abb. 5 zeigt die Beiträge dieser Quellengruppen an den Emissionen einiger Leitschadstoffe.

1.2 Transport und chemische Umwandlung der Schadstoffe (Transmission)

Primäre und sekundäre Schadstoffe

Die von den Emissionsquellen ausgestossenen Schadstoffe wie Schwefeldioxid (SO_2), Stickoxide (NO_x), flüchtige organische Verbindungen (NMVOC), Kohlenmonoxid (CO), Ammoniak (NH_3) und bedeutende Bestandteile des Feinstaubs (PM10, 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 da durch 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 Feinstaubs) mit teilweise ganz anderen Eigenschaften und Wirkungen entstehen.

Abb. 5 > Beiträge verschiedener Quellengruppen an den anthropogenen schweizerischen Emissionen nach Territorialprinzip: Schwefeldioxid (SO_2), Stickoxide (NO_x), flüchtige organische Verbindungen (NMVOC), Kohlenmonoxid (CO), Ammoniak (NH_3) und primärer Feinstaub (PM10)



Transport, chemische Umwandlung, Meteorologie

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.

Wintersmog

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.

Sommersmog

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.

Deposition

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.

1.3 Immissionssituation in der Schweiz

Stickstoffdioxid

Die Grenzwerte für den Schadstoff Stickstoffdioxid werden in den Stadtzentren noch überschritten (Tab. 1). In den vorstädtischen Gebieten liegen die NO_2-Werte abseits der Hauptverkehrsstrassen leicht unter dem Grenzwert, entlang der Hauptverkehrsstrassen in der Regel deutlich darüber. Im ländlichen Raum werden die NO_2-Grenzwerte, mit Ausnahme von Korridoren entlang der Hauptverkehrsachsen, eingehalten.

Feinstaub

Die Konzentration von lungengängigem Feinstaub (PM10) liegt in den Städten und Vorstädten deutlich über den Immissionsgrenzwerten und auf dem Land im Bereich der Immissionsgrenzwerte (Tab. 1). Erst in höheren Lagen (oberhalb von 1000 m ü. M.) wird der Jahres- und Tagesgrenzwert von PM10 deutlich unterschritten.

Ozon

Die Belastung durch den Schadstoff Ozon liegt während Sommersmoglagen in der ganzen Schweiz flächendeckend und zum Teil erheblich über den Grenzwerten (Tab. 1). 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 Stadtzentrums-Stationen mit den niedrigsten Ozonwerten sind aus diesem Grund gleichzeitig diejenigen Stationen mit den höchsten NO_2-Werten.

Übrige Schadstoffe

Keine Grenzwertüberschreitungen wurden 2011 bei den Schadstoffen Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid und bei den Schwermetallen im Feinstaub beobachtet. Die Belastung durch Schwermetalle (Blei, Kadmium, Zink) im Staubniederschlag liegt in der Regel deutlich unter den Grenzwerten.

Drei Problemschadstoffe: NO_2, PM10, Ozon

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.

Tab. 1 > Schematische Übersicht der Immissionssituation in der Schweiz 2011

	Stadt	Vorstadt	Land
Stickstoffdioxid (NO_2)	☹	😐	☺
Feinstaub (PM10)	☹	😐	😐
Ozon (O_3)	☹	☹	☹
Schwefeldioxid (SO_2)	☺	☺	☺
Kohlenmonoxid (CO)	☺	☺	☺
Schwermetalle	☺	☺	☺
☺	Immissionsgrenzwert praktisch überall eingehalten		
😐	Immissionsgrenzwert teilweise überschritten		
☹	Immissionsgrenzwert häufig / stark überschritten		

1.4 Auswirkungen der Luftverschmutzung

Verschiedene Organe sind betroffen

Luftverschmutzung ist eine nachweisliche Ursache für Krankheit und vorzeitige Todesfälle. Luftschadstoffe können beim Menschen 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 Kadmium (weitere Informationen in der Broschüre: «Luftverschmutzung und Gesundheit», 2010: *www.ersnet.org/index.php/publications/air-quality-and-health.html*).

Auswirkungen von Feinstaub

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.

Studien in der Schweiz

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.

Wirkungen von Stickstoffdioxid

Stickstoffdioxid führt zu Entzündungserscheinungen in den Atemwegen und verstärkt die Reizwirkung von Allergenen. Nimmt die NO_2-Belastung der Aussenluft zu, werden kurzfristig die Sterbefälle und Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen häufiger und es treten mehr Herzrhythmusstörungen auf.

Wirkungen erhöhter Ozonwerte

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.

Krebserregende Schadstoffe

Dieselrusspartikel, Benzol, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) sowie Kadmium 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 Dieselrusspartikel am meisten zum luftschadstoffbedingten Krebsrisiko bei.

Externe Kosten der Luftverschmutzung

In einer Studie des Bundesamtes für Raumentwicklung (ARE 2009: Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, Aktualisierung für das Jahr 2005), sind die Auswirkungen der Luftverschmutzung auf die menschliche Gesundheit in der Schweiz quantifiziert und als externe Kosten von rund 5 Milliarden Franken bewertet worden.

Schäden an Pflanzen

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 Ernteausfälle 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 Gebäuden und Materialien

Gebäudeschäden werden vor allem durch Säuren (aus NO_2 und 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.

1.5 Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung

Wirkungsorientierte Grenzwerte

Zur Beurteilung der Luftverschmutzung müssen die gemessenen Schadstoffkonzentrationen mit den Immissionsgrenzwerten der Luftreinhalte-Verordnung (Tab. 2) 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.

Tab. 2 > Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung

Schadstoff	Immissionsgrenzwert	Statistische Definition
Stickstoffdioxid (NO_2)	30 µg/m³	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
	100 µg/m³	95 % der 1/2h-Mittelwerte eines Jahres ≤ 100 µg/m³
	80 µg/m³	24h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
Feinstaub PM10	20 µg/m³	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
	50 µg/m³	24h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
Ozon (O_3)	100 µg/m³	98 % der 1/2h-Mittelwerte eines Monats ≤ 100 µg/m³
	120 µg/m³	1h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
Schwefeldioxid (SO_2)	30 µg/m³	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
	100 µg/m³	95 % der 1/2h-Mittelwerte eines Jahres ≤ 100 µg/m³
	100 µg/m³	24h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
Kohlenmonoxid (CO)	8 mg/m³	24h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
Blei (Pb) im Feinstaub (PM10)	500 ng/m³	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Kadmium (Cd) im Feinstaub (PM10)	1,5 ng/m³	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Staubniederschlag insgesamt	200 mg/(m² d)	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Blei (Pb) im Staubniederschlag	100 µg/(m² d)	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Kadmium (Cd) im Staubniederschlag	2 µg/(m² d)	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Zink (Zn) im Staubniederschlag	400 µg/(m² d)	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Thallium (Tl) im Staubniederschlag	2 µg/(m² 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»

2 > Das Nationale Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL)

2.1 Entstehung des Messnetzes

NABEL Geschichte

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.

Zuständigkeiten

2.2 Ziel und Zweck des Messnetzes

Gesetzliche Aufgaben

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).

Gesamtschweizerische Bedürfnisse, Messung von Leitschadstoffen

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 Emittenten verursacht und in der ganzen Schweiz in beträchtlichen Mengen in die Luft ausgestossen werden. Sie gelten deshalb als Leitschadstoffe.

Das NABEL ist ausdrücklich als Beobachtungs- und nicht als Alarmsystem konzipiert.

2.3 Aufgaben des Messnetzes

Nationale und internationale Aufgaben

- > 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 S tudien von Hochschulen und privaten Umweltbüros

Internationaler Datenaustausch

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.

Tab. 3 > 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

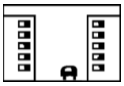
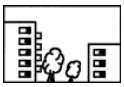
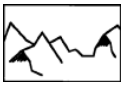
Organisationen:	UNECE	United Nations Economic Commission for Europe
	CLRTAP	Convention on Long-range Transboundary Air Pollution
	WMO	World Meteorological Organisation
	EU	European Union
	EEA	European Environment Agency
Programme:	EMEP	European Monitoring and Evaluation Program
	GAW	Global Atmosphere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

2.4 Standorte der Messstationen

Standorttypen

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:

Tab. 4 > Klassierung der NABEL-Stationen nach Standorttyp

	Standorttyp	Abkürzung	Station
	Städtisch, verkehrsbelastet	BER LAU	Bern-Bollwerk Lausanne-César-Roux
	Städtisch	LUG ZUE	Lugano-Università 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

Alle Belastungsstufen sind vertreten

Die 16 Stationen des NABEL-Netzes sind räumlich weit über die Schweiz verteilt und repräsentieren alle Stufen der Belastung (siehe Tab. 4), von sehr hoch bis sehr niedrig. Das NABEL deckt damit die wichtigsten in der Schweiz vorkommenden Belastungstypen ab.

Eine ausführliche Stationsbeschreibung ist im Anhang A (Tab. A1) zu finden. Weitere Angaben zu den Stationen finden sich auf *www.bafu.admin/luft*.

2.5 Messprogramm und Messverfahren

Schadstoffe

Mit dem NABEL werden vor allem die Schadstoffe Stickstoffdioxid (NO_2), Stickstoffmonoxid (NO), lungengängiger Feinstaub (PM10), Ozon (O_3), Schwefeldioxid (SO_2), Kohlenmonoxid (CO) und der Staubniederschlag gemessen. Im Feinstaub und im Staubniederschlag werden einige Schwermetalle bestimmt. An einzelnen Stationen werden zusätzlich Messungen der flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) sowie chemische Analysen des Niederschlags und der Stickstoffaerosole durchgeführt.

Meteorologie

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.

Verkehrszählungen

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.

Messmethoden

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. A2 und A3).

2.6 Qualitätssicherung

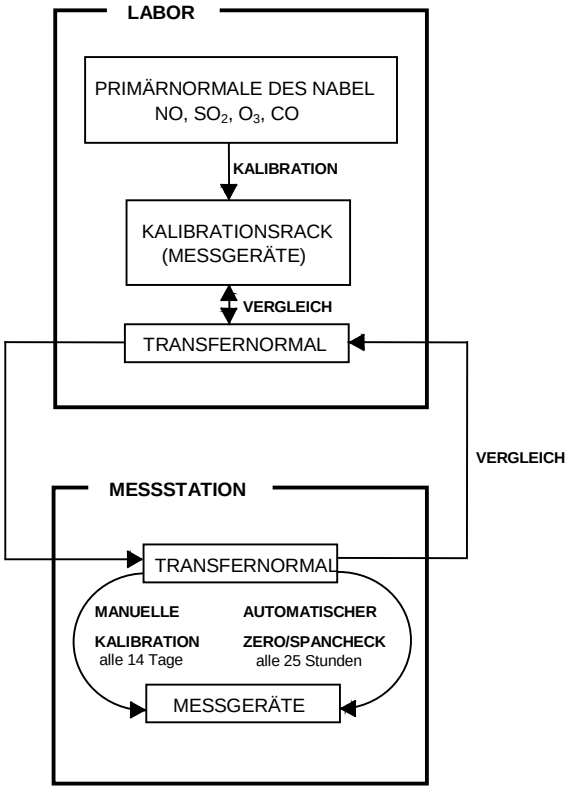
Im NABEL wird der Qualitätssicherung der Messdaten eine grosse Bedeutung zugemessen. Es gelten folgende allgemeine Qualitätssicherungsmassnahmen:

- 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_2, NO, O_3 und CO. Alle für die Kalibrierung der Messgeräte auf den Messstationen verwendeten Transfernormale werden hier zu Beginn und am Ende der Einsatzzeit mit dem NABEL-Primärnormal verglichen. Die Messgeräte der oben genannten Messgrössen werden auf den Messsta-

tionen 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_2, NO, O_3 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. 5 zu finden.

Abb. 6 > Rückverfolgbarkeit von SO_2, NO, O_3 und CO



Ausführlichere Informationen zu den Messverfahren, der Qualitätssicherung sowie zu den Messunsicherheiten können dem Technischen Bericht zum Nationalen Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL) 2011 (*www.empa.ch/nabel*) entnommen werden.

Tab. 5 > Messunsicherheiten der im NABEL verwendeten Messverfahren bei den Grenzwerten (siehe Technischer Bericht 2011, www.empa.ch/nabel)

Schadstoff	Grenzwert	Messunsicherheit
NO_2	bei 80 µg/m³ (Tagesmittelwert)	4,5 µg/m³
	(trace level Gerät)	7,8 µg/m³
	bei 30 µg/m³ (Jahresmittelwert)	1,6 µg/m³
	(trace level Gerät)	2,9 µg/m³
PM10 / TSP	bei 50 µg/m³ (Tagesmittelwert)	5,0 µg/m³
	bei 20 µg/m³ (Jahresmittelwert)	1,0 µg/m³
O_3	bei 120 µg/m³ (Stundenmittelwert)	3,9 µg/m³
SO_2	bei 100 µg/m³ (Tagesmittelwert)	6,1 µg/m³
	bei 30 µg/m³ (Jahresmittelwert)	1,4 µg/m³
CO	bei 8 mg/m³ (Tagesmittelwert)	0,1 mg/m³

2.7 Weitere NABEL-Publikationen

Internet

Auf dem Internet stehen unter der Adresse *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.

Teletext

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

Monatsbericht

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

Technischer Bericht der Empa

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*).

3 > Stickoxide

3.1 Entstehung und Charakterisierung

Begriffe, Eigenschaften

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*). 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.

NO_x-Emission

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.

Auswirkungen

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.

3.2 Zeitliche Entwicklung

Trend seit 1981

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.

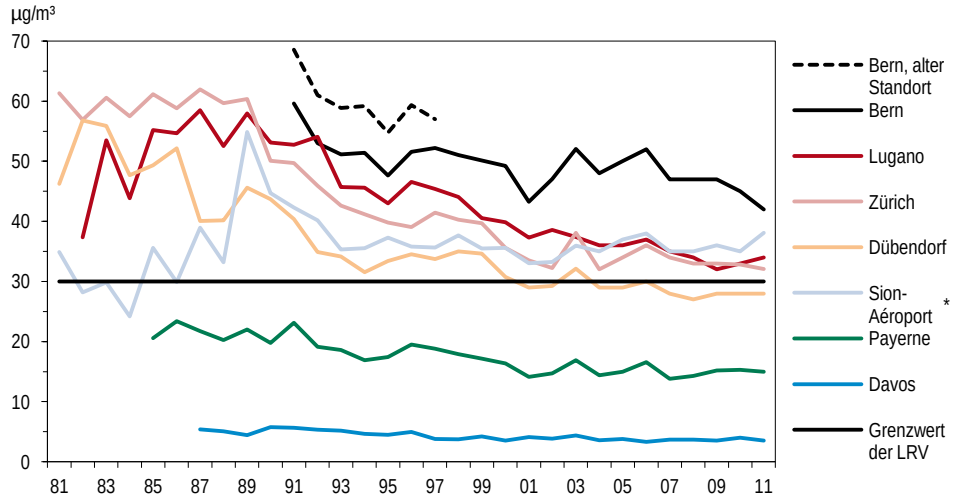
Bis Ende 80er-Jahre in etwa konstant, danach Abnahme; NO_x nimmt stärker ab als NO_2

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 städtischen und strassennahen 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 der NO_x-Emissionen und einem gleich bleibenden Oxidationspotenzial der Atmosphäre ist diese Verschiebung jedoch zu erwarten.

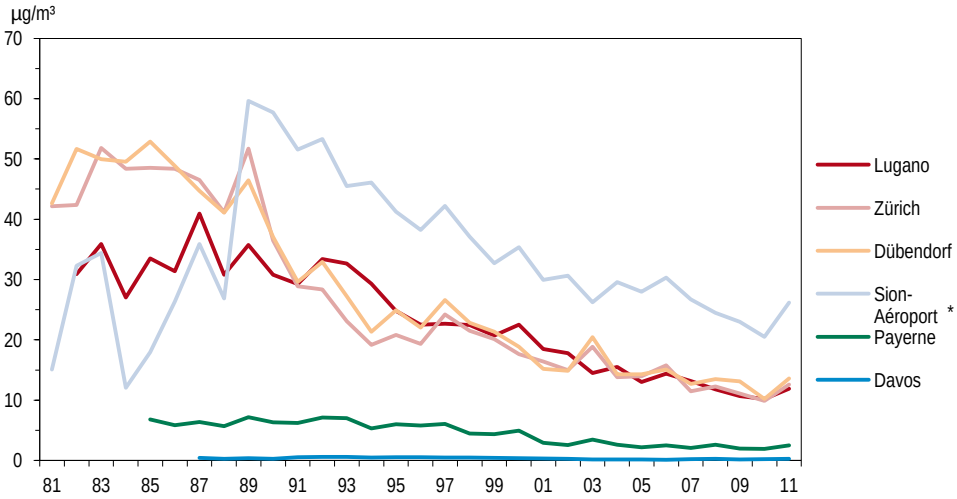
Abb. 7 > Stickstoffdioxid (NO_2), Jahresmittelwerte 1981–2011

Die Messwerte der Station Bern wurden homogenisiert (siehe Anhang 5).



* Ende 1988 wurde in unmittelbarere Nähe der Station Sion-Aéroport die Autobahn A9 eröffnet.

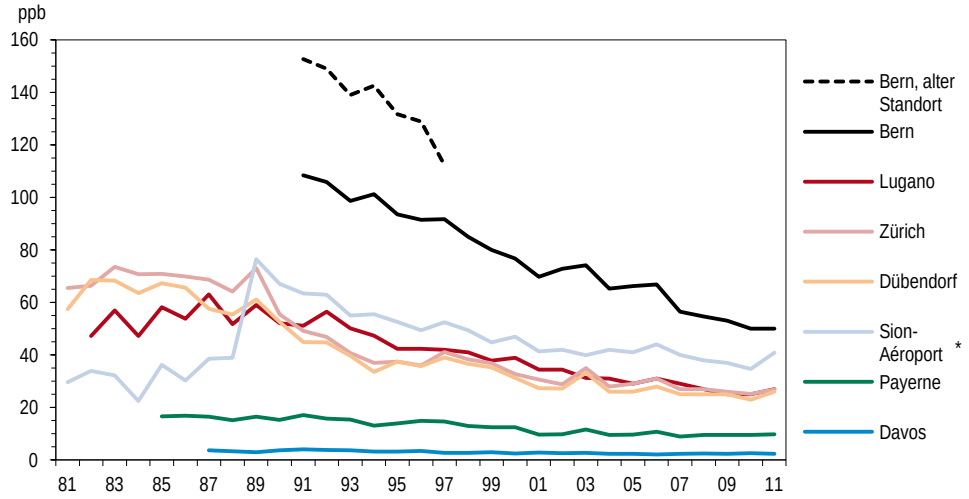
Abb. 8 > Stickstoffmonoxid (NO), Jahresmittelwerte 1981–2011



* Ende 1988 wurde in unmittelbarere Nähe der Station Sion-Aéroport die Autobahn A9 eröffnet.

Abb. 9 > Stickoxide (NO_X), Jahresmittelwerte 1981–2011

Die Messwerte der Station Bern wurden homogenisiert (siehe Anhang 5).



* Ende 1988 wurde in unmittelbarere Nähe der Station Sion-Aéroport die Autobahn A9 eröffnet.

NO_2-Rückgang 30–50 % seit Mitte der 80er Jahre

Vergleicht man die 2011 gemessenen Werte mit denjenigen Mitte der 80er-Jahre, so sind Belastungsrückgänge von 32–51 % beim NO_2 und von 41–62 % beim NO_x 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_2- und NO_x-Belastung deutlich reduziert (-31 % resp. -47 %).

3.3 Situation 2011

Stadt: Grenzwert überschritten

Die wichtigsten Messergebnisse des NABEL des Jahres 2011 sind in Tab. 6 bis Tab. 8 zusammengefasst. Die Stadtzentrums-Stationen und autobahnnahe, ländliche Stationen zeigen deutliche Grenzwertüberschreitungen des NO_2-Jahresmittelwerts. An einzelnen Tagen ist das Tagesmittel grösser als 80 µg/m³ (Überschreitung des Kurzzeitgrenzwertes), während die 95 %-Werte unter dem Grenzwert von 100 µg/m³ liegen. Dies weist auf eine permanent zu hohe NO_2-Belastung hin, wohingegen hohe Spitzenwerte eher selten sind.

Vorstädtische Gebiete: im Grenzwertbereich

Die vorstädtischen Standorte zeigen gegenüber den Stadtzentrumsstandorten eine tiefere mittlere Belastung. Die NO_2-Jahresmittelwerte lagen dort 2011 unterhalb des Grenzwerts.

Land: Grenzwert eingehalten

An den ländlichen Stationen im schweizerischen Mittelland liegen die NO_2-Jahresmittelwerte deutlich unter dem Jahresgrenzwert. Mit zunehmender Meereshöhe nimmt die Stickoxidbelastung deutlich ab.

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. 6 > Stickstoffdioxid (NO_2), Jahresstatistik 2011

Standorttyp	Station	Jahres-mittelwert µg/m³	95 %-Wert µg/m³	max. 24h-Mittelwert µg/m³	Anzahl Grenzwert-überschreitungen 24h-Mittelwert
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	42	81	77	0
	Lausanne-César-Roux	42	79	87	4
Städtisch	Lugano-Università	34	77	96	1
	Zürich-Kaserne	32	68	81	1
Vorstädtisch	Basel-Binningen	22	55	67	0
	Dübendorf-Empa	28	63	73	0
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	40	83	82	1
	Sion-Aéroport-A9	38	87	86	8
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	21	53	57	0
	Payerne	15	36	41	0
	Tänikon	13	32	41	0
	Lägeren	11	31	43	0
Ländlich, oberhalb 1000 m	Chaumont	6	16	29	0
	Rigi-Seebodenalp	7	21	36	0
	Davos-Seehornwald	4	10	13	0
Hochgebirge	Jungfraujoch	< 1	< 1	1	0
LRV-Immissionsgrenzwert		*30*	*100*	*80*	*1*

Abb. 10 > Stickstoffdioxid (NO_2), Monatsmittelwerte 2011

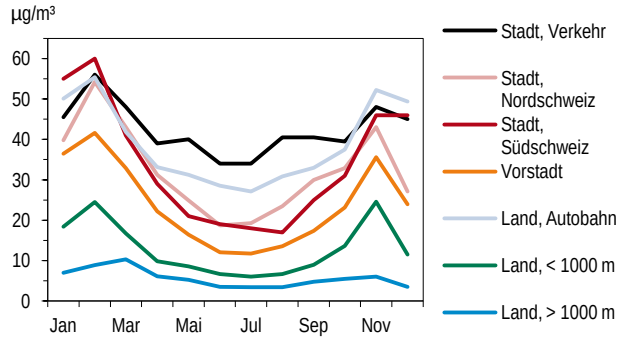
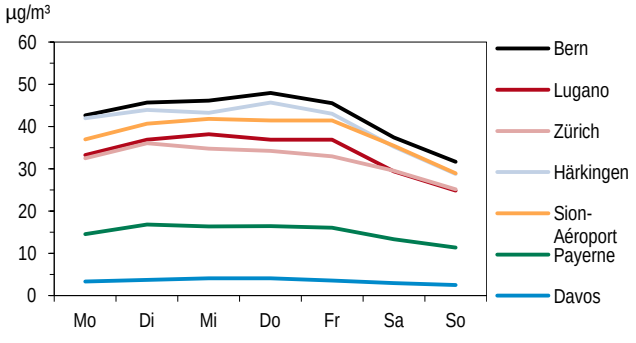


Abb. 11 > Stickstoffdioxid (NO_2), mittlerer Wochengang 2011



Tab. 7 > Stickstoffmonoxid (NO), Jahresstatistik 2011

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert µg/m³	95 %-Wert µg/m³	max. 24h-Mittelwert µg/m³
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	35	118	116
	Lausanne-César-Roux	21	65	86
Städtisch	Lugano-Università	12	60	102
	Zürich-Kaserne	13	62	142
Vorstädtisch	Basel-Binningen	7	35	77
	Dübendorf-Empa	14	72	117
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	41	158	148
	Sion-Aéroport-A9	26	113	130
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	14	76	125
	Payerne	3	13	39
	Tänikon	4	18	39
	Lägeren	1	5	30
Ländlich, oberhalb 1000 m	Chaumont	< 1	2	4
	Rigi-Seebodenalp	< 1	2	19
	Davos-Seehornwald	< 1	1	2
Hochgebirge	Jungfraujoch	< 1	< 1	< 1

Deutlicher ausgeprägt ist der Jahresgang bei der Summe der Stickoxide (NO_x, Abb. 12). An den verkehrsbelasteten Standorten ist die Stickoxidbelastung während des ganzen Jahres wesentlich höher als an den nicht-strassennahen Stationen. Die tieferen NO_x-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_2 umgewandelt und dieses vermehrt unter Einfluss von Sonnenlicht in Sekundärschadstoffe (z. B. Salpetersäure, PAN) transformiert.

Wochengang: starker Rückgang am Wochenende

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_x). Die Ursache dafür ist der Rückgang der Zahl der Lastwagenfahrten am Wochenende. Beim NO_2 ist die Abnahme weniger stark, aber immer noch deutlich erkennbar.

Tab. 8 > Stickoxide (NO_X), Jahresstatistik 2011

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert ppb	95 %-Wert ppb	max. 24h-Mittelwert ppb
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	50	132	120
	Lausanne-César-Roux	39	90	114
Städtisch	Lugano-Università	27	84	117
	Zürich-Kaserne	27	79	143
Vorstädtisch	Basel-Binningen	17	54	85
	Dübendorf-Empa	26	85	122
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	54	163	158
	Sion-Aéroport-A9	41	133	148
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	22	84	126
	Payerne	10	28	47
	Tänikon	10	29	47
	Lägeren	7	20	41
Ländlich, oberhalb 1000 m	Chaumont	4	10	18
	Rigi-Seebodenalp	4	12	33
	Davos-Seehornwald	2	7	9
Hochgebirge	Jungfraujoch	< 1	< 1	1

Abb. 12 > Stickoxide (NO_X), Monatsmittelwerte an Standorttypen 2011

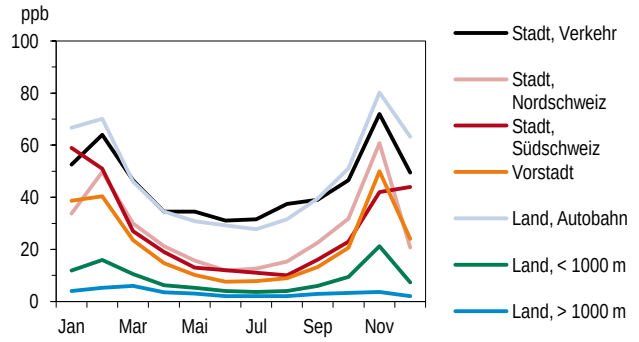
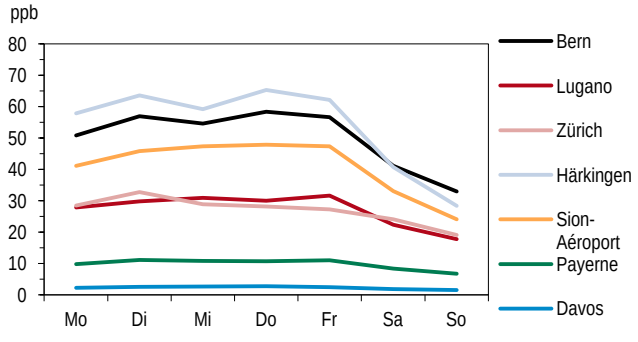


Abb. 13 > Stickoxide (NO_X), mittlerer Wochengang 2011



3.4 Bewertung

NO_2-Belastung in Städten und an Hauptverkehrssachsen zu hoch

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_2-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_2-Grenzwerte überschritten sind.

Verkehrsemissionen nehmen langsamer ab als erwartet

Neue Messungen (Handbook Emission Factors for Road Transport HBEFA Version 3.1, 2010, *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.

Hohe Langzeitwerte, aber moderate Spitzenwerte

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.

Auch für Säure und Stickstoffeintrag wichtig

Neben der Belastung von Mensch und Umwelt durch zu hohe NO_2-Konzentrationen sind die Stickoxide auch für den Säureeintrag und di e 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.

4 > Feinstaub

4.1 Entstehung und Charakterisierung

Grösse und Zusammensetzung

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 Staubniederschlag 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.

Quellen

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.

TSP, PM10, PM2.5

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. Weiterführende Informationen finden sich im Status-Bericht «Feinstaub in der Schweiz» der eidgenössischen Kommission für Lufthygiene (Bern 2009).

4.2 Zeitliche Entwicklung

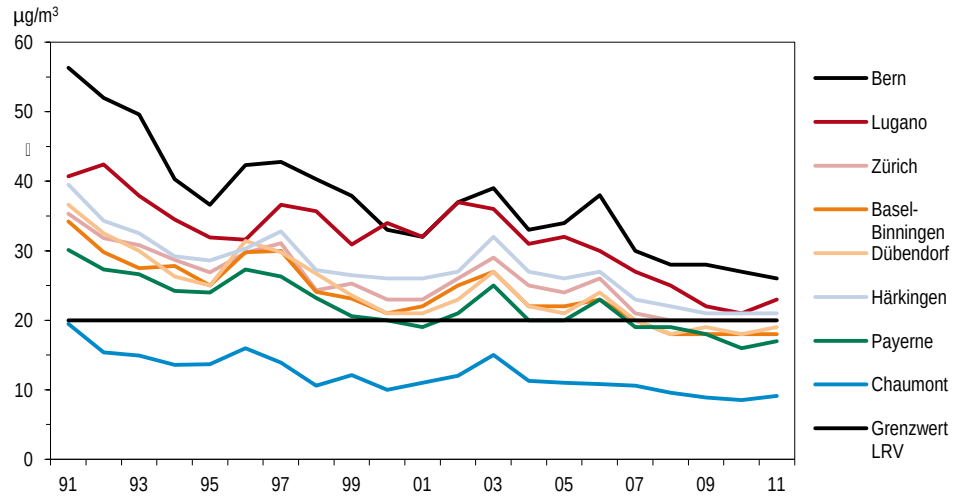
Deutlicher Rückgang der PM10-Belastung seit 1991

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 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. Die PM10-Messungen wurden an der Station Bern-Bollwerk in den Jahren 2007 und 2008 durch die Bauarbeiten am Bahnhofsplatz und die Teilsperrung des Bollwerks beeinflusst.

Abb. 14 > Feinstaub (PM10), Jahresmittelwerte 1991–2011

Die Werte vor 1997 wurden aus TSP-Messungen umgerechnet.



4.3 Situation 2011

Jahresmittelwerte grossflächig zu hoch

In städtischen Gebieten und entlang von Autobahnen überschritten die PM10-Jahresmittelwerte teilweise den Grenzwert von 20 µg/m³. Erst an den Stationen oberhalb 1000 m über Meer lagen die Messwerte deutlich unterhalb des Grenzwertes (Tab. 9).

Sekundäres PM10, grossräumiger Transport

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 (SO_4^{2-}) aus Schwefeldioxid, Nitrat (NO_3^-) aus Stickoxiden, Ammonium (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*; Luft; Themen Feinstaub).

Tab. 9 > Feinstaub (PM10), Jahresstatistik 2011

Standorttyp	Station	Jahres-mittelwert µg/m³	max. 24h-Mittelwert µg/m³	Anzahl Grenzwert-überschreitungen 24h-Mittelwert
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	26	79	24
	Lausanne-César-Roux	23	68	17
Städtisch	Lugano-Università	23	108	23
	Zürich-Kaserne	20	74	10
Vorstädtisch	Basel-Binningen	18	63	8
	Dübendorf-Empa	19	71	9
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	21	71	12
	Sion-Aéroport-A9	21	61	6
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	23	125	22
	Payerne	17	64	9
	Tänikon	15	66	4
Ländlich, oberhalb 1000 m	Chaumont	9	51	1
	Rigi-Seebodenalp	8	43	0
Hochgebirge	Jungfraujoch	3	30	0
LRV-Immissionsgrenzwert		*20*	*50*	*1*

Der Tagesgrenzwert von 50 µg/m³ wurde ebenfalls und zum Teil sehr häufig überschritten. An der Station Chaumont oberhalb 1000 m über Meer, wurde nur ein 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 2011

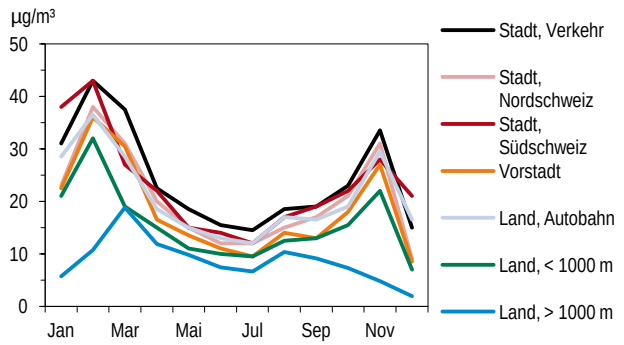
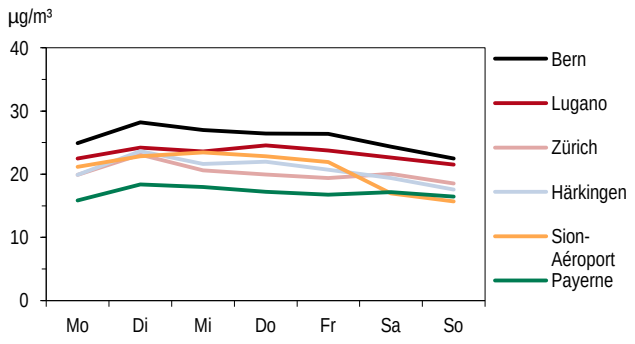


Abb. 16 > Feinstaub (PM10), mittlerer Wochengang 2011



Jahresgang: hohe Werte in den Wintermonaten

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.

