

> NABEL Luftbelastung 2014

*Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes
für Luftfremdstoffe (NABEL)*



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU



Eidg. Materialprüfungs-
und Forschungsanstalt

> NABEL Luftbelastung 2014

*Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes
für Luftfremdstoffe (NABEL)*

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

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

Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa)

Kontaktstelle

BAFU

Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien

3003 Bern

Tel. 058 462 93 12

Fax 058 464 01 37

E-Mail: luftreinhaltung@bafu.admin.ch

Zitiervorschlag

BAFU 2015: NABEL – Luftbelastung 2014. Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1515: 132 S.

Titelbild

Messstation Dübendorf

Download PDF

www.bafu.admin.ch/uz-1515-d

Eine gedruckte Fassung kann nicht bestellt werden.

Diese Publikation ist auch in französischer Sprache verfügbar.

© BAFU 2015

> Inhalt

Abstracts	5	5 Ozon	45
Vorwort	7	5.1 Entstehung und Charakterisierung	45
Zusammenfassung	9	5.2 Zeitliche Entwicklung	46
<hr/>		5.3 Situation 2014	50
1 Luftverschmutzung in der Schweiz (Übersicht)	15	5.4 Ozon Jahresgang	51
1.1 Schadstoffemissionen	15	5.5 Bewertung	51
1.2 Transport und chemische Umwandlung der Schadstoffe (Transmission)	15	<hr/>	
1.3 Luftbelastung in der Schweiz	17	6 Flüchtige organische Verbindungen	52
1.4 Auswirkungen der Luftverschmutzung	19	6.1 Entstehung und Charakterisierung	52
<hr/>		6.2 VOC-Summenmessung	53
2 Das Nationale Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL)	21	6.3 Aromatische Verbindungen	54
2.1 Entstehung des Messnetzes	21	6.4 Gesättigte und ungesättigte Kohlenwasserstoffe	55
2.2 Ziel und Zweck des Messnetzes	21	6.5 Halogenierte Verbindungen	56
2.3 Aufgaben des Messnetzes	22	6.6 Bewertung	58
2.4 Standorte der Messstationen	23	<hr/>	
2.5 Messprogramm und Messverfahren	24	7 Schwefeldioxid	59
2.6 Qualitätssicherung	24	7.1 Entstehung und Charakterisierung	59
2.7 Weitere NABEL-Publikationen	26	7.2 Zeitliche Entwicklung	59
<hr/>		7.3 Situation 2014	60
3 Stickoxide	27	7.4 Bewertung	61
3.1 Entstehung und Charakterisierung	27	<hr/>	
3.2 Zeitliche Entwicklung	27	8 Kohlenmonoxid	62
3.3 Situation 2014	29	8.1 Entstehung und Charakterisierung	62
3.4 Bewertung	33	8.2 Zeitliche Entwicklung	62
<hr/>		8.3 Situation 2014	63
4 Feinstaub	34	8.4 Bewertung	64
4.1 Entstehung und Charakterisierung	34	<hr/>	
4.2 Zeitliche Entwicklung	34	9 Treibhausgase	65
4.3 Situation 2014	35	<hr/>	
4.4 PM2.5-Messungen	37	10 Staubniederschlag	67
4.5 Partikelanzahl – Messungen	39	<hr/>	
4.6 Schwefel im Feinstaub	40	11 Schwermetalle im Feinstaub und im Staubniederschlag	68
4.7 Bewertung	41	11.1 Blei	68
4.8 Benzo(a)pyren im Feinstaub	42	11.2 Cadmium	70
4.9 Russgehalt im Feinstaub	43	11.3 Zink	72

11.4 Thallium	73
11.5 Bewertung	73
11.6 Weitere Metalle	73
12 Regen-Inhaltsstoffe	74
12.1 Entstehung und Charakterisierung	74
12.2 Zeitliche Entwicklung	75
12.3 Situation 2014	77
12.4 Bewertung	79
13 Gasförmige und partikuläre Stickstoffverbindungen	80
13.1 Summenmessung von Stickstoffkomponenten	80
13.2 Gas- und Aerosolphase von Stickstoffverbindungen	82
13.3 Ammoniak	82
14 Witterung	84
14.1 Situation 2014	84
15 Verkehrszahlen	86
16 Ausblick	87
Anhang A	89
Anhang A1: Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte- Verordnung	90
Anhang A2: Standortcharakterisierung	91
Anhang A3: NABEL-Messprogramm	92
Anhang A4: Messverfahren	93
Anhang A5: Masseinheiten und statistische Masszahlen	94
Anhang A6: Homogenisierung von Messreihen der Station Bern	95
Anhang B	97
Anhang B1: Messwerte 2014 der 16 Stationen des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe, NABEL	97
Anhang B2: VOC-Messwerte	130

> 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 2014. The ambient air quality during 2014 can be characterised as follows: Exceedances of the ambient air quality standard were partially observed for ozone, respirable fine particulates (PM10) and nitrogen dioxide. The standards for sulphur dioxide, carbon monoxide, dust fall, and heavy metals were respected at all NABEL stations. The air quality has significantly improved over the last 25 years.

Der Bericht dokumentiert anhand von Messresultaten des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL) den Zustand der Luft in der Schweiz. Er zeigt die Entwicklung der Luftverschmutzung seit Beginn der 1980er-Jahre und präsentiert ausführlich die Messwerte des Jahres 2014. Die Luftbelastung des Jahres 2014 kann wie folgt charakterisiert werden: Bei den Schadstoffen Ozon, lungengängiger Feinstaub (PM10) und Stickstoffdioxid wurden die Immissionsgrenzwerte teilweise überschritten. An den NABEL-Stationen werden die Grenzwerte für Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid, Staubbiederschlag und die Schwermetalle eingehalten. Die Entwicklung der Luftbelastung in den letzten 25 Jahren zeigt eine deutliche Verbesserung.

Le présent rapport analyse, sur la base des mesures enregistrées par les stations du réseau national d'observation des polluants atmosphériques (NABEL), l'état de l'air en Suisse. Il met en lumière l'évolution de la situation depuis le début des années 1980 et présente en détail les résultats des mesures effectuées en 2014. Pour 2014, la situation d'immissions peut être caractérisée ainsi: Les valeurs limites d'immission pour l'ozone, les fines particules respirables (PM10) et le dioxyde d'azote ont été dépassées en partie. Celles pour le dioxyde de soufre, le monoxyde de carbone, les retombées de poussières et les métaux lourds ont pu être respectées dans toutes les stations NABEL. La charge polluante de l'air s'est nettement améliorée ces 25 dernières années.

Sulla base delle misurazioni effettuate dalla Rete nazionale d'osservazione degli inquinanti atmosferici (NABEL), il rapporto documenta la situazione in Svizzera dell'inquinamento atmosferico, mostra l'evolvere della situazione a partire dagli anni '80 e presenta in dettaglio i valori misurati nel 2014. La situazione relativa alle immissioni in Svizzera nel 2014 può essere descritta nel modo seguente: I valori limite per ozono, polveri fini respirabili (PM10) e le sostanze biossido di azoto sono superato in parte. I valori dell'anidride solforosa, del monossido di carbonio, della precipitazione di polveri e dei metalli pesanti sono stati rispettati nelle stazione NABEL. Il carico di inquinanti atmosferici negli ultimi 25 anni mostra un evidente miglioramento.

Keywords:

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

Stichwörter:

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

Mots-clés:

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

Parole chiave:

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

> Vorwort

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

Zu diesen und weiteren Fragen geben die Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL) Auskunft. Sie belegen den Erfolg der bisherigen Luftreinhalte-Politik von Bund, Kantonen und Gemeinden. Die Qualität der Luft ist seit etwa 1985 deutlich besser geworden. Die Mehrzahl der Grenzwerte zum Schutz der Gesundheit und der Umwelt werden heute eingehalten. Trotzdem ist das gesetzlich verankerte Ziel einer sauberen Luft noch nicht erreicht. Es ist dabei insbesondere an die gesundheitlichen Risiken durch zu hohe Belastung mit Ozon, Feinstaub, Stickstoffdioxid und kanzerogenen Luftschadstoffen, aber auch an die zu hohen Stickstoffeinträge in empfindliche Ökosysteme zu denken. Zum ersten Mal seit Messbeginn wurde an allen Stationen des NABEL der Jahresmittelgrenzwert für PM10 eingehalten, hingegen wurde der Tagesmittelgrenzwert noch überschritten. 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. Dieseleruss, Benzo(a)pyren aus Holzverbrennung oder Benzol) muss noch weiter gesenkt werden. Die technischen Möglichkeiten zur Emissionsminderung sollen bei allen Quellen ausgeschöpft werden. Der Schadstoffausstoss hängt aber auch von der Entwicklung der Mobilität, des Energieverbrauchs, der industriellen und landwirtschaftlichen Produktion und des Konsums ab.

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

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

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

> Zusammenfassung

Luftbelastung des Jahres 2014

Die Luftbelastung des Jahres 2014 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 2013 lag. Trotz der Verbesserungen der letzten zwanzig Jahre sind einige Immissionsgrenzwerte für Ozon, PM10 und Stickstoffdioxid weiterhin überschritten, infolge der immer noch zu hohen Emissionen von Luftschadstoffen in der Schweiz und den Nachbarländern.

Überblick

Das Jahr 2014 wies spezielle meteorologische Verhältnisse auf, nämlich meist instabile Situationen mit häufigen Störungen, windigen Verhältnissen und Niederschlag, was die Dispersion der Luftschadstoffe begünstigte. Auch 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.

Witterung

Wie in den Vorjahren wurde der Immissionsgrenzwert von 120 Mikrogramm pro Kubikmeter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) für den Stundenmittelwert an allen Stationen überschritten. Die häufigsten Grenzwertüberschreitungen (254–362 Stunden) wurden im Tessin und in den mittleren Höhenlagen der Alpennordseite (um 1000 m über Meer) gemessen. Diese Stunden verteilten sich auf 44 bis 66 Tage. In den übrigen Gebieten der Alpennordseite wurden an 2 bis 39 Tagen während 7–203 Stunden zu hohe Ozonwerte gemessen. Eine der NABEL-Messstellen registrierte im Tessin einen maximalen Ozonwert von $264 \mu\text{g}/\text{m}^3$, auf der Alpennordseite lag der Spitzenwert bei $191 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Belastung durch hohe Ozonkonzentrationen wird durch den höchsten monatlichen 98%-Werte der Ozon-Halbstundenmittel beschrieben. In der ganzen Schweiz wird der dafür festgelegte Immissionsgrenzwert von $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ deutlich überschritten.

Ozon

In den Städten und Vorstädten wurden im 2014 Jahresmittelwerte zwischen 13 und $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen, verkehrsnah bis $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Immissionsgrenzwert: $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Auf dem Land, entlang den Autobahnen, wurden Werte von 16 – $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ beobachtet. Abseits von Strassen lagen auf der Alpennordseite die ländlichen Werte mit 11 – $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ deutlich unter dem Grenzwert. An den Stationen oberhalb 1000 m über Meer sind die Messwerte mit $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ noch niedriger. Der Tagesmittelgrenzwert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde in den Städten und Agglomerationen an 2 bis 3 Tagen überschritten. Dabei wurden maximale Tagesmittelwerte von 59 – $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erreicht. Auf dem Land der Alpennordseite wurde der Wert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ noch an 2 Tagen überschritten (Maximum: $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$). An den Stationen Chaumont und Rigi-Seebodenalp, über 1000 m gelegen, wurde kein Tagesmittelwert über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registriert.

Feinstaub

Die Immissionsgrenzwerte des Jahresmittels von Stickstoffdioxid wurden im Jahr 2014 nur entlang von stark befahrenen Hauptverkehrsstrassen überschritten. In den städtischen und vorstädtischen Gebieten lag die Belastung nahe beim oder unter dem Grenzwert, im ländlichen Raum abseits der Strassen deutlich darunter. Die einzigen Grenzwertüberschreitungen des Tagesmittelwerts von Stickstoffdioxid wurden 2014 in einer stark befahrenen Strassenschlucht an 2 Tagen registriert.

Stickstoffdioxid

Keine Grenzwertüberschreitungen wurden im Jahr 2014 bei Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid, Staubbiederschlag und den Schwermetallen beobachtet. Die Belastung durch diese Schadstoffe liegt mehrheitlich weit unter den Grenzwerten.

Übrige Schadstoffe

Entwicklung der Luftbelastung im Überblick

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

Obwohl die Ozon-Vorläuferschadstoffe (NO_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 grossräumige 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.

Ozon

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

Feinstaub

Die Belastung der Luft durch Stickstoffdioxid (NO_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.

Stickoxide

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

Übrige Schadstoffe

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

Ein Vergleich der NABEL-Messwerte des Jahres 2014 mit den Immissionsgrenzwerten der Luftreinhalte-Verordnung ist in Abb. 3 dargestellt. Abb. 4 gibt eine Übersicht der Veränderung der Luftbelastung an den NABEL-Stationen zwischen 1988 und 2014.

Beurteilung

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

Trotz bedeutender Fortschritte muss die Luft noch sauberer werden

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

Weitere Massnahmen sind erforderlich

Abb. 1 > Immissionsentwicklung 1986–2014 an verschiedenen Standorttypen für die Schadstoffe Stickstoffdioxid, Stickoxide, Ozon, flüchtige organische Verbindungen (NMVOC), Schwefeldioxid und Kohlenmonoxid

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

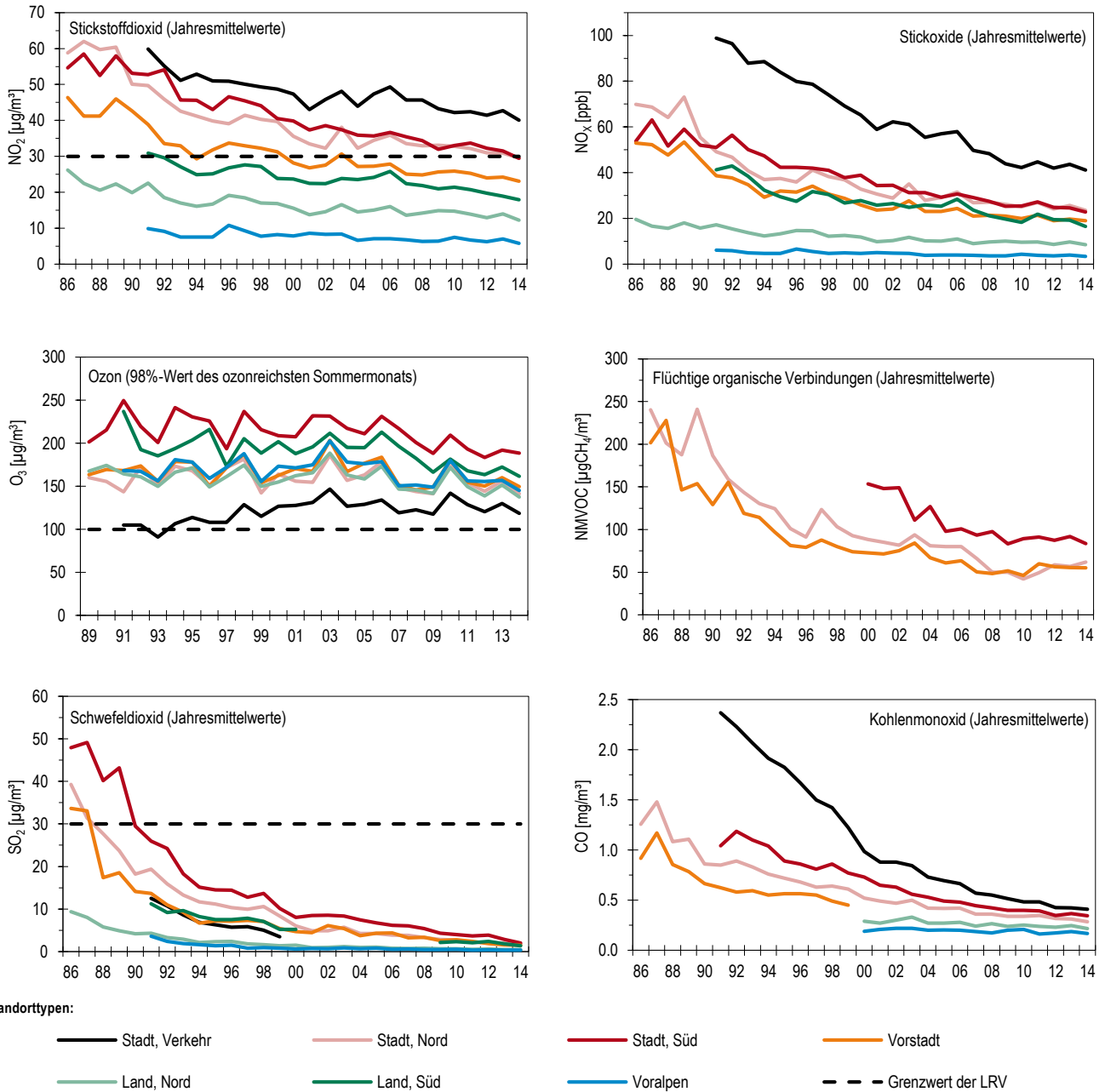


Abb. 2 > Schadstoffentwicklung 1986–2014 an verschiedenen Standorttypen für Feinstaub (PM10, Werte vor 1997 aus TSP-Messungen umgerechnet) und Staubbiederschlag, sowie für Blei und Cadmium im Feinstaub und Staubbiederschlag, Jahresmittelwerte

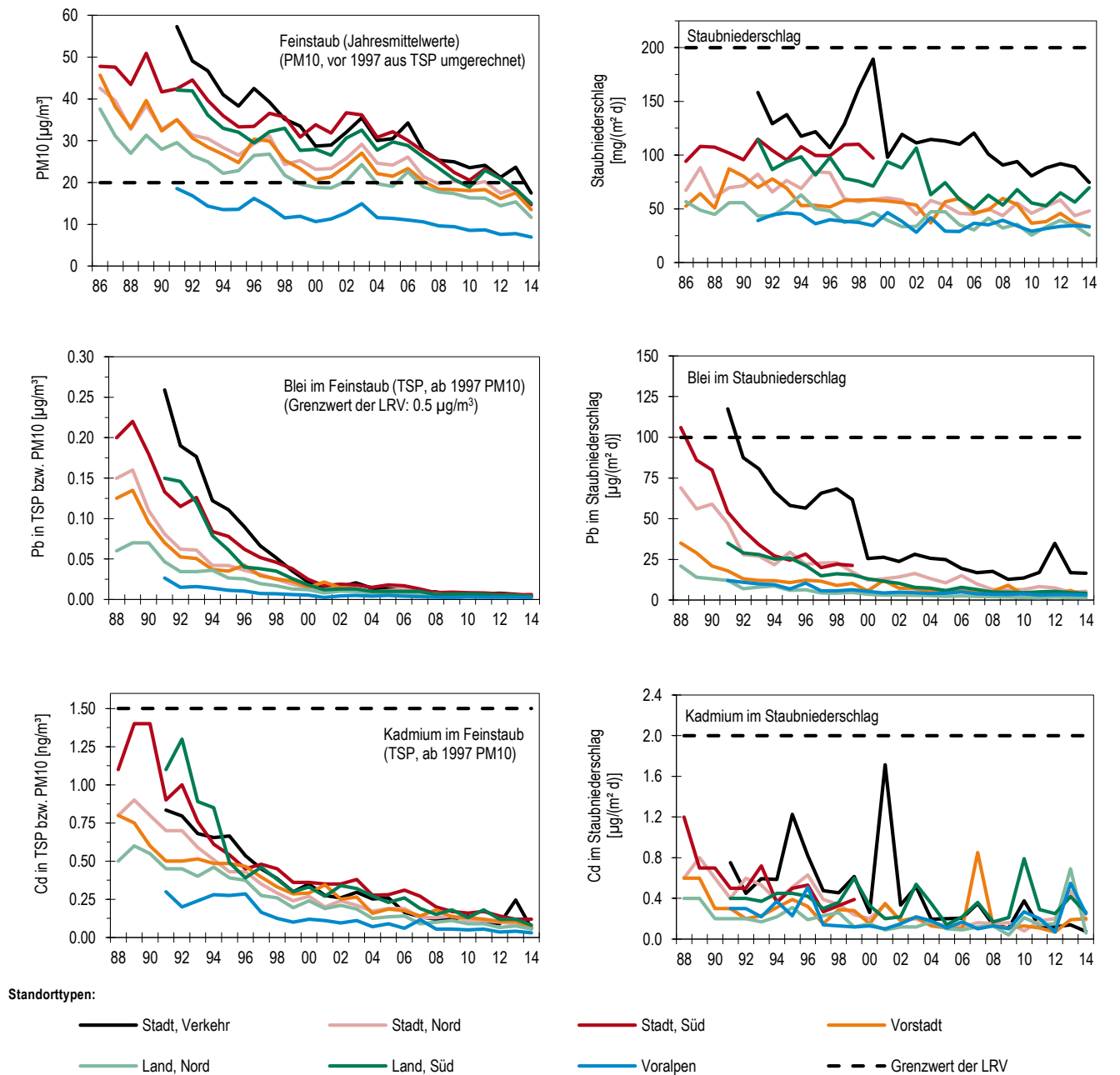
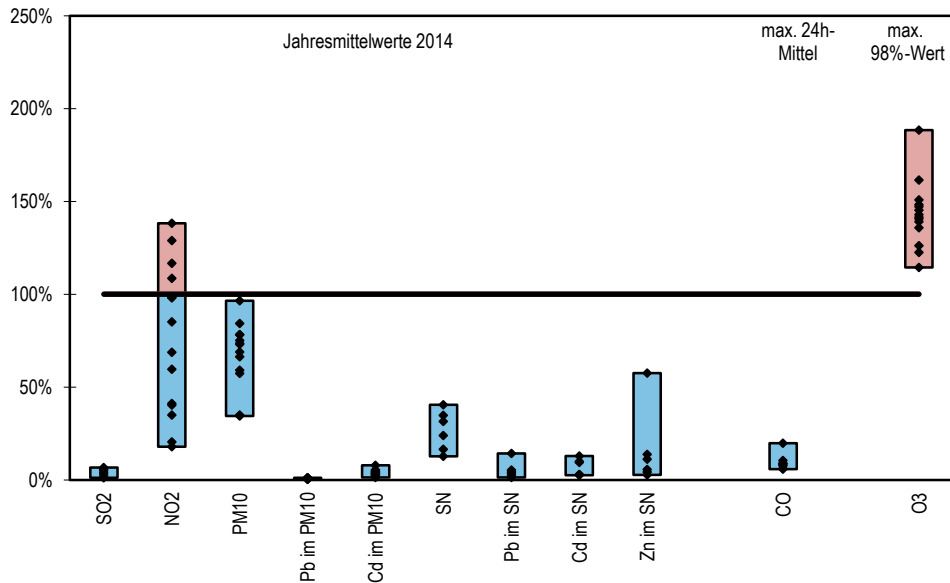


Abb. 3 > Übersicht der Schadstoffbelastung 2014 an NABEL-Stationen im Vergleich zu den Immissionsgrenzwerten der Luftreinhalte-Verordnung

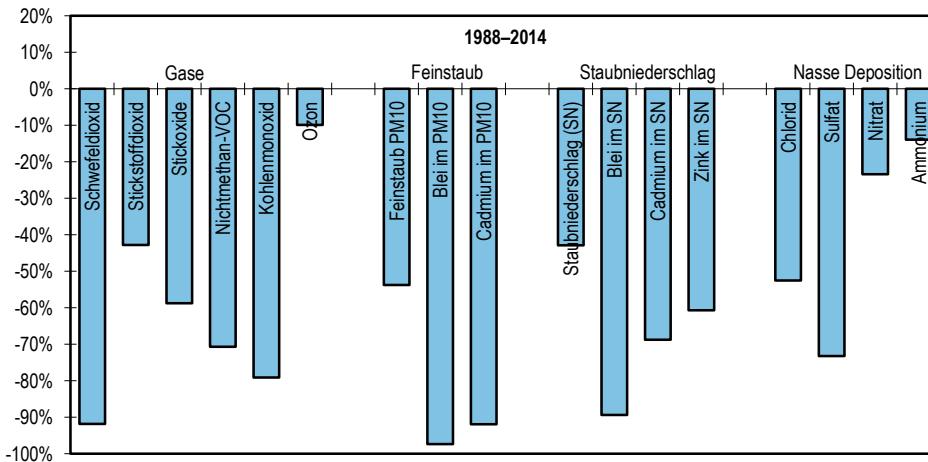
Eingezeichnet sind die Werte der einzelnen NABEL-Stationen, ausser der alpinen Stationen Davos und Jungfrauoch.



SN = Staubniederschlag

Abb. 4 > Veränderung der Luftbelastung an NABEL-Stationen in der Schweiz zwischen 1988 und 2014

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



SN = Staubniederschlag

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

1 > Luftverschmutzung in der Schweiz (Übersicht)

1.1 Schadstoffemissionen

Unter Schadstoffemissionen versteht man in der Lufthygiene vor allem anthropogene, d. h. durch menschliche Tätigkeit bedingte Prozesse, wodurch der Atmosphäre Stoffe zugemischt werden. Die anthropogenen Emissionen von Stickoxiden (NO_x), Feinstaub (PM_{10}), flüchtigen organischen Verbindungen (VOC), Schwefeldioxid (SO_2), Kohlenmonoxid (CO), Staub und Schwermetallen (z. B. Blei, Cadmium) werden überwiegend freigesetzt bei Verbrennungsvorgängen in Motoren und Feuerungen, bei industriellen Prozessen, durch mechanischen Abrieb und beim Einsatz von Lösemitteln und Treibstoffen.

Anthropogene
Schadstoffemission

Neben den anthropogenen Emissionen gibt es auch Emissionen aus natürlichen Quellen. Vergleicht man die natürlichen und die anthropogenen Emissionen, so ergibt sich, dass der Anteil der natürlichen Emissionen von NO_x , SO_2 und CO in der Schweiz weniger als 3 % der Gesamtemissionen beträgt. Bei den Nichtmethan-VOC (NMVOC) tragen die natürlichen Emissionen knapp zur Hälfte bei. Die vom Menschen verursachten Emissionen überwiegen also in den meisten Fällen in der Schweiz die natürlichen Emissionen bei weitem.

Natürliche Quellen

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

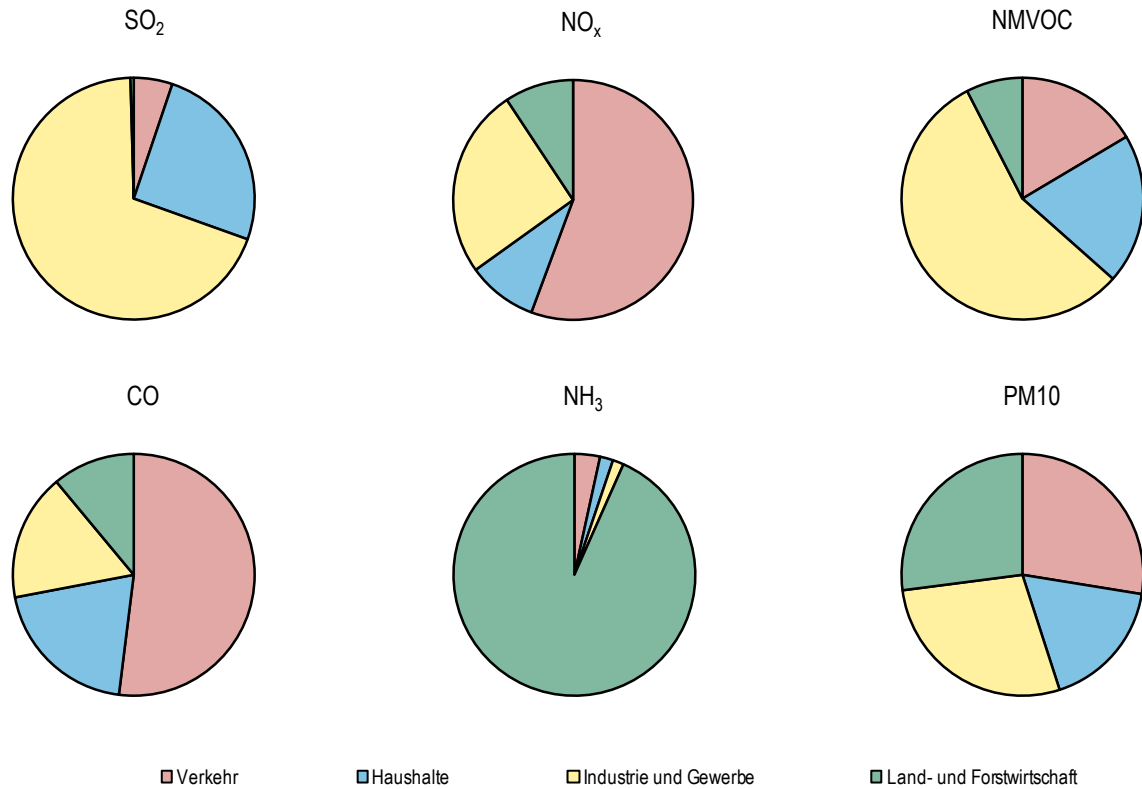
Beiträge verschiedener
Quellengruppen

1.2 Transport und chemische Umwandlung der Schadstoffe (Transmission)

Die von den Emissionsquellen ausgestossenen Schadstoffe wie Schwefeldioxid (SO_2), Stickoxide (NO_x), flüchtige organische Verbindungen (NMVOC), Kohlenmonoxid (CO), Ammoniak (NH_3) und bedeutende Bestandteile des Feinstaubes (vor allem Russ und mineralische Feststoffe) werden als primäre Luftschadstoffe bezeichnet. Die Konzentration der primären Luftschadstoffe ist im Allgemeinen in der Nähe der Emissionsquellen am grössten. Mit zunehmender Entfernung von der Quelle nimmt die Konzentration dieser primären Schadstoffe in der Luft ab, da sie mit der Umgebungsluft vermischt und dadurch verdünnt werden. Darüber hinaus können die emittierten Schadstoffe in der Atmosphäre chemisch umgewandelt werden, wobei neue, sogenannte sekundäre Schadstoffe (z. B. Ozon und Bestandteile des Feinstaubes PM_{10}) mit teilweise ganz anderen Eigenschaften und Wirkungen entstehen.

Primäre und sekundäre
Schadstoffe

Abb. 5 > Beiträge verschiedener Quellengruppen an den anthropogenen schweizerischen Emissionen nach Territorialprinzip: Schwefeldioxid (SO₂), Stickoxide (NO_x), flüchtige organische Verbindungen (NMVOC), Kohlenmonoxid (CO), Ammoniak (NH₃) und primärer Feinstaub (PM10); Stand 2013



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

Transport, chemische Umwandlung, Meteorologie

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

Wintersmog

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

Sommersmog

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

Deposition

1.3 Luftbelastung in der Schweiz

Die Luftqualität in der Schweiz wird durch lufthygienische Messungen des Bundes, der Kantone und einiger Städte ermittelt. Die Daten all dieser Messstationen können zur Beurteilung der Luftqualität herangezogen werden um einen gesamtschweizerischen Überblick zur Luftbelastung zu erhalten. Sie dienen auch zur flächenhaften Darstellung der aktuellen Luftbelastung (www.bafu.admin.ch/luft/luftbelastung/aktuell oder www.cerclair.ch) und zur Präsentation der aktuellen Luftqualität via Smartphone App "airCheck".

Messnetze der Schweiz

Abb. 6 zeigt den Zustand der Luft im Jahre 2014, wie sie an allen Schweizer Messstationen von Bund, Kantonen und Städten gemessen wurde, im Vergleich zu den Immissionsgrenzwerten der Luftreinhalte-Verordnung. Die Immissionsgrenzwerte für die Jahresmittel von Schwefeldioxid, Staubbiederschlag, Schwermetallen im Feinstaub und Schwermetalldeposition sowie auch für das Tagesmittel von Kohlenmonoxid sind an fast allen Standorten in der Schweiz eingehalten oder sogar deutlich unterschritten. Einzelne hohe Belastungen durch diese Schadstoffe treten noch in unmittelbarer Nähe von grossen Industrieanlagen auf, sind aber kein grossflächiges Problem in der Schweiz. Die Immissionsgrenzwerte von Feinstaub, Stickstoffdioxid und Ozon hingegen werden an vielen Standorten überschritten und diese Schadstoffe stellen in der ganzen Schweiz ein lufthygienisches Problem dar.

Grenzwertüberschreitungen bei NO₂, PM₁₀ und Ozon

Die Grenzwerte für den Schadstoff Stickstoffdioxid werden in den Stadtzentren noch überschritten. In den vorstädtischen Gebieten liegen die NO₂-Werte abseits der Hauptverkehrsstrassen in der Regel unter dem Grenzwert. Im ländlichen Raum werden die NO₂-Grenzwerte, mit Ausnahme von Korridoren entlang der Autobahnen, eingehalten.

Stickstoffdioxid

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

Feinstaub

Die Belastung durch den Schadstoff Ozon liegt während Sommersmoglagen in der ganzen Schweiz flächendeckend und zum Teil erheblich über den Grenzwerten. Für die Beurteilung der Ozonbelastung dient der 98 %-Wert der Halbstundenmittelwerte des ozonreichsten Sommermonats. Er gibt an, welcher Ozonwert während 15 Stunden eines Monats überschritten wird. Entlang von Strassen werden zum Teil niedrigere

Ozon

Ozonwerte gemessen, da das in grossen Mengen vorkommende Stickstoffmonoxid das Ozon abbaut und dabei in Stickstoffdioxid umgewandelt wird. Die Stadtzentrum-Stationen mit den niedrigsten Ozonwerten sind aus diesem Grund gleichzeitig diejenigen Stationen mit den höchsten NO₂-Werten.

Neben den Immissionsgrenzwerten der LRV müssen in der Schweiz auch die kritischen Eintragsraten (Critical Loads) von Stickstoff in empfindliche Ökosysteme eingehalten werden. Die UNECE hat im Rahmen der Genfer Konvention über die weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung solche Critical Loads festgelegt um Versauerung und Eutrophierung zu vermeiden. Um die Stickstoffeinträge zu bestimmen werden Ammoniak und weitere Stickstoffverbindungen gemessen und die Stickstoffdeposition modelliert. Für einen Grossteil der naturnahen Ökosysteme in der Schweiz ist der Stickstoffeintrag noch zu hoch.

Stickstoffverbindungen

Wie andere Luftschadstoffe auch haben Feinstaub und Stickstoffdioxid direkte gesundheitsschädigende Auswirkungen auf den Menschen. In Abb. 7 repräsentiert jeder Punkt die NO₂- und PM10-Belastung eines Messstandorts. Die Messungen in der Schweiz spannen den Bereich zwischen sehr sauberer Luft im hochalpinen Raum bis zu verschmutzter Luft in städtischen Strassenschluchten auf. Die Messstationen des NABEL, dessen Messdaten in den restlichen Kapiteln dieses Berichts dokumentiert sind, decken einen weiten Bereich der in der Schweiz auftretenden Belastungssituationen ab.

Belastung durch NO₂ und PM10

Abb. 6 > Übersicht der Schadstoffbelastung 2014 an allen Messstandorten in der Schweiz im Vergleich zu den Immissionsgrenzwerten der Luftreinhalte-Verordnung

Eingezeichnet sind die Werte aller permanenten Messstationen von Bund, Kantonen und Städten. Die einzelnen Schadstoffe werden nicht an allen Messstationen gemessen.

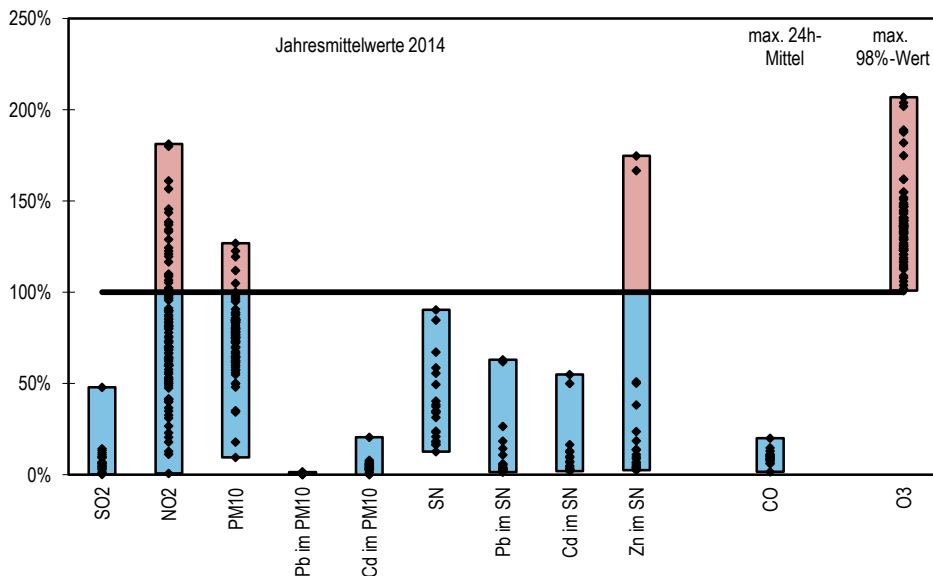
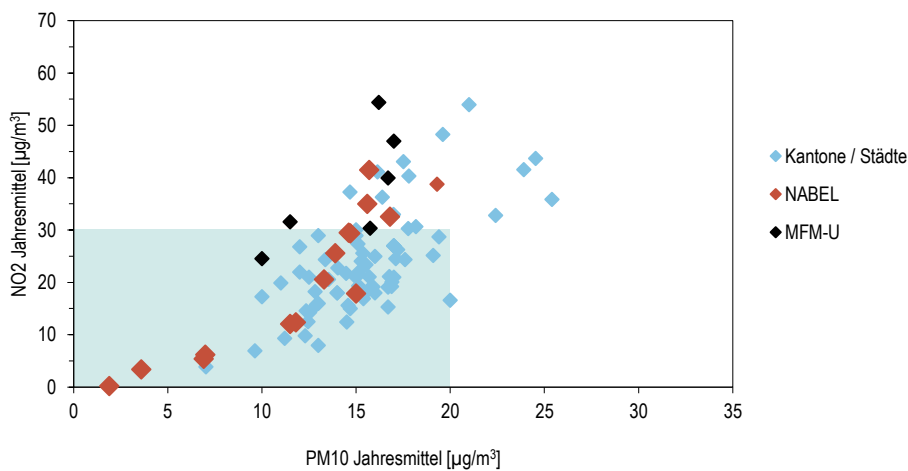


Abb. 7 > Streudiagramm der Jahresmittel 2014 von Stickstoffdioxid und Feinstaub

Eingezeichnet sind die Werte aller permanenten Messstationen von Bund, Kantonen und Städten. Die Messwerte des NABEL sind in Rot dargestellt, diejenigen des MFM-U in Schwarz. Das MFM-U (www.bafu.admin.ch/verkehr/15435/index.html?lang=de) überwacht die Luftqualität direkt an Autobahnabschnitten der Nord-Süd Transitsachsen. An Standorten, die innerhalb des blau hervorgehobenen Bereichs liegen, sind beide Jahresgrenzwerte eingehalten.



1.4

Auswirkungen der Luftverschmutzung

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

www.ersnet.org/index.php/publications/air-quality-and-health.html).

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

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

Verschiedene Organe sind betroffen

Auswirkungen von Feinstaub

Studien in der Schweiz

Stickstoffdioxid führt zu Entzündungserscheinungen in den Atemwegen und verstärkt die Reizwirkung von Allergenen. Nimmt kurzfristig die NO₂-Belastung der Aussenluft zu, werden in dieser Zeit die Sterbefälle und Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen häufiger und es treten mehr Herzrhythmusstörungen auf.

Wirkungen von Stickstoffdioxid

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.

Wirkungen erhöhter Ozonwerte

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

Krebserregende Schadstoffe

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

Externe Kosten der Luftverschmutzung

Die sommerliche Ozonbelastung führt periodisch zu sichtbaren Schäden hauptsächlich an den Blättern von Laubbäumen, Sträuchern und Kulturpflanzen. Eine anhaltende Dauerbelastung durch Ozon kann das Wachstum und die Vitalität empfindlicher Pflanzenarten beeinträchtigen. Dabei treten nachgewiesenermassen Ertragseinbussen an landwirtschaftlichen Kulturen auf. Die 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 Pflanzen

Gebäudeschäden werden vor allem durch Säuren (aus NO₂ und SO₂), aber auch durch Ammoniak verursacht, die gasförmig, mit Staubpartikeln oder mit dem Regen transportiert werden. Russ führt zu einer Verschmutzung von Oberflächen. Organische Materialien wie Farbstoffe, Lacke, Gummi, Kunststoffe oder Textilfasern können durch Photooxidantien wie Ozon angegriffen, ausgebleicht und zerstört werden. Durch die Luftverschmutzung werden zudem Kulturdenkmäler unwiederbringlich zerstört.

Schäden an Gebäuden und Materialien

2 > Das Nationale Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL)

2.1 Entstehung des Messnetzes

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

NABEL Geschichte

Zuständigkeiten

2.2 Ziel und Zweck des Messnetzes

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

Gesetzliche Aufgaben

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

Gesamtschweizerische
Bedürfnisse, Messung von
Leitschadstoffen

2.3

Aufgaben des Messnetzes

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

Nationale und internationale Aufgaben

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

Internationaler Datenaustausch

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

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

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

2.4

Standorte der Messstationen

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

Standorttypen**Tab. 2 > Klassierung der NABEL-Stationen nach Standorttyp**

	Standorttyp	Abkürzung	Station
	Städtisch, verkehrsbelastet	BER LAU	Bern-Bollwerk Lausanne-César-Roux
	Städtisch	LUG ZUE	Lugano-Università Zürich-Kaseme
	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 Payeme Tänikon Lägeren
	Ländlich, oberhalb 1000 m	CHA RIG DAV	Chaumont Rigi-Seebodenalp Davos-Seehornwald
	Hochgebirge	JUN	Jungfraujoch

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

**Alle Belastungsstufen
sind vertreten**

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

2.5 Messprogramm und Messverfahren

Mit dem NABEL werden vor allem die Schadstoffe Stickstoffdioxid (NO₂), Stickstoffmonoxid (NO), lungengängiger Feinstaub (PM10), Ozon (O₃), Schwefeldioxid (SO₂), Kohlenmonoxid (CO) und der Staubbiederschlag gemessen. Im Feinstaub und im Staubbiederschlag werden einige Schwermetalle bestimmt. An einzelnen Stationen werden zusätzlich Messungen der flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) sowie chemische Analysen des Niederschlags und der Stickstoffaerosole durchgeführt.

Schadstoffe

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

Meteorologie

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

Verkehrszählungen

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

Messmethoden

2.6 Qualitätssicherung

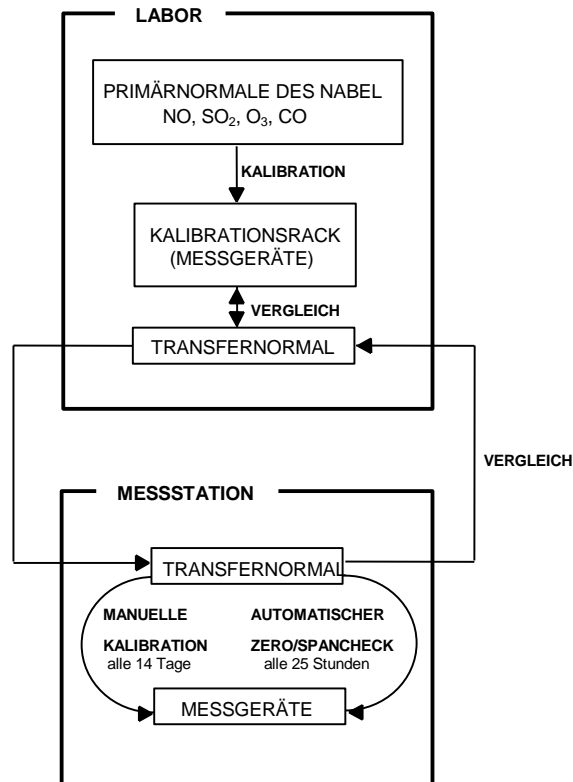
Im NABEL wird der Qualitätssicherung der Messdaten eine grosse Bedeutung zugemessen. Es gelten folgende allgemeine Qualitätssicherungsmaßnahmen:

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

Die Messungen werden wo immer möglich auf Primärnormale zurückgeführt. Diese befinden sich in einem klimatisierten Kalibrierlabor, welches sie nur in Ausnahmefällen (bei Ringversuchen von Primärnormalen) verlassen. Die Primärnormale des NABEL werden ihrerseits auf nationale und internationale Normale zurückgeführt. Im Kalibrierlabor befindet sich ebenfalls ein Kalibrierstand für SO₂, NO, O₃ und CO. Alle für die Kalibrierung der Messgeräte auf den Messstationen verwendeten Transfornormale werden hier zu Beginn und am Ende der Einsatzzeit mit dem NABEL-Primärnormal

verglichen. Die Messgeräte der oben genannten Messgrößen werden auf den Messstationen mit den TransfERNormalen alle zwei Wochen manuell kalibriert. Zusätzlich wird das TransfERNormal alle 25 Stunden für einen automatischen Test des Kalibrierpunktes verwendet. Die Rückverfolgbarkeit für SO₂, NO, O₃ und CO ist in Abb. 8 dargestellt. Durch eine konsequente Umsetzung der Qualitätssicherungsmassnahmen können die Unsicherheiten der eingesetzten Messmethoden klein gehalten werden. Eine Zusammenstellung der Messunsicherheiten einer Auswahl von Luftschadstoffen, die im NABEL gemessen werden, ist in Tab. 3 zu finden.