4.4 PM2.5 und PM1-Messungen

PM2.5 und PM1 Messungen

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

Räumliche Unterschiede im PM2.5 und PM1 gering

Die PM2.5-Belastung (Tab. 10) zeigt in den tieferen Lagen der Alpennordseite geringe Unterschiede (12–20 µg/m³). 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. 10) zeigt in den tieferen Lagen der Alpennordseite kleine Unterschiede (9–12 µg/m³). Am stark verkehrsbelasteten Standort Härkingen wurde mehr PM1 gemessen als in Payerne, einem ländlichen Standort abseits des direkten Einflusses von Strassenverkehr.

Verhältnis PM2.5/PM10

Das Verhältnis zwischen PM2.5 und PM10-Tagesmittelwerten ist an 5 der tiefgelegenen Stationen sehr ähnlich. Es liegt zwischen 71 % und 76 %. An der Station Payerne ist das Verhältnis mit 67 % aus noch nicht bekannten Gründen deutlich tiefer.

Verhältnis PM1/PM10

Das Verhältnis der Tagesmittelwerte von PM1 und PM10 ist an den Stationen Härkingen und Payerne ähnlich (57 % resp. 52 %).

Tab. 10 > Feinstaub: PM10, PM2.5 und PM1 Parallelmessungen 2011

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert			Mittel der täglichen Verhältnisse	
		PM10 µg/m³	PM2.5 µg/m³	PM1 µg/m³	PM2.5/PM10 %	PM1/PM10 %
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	26	20		76	
Städtisch	Lugano-Università	23	17		73	
	Zürich-Kaserne	20	15		73	
Vorstädtisch	Basel-Binningen	18	13		71	
	Dübendorf-Empa	19	13		72	
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	21	15	12	71	57
Ländlich, unterhalb 1000 m	Payerne	17	12	9	67	52
	Magadino-Cadenazzo	23	16		70	
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	8	7		76	

4.5 Partikelanzahl – Messungen

Orientierende Partikelanzahl-Messungen

Seit einigen Jahren wird an einigen 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. Damit gibt die gemessene Partikelanzahl ein Mass für die kleinsten Partikel, die nicht nur in die Lunge sondern auch ins Blut eindringen können.

Grosse räumliche Unterschiede

Die gemessenen Partikelanzahlkonzentrationen zeigen grosse Unterschiede zwischen den verschiedenen Stationstypen (Tab. 11). So werden auf Rigi-Seebodenalp im Jahresmittel rund 3000 Partikel pro Kubikzentimeter gezählt, unmittelbar an der Autobahn in Härkingen rund die zehnfache Anzahl. Die sehr feinen Partikel aus Verbrennungsprozessen dominieren in Quellennähe die Partikelanzahlkonzentration.

Maximalwerte

Auch die maximalen Stundenmittelwerte zeigen deutliche Unterschiede je nach Standorttyp. Unmittelbar an der Autobahn werden rund 180 000 Partikel pro Kubikzentimeter gemessen, ähnlich hohe Werte werden in einer innerstädtischen Strassenschlucht erreicht.

Wochengang

Der Wochengang (Abb. 17) 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 über ein Drittel tiefer als an Werktagen, was auf den Schwerverkehr als wesentlichen Emittenten von sehr feinen Partikeln hinweist.

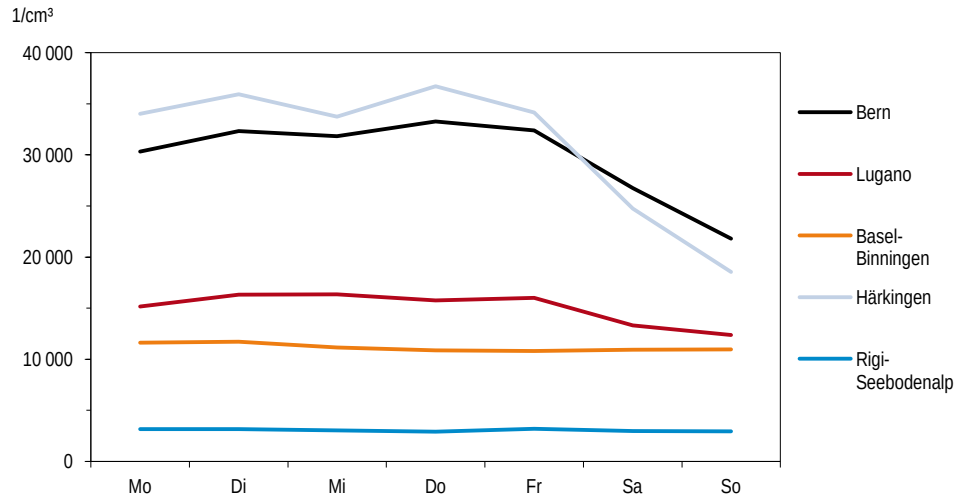
Tagesgang

Die Partikelanzahlkonzentration weist einen ausgeprägten Tagesgang auf mit Maxima während den Hauptverkehrszeiten an städtischen und verkehrsbelasteten Standorten. In den Voralpen treten die höchsten Konzentrationen am Nachmittag auf.

Tab. 11 > Partikelanzahl, Jahresstatistik 2011

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert Partikelanzahl 1/cm³	Maximaler Stundenmittelwert 1/cm³	Maximaler Tagesmittelwert 1/cm³
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	29 800	183 500	65 300
Städtisch	Lugano-Università	15 100	84 500	38 600
Vorstädtisch	Basel-Binningen	11 200	82 300	25 500
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	31 100	177 500	74 600
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	3 100	43 400	7 500

Abb. 17 > Partikelanzahl-Konzentration, Mittlerer Wochengang, 2011



4.6 Schwefel im Feinstaub

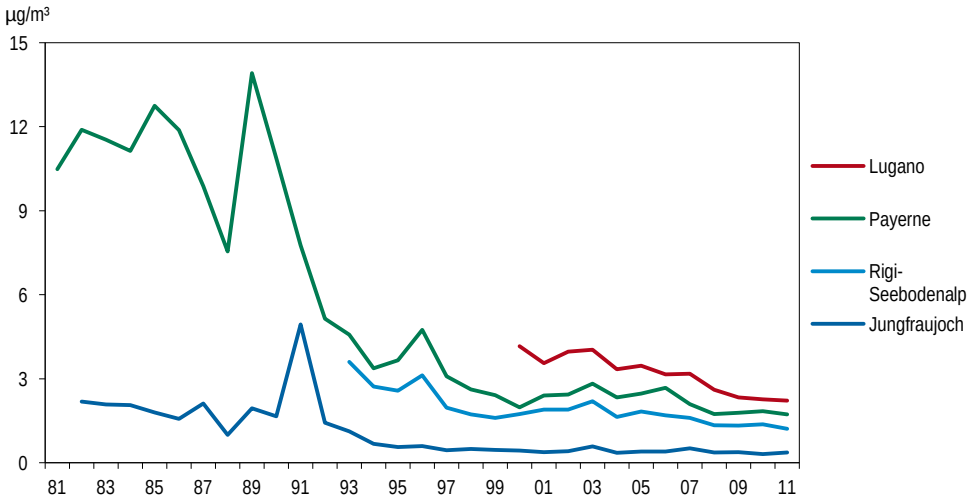
Sulfatbestimmungen auf PM10-Filtern

An vier Stationen wird täglich der Sulfatgehalt (SO_4^{2-}) 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*; Luft; Themen Feinstaub).

Tab. 12 > Schwefel und Sulfatgehalt in PM10, Jahresstatistik 2011

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-Università	0,74	3,5	2,22	9,6
Ländlich, < 1000 m	Payerne	0,57	3,0	1,72	10,1
Ländlich, > 1000 m	Rigi-Seebodenalp	0,40	2,0	1,21	14,6
Hochgebirge	Jungfraujoch	0,12	0,9	0,37	12,1

Abb. 18 > Sulfat im PM10, Jahresmittelwerte 1981–2011



Homogene räumliche Verteilung

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. 18) ist nicht nur auf den Rückgang der Schwefeldioxid-Emissionen in der Schweiz, sondern im ganzen mitteleuropäischen Raum zurückzuführen. Die hohen Sulfatwerte auf dem Jungfraujoch 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.

Schätzung Schwefelgehalt im PM10

In der Tab. 12 sind die Messwerte des Jahres 2011 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 10–15 % des PM10 als Sulfat vorliegt. Dieser Wert ist zwar wesentlich niedriger als Mitte der 80er Jahre, als in Payerne und Jungfraujoch 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.

4.7 Bewertung

PM10-Grenzwerte in Städten deutlich überschritten

Der Jahresgrenzwert für den lungengängigen Feinstaub (PM10) wurde 2011 in den städtischen und in verkehrsbelasteteten 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 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.

Massnahmen auf lokaler bis internationaler Ebene erforderlich

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.

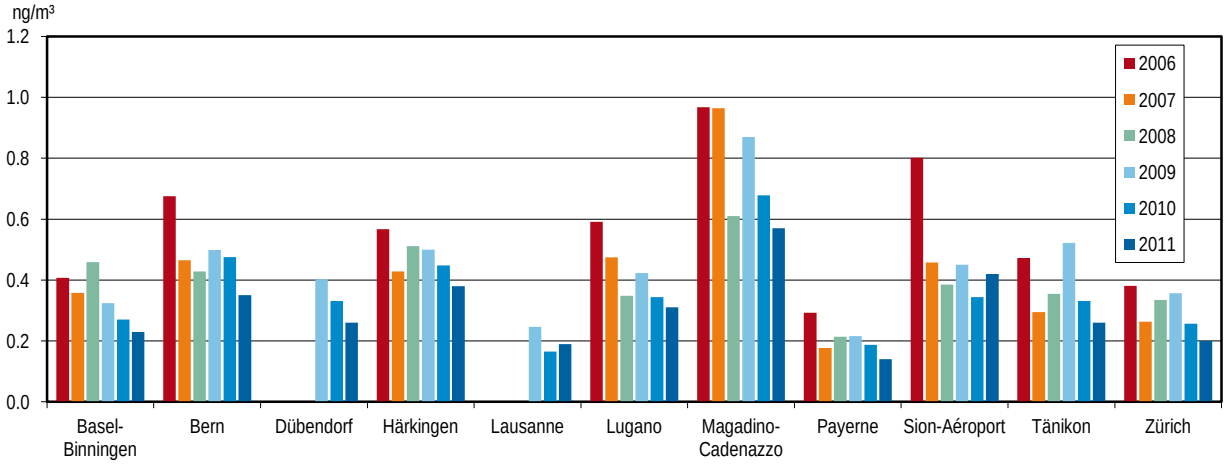
Russpartikel minimieren

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.

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 e in Zielwert für das krebserregende Benzo(a)pyren von 1 ng/m³ 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. 19 zeigt die Jahresmittel der Benzo(a)pyren-Konzentrationen für die Jahre 2006 bis 2011. An allen Standorten waren die Immissionen im Jahr 2011 tiefer als im Jahr 2006, was parallel verläuft mit der ebenfalls tieferen PM10-Belastung im Jahr 2011. 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 0,57 ng/m³) 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 2011). 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. 19 > Jahresmittelwerte der Konzentration von Benzo(a)pyren im PM10



4.9 Russgehalt im Feinstaub

Russ ist nicht nur ein Ärgernis, weil er sich als schmutzige schwarze Schicht auf Fenstern niederschlägt. Die mikroskopisch kleinen Russpartikel dringen tief in die Lunge ein und k önnen 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-Äthalometer aufgenommen.

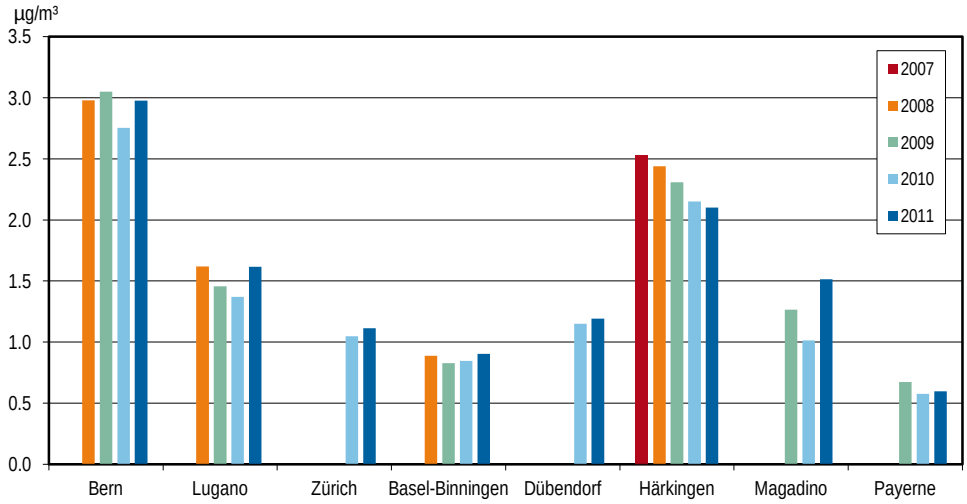
Der Begriff Russ umfasst alle primären, kohlenstoffhaltigen Partikel eines unvollständigen Verbrennungsprozesses. Er besteht vor allem aus elementarem (schwarzem) Kohlenstoff (elemental carbon, EC) und organischen Verbindungen, die als organischer Kohlenstoff (organic carbon, OC) gemessen werden. In 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 EUSAAR-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. 13 zeigt eine Übersicht der Russ-Messwerte des Jahres 2011. Abb. 20 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 einen

wesentlich grösseren Anteil an der Massenkonzentration PM2.5 als an nicht unmittelbar verkehrsbelasteten Standorten.

Tab. 13 > Russ im PM2.5 als EC gemäss TOT/EUSAAR-2 Verfahren, Jahresstatistik 2011

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert µg/m³	Maximaler Tagesmittelwert µg/m³	Mittlerer Anteil Russ am PM2.5 %
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	3,0	6,5	15
Städtisch	Lugano-Università	1,6	6,4	9
	Zürich-Kaserne	1,1	3,7	8
Vorstädtisch	Basel-Binningen	0,9	3,4	7
	Dübendorf-Empa	1,2	4,4	9
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	2,1	4,9	14
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	1,5	5,3	9
	Payerne	0,6	2,3	5

Abb. 20 > 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:

Ozonloch

- 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.

Sommersmog

- 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_x) und flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) verursacht.

Treibhausgas

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

Natürliche Ozonbelastung

Zu Beginn des letzten Jahrhunderts lag die Ozonbelastung am Erdboden in der Grössenordnung von 15 ppb (30 µg/m³) und in 1–2 km Höhe über Boden im Bereich von 20–30 ppb (35–52 µg/m³). 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 hauptsächlichste 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.

Ozon als sekundärer Schadstoff

Das anthropogene Ozon in der Grundschicht der Atmosphäre entstammt nicht direkten Schadstoffquellen. Es wird erst in der Atmosphäre durch photochemische Reaktionen aus so genannten Vorläuferschadstoffen, dem Stickstoffdioxid (NO_2) 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_2 und NMVOC auch Kohlenmonoxid und Methan eine wesentliche Rolle (*www.empa.ch/klimagase*).

Ozon als Reizgas

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.

5.2 Zeitliche Entwicklung

Trends der Spitzenwerte sind von Interesse

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

- 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.

Ozontrends seit den 90er-Jahre

In der Abb. 21 sind die an den NABEL-Stationen seit den 90er-Jahren zu beobachtenden Ozontrends 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-Seebodenalp) und di e beiden Stationen der Alpensüdseite (Lugano, Magadino-Cadenazzo).

Quantile der Ozonverteilung

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.

Hohe Ozonwerte rückläufig, Mittelwerte ansteigend

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 µg/m³ 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.

Zunahme der Ozonmittelwerte in Städten

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 erhöhten Lagen

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.

Trends stimmen mit Aussagen von Ozonmodellen überein

Die Trends, wie sie in den Abb. 21 dokumentiert sind, stimmen gut mit der theoretisch zu erwartenden Ozonentwicklungen überein, wie sie in Ozonmodellen berechnet werden. Zwischen 1990 und 2011 haben die gesamtschweizerischen NO_x-Emissionen um 48 % 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 NO_x und NMVOC eine Abnahme der Ozonmaxima, aber kaum eine Änderung des Mittelwertes, voraussagen,

In den Abb. 22 und Abb. 23 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. 21 > 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).

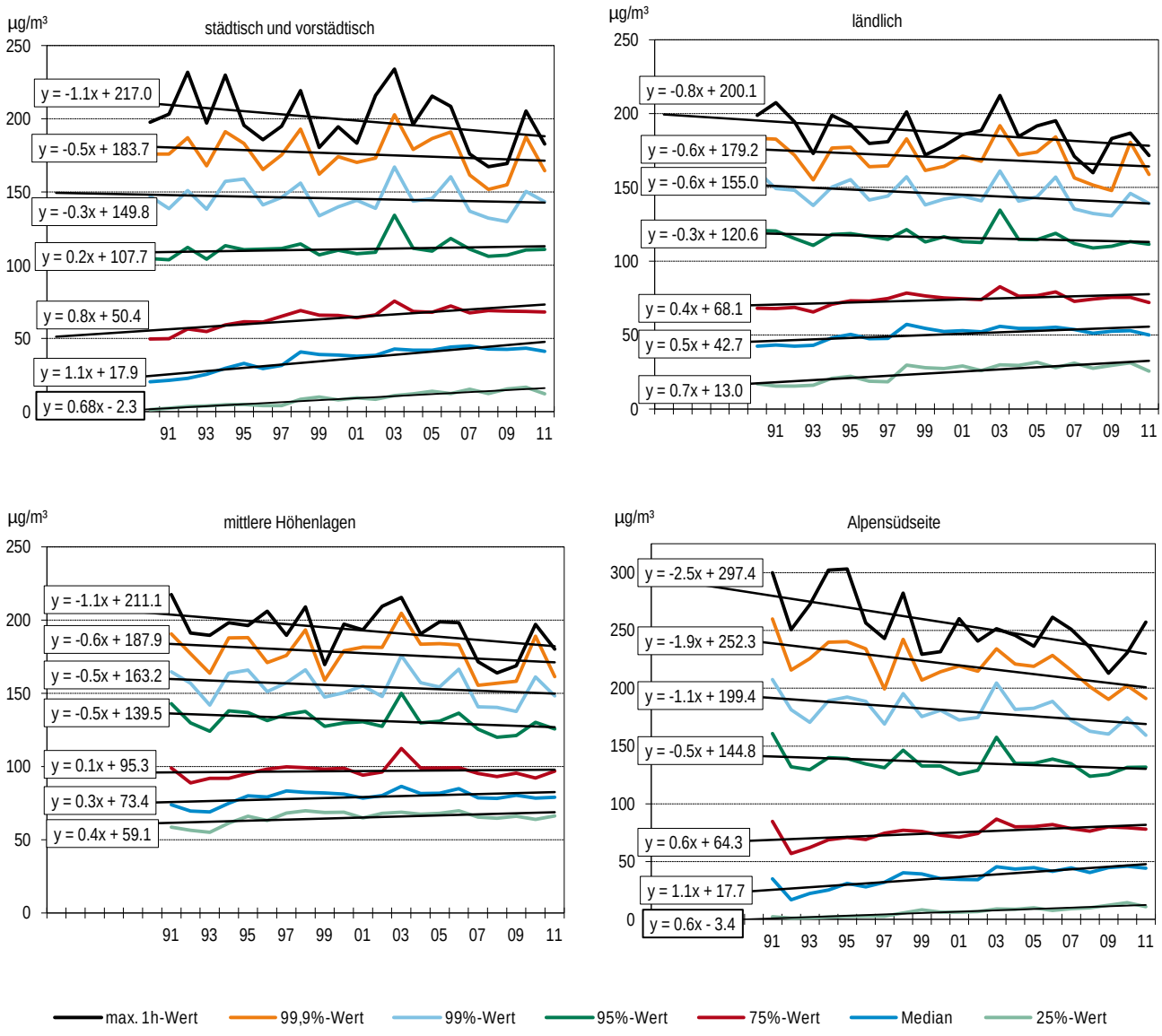


Abb. 22 > Ozon, 98 %-Werte des ozonreichsten Sommermonats 1990–2011

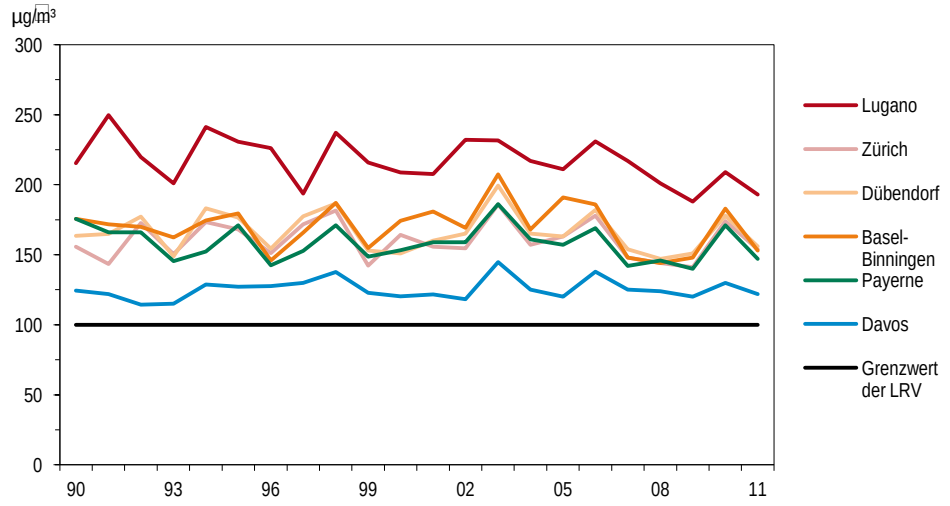
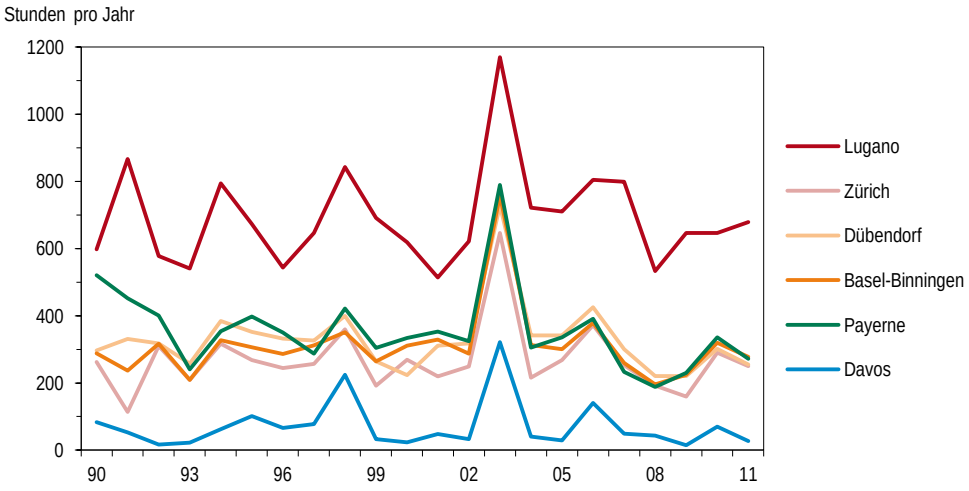


Abb. 23 > Ozon, Anzahl Überschreitungen des 1h-Immissionsgrenzwertes 1990–2011



5.3 Situation 2011

Grenzwerte an allen Stationen überschritten

Die Jahresstatistik 2011 (Tab. 14) zeigt, dass die Ozongrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung (maximaler Stundenmittelwert von 120 µg/m³, 98 %-Wert der Summenhäufigkeit der Halbstundenmittelwerte eines Monats von 100 µg/m³) 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 Mai bis Juli.

Ozonabbau an strassennahen Standorten

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 gl eichzeitig Vorläufersubstanz für die Ozonbildung in grösserer Entfernung von der Strasse.

Tab. 14 > Ozon (O_3), Jahresstatistik 2011

Standorttyp	Station	Jahres-mittelwert µg/m³	max. 98 %-Wert µg/m³	max. Stunden-mittelwert µg/m³	Anz. Grenz-wertüber-schreitungen (1h-Wert)	Anzahl Tage mit max. 1h-Mittelwert			max. 8h-Mittelwert µg/m³	Anzahl Tage mit max. 8h-Mittelwert	
						> 120 µg/m³	> 180 µg/m³	> 240 µg/m³		> 100 µg/m³	> 120 µg/m³
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	33	129	145	62	18	0	0	136	26	6
	Lausanne-César-Roux	43	129	162	67	16	0	0	135	31	6
Städtisch	Lugano-Università	54	193	282	679	109	7	1	242	134	86
	Zürich-Kaserne	45	154	173	250	45	0	0	160	83	29
Vorstädtisch	Basel-Binningen	47	153	192	278	48	1	0	166	80	33
	Dübendorf-Empa	43	156	183	255	53	1	0	161	82	29
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	34	137	159	110	35	0	0	142	40	11
	Sion-Aéroport-A9	41	135	152	169	33	0	0	140	64	19
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	47	168	232	533	97	4	0	198	113	61
	Payerne	52	147	159	272	49	0	0	154	87	31
	Tänikon	51	153	184	241	54	1	0	171	76	24
	Lägeren	67	156	166	479	58	0	0	161	112	45
Ländlich, oberhalb 1000 m	Chaumont	83	156	174	604	64	0	0	165	133	49
	Rigi-Seebodenalp	80	157	186	554	64	1	0	169	130	47
	Davos-Seehornwald	70	122	133	27	8	0	0	128	43	3
Hochgebirge	Jungfraujoch	75	110	137	11	6	0	0	117	23	0
LRV-Immissionsgrenzwert			*100*	*120*	*1*						

1) Die Umrechnung von ppb und µg/m³ und ppm in mg/m³ erfolgt für die Stationen Davos-Seehornwald und Jungfraujoch mit standortabhängigen Faktoren (Anhang A4).

5.4 Ozon Jahresgang

Ozon zeigt einen typischen Jahresgang, der sich grundlegend von den meisten anderen Schadstoffen unterscheidet (Abb. 24 und Abb. 25). Im Sommer werden bedeutend höhere Konzentrationen gemessen als im Winter. Die Darstellung der Monatsmittelwerte (Abb. 24) 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 April und Mai hatten ausserordentlich viele Sonnenstunden und wiesen entsprechend hohe Ozonwerte auf (Abb. 24).

Hohe Ozonwerte im April und Mai

Abb. 24 > Ozon (O_3), Monatsmittelwerte an Standorttypen, 2011

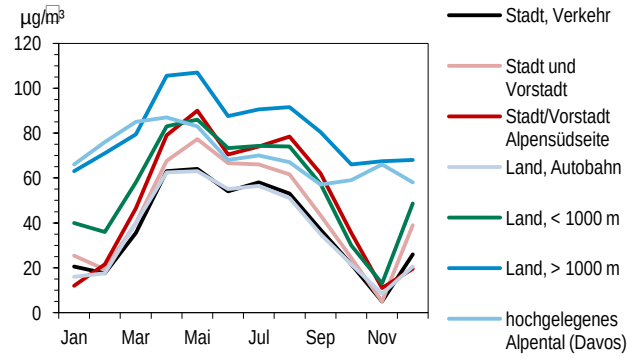
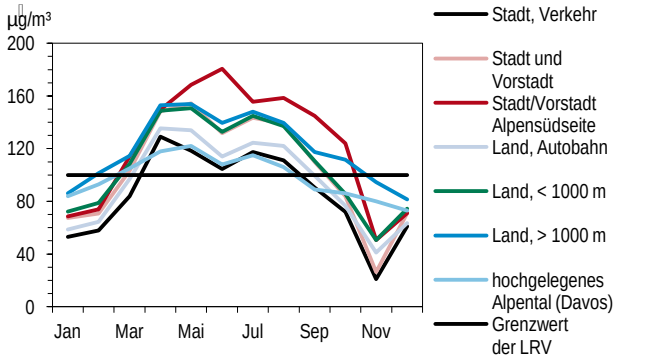


Abb. 25 > Ozon (O_3), monatliche 98 %-Werte an Standorttypen, 2011



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, die Stickoxide (NO_x) und die flüchtigen organischen Verbindungen (VOC). Das Sommersmogproblem lässt sich nur durch eine massive Verminderung dieser beiden 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

Gruppe der VOC umfasst Vielzahl von Substanzen

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.

Kohlenwasserstoffe

Eigenschaften

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.

Methan

Der einfachste Kohlenwasserstoff, der zudem in der Atmosphäre in grösseren Mengen vorkommt, ist das Methan (CH_4). 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).

Vorläufer für Ozonbildung

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.

Wirkungen

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.

6.2 VOC-Summenmessung

Messtechnik

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.

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

Die Immissionsentwicklung seit 1986 (Abb. 26) ist für die Erfolgskontrolle von speziellem Interesse. Beide Stationen mit langen Messreihen zeigen eine Abnahme um rund 73 % seit Ende der 80er Jahre. In Tab. 15 sind die wichtigsten Messwerte des Jahres 2011 zusammengestellt.

Höhere Werte im Tessin

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.

Tab. 15 > Nichtmethan-VOC (ausgedrückt als Methanäquivalent), Jahresstatistik 2011

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert µgCH_4/m³	95 %-Wert µgCH_4/m³	max. 24h-Mittelwert µgCH_4/m³
Städtisch	Lugano-Università	91	207	258
	Zürich-Kaserne	49	145	272
Vorstädtisch	Dübendorf-Empa	60	159	195

Abb. 26 > Nichtmethan-VOC (ausgedrückt als Methanäquivalent), Jahresmittelwerte 1986–2011

6.3 Aromatische Verbindungen

Benzol, Toluol und Xylol als wichtigste 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. **16** sind die Jahresmittel aller C_6–C_8-Aromaten der Stationen Bern-Bollwerk, Zürich, Dübendorf und Rigi-Seebodenalp zusammengestellt. An der städtischen Station werden die höchsten Aromaten-Konzentrationen gemessen. Ländlich, über 1000 m, sind die Konzentrationen erheblich geringer als in der Region Zürich.

Tab. 16 > Aromatische Verbindungen, Jahresmittel 2011

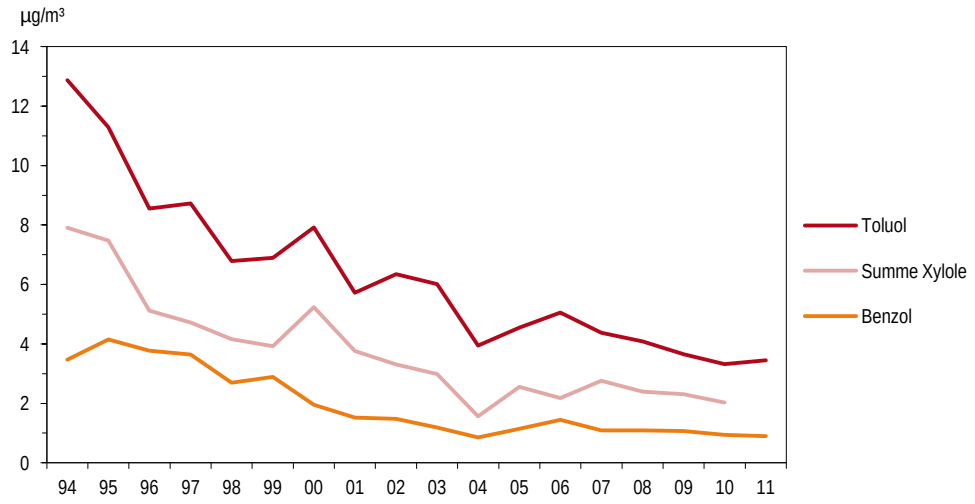
	Benzol µg/m³	Toluol µg/m³	Ethylbenzol µg/m³	m/p-Xylol µg/m³	o-Xylol µg/m³
Bern-Bollwerk	1,41	4,91	0,72	2,98	0,71
Zürich-Kaserne	0,98	3,20	0,56	1,99	0,85
Dübendorf-Empa	0,91	3,47			
Rigi-Seebodenalp	0,35	0,53	0,09	0,22	0,09

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.

Deutliche Abnahme der Benzolbelastung zwischen 1999 und 2001

Die Konzentration von Toluol hat seit 1994 deutlich abgenommen (Abb. 27). 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.

Abb. 27 > Aromatische Verbindungen, Jahresmittelwerte 1994–2011, Dübendorf



6.4 Gesättigte und ungesättigte Kohlenwasserstoffe

Ungesättigte Kohlenwasserstoffe wichtig für Ozonbildung

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.

Hauptemittenten

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.

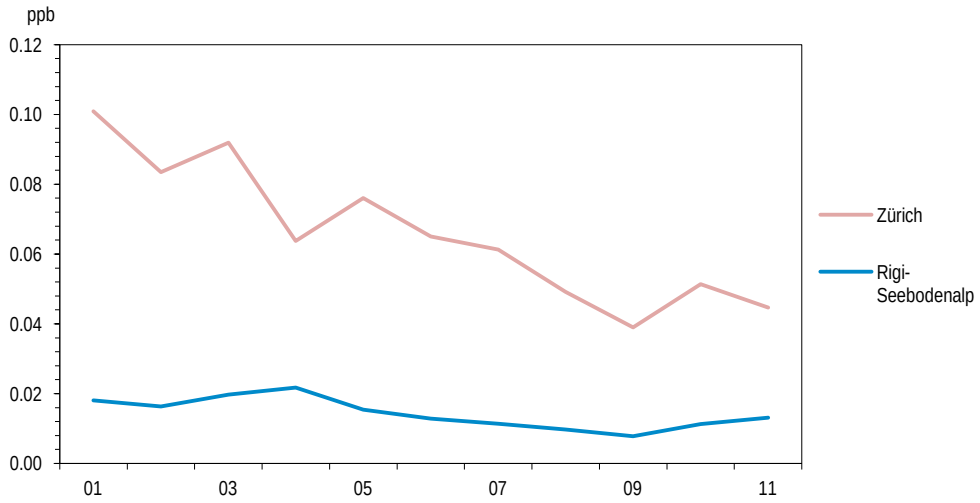
Messungen

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).

1,3-Butadien

Humantoxikologisch ist das krebserregende 1,3-Butadien von Bedeutung. Abb. **28** zeigt die seit 2001 im NABEL gemessenen Konzentrationen. In der Stadt Zürich ist die Konzentration zwischen 2001 und 2011 fast auf die Hälfte gesunken, vermutlich als Folge der verbesserten Motorentechnik und Abgasreinigung bei Fahrzeugen.

Abb. 28 > 1,3-Butadien, Jahresmittelwerte 2001–2011



6.5 Halogenierte Verbindungen

Bedeutung in der Atmosphäre

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.

Messungen an NABEL-Stationen

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 durchgeführt (*www.empa.ch/klimagase*).

Erlaubte Substanz F134a

Einige Beispiele für die auf dem Jungfraujoch gemessenen Konzentrationen von halogenierten Verbindungen sind in Abb. 29 und Abb. 30 dargestellt. Die Verbindung F134a (CH_2FCF_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. 29).

Abb. 29 > F134a, Tagesmittelwerte 2000 bis 2011 auf dem Jungfraujoch

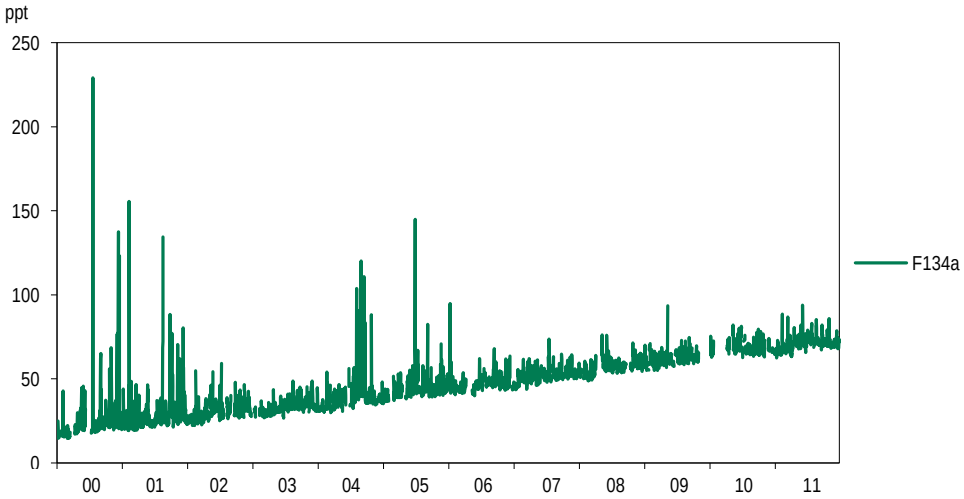
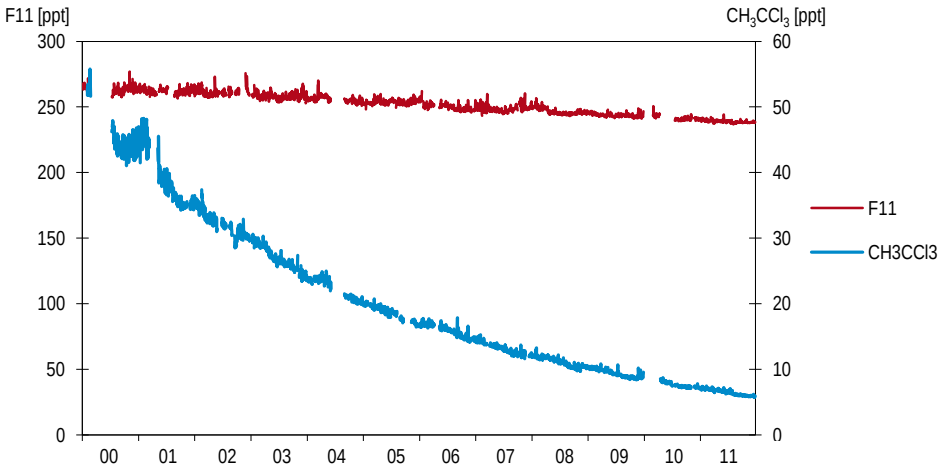


Abb. 30 > 1,1,1-Trichlorethan und F11: Tagesmittelwerte von 2000 bis 2011 auf dem Jungfraujoch



Verbotene langlebige Substanz F11

Das in Schaumstoffen und Sprays eingesetzte F11 (CCl_3F) ist durch das Montrealer-Protokoll in Produktion und Anwendung weltweit eingeschränkt. Da F11 jahrzehntelang in der Atmosphäre verbleibt, hat die Hintergrundskonzentration seit 2000 wenig abgenommen (Abb. 30). Es werden keine ausgeprägten Konzentrationsspitzen gemessen, was darauf hindeutet, dass in Europa keine Quellen von F11 vorhanden sind.

Verbotene kurzlebige Substanz 1,1,1-Trichlorethan

Das als Lösungsmittel verwendete 1,1,1-Trichlorethan (CH_3CCl_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. 30).

6.6 Bewertung

Weitere Emissionsminderungen notwendig

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.

7 > Schwefeldioxid

7.1 Entstehung und Charakterisierung

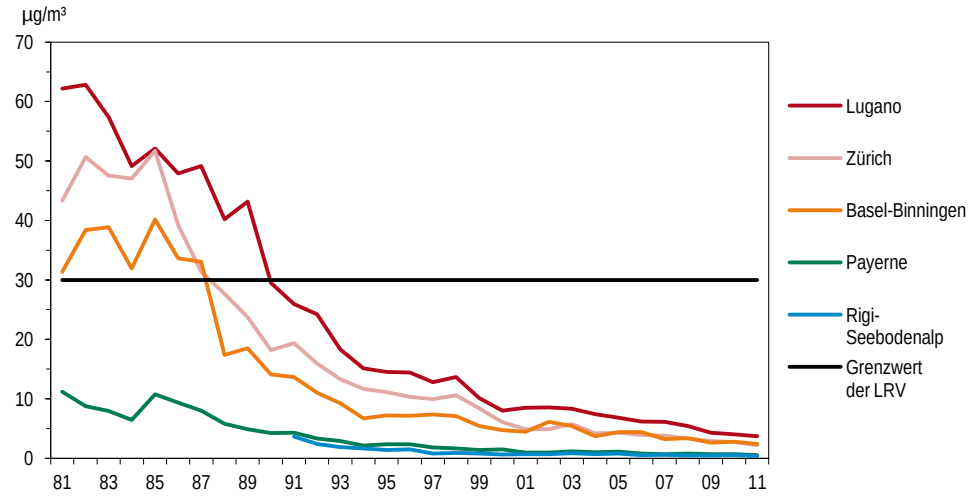
Emission seit 1980 auf ein Sechstel zurückgegangen

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.

Gesundheitliche Auswirkungen erhöhter Belastungen von Schwefeldioxid betreffen insbesondere die Atemwege. Asthmatiker und Individuen mit chronischen Atemwegserkrankungen sind speziell betroffen. SO_2 ist auch stark phytotoxisch. Es ist zudem eine wichtige Vorläufersubstanz für die Bildung von sauren Niederschlägen.

7.2 Zeitliche Entwicklung

Abb. 31 > Schwefeldioxid (SO2), Jahresmittelwerte 1981–2011



Die Schwefeldioxid-Belastung nahm zwischen 1985 und 1994 sehr stark ab (Abb. 31). Seit Mitte der 90er-Jahre ist die Abnahme geringer. Die SO_2-Belastung liegt heute an allen NABEL-Stationen auf tiefem Niveau, deutlich unter dem Immissionsgrenzwert von 30 µg/m³. Auch an den ländlichen Stationen und an der Hochgebirgsstation Jungfraujoch war die Belastung deutlich rückläufig. Seit Mitte der 80er-Jahre hat die SO_2-Belastung an allen Stationen um über 90 % abgenommen.

Abnahme der Immissionen um über 90 %

7.3 Situation 2011

Die SO_2-Messergebnisse des Jahres 2011 sind in der Tab. 17 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/m³. Dasselbe gilt für die höchsten Tagesmittelwerte.

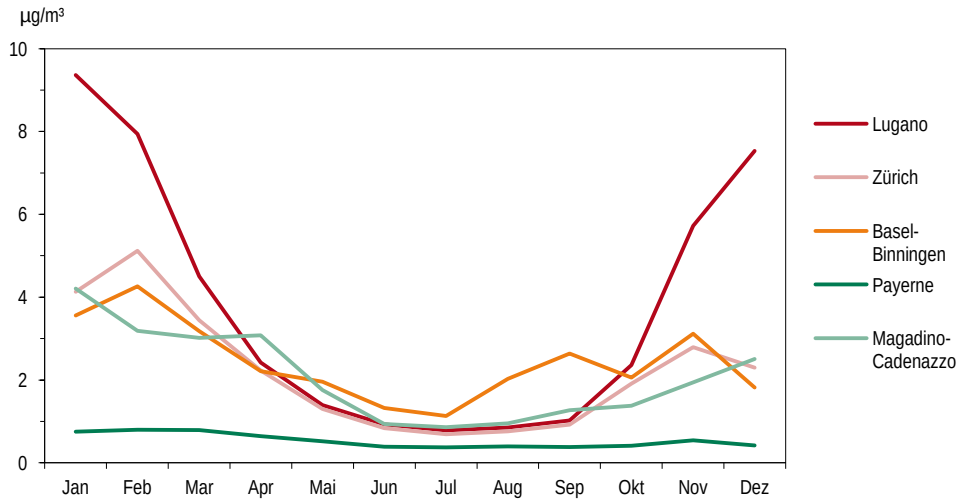
Generell tiefe Belastung

Tab. 17 > Schwefeldioxid (SO_2), Jahresstatistik 2011

Standorttyp	Station	Jahres-mittelwert µg/m³	95 %-Wert µg/m³	max. 24h-Mittelwert µg/m³	Anzahl Grenzwert-überschreitungen 24h-Mittelwert
Städtisch	Lugano-Università	3,7	12	14	0
	Zürich-Kaserne	2,2	7	12	0
Vorstädtisch	Basel-Binningen	2,4	9	11	0
	Dübendorf-Empa	1,7	5	7	0
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	1,2	3	4	0
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	2,1	6	8	0
	Payerne	< 1	1	2	0
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	< 1	< 1	1	0
Hochgebirge	Jungfraujoch	< 1	< 1	< 1	0
LRV-Immissionsgrenzwert		*30*	*100*	*100*	*1*

Da die SO_2-Belastung nun seit Jahren weit unter den Grenzwerten liegt, wurde das SO_2-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. 32 > Schwefeldioxid (SO_2), Monatsmittelwerte 2011



Die Abb. 32 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

Erfolg bestätigt Richtigkeit der Luftreinhaltestrategie

Beim Schadstoff Schwefeldioxid wurden 2011 sowohl der Langzeitgrenzwert wie die Kurzzeit-Immissionsgrenzwerte an allen NABEL-Stationen eingehalten.

Die günstige Situation ist eine direkte Folge der in den 90er-Jahren bedeutend verringerten SO_2-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

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

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.

Wirkung

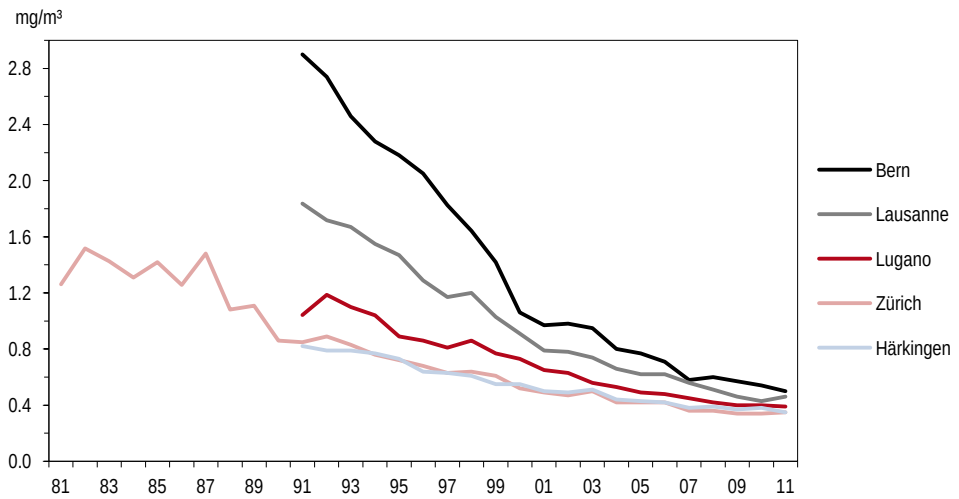
Kohlenmonoxid ist – anders als Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Ozon – kein Reizgas. Es verdrängt jedoch den Sauerstoff aus seiner Bindung mit dem roten Blutfarbstoff Hämoglobin und vermindert dadurch die Sauerstoff-Transportkapazität des Blutes. Kohlenmonoxid ist deshalb für den Menschen und die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

8.2 Zeitliche Entwicklung

Rückgang der Immission um rund 60 % seit 1992

Hinsichtlich der Belastung durch Kohlenmonoxid lässt sich an allen stark belasteten Stationen eine deutliche Abnahme seit 1990 erkennen (Abb. 33). Die beiden strassennahen Stationen in den Stadtzentren (Bern und Lausanne) zeigen die stärkste Abnahme.

Abb. 33 > Kohlenmonoxid (CO), Jahresmittelwerte 1981–2011



8.3 Situation 2011

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 0,50 mg/m³ die höchste Belastung (Tab. 18) auf. Die Jahresmittelwerte des autobahnnahen Standorts Härkingen bewegt sich in der gleichen Grössenordnung wie die Werte der Stadtzentrums-Stationen Lugano und Zürich, die nicht direkt an Hauptverkehrsachsen liegen.

Hohe Hintergrundbelastung

Deutlich tiefer sind die Werte an den nicht verkehrsbeeinflussten ländlichen Stationen sowie in den höheren Lagen. Die CO-Konzentrationen auf dem Jungfraujoch 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.

Grenzwerte deutlich eingehalten

Der Grenzwert für die Kohlenmonoxid-Belastung (Tagesmittelwert von 8 mg/m³) wird an keiner Station erreicht. Der höchste gemessene Tagesmittelwert betrug in Lugano 1,2 mg/m³. Die Werte der übrigen Stationen lagen noch tiefer.

Tab. 18 > Kohlenmonoxid (CO), Jahresstatistik 2011

Standorttyp	Station	Jahres-mittelwert mg/m³	95 %-Wert mg/m³	max. 24h-Mittelwert mg/m³	Anzahl Grenzwert-überschreitungen 24h-Mittelwert
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	0,50	1,0	1,0	0
	Lausanne-César-Roux	0,46	0,9	1,1	0
Städtisch	Lugano-Università	0,39	0,9	1,2	0
	Zürich-Kaserne	0,35	0,7	1,0	0
Vorstädtisch	Dübendorf-Empa	0,34	0,8	1,1	0
Ländlich, Autobahn	Härkingen_A1	0,35	0,7	0,8	0
Ländlich, unterhalb 1000 m	Payerne	0,24	0,5	0,6	0
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	0,16	0,3	0,4	0
Hochgebirge	Jungfraujoch	0,09	0,1	0,1	0
LRV-Immissionsgrenzwert				*8,0*	*1*

Abb. 34 > Kohlenmonoxid (CO), Monatsmittelwerte 2011

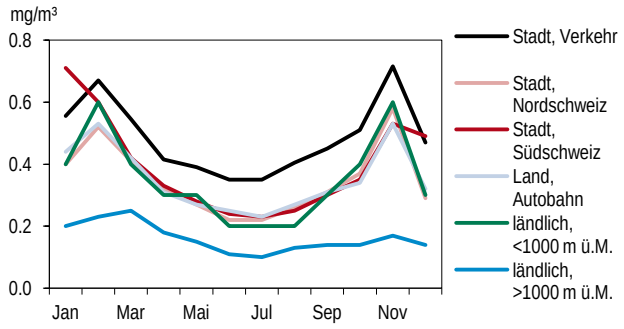
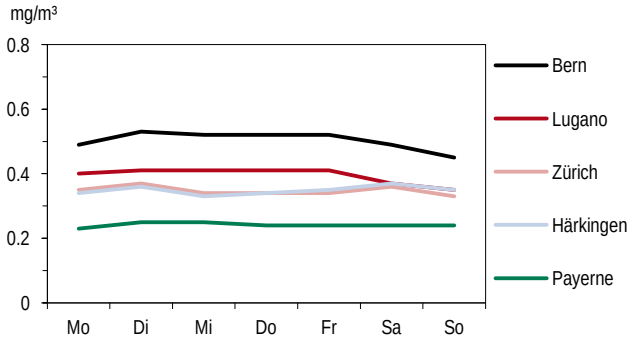


Abb. 35 > Kohlenmonoxid (CO), mittlerer Wochengang 2011



Der Jahresgang der Kohlenmonoxid-Belastung (Abb. 34) ist nur wenig ausgeprägt. Ähnliches gilt für den Wochengang (Abb. 35). 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

Staubniederschlag heute nicht mehr von grosser Bedeutung

Die Gesamtmenge des Staubniederschlags, bestimmt nach der Bergerhoff-Methode, spielt heute in der Luftreinhaltung eine untergeordnete Rolle. Die gemessenen Staubdepositionen haben in den letzten 20 Jahren abgenommen (Abb. 36).

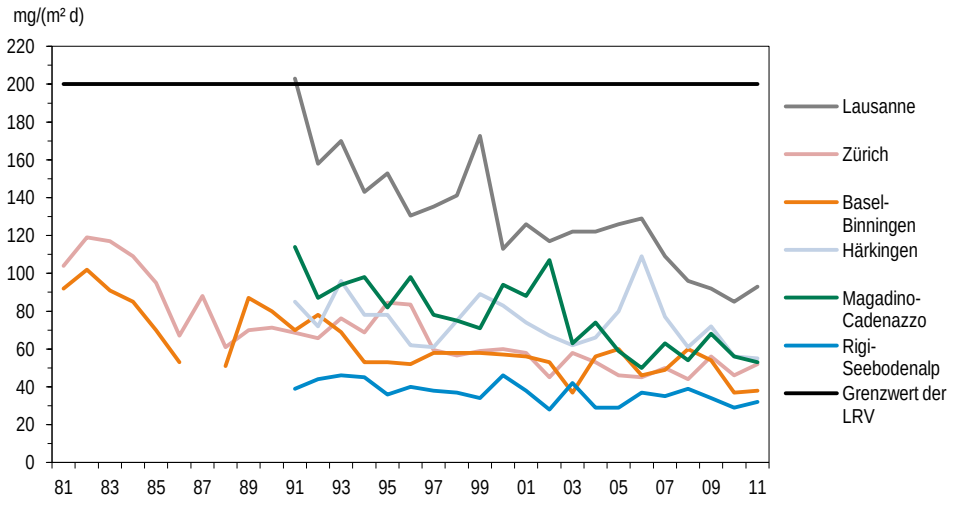
Grenzwerte eingehalten

Die höchsten Staubniederschlagswerte werden an den verkehrsexponierten, städtischen Standorten gemessen (Tab. 19, Abb. 36). Der höchste gemessene Jahresmittelwert (Lausanne-César-Roux: 93 mg/(m² d)) liegt jedoch deutlich unterhalb des Grenzwertes. Auffallend ist die relativ hohe Belastung der Station Magadino-Cadenazzo.

Tab. 19 > Staubniederschlag, Jahresstatistik 2011

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert mg/(m² d)
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	83
	Lausanne-César-Roux	93
Städtisch	Zürich-Kaserne	52
Vorstädtisch	Basel-Binningen	38
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	55
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	53
	Payerne	33
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	32
LRV-Immissionsgrenzwert		*200*

Abb. 36 > Staubniederschlag, Jahresmittelwerte 1981–2011



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.

Wirkungen von erhöhten Schwermetallwerten

In erhöhten Konzentrationen stellen die Schwermetalle ein Risiko für Mensch und Umwelt dar; viele Schwermetalle sind toxisch, einige wirken kanzerogen (z. B. Kadmium). 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.

10.1 Blei

Emissionen um den Faktor 20 zurückgegangen

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 Normalbenzins 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.

Massiver Rückgang der Bleibelastung

Die Konzentrationen von Blei im Feinstaub sind seit 1988 an den meisten Standorten sehr stark zurückgegangen (Abb. 37). Dasselbe gilt für die Bleidepositionen im Staubniederschlag (Abb. 38). 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.

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 ng/m³ als Jahresmittelwert festgelegt worden. Vergleichsmessungen zwischen TSP und PM10 zeigen, dass das Blei praktisch vollständig in der PM10-Fraktion des Schwebestaubs enthalten ist. Die bisherigen Bleimessungen im TSP (Abb. 37) können somit mit einer geringfügigen Korrektur auch als Bleimessungen im PM10 interpretiert werden.

Abb. 37 > Blei im Feinstaub (PM10, vor 1997 TSP), Jahresmittelwerte 1988–2011 (Grenzwert: 500 ng/m³)

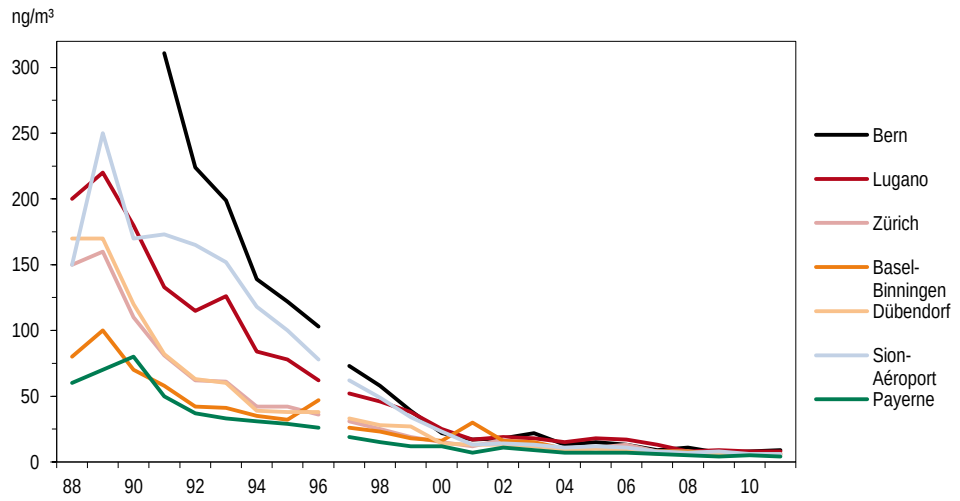
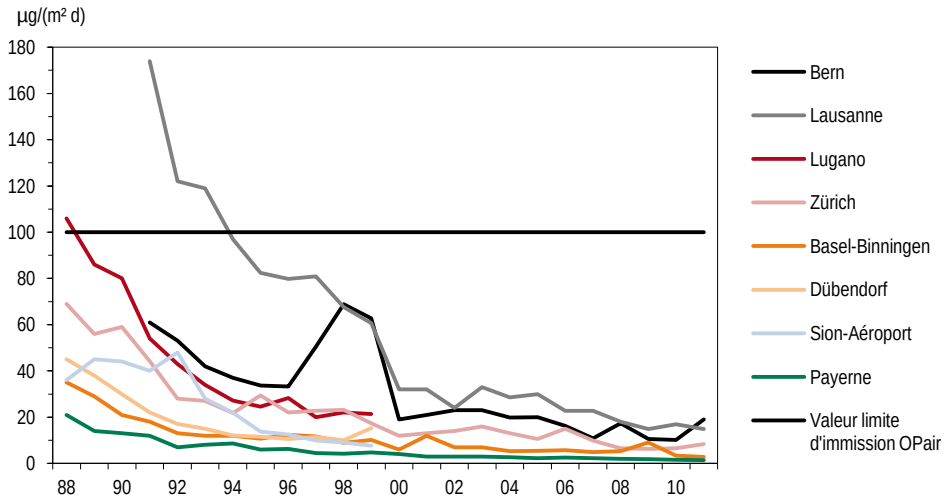


Abb. 38 > Blei im Staubniederschlag, Jahresmittelwerte 1988–2011



Grenzwerte weit unterschritten

Wie aus Tab. 20 ersichtlich ist, wird der Grenzwert von 500 ng/m³ für die Bleikonzentration im Feinstaub heute an allen Stationen weit unterschritten. Die Bleideposition im Staubniederschlag (Tab. 21, Abb. 38) ist an den städtischen verkehrsexponierten Stationen am höchsten. Die maximal gemessenen Werte in Bern und Lausanne betragen 19 resp. 15 µg/(m² d). Sie liegen deutlich unter dem Grenzwert von 100 µg/(m² d). An den übrigen Standorten des NABEL sind die Werte noch tiefer (2–8 µg/(m² d)).

Tab. 20 > Schwermetalle im Feinstaub (PM10), Jahresstatistik 2011

Standorttyp	Station	Jahresmittelwerte				
		Blei ng/m³	Kadmium ng/m³	Arsen ng/m³	Nickel ng/m³	Kupfer ng/m³
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	8,7	0,12	0,46	2,20	72,0
	Lausanne-César-Roux	5,2	0,09	0,41	1,10	35,7
Städtisch	Lugano-Università	8,2	0,17	0,49	1,60	16,4
	Zürich-Kaserne	5,5	0,11	0,40	1,00	26,3
Vorstädtisch	Basel-Binningen	5,8	0,13	0,42	1,00	9,1
	Dübendorf_Empa	5,3	0,11	0,39	1,00	25,7
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	6,2	0,12	0,41	1,20	36,2
	Sion-Aéroport-A9	5,9	0,09	0,39	1,20	28,7
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	6,5	0,18	0,62	1,50	14,3
	Payerne	3,9	0,08	0,43	0,50	5,2
	Tänikon	5,3	0,10	0,30	0,50	6,6
Ländlich, oberhalb 1000 m	Chaumont	2,4	0,06	0,16	0,30	1,8
	Rigi-Seebodenalp	3,5	0,05	0,15	0,30	2,2
Hochgebirge	Jungfraujoch	< 0,5 *	< 0,05 **	< 0,1 ***	< 0,5 *	< 0,5 *
LRV-Immissionsgrenzwert		*500*	*1,5*			

* Bestimmungsgrenze: 0,5 ng/m³
** Bestimmungsgrenze: 0,05 ng/m³
*** Bestimmungsgrenze: 0,1 ng/m³

10.2 Kadmium

Quellen von Kadmium

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

Kadmiumbelastung reduziert

Die Kadmiumbelastung im Feinstaub (Abb. 39) ist seit 1991 um rund 80 % zurückgegangen. Die Kadmiumbelastung im Staubniederschlag (Abb. 40) ist ebenfallsum 30 % bis 70 % zurückgegangen. Die sehr hohen Kadmiumdepositionen in Lausanne in den Jahren 1995 und 2001 dürfen als Einzelereignisse, wahrscheinlich verursacht durch lokale Sanierungsarbeiten, erklärt werden.

Abb. 39 > Kadmium im Feinstaub (PM10, vor 1997 TSP), Jahresmittelwerte 1988–2011

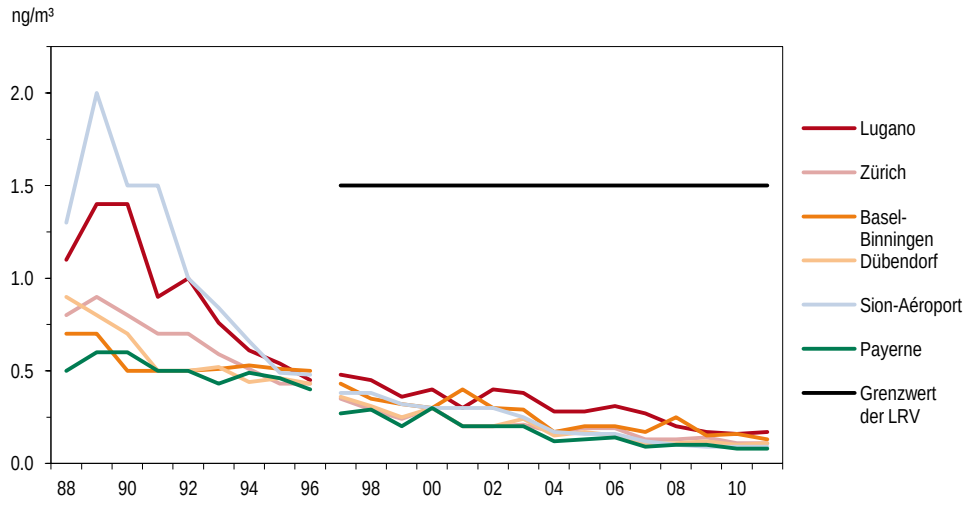
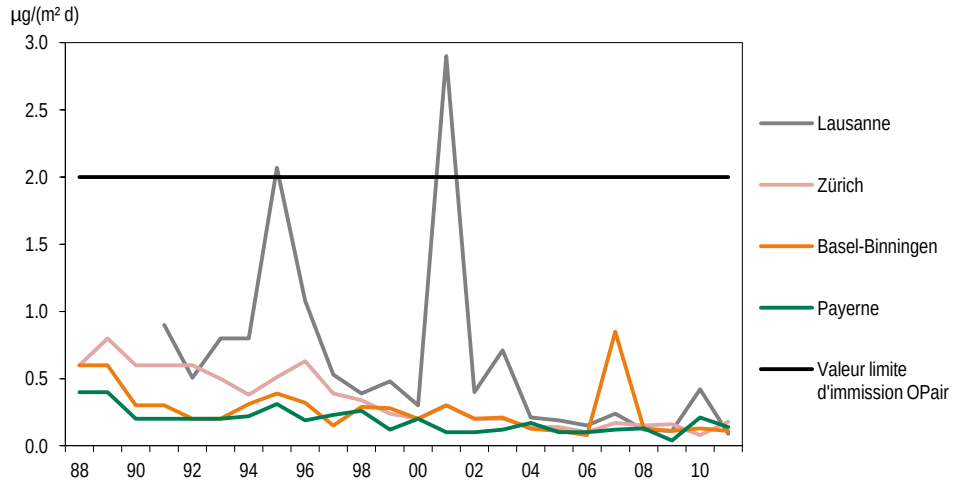


Abb. 40 > Kadmium im Staubniederschlag, Jahresmittelwerte 1988–2011



Wegen des Wechsels von der TSP- zur PM10-Messung ist wie beim Blei auch beim Kadmium eine Grenzwertanpassung vorgenommen geworden. In der revidierten Luftreinhalte-Verordnung ist der Grenzwert für Kadmium PM10 mit 1,5 ng/m³ als Jahresmittelwert festgelegt worden. Aus Vergleichsmessungen zwischen TSP und PM10 kann abgeleitet werden, dass Kadmium vollständig in der PM10-Fraktion des Schwebestaubs enthalten ist. Die bisherigen Messungen im TSP (Abb. 39) können somit auch als Kadmiummessungen im PM10 interpretiert werden.

Grenzwerte meist eingehalten

Die Zusammenstellung in der Tab. 20 zeigt, dass der Grenzwert für Kadmium im Feinstaub an allen Stationen deutlich eingehalten wird. Die Konzentrationen liegen an allen Stationen unter 0,2 ng/m³. Der Grenzwert für Kadmium im Staubniederschlag (Tab. 21) ist ebenfalls an allen Stationen eingehalten.

Tab. 21 > Schwermetalle im Staubniederschlag, Jahresstatistik 2011

Standorttyp	Station	Jahresmittelwerte						
		Blei µg/(m² d)	Kadmium µg/(m² d)	Zink µg/(m² d)	Thallium µg/(m² d)	Arsen µg/(m² d)	Nickel µg/(m² d)	Kupfer µg/(m² d)
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	19,1	0,15	202,5	0,015	0,61	4,97	98,2
	Lausanne-César-Roux	14,8	0,09	200,3	0,017	0,74	5,18	92,3
Städtisch	Zürich-Kaserne	8,3	0,18	49,9	0,012	0,38	2,22	26,6
Vorstädtisch	Basel-Binningen	2,8	0,11	21,9	0,009	0,25	1,23	8,6
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	5,5	0,07	80,7	0,018	0,67	3,22	31,7
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	5,0	0,29	32,5	0,025	0,66	3,28	10,8
	Payerne	1,4	0,14	12,4	0,010	0,20	0,90	3,5
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	3,1	0,20	18,8	0,015	0,24	1,00	4,4
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.