Abb. 8 > Rückverfolgbarkeit von SO₂, NO, O₃ und CO



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

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

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

2.7

Weitere NABEL-Publikationen

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.

Internet

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

Teletext

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

Monatsbericht

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

Technischer Bericht der Empa

3 > Stickoxide

3.1 Entstehung und Charakterisierung

Unter den Begriff der Stickoxide fällt eine Vielzahl von Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen des Typs N_xO_y . Die Verbindung N_2O ist als Lachgas bekannt und ist ein langlebiges klimarelevantes Spurengas. Sie wird zusammen mit anderen Klimagasen auf dem Jungfraujoch gemessen (siehe Kapitel 9 und www.empa.ch/klimagas). Die aus lufthygienischer Sicht wichtigsten Stickstoff-Verbindungen in der Atmosphäre sind die beiden Verbindungen Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO_2). Die Summe beider Substanzen wird als NO_x bezeichnet. Stickstoffmonoxid ist ein farb- und geruchloses Gas. Stickstoffdioxid ist ein in höheren Konzentrationen rötlich-braunes, stechend riechendes Reizgas. Aus den Stickoxiden bildet sich auch Nitrat, welches zur Feinstaubbelastung beiträgt.

Begriffe, Eigenschaften

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

NO_x -Emission

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

Auswirkungen

3.2 Zeitliche Entwicklung

In den Abb. 9 bis Abb. 11 sind die Entwicklungen der Schadstoffe Stickstoffdioxid und Stickstoffmonoxid sowie der Gesamt-Stickoxidbelastung (NO_x) für die NABEL-Stationen mit längeren Messreihen dargestellt.

Trend seit 1981

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

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

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

Abb. 9 > Stickstoffdioxid (NO₂), Jahresmittelwerte 1981–2014

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

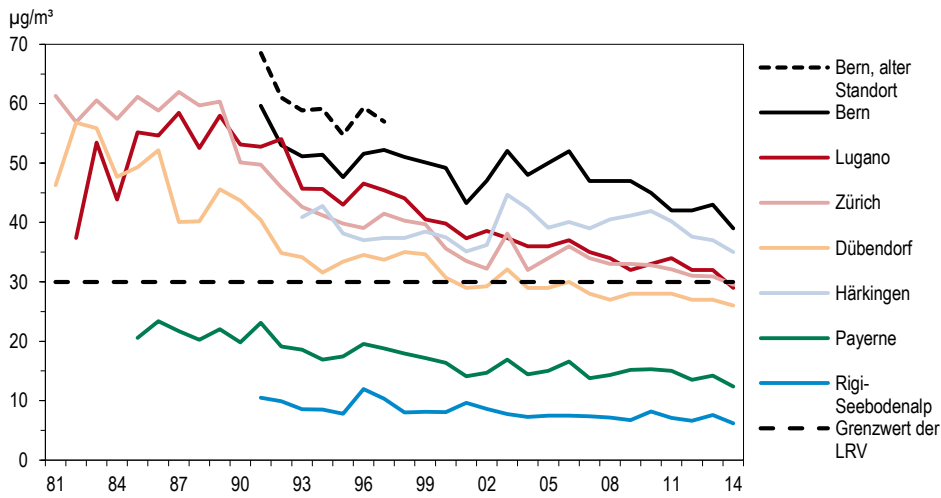


Abb. 10 > Stickstoffmonoxid (NO), Jahresmittelwerte 1981–2014

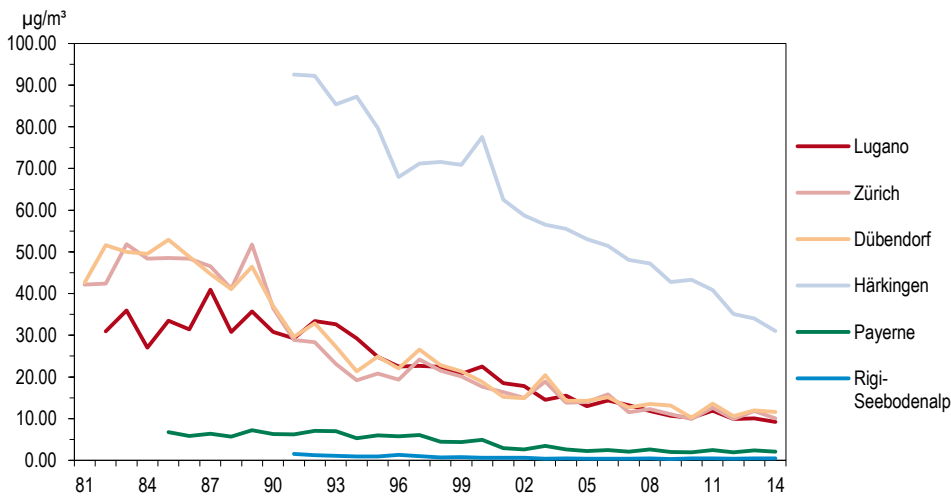
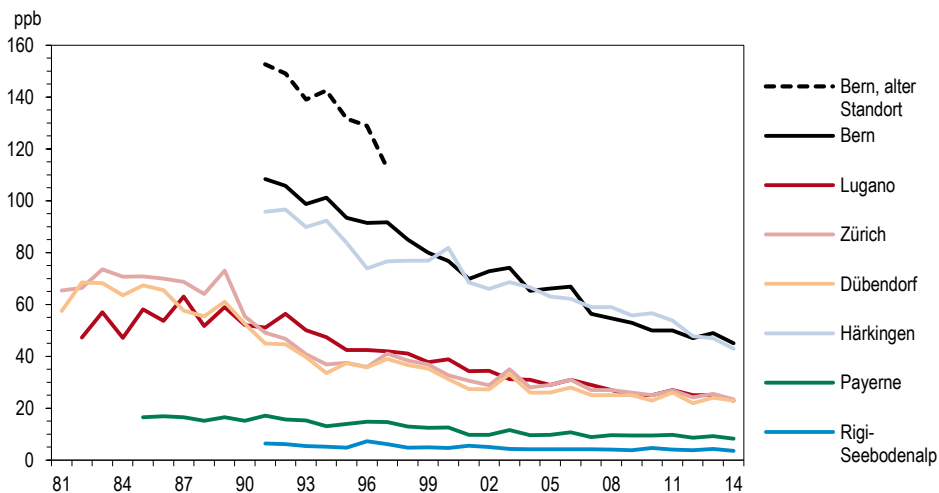


Abb. 11 > Stickoxide (NO_x), Jahresmittelwerte 1981–2014

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



Vergleicht man die 2014 gemessenen Werte mit denjenigen Mitte der 80er-Jahre, so sind Belastungsrückgänge von 42–54 % beim NO₂ und von 51–66 % 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 NO₂- und NO_x-Belastung deutlich reduziert (-40 % resp. -55 %).

**NO₂-Rückgang 40–55 %
seit Mitte der 80er Jahre**

3.3 Situation 2014

Die wichtigsten Messergebnisse des NABEL des Jahres 2014 sind in Tab. 4 bis Tab. 6 zusammengefasst. Verkehrsnaher Stadtzentrum-Stationen und autobahnahe, ländliche Stationen zeigen deutliche Grenzwertüberschreitungen des NO₂-Jahresmittelwerts. An einzelnen Tagen ist das Tagesmittel grösser als 80 µg/m³ (Überschreitung des Kurzzeitgrenzwertes), während die 95 %-Werte alle unter dem Grenzwert von 100 µg/m³ liegen. Dies weist auf eine permanent zu hohe NO₂-Belastung hin, wohingegen hohe Spitzenwerte eher selten sind.

**Verkehrsnah: Grenzwert
überschritten**

Die vorstädtischen Standorte zeigen gegenüber den Stadtzentrumstandorten eine tiefere mittlere Belastung. Die NO₂-Jahresmittelwerte lagen dort 2014 unterhalb des Grenzwerts.

**Vorstädtische Gebiete:
im Grenzwertbereich**

An den ländlichen Stationen im schweizerischen Mittelland liegen die NO₂-Jahresmittelwerte deutlich unter dem Jahresgrenzwert. Mit zunehmender Meereshöhe nimmt die Stickoxidbelastung deutlich ab.

Land: Grenzwert eingehalten

Der Jahresgang der Stickstoffdioxid-Belastung (Abb. 12) ist vom Standorttyp abhängig. Die höher gelegenen ländlichen Stationen wie auch die städtischen Verkehrsstandorte zeigen wenig Jahresgang. Bei den übrigen Stationen sind dagegen die Monatsmittelwerte im Winter ungefähr doppelt so hoch wie im Sommer.

Jahresgang: in der Regel tiefere Werte im Sommer

Tab. 4 > Stickstoffdioxid (NO₂), Jahresstatistik 2014

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert µg/m ³	95 %-Wert µg/m ³	max. 24h-Mittelwert µg/m ³	Anzahl Grenzwert- überschreitungen 24h-Mittelwert
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	39	75	66	0
	Lausanne-César-Roux	41	79	85	2
Städtisch	Lugano-Universität	29	66	67	0
	Zürich-Kaserne	30	63	73	0
Vorstädtisch	Basel-Binningen	21	50	53	0
	Dübendorf-Empa	26	61	64	0
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	35	73	71	0
	Sion-Aéroport-A9	33	78	75	0
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	18	48	59	0
	Payerne	12	31	41	0
	Tänikon	12	29	41	0
	Lägeren	11	26	45	0
Ländlich, oberhalb 1000 m	Chaumont	5	14	25	0
	Rigi-Seebodenalp	6	17	26	0
	Davos-Seehornwald	3	9	18	0
Hochgebirge	Jungfraujoch	<1	<1	2	0
LRV-Immissionsgrenzwert		30	100	80	1

Abb. 12 > Stickstoffdioxid (NO₂), Monatsmittelwerte 2014

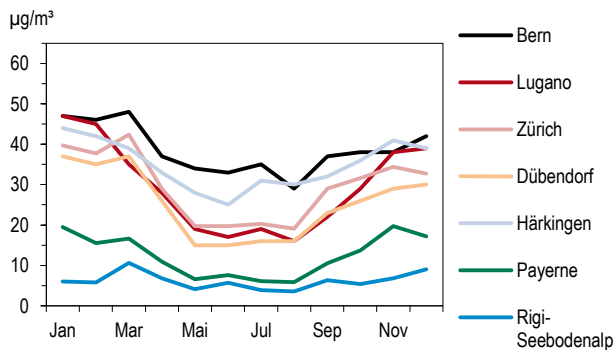
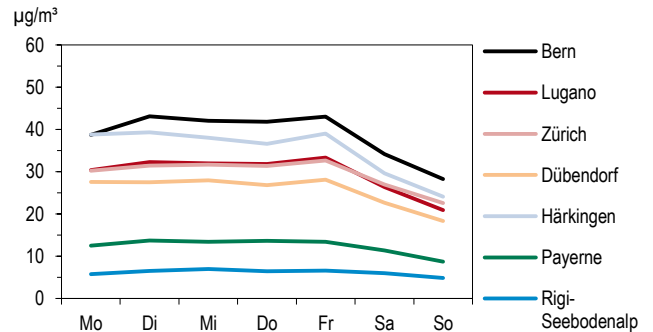


Abb. 13 > Stickstoffdioxid (NO₂), mittlerer Wochengang 2014



Tab. 5 > Stickstoffmonoxid (NO), Jahresstatistik 2014

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert µg/m ³	95 %-Wert µg/m ³	max. 24h-Mittelwert µg/m ³
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	30	107	113
	Lausanne-César-Roux	20	62	67
Städtisch	Lugano-Università	9	45	64
	Zürich-Kaserne	10	48	80
Vorstädtisch	Basel-Binningen	6	31	42
	Dübendorf-Empa	12	58	87
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	31	123	121
	Sion-Aéroport-A9	21	94	109
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	9	50	108
	Payerne	2	12	24
	Tänikon	3	16	44
	Lägeren	1	5	19
Ländlich, oberhalb 1000 m	Chaumont	<1	2	13
	Rigi-Seebodenalp	<1	2	19
	Davos-Seehornwald	<1	1	10
Hochgebirge	Jungfrauojoch	<1	<1	<1

Deutlicher ausgeprägt ist der Jahresgang bei der Summe der Stickoxide (NO_x, Abb. 14). 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 NO₂ umgewandelt und dieses vermehrt unter Einfluss von Sonnenlicht in Sekundärschadstoffe (z. B. Salpetersäure, PAN) transformiert.

Der Wochengang (Abb. 13 und Abb. 15) 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 NO₂ ist die Abnahme weniger stark, aber immer noch deutlich erkennbar.

**Wochengang: starker Rückgang
am Wochenende**

Tab. 6 > Stickoxide (NO_x), Jahresstatistik 2014

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert ppb	95 %-Wert ppb	max. 24h-Mittelwert ppb
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	45	120	121
	Lausanne-César-Roux	38	85	92
Städtisch	Lugano-Universität	23	68	87
	Zürich-Kaserne	24	66	89
Vorstädtisch	Basel-Binningen	15	47	52
	Dübendorf-Empa	23	73	99
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	43	132	129
	Sion-Aéroport-A9	34	113	126
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	17	61	111
	Payerne	8	23	41
	Tänikon	9	27	45
	Lägeren	7	18	31
Ländlich, oberhalb 1000 m	Chaumont	3	8	21
	Rigi-Seebodenalp	4	10	26
	Davos-Seehornwald	2	6	15
Hochgebirge	Jungfrauoch	<1	<1	2

Abb. 14 > Stickoxide (NO_x), Monatsmittelwerte 2014

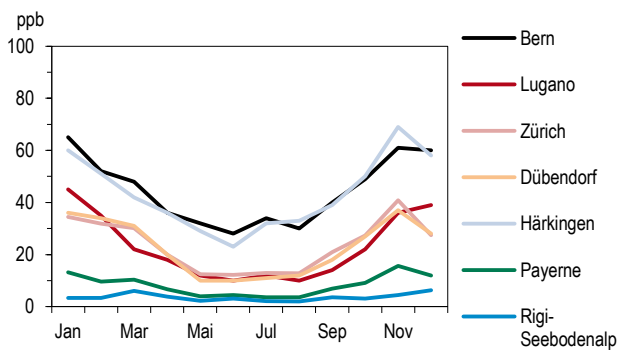
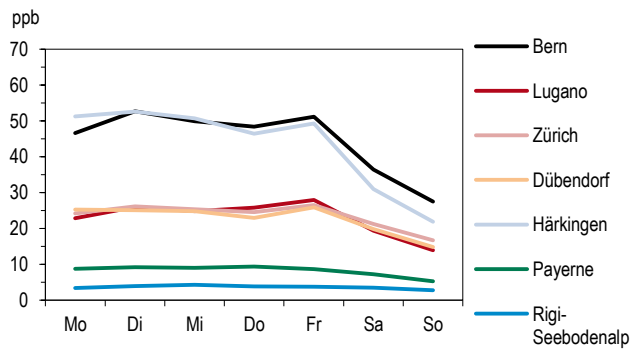


Abb. 15 > Stickoxide (NO_x), mittlerer Wochengang 2014



3.4 Bewertung

Die Stickstoffdioxid-Immissionen sind entlang den Hauptverkehrsachsen nach wie vor zu hoch. Der Jahresmittel-Grenzwert wird dort deutlich überschritten. An den vorstädtischen Standorten (abseits von Hauptverkehrsstrassen) ist die Belastung tiefer, die NO₂-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 NO₂-Grenzwerte überschritten sind.

NO₂-Belastung an Hauptverkehrsachsen zu hoch

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.

Verkehrsemissionen nehmen langsamer ab als erwartet

Das Stickoxid-Problem ist im Wesentlichen das Problem einer permanent zu hohen Belastung. 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.

Hohe Langzeitwerte, aber moderate Spitzenwerte

Neben der Belastung von Mensch und Umwelt durch zu hohe NO₂-Konzentrationen sind die Stickoxide auch für den Säureeintrag und die Überdüngung empfindlicher Ökosysteme mitverantwortlich. Der Eintrag von Stickstoffverbindungen in empfindliche Ökosysteme liegt ebenfalls noch weit über den tolerierbaren Werten.

Auch für Säure und Stickstoffeintrag wichtig

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

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

Grösse und Zusammensetzung

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

Quellen

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

TSP, PM10, PM2.5

4.2 Zeitliche Entwicklung

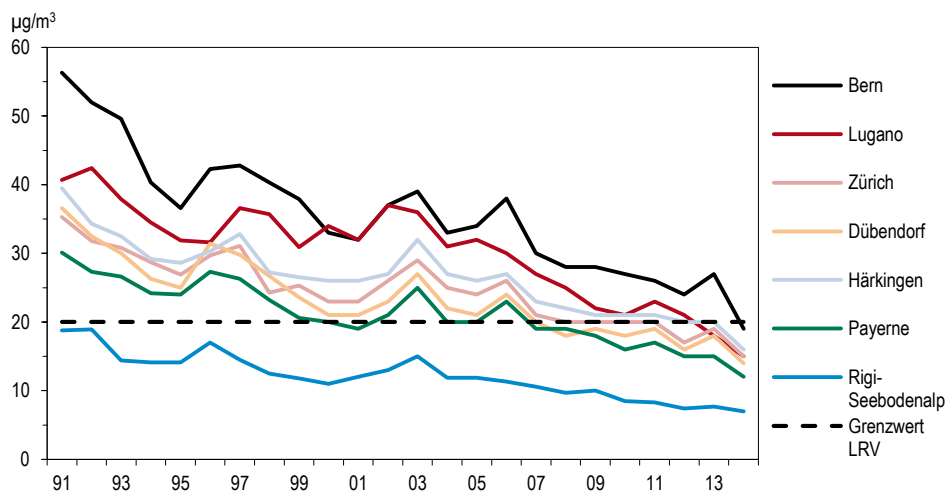
In der Abb. 16 sind die aus den TSP-Werten berechneten PM10-Jahresmittelwerte (vor 1997) zusammen mit den gemessenen PM10-Werten (ab 1997) dargestellt. Seit 1991 ist die PM10-Belastung zurückgegangen. Dieser Rückgang dürfte einerseits auf die Reduktion der sekundären Partikel (insbesondere Sulfat) und andererseits auf die

Deutlicher Rückgang der PM10-Belastung seit 1991

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

Abb. 16 > Feinstaub (PM10), Jahresmittelwerte 1991–2014

Die Werte vor 1997 wurden aus TSP-Messungen umgerechnet.



4.3 Situation 2014

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

Der Stadt-Land Gegensatz ist beim lungengängigen Feinstaub (PM10) weniger stark ausgeprägt als beim Stickstoff- oder Schwefeldioxid. Zwei Ursachen sind dafür verantwortlich. Ein Drittel bis über die Hälfte der PM10-Belastung besteht aus sekundär gebildeten Feinstaubpartikeln (sekundären Aerosolen), die erst abseits der Quellen der Vorläuferschadstoffe in der Atmosphäre gebildet werden, was zu einer homogenen räumlichen Verteilung führt. Solche sekundären Komponenten sind: Sulfat (SO₄²⁻) aus Schwefeldioxid, Nitrat (NO₃⁻) aus Stickoxiden, Ammonium (NH₄⁺) 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).

Jahresmittelwerte strassennah zu hoch

Sekundäres PM10, grossräumiger Transport

Tab. 7 > Feinstaub (PM10), Jahresstatistik 2014

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert $\mu\text{g}/\text{m}^3$	max. 24h-Mittelwert $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Anzahl Grenzwert- überschreitungen 24h-Mittelwert
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	19	61	5
	Lausanne-César-Roux	16	56	5
Städtisch	Lugano-Università	15	63	2
	Zürich-Kaserne	15	70	3
Vorstädtisch	Basel-Binningen	13	59	2
	Dübendorf-Empa	14	68	3
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	16	74	3
	Sion-Aéroport-A9	17	48	0
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	15	48	0
	Payerne	12	56	2
	Tänikon	11	65	2
Ländlich, oberhalb 1000 m	Chaumont	7	43	0
	Rigi-Seebodenalp	7	50	0
	Davos-Seehornwald	4	63	1
Hochgebirge	Jungfrauoch	2	33	0
<i>LRV-Immissionsgrenzwert</i>		20	50	1

Der Tagesgrenzwert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde an etlichen Stationen überschritten. An den Stationen oberhalb 1000 m über Meer, wurde nur ein Tagesmittelwert über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registriert.

Tagesgrenzwert zum Teil überschritten

Der PM10-Jahresgang zeigt für die Stationen unterhalb 1000 m über Meer erhöhte Werte im Winter und tiefere Werte im Sommer (Abb. 17). 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. 17 > Feinstaub (PM10), Monatsmittelwerte 2014

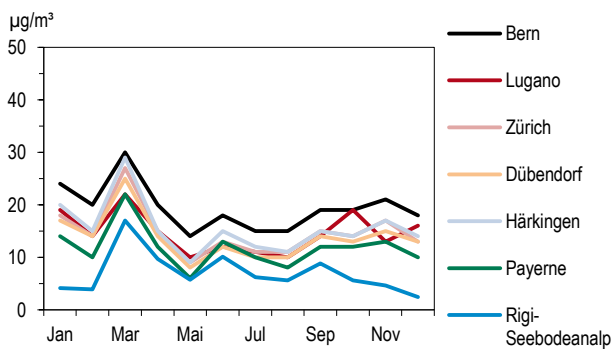
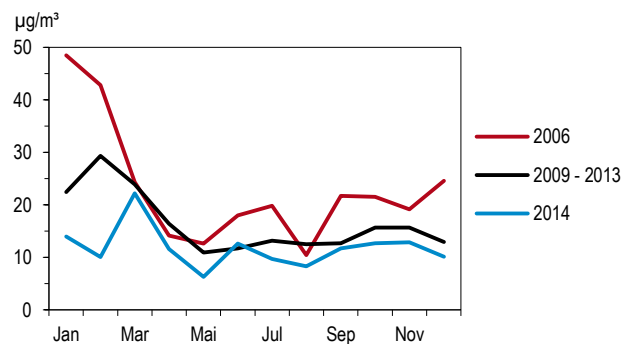


Abb. 18 > Feinstaub (PM10) Payerne, Vergleich der Monatsmittelwerten zu den Vorjahren



1000 m über Meer zeigen höhere Werte im Sommer, da sie im Herbst und Winter in der sauberen Luft oberhalb der Temperaturinversion liegen.

Jahresgang:
hohe Werte in den Wintermonaten

Die PM10-Belastung hat in den letzten 20 Jahren abgenommen (Abb. 16) als Folge der Emissionsreduktionen von primärem PM10 und gasförmigen Vorläufern von sekundärem PM10. Die im Vergleich zu den Vorjahren sehr tiefen PM10-Werte des Jahres 2014 sind zusätzlich durch die günstige Witterung bestimmt. So zeigt der Vergleich des Jahresganges in Payerne (Abb. 18) mit dem mittleren Jahresgang 2009-2013 markant tiefere Monatsmittel im Januar und Februar, aber auch in den meisten anderen Monaten tiefere Werte als im mehrjährigen Mittel. Nur im März traten stabile Wetterlagen mit hohen Schadstoffkonzentrationen auf. Im Gegensatz dazu wies das Jahr 2006 sehr hohe PM10-Werte im Januar und Februar auf und auch überdurchschnittlich hohe Werte in den meisten anderen Monaten.

4.4 PM2.5-Messungen

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

PM2.5-Messungen

Die PM2.5-Belastung (Tab. 8) zeigt in den tieferen Lagen geringe Unterschiede (8–13 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.

Räumliche Unterschiede im PM2.5
gering

Tab. 8 > Feinstaub: PM10 und PM2.5 Parallelmessungen 2014 an jedem 4. Tag

Standorttyp	Station	Jahresmittelwerte*	Mittel der täglichen Verhältnisse
		PM2.5 µg/m ³	PM2.5/PM10 %
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	12,5	62
Städtisch	Lugano-Universität	10,9	70
	Zürich-Kaserne	10,7	69
Vorstädtisch	Basel-Binningen	9,1	70
	Dübendorf-Empa	9,4	66
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	10,3	68
Ländlich, unterhalb 1000 m	Payerne	7,9	68
	Magadino-Cadenazzo	10,2	65
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	4,4	68

* Messung nur an jedem 4. Tag

In Abb. 19 sind alle an den NABEL Standorten gemessenen PM2.5 Jahresmittelwerte dargestellt. Seit 1998 hat die Belastung durch PM2.5 um 40–50 % abgenommen und liegt heute in den Siedlungen bei 9–11 µg/m³.

Die PM2.5 Belastung zeigt an den Stationen unterhalb 1000 m über Meer einen noch stärker ausgeprägten Jahresgang als die PM10 Belastung (Abb. 20). Im Sommer treten dort die tiefsten Werte auf, was weitgehend durch die thermische Instabilität von Ammoniumnitrat bei höheren Temperaturen und die bessere Durchmischung der Atmosphäre im Sommer erklärt werden kann.

Deutlicher Rückgang von PM2.5 seit 1998
 Jahresgang: Hohe Werte im Winterhalbjahr

Das Verhältnis zwischen PM2.5 und PM10-Tagesmittelwerten ist an 5 der tiefgelegenen Stationen ohne direkten Verkehrseinfluss sehr ähnlich (Tab. 8). Es liegt zwischen 66% und 70%. An der stark verkehrsbelasteten Station Bern ist das Verhältnis mit 62% leicht tiefer. Abb. 21 zeigt die Entwicklung des Verhältnisses des Jahresmittels von PM2.5 zum Jahresmittel von PM10. Dieses Verhältnis liegt längerfristig für die meisten Standorte und Jahre in einem engen Bereich um 0.75. Nur in der verkehrsbelasteten Strassenschlucht Bern-Bollwerk wurden tiefere Verhältnisse beobachtet.

Verhältnis PM2.5/PM10

Abb. 19 > Feinstaub (PM2.5), Jahresmittelwerte 1998–2014

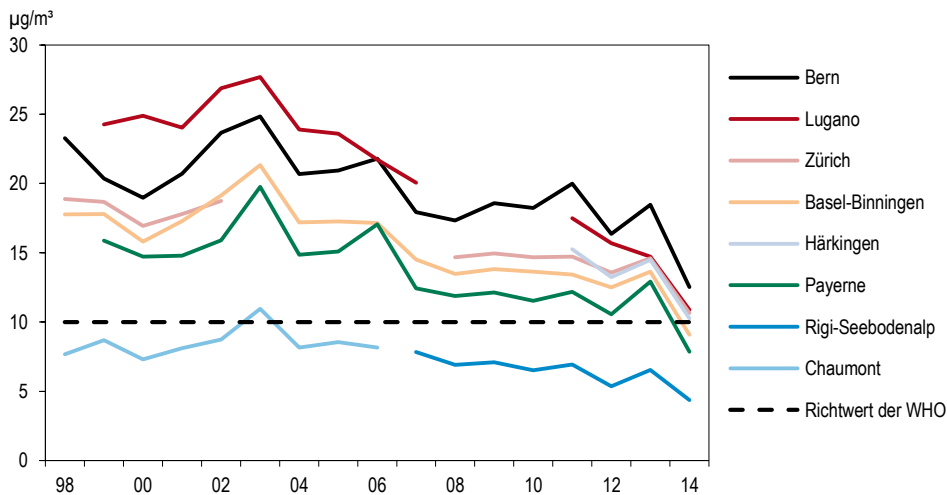


Abb. 20 > Feinstaub (PM2.5), Monatsmittelwerte 2014

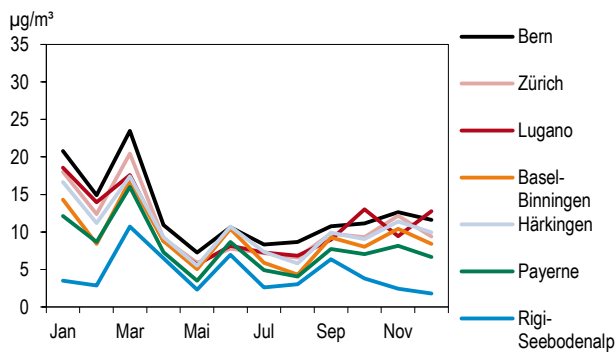
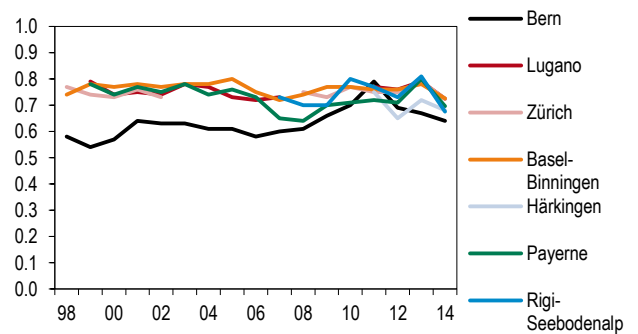


Abb. 21 > Verhältnis der Jahresmittel PM2.5/PM10 1998–2014



4.5 Partikelanzahl – Messungen

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

Partikelanzahl-Messungen,
ultrafeine Partikel

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

Grosse räumliche Unterschiede

Auch die maximalen Tagesmittelwerte zeigen deutliche Unterschiede je nach Standorttyp. Unmittelbar an der Autobahn werden über 50'000 Partikel pro Kubikzentimeter als maximaler Tagesmittelwert gemessen, ähnlich hohe Werte werden in einer innerstädtischen Strassenschlucht erreicht.

Maximalwerte

Der Wochengang (Abb. 22) der Partikelanzahlkonzentration zeigt an den stark durch Emissionen des Strassenverkehrs beeinflussten Standorten eine deutliche Abnahme am Wochenende. So ist an der Station Härkingen in unmittelbarer Autobahnnähe die Partikelanzahl am Sonntag wesentlich tiefer als an Werktagen, was auf den Schwerverkehr als wesentlichen Emittenten von sehr feinen Partikeln hinweist.

Wochengang

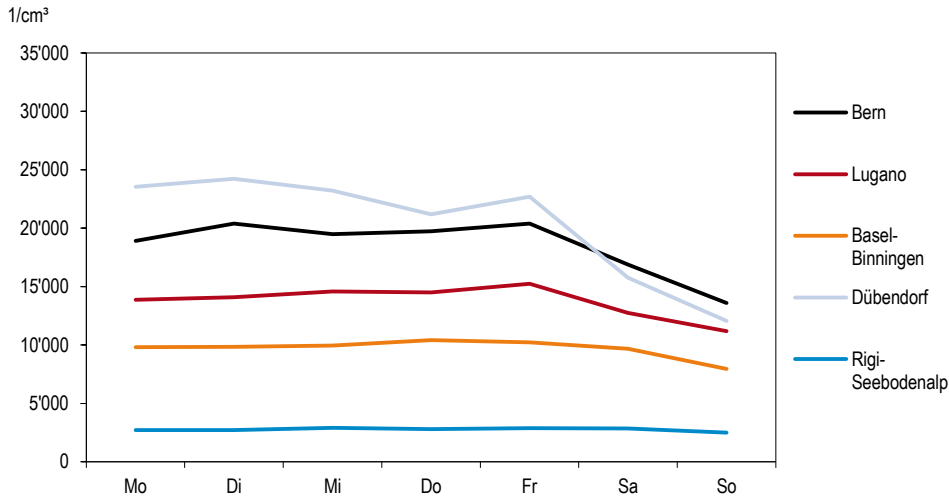
Die Partikelanzahlkonzentration weist an städtischen und verkehrsbelasteten Standorten einen ausgeprägten Tagesgang auf mit Maxima während den Hauptverkehrszeiten.

Tagesgang

Tab. 9 > Partikelanzahl, Jahresstatistik 2014

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert Partikelanzahl 1/cm ³	Maximaler Tagesmittelwert 1/cm ³	95 %-Wert der Halbstundenmittel 1/cm ³
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	18'484	52'507	40'916
Städtisch	Lugano-Universität	13'688	31'959	33'058
Vorstädtisch	Basel-Binningen	9'692	24'419	20'464
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	20'410	56'879	55'595
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	2'761	7'056	6'309

Abb. 22 > Partikelanzahl-Konzentration, Mittlerer Wochengang, 2014



4.6 Schwefel im Feinstaub

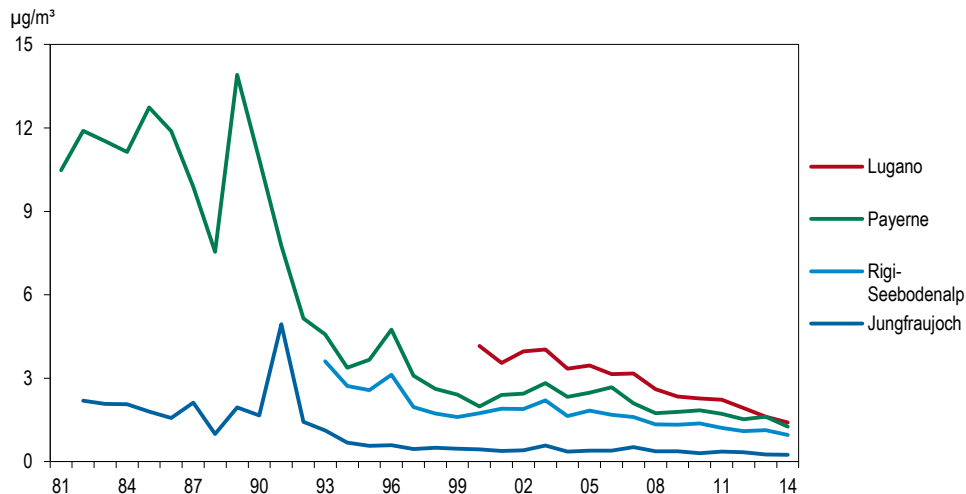
An vier Stationen wird täglich der Sulfatgehalt (SO₄²⁻) im Feinstaub bestimmt. Bis 2010 wurde das partikelgebundene Sulfat gemessen, indem während 24 Stunden ein bekanntes Probevolumen durch einen Zellulosefilter gesaugt wurde. Sulfat ist zum grössten Teil in Partikeln, die kleiner als 10 µm sind, enthalten. 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).

Sulfatbestimmungen auf PM10-Filtern

Tab. 10 > Schwefel und Sulfatgehalt in PM10, Jahresstatistik 2014

Standorttyp	Station	Schwefel im PM10		Sulfatgehalt in PM10	
		Jahresmittelwert µg/m³	max. 24h-Mittelwert µg/m³	Jahresmittelwert µg/m³	Anteil Sulfat in PM10 %
Städtisch	Lugano-Universität	0,47	1,7	1,41	9,6
Ländlich, < 1000 m	Payerne	0,42	2,2	1,26	10,7
Ländlich, > 1000 m	Rigi-Seebodenalp	0,32	2,5	0,96	13,7
Hochgebirge	Jungfrauoch	0,08	0,4	0,24	13,0

Abb. 23 > Sulfat im PM10, Jahresmittelwerte 1981–2014



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. 23) ist nicht nur auf den Rückgang der Schwefeldioxid-Emissionen in der Schweiz, sondern im ganzen mitteleuropäischen Raum zurückzuführen. Die hohen Sulfatwerte auf dem Jungfrauoch 1991 sind wahrscheinlich auf den Ausbruch des Vulkans Pinatubo zurückzuführen. Auch der Ausbruch des Eyjafjallajökull im Jahr 2010 führte zu kurzzeitig erhöhten Werten von Schwefeldioxid.

Homogene räumliche Verteilung

In der Tab. 10 sind die Messwerte des Jahres 2014 unter der Annahme angegeben, dass der Schwefel vollständig als Sulfat vorliegt. Aus dem Vergleich mit den PM10-Werten kann abgeleitet werden, dass heute noch immer 9–13 % des PM10 als Sulfat vorliegt. Dieser Wert ist zwar wesentlich niedriger als Mitte der 80er Jahre, als in Payerne und Jungfrauoch der Sulfatanteil im TSP 30–35 % betrug, er ist aber noch keineswegs vernachlässigbar gering. Die sekundären Komponenten Sulfat, Nitrat und Ammonium (siehe auch Kap.12) tragen einen wesentlichen Anteil zur PM10-Belastung bei.

Schätzung Schwefelgehalt im PM10

4.7 Bewertung

Der Tagesgrenzwert für den lungengängigen Feinstaub (PM10) wurde 2014 in städtischen und in verkehrsbelasteten Gebieten überschritten. Die übermässige Feinstaubbelastung stellt ein erhöhtes Risiko für die menschliche Gesundheit dar. Die Überschreitung der Grenzwerte ist zudem ein klares Signal, dass die Feinstaubbelastung gesenkt werden muss. Um dieses Ziel zu erreichen, ist die bisherige schweizerische Luftreinhalte-Politik konsequent weiter zu führen. Mit den bisher getroffenen und eingeleiteten Massnahmen, beispielsweise mit der Verschärfung der Abgasvorschriften für Motor-

PM10-Grenzwerte in Städten deutlich überschritten

fahrzeuge (in Abstimmung mit der EU) oder strengeren Emissionsvorschriften für stationäre Anlagen, wird auch die Feinstaubbelastung reduziert.

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

Massnahmen auf lokaler bis internationaler Ebene erforderlich

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

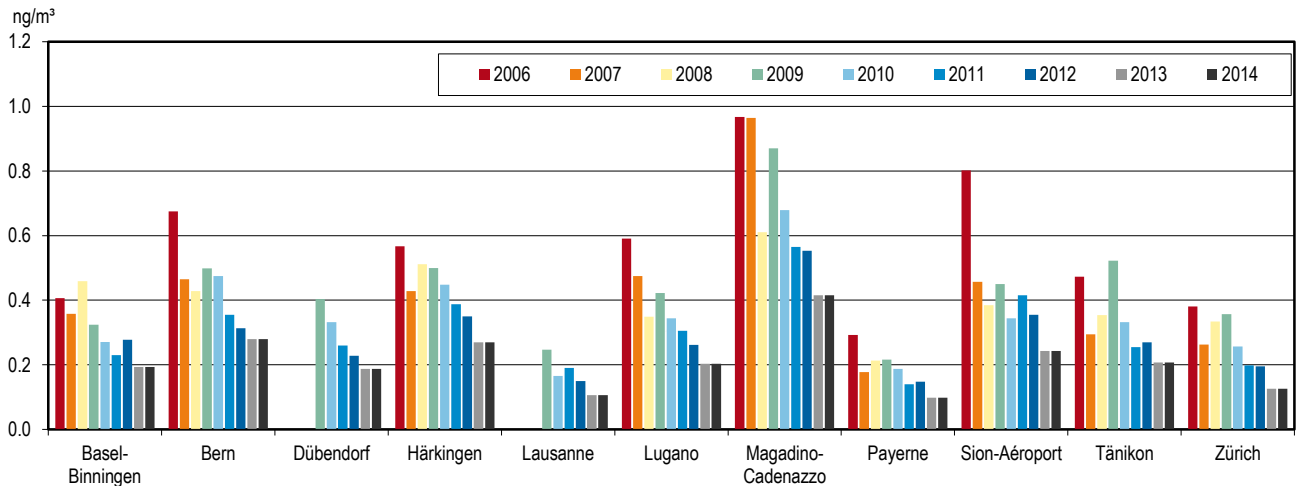
Russpartikel minimieren

4.8

Benzo(a)pyren im Feinstaub

Feinstaub, wie er in der Aussenluft über der Schweiz gemessen wird, besteht aus einer Vielzahl unterschiedlicher chemischer Komponenten. Als besonders gefährlich für die menschliche Gesundheit eingestuft werden unter anderem Schwermetalle (siehe Kapitel 10) und gewisse polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe wie das Benzo(a)pyren. In der europäischen Union wurde in der Richtlinie 2004/107/EG vom 15. Dezember 2004 ein Zielwert für das krebserregende Benzo(a)pyren von 1 ng/m^3 im PM10 festgelegt. Um einen Überblick über die in der Schweiz auftretenden Immissionskonzentrationen von Benzo(a)pyren im PM10 zu erhalten, werden seit 2006 Filterproben einiger NABEL-Stationen untersucht. Abb. 24 zeigt die Jahresmittel der Benzo(a)pyren-Konzentrationen für die Jahre 2006 bis 2014. An allen Standorten waren die Immissionen im Jahr 2014 tiefer als im Jahr 2006, was parallel verläuft mit der ebenfalls tieferen PM10-Belastung im Jahr 2014. 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 0.42 ng/m^3) gemessen. Noch höhere Konzentrationen wurden an kantonalen Messstationen in Dörfern mit vielen Holzheizungen gemessen (Empa-Bericht: Polyaromatische Kohlenwasserstoffe im PM10 an ausgewählten Stationen des NABEL sowie kantonalen Stationen Messbericht 2014). 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. 24 > Jahresmittelwerte der Konzentration von Benzo(a)pyren im PM10



4.9

Russgehalt im Feinstaub

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

Der Begriff Russ umfasst alle primären, kohlenstoffhaltigen Partikel eines unvollständigen Verbrennungsprozesses. Er besteht vor allem aus elementarem (schwarzem) Kohlenstoff (elemental carbon, EC) und organischen Verbindungen, die als organischer Kohlenstoff (organic carbon, OC) gemessen werden. In Immissionsmessungen wird oft der elementare Kohlenstoff allein als Russ bezeichnet. Die Abgrenzung von EC zu organischen Kohlenstoffverbindungen ist allerdings nicht exakt definiert und wird durch die Messmethode beeinflusst. Im Rahmen des Europäischen Komitees für Normierung CEN (TC264 WG35) wurde ein Referenzverfahren zur Messung von elementarem Kohlenstoff festgelegt, 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. 11 zeigt eine Übersicht der Russ-Messwerte des Jahres 2014. Abb. 25 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.

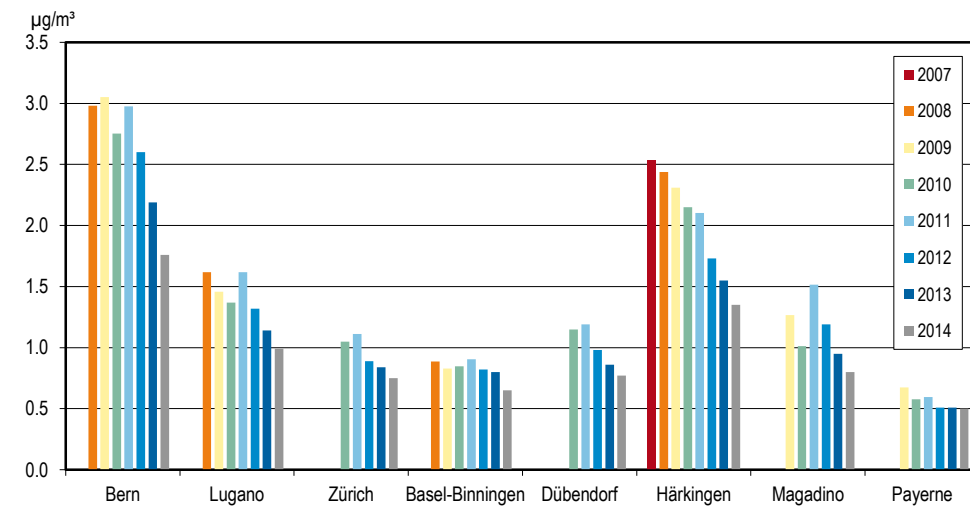
Messung von Russ

Dort bildet der Russ auch einen wesentlich grösseren Anteil an der Massenkonzentration PM2.5 als an den anderen Standorten.