Quellen von Zink

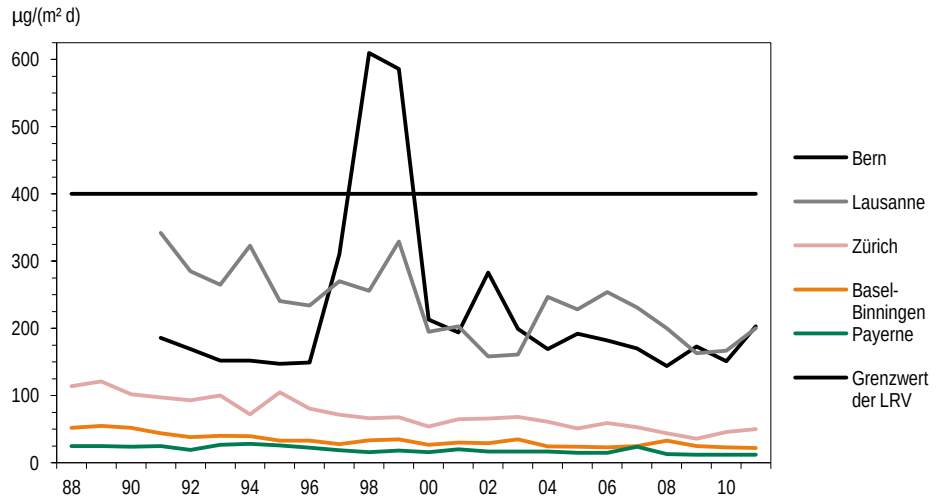
Zink ist ein Schwermetall, das vor allem in der industriellen Produktion verwendet wird. Daneben wird Zink auch durch das Verfeuern fossiler Brennstoffe, durch Kehrichtverbrennungsanlagen und durch den Motorfahrzeugverkehr (Reifen- und Strassenabrieb) in die Umwelt emittiert. Emissionsmindernde Massnahmen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

Abnahme der Zinkdeposition um 40–60 % seit 1991

Die Zinkdepositionen sind seit 1991 mit Ausnahme von Bern und Härkingen um 40–60 % zurückgegangen. Die höchsten Zinkdepositionen (Jahresmittelwerte) wurden im NABEL 2011 in Bern und Lausanne gemessen (Tab. 21 und Abb. 41). Der Reifen- und Strassenabrieb dürfte an diesen beiden Strassenstationen eine wesentliche Ursache der Zinkdepositionen sein.

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

Abb. 41 > Zink im Staubniederschlag, Jahresmittelwerte 1988–2011



10.4 Thallium

Thalliumimmissionen kein Problem

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 µg/(m² d) weit unter dem Grenzwert von 2 µg/(m² d) (siehe Tab. 21).

10.5 Bewertung

In der Regel weit unter den Grenzwerten

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

10.6 Weitere Metalle

In der Europäischen Union sind in der Richtlinie 2004/107/EG Zielwerte für den Gehalt an Arsen und Nickel im PM10 festgelegt. An den NABEL-Standorten wurden 2011 maximale Arsen-Konzentrationen von 0,62 ng/m³ und maximale Nickel-Konzentrationen von 2,2 ng/m³ gemessen. Diese liegen deutlich unter den in der EU geltenden Zielwerten von 6 ng/m³ für Arsen und 20 ng/m³ 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

Nasse Deposition

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).

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.

Quellen der gemessenen Ionen

Das Sulfation (SO_4^{2-}) ist das Anion der Schwefelsäure und stammt vor allem aus der Umwandlung des Schwefeldioxids. Nitrat (NO_3^-) ist das Anion der Salpetersäure und wird aus den Stickoxiden gebildet. Ammonium (NH_4^+) ist ein Folgeprodukt der Ammoniakemissionen und Chlorid (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.

Zur Vervollständigung der Ionenbilanz werden die Kationen des Natriums (Na^+), des Kaliums (K^+), des Magnesiums (Mg^{2+}) und des Kalziums (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).

pH-Wert

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.

11.2 Zeitliche Entwicklung

In den Abb. 42 bis Abb. 47 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.

Säureeintrag hat abgenommen

Der pH-Wert des Regenwassers (Abb. 42) zeigte in den letzten 20 Jahren eine steigende Tendenz, 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. 43) als auch gesamteuropäisch beobachtet und ist die Folge der im europäischen Raum getroffenen Massnahmen zur Verminderung des Schwefeldioxidausstosses. Der Nitratgehalt (Abb. 44) 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. 46 und Abb. 47) wie auch die nicht dargestellten Gehalte an Kalzium, Magnesium und Kalium.

Ionenfrachten unverändert

Die Niederschlagsmenge hat in den letzten 20 Jahren auf der Alpennordseite zugenommen (Abb. 48). Die Sulfatfracht hat in den letzten 20 Jahren abgenommen (Abb. 49), während die Frachten der anderen Ionen, wie zum Beispiel des Nitrats (Abb. 50) oder des Ammoniums (Abb. 51), praktisch unverändert geblieben sind.

Abb. 42 > pH-Wert des Regenwassers, Jahresmittelwerte 1985–2011

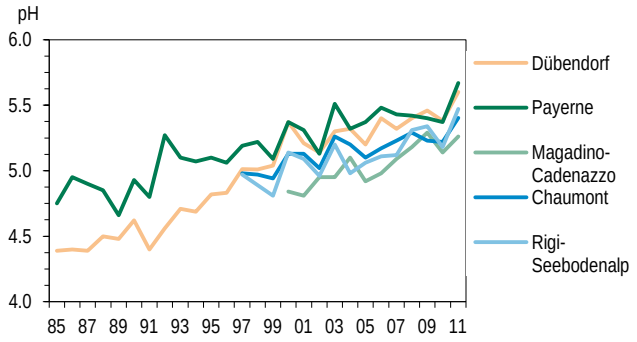


Abb. 43 > Sulfat (SO_4^{2-}-S)-Konzentration im Regenwasser, Jahresmittelwerte 1985–2011

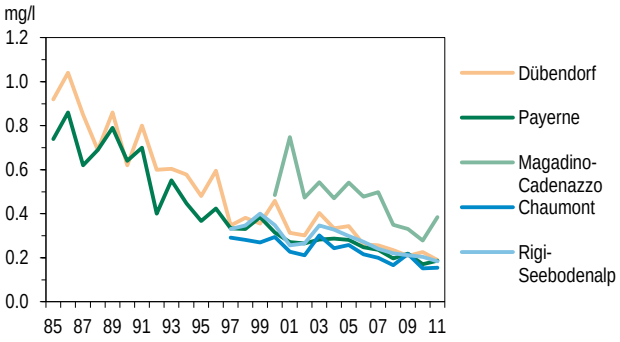


Abb. 44 > Nitrat (NO_3^--N)-Konzentration im Regenwasser, Jahresmittelwerte 1985–2011

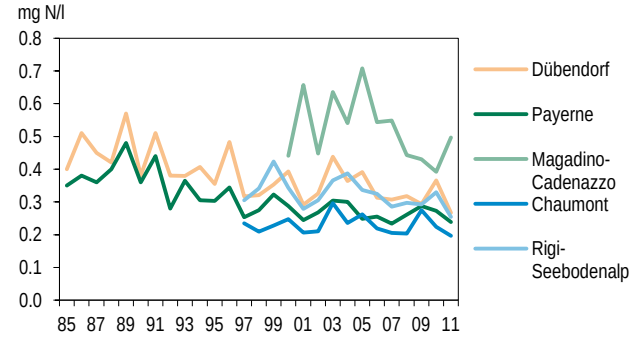


Abb. 45 > Chlorid (Cl^-)-Konzentration im Regenwasser, Jahresmittelwerte 1985–2011

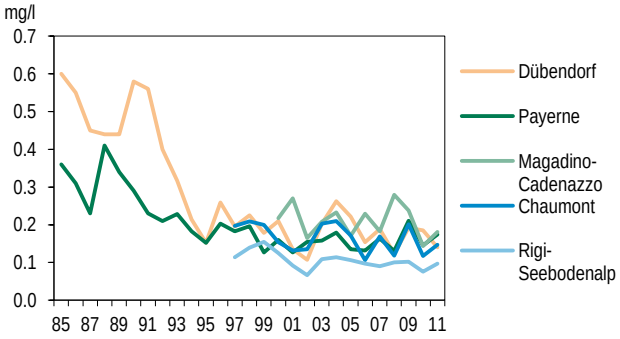


Abb. 46 > Ammonium (NH_4^+-N)-Konzentration im Regenwasser, Jahresmittelwerte 1985–2011

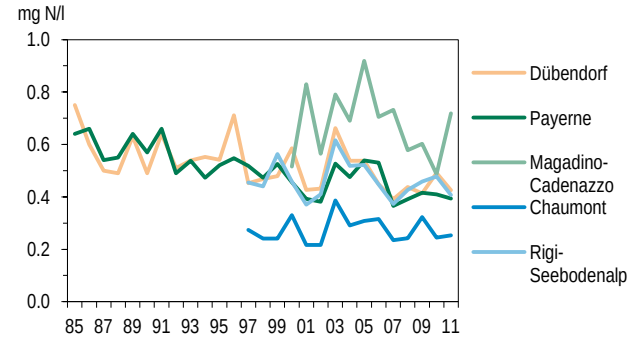


Abb. 47 > Natrium (Na^+)-Konzentration im Regenwasser, Jahresmittelwerte 1985–2011

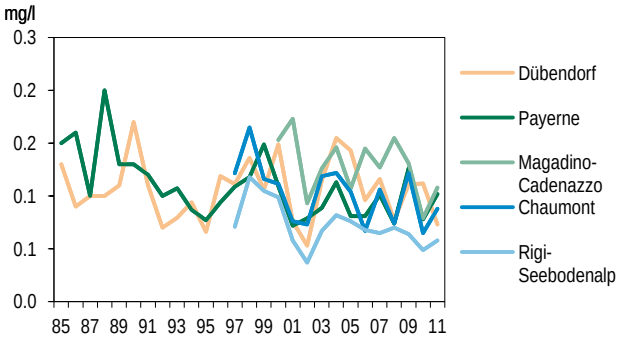


Abb. 48 > Analysierte Niederschlagsmengen: Jahressummen 1985–2011

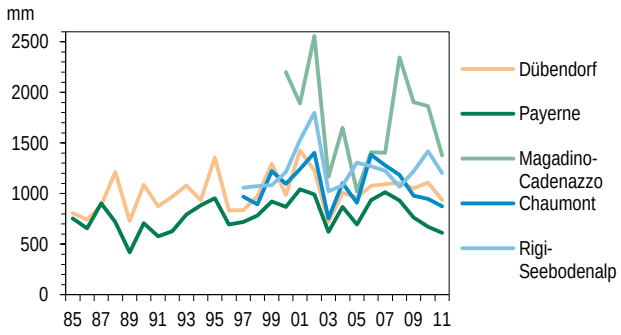


Abb. 49 > Sulfat (SO_4^{2-}-S)-Fracht, Jahresfrachten 1985–2011

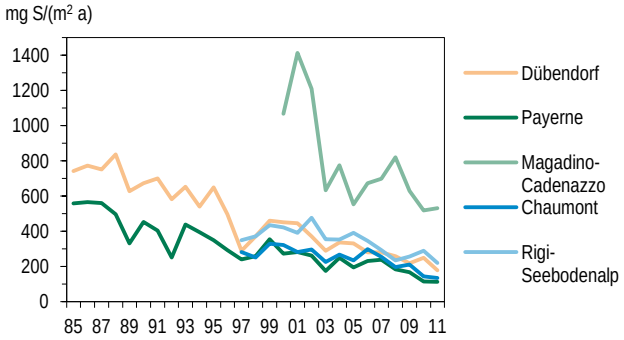


Abb. 50 > Nitrat (NO_3^--N)-Fracht, Jahresfrachten 1985–2011

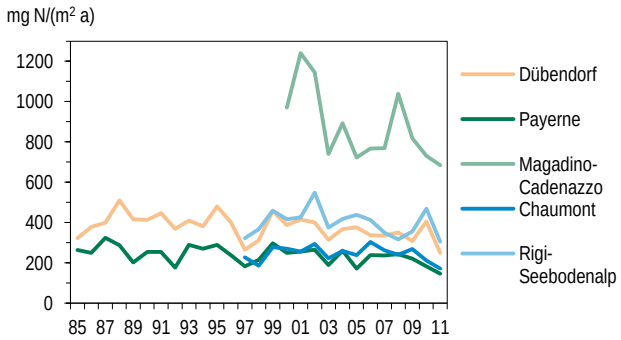
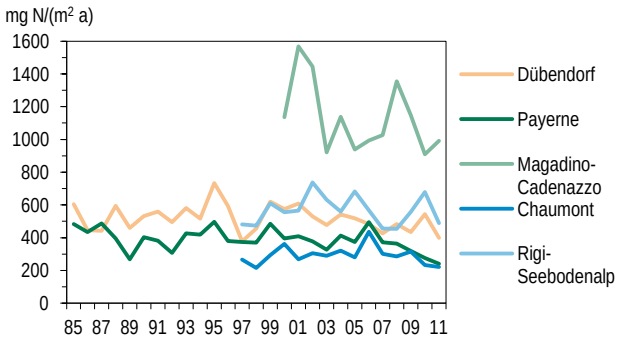


Abb. 51 > Ammonium (NH_4^+-N)-Fracht, Jahresfrachten 1985–2011



11.3 Situation 2011

Die Jahresstatistik der Regeninhaltsstoffe ist in den Tab. 22 und Tab. 23 zusammengestellt. Die Jahresmittelwerte der Konzentrationen (Tab. 22) werden grundsätzlich mengengewichtet berechnet. Als Gewichtungsfaktor dient die Regenmenge der einzelnen Ereignisse. Die Mittelbildung des pH-Werts erfolgt über die mengengewichtete Mittelung der H^+-Konzentrationen ($pH = -\log [H^+]$).

Jahresfrachten sind für den Schadstoffeintrag massgebend

Die Jahresmittel der Konzentrationen sind insbesondere für Trendanalysen heranzuziehen. Für die Umwelt sind demgegenüber hauptsächlich die Jahresfrachten (Tab. 23) 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.

Ionenbilanz

Bezüglich der Ionenbilanzen ist zu beachten, dass die analysierten Anionen und Kationen eine Auswahl der hauptsächlichen 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.

Räumlicher Unterschied nicht sehr ausgeprägt

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. 22). Es ist jedoch kein einheitliches Muster zu erkennen. Die Station Magadino-Cadenazzo weist die höchsten Werte auf von Nitrat, Sulfat und Ammonium und den tiefsten pH-Wert.

Tab. 22 > Konzentrationen der Regeninhaltsstoffe, Jahresstatistik 2011

Station	Jahresmittelwerte									
	pH	LEIT µS/cm	Cl mg/l	NO_3 mg N/l	SO_4 mg S/l	Na mg/l	NH_4 mg N/l	K mg/l	Mg mg/l	Ca mg/l
Dübendorf-Empa	5,60	7,63	0,14	0,27	0,19	0,07	0,43	0,03	0,02	0,25
Magadino-Cadenazzo	5,26	13,08	0,18	0,50	0,39	0,11	0,72	0,05	0,04	0,33
Payerne	5,67	7,21	0,17	0,24	0,19	0,10	0,39	0,03	0,02	0,23
Chaumont	5,40	6,40	0,15	0,20	0,15	0,09	0,25	0,04	0,02	0,22
Rigi-Seebodenalp	5,47	7,58	0,10	0,25	0,18	0,06	0,41	0,03	0,02	0,23

Tab. 23 > Jahresfrachten der Regeninhaltsstoffe, Jahresstatistik 2011

Station	Jahresmittelwerte								
	Menge mm	Cl mg/(m² a)	NO_3 mg N/(m² a)	SO_4 mg S/(m² a)	Na mg/(m² a)	NH_4 mg N/(m² a)	K mg/(m² a)	Mg mg/(m² a)	Ca mg/(m² a)
Dübendorf-Empa	937	131	250	178	68	398	28	20	234
Magadino-Cadenazzo	1378	249	685	531	149	991	63	51	457
Payerne	613	107	147	114	63	242	21	13	142
Chaumont	876	129	172	135	77	222	31	17	194
Rigi-Seebodenalp	1203	117	306	220	70	490	34	20	273

11.4 Bewertung

Nasse Deposition als Teil des gesamten Eintrages

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 NO_3^- und $NH4^+$-Konzentrationen aufweist als der ländliche Standort. Gesamteuropäisch gesehen gehören diese Stationen zu den mittelstark belasteten.

Kritische Belastungsgrenzen für die Gesamtdeposition

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.

Reduktionsziele des Göteborg Protokolls

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.

12 > Gasförmige und partikuläre Stickstoffverbindungen

12.1 Summenmessung von Stickstoffkomponenten

Beitrag zum Stickstoffeintrag

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 pa rtikelförmigem Ammonium (NH_3+NH_4^+) und die Summe von gasförmiger Salpetersäure und partikelförmigem Nitrat (HNO_3+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.

Tab. 24 > Summenmessungen von Stickstoffkomponenten, Jahresstatistik 2011

Standorttyp	Station	$NH_3 + NH_4^+$		$HNO_3 + NO_3^-$	
		Jahresmittel µg N/m³	Max. 24-h Mittelwert µg N/m³	Jahresmittel µg N/m³	Max. 24-h Mittelwert µg N/m³
Ländlich, unterhalb 1000 m	Payerne	4,4	15,9	1,2	5,9
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	1,9	6,7	0,8	4,9

Unveränderte Belastung

In der Abb. 52 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. 44 und Abb. 46). In Payerne ist die Konzentration der reduzierten N-Komponenten (NH_3 + NH_4^+) rund dreimal so hoch wie diejenige der oxidierten N-Komponenten (HNO_3 + 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 (NH_3) wird rasch deponiert und zeigt in Quellennähe hohe Werte.

Abb. 52 > Summenmessungen von Stickstoffkomponenten, Jahresmittelwerte 1994–1999 und 2004–2011 (Payerne) und 2000–2011 (Rigi-Seebodenalp)

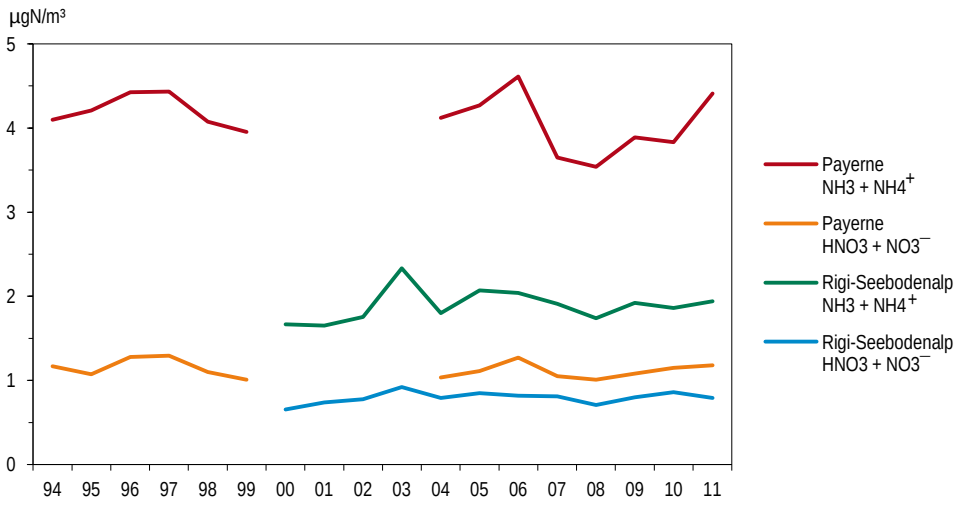
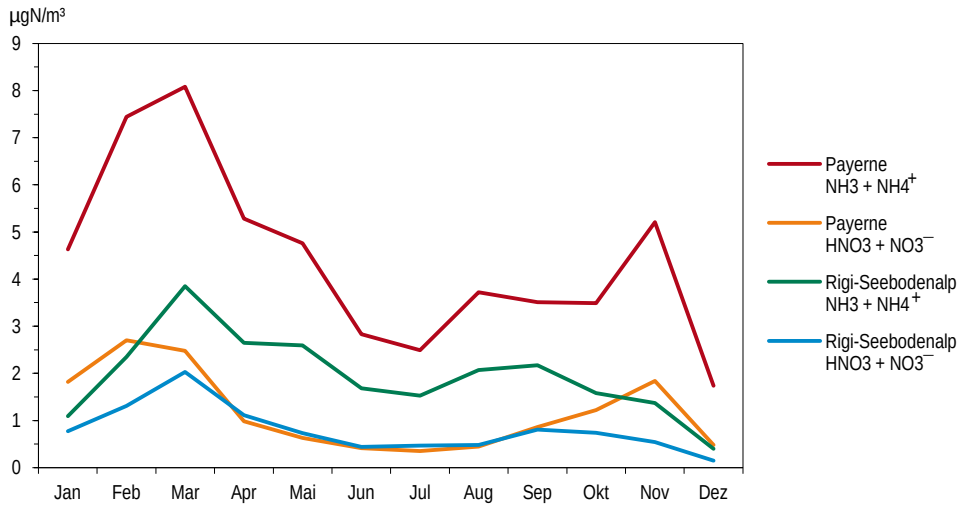


Abb. 53 > Summenmessungen von Stickstoffkomponenten, Monatsmittelwerte 2011 (Payerne und Rigi-Seebodenalp)



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

Die Messwerte auf Rigi-Seebodenalp sind meist tiefer als in Payerne. Dies trifft insbesondere auf die Summe der reduzierten N-Komponenten ($NH_3 + NH_4^+$) zu. Die reduzierten N-Komponenten weisen auf Rigi-Seebodenalp ein Maximum im Frühjahr auf und höhere Sommer- als Winterwerte (Abb. 53). Die oxidierten N-Komponenten ($HNO_3 + NO_3^-$) haben in Payerne höhere Werte im Winter.

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 (HNO_3) und Nitrat (NO_3^-), respektive Ammoniak (NH_3) und Ammonium (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 Minidenudermethode aufgenommen. Seit 2010 werden auch entsprechende Messungen auf der Alpensüdseite in Magadino-Cadenazzo durchgeführt. Im Jahresmittel (Tab. 25) 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. 25 > Reaktive Stickstoffverbindungen, Jahresmittelwerte 2011

Standorttyp	Station	NH_3 Jahresmittel µg N m³	NH_4^+ Jahresmittel µg N m³	HNO_3 Jahresmittel µg N m³	NO_3^- Jahresmittel µg N m³	Summe	Anteil N in Gasphase	Anteil N in Partikelphase
Ländlich, unterhalb 1000 m	Payerne	2,81	1,47	0,26	0,96	5,50	56 %	44 %
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	4,32	1,46	0,52	0,78	7,08	68 %	32 %
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	1,03	1,01	0,18	0,61	2,83	43 %	57 %

12.3 Ammoniak

Kontinuierliche Messungen von Ammoniak

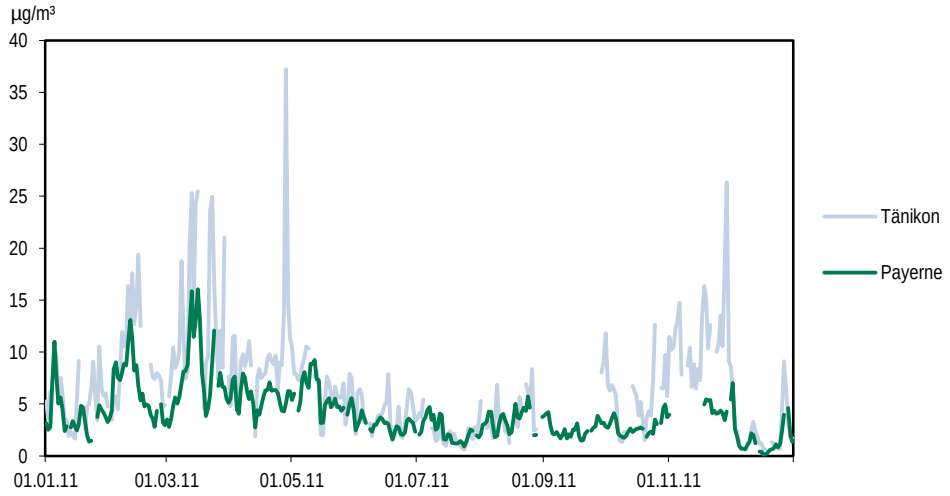
Im Laufe des Jahres 2005 wurden an den beiden Standorten Payerne und Härkingen kontinuierliche Messungen von Ammoniak aufgenommen. Seit 2008 werden auch in Tänikon kontinuierliche Ammoniakmessungen durchgeführt. Die kontinuierlich gemessenen NH_3-Konzentrationen sind tendenziell tiefer als die mit Passivsammlern oder Denudern erhobenen Messwerte. Ein Grund dafür könnten Ammoniakverluste in der Ansaugleitung sein. Die Belastung durch Ammoniak ist an beiden Standorten hoch (Tab. 26) im Vergleich zu den im Rahmen der Konvention über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung empfohlenen kritischen Konzentrationen (Jahresmittel, je nach Vegetationstyp 1 bis 3 µg/m³ 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* unter Schadstoffe/Ammoniak).

Tab. 26 > Ammoniak, Jahresstatistik 2011

Standorttyp	Station	Jahresmittel µg/m³	Max. 24-h Mittelwert µg/m³	Max. Stundenmittelwert µg/m³
Ländlich,Autobahn	Härkingen	4,9	13	25
Ländlich, unterhalb 1000 m	Payerne	4,1	16	20
	Tänikon	6,8	37	142

Der Jahresverlauf (Abb. 54) 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 unmittelbarere 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. 54 > Tagesmittelwerte der Ammoniakkonzentration, 2011



13 > Witterung

13.1 Situation 2011

Für die meteorologische Charakterisierung wurde der Witterungsbericht von MeteoSchweiz verwendet. Das Jahr 2011 war das wärmste seit Messbeginn 1864. Landesweit war es zu trocken und es herrschten sehr sonnige Verhältnisse.

Milder Jahresbeginn

In der ersten Januarhälfte herrschten sehr milde Temperaturen, im Mittelland stieg das Thermometer auf 17 Grad. Der Februar war im Vergleich zum langjährigen Mittel knapp 2 Grad wärmer. Durch die Wärme und die geringen Niederschlägen verschärfte sich die bestehende Schneearmut. In tiefen Lagen lag zu Beginn des Jahres kein oder nur wenig Schnee. Am 7. März wurden verbreitet Temperaturen über 25 Grad gemessen. So warm war es sowohl im Flachland als auch in den Bergen noch nie so früh und der Frühling war der wärmste seit 1864. Am 8. April wurde im Tessin sogar ein Hitzetag mit Temperaturen über 30 Grad verzeichnet. Durch die tiefen Niederschlagsmengen seit Jahresbeginn folgte nun grosse Trockenheit.

Rekordwärme und Trockenheit im Frühling

Wechselhafter Sommer mit Unwettern / Sommerunwetter

Im Juni herrschte wechselhafte Witterung. Anfangs des Monats fiel in höheren Alpenregionen noch einmal Neuschnee, teilweise gar bis in mittlere Lagen hinunter. Zwei Gewitterfronten am 22. und 27./28. Juni brachten regional starke Niederschläge, Überschwemmungen und Windgeschwindigkeiten über 100 km/h. Der Juli war der kühlste seit 2000. Er zeichnete sich durch Hagelunwetter, heftige Gewitter und daraus folgende Starkregen mit Überschwemmungen aus. Anfangs August ging es ebenfalls regnerisch weiter, erst in der zweiten Hälfte folgte der Hochsommer. Vom 19.–26. August sorgte ein Hoch für viel Sonnenschein und Hitze.

Durchzogener Herbst – Schnee und milde Temperaturen

Im September wurde es nochmals hochsommerlich warm mit Temperaturen von bis zu 32 Grad. Mitte des Monats änderte sich das Wetter schlagartig – in höheren Lagen gab es ungewöhnlich viel Neuschnee. Der Oktober startete mild mit Temperaturen von bis zu 25 Grad. Nach einem Wetterumschwung fiel in höheren Lagen innert kurzer Zeit mehr als 50 cm Neuschnee. Die milde Witterung am 10. Oktober führte am Alpennordhang zu Starkniederschlägen und Schneeschmelze. Dies führte vor allem im Kander- und Lötschental zu Überschwemmungen und Murgängen. Anschliessend folgte angenehmes Herbstwetter mit viel Sonne in den Bergen und Nebel im Flachland.

Später Wintereinzug mit stürmischen Winden

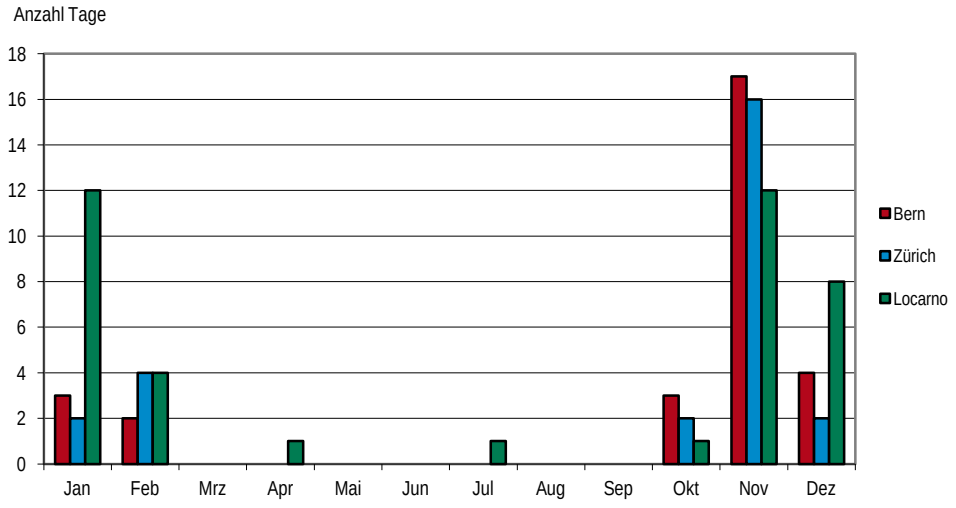
Durch die lange anhaltende Föhnlage anfangs November fiel im Tessin überdurchschnittlich viel, im Norden nur sehr wenig Niederschlag. Der November 2011 war einer der trockensten seit Messbeginn. In der ersten Dezemberhälfte folgte verbreitet stürmischer Westwind mit bis zu 176 km/h. Die Wärme und der fehlende Niederschlag führten zu Schneelosigkeit in den Bergen. Erst Mitte Dezember fielen dann grosse Schneemengen. Gegen Ende des Jahres lag verbreitet überdurchschnittlich viel Schnee. Das Jahr 2011 war gesamtschweizerisch das wärmste seit Messbeginn 1864.

13.2 Inversionen

Temperaturinversionen verhindern die vertikale Ausbreitung von Luftschadstoffen. Vor allem die bodennahen Inversionen mit einer Temperaturumkehr zwischen 800 und 1000 Metern ü.M. sorgen in der Regel 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 steht für Zürich mit dem Üetliberg (Höhendifferenz 458 Meter) eine repräsentative meteorologische Station zur Verfügung. Im 2011 muss für die Region Bern im Januar die Inversion mit Plaffeien Oberschrot berechnet werden. Beim Bantiger treten für diese Zeitspanne zu viele Fehlwerte auf.

Abb. 55 zeigt die grösste Häufigkeit von Inversionen erwartungsgemäss in der kalten Jahreszeit, im Berichtsjahr vor allem im Monat November. Von März bis September lässt die kräftige Sonneneinstrahlung kaum mehr Inversions- oder tiefe Hochnebellagen zu. An den beiden Mittelland-Stationen Bern und Zürich zeigt sich ein ähnliches Bild, wobei die Region Bern insgesamt etwas häufiger von Inversionen betroffen war als die Region Zürich (repräsentativ für das tiefere Mittelland). Die meisten Nebel- und Inversionstage traten hier im November auf. Für die Alpensüdseite ergibt sich durch das Stationspaar Magadino-Cadenazzo/Locarno-Monti mit einer Höhendifferenz von nur gerade 180 Metern eine wesentlich höhere Anzahl von Tagen mit stabiler Schichtung. Dieses Stationspaar ermöglicht nicht so präzise Inversionsbestimmungen, da die höheren Temperaturen in Locarno-Monti nicht nur durch Inversionen bedingt sind, sondern durch die spezielle Lage an einem Südhang oberhalb der Stadt. Aber auch hier zeigt sich der typische Jahresgang. Am meisten Inversionen wurden im Januar und November verzeichnet.