Tab. 11 > Russ im PM2.5 als EC gemäss TOT/EUSAAR-2 Verfahren, Jahresstatistik 2014

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert µg/m³	Maximaler Tagesmittelwert µg/m³	Anteil Russ am PM2.5 %
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	1,8	3,6	14%
Städtisch	Lugano-Universität	1,0	3,1	9%
	Zürich-Kaserne	0,8	2,7	7%
Vorstädtisch	Basel-Binningen	0,7	2,0	7%
	Dübendorf-Empa	0,8	2,8	8%
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	1,4	3,5	13%
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	0,8	3,3	8%
	Payerne	0,5	1,9	6%

Abb. 25 > Jahresmittelwerte der Russkonzentration im PM2.5 gemäss TOT/EUSAAR-2 Verfahren



5 > Ozon

5.1 Entstehung und Charakterisierung

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

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

Ozonloch
- > Ein ganz anderes Problem sind die während des Sommers auftretenden übermäßigen Konzentrationen von bodennahem Ozon. Das bodennahe Ozon ist unerwünscht, da es wegen seiner Aggressivität und Giftigkeit den Menschen und die Umwelt direkt schädigen kann. Die übermäßigen Konzentrationen von bodennahem Ozon werden vor allem durch die anthropogenen Emissionen von Stickoxiden (NO_x) und flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) verursacht.

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

Treibhausgas

Zu Beginn des letzten Jahrhunderts lag die Ozonbelastung am Erdboden in der Größenordnung von 15 ppb (30 µg/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 hauptsächliche Quelle für dieses natürliche Ozon ist der Transport von Ozon aus der Stratosphäre in die Troposphäre. Daneben kommt als weitere Quelle eine photochemische Bildung auf Grund der natürlichen Emissionen von Stickoxiden, flüchtigen organischen Verbindungen, Kohlenmonoxid und Methan in Frage. Die heute in der freien Troposphäre zu beobachtenden Ozonkonzentrationen, die oft als Ozon-Hintergrundbelastung bezeichnet werden, liegen um mindestens einen Faktor 2 über diesem Niveau. Diese Hintergrundbelastung darf nicht mit dem natürlichen Ozongehalt der Atmosphäre verwechselt werden.

Natürliche Ozonbelastung

Das anthropogene Ozon in der 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 sekundärer Schadstoff

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

Ozon als Reizgas

5.2 Zeitliche Entwicklung

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

Trends der Spitzenwerte sind von Interesse

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

In der Abb. 26 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-

Ozontrends seit den 90er-Jahre

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

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

Quantile der Ozonverteilung

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

**Hohe Ozonwerte rückläufig,
Mittelwerte ansteigend**

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

**Zunahme der Ozonmittelwerte in
Städten**

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

**Zunahme der Ozonmittelwerte in
erhöhten Lagen**

Die Trends, wie sie in den Abb. 26 dokumentiert sind, stimmen gut mit der theoretisch zu erwartenden Ozonentwicklungen überein, wie sie in Ozonmodellen berechnet werden. Zwischen 1990 und 2014 haben die gesamtschweizerischen NO_x -Emissionen um 50% und die NMVOC-Emissionen um 70% abgenommen. Dies verhinderte trotz anwachsender mittlerer Ozonbelastung ein Ansteigen der Ozonmaxima. Die hohen Ozonwerte nahmen sogar an einigen Stationen ab. Dies bestätigen Resultate von Modellrechnungen, welche für Emissionsminderungen von NO_x und NMVOC eine Abnahme der Ozonmaxima, aber kaum eine Änderung des Mittelwertes, voraussagen,

**Trends stimmen mit Aussagen
von Ozonmodellen überein**

In den Abb. 27 und Abb. 28 sind die beiden Zeitreihen dargestellt, die sich auf die Grenzwerte der LRV beziehen. Ausser an den Verkehrsstandorten ist eine leichte Abnahme ersichtlich. Die lang anhaltenden Schönwetterperioden des Jahres 2003 bewirkten zahlreiche Überschreitungen des Immissionsgrenzwerts, aber nur leicht erhöhte 98%-Werte.

Abb. 26 > 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).

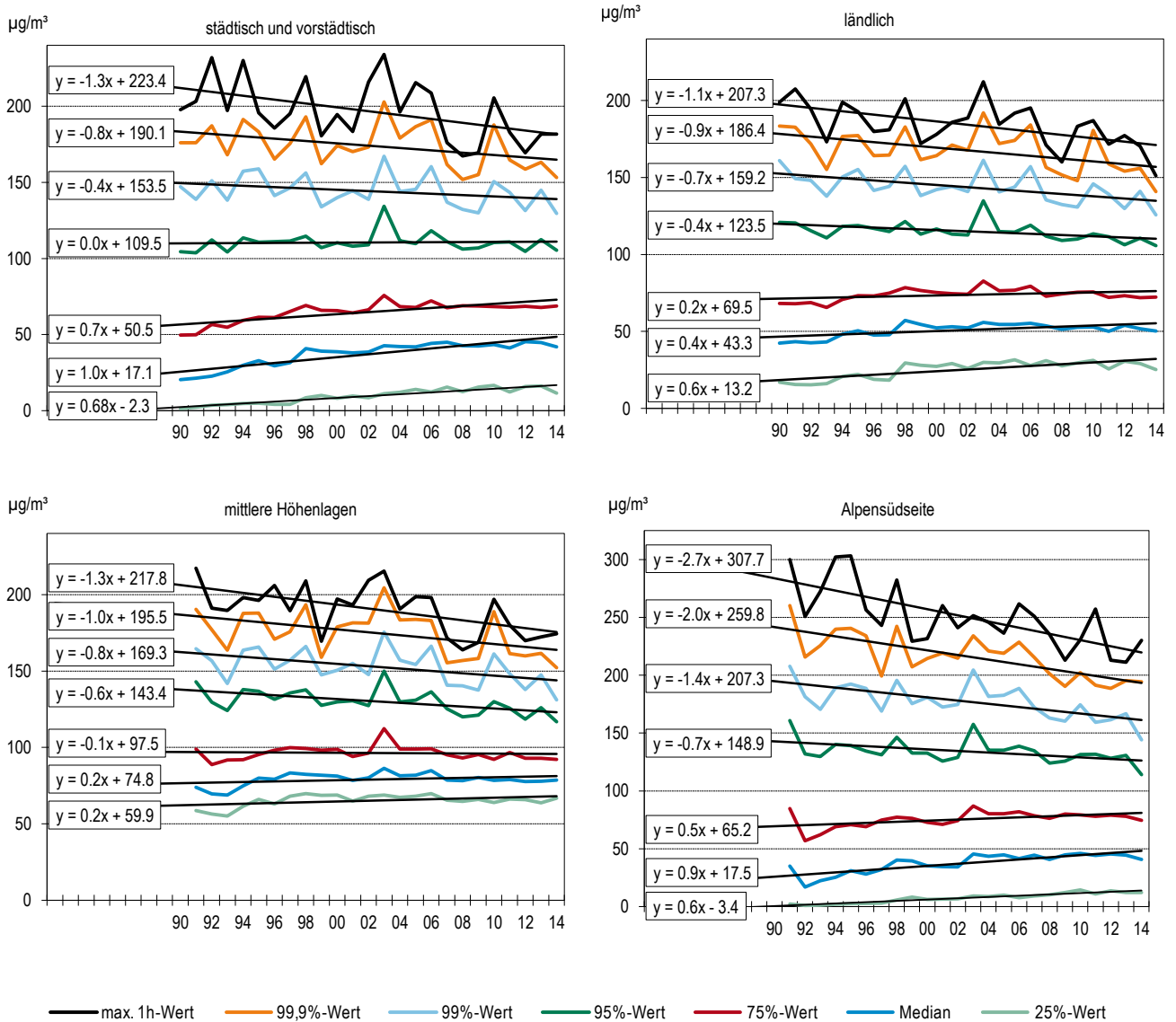
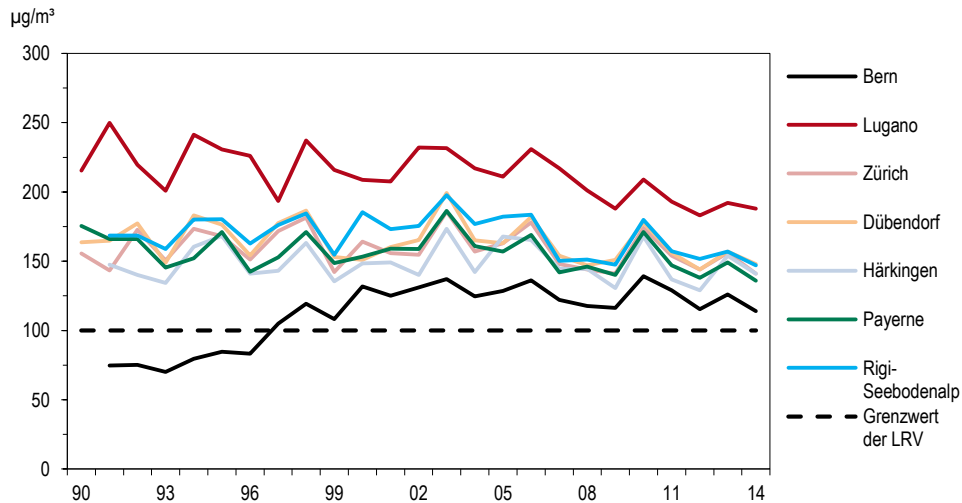
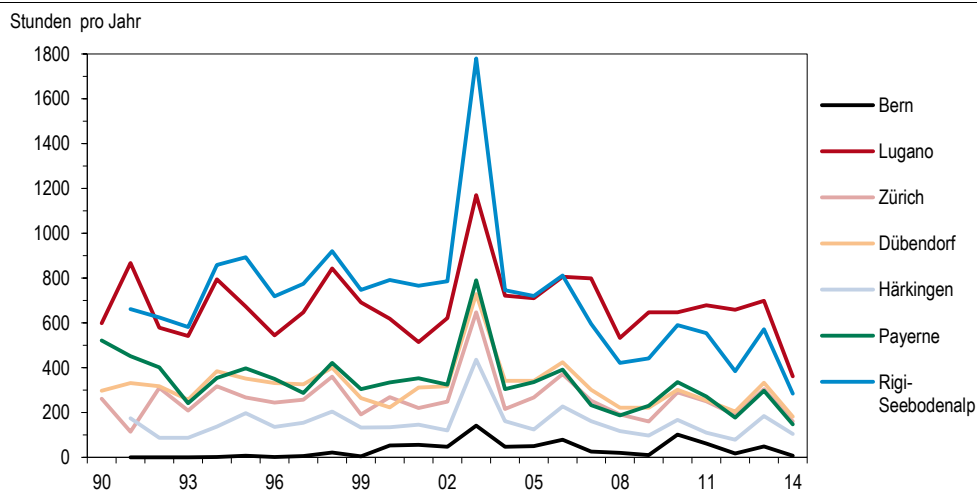


Abb. 27 > Ozon, 98%-Werte des ozonreichsten Sommermonats 1990–2014

Abb. 28 > Ozon, Anzahl Überschreitungen des 1h-Immissionsgrenzwertes 1990–2014


5.3

Situation 2014

Die Jahresstatistik 2014 (Tab. 12) 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 Juni bis August.

Grenzwerte an allen Stationen überschritten

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

Ozonabbau an strassennahen Standorten

Tab. 12 > Ozon (O₃), Jahresstatistik 2014

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert µg/m ³	max. 98 %-Wert µg/m ³	max. Stundenmittelwert µg/m ³	Anz. Grenzwertüberschreitungen (1h-Wert)	Anzahl Tage mit max. 1h-Mittelwert			max. 8h-Mittelwert µg/m ³	Anzahl Tage mit max. 8h-Mittelwert	
						> 120 µg/m ³	> 180 µg/m ³	> 240 µg/m ³		> 100 µg/m ³	> 120 µg/m ³
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	34	114	139	7	2	0	0	120	19	1
	Lausanne-César-Roux	42	123	145	28	10	0	0	124	24	3
Städtisch	Lugano-Università	48	188	264	362	66	7	1	210	95	36
	Zürich-Kaserne	44	141	191	160	33	1	0	153	60	19
Vorstädtisch	Basel-Binningen	47	151	172	203	39	0	0	152	65	21
	Dübendorf-Empa	42	148	183	182	37	1	0	154	63	20
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	35	141	164	104	24	0	0	145	47	11
	Sion-Aéroport-A9	41	126	142	51	15	0	0	131	44	4
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	45	162	196	254	62	4	0	165	100	21
	Payeme	51	136	151	147	34	0	0	142	74	14
	Tänikon	50	139	151	152	33	0	0	140	63	18
	Lägeren	64	145	163	297	45	0	0	150	92	34
Ländlich, oberhalb 1000 m	Chaumont	80	143	162	327	44	0	0	149	102	34
	Rigi-Seebodenalp	78	147	187	285	46	1	0	160	101	33
	Davos-Seehornwald	66	108	120	0	0	0	0	112	27	0
Hochgebirge	Jungfrauoch	74	104	132	4	1	0	0	119	13	0
<i>LRV-Immissionsgrenzwert</i>			100	120	1						

1) Die Umrechnung von ppb und µg/m³ und ppm in mg/m³ erfolgt für die Stationen Davos-Seehornwald und Jungfrauoch mit standortabhängigen Faktoren (Anhang A5).

5.4 Ozon Jahresgang

Ozon zeigt einen typischen Jahresgang, der sich grundlegend von den meisten anderen Schadstoffen unterscheidet (Abb. 29 und Abb. 30). Im Sommer werden bedeutend höhere Konzentrationen gemessen als im Winter. Die Darstellung der Monatsmittelwerte (Abb. 29) 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). Dort ist der Ozonabbau durch andere Schadstoffe gering und die starke Sonneneinstrahlung begünstigt die Ozonbildung.

Höchste Monatsmittelwerte an Stationen in mittlerer Höhenlage

Der Monat Juni hatte ausserordentlich viele Sonnenstunden und wies entsprechend hohe Ozonwerte auf (Abb. 29).

Hohe Ozonwerte im Juni

Abb. 29 > Ozon (O₃), Monatsmittelwerte 2014

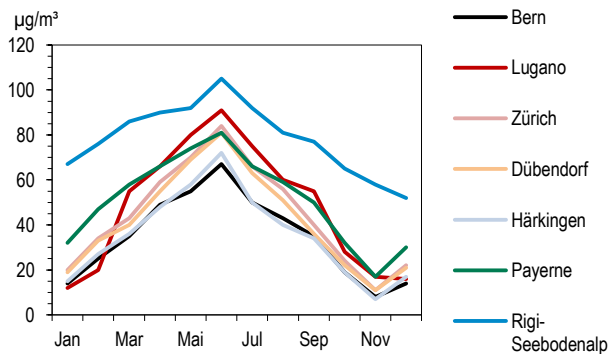
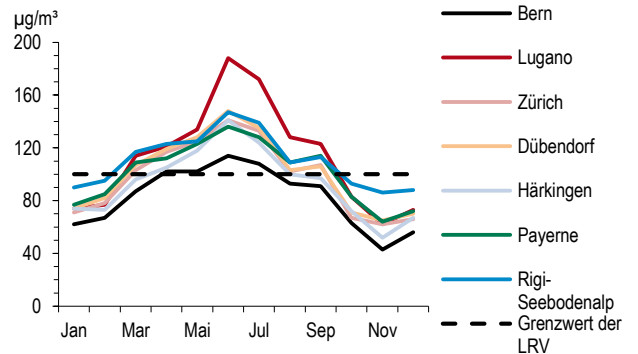


Abb. 30 > Ozon (O₃), monatliche 98 %-Werte 2014



5.5 Bewertung

Die übermässigen Ozonimmissionen stellen ein Lufthygieneproblem von grösserräumigem Ausmass dar, mit entsprechend weitreichenden Folgen. Ursache dieser Ozonimmissionen ist die zu hohe Belastung der Luft durch die anthropogen bedingten Vorläufersubstanzen, das Stickstoffdioxid (NO₂) und die flüchtigen organischen Verbindungen (VOC). Das Sommersmogproblem lässt sich nur durch eine massive Verminderung dieser Vorläuferschadstoffe lösen.

Lösung des Ozon-Problems erfordert massive Reduktion der Vorläuferschadstoffe

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

Dauerhaft wirksame Massnahmen notwendig

6 > Flüchtige organische Verbindungen

6.1 Entstehung und Charakterisierung

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

Gruppe der VOC umfasst Vielzahl von Substanzen

Kohlenwasserstoffe

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

Eigenschaften

Der einfachste Kohlenwasserstoff, der zudem in der Atmosphäre in grösseren Mengen vorkommt, ist das Methan (CH₄). Wegen seiner relativen Häufigkeit und der von anderen VOC verschiedenen atmosphärischen Wirkung wird das Methan in der Regel separat betrachtet und von den übrigen Kohlenwasserstoffen abgetrennt. Man spricht in diesem Zusammenhang Nichtmethan-VOC (NMVOC).

Methan

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

Vorläufer für Ozonbildung

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

Wirkungen

6.2 VOC-Summenmessung

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

Die Immissionsentwicklung seit 1986 (Abb. 31) ist für die Erfolgskontrolle von speziellem Interesse. Beide Stationen mit langen Messreihen zeigen eine Abnahme um rund 72 % seit Ende der 80er Jahre. In Tab. 13 sind die wichtigsten Messwerte des Jahres 2014 zusammengestellt.

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

Messtechnik

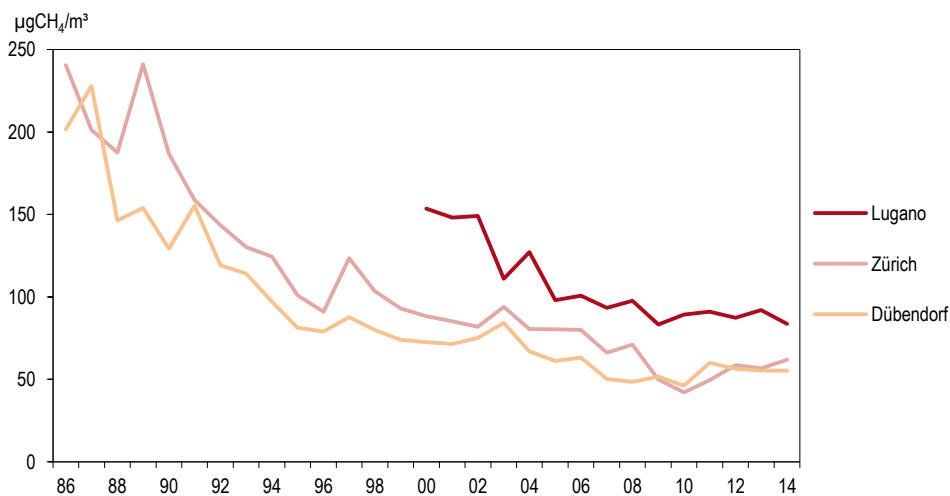
Reduktion der Belastung um rund 3/4 in den letzten 20 Jahren

Höhere Werte im Tessin

Tab. 13 > Nichtmethan-VOC (ausgedrückt als Methanäquivalent), Jahresstatistik 2014

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert $\mu\text{gCH}_4/\text{m}^3$	95 %-Wert $\mu\text{gCH}_4/\text{m}^3$	max. 24h-Mittelwert $\mu\text{gCH}_4/\text{m}^3$
Städtisch	Lugano-Universität	84	162	202
	Zürich-Kaserne	62	141	198
Vorstädtisch	Dübendorf-Empa	55	137	304

Abb. 31 > Nichtmethan-VOC (ausgedrückt als Methanäquivalent), Jahresmittelwerte 1986–2014



6.3

Aromatische Verbindungen

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

In Tab. 14 sind die Jahresmittel aller C₆–C₈-Aromaten der Stationen Bern-Bollwerk, Zürich, Dübendorf und Rigi-Seebodenalp zusammengestellt. An der verkehrsbelasteten Station Bern-Bollwerk werden die höchsten Aromaten-Konzentrationen gemessen. Ländlich, über 1000 m, sind die Konzentrationen erheblich geringer als in der Region Zürich.

Tab. 14 > Aromatische Verbindungen, Jahresmittel 2014

	Benzol µg/m ³	Toluol µg/m ³	Ethylbenzol µg/m ³	m/p-Xylol µg/m ³	o-Xylol µg/m ³
Bern-Bollwerk	1,21	3,61	0,55	2,22	0,69
Zürich-Kaserne	0,72	2,83	0,52	1,9	0,73
Dübendorf-Empa	0,63	2,54			
Rigi-Seebodenalp	0,3	0,39	0,06	0,15	0,06

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

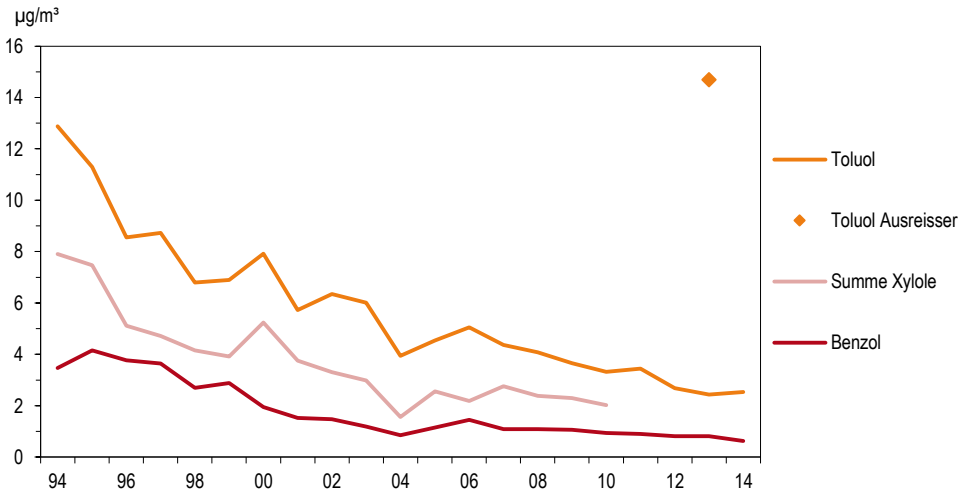
Die Konzentration von Toluol hat seit 1994 deutlich abgenommen (Abb. 32). Die Benzolwerte sind zwischen 1994 und 1999 nur wenig zurückgegangen. Zwischen 1999 und 2001 wurde dagegen ein deutlicher Rückgang beobachtet. Dieses Verhalten wurde auch an kantonalen Stationen beobachtet, die zum grossen Teil mit Passivsammlern messen. Der Rückgang zwischen 1999 und 2001 betrug im Mittel über 9 Stationen 30%. Die stärkste Abnahme wurde an strassennahen Standorten beobachtet. Die Hauptursache dieses Rückgangs ist die Reduktion des Benzolgehalts im Benzin.