Abb. 55 > Anzahl Tage mit stabiler Temperaturschichtung zwischen 12 und 14 MEZ (mindestens Isothermie, d. h. Höhen- und Talstation haben dieselbe Temperatur)



Quelle: MeteoSchweiz. Jahresstatistik 2011

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. **56** zeigt die Jahresmittel des Verkehrsaufkommens an der Station Sion-Aéroport zusammen mit den Konzentrationen von Stickoxiden (NO_X) 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_X 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_X 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. **57**), wo die Verkehrsmenge seit 1991 fast unverändert blieb, während die Schadstoffkonzentrationen seit 1991 deutlich sanken, NO_X 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. 56 > Verkehrsaufkommen und Schadstoffbelastung, 1991–2011, Sion-Aéroport

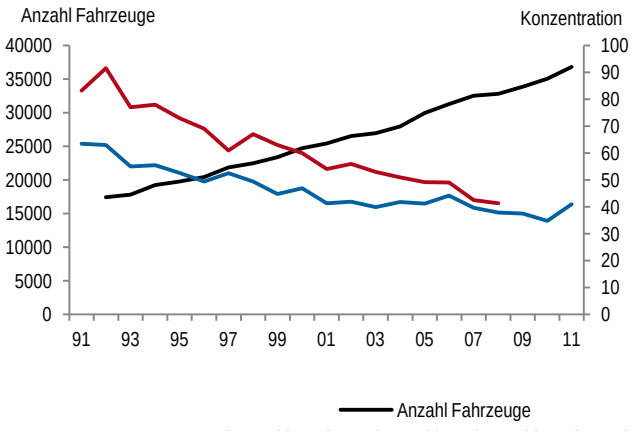
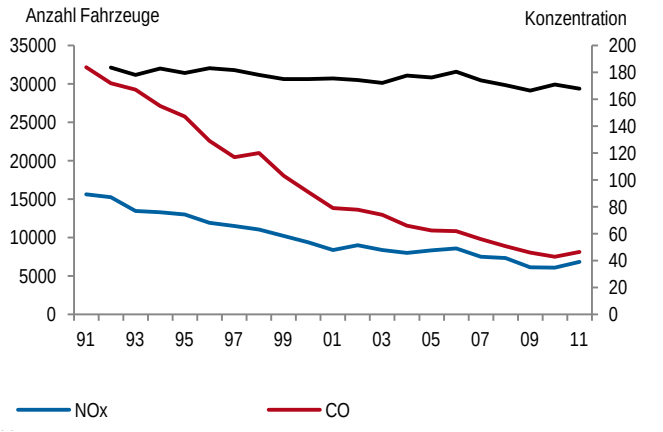


Abb. 57 > Verkehrsaufkommen und Schadstoffbelastung, 1991–2011, Lausanne-César-Roux



Konzentration in ppb (NO_X) und in µg/m³*100 (CO)

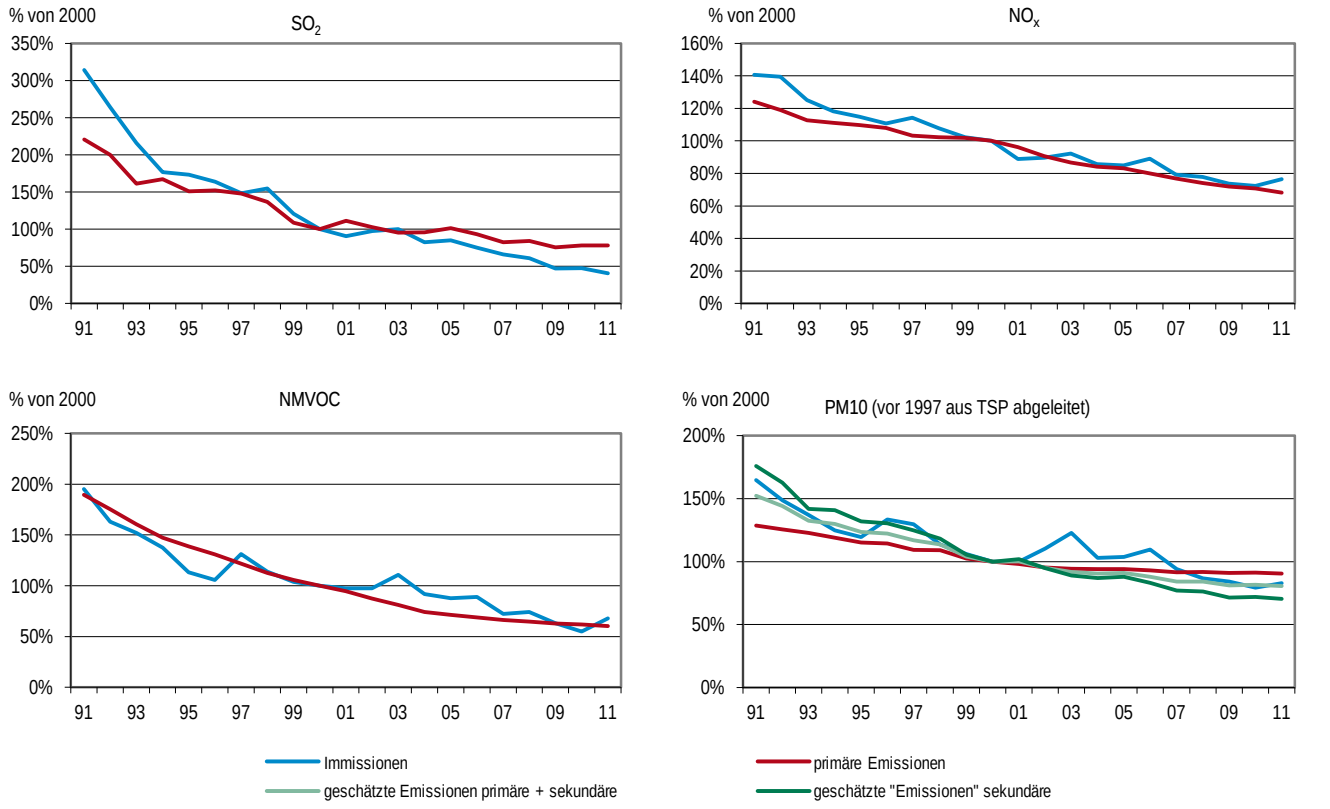
15 > Ausblick

Abnahme der Emissionen und Immissionen

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*). Parallel zu den Emissionsreduktionen sanken die Konzentrationen von Schadstoffen in der Atmosphäre (Abb. **58**).

Abb. 58 > 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 PM10-Immissionen tragen die primären PM10-Emissionen und die sekundär gebildeten Partikel je etwa hälftig bei.



Erfolge und Problemschadstoffe

Grosse Erfolge konnten bei den Luftschadstoffen Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid und bei Schwermetallen wie Blei, Kadmium 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 Säureeinträge in Ökosysteme. Das Ziel einer guten Luftqualität ist noch nicht erreicht – trotz der beachtlichen Erfolge der schweizerischen Luftreinhaltepolitik. Es sind deshalb weitere Emissionsreduktionen notwendig.

Vorsorgeprinzip und verschärfte Emissionsbegrenzungen

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.

Überwachung der Luftqualität

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.

> Anhang A

Anhang A1: Standortcharakterisierung

Anhang A2: NABEL-Messprogramm

Anhang A3: Messverfahren

Anhang A4: Masseinheiten und statistische Masszahlen

Anhang A5: Homogenisierung von Messreihen der Station Bern

Anhang A1: 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 2011 (*www.empa.ch/nabel*) dokumentiert.

Tab. A1 > 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
Jungfraujoch 3580 m ü. M. 641'910/155'280; 46°32'51''/7°59'06''	Hochgebirge	Im Gebäude des Sphinx-Observatoriums der hochalpinen Forschungsstation Jungfraujoch, (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-Università 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.
Payerne 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	Zeughaushof Kaserne, zentrale Lage in Hinterhof-Situation der City; Quartier mit hohem Wohnanteil, Kleingewerbe und Geschäfte, keine Hauptverkehrsachse in unmittelbarer Nähe.

Anhang A2: NABEL-Messprogramm

Tab. A2 > NABEL-Messprogramm (Stand 1. Januar 2011)

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_x, NO_2, NO)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Lachgas (N_2O)							S									
Ozon	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Kohlenmonoxid (CO)		X			X	X	X,S		X	X		X	X			X
Methan (CH_4)					X		X,S			X						X
Nichtmethankohlenwasserstoffe					X					X						X
BTX (Benzol, Toluol, Xylol)		S			S								2S			S
VOC Komponenten[1)]							2S						2S			S
Halogenierte Verbindungen[1)]							2S									
Ammoniak						X						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
Feinstaub PM2.5, HiVol	T	T			X	X				X	X	T	T			T
Feinstaub PM1, HiVol						T						T				
Feinstaub PM1, kont.						X										
Partikelanzahl	X	X				X				X			X			
Aerosol-Grössenverteilung						X										X
EC/OC	X	X			X	X				X	X	X				X
Pb, Cd 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 im SN	J	J				J			J		J	J	J			J
pH-Wert, Leitfähigkeit (Regen)			W		W						W	T	T			
Na^+, NH_4^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} (Regen)			W		W						W	T	T			
Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-} (Regen)			W		W						W	T	T			
$\sum (NH_3 + NH_4)$; $\sum (HNO_3 + NO_3)$												T	T			
NH_3, NH_4; HNO_3, NO_3											2W	2W	2W			
Meteo	XA	X	X	X	X	X	XA	X	X	XA	X	XA	X	XA	XA	X
Strahlungsbilanz				X				X			X					
Niederschlagsmenge (autom.)	XA	X	X	X	X	X		X	X	XA	X	XA	X	XA	XA	X
Verkehrszähler		S				S			S					S		

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

[1)] Einzelkomponenten

Anhang A3: Messverfahren

Tab. A3 > Messmethoden und Geräte (Stand 2011)

Schadstoff	Zeitliche Erfassung	Messmethoden*	Anmerkung
Stickoxide (NO und NO_2)	Zehnminutenmittelwerte	Chemilumineszenz	Kalibration mit NO-Referenzgasen, Konverterwirkungsgrad: Gasphasentitration
Ozon (O_3)	Zehnminutenmittelwerte	UV-Absorption	Funktionskontrolle mit O_3-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_2)	Zehnminutenmittelwerte	UV-Fluoreszenz	Kalibration mit verdünnten SO_2-Referenzgasen (SO_2-Druckgasflasche)
Kohlenmonoxid (CO)	Zehnminutenmittelwerte	Infrarot-Absorption	Kalibration mit CO-Referenzgas
Feinstaub (PM10, PM2.5, PM1)	Tagesmittelwerte	Gravimetrische Bestimmung auf Quarzfaserfiltern	Messwerte vergleichbar mit Referenz-Verfahren gemäss EN Norm 12341
	Zehnminutenmittelwerte	TEOM-FDMS oder Betastrahlenabsorption	
Schwefel im PM10	Tagesmittelwerte	Ionenchromatographie	
Schwermetalle (Blei, Kadmium) im PM10	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, Kadmium, Zink, Kupfer, Arsen und Thallium) im Staubniederschlag	Quartalssammelprobe/Jahresmittelwert	Offener Säureaufschluss, Analyse mit ICP-MS	Nach VDI 2267, Bl. 4 (Cd, Pb), Zn, Cu, Tl und As aus gleicher Aufschlusslösung
Regeninhaltsstoffe	Tagesmittelwerte/ Wochenmittelwerte	«Wet-only» Regensammler Analyse: pH mit Glaselektrode, Leitfähigkeit mit Leifähigkeitsmesszelle und Ionen mit Ionenchromatographie	EMEP Manual
Stickstoffaerosole	Tagesmittelwerte	Abscheidung auf imprägnierten Filtern; Ionenchromatographie	EMEP-Manual
Ammoniak	Zehnminutenmittelwerte	Cavity Ring Down Spectroscopy oder photoakustische Spektroskopie	Kalibration mit Ammoniak-Permeationsquelle
Partikelanzahlkonzentration	Zehnminutenmittelwerte	Kondensation-Partikelzähler	Geräte werden durch vorgeschaltete Verdünnung im Einzelzählmodus betrieben
Russ (EC)	Zehnminutenmittelwerte	Mulit Angle Absorption Photometer oder Aethalometer	Kalibration an EUSAAR-2 Protokoll

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

Anhang A4: 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 NO_x: Volumenanteil NO_x in der Umgebungsluft).

Die verwendeten Einheiten sind:

- ng/m³ = Schadstoffkonzentration in Nanogramm pro Kubikmeter Luft
- µg/m³ = Schadstoffkonzentration in Mikrogramm pro Kubikmeter Luft
- mg/m³ = Schadstoffkonzentration in Milligramm pro Kubikmeter Luft

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

Tab. A4 > Umrechnungsfaktoren für Konzentrationswerte von ppb in µg/m³

Luftschadstoff	Umrechnungsfaktoren		
	Stationen unterhalb 1500 m ü. M.	Davos (1650 m ü. M.)	Jungfraujoch (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. A4 sind die Umrechnungsfaktoren zusammengestellt, die für die Umrechnung von ppb in µg/m³ verwendet werden. (Beispiel: Bei Stationen unterhalb 1500 m ü. M. ist 1 ppb Schwefeldioxid = 2,66 µg Schwefeldioxid pro m³).

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:

- µg/(m² d) = Schadstoffdeposition in Mikrogramm pro Quadratmeter und Tag
- mg/(m² 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 ½h-Mittelwerte eines Jahres (95 % der Werte liegen unter, 5 % über diesem Wert)
- 98 %-Wert (Ozon) = 98 %-Wert der Summenhäufigkeitsverteilung der ½h-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 A5: 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:

- NO_x: 0,71 (berücksichtigter Zeitraum: 23.7.1991 bis 22.7.2003)
- NO_2: 0,87 (berücksichtigter Zeitraum: 23.7.1991 bis 22.7.2003)
- O_3: 1,2 (berücksichtigter Zeitraum: 23.7.1992 bis 22.7.2002)

Das Stickstoffmonoxid NO wurde als Differenz der korrigierten NO_x und NO_2 Werte berechnet. Für CO und 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 2011 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* unter dem Stichwort Luftbelastung.

Jahresübersicht 2011	Basel-Binningen Vorstädtisch		Koordinaten: 610 890 / 265 605 Höhe: 316 m

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO_2	Mittelwerte	µg/m³	3,6	4,3	3,2	2,2	2,0	1,3	1,1	2,0	2,6	2,1	3,1	1,8	2,4
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	10,1	10,6	6,2	5,2	4,4	4,4	3,9	7,7	8,5	6,6	7,4	4,6	10,6
	24h-Mittel > 100 µg/m³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO_2	Mittelwerte	µg/m³	34,3	39,9	32,7	19,6	15,3	11,2	10,3	12,7	16,2	22,4	36,8	18,8	22,4
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	54,6	67,4	46,5	32,2	25,1	23,6	19,2	22,0	33,6	40,8	54,4	42,7	67,4
	24h-Mittel > 80 µg/m³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m³	9,1	12,8	5,3	2,3	1,6	1,5	1,5	1,9	3,9	7,7	27,0	6,3	6,7
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	46,1	51,6	13,7	7,1	5,0	4,3	5,6	5,9	9,8	51,6	76,8	35,5	76,8
NO_x	Mittelwerte	ppb	25,2	31,2	21,3	12,2	9,3	7,1	6,5	8,2	11,6	17,9	40,9	14,9	17,1
	max. 24h-Mittelwert	ppb	59,3	76,7	35,3	22,0	14,9	15,5	12,8	14,7	23,4	62,7	85,1	50,8	85,1
O_3	Mittelwerte	µg/m³	26	23	42	72	81	67	65	64	48	29	6	42	47
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m³	67	79	109	149	153	139	138	142	116	107	27	74	153
	max. 1h-Mittelwert	µg/m³	80	95	138	164	163	192	162	158	125	126	52	80	192
	1h-Mittel > 120 µg/m³	Anz. Std.	0	0	5	66	90	26	22	56	5	8	0	0	278
	1h-Mittel > 180 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
	1h-Mittel > 240 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m³	22	35	30	16	13	11	10	14	12	17	27	9	18
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	50	56	63	26	24	23	17	43	29	35	38	31	63
	24h-Mittel > 50 µg/m³	Anz. Tage	0	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
SN	Mittelwerte	mg/(m² d)	11	23	31	-	42	91	48	40	78	19	16	21	38

-) keine Messwerte vorhanden

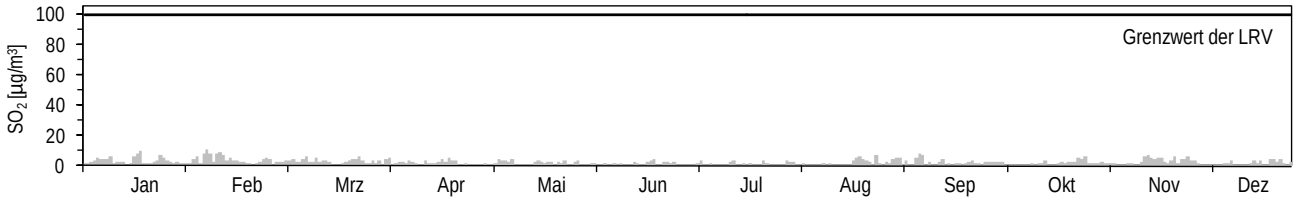
Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	2,4	3,8	7,5	13,4	16,5	18,1	17,4	20,2	17,4	11,0	6,5	5,3	11,7
	Heizgradtagzahl[1)]	(°C*d)	544	452	380	83	45	10	0	0	9	226	406	456	2612
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m²	37	66	130	232	260	222	235	225	174	107	57	27	148
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	83	82	71	63	60	70	71	72	78	81	86	82	75
Niederschlag	Summen	mm	39	27	48	20	43	102	115	44	81	46	4	118	687
Druck	Mittelwerte	hPa	982	981	983	981	981	980	977	979	981	984	983	981	981

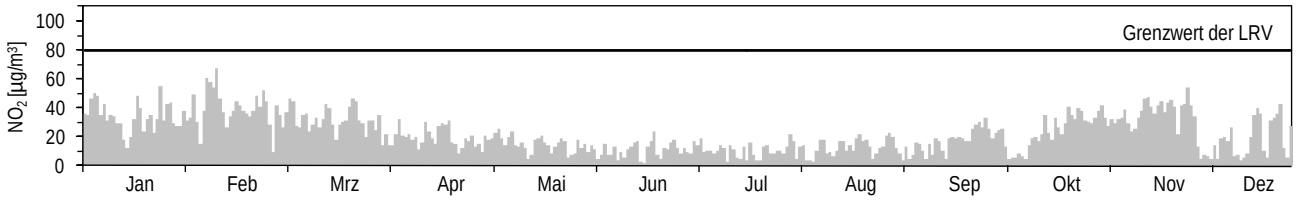
1) Heizgradtagzahl: Monatliche Summe der täglichen Differenzen zwischen Raumtemperatur (20 °C) und der Tagesmittel-Temperatur aller Heiztage (Heiztag: Tag mit Tagesmitteltemperatur <= 12 °C)

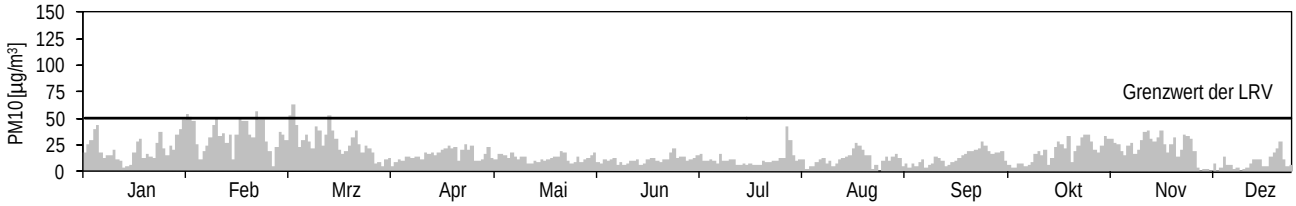
Die meteorologischen Daten wurden durch die MeteoSchweiz erhoben.

Jahresübersicht 2011	Basel-Binningen Vorstädtisch		Koordinaten: 610 890 / 265 605 Höhe: 316 m

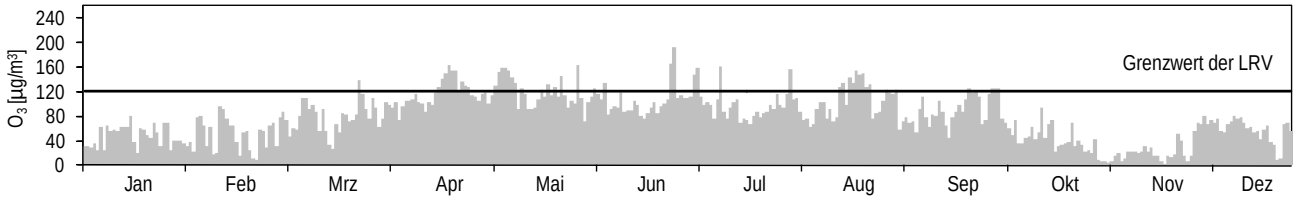
Tagesmittelwerte für SO_2, NO_2 und PM10

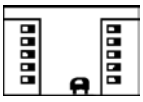






Maximales Stundenmittel pro Tag für O_3



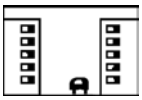
Jahresübersicht 2011	Bern-Bollwerk Städtisch, verkehrsbelastet		Koordinaten: 600 170 / 199 990 Höhe: 536 m

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
NO_2	Mittelwerte	µg/m³	50	55	50	43	40	34	35	40	39	38	43	43	42
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	66	77	65	62	56	56	48	58	54	56	62	64	77
	24h-Mittel > 80 µg/m³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m³	49	49	33	22	20	20	23	27	28	41	70	38	35
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	110	101	52	48	36	36	41	39	50	96	116	95	116
NO_x	Mittelwerte	ppb	65	68	53	40	37	34	37	43	43	53	79	53	50
	max. 24h-Mittelwert	ppb	119	120	73	63	56	55	57	61	63	102	120	108	120
O_3	Mittelwerte	µg/m³	15	14	30	56	59	50	52	47	32	17	3	24	33
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m³	47	52	85	129	121	106	122	109	92	76	19	60	129
	max. 1h-Mittelwert	µg/m³	54	73	101	145	138	123	138	124	98	92	31	70	145
	1h-Mittel > 120 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	26	15	3	15	3	0	0	0	0	62
	1h-Mittel > 180 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel > 240 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO	Mittelwerte	mg/m³	0,65	0,70	0,59	0,45	0,40	0,36	0,35	0,39	0,42	0,52	0,73	0,48	0,50
	max. 24h-Mittelwert	mg/m³	0,97	0,97	0,75	0,58	0,53	0,50	0,42	0,56	0,55	0,83	0,97	0,82	0,97
	24h-Mittel > 8 mg/m³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m³	35	47	40	24	20	17	15	19	19	24	33	17	26
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	73	79	69	34	27	29	24	46	38	39	45	34	79
	24h-Mittel > 50 µg/m³	Anz. Tage	5	12	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
SN	Mittelwerte	mg/(m² d)	70	73	81	146	86	77	102	86	76	72	72	57	83

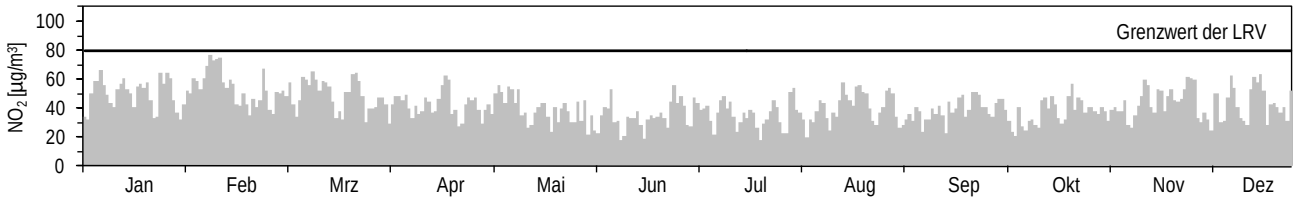
Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	1,3	3,3	7,0	13,2	16,1	17,3	17,3	20,3	17,3	10,1	5,3	4,1	11,1
	Heizgradtagzahl[1)]	(°C*d)	578	469	395	111	46	11	0	0	18	254	440	494	2817
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m²	47	84	142	234	262	222	236	236	165	111	62	32	153
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	79	74	67	56	60	68	66	64	72	80	85	80	71
Niederschlag	Summen	mm	22	17	10	14	72	81	125	49	76	63	1	99	627
Druck	Mittelwerte	hPa	956	955	957	955	956	955	952	954	957	959	958	956	956

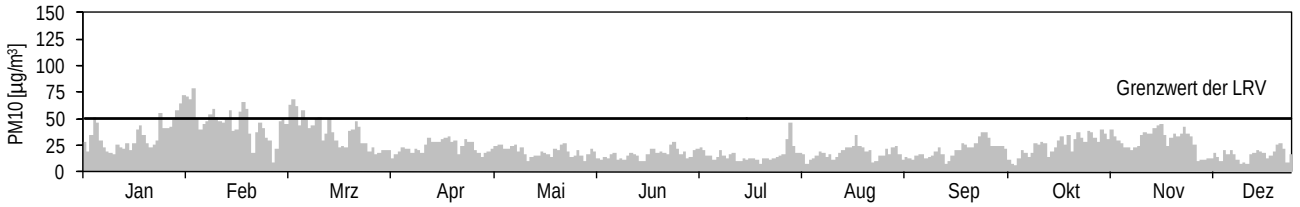
1) Heizgradtagzahl: Monatliche Summe der täglichen Differenzen zwischen Raumtemperatur (20 °C) und der Tagesmittel-Temperatur aller Heiztage (Heiztag: Tag mit Tagesmitteltemperatur <= 12 °C)

Verkehr		Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Verkehrszähler	Fz/Tag	20112	21633	22832	21786	22783	21460	20330	21333	21349	21058	22338	21014	21492

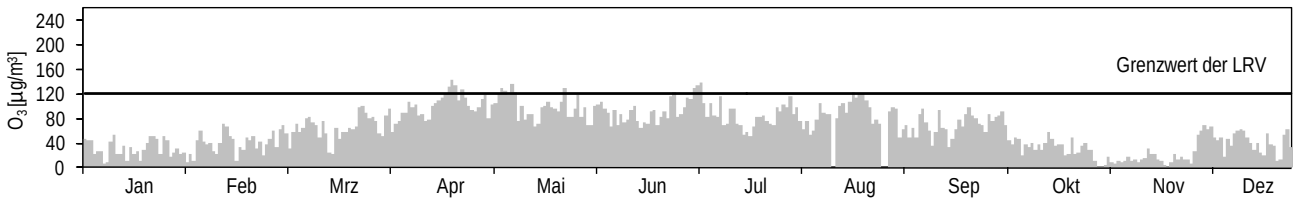
Jahresübersicht 2011	Bern-Bollwerk Städtisch, verkehrsbelastet		Koordinaten: 600 170 / 199 990 Höhe: 536 m

Tagesmittelwerte für NO_2 und PM10





Maximales Stundenmittel pro Tag für O_3



Jahresübersicht 2011	Chaumont Ländlich, oberhalb 1000 m		Koordinaten: 565 090 / 211 040 Höhe: 1136 m

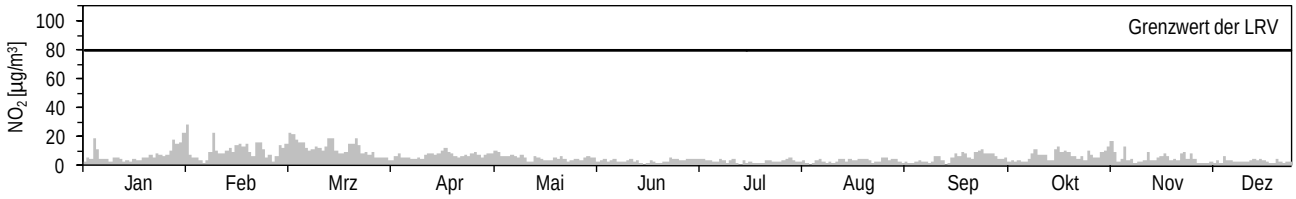
Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
NO_2	Mittelwerte	µg/m³	7,5	10,4	13,0	7,0	5,8	3,8	3,3	3,5	5,1	6,6	6,6	3,3	6,3
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	22,9	28,7	22,3	12,2	10,0	6,6	5,0	6,1	11,5	13,3	16,7	9,0	28,7
	24h-Mittel > 80 µg/m³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m³	0,4	0,6	0,7	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,2	0,3
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	1,7	3,7	2,6	0,7	1,1	0,6	0,4	0,4	1,7	1,3	2,7	0,8	3,7
NO_x	Mittelwerte	ppb	4,2	5,9	7,4	3,9	3,2	2,1	1,9	2,0	2,9	3,8	3,8	1,8	3,6
	max. 24h-Mittelwert	ppb	13,3	18,0	13,5	6,9	5,7	3,8	3,0	3,4	6,4	8,0	9,7	5,1	18,0
O_3	Mittelwerte	µg/m³	64	74	82	109	109	89	90	91	83	67	71	67	83
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m³	84	103	116	156	151	148	145	139	121	116	97	80	156
	max. 1h-Mittelwert	µg/m³	87	109	140	162	163	174	157	151	128	123	101	84	174
	1h-Mittel > 120 µg/m³	Anz. Std.	0	0	7	184	215	42	61	76	16	3	0	0	604
	1h-Mittel > 180 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel > 240 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m³	6,3	11,2	21,0	12,4	10,1	7,6	6,4	9,7	8,8	8,1	5,4	2,2	9,1
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	18,3	29,3	51,0	24,3	16,6	18,4	13,8	26,8	24,1	25,3	12,9	7,5	51,0
	24h-Mittel > 50 µg/m³	Anz. Tage	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

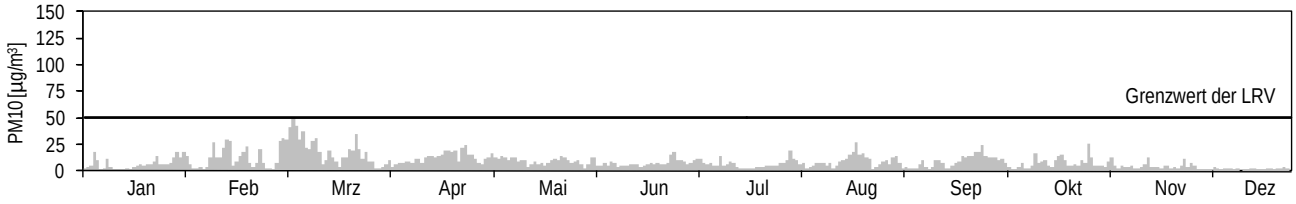
Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	-1,7	1,2	3,4	9,7	12,0	12,8	12,5	15,9	13,5	7,7	6,6	0,6	7,9
	Heizgradtagzahl[1)]	(°C*d)	673	527	516	225	159	145	147	67	90	361	402	601	3912
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m²	56	99	149	248	261	222	228	230	186	123	87	34	161
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	86	75	74	62	66	79	77	75	82	84	68	90	77
Niederschlag	Summen	mm	46	30	22	12	41	87	145	75	111	76	13	221	877
Druck	Mittelwerte	hPa	887	887	889	889	890	890	887	890	891	892	891	888	889

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

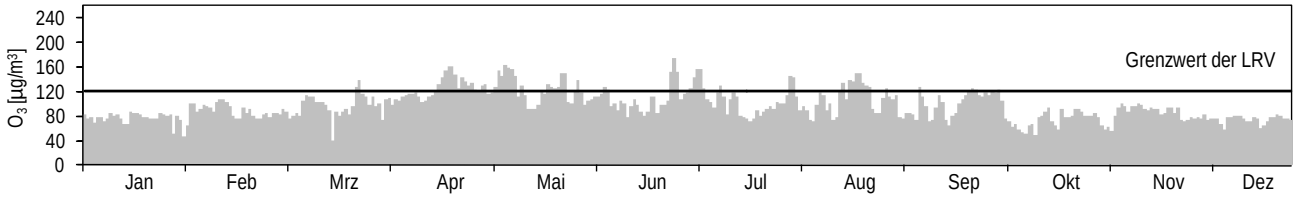
Jahresübersicht 2011	Chaumont		Koordinaten: 565 090 / 211 040
	Ländlich, oberhalb 1000 m		Höhe: 1136 m

Tagesmittelwerte für NO_2 und PM10





Maximales Stundenmittel pro Tag für O_3



Jahresübersicht 2011	Davos-Seehornwald Ländlich, oberhalb 1000 m		Koordinaten: 784 450 / 187 735 Höhe: 1637 m

Luftschadstoffe [1]			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
NO_2	Mittelwerte	µg/m³	3,8	3,9	4,5	3,8	3,8	2,5	2,6	3,0	3,5	3,2	2,7	4,3	3,5
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	10,1	7,9	10,0	8,6	8,7	5,3	5,9	6,8	7,8	7,0	6,4	12,5	12,5
	24h-Mittel > 80 µg/m³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m³	0,22	0,16	0,13	0,17	0,35	0,17	0,21	0,35	0,61	0,28	0,15	0,31	0,26
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	1,24	0,55	0,85	1,14	1,64	0,75	0,99	1,23	2,12	1,46	0,60	1,99	2,12
NO_x	Mittelwerte	ppb	2,5	2,5	2,8	2,4	2,6	1,6	1,7	2,1	2,7	2,2	1,7	2,9	2,3
	max. 24h-Mittelwert	ppb	7,2	5,2	6,2	5,8	6,2	3,9	4,1	4,8	6,5	5,5	4,4	8,7	8,7
O_3	Mittelwerte	µg/m³	66	76	85	87	83	68	70	67	57	59	66	58	70
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m³	84	93	105	118	122	108	115	106	89	86	80	73	122
	max. 1h-Mittelwert	µg/m³	86	110	109	121	133	120	125	112	98	90	84	76	133
	1h-Mittel > 120 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	4	19	0	4	0	0	0	0	0	27
	1h-Mittel > 180 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel > 240 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

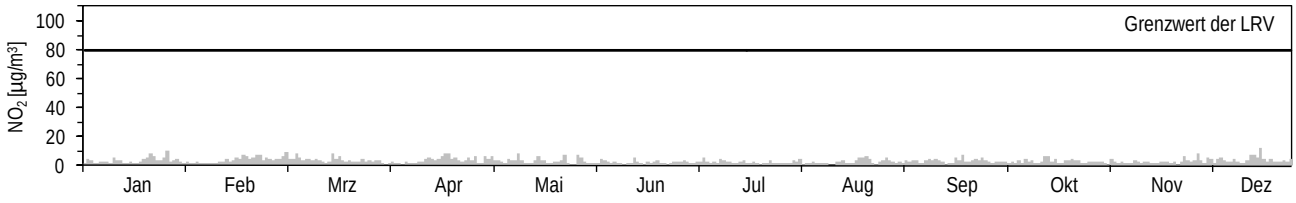
1) Die Umrechnung von ppb in µg/m³ erfolgt für die Station Davos mit standortabhängigen Faktoren (Anhang A4)

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	-3,6	-1,3	0,9	5,4	8,5	10,3	9,9	13,5	10,5	5,0	4,2	-2,3	5,1
	Heizgradtagzahl[2]	(°C*d)	733	596	593	438	330	235	262	101	228	459	474	668	5118
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m²	69	111	168	225	238	201	193	224	171	132	83	41	155
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	65	55	59	60	64	76	75	67	74	64	47	77	65
Niederschlag	Summen	mm	28	11	9	18	106	90	124	93	105	79	0	114	776
Druck	Mittelwerte	hPa	834	834	836	837	839	838	835	839	840	839	839	833	837

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

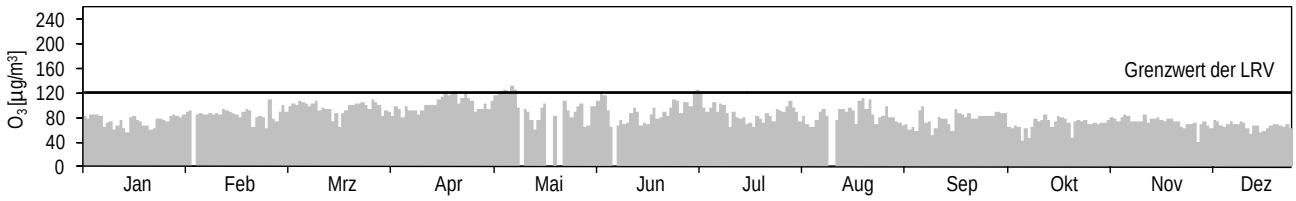
Jahresübersicht 2011	Davos-Seehornwald Ländlich, oberhalb 1000 m		Koordinaten: 784 450 / 187 735 Höhe: 1637 m

Tagesmittelwerte für NO_2 [1)]



1) Die Umrechnung von ppb in µg/m³ erfolgt für die Station Davos mit standortabhängigen Faktoren (Anhang A4)

Maximales Stundenmittel pro Tag für O_3 [1)]



1) Die Umrechnung von ppb in µg/m³ erfolgt für die Station Davos mit standortabhängigen Faktoren (Anhang A4)

Jahresübersicht 2011	Dübendorf-Empa Vorstädtisch		Koordinaten: 688 675 / 250 900 Höhe: 432 m

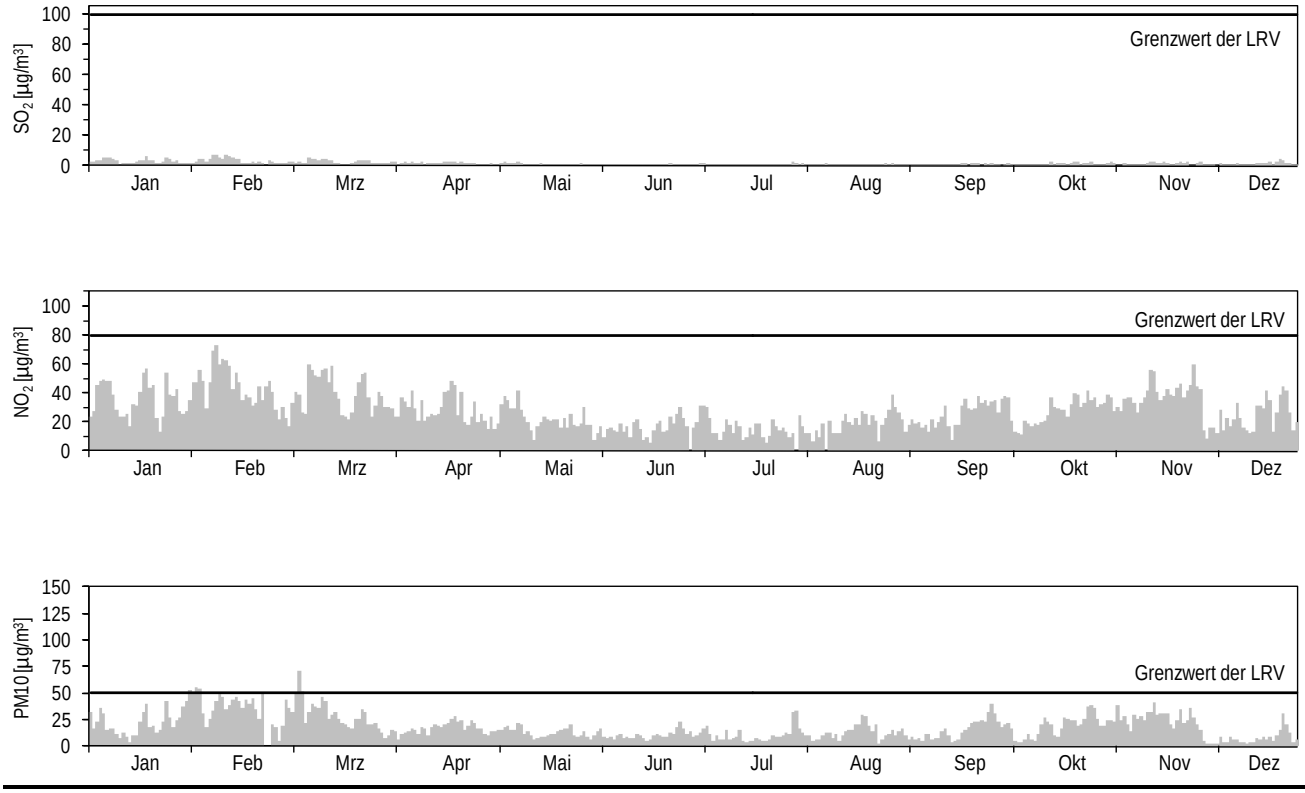
Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO_2	Mittelwerte	µg/m³	3,2	3,7	2,7	1,9	1,2	0,8	0,9	1,1	1,0	1,4	1,7	1,6	1,7
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	6,1	7,5	5,1	3,0	2,4	1,5	1,4	3,0	1,7	2,7	3,0	4,2	7,5
	24h-Mittel > 100 µg/m³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO_2	Mittelwerte	µg/m³	36	46	39	30	23	16	16	19	24	28	39	25	28
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	57	73	60	48	42	30	32	39	38	42	60	45	73
	24h-Mittel > 80 µg/m³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m³	19,1	29,7	13,9	6,9	3,2	2,4	2,4	4,1	9,2	18,4	46,9	8,1	13,6
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	116,7	100,2	47,9	20,7	10,6	8,1	7,2	13,8	33,1	67,4	116,4	59,6	116,7
NO_x	Mittelwerte	ppb	34	48	32	21	14	10	11	13	20	29	58	19	26
	max. 24h-Mittelwert	ppb	122	116	69	40	27	19	21	29	46	76	122	71	122
O_3	Mittelwerte	µg/m³	25	18	37	62	72	65	65	59	40	22	5	38	43
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m³	69	70	103	151	156	130	145	138	108	74	27	71	156
	max. 1h-Mittelwert	µg/m³	79	90	115	160	172	183	171	169	120	110	43	82	183
	1h-Mittel > 120 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	66	87	23	34	45	0	0	0	0	255
	1h-Mittel > 180 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
	1h-Mittel > 240 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO	Mittelwerte	mg/m³	0,40	0,60	0,40	0,30	0,30	0,20	0,20	0,20	0,30	0,40	0,60	0,30	0,30
	max. 24h-Mittelwert	mg/m³	1,10	0,90	0,60	0,40	0,30	0,30	0,30	0,30	0,50	0,80	0,90	0,80	1,10
	24h-Mittel > 8 mg/m³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NMVOC	Mittelwerte	µgCH_4/m³	59	86	68	51	39	27	34	60	72	72	109	46	60
	max. 24h-Mittelwert	µgCH_4/m³	182	185	110	89	107	72	63	105	169	156	195	122	195
CH_4	Mittelwerte	mg/m³	1,36	1,40	1,36	1,32	1,30	1,30	1,29	1,31	1,34	1,38	1,48	1,31	1,34
PM10	Mittelwerte	µg/m³	23	37	31	17	14	11	9	14	14	19	27	8	19
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	55	56	71	28	22	23	20	33	40	40	41	31	71
	24h-Mittel > 50 µg/m³	Anz. Tage	1	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	1,6	2,9	6,8	13,0	16,0	17,9	17,6	20,2	17,1	10,1	5,4	4,3	11,1
	Heizgradtagzahl[1)]	(°C*d)	570	479	408	112	47	9	0	0	9	254	437	487	2813
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m²	37	72	133	216	246	207	222	216	157	91	47	27	140
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	81	78	67	60	61	69	68	69	76	81	86	80	73
Niederschlag	Summen	mm	44	21	22	25	82	83	177	109	82	71	0	167	884
Druck	Mittelwerte	hPa	968	967	969	967	968	966	963	965	968	970	970	967	967

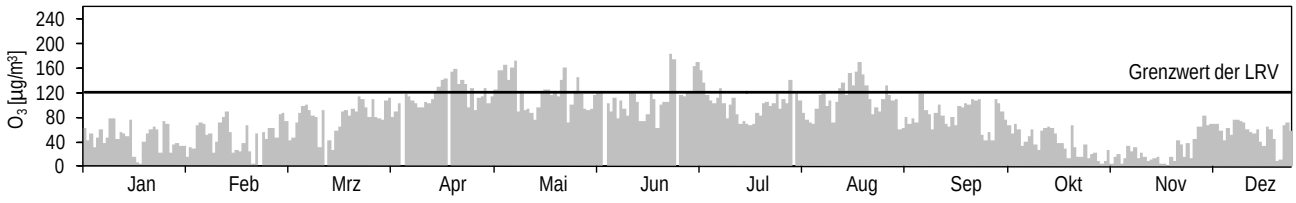
1) Heizgradtagzahl: Monatliche Summe der täglichen Differenzen zwischen Raumtemperatur (20 °C) und der Tagesmittel-Temperatur aller Heiztage (Heiztag: Tag mit Tagesmitteltemperatur <= 12 °C)

Jahresübersicht 2011	Dübendorf-Empa Vorstädtisch		Koordinaten: 688 675 / 250 900 Höhe: 432 m

Tagesmittelwerte für SO_2, NO_2 und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O_3



Jahresübersicht 2011	Härkingen-A1 Ländlich, Autobahn		Koordinaten: 628 875 / 240 185 Höhe: 431 m

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO_2	Mittelwerte	µg/m³	1,5	2,0	1,8	1,2	0,9	0,8	0,8	1,1	0,8	0,9	1,3	0,9	1,2
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	3,6	3,5	3,7	1,9	1,5	1,3	1,2	4,4	1,4	1,9	2,5	2,1	4,4
	24h-Mittel > 100 µg/m³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO_2	Mittelwerte	µg/m³	42	53	44	37	38	38	35	39	38	37	41	40	40
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	67	82	75	64	69	63	66	64	54	58	60	69	82
	24h-Mittel > 80 µg/m³	Anz. Tage	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
NO	Mittelwerte	µg/m³	51	62	41	30	27	30	27	31	40	48	65	41	41
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	148	146	92	71	54	63	59	59	64	108	133	123	148
NO_x	Mittelwerte	ppb	63	77	56	44	42	44	40	45	52	58	73	54	54
	max. 24h-Mittelwert	ppb	148	158	112	82	76	83	69	79	76	112	134	129	158
O_3	Mittelwerte	µg/m³	21	16	35	56	57	46	49	42	29	18	4	28	34
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m³	67	56	89	137	133	112	119	118	99	63	20	67	137
	max. 1h-Mittelwert	µg/m³	73	87	99	145	151	159	152	137	125	92	39	86	159
	1h-Mittel > 120 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	41	43	8	9	8	1	0	0	0	110
	1h-Mittel > 180 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel > 240 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO	Mittelwerte	mg/m³	0,44	0,53	0,42	0,31	0,27	0,25	0,23	0,27	0,31	0,34	0,53	0,32	0,35
	max. 24h-Mittelwert	mg/m³	0,73	0,72	0,73	0,42	0,39	0,38	0,31	0,41	0,48	0,55	0,84	0,62	0,84
	24h-Mittel > 8 mg/m³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m³	25	40	33	18	15	14	11	18	16	20	29	12	21
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	53	66	71	28	22	27	19	58	40	40	44	33	71
	24h-Mittel > 50 µg/m³	Anz. Tage	1	5	5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	12
SN	Mittelwerte	mg/(m² d)	52	37	51	82	55	-	68	78	75	38	29	38	55

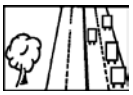
-) keine Messwerte vorhanden

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	1,8	3,0	7,0	12,9	16,2	18,0	17,9	20,3	17,4	10,5	5,8	4,4	11,3
	Heizgradtagzahl[1)]	(°C*d)	565	475	402	103	45	8	0	0	8	243	427	484	2761
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m²	43	74	138	231	257	216	240	222	160	93	40	33	146
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	80	77	67	61	61	68	66	68	73	78	84	81	72
Niederschlag	Summen	mm	42	17	17	21	35	89	112	65	96	59	5	206	765
Druck	Mittelwerte	hPa	968	967	969	967	968	967	963	966	968	970	970	967	967

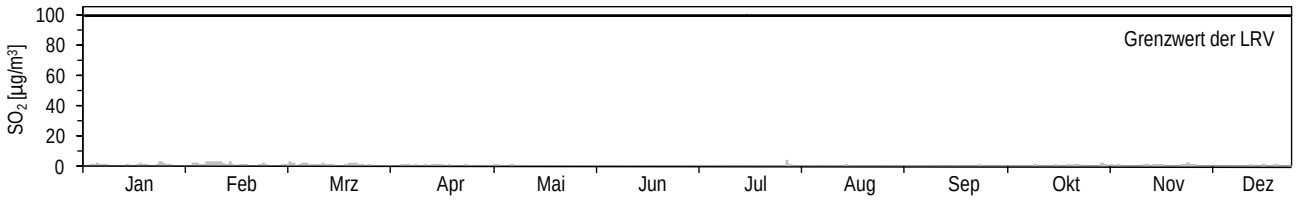
1) Heizgradtagzahl: Monatliche Summe der täglichen Differenzen zwischen Raumtemperatur (20 °C) und der Tagesmittel-Temperatur aller Heiztage (Heiztag: Tag mit Tagesmitteltemperatur <= 12 °C)

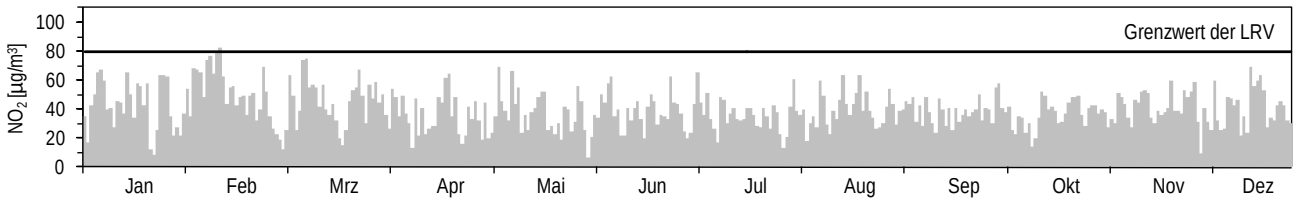
Verkehr		Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Verkehrszähler	Fz/Tag	72806	78433	83087	86221	86530	89649	91067	93745	91663	87951	84956	83952	85985

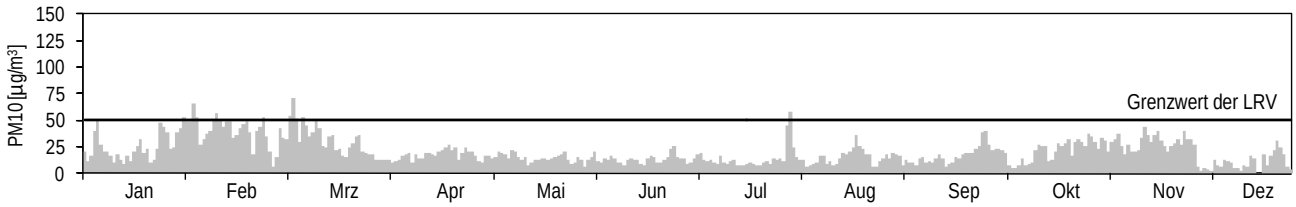
Die Verkehrsdaten wurden durch das Bundesamt für Strassen (ASTRA) erhoben.

Jahresübersicht 2011	Härkingen-A1 Ländlich, Autobahn		Koordinaten: 628875 / 240185 Höhe: 431m

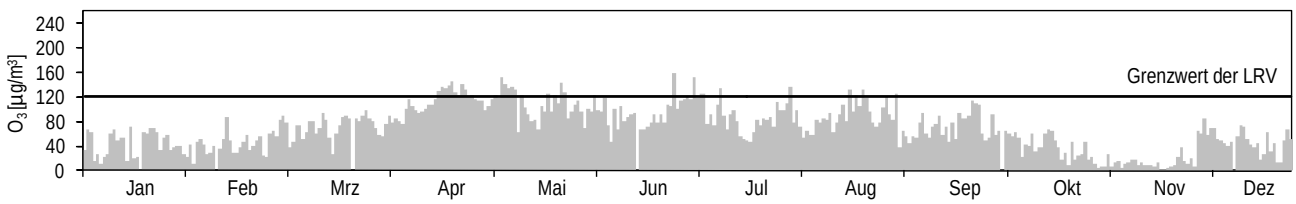
Tagesmittelwerte für SO_2, NO_2 und PM10

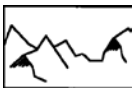






Maximales Stundenmittel pro Tag für O_3



Jahresübersicht 2011	Jungfraujoch Hochgebirge		Koordinaten: 641 910 / 155 280 Höhe: 3580 m

Luftschadstoffe [1]			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO_2	Mittelwerte	µg/m³	0,08	0,08	0,06	0,10	0,06	0,02	0,04	0,06	0,06	0,05	0,06	0,01	0,06
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	0,39	0,14	0,20	0,26	0,12	0,08	0,09	0,20	0,15	0,16	0,13	0,07	0,39
	24h-Mittel > 100 µg/m³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO_2	Mittelwerte	µg/m³	0,15**	0,24**	0,26**	0,23*	0,19*	0,15*	0,21	0,16	0,16	0,17**	0,09*	0,25*	0,18*
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	0,19**	0,12**	-	0,45*	0,38*	0,33*	0,38	0,38	0,39	0,59**	0,13*	0,68*	0,68*
	24h-Mittel > 80 µg/m³	Anz. Tage	0**	0**	0**	0*	0*	0*	0	0	0	0**	0*	0*	0*
NO	Mittelwerte	µg/m³	0,02**	0,07**	0,04**	0,04	0,04*	0,04*	0,05	0,03	0,04	0,04**	0,02*	0,03*	0,04*
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	0,04**	0,08**	0,03**	0,07	0,15*	0,15*	0,12*	0,12	0,07	0,20**	0,03*	0,13*	0,20*
NO_x	Mittelwerte	ppb	0,14**	0,26**	0,28**	0,22*	0,19*	0,15*	0,21	0,15	0,16	0,16**	0,08*	0,22*	0,18*
	max. 24h-Mittelwert	ppb	0,16**	0,16**	-	0,4*	0,45*	0,4*	0,37	0,42	0,37	0,66**	0,1*	0,55*	0,66*
O_3	Mittelwerte	µg/m³	66	72	80	87	85	80	81	77	72	67	68	60	75
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m³	79	82	92	109	107	107	110	102	93	87	83	70	110
	max. 1h-Mittelwert	µg/m³	92	101	94	127	125	127	137	120	106	93	87	77	137
	1h-Mittel > 120 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	2	3	1	4	1	0	0	0	0	11
	1h-Mittel > 180 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel > 240 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO	Mittelwerte	mg/m³	0,11	0,11	0,11	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,08	0,09	0,09
	max. 24h-Mittelwert	mg/m³	0,14	0,14	0,14	0,12	0,11	0,09	0,09	0,09	0,08	0,11	0,09	0,11	0,14
	24h-Mittel > 8 mg/m³	Anz. Tage	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m³	2,2	2,0	2,4	5,8	4,2	2,8	2,7	6,4	3,2	1,6	1,2*	0,9	3,0
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	6,6	4,9	6,6	25,3	9,6	6,7	10,7	30,4	21,6	5,8	2,1*	3,3	30,4
	24h-Mittel > 50 µg/m³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0*	0	0

1) Die Umrechnung von ppb in µg/m³ und ppm in mg/m³ erfolgt für die Station Jungfraujoch mit standortabhängigen Faktoren (Anhang A4)

-) keine Messwerte vorhanden

*) unvollständige Messreihe (siehe Anhang A4), aber mindestens 50 % der Messwerte vorhanden

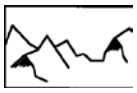
**) unvollständige Messreihe (siehe Anhang A4), weniger als 50 % der Messwerte vorhanden

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	-12,9	-11,9	-10,4	-6,8	-4,2	-1,5	-2,0	1,4	0,3	-3,7	-5,3	-12,4	-5,7
	Heizgradtagzahl[2]	(°C*d)	1020	894	942	803	749	644	681	578	590	753	758	1004	9399
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m²	87	126	195	279	284	271	273	237	205	150	96	42	189
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	59	58	62	60	72	82	78	69	63	49	46	75	64
Druck	Mittelwerte	hPa	650	651	654	657	660	661	658	664	663	660	659	651	657

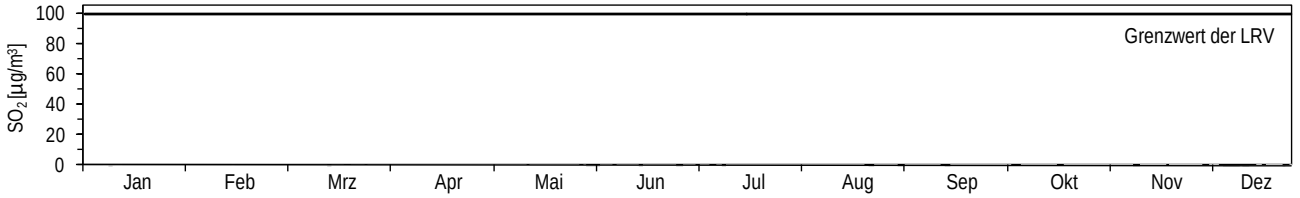
2) Heizgradtagzahl: Monatliche Summe der täglichen Differenzen zwischen Raumtemperatur (20 °C) und der Tagesmittel-Temperatur aller Heiztage (Heiztag: Tag mit Tagesmitteltemperatur <= 12 °C)

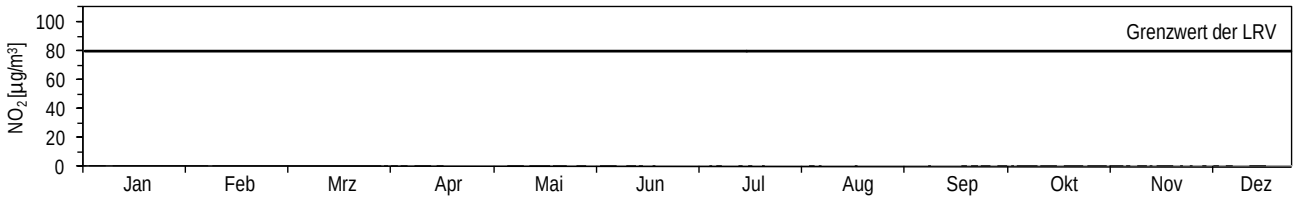
Die meteorologischen Daten wurden durch die MeteoSchweiz erhoben.

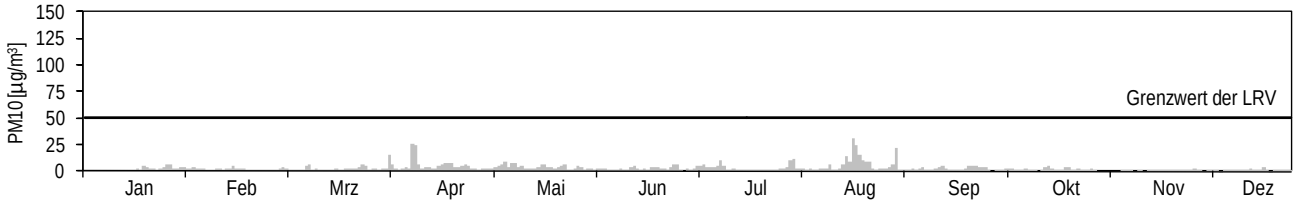
Die Bauarbeiten am neuen Tunnel auf dem Jungfraujoch haben die Messungen beeinträchtigt.

Jahresübersicht 2011	Jungfraujoch Hochgebirge		Koordinaten: 641 910 / 155 280 Höhe: 3580 m

Tagesmittelwerte für SO_2 [1)], NO_2 [1)] und PM10

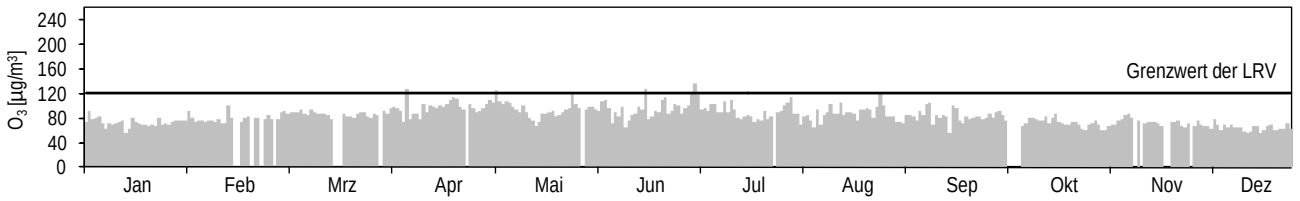






1) Die Umrechnung von ppb in µg/m³ und ppm in mg/m³ erfolgt für die Station Jungfraujoch mit standortabhängigen Faktoren (Anhang A4)

Maximales Stundenmittel pro Tag für O_3 [1)]



1) Die Umrechnung von ppb in µg/m³ und ppm in mg/m³ erfolgt für die Station Jungfraujoch mit standortabhängigen Faktoren (Anhang A4)

Jahresübersicht 2011	Lägeren Ländlich, unterhalb 1000 m		Koordinaten: 669 780 / 259 020 Höhe: 689 m

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
NO_2	Mittelwerte	µg/m³	14,3	22,0	12,5	7,2	6,1	5,3	4,8	5,4	6,9	12,8	24,8	11,4	11,0
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	34,9	40,1	21,3	11,1	9,7	8,6	8,4	9,4	12,6	24,8	42,7	27,3	42,7
	24h-Mittel > 80 µg/m³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m³	1,2	2,4	1,4	1,0	0,7	0,4	0,5	0,3	0,8	1,6	5,6	0,9	1,4
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	4,2	6,5	2,6	1,8	1,1	0,7	1,3	0,7	2,1	6,6	29,7	2,7	29,7
NO_x	Mittelwerte	ppb	8,4	13,4	7,6	4,6	3,8	3,1	2,9	3,1	4,3	8,0	17,5	6,7	6,9
	max. 24h-Mittelwert	ppb	20,4	25,5	13,2	6,8	5,7	5,0	5,1	5,4	7,7	18,3	41,3	15,4	41,3
O_3	Mittelwerte	µg/m³	48	44	70	99	100	83	84	86	72	37*	21	50	67
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m³	76	83	113	154	156	144	150	144	115	68*	62	72	156
	max. 1h-Mittelwert	µg/m³	83	88	129	164	161	166	165	157	124	78	86	83	166
	1h-Mittel > 120 µg/m³	Anz. Std.	0	0	4	136	150	38	51	97	3	0	0	0	479
	1h-Mittel > 180 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel > 240 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

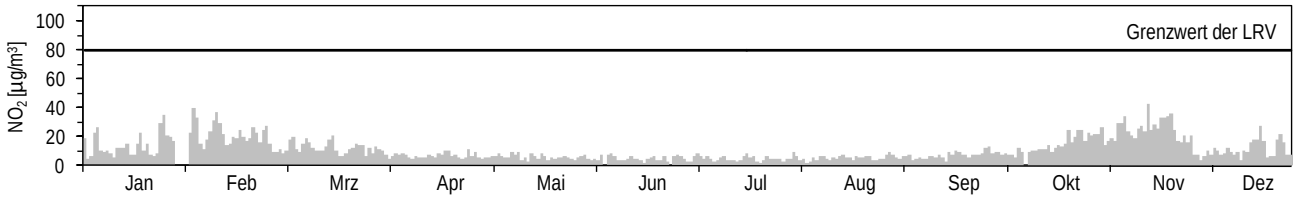
*) unvollständige Messreihe (siehe Anhang A4), aber mindestens 50 % der Messwerte vorhanden

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	0,0	1,9	5,6	12,2	14,5	15,4	15,2	18,4	15,7	8,6	5,1	2,3	9,6
	Heizgradtagzahl[1)]	(°C*d)	620	506	445	147	86	66	27	9	32	322	427	549	3236
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m²	39	74	140	235	267	211	232	235	169	94	54	26	149
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	87	79	67	55	60	73	71	70	76	85	85	89	75
Niederschlag	Summen	mm	32	20	16	17	56	61	164	55	57	54	2	91	624
Druck	Mittelwerte	hPa	938	937	939	938	939	938	935	937	939	941	940	937	938

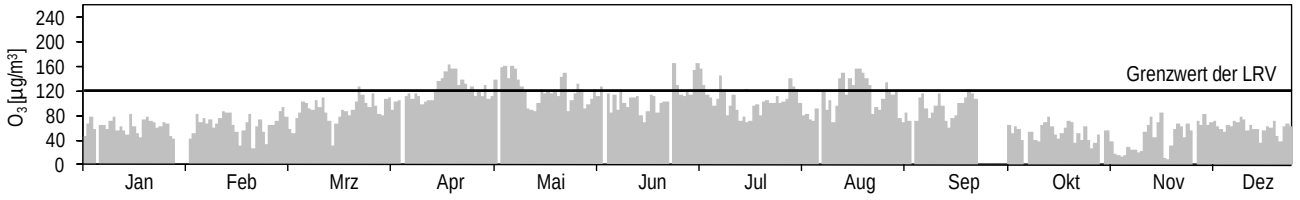
1) Heizgradtagzahl: Monatliche Summe der täglichen Differenzen zwischen Raumtemperatur (20 °C) und der Tagesmittel-Temperatur aller Heiztage (Heiztag: Tag mit Tagesmitteltemperatur <= 12 °C)

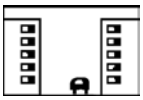
Jahresübersicht 2011	Lägeren Ländlich, unterhalb 1000 m		Koordinaten: 669 780 / 259 020 Höhe: 689 m

Tagesmittelwerte für NO_2



Maximales Stundenmittel pro Tag für O_3



Jahresübersicht 2011	Lausanne-César-Roux Städtisch verkehrsbelastet		Koordinaten: 538 695 / 152 615 Höhe: 530 m

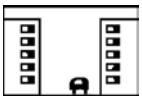
Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
NO_2	Mittelwerte	µg/m³	41	57	46	35	40	34	33	41	42	41	53	47	42
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	62	87	70	60	62	59	59	59	58	65	77	68	87
	24h-Mittel > 80 µg/m³	Anz. Tage	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
NO	Mittelwerte	µg/m³	23	37	20	13	14	12	12	13	16	22	47	26	21
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	74	86	37	32	25	23	21	24	26	44	85	55	86
NO_x	Mittelwerte	ppb	40	60	40	29	32	28	26	32	35	40	65	46	39
	max. 24h-Mittelwert	ppb	92	114	62	49	49	44	42	46	51	63	102	76	114
O_3	Mittelwerte	µg/m³	26	21	41	70	69	58	64	59	42	26	7	28	43
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m³	59	64	83	129	116	103	113	113	89	68	23	62	129
	max. 1h-Mittelwert	µg/m³	65	70	95	140	130	162	139	147	105	83	42	71	162
	1h-Mittel > 120 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	34	10	7	6	10	0	0	0	0	67
	1h-Mittel > 180 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel > 240 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO	Mittelwerte	mg/m³	0,46	0,64	0,50	0,38	0,38	0,34	0,35	0,42	0,48	0,50	0,70	0,46	0,46
	max. 24h-Mittelwert	mg/m³	0,84	1,04	0,71	0,61	0,51	0,54	0,51	0,53	0,67	0,71	1,06	0,70	1,06
	24h-Mittel > 8 mg/m³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m³	27	39	35	21	17	14	14	18	19	22	34	13	23
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	59	68	66	33	26	28	27	36	50	50	48	37	68
	24h-Mittel > 50 µg/m³	Anz. Tage	2	8	6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	17
SN	Mittelwerte	mg/(m² d)	94	133	114	139	88	87	97	78	85	85	71	43	93