Benzol, Toluol und Xylol als wichtigste aromatische Verbindungen

Deutliche Abnahme der Benzolbelastung zwischen 1999 und 2001

Abb. 32 > Aromatische Verbindungen, Jahresmittelwerte 1994–2014, Dübendorf

Beim Toluol traten im Jahre 2013 starke lokale Verschmutzungen auf. Die Linie zeigt den Verlauf mit dem korrigierten Jahreswert 2013.



6.4

Gesättigte und ungesättigte Kohlenwasserstoffe

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

Ungesättigte Kohlenwasserstoffe
wichtig für Ozonbildung

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

Hauptemittenten

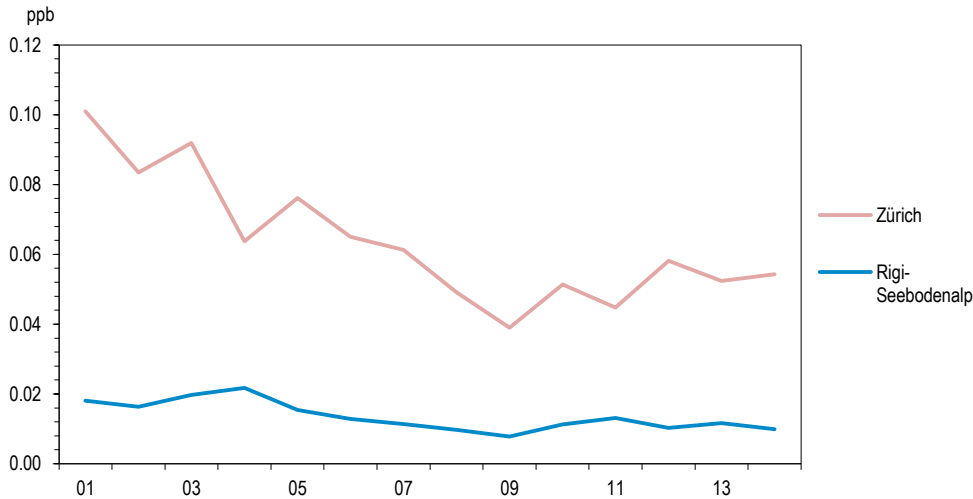
Die VOC-Messungen sind verknüpft mit einem europäischen Programm, das Daten für die Kalibrierung des europäischen EMEP-Modells bereitstellt. Seit 2001 werden VOC-Komponenten in Zürich und auf Rigi-Seebodenalp gemessen (siehe Anhang B).

Messungen

Humantoxikologisch ist das krebserregende 1,3-Butadien von Bedeutung. Abb. 33 zeigt die seit 2001 im NABEL gemessenen Konzentrationen. In der Stadt Zürich ist die Konzentration zwischen 2001 und 2014 fast auf die Hälfte gesunken, vermutlich als Folge der verbesserten Motorentechnik und Abgasreinigung bei Fahrzeugen.

1,3-Butadien

Abb. 33 > 1,3-Butadien, Jahresmittelwerte 2001–2014



6.5 Halogenierte Verbindungen

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

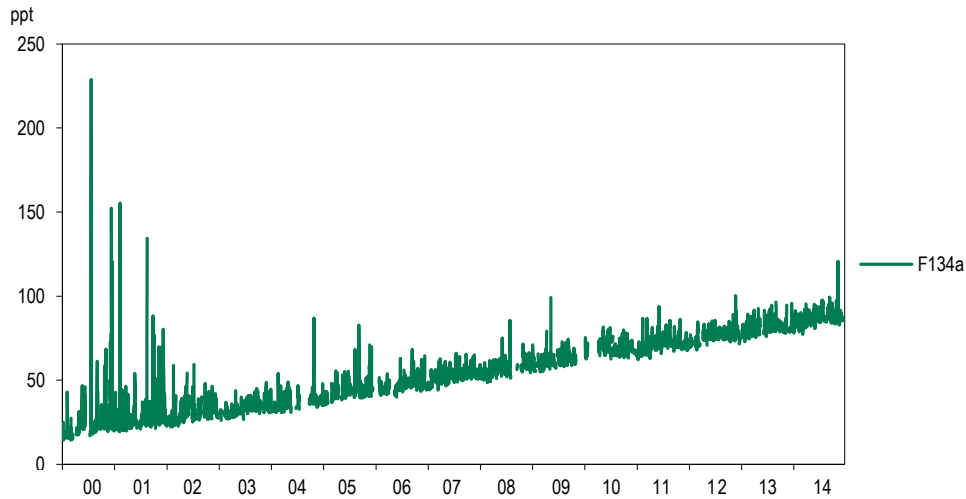
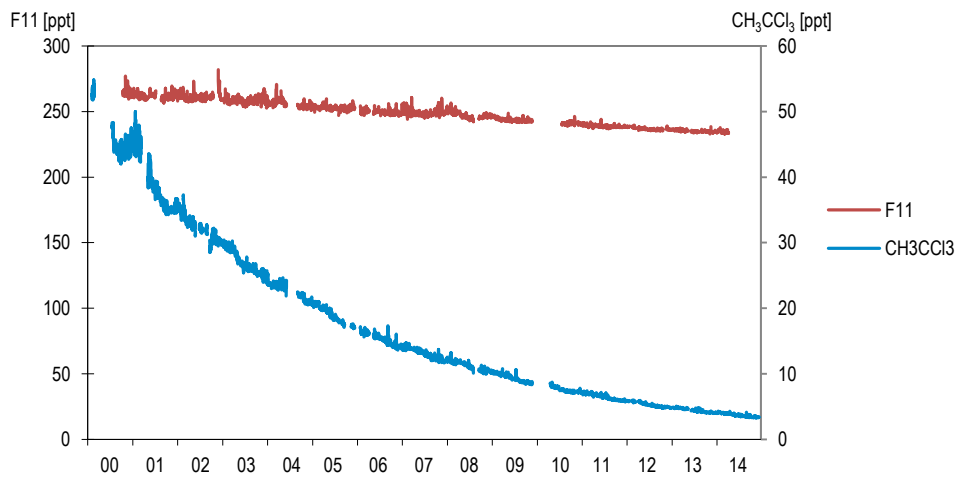
Bedeutung in der Atmosphäre

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

Messungen an NABEL-Stationen

Einige Beispiele für die auf dem Jungfraujoch gemessenen Konzentrationen von halogenierten Verbindungen sind in Abb. 34 und Abb. 35 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. 34).

Erlaubte Substanz F134a

Abb. 34 > F134a, Tagesmittelwerte 2000 bis 2014 auf dem Jungfrauojoch**Abb. 35** > 1,1,1-Trichlorethan und F11: Tagesmittelwerte von 2000 bis 2014 auf dem Jungfrauojoch

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 Hintergrundkonzentration seit 2000 wenig abgenommen (Abb. 35). Es werden keine ausgeprägten Konzentrationsspitzen gemessen, was darauf hindeutet, dass in Europa keine Quellen von F11 vorhanden sind.

Verbotene langlebige Substanz
F11

Das als Lösungsmittel verwendete 1,1,1-Trichlorethan (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. 35).

Verbotene kurzlebige Substanz
1,1,1-Trichlorethan

6.6 Bewertung

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

Weitere Emissionsminderungen
notwendig

7 > Schwefeldioxid

7.1 Entstehung und Charakterisierung

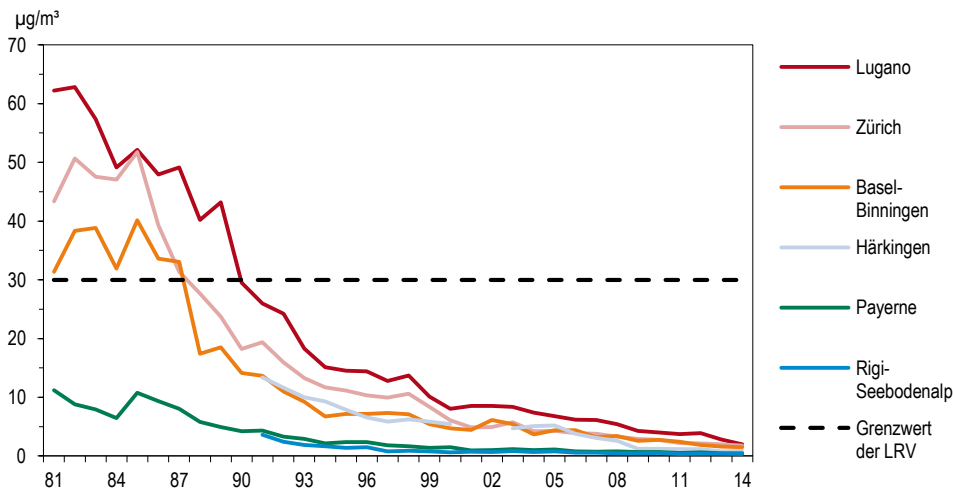
Schwefeldioxid ist ein farbloses, in höheren Konzentrationen stechend riechendes, gut wasserlösliches Reizgas. Es entsteht vor allem beim Verbrennen schwefelhaltiger Brenn- und Treibstoffe. Das Maximum der Schwefeldioxidemissionen wurde 1980 erreicht. Die Emissionen sind seither auf weniger als ein Sechstel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

Emission seit 1980 auf ein Sechstel zurückgegangen

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

7.2 Zeitliche Entwicklung

Abb. 36 > Schwefeldioxid (SO_2), Jahresmittelwerte 1981–2014



Die Schwefeldioxid-Belastung nahm zwischen 1985 und 1994 sehr stark ab (Abb. 36). Seit Mitte der 90er-Jahre ist die Abnahme geringer. Die SO₂-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 Jungfrauoch war die Belastung deutlich rückläufig. Seit Mitte der 80er-Jahre hat die SO₂-Belastung an allen Stationen um über 90 % abgenommen.

Abnahme der Immissionen
um über 90 %

7.3 **Situation 2014**

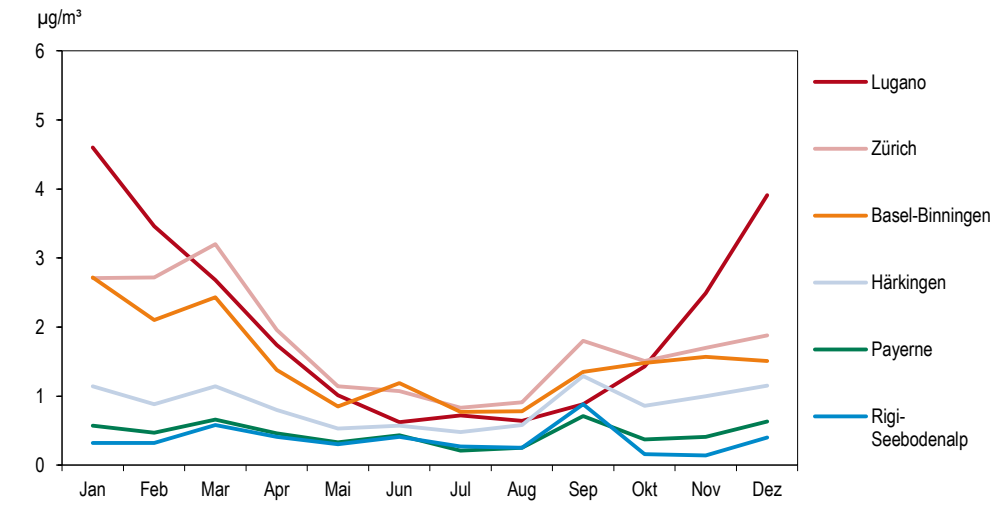
Die SO₂-Messergebnisse des Jahres 2014 sind in der Tab. 15 zusammengestellt. Im NABEL sind keine Überschreitungen des Jahresgrenzwertes aufgetreten. Der 95 %-Wert als Mass für die Kurzzeitbelastung lag ebenfalls bei allen Stationen deutlich unter dem Grenzwert von 100 µg/m³. Dasselbe gilt für die höchsten Tagesmittelwerte.

Generell tiefe Belastung

Tab. 15 > Schwefeldioxid (SO₂), Jahresstatistik 2014

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert µg/m ³	95 %-Wert µg/m ³	max. 24h-Mittelwert µg/m ³	Anzahl Grenzwert- überschreitungen 24h-Mittelwert
Städtisch	Lugano-Universität	2,0	6	7	0
	Zürich-Kasernen	1,8	5	18	0
Vorstädtisch	Basel-Binningen	1,5	5	8	0
	Dübendorf-Empa	1,2	4	12	0
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	<1	2	17	0
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	1,4	4	6	0
	Payerne	<1	1	9	0
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	<1	<1	19	0
Hochgebirge	Jungfrauoch	<1	<1	2	0
<i>LRV-Immissionsgrenzwert</i>		30	100	100	1

Da die SO₂-Belastung nun seit Jahren weit unter den Grenzwerten liegt, wurde das SO₂-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. 37 > Schwefeldioxid (SO₂), Monatsmittelwerte 2014

Die Abb. 37 zeigt mittlere Jahresgänge an 5 Stationen. Charakteristisch für die Immissionsbelastung durch Schwefeldioxid ist der ausgeprägte Jahresgang. Im Winter – d. h. während der Heizperiode und bei ungünstigeren atmosphärischen Ausbreitungsbedingungen (z. B. Inversionslagen) – werden bedeutend höhere Konzentrationen gemessen als im Sommer. Dieser Jahresgang ist in den Städten besonders ausgeprägt, an den ländlichen Stationen ist er kaum mehr zu erkennen. Im Weiteren weist die Abbildung auf den grossen Stadt-Land Gegensatz im Winter hin.

7.4 Bewertung

Beim Schadstoff Schwefeldioxid wurden 2014 sowohl der Langzeitgrenzwert wie die Kurzzeit-Immissionsgrenzwerte an allen NABEL-Stationen eingehalten.

Erfolg bestätigt Richtigkeit der Luftreinhaltestrategie

Die günstige Situation ist eine direkte Folge der in den 90er-Jahren bedeutend verringerten SO₂-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.

8.3 Situation 2014

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 0,42 mg/m³ die höchste Belastung (Tab. 16) 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.

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

Der Grenzwert für die Kohlenmonoxid-Belastung (Tagesmittelwert von 8 mg/m³) wird an keiner Station erreicht. Der höchste gemessene Tagesmittelwert betrug in Bern-Bollwerk 1,6 mg/m³. Die Werte der übrigen Stationen lagen noch tiefer.

Hohe Hintergrundbelastung

Grenzwerte deutlich eingehalten

Tab. 16 > Kohlenmonoxid (CO), Jahresstatistik 2014

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert mg/m ³	95 %-Wert mg/m ³	max. 24h-Mittelwert mg/m ³	Anzahl Grenzwert- überschreitungen 24h-Mittelwert
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	0,42	0,8	1,6	0
	Lausanne-César-Roux	0,40	0,7	0,7	0
Städtisch	Lugano-Universität	0,35	0,7	0,8	0
	Zürich-Kaserne	0,29	0,5	0,7	0
Vorstädtisch	Dübendorf-Empa	0,30	0,6	0,7	0
Ländlich, Autobahn	Härkingen_A1	0,31	0,6	0,6	0
Ländlich, unterhalb 1000 m	Payerne	0,22	0,4	0,5	0
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	0,17	0,3	0,5	0
Hochgebirge	Jungfrauoch	0,09	0,0	0,1	0
<i>LRV-Immissionsgrenzwert</i>				8,0	1

Abb. 39 > Kohlenmonoxid (CO), Monatsmittelwerte 2014

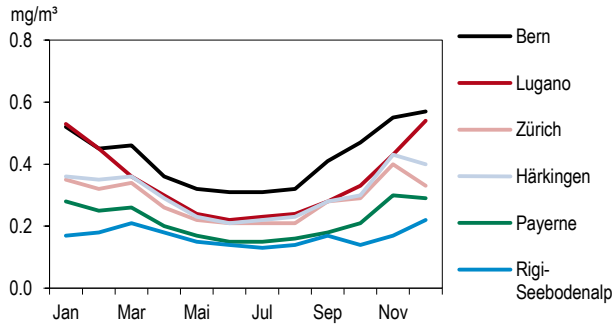
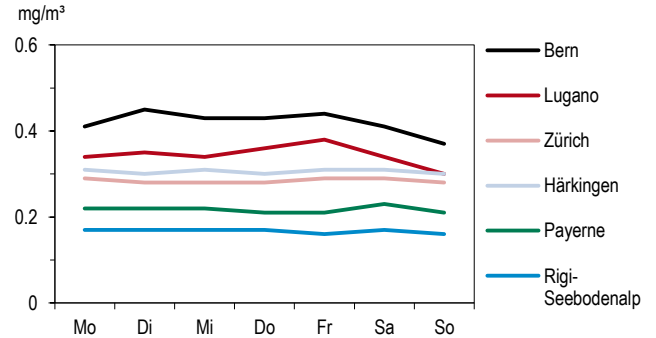


Abb. 40 > Kohlenmonoxid (CO), mittlerer Wochengang 2014



Der Jahresgang der Kohlenmonoxid-Belastung (Abb. 39) ist nur wenig ausgeprägt. Ähnliches gilt für den Wochengang (Abb. 40). 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 > Treibhausgase

Neben halogenierten Treibhausgasen (siehe Abschnitt 6.5) werden auf dem Jungfraujoch auch die am stärksten zu anthropogenen Klimaveränderungen beitragenden Treibhausgase Kohlendioxid, Methan und Lachgas gemessen (www.empa.ch/klimagase). Wegen der Langlebigkeit dieser Gase wird die auf dem Jungfraujoch gemessene Konzentration von Emissionen der ganzen Nordhemisphäre beeinflusst. Abb. 41 zeigt die Monatsmittel seit Messbeginn. Die Konzentrationen dieser drei Treibhausgase sind in den letzten Jahren angestiegen. Andere Verbindungen, die im NABEL gemessen werden, haben ebenfalls eine Bedeutung im Rahmen von Klimabeeinflussung, z.B. Russ, Ozon oder Sulfat.

Die Konzentration von Kohlendioxid (CO₂) zeigt einen ausgeprägten Jahresgang, welcher im Wesentlichen die Aufnahme von Kohlendioxid durch die Vegetation im Sommerhalbjahr widerspiegelt. Der beobachtete Anstieg stimmt mit dem Verhalten an anderen Hintergrundstationen der Nordhemisphäre überein.

Kohlendioxid

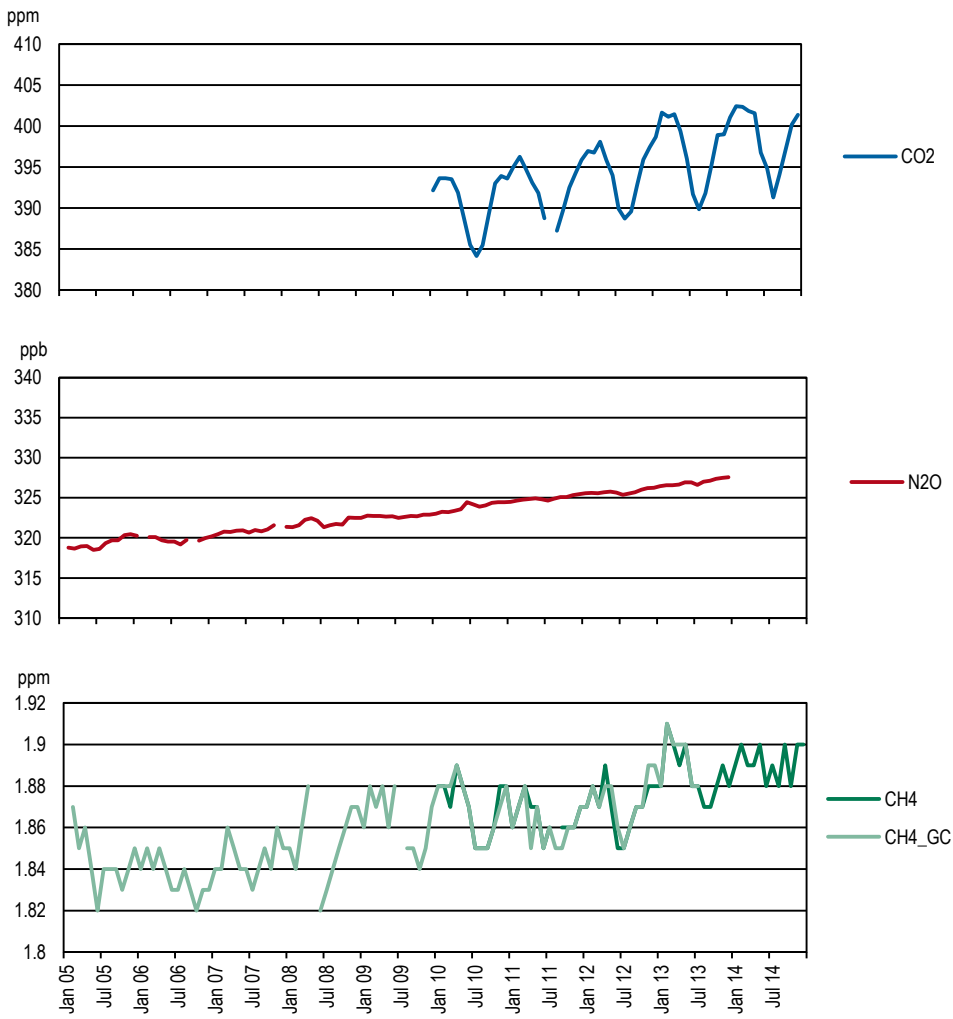
Methan (CH₄) ist der Hauptbestandteil von Erdgas und wird bei der Nutzung von Lagerstätten fossiler Energieträger freigesetzt. Eine wichtige Quelle ist auch die Landwirtschaft, insbesondere die Tierhaltung. Der Methangehalt der Atmosphäre steigt weiterhin an. Methan ist nicht nur ein Treibhausgas, sondern trägt auch wesentlich zur Ozonbildung in den oberen Schichten der Troposphäre bei.