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	2,9	4,4	8,0	14,3	17,1	18,1	18,3	21,1	18,2	12,1	8,1	5,0	12,3
	Heizgradtagzahl[1)]	(°C*d)	532	436	356	75	10	10	0	0	9	175	350	466	2418
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m²	52	84	139	226	251	229	231	225	163	108	62	28	150
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	74	70	62	52	56	64	61	61	71	75	80	79	67
Niederschlag	Summen	mm	42	29	23	22	54	125	119	58	102	40	2	123	739
Druck	Mittelwerte	hPa	957	956	958	956	957	956	953	956	958	960	958	958	957

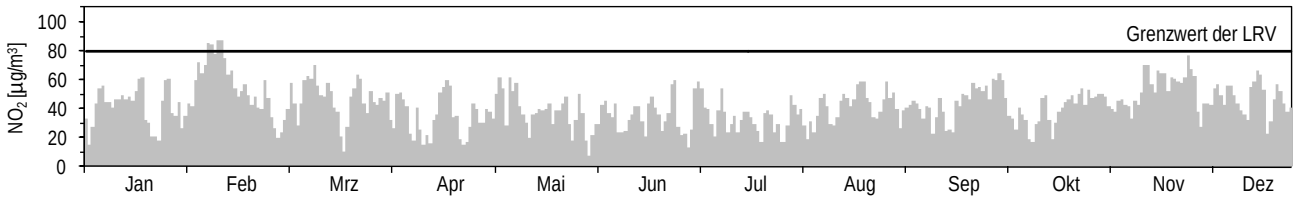
1) Heizgradtagzahl: Monatliche Summe der täglichen Differenzen zwischen Raumtemperatur (20 °C) und der Tagesmittel-Temperatur aller Heiztage (Heiztag: Tag mit Tagesmitteltemperatur <= 12 °C)

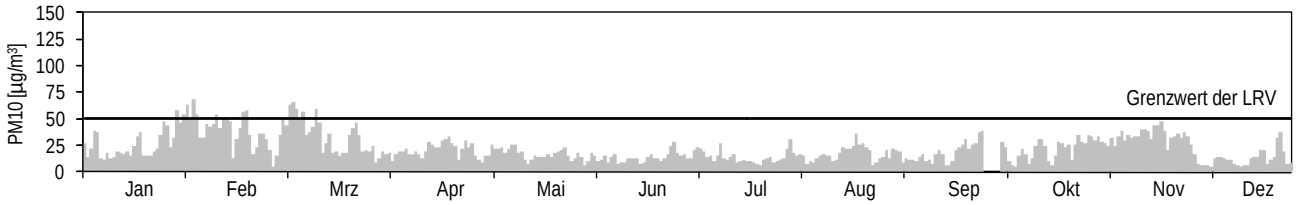
Verkehr		Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Verkehrszähler	Fz/Tag	27904	29710	30793	28881	30677	29525	27746	26740**	37363**	30382	31697	30541	29654

**) unvollständige Messreihe (siehe Anhang A4), weniger als 50 % der Messwerte vorhanden

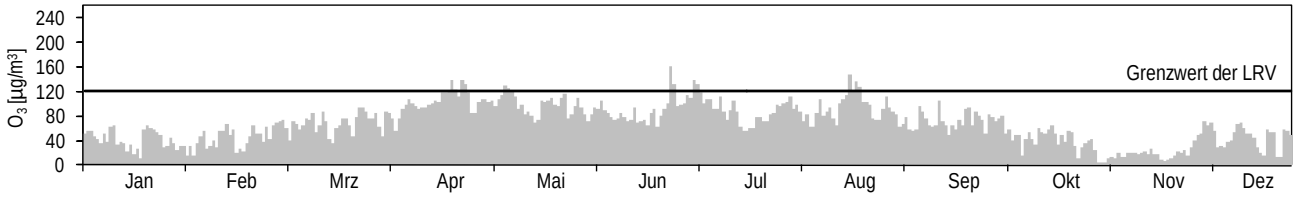
Jahresübersicht 2011	Lausanne-César-Roux Städtisch, verkehrsbelastet		Koordinaten: 538 695 / 152 615 Höhe: 530 m

Tagesmittelwerte für NO_2 und PM10





Maximales Stundenmittel pro Tag für O_3



Jahresübersicht 2011	Lugano-Università Städtisch		Koordinaten: 717 615 / 096 645 Höhe: 280 m

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO_2	Mittelwerte	µg/m³	9,4	7,9	4,5	2,4	1,4	0,9	0,8	0,9	1,0	2,4	5,7	7,5	3,7
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	12,6	13,7	8,3	4,5	2,1	1,6	1,1	1,7	1,8	4,7	9,2	11,1	13,7
	24h-Mittel > 100 µg/m³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO_2	Mittelwerte	µg/m³	55	60	41	29	21	19	18	17	25	31	46	46	34
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	96	80	57	45	38	32	33	27	38	62	67	73	96
	24h-Mittel > 80 µg/m³	Anz. Tage	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
NO	Mittelwerte	µg/m³	37,2	24,4	7,6	4,5	2,4	2,4	2,6	1,7	3,9	8,5	22,4	25,7	11,9
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	101,7	63,8	16,7	14,5	4,8	6,7	9,0	3,2	10,3	30,3	45,2	63,4	101,7
NO_x	Mittelwerte	ppb	59	51	27	19	13	12	11	10	16	23	42	44	27
	max. 24h-Mittelwert	ppb	117	90	42	35	23	21	23	17	25	49	68	89	117
O_3	Mittelwerte	µg/m³	12	20	46	79	94	74	78	91	73	41	13	19	54
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m³	67	71	106	147	169	193	162	168	156	140	50	69	193
	max. 1h-Mittelwert	µg/m³	78	79	128	164	181	282	188	203	171	163	67	77	282
	1h-Mittel > 120 µg/m³	Anz. Std.	0	0	4	80	145	86	94	146	101	23	0	0	679
	1h-Mittel > 180 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	0	1	17	3	2	0	0	0	0	23
	1h-Mittel > 240 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	4
CO	Mittelwerte	mg/m³	0,71	0,60	0,42	0,33	0,28	0,24	0,23	0,25	0,30	0,35	0,53	0,49	0,39
	max. 24h-Mittelwert	mg/m³	1,23	0,82	0,55	0,47	0,36	0,34	0,30	0,32	0,40	0,59	0,90	0,93	1,23
	24h-Mittel > 8 mg/m³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NMVOC	Mittelwerte	µgCH_4/m³	148	143	86	81	69	65	55	51	71	80	129	123	91
	max. 24h-Mittelwert	µgCH_4/m³	258	256	125	157	100	86	78	80	106	139	189	228	258
CH_4	Mittelwerte	mg/m³	1,36	1,35	1,31	1,30	1,29	1,28	1,28	1,30	1,29	1,31	1,33	1,31	1,31
PM10	Mittelwerte	µg/m³	38	43	27	22	15	14	12	17	19	22	28	21	23
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	103	108	69	34	24	35	25	29	37	67	66	71	108
	24h-Mittel > 50 µg/m³	Anz. Tage	6	9	3	0	0	0	0	0	0	1	3	1	23

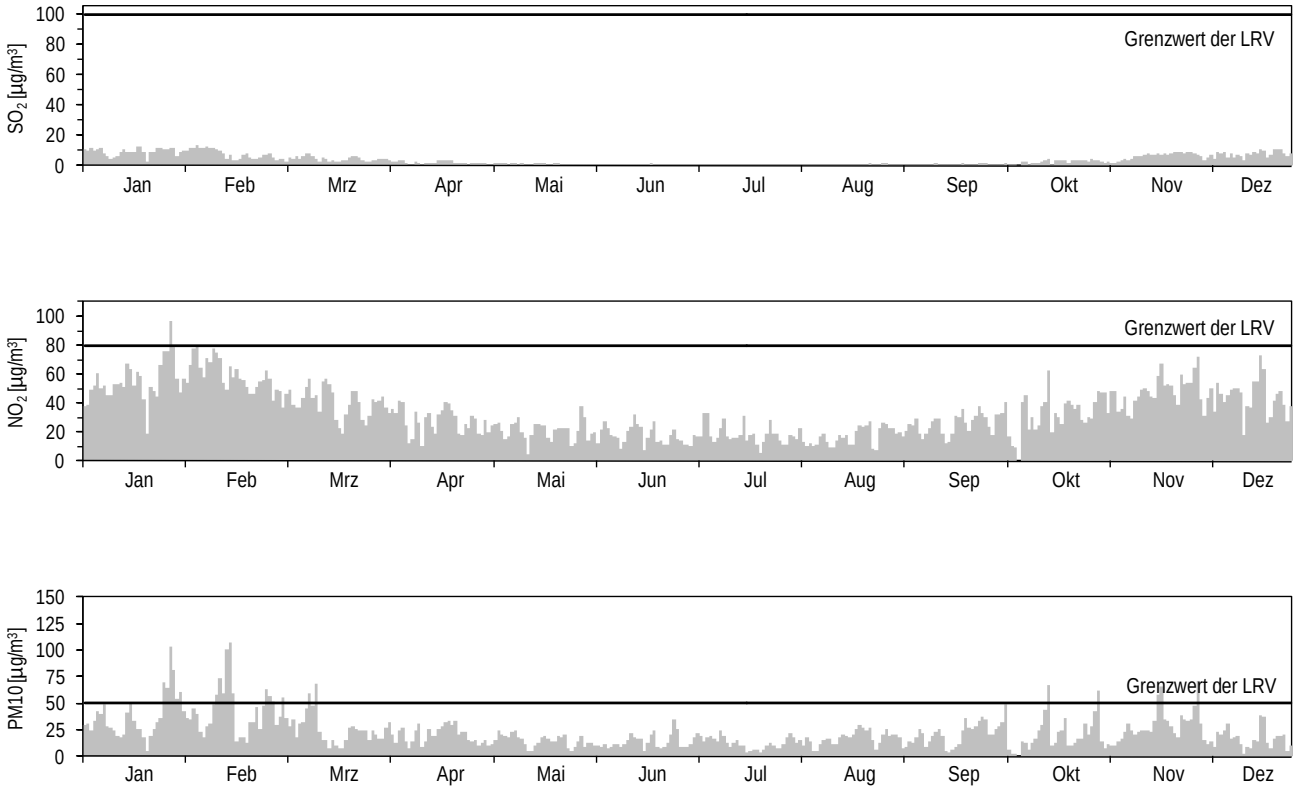
Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	3,2	5,4	8,6	15,4	18,5	19,6	20,8	23,0	20,3	13,5	8,3	5,9	13,6
	Heizgradtagzahl[1)]	(°C*d)	522	409	332	9	0	0	0	0	0	146	335	438	2190
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m²	59	97	141	226	267	219	238	237	174	127	68	54	159
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	75	73	73	58	60	76	69	66	72	69	81	63	70
Niederschlag	Summen	mm	44	45	89	24	90	203	259	72	83	53	205	14	1179
Druck	Mittelwerte	hPa	984	981	985	981	982	980	976	980	982	985	988	982	982

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

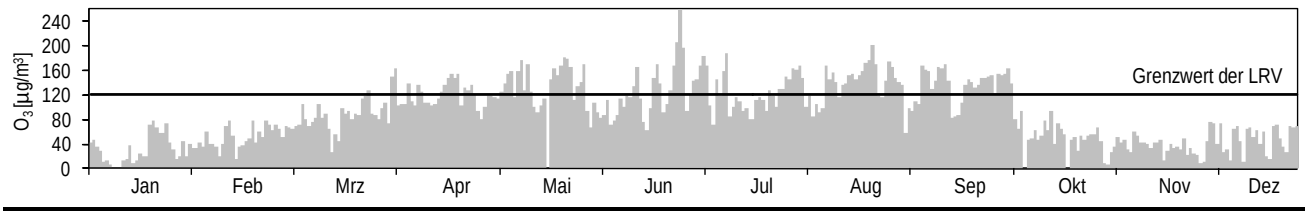
Die meteorologischen Daten wurden durch die MeteoSchweiz erhoben.

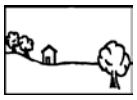
Jahresübersicht 2011	Lugano-Università Städtisch		Koordinaten: 717 615 / 096 645 Höhe: 280 m

Tagesmittelwerte für SO_2, NO_2 und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O_3



Jahresübersicht 2011	Magadino-Cadenazzo Ländlich, unterhalb 1000 m		Koordinaten: 715 500 / 113 200 Höhe: 203 m

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO_2	Mittelwerte	µg/m³	4,2	3,2	3,0	3,1	1,8	0,9	0,9	1,0	1,3	1,4	1,9	2,5	2,1
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	7,9	4,8	7,4	7,7	3,1	1,7	1,8	1,9	2,3	3,6	4,0	5,1	7,9
	24h-Mittel > 100 µg/m³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO_2	Mittelwerte	µg/m³	39	39	27	17	11	9	9	9	12	19	31	28	21
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	57	53	41	28	20	14	20	16	21	30	43	50	57
	24h-Mittel > 80 µg/m³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m³	45,5	26,9	4,4	2,5	1,7	1,5	1,4	1,3	2,4	6,2	43,4	29,4	13,8
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	125,4	63,8	11,3	7,3	3,5	2,4	3,2	2,1	6,0	22,5	114,3	103,8	125,4
NO_x	Mittelwerte	ppb	56,7	42,0	17,5	10,8	7,1	5,7	5,9	5,7	8,2	14,9	51,2	38,4	21,9
	max. 24h-Mittelwert	ppb	126,1	79,0	28,8	20,0	12,8	8,8	11,6	9,5	15,6	32,6	113,3	105,9	126,1
O_3	Mittelwerte	µg/m³	12	23	47	79	86	67	70	66	51	30	9	20	47
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m³	70	77	122	152	168	168	149	149	134	108	51	73	168
	max. 1h-Mittelwert	µg/m³	77	92	135	158	188	232	178	163	161	138	66	82	232
	1h-Mittel > 120 µg/m³	Anz. Std.	0	0	18	104	156	61	64	85	36	9	0	0	533
	1h-Mittel > 180 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	0	2	7	0	0	0	0	0	0	9
	1h-Mittel > 240 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m³	40	44	27	21	15	13	11	16	17	18	31	24	23
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	73	125	72	44	29	29	23	29	36	54	53	49	125
	24h-Mittel > 50 µg/m³	Anz. Tage	8	8	4	0	0	0	0	0	0	1	1	0	22
SN	Mittelwerte	mg/(m² d)	19	40	48	62	67	96	-	77	100	33	23	14	53

-) keine Messwerte vorhanden

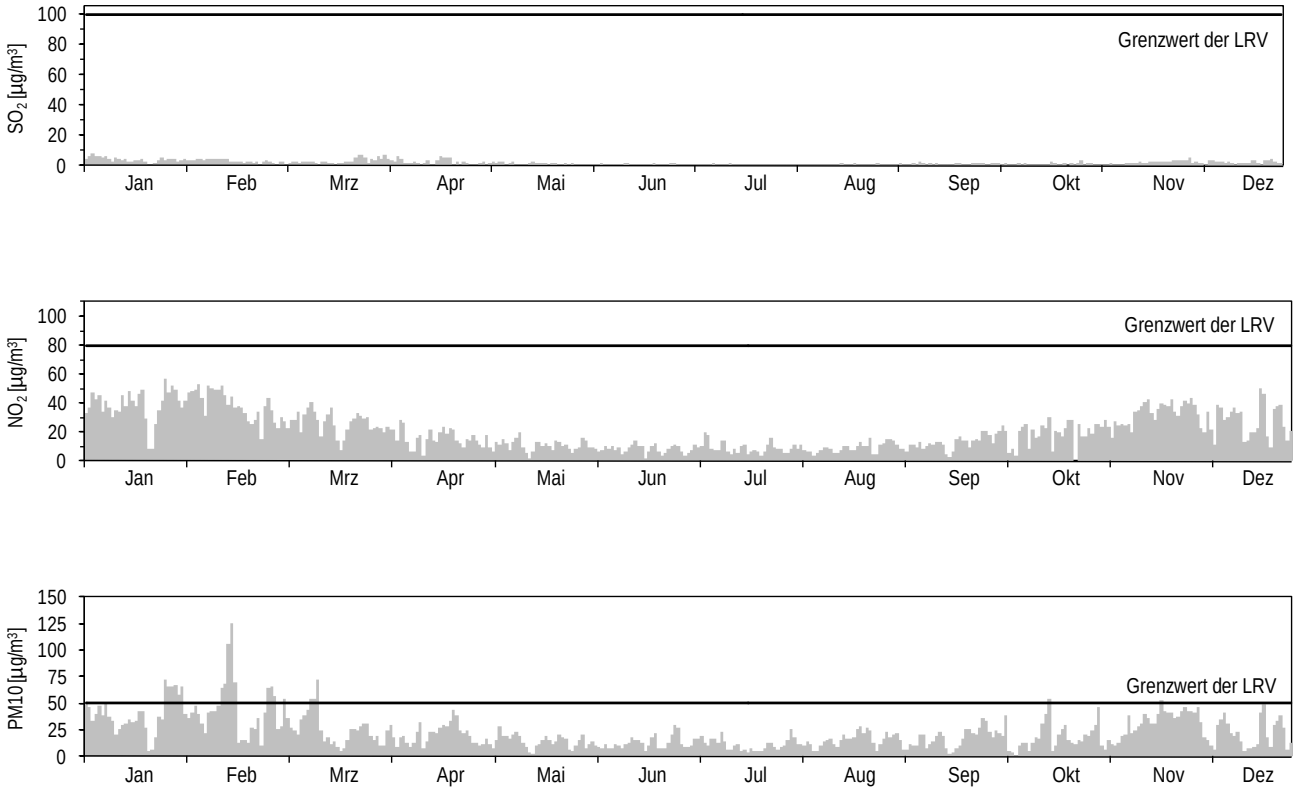
Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	1,2	3,9	8,4	15,2	17,8	19,6	20,1	21,6	19,0	11,7	5,4	3,0	12,3
	Heizgradtagzahl[1)]	(°C*d)	582	450	324	17	0	0	0	0	0	217	422	527	2539
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m²	54	94	137	224	260	218	233	231	173	124	67	46	156
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	80	75	72	58	64	76	72	75	78	77	88	77	74
Niederschlag	Summen	mm	49	44	78	23	110	192	254	167	172	77	221	17	1404
Druck	Mittelwerte	hPa	995	993	997	992	993	991	988	991	993	997	999	994	994

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

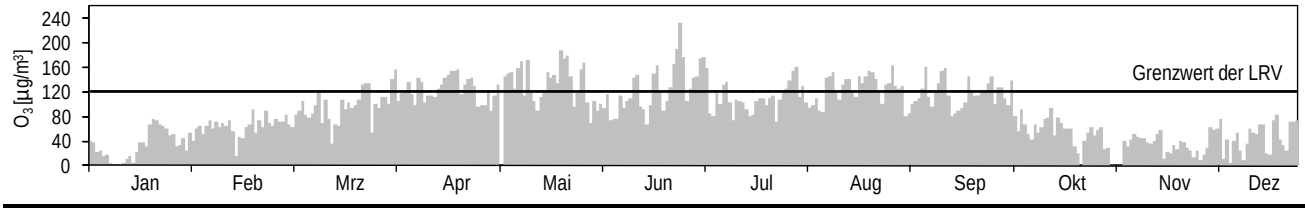
Die meteorologischen Daten wurden durch die MeteoSchweiz erhoben.

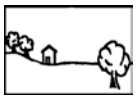
Jahresübersicht 2011	Magadino-Cadenazzo Ländlich, unterhalb 1000 m		Koordinaten: 715 500 / 113 200 Höhe: 203 m

Tagesmittelwerte für SO_2, NO_2 und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O_3



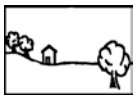
Jahresübersicht 2011	Payerne Ländlich, unterhalb 1000 m		Koordinaten: 562 285 / 184 775 Höhe: 489 m

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO_2	Mittelwerte	µg/m³	0,75	0,80	0,79	0,64	0,52	0,39	0,37	0,40	0,38	0,41	0,54	0,42	0,53
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	1,38	1,84	1,32	1,07	1,61	0,76	0,87	0,90	0,73	0,94	1,10	1,23	1,84
	24h-Mittel > 100 µg/m³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO_2	Mittelwerte	µg/m³	21,8	26,9	20,8	12,3	10,9	8,0	7,6	7,6	10,5	15,5	25,5	12,8	15,0
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	36,5	40,8	32,2	15,9	18,7	11,7	12,2	13,2	17,9	24,9	41,0	27,9	41,0
	24h-Mittel > 80 µg/m³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m³	3,4	3,5	2,1	1,2	0,9	0,7	0,7	0,7	1,8	3,3	9,8	1,7	2,5
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	24,8	11,7	6,6	3,4	2,3	1,7	1,4	2,2	5,7	15,4	38,8	15,8	38,8
NO_x	Mittelwerte	ppb	14,1	16,9	12,6	7,4	6,4	4,7	4,5	4,5	6,9	10,7	21,2	8,0	9,8
	max. 24h-Mittelwert	ppb	35,7	29,4	21,9	10,8	11,6	7,1	7,4	8,1	13,2	25,4	47,1	26,7	47,1
O_3	Mittelwerte	µg/m³	34	34	53	78	78	67	69	69	52	30	10	45	52
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m³	69	76	104	147	143	130	135	135	110	87	35	75	147
	max. 1h-Mittelwert	µg/m³	80	92	132	159	153	142	158	143	123	103	44	85	159
	1h-Mittel > 120 µg/m³	Anz. Std.	0	0	3	69	90	27	34	48	1	0	0	0	272
	1h-Mittel > 180 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel > 240 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO	Mittelwerte	mg/m³	0,33	0,35	0,31	0,22	0,19	0,15	0,15	0,16	0,19	0,24	0,39	0,22	0,24
	max. 24h-Mittelwert	mg/m³	0,56	0,52	0,47	0,27	0,22	0,20	0,20	0,27	0,29	0,40	0,60	0,39	0,60
	24h-Mittel > 8 mg/m³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m³	23	32	30	15	11	10	10	13	14	17	24	8	17
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	51	61	64	25	20	20	19	34	38	38	34	23	64
	24h-Mittel > 50 µg/m³	Anz. Tage	1	2	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
SN	Mittelwerte	mg/(m² d)	8	12	24	56	41	56	77	31	37	18	23	15	33

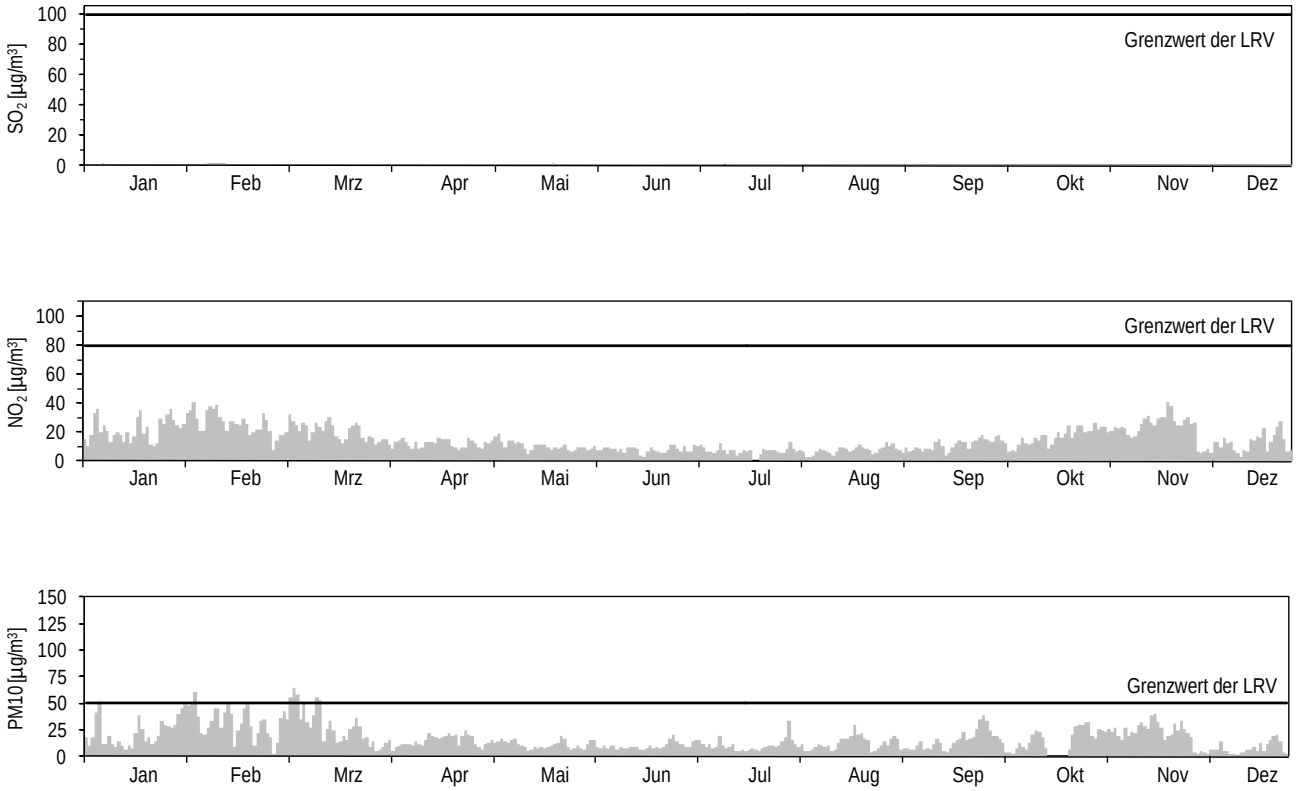
Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	1,3	2,4	6,3	12,0	15,1	16,7	16,6	19,3	16,4	9,7	4,9	3,8	10,4
	Heizgradtagzahl[1)]	(°C*d)	579	491	425	138	48	10	0	0	27	260	453	501	2933
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m²	50	85	144	245	274	238	247	240	183	109	49	34	158
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	84	81	73	65	66	74	73	71	79	86	93	84	78
Niederschlag	Summen	mm	21	18	18	17	60	78	102	42	74	45	11	95	581
Druck	Mittelwerte	hPa	962	961	962	961	962	961	958	960	962	964	964	962	961

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

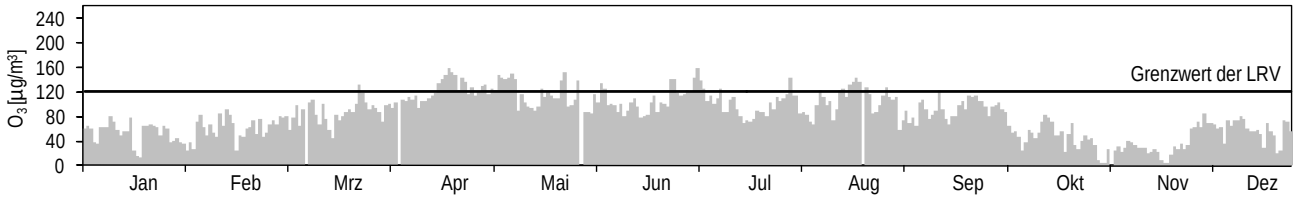
Die meteorologischen Daten wurden durch die MeteoSchweiz erhoben.

Jahresübersicht 2011	Payerne Ländlich, unterhalb 1000 m		Koordinaten: 562 285 / 184 775 Höhe: 489 m

Tagesmittelwerte für SO_2, NO_2 und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O_3



Jahresübersicht 2011	Rigi-Seebodenalp Ländlich, oberhalb 1000 m		Koordinaten: 677 835 / 213 440 Höhe: 1031 m

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO_2	Mittelwerte	µg/m³	0,45	0,40	0,54	0,46	0,43	0,32	0,32	0,28	0,34	0,31	0,41	0,19	0,37
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	0,97	0,84	1,06	0,93	0,96	0,62	0,98	0,66	0,57	0,74	0,94	0,43	1,06
	24h-Mittel > 100 µg/m³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO_2	Mittelwerte	µg/m³	9,7	12,4	13,5	7,5	6,1	4,2	4,4	3,8	5,7	6,6	8,8	3,0	7,1
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	31,2	35,6	26,3	12,3	10,8	7,8	8,2	6,4	12,5	12,8	35,1	6,5	35,6
	24h-Mittel > 80 µg/m³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m³	0,56	0,93	0,83	0,32	0,23	0,17	0,18	0,17	0,30	0,39	1,19	0,07	0,44
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	3,63	4,72	3,57	1,02	0,62	0,59	0,57	0,43	0,84	1,44	18,59	0,29	18,59
NO_x	Mittelwerte	ppb	5,5	7,2	7,7	4,2	3,4	2,4	2,4	2,1	3,2	3,7	5,5	1,6	4,1
	max. 24h-Mittelwert	ppb	19,2	22,4	16,5	7,3	6,1	4,4	4,5	3,5	7,1	7,8	33,2	3,6	33,2
O_3	Mittelwerte	µg/m³	62	68	77	102	105	86	91	92	78	65	64	69	80
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m³	88	100	113	150	157	131	151	140	114	107	92	83	157
	max. 1h-Mittelwert	µg/m³	91	108	127	160	186	164	174	159	132	121	98	87	186
	1h-Mittel > 120 µg/m³	Anz. Std.	0	0	2	156	176	41	80	92	5	2	0	0	554
	1h-Mittel > 180 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3
	1h-Mittel > 240 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO	Mittelwerte	mg/m³	0,20	0,23	0,25	0,18	0,15	0,11	0,10	0,13	0,14	0,14	0,17	0,14	0,16
	max. 24h-Mittelwert	mg/m³	0,44	0,44	0,39	0,22	0,19	0,17	0,15	0,17	0,2	0,19	0,42	0,17	0,44
	24h-Mittel > 8 mg/m³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m³	5,1	10,2	16,7	11,4	9,5	7,2	6,8	11,0	9,5	6,5	4,2	1,6	8,3
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	16,3	31,0	43,4	20,5	17,2	16,6	14,8	36,7	17,6	15,3	20,0	6,2	43,4
	24h-Mittel > 50 µg/m³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SN	Mittelwerte	mg/(m² d)	5	8	25	57	57	85	32	-	25	19	10	25	32

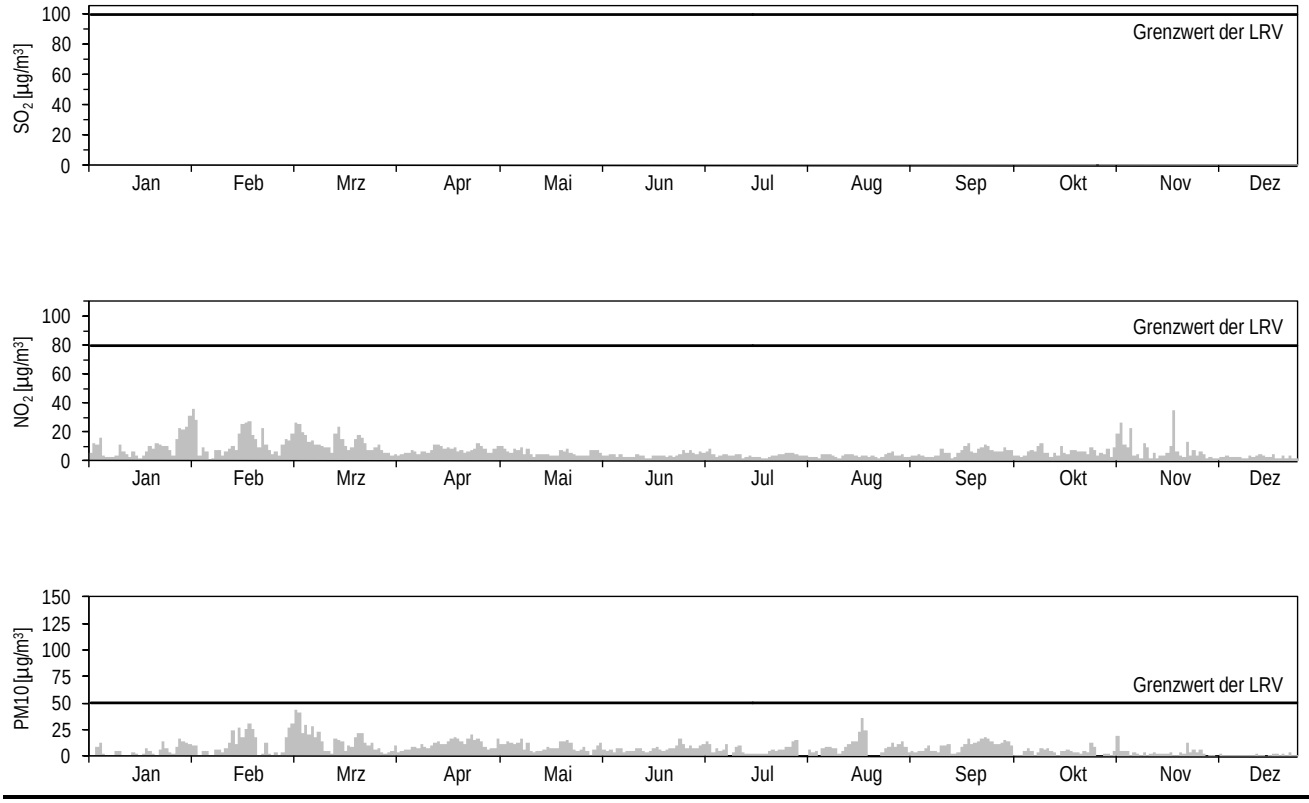
-) keine Messwerte vorhanden

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	-0,9	1,7	4,0	9,9	12,6	13,7	13,5	17,1	14,3	8,3	6,8	2,1	8,6
	Heizgradtagzahl[1)]	(°C*d)	648	514	497	213	137	112	96	28	54	319	375	557	3548
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m²	40	76	125	218	242	191	203	223	158	98	64	22	139
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	82	72	74	63	67	78	76	71	79	78	64	78	73
Niederschlag	Summen	mm	51	41	41	35	174	175	180	120	169	98	0	111	1194
Druck	Mittelwerte	hPa	899	898	901	900	902	901	898	901	902	903	902	899	900