Methan

Die Konzentration von Lachgas (Distickstoffmonoxid, N₂O) hat seit dem Messbeginn im Jahre 2005 fast drei Prozent zugenommen. Lachgas wird aus stark gedüngten Böden und bei Verbrennungsvorgängen freigesetzt.

Lachgas

Abb. 41 > Entwicklung der Konzentration verschiedener Treibhausgase auf dem Jungfraujoch, Monatsmittelwerte 2005 bis 2014



Methan (CH₄) wird mit zwei unterschiedlichen Geräten gemessen.

10 > Staubniederschlag

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. 42).

Staubniederschlag heute nicht mehr von grosser Bedeutung

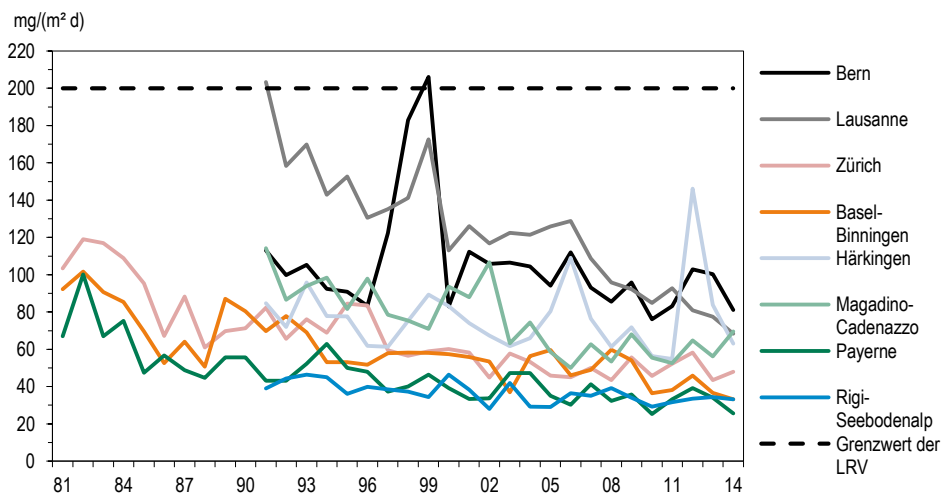
Die höchsten Staubniederschlagswerte werden an den verkehrsexponierten Standorten gemessen (Tab. 17, Abb. 42). Der höchste gemessene Jahresmittelwert (Bern-Bollwerk: 100 mg/(m² d)) liegt jedoch deutlich unterhalb des Grenzwertes. Auffallend ist die relativ hohe Belastung der Station Magadino-Cadenazzo.

Grenzwerte eingehalten

Tab. 17 > Staubniederschlag, Jahresstatistik 2014

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert mg/(m ² d)
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	81
	Lausanne-César-Roux	68
Städtisch	Zürich-Kaserne	48
Vorstädtisch	Basel-Binningen	33
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	63
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	70
	Payerne	26
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	33
LRV-Immissionsgrenzwert		200

Abb. 42 > Staubniederschlag, Jahresmittelwerte 1981–2014



11 > Schwermetalle im Feinstaub und im Staubniederschlag

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

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

Wirkungen von erhöhten Schwermetallwerten

11.1 Blei

Die grössten Emissionen von Blei stammten früher aus dem Motorfahrzeugverkehr. Seit den 70er-Jahren haben die Blei-Emissionen dank der Senkung des Bleigehalts im Super- und Normalbenzin stark abgenommen. Mit der Einführung unverbleiten 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.

Emissionen um den Faktor 20 zurückgegangen

Die Konzentrationen von Blei im Feinstaub sind seit 1988 an den meisten Standorten sehr stark zurückgegangen (Abb. 43). Dasselbe gilt für die Bleidepositionen im Staubniederschlag (Abb. 44). Die Bleibelastung hat seit 1991 im Mittel um rund 90% abgenommen. Die stark erhöhten Bleidepositionen der Jahre 1997–99 in Bern sind mit grosser Wahrscheinlichkeit auf einen sehr lokalen Effekt beim provisorischen Messstandort zurückzuführen.

Massiver Rückgang der Bleibelastung

Seit dem Ersatz der TSP- durch PM10-Grenzwerte am 1. März 1998 werden auch die Schwermetalle im PM10 bestimmt. In der revidierten Luftreinhalte-Verordnung ist der Grenzwert für Blei im PM10 mit 500 ng/m³ als Jahresmittelwert festgelegt worden. Vergleichsmessungen zwischen TSP und PM10 zeigen, dass das Blei praktisch vollständig in der PM10-Fraktion des Schwebstaubs enthalten ist. Die bisherigen Bleimessungen im TSP (Abb. 43) können somit mit einer geringfügigen Korrektur auch als Bleimessungen im PM10 interpretiert werden.

Abb. 43 > Blei im Feinstaub (PM10, vor 1997 TSP), Jahresmittelwerte 1988–2014 (Grenzwert: 500 ng/m³)

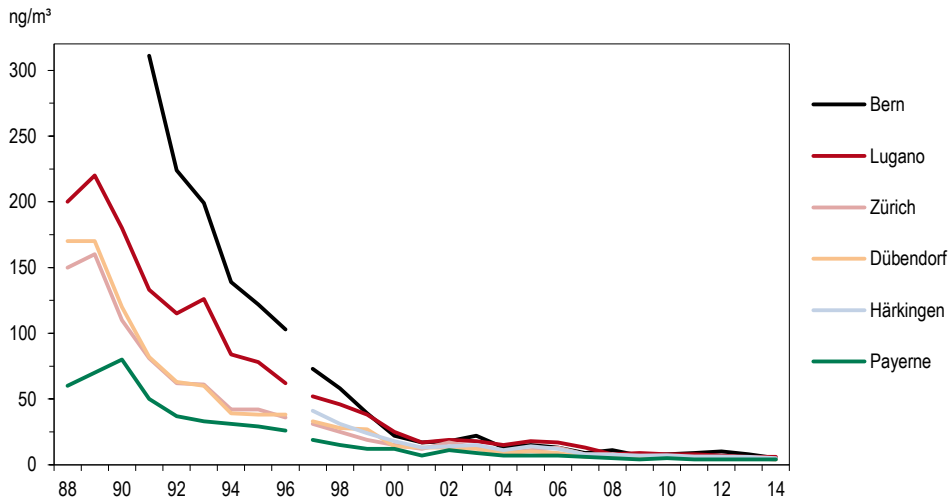
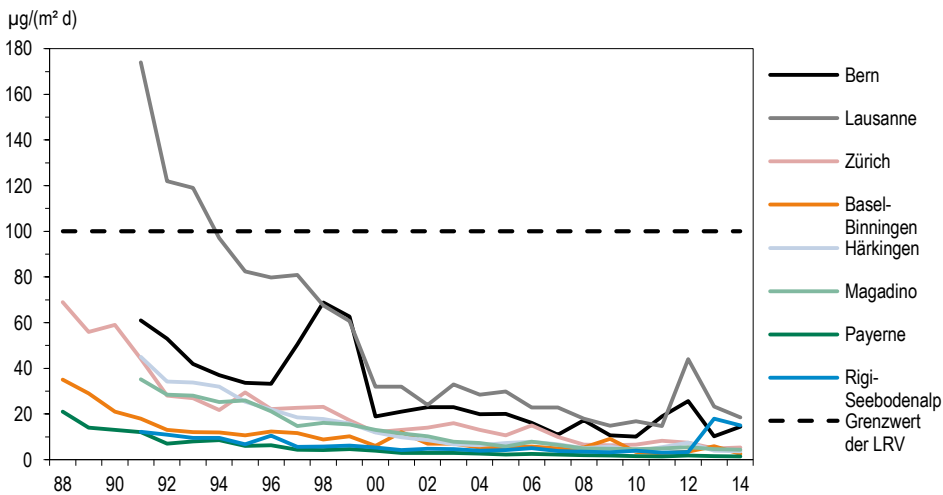


Abb. 44 > Blei im Staubbiederschlag, Jahresmittelwerte 1988–2014



Wie aus Tab. 18 ersichtlich ist, wird der Grenzwert von 500 ng/m³ für die Bleikonzentration im Feinstaub heute an allen Stationen weit unterschritten. Die Bleideposition im Staubbiederschlag (Tab. 19, Abb. 44) ist an den städtischen verkehrsexponierten Stationen am höchsten. Die maximal gemessenen Werte in Bern und Lausanne betragen 14 resp. 19 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 (1–5 µg/(m² d)).

Grenzwerte weit unterschritten

Tab. 18 > Schwermetalle im Feinstaub (PM10), Jahresstatistik 2014

Standorttyp	Station	Jahresmittelwerte				
		Blei ng/m ³	Cadmium ng/m ³	Arsen ng/m ³	Nickel ng/m ³	Kupfer ng/m ³
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	4,8	0,07	0,37	1,80	68,1
	Lausanne-César-Roux	3,9	0,05	0,36	0,80	33,3
Städtisch	Lugano-Universität	6,1	0,12	0,34	0,70	12,4
	Zürich-Kaserne	4,0	0,07	0,33	0,90	23,7
Vorstädtisch	Basel-Binningen	3,8	0,08	0,33	0,60	8,5
	Dübendorf_Empa	3,8	0,05	0,32	0,70	22,7
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	5,1	0,06	0,34	0,80	18,6
	Sion-Aéroport-A9	6,4	<0,05**	0,32	0,90	27,5
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	3,9	0,08	0,55	0,70	9,2
	Payerne	3,5	0,06	0,62	<0,5*	4,8
	Tänikon	3,2	0,05	0,28	<0,5*	5,8
Ländlich, oberhalb 1000 m	Chaumont	2,0	<0,05**	0,14	<0,5*	1,8
	Rigi-Seebodenalp	2,7	<0,05**	0,14	<0,5*	2,3
Hochgebirge	Jungfrauojoch	<0,5*	<0,05**	<0,1***	<0,5*	<0,5*
<i>LRV-Immissionsgrenzwert</i>		500	1,5			

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

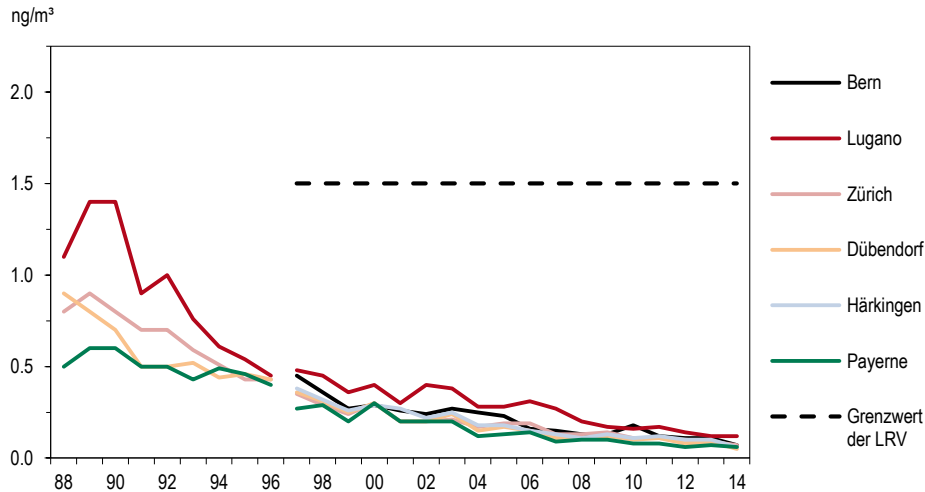
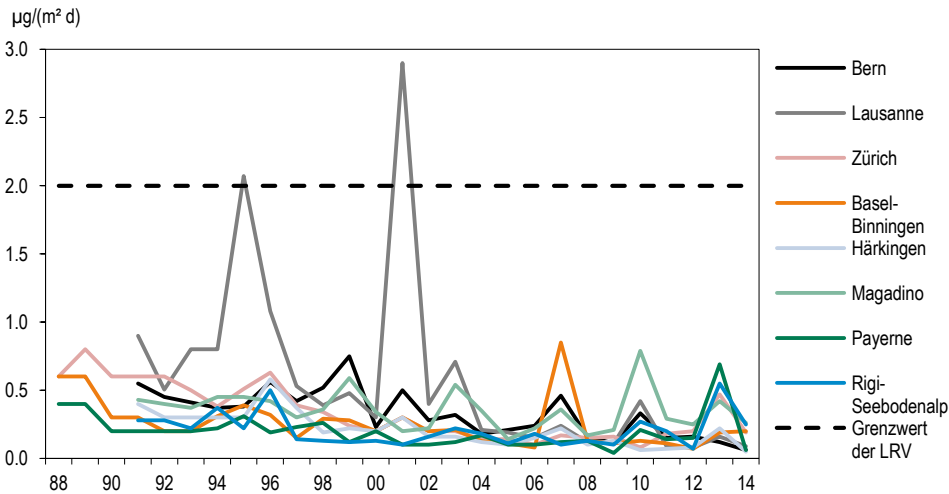
11.2 Cadmium

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

Quellen von Cadmium

Die Cadmiumbelastung im Feinstaub (Abb. 45) ist seit 1991 um rund 80% zurückgegangen. Die Cadmiumbelastung im Staubniederschlag (Abb. 46) ist ebenfalls um 40% bis 80% zurückgegangen. Die sehr hohen Cadmiumdepositionen in Lausanne in den Jahren 1995 und 2001 dürfen als Einzelereignisse, wahrscheinlich verursacht durch lokale Sanierungsarbeiten, erklärt werden.

Cadmiumbelastung reduziert

Abb. 45 > Cadmium im Feinstaub (PM10, vor 1997 TSP), Jahresmittelwerte 1988–2014**Abb. 46** > Cadmium im Staubbiederschlag, Jahresmittelwerte 1988–2014

Wegen des Wechsels von der TSP- zur PM10-Messung ist wie beim Blei auch beim Cadmium eine Grenzwertanpassung vorgenommen worden. In der revidierten Luftreinhalte-Verordnung ist der Grenzwert für Cadmium PM10 mit $1,5 \text{ ng/m}^3$ als Jahresmittelwert festgelegt worden. Aus Vergleichsmessungen zwischen TSP und PM10 kann abgeleitet werden, dass Cadmium vollständig in der PM10-Fraktion des Schwebstaubs enthalten ist. Die bisherigen Messungen im TSP (Abb. 45) können somit auch als Cadmiummessungen im PM10 interpretiert werden.

Die Zusammenstellung in der Tab. 18 zeigt, dass der Grenzwert für Cadmium im Feinstaub an allen Stationen deutlich eingehalten wird. Die Konzentrationen liegen an allen Stationen unter 0,4 ng/m³. Der Grenzwert für Cadmium im Staubbiederschlag (Tab. 19) ist ebenfalls an allen Stationen eingehalten.

Grenzwerte meist eingehalten

Tab. 19 > Schwermetalle im Staubbiederschlag, Jahresstatistik 2014

Standorttyp	Station	Jahresmittelwerte						
		Blei µg/(m ² d)	Cadmium µg/(m ² d)	Zink µg/(m ² d)	Thallium µg/(m ² d)	Arsen µg/(m ² d)	Nickel µg/(m ² d)	Kupfer µg/(m ² d)
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	14,4	0,06	230,7	0,019	0,49	4,35	90,0
	Lausanne-César-Roux	18,6	0,09	153,1	0,015	0,42	3,97	81,7
Städtisch	Zürich-Kaserne	5,3	0,19	44,8	0,012	0,39	2,05	35,8
Vorstädtisch	Basel-Binningen	2,6	0,20	17,1	0,009	0,23	1,20	8,2
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	3,7	0,05	55,4	0,013	0,48	2,15	12,4
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	4,3	0,26	23,0	0,026	0,66	3,28	10,6
	Payerne	1,4	0,06	11,3	0,009	0,20	0,82	3,5
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	3,0	0,25	15,0	0,012	0,23	1,30	5,1
LRV-Immissionsgrenzwert		100	2	400	2			

11.3 **Zink**

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

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

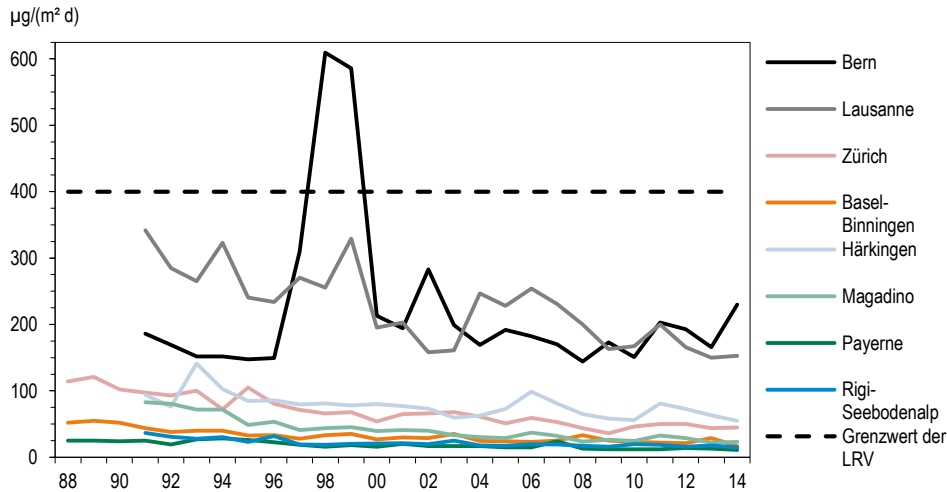
Quellen von Zink

Die Zinkdepositionen sind seit 1991 mit Ausnahme von Bern und Härkingen um 40–60 % zurückgegangen. Die höchsten Zinkdepositionen (Jahresmittelwerte) wurden im NABEL 2014 in Bern und Lausanne gemessen (Tab. 19 und Abb. 47). Der Reifen- und Strassenabrieb dürfte an diesen beiden Strassenstationen eine wesentliche Ursache der Zinkdepositionen sein.

Abnahme der Zinkdeposition um 40–60 % seit 1991

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

Abb. 47 > Zink im Staubniederschlag, Jahresmittelwerte 1988–2014



11.4 Thallium

Thalliumemissionen treten insbesondere im Zusammenhang mit der Zementherstellung auf. Aufgrund der hohen Persistenz von Thallium im Boden können Pflanzen sowie Mensch und Tier über die Nahrungskette bereits durch relativ niedrige Thalliumbelastungen geschädigt werden. Die an NABEL Stationen gemessenen Thalliumwerte lagen mit maximal 0,026 $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{ d})$ weit unter dem Grenzwert von 2 $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{ d})$ (siehe Tab. 19).

Thalliumimmissionen kein Problem

11.5 Bewertung

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

In der Regel weit unter den Grenzwerten

11.6 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 2014 maximale Arsen-Konzentrationen von 0,66 ng/m^3 und maximale Nickel-Konzentrationen von 4,4 ng/m^3 gemessen. Diese liegen deutlich unter den in der EU geltenden Zielwerten von 6 ng/m^3 für Arsen und 20 ng/m^3 für Nickel. Die Belastung durch Arsen und Nickel ist deshalb in der Schweiz generell als gering einzustufen.

12 > Regen-Inhaltsstoffe

12.1 Entstehung und Charakterisierung

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

Nasse Deposition

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

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

Das Sulfation (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.

Quellen der gemessenen Ionen

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).

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

pH-Wert

12.2 Zeitliche Entwicklung

In den Abb. 48 bis Abb. 53 sind die Entwicklungen der Konzentrationen der wichtigsten Komponenten dargestellt. Bei der Interpretation ist zu berücksichtigen, dass die beobachteten Konzentrationen im Regenwasser nicht nur durch lokale, sondern auch durch grossräumige Emissionen bestimmt werden. Die Entwicklung der Regeninhaltsstoffe muss deshalb mit den Emissionen der jeweiligen Ausgangssubstanzen im gesamten mitteleuropäischen Raum in Verbindung gebracht werden.

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

Der pH-Wert des Regenwassers (Abb. 48) ist seit 1988 stark angestiegen, was darauf hinweist, dass die starken Säuren in der Atmosphäre abgenommen haben. Dies ist vor allem auf die Abnahme der Konzentration von Schwefelsäure und in geringerem Ausmass von Salzsäure zurückzuführen. Ein Rückgang der Sulfatkonzentrationen im Regenwasser wurde sowohl in der Schweiz (Abb. 49) als auch gesamteuropäisch beobachtet und ist die Folge der im europäischen Raum getroffenen Massnahmen zur Verminderung des Schwefeldioxidausstosses. Der Nitratgehalt (Abb. 50) 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. 52 und Abb. 53) wie auch die nicht dargestellten Gehalte an Kalzium, Magnesium und Kalium.

Säureeintrag hat abgenommen

Die Niederschlagsmenge hat in den letzten 25 Jahren auf der Alpennordseite zugenommen (Abb. 54). Die Sulfatfracht hat in den letzten 25 Jahren abgenommen (Abb. 55), während die Frachten der anderen Ionen, wie zum Beispiel des Nitrats (Abb. 56) oder des Ammoniums (Abb. 57), praktisch unverändert geblieben sind.

Ionenfrachten unverändert

Abb. 48 > pH-Wert des Regenwassers, Jahresmittelwerte 1985–2014

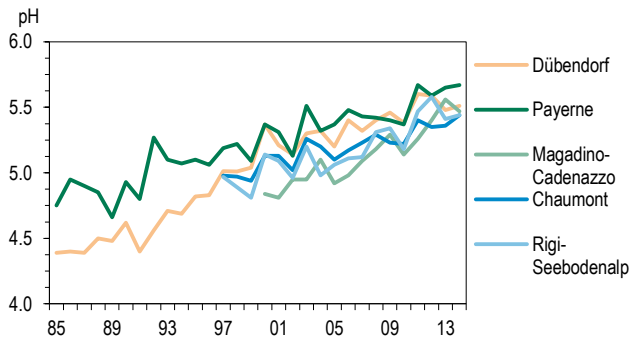


Abb. 49 > Sulfat ($\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$)-Konzentration im Regenwasser, Jahresmittelwerte 1985–2014

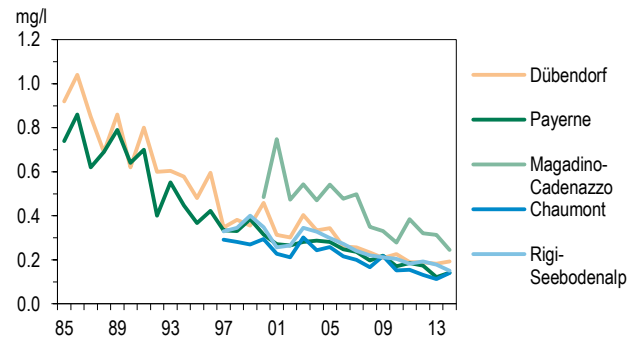


Abb. 50 > Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$)-Konzentration im Regenwasser, Jahresmittelwerte 1985–2014

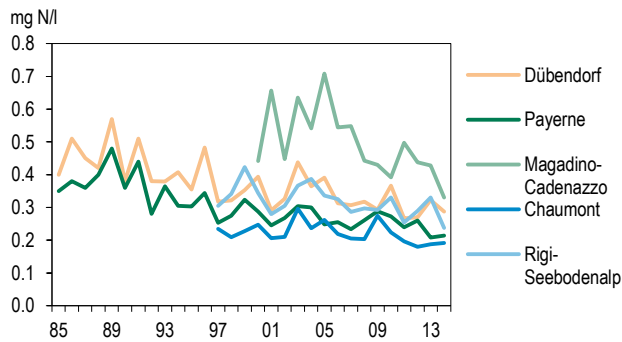


Abb. 51 > Chlorid (Cl^-)-Konzentration im Regenwasser, Jahresmittelwerte 1985–2014

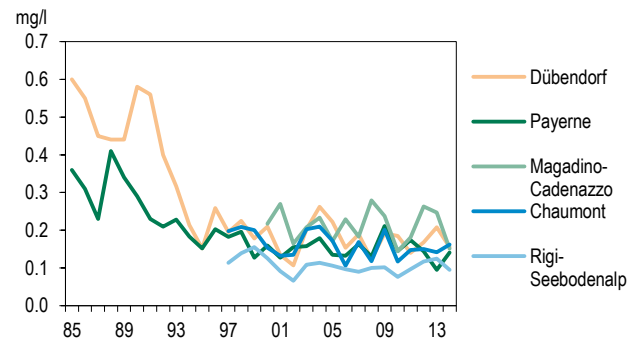


Abb. 52 > Ammonium ($\text{NH}_4^+\text{-N}$)-Konzentration im Regenwasser, Jahresmittelwerte 1985–2014

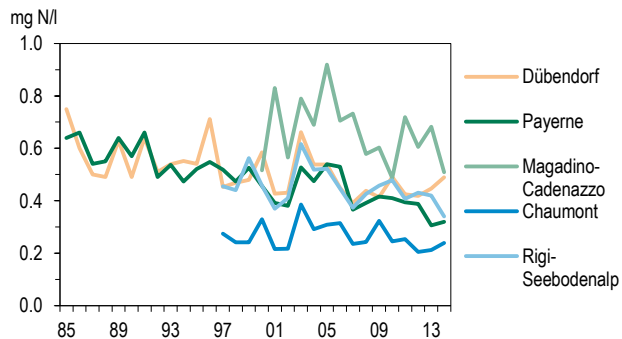
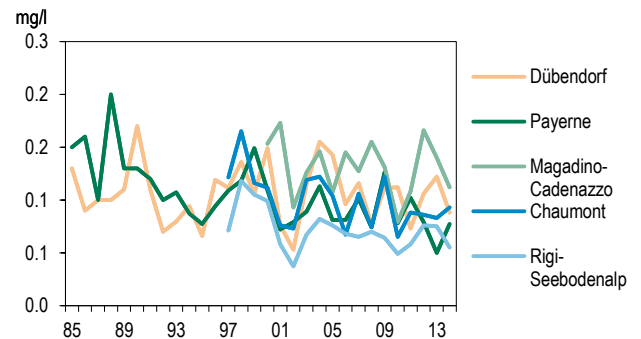
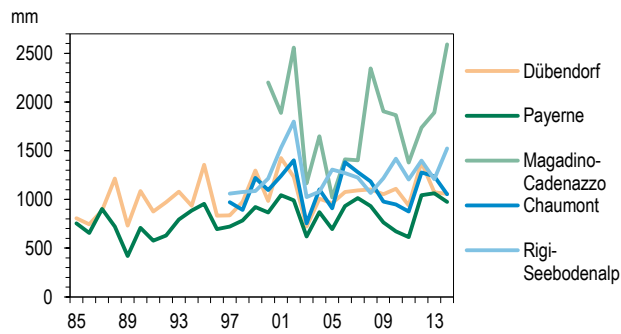


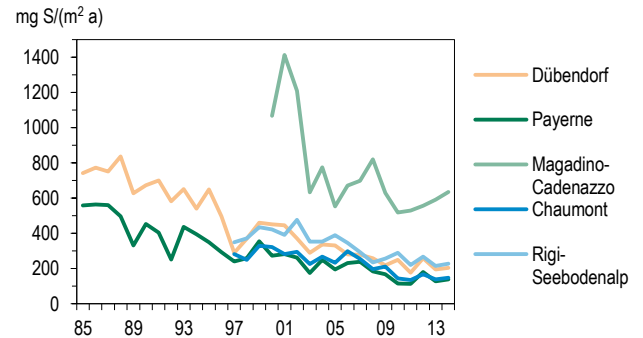
Abb. 53 > Natrium (Na^+)-Konzentration im Regenwasser, Jahresmittelwerte 1985–2014



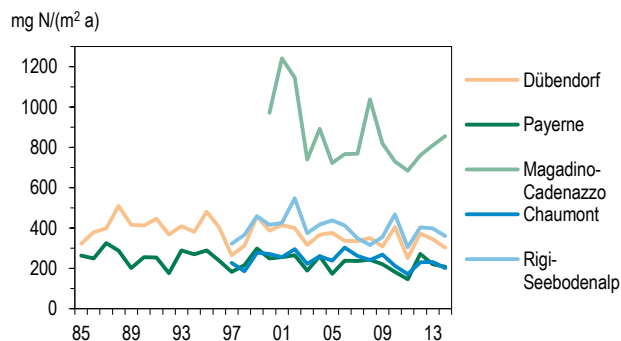
**Abb. 54 > Analysierte Niederschlagsmengen:
Jahressummen 1985–2014**



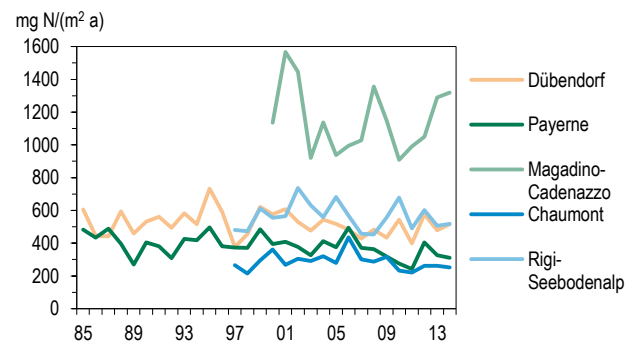
**Abb. 55 > Sulfat ($\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$)-Fracht,
Jahresfrachten 1985–2014**



**Abb. 56 > Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$)-Fracht,
Jahresfrachten 1985–2014**



**Abb. 57 > Ammonium ($\text{NH}_4^+\text{-N}$)-Fracht,
Jahresfrachten 1985–2014**



12.3

Situation 2014

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

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

**Jahresfrachten sind für den
Schadstoffeintrag massgebend**

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

Ionenbilanz

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

Räumlicher Unterschied nicht sehr ausgeprägt

Tab. 20 > Konzentrationen der Regeninhaltsstoffe, Jahresstatistik 2014

Station	Jahresmittelwerte									
	pH	LEIT $\mu\text{S/cm}$	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	5,51	8,58	0,16	0,29	0,19	0,09	0,49	0,05	0,02	0,21
Magadino-Cadenazzo	5,47	10,51	0,15	0,33	0,25	0,11	0,51	0,05	0,05	0,48
Payerne	5,67	6,29	0,14	0,21	0,14	0,08	0,32	0,03	0,02	0,21
Chaumont	5,44	6,25	0,16	0,19	0,14	0,09	0,24	0,03	0,02	0,20
Rigi-Seebodenalp	5,44	6,73	0,10	0,24	0,15	0,06	0,34	0,03	0,01	0,15

Tab. 21 > Jahresfrachten der Regeninhaltsstoffe, Jahresstatistik 2014

Station	Jahresmittelwerte									
	Niederschlag mm	Cl mg/(m ² a)	NO ₃ mg N/(m ² a)	SO ₄ mg S/(m ² a)	Na mg/(m ² a)	NH ₄ mg N/(m ² a)	K mg/(m ² a)	Mg mg/(m ² a)	Ca mg/(m ² a)	
Dübendorf-Empa	1057	164	303	204	93	517	51	23	225	
Magadino-Cadenazzo	2592	391	855	635	290	1319	119	117	1247	
Payerne	973	137	208	138	75	311	25	18	206	
Chaumont	1054	171	202	148	98	252	31	22	215	
Rigi-Seebodenalp	1523	145	361	228	84	518	38	21	228	

12.4 Bewertung

Der Eintrag von Luftschadstoffen aus der Atmosphäre in den Boden ist vor allem für empfindliche Ökosysteme von grosser Bedeutung. Der gesamte Eintrag umfasst ausser der nassen auch die trockene und die okkulte Deposition, die vor allem in Wäldern einen wichtigen Beitrag liefern kann. Die in diesem Kapitel beschriebenen Frachten der Regeninhaltsstoffe stellen somit nur einen Teil des gesamten Schadstoffeintrags dar. Obwohl für die nasse Deposition der grossräumige Transport von Schadstoffen eine beträchtliche Rolle spielt, zeigt sich im langjährigen Vergleich der beiden Stationen Dübendorf und Payerne, dass der Vorstadtstandort höhere NO_3^- und NH_4^+ -Konzentrationen aufweist als der ländliche Standort. Gesamteuropäisch gesehen gehören diese Stationen zu den mittelstark belasteten.

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

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

Nasse Deposition als Teil des gesamten Eintrages

Kritische Belastungsgrenzen für die Gesamtdosition

Reduktionsziele des Göteborg Protokolls

13 > Gasförmige und partikuläre Stickstoffverbindungen

13.1 Summenmessung von Stickstoffkomponenten

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

Beitrag zum Stickstoffeintrag

Tab. 22 > Summenmessungen von Stickstoffkomponenten, Jahresstatistik 2014

Standorttyp	Station	$\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$		$\text{HNO}_3 + \text{NO}_3^-$	
		Jahresmittel $\mu\text{g N/m}^3$	Max. 24-h Mittelwert $\mu\text{g N/m}^3$	Jahresmittel $\mu\text{g N/m}^3$	Max. 24-h Mittelwert $\mu\text{g N/m}^3$
Ländlich, unterhalb 1000 m	Payerne	2,9	14,6	0,8	5,5
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	1,6	12,5	0,6	5,6

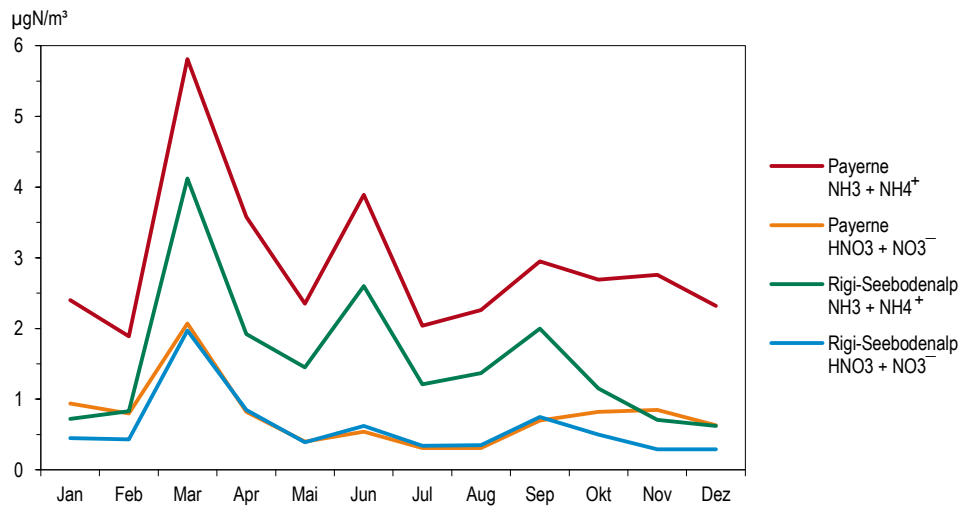
In der Abb. 58 werden die Jahresmittelwerte der bisherigen Messungen dargestellt. In den Messreihen von Payerne und Rigi-Seebodenalp ist keine signifikante Zu- oder Abnahme zu erkennen. Die Entwicklung ist vergleichbar mit den entsprechenden Komponenten in den Regeninhaltsstoffen (Abb. 50 und Abb. 52). In Payerne ist die Konzentration der reduzierten N-Komponenten ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) mehr als dreimal so hoch wie diejenige der oxidierten N-Komponenten ($\text{HNO}_3 + \text{NO}_3^-$). In Rigi-Seebodenalp wird etwas mehr als 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.

Unveränderte Belastung

Abb. 58 > Summenmessungen von Stickstoffkomponenten, Jahresmittelwerte 1994–1999 und 2004–2014 (Payerne) und 2000–2014 (Rigi-Seebodenalp)



Abb. 59 > Summenmessungen von Stickstoffkomponenten, Monatsmittelwerte 2014 (Payerne und Rigi-Seebodenalp)



Die Messwerte auf Rigi-Seebodenalp sind meist tiefer als in Payerne. Dies trifft insbesondere auf die Summe der reduzierten N-Komponenten ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) zu. Die reduzierten N-Komponenten weisen ein Maximum im Frühjahr auf (Abb. 59). Die oxidierten N-Komponenten ($\text{HNO}_3 + \text{NO}_3^-$) haben in Payerne höhere Werte im Winter.

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

13.2 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 Minidenermethode aufgenommen. Seit 2010 werden entsprechende Messungen auf der Alpensüdseite in Magadino-Cadenazzo durchgeführt, seit 2013 auch in Tänikon. Im Jahresmittel (Tab. 23) liegt in den tiefen Lagen beidseits der Alpen etwa gleich viel Stickstoff in Form der vier reaktiven Verbindungen vor. Hingegen ist auf der Alpensüdseite mehr Stickstoff in der Gasphase vorhanden als auf der Alpennordseite. Mit der Höhe über Meer nimmt die absolute Konzentration ab und auch der relative Anteil der Stickstoffverbindungen in der Gasphase wird kleiner.

Tab. 23 > Reaktive Stickstoffverbindungen, Jahresmittelwerte 2014

Standorttyp	Station	NH_3 Jahresmittel $\mu\text{g N/m}^3$	NH_4^+ Jahresmittel $\mu\text{g N/m}^3$	HNO_3 Jahresmittel $\mu\text{g N/m}^3$	NO_3^- Jahresmittel $\mu\text{g N/m}^3$	Summe	Anteil N in Gasphase	Anteil N in Partikel- phase
Ländlich, unterhalb 1000 m	Payerne	1,90	0,90	0,20	0,60	3,60	58%	42%
	Tänikon	4,29	0,94	0,20	0,60	6,03	74%	26%
	Magadino-Cadenazzo	3,60	0,73	0,37	0,50	5,20	76%	24%
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	0,92	0,74	0,14	0,43	2,23	48%	52%

13.3 Ammoniak

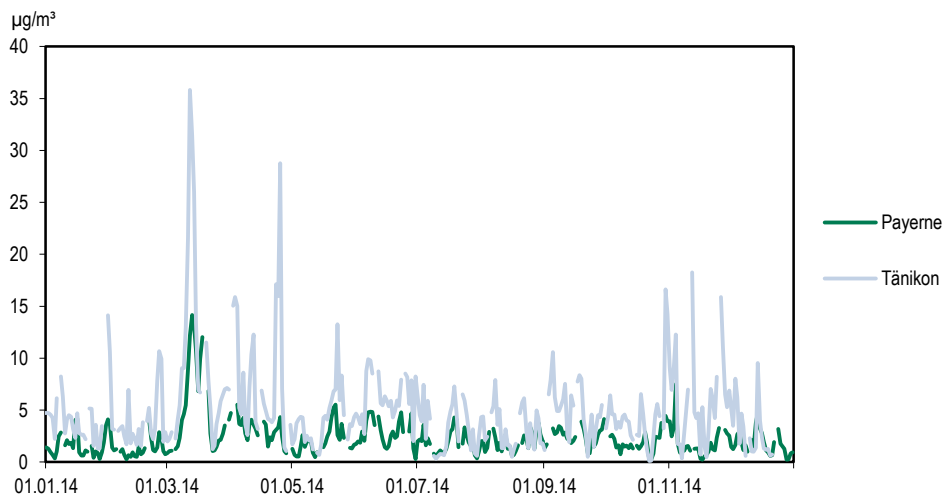
Im Laufe des Jahres 2005 wurden an den beiden Standorten Payerne und Härkingen kontinuierliche Messungen von Ammoniak aufgenommen. Seit 2008 werden auch in Tänikon kontinuierliche Ammoniakmessungen durchgeführt. Die kontinuierlich gemessenen NH_3 -Konzentrationen sind tendenziell tiefer als die mit Passivsammlern oder Denudern erhobenen Messwerte. Ein Grund dafür könnten Ammoniakverluste in der Ansaugleitung sein. Die Belastung durch Ammoniak ist an beiden Standorten hoch (Tab. 24) im Vergleich zu den im Rahmen der Konvention über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung empfohlenen kritischen Konzentrationen (Jahresmittel, je nach Vegetationstyp 1 bis 3 $\mu\text{g/m}^3$ Ammoniak). An Standorten mit intensiver Tierhaltung wie in Tänikon werden noch höhere Ammoniakkonzentrationen gemessen (Bericht zu Ammoniak-Immissionsmessungen mit Passivsammlern, erhältlich unter www.bafu.admin.ch/luft unter Schadstoffe/Ammoniak).

Kontinuierliche Messungen
von Ammoniak

Tab. 24 > Ammoniak, Jahresstatistik 2014

Standorttyp	Station	Jahresmittel $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max. 24-h Mittelwert $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max. Stundenmittelwert $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Ländlich, unterhalb 1000 m	Payerne	2,4	14	23
	Tänikon	5,2	36	163

Der Jahresverlauf (Abb. 60) zeigt über lange Perioden einen parallelen Verlauf an den beiden Standorten, was auf einen starken Einfluss der meteorologischen Bedingungen auf die Ammoniakkonzentration hinweist. Einzelne sehr hohe Werte sind durch die Gülleausbringung in unmittelbarer Nähe der Stationen bedingt. Nach einigen Stunden sinkt die Belastung wieder auf die ortsübliche Hintergrundsbelastung ab, was zeigt, dass die Gülleausbringung zwar zur Hintergrundsbelastung beiträgt, dass aber insbesondere die kontinuierlich emittierenden Quellen von Bedeutung sind.

Abb. 60 > Tagesmittelwerte der Ammoniakkonzentration, 2014

14 > Witterung

14.1 Situation 2014

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

Das 2014 kann als das Jahr der Wetterextreme zusammengefasst werden. Trotz des sonnenarmen und nassen Sommers wird es als das wärmste Jahr (zusammen mit 2011) seit Messbeginn in die Geschichte eingehen. Zudem gab es Rekordnässe und Rekord-Sonnenarmut im Hochsommer sowie Rekordschneemengen auf der Alpensüdseite und extreme Herbst-Wärme und Niederschläge im Süden.

Der Start ins Jahr 2014 war aufgrund von West- und Südwestströmungen mild. Anschliessend folgte tiefdruckbestimmtes und kühles Wetter. Aufgrund dieser Strömungen konnten sich keine langanhaltenden Inversionen aufbauen. Im Februar lagen die Temperaturen im Grossteil der Schweiz fast täglich leicht über der Norm.

Winter

Im März war es in der ganzen Schweiz oft sonnig, mild und niederschlagsarm. Mitte Monat sorgte polare Kaltluft für einen kurzzeitigen Temperaturrückgang. Auch die ersten zwei April-Wochen zeigten sich mild und meist sonnig. Am 18. April brachte eine Kaltfront kurzzeitig kalte Luft in die Schweiz. In der Folge wurde es wieder mild, bis Ende Monat wieder tiefe Temperaturen dominierten. Bis am 24. April fielen in der Schweiz nur 15-50 Prozent der normalen April-Niederschläge. Die folgenden Tage mit teils heftigen Niederschlägen kompensierten das Defizit wieder. Der Mai begann kühl und regnerisch. Bis Mitte Monat blieb die Witterung wechselhaft. Störungen sorgten auf der Alpennordseite für milde Temperaturen und Niederschläge. Ab dem 18. Mai sorgte eine starke Südströmung für Staubewölkung im Süden sowie kräftigen Föhn und mildes, sonniges Wetter im Norden.

Frühjahr

Nach einem wechselhaften Start in den Juni setzte sich am 7. Juni sehr warmes Wetter ein. Bis am 22. Juni war es verbreitet ausgesprochen trocken. Anschliessend sorgten Gewitter und eine Kaltfront für ergiebige Niederschläge. Der Juli startete kühl und mit Nebel- und Hochnebefeldern. Es regnete häufig und teilweise intensiv. Mitte Juli stellte sich eine kurze Schönwetterphase ein. Ab dem 20. Juli sorgten Störungen und Gewitterzellen abermals für intensive Niederschläge. Der Juli geht als Monat mit neuen Rekord-Niederschlagssummen und an vielen Orten auch als sonnenärmster Monat seit Messbeginn in die Geschichte ein. Der August war geprägt von einer West- bis Südwestlage mit regelmässigen und häufigen Frontendurchgängen mit eingelagerten Gewittern, die lokal grosse Regenmengen brachten. Bis Ende Monat stellte sich keine stabile Hochdrucklage ein. Das wechselhafte Wetter ohne lange Schönwetterperiode sorgte in der ganzen Schweiz für eine unterdurchschnittliche Sonneneinstrahlung.

Sommer

Auch der September startete in den Alpen und auf der Alpennordseite kühl. Hochdruckwetter mit milden sonnigen Tagen und teils kräftigen Gewittern wechselten sich mit Kaltfrontdurchzügen geprägten Tagen ab. Im Tessin war es mit Nordföhn oft mild und sonnig. Der Oktober startete im ähnlichen Stil. Bis Mitte Monat sorgten feuchte Luftmassen aus Südwesten für Regelmässige Niederschläge in der Westschweiz. Gleichzeitig sorgte kräftiger Südfohn für rekordhohe Nachttemperaturen in den Föhn