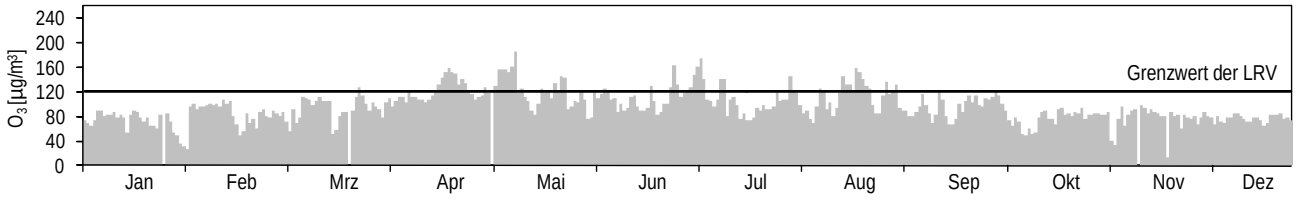
1) Heizgradtagzahl: Monatliche Summe der täglichen Differenzen zwischen Raumtemperatur (20 °C) und der Tagesmittel-Temperatur aller Heiztage (Heiztag: Tag mit Tagesmitteltemperatur <= 12 °C)

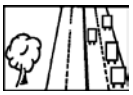
Jahresübersicht 2011	Rigi-Seebodenalp Ländlich, oberhalb 1000 m		Koordinaten: 677 835 / 213 440 Höhe: 1031 m

Tagesmittelwerte für NO_2 und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O_3



Jahresübersicht 2011	Sion-Aéroport-A9 Ländlich, Autobahn		Koordinaten: 592 540 / 118 755 Höhe: 483 m

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
NO_2	Mittelwerte	µg/m³	58	58	40	29	25	19	19	23	28	38	64	59	38
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	78	78	58	43	36	29	30	35	49	60	84	86	86
	24h-Mittel > 80 µg/m³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	3	8
NO	Mittelwerte	µg/m³	49,8	41,1	19,0	11,9	8,6	5,7	6,7	7,8	15,4	30,2	67,7	52,1	26,2
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	90,7	73,0	40,8	32,4	14,7	11,6	15,7	17,7	33,3	56,7	130,4	111,6	130,4
NO_x	Mittelwerte	ppb	70	63	36	25	20	15	15	18	27	44	88	73	41
	max. 24h-Mittelwert	ppb	107	97	62	46	29	23	26	28	52	77	148	135	148
O_3	Mittelwerte	µg/m³	11	19	45	69	69	64	64	60	41	25	13	13	41
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m³	50	73	105	134	135	116	130	126	100	90	62	60	135
	max. 1h-Mittelwert	µg/m³	70	93	122	144	146	137	152	145	111	105	70	64	152
	1h-Mittel > 120 µg/m³	Anz. Std.	0	0	2	49	54	10	29	25	0	0	0	0	169
	1h-Mittel > 180 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel > 240 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m³	32	33	24	19	15	12	13	16	17	18	30	21	21
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	61	60	53	34	26	24	26	38	28	28	53	50	61
	24h-Mittel > 50 µg/m³	Anz. Tage	1	3	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	6

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	0,2	2,9	7,9	14,2	17,0	18,8	18,6	21,0	17,8	10,4	5,2	1,9	11,4
	Heizgradtagzahl[1)]	(°C*d)	612	480	374	57	9	9	0	0	10	244	425	562	2782
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m²	66	105	170	246	270	267	265	248	186	130	80	35	173
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	77	70	63	54	60	63	64	62	71	73	70	86	68
Niederschlag	Summen	mm	25	7	12	5	43	47	69	23	42	35	0	179	484
Druck	Mittelwerte	hPa	963	962	963	960	962	960	957	960	962	965	965	964	962

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

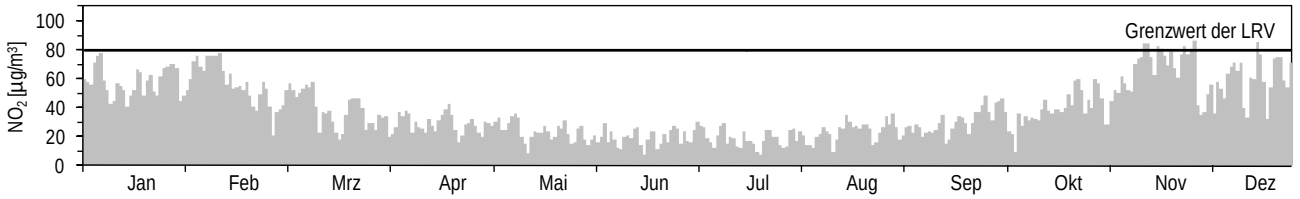
Die meteorologischen Daten wurden durch die MeteoSchweiz erhoben.

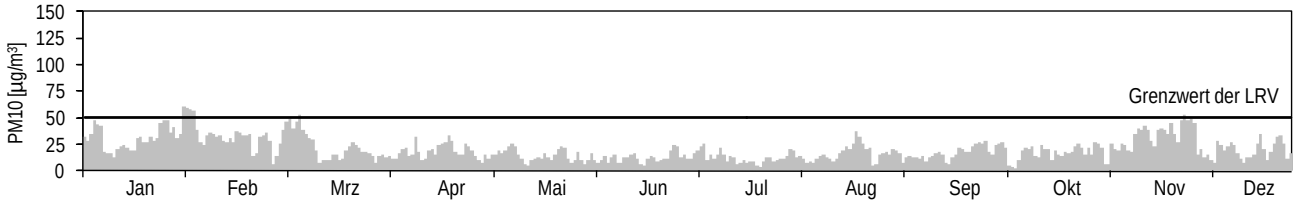
Verkehr		Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Verkehrszähler	Fz/Tag	35494**	36961	37427	37092	35478	35940	37142	37933	39436	38144	35889	34182	36467

**) unvollständige Messreihe (siehe Anhang A4), weniger als 50 % der Messwerte vorhanden

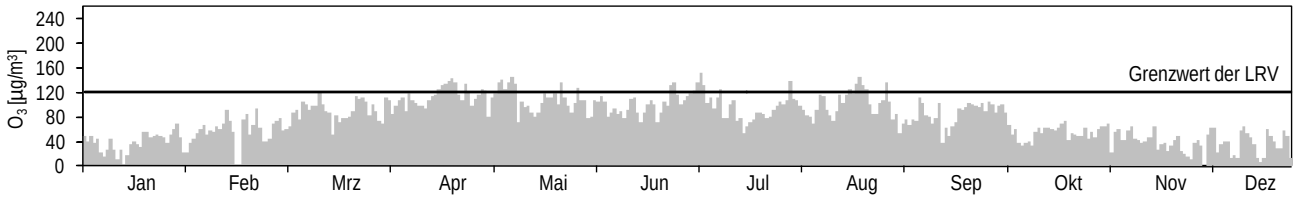
Jahresübersicht 2011	Sion-Aéroport-A9		Koordinaten: 592 540 / 118 755
	Ländlich, Autobahn		Höhe: 483 m

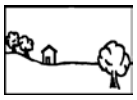
Tagesmittelwerte für NO_2 und PM10





Maximales Stundenmittel pro Tag für O_3



Jahresübersicht 2011	Tänikon Ländlich, unterhalb 1000 m		Koordinaten: 710 500 / 259 810 Höhe: 538 m

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
NO_2	Mittelwerte	µg/m³	19,0	24,6	16,9	10,1	8,8	6,6	5,8	7,1	9,4	12,7	23,4	10,4	12,8
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	40,9	37,6	28,7	14,9	15,4	11,6	9,6	13,1	15,2	24,5	35,2	26,5	40,9
	24h-Mittel > 80 µg/m³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m³	3,8	5,7	3,0	1,6	1,2	0,9	0,7	1,1	2,3	3,5	16,0	2,2	3,5
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	20,2	21,2	7,6	3,5	2,8	2,5	2,1	3,7	7,1	13,1	39,2	19,5	39,2
NO_x	Mittelwerte	ppb	13,0	17,4	11,2	6,5	5,5	4,2	3,6	4,6	6,7	9,5	25,1	7,2	9,5
	max. 24h-Mittelwert	ppb	36,3	35,4	19,7	10,1	10,1	8,1	6,6	9,8	12,2	23,3	47,0	27,7	47,0
O_3	Mittelwerte	µg/m³	38	30	51	72	80	70	70	67	48	30	8	51	51
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m³	72	77	108	145	153	124	150	132	107	84	55	76	153
	max. 1h-Mittelwert	µg/m³	80	92	114	159	168	144	184	166	130	107	69	83	184
	1h-Mittel > 120 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	52	82	20	38	47	2	0	0	0	241
	1h-Mittel > 180 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	1h-Mittel > 240 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m³	19,0	32,0	27,0	15,0	11,0	10,0	9,0	12,0	12,0	14,0	20,0	6,0	15,0
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	54,0	51,0	66,0	25,0	19,0	20,0	15,0	30,0	31,0	29,0	32,0	25,0	66,0
	24h-Mittel > 50 µg/m³	Anz. Tage	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4

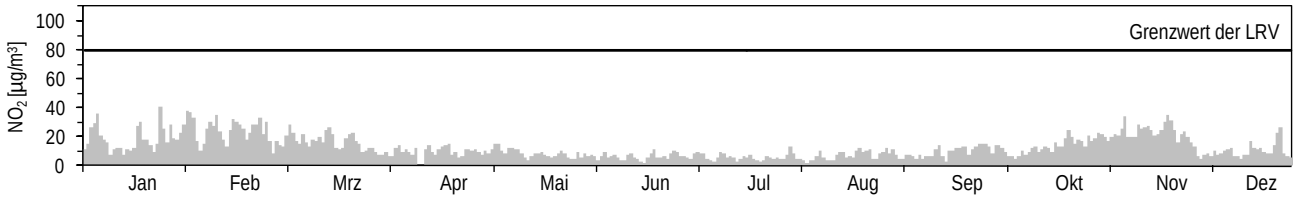
Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	0,7	1,7	5,4	10,8	14,1	16,4	16,0	18,7	15,6	8,8	3,8	3,7	9,7
	Heizgradtagzahl[1)]	(°C*d)	599	512	454	181	82	19	8	0	36	294	487	505	3177
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m²	38	73	134	226	265	217	226	230	164	91	45	31	145
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	85	83	73	69	70	75	75	75	81	87	94	83	79
Niederschlag	Summen	mm	54	34	36	30	106	93	186	107	79	64	0	181	970
Druck	Mittelwerte	hPa	956	955	957	955	956	955	952	954	956	958	958	954	955

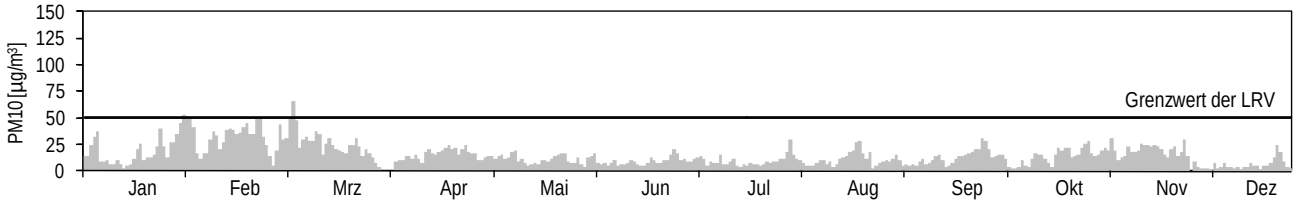
1) Heizgradtagzahl: Monatliche Summe der täglichen Differenzen zwischen Raumtemperatur (20 °C) und der Tagesmittel-Temperatur aller Heiztage (Heiztag: Tag mit Tagesmitteltemperatur <= 12 °C)

Die meteorologischen Daten wurden durch die MeteoSchweiz erhoben.

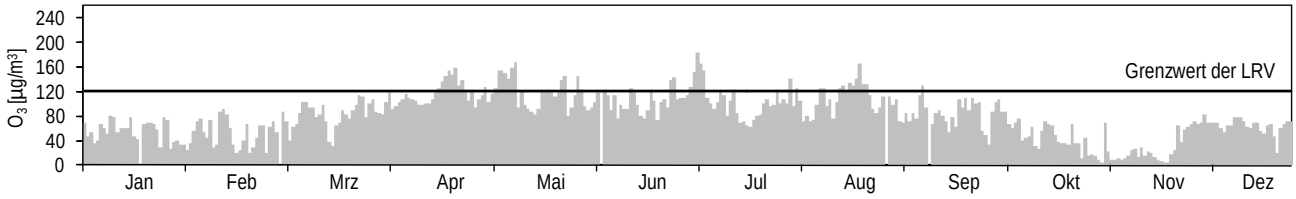
Jahresübersicht 2011	Tänikon Ländlich, unterhalb 1000 m		Koordinaten: 710 500 / 259 810 Höhe: 538 m

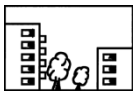
Tagesmittelwerte für NO_2 und PM10





Maximales Stundenmittel pro Tag für O_3

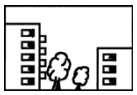


Jahresübersicht 2011	Zürich-Kaserne Städtisch		Koordinaten: 682 450 / 247 990 Höhe: 409 m

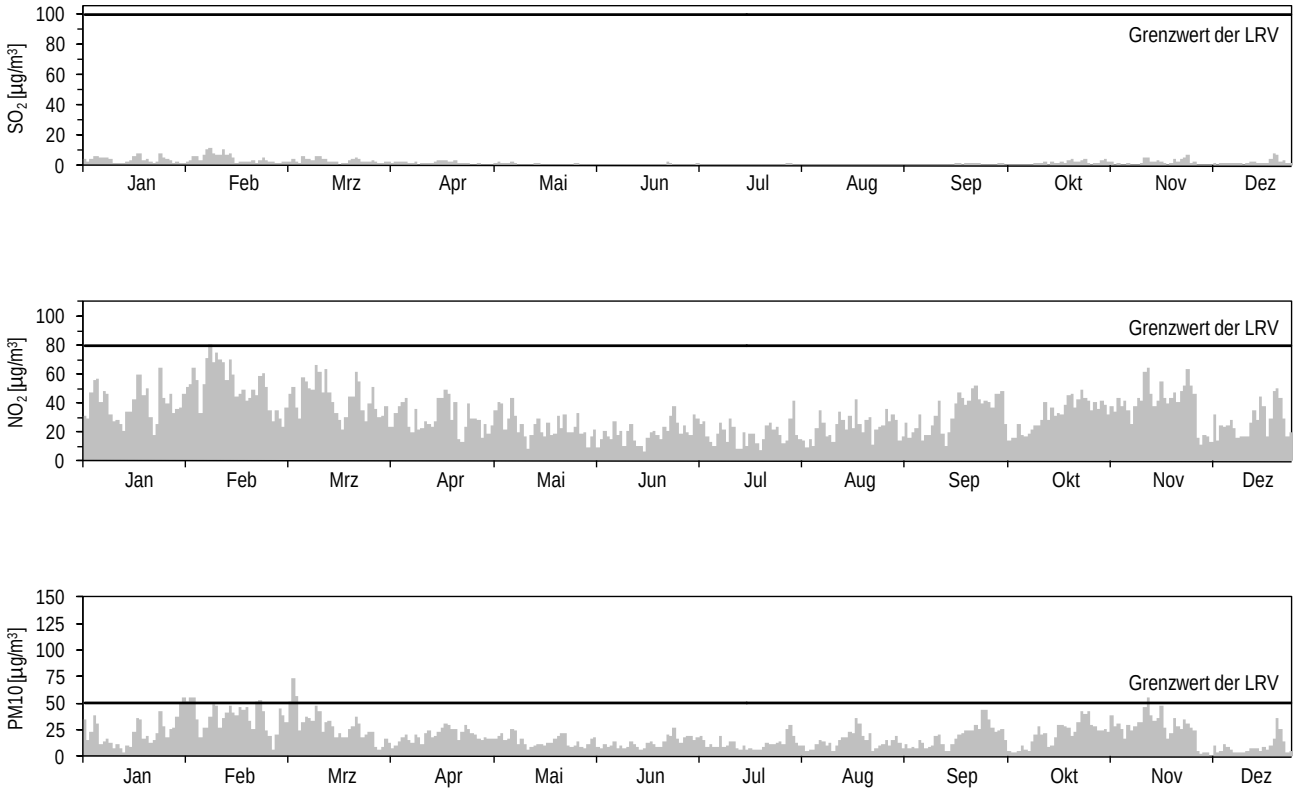
Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO_2	Mittelwerte	µg/m³	4,1	5,1	3,4	2,2	1,3	0,8	0,7	0,8	0,9	1,9	2,8	2,3	2,2
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	8,5	12,0	6,7	3,4	2,6	3,0	1,5	1,9	2,0	4,9	6,8	8,4	12,0
	24h-Mittel > 100 µg/m³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO_2	Mittelwerte	µg/m³	40	54	43	31	25	19	19	24	30	33	43	27	32
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	64	81	66	49	43	38	32	42	52	49	65	52	81
	24h-Mittel > 80 µg/m³	Anz. Tage	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
NO	Mittelwerte	µg/m³	16,1	26,7	9,2	6,1	3,3	2,7	3,2	3,8	8,6	18,1	47,8	8,2	12,6
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	104,3	87,4	21,6	18,0	8,8	7,5	7,7	9,4	28,1	61,8	141,9	57,8	141,9
NO_x	Mittelwerte	ppb	34	50	30	21	16	12	13	15	23	32	61	21	27
	max. 24h-Mittelwert	ppb	115	112	52	37	30	24	22	29	50	75	143	73	143
O_3	Mittelwerte	µg/m³	25	17	41	69	79	68	68	62	42	22	4	37	45
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m³	66	63	98	145	154	126	147	137	106	71	25	68	154
	max. 1h-Mittelwert	µg/m³	77	88	117	157	169	169	173	157	116	111	41	79	173
	1h-Mittel > 120 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	68	83	17	33	49	0	0	0	0	250
	1h-Mittel > 180 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel > 240 µg/m³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO	Mittelwerte	mg/m³	0,40	0,52	0,41	0,32	0,27	0,22	0,22	0,26	0,31	0,37	0,58	0,29	0,35
	max. 24h-Mittelwert	mg/m³	0,83	0,78	0,61	0,44	0,37	0,35	0,35	0,39	0,49	0,74	1,01	0,61	1,01
	24h-Mittel > 8 mg/m³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NMVOC	Mittelwerte	µgCH_4/m³	35	49	29	21	17	12	57	60	70	80	120	46	49
	max. 24h-Mittelwert	µgCH_4/m³	103	108	58	41	42	32	185	112	119	174	272	108	272
CH_4	Mittelwerte	mg/m³	1,35	1,39	1,34	1,32	1,30	1,28	1,26	1,27	1,30	1,35	1,46	1,29	1,32
PM10	Mittelwerte	µg/m³	23	38	31	20	15	12	12	15	17	21	31	9	20
	max. 24h-Mittelwert	µg/m³	55	56	74	31	26	27	20	36	44	44	55	36	74
	24h-Mittel > 50 µg/m³	Anz. Tage	1	5	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	10
SN	Mittelwerte	mg/(m² d)	21	34	48	88	75	76	76	49	57	42	36	25	52

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	2,6	3,9	8,1	14,4	17,3	18,6	18,4	21,2	18,2	11,1	6,6	5,3	12,2
	Heizgradtagzahl[1)]	(°C*d)	539	450	355	77	28	9	0	0	8	225	395	457	2543
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m²	38	72	129	223	252	208	222	228	157	90	47	26	141
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	77	74	62	53	56	65	64	65	71	77	82	77	69
Niederschlag	Summen	mm	40	18	17	22	87	73	183	97	67	64	0	138	807
Druck	Mittelwerte	hPa	972	971	972	970	971	970	967	969	971	974	973	970	971

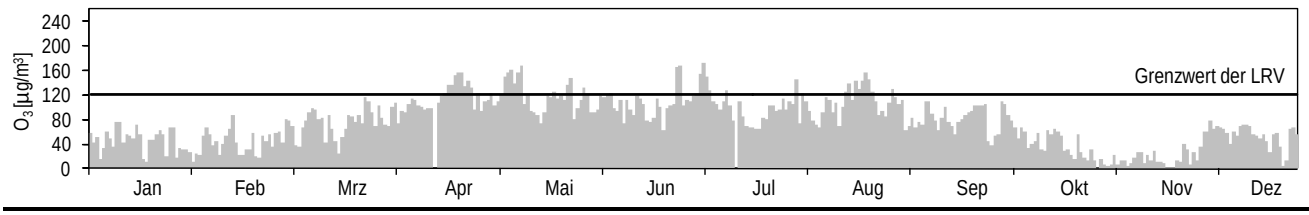
1) Heizgradtagzahl: Monatliche Summe der täglichen Differenzen zwischen Raumtemperatur (20 °C) und der Tagesmittel-Temperatur aller Heiztage (Heiztag: Tag mit Tagesmitteltemperatur <= 12 °C)

Jahresübersicht 2011	Zürich-Kaserne Städtisch		Koordinaten: 682 450 / 247 990 Höhe: 409 m

Tagesmittelwerte für SO_2, NO_2 und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O_3



Jahresübersicht VOC 2011	Rigi-Seebodenalp Ländlich, oberhalb 1000 m		Koordinaten: 677 835 / 213 440 Höhe: 1031 m

Aromatische Verbindungen			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Benzol	Mittelwerte	µg/m³	0,62	0,70	0,75	0,30	0,19	0,13	0,12	0,15	0,19*	0,27*	0,47	0,31*	0,36*
Toluol	Mittelwerte	µg/m³	0,58	0,84	0,71	0,39	0,36	0,35	0,36	0,42	0,61*	0,57*	0,82	0,29*	0,53*
Ethylbenzol	Mittelwerte	µg/m³	0,10	0,15*	0,11	0,07	0,05*	0,07	0,06	0,07	0,10*	0,10*	0,15	0,05*	0,09*
m/p-Xylol	Mittelwerte	µg/m³	0,26*	0,43*	0,26	0,13*	0,11*	0,14	0,13	0,14	0,20*	0,25*	0,46*	0,14*	0,22*
o-Xylol	Mittelwerte	µg/m³	0,11	0,16	0,11	0,05*	0,04*	0,05	0,05	0,05	0,08*	0,11*	0,19*	0,06**	0,09*

*) unvollständige Messreihe (siehe Anhang A4), aber mindestens 50 % der Messwerte vorhanden

**) unvollständige Messreihe (siehe Anhang A4), weniger als 50 % der Messwerte vorhanden

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	2,38	2,77	3,29	2,21	1,78	1,19	1,03	1,03	1,24*	1,46*	1,84	2,26*	1,88
Propan	Mittelwerte	µg/m³	1,51	1,65	1,83	0,92	0,62	0,37	0,40	0,46	0,61*	0,79*	1,14	1,31*	0,97
n-Butan	Mittelwerte	µg/m³	0,76	0,84	0,87	0,43	0,31	0,23	0,26	0,32	0,41*	0,43*	0,67	0,56*	0,51*
n-Pentan	Mittelwerte	µg/m³	0,37	0,52	0,52	0,35	0,31	0,21	0,26	0,29	0,43*	0,40*	0,58	0,25*	0,37*
n-Hexan	Mittelwerte	µg/m³	0,10	0,10	0,10	0,05	0,05	0,04	0,05	0,07	0,09*	0,07*	0,11	0,08*	0,08*
Isobutan	Mittelwerte	µg/m³	0,46	0,49	0,53	0,24	0,17	0,12	0,13	0,15	0,19*	0,23*	0,37	0,26*	0,28*
Isopentan	Mittelwerte	µg/m³	0,56	0,72	0,70	0,49	0,47	0,40	0,43	0,59	0,75*	0,56*	0,77	0,43*	0,57
Σ Isohexane	Mittelwerte	µg/m³	0,52	0,60	0,59	0,38	0,36	0,32	0,33	0,40	0,51*	0,46*	0,65	0,38*	0,46*
Σ Isoheptane	Mittelwerte	µg/m³	0,25	0,32	0,28	0,14	0,12*	0,11	0,10	0,12	0,20*	0,23*	0,22	0,11*	0,18*
Ungesättigte Kohlenwasserstoffe															
Ethen	Mittelwerte	µg/m³	0,86	0,90	0,79	0,23	0,19	0,18	0,17	0,21	0,25*	0,39*	0,77	0,38*	0,45
Propen	Mittelwerte	µg/m³	0,15	0,16	0,13	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,07*	0,09*	0,17	0,08*	0,09*
Σ Butene	Mittelwerte	µg/m³	0,13	0,15	0,16	0,14	0,14	0,17	0,15	0,19	0,19*	0,13*	0,17	0,09**	0,15*
Σ Pentene	Mittelwerte	µg/m³	0,06	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,09	0,09*	0,08*	0,10**	0,03**	0,07*
Ethin	Mittelwerte	µg/m³	0,56	0,67	0,68	0,27	0,17	0,10	0,09	0,12	0,16*	0,20*	0,44	0,27*	0,32*
Isopren	Mittelwerte	µg/m³	0,03**	0,03*	0,03*	0,07*	0,12*	0,18	0,15	0,34	0,17*	0,06*	0,06**	0,07**	0,13*
1,3-Butadien	Mittelwerte	µg/m³	0,03	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03*	0,02*	0,03*	0,01**	0,03*

*) unvollständige Messreihe (siehe Anhang A4), aber mindestens 50 % der Messwerte vorhanden

**) unvollständige Messreihe (siehe Anhang A4), weniger als 50 % der 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 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

Jahresübersicht VOC 2011	Zürich Städtisch		Koordinaten: 682 450 / 247 990 Höhe: 409 m

Aromatische Verbindungen			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Benzol	Mittelwerte	µg/m³	1,22	1,68*	1,27	0,81*	0,58	0,43*	0,40*	0,49*	0,76	0,98*	2,23**	0,94	0,92*
Toluol	Mittelwerte	µg/m³	2,78	3,71*	2,77	3,07*	2,54	2,18*	2,07*	2,55*	3,49	3,96*	7,08**	1,92	2,90*
Ethylbenzol	Mittelwerte	µg/m³	0,46	0,69*	0,51	0,52*	0,47*	0,36*	0,39*	0,40*	0,64	0,75*	1,21**	0,34	0,52*
m/p-Xylol	Mittelwerte	µg/m³	1,65	2,47*	1,81	1,83*	1,61	1,25*	1,32*	1,37*	2,25	2,75*	4,36**	1,19	1,82*
o-Xylol	Mittelwerte	µg/m³	0,59	0,88*	0,65	0,67*	0,58*	0,50**	0,48*	0,51**	0,78	0,95*	1,55**	0,42	0,66*

*) unvollständige Messreihe (siehe Anhang A4), aber mindestens 50 % der Messwerte vorhanden

**) unvollständige Messreihe (siehe Anhang A4), weniger als 50 % der Messwerte vorhanden

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	3,53	4,64*	4,27	3,02*	2,30	1,82*	1,51*	1,51*	1,99	2,70*	4,37**	2,98	2,86*
Propan	Mittelwerte	µg/m³	2,76	3,70*	3,14	2,21*	1,76	1,33*	1,36*	1,67*	2,58	2,59*	4,92**	2,34	2,42*
n-Butan	Mittelwerte	µg/m³	2,51	3,26*	2,76	2,21*	1,65	1,26*	1,22*	1,65*	2,36	2,61*	5,38**	2,04	2,24*
n-Pentan	Mittelwerte	µg/m³	1,07	1,61*	1,35	1,34*	1,19	0,91*	0,92*	1,09*	1,69	1,81*	3,64**	0,97	1,32*
n-Hexan	Mittelwerte	µg/m³	0,32	0,47*	0,35	0,35*	0,31*	0,24*	0,25*	0,29*	0,44	0,44*	0,63**	0,24	0,34*
Heptan	Mittelwerte	µg/m³	0,37	0,48*	0,37	0,39*	0,33	0,21*	0,26*	0,30*	0,46	0,53*	0,75**	0,22	0,37*
Isobutan	Mittelwerte	µg/m³	1,45	1,97*	1,74	1,27*	0,93	0,70*	0,72*	0,90*	1,27	1,49*	2,95**	1,13	1,29*
Isopentan	Mittelwerte	µg/m³	2,16	3,02*	2,56	2,99*	2,67	2,03*	2,11*	2,78*	3,97	3,73*	5,75**	1,67	2,75*
Σ Isohexane	Mittelwerte	µg/m³	1,99	2,74*	2,24	2,35*	2,01	1,58*	1,65*	1,90*	3,05	2,97*	4,70**	1,53	2,24*
Σ Isoheptane	Mittelwerte	µg/m³	1,26	1,73*	1,32	1,34*	1,20*	0,84*	0,99*	1,13*	1,79	1,91*	3,09**	0,86	1,35*
Ungesättigte Kohlenwasserstoffe															
Ethen	Mittelwerte	µg/m³	2,28	2,96*	1,93	1,15*	0,81	0,66*	0,63*	0,84*	1,25	1,75*	4,34**	1,36	1,51*
Propen	Mittelwerte	µg/m³	0,70	0,73*	0,53	0,39*	0,43*	0,32**	0,33*	0,47*	0,58	0,73*	1,38**	0,48	0,54*
Σ Butene	Mittelwerte	µg/m³	0,64	0,76*	0,82	0,85*	0,61**	0,35*	0,28*	0,47*	0,69	0,79*	2,12**	0,61	0,68*
Σ Pentene	Mittelwerte	µg/m³	0,40	0,59*	0,48	0,45*	0,34*	0,34*	0,36*	0,45*	0,71	0,74*	1,16**	0,35	0,49*
Ethin	Mittelwerte	µg/m³	1,25	1,78*	1,30	0,78*	0,49	0,37*	0,36*	0,39*	0,65	0,92*	2,24**	0,79	0,87*
Isopren	Mittelwerte	µg/m³	0,15	0,19*	0,15	0,17*	0,24	0,25*	0,23*	0,28*	0,34	0,27*	0,37**	0,13	0,22*
1,3-Butadien	Mittelwerte	µg/m³	0,13	0,09*	0,10	0,10*	0,06*	0,06*	0,08*	0,10*	0,12	0,11*	0,29**	0,12	0,11*

*) unvollständige Messreihe (siehe Anhang A4), aber mindestens 50 % der Messwerte vorhanden

**) unvollständige Messreihe (siehe Anhang A4), weniger als 50 % der 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

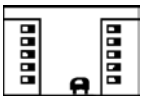
F_Ethen = 1,17 F_Propen = 1,75 F_Summe Butene = 2,33 F_Summe Pentene = 2,92 F_Ethin = 1,08

F_Isopren = 2,83 F_1,3-Butadien = 2,25

Jahresübersicht VOC 2011	Dübendorf Vorstädtisch		Koordinaten: 688 675 / 250 900 Höhe: 432 m

Aromatische Verbindungen			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Benzol	Mittelwerte	µg/m³	1,46	1,71	1,30	0,75	0,37	0,31	0,32	0,53	0,76	1,01	1,85	0,54	0,90
Toluol	Mittelwerte	µg/m³	3,88	5,58	3,66	3,11	1,87	1,81	1,98	2,90	4,03	4,41	6,82	1,64	3,45

Umrechnungsfaktoren (F): [ppb] * F = [µg/m³]
F_Benzol = 3,25 F_Toluol = 3,83

Jahresübersicht VOC 2011	Bern-Bollwerk Städtisch, verkehrsbelastet		Koordinaten: 600 170 / 199 990 Höhe: 536 m

Aromatische Verbindungen			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Benzol	Mittelwerte	µg/m³	1,96**	2,31	1,58	1,19*	1,13	1,26	0,98	1,08	1,05	1,29	1,92	1,21*	1,37*
Toluol	Mittelwerte	µg/m³	7,20**	7,02	4,88	5,06	4,51	4,83	4,02	4,56	3,62	4,18	5,95	3,09*	4,80
Ethylbenzol	Mittelwerte	µg/m³	0,98**	1,12	0,72	0,70	0,64	0,72	0,58	0,68	0,58	0,62	0,88	0,44*	0,71*
m/p-Xylol	Mittelwerte	µg/m³	3,82**	4,55	2,96	2,87	2,65	3,01	2,38	2,72	2,38	2,69	3,74	1,98*	2,94
o-Xylol	Mittelwerte	µg/m³	1,04**	1,36	0,84	0,84	0,78	0,85	0,67	0,78	0,67	0,76	1,07	0,56*	0,85*

*) unvollständige Messreihe (siehe Anhang A4), aber mindestens 50 % der Messwerte vorhanden

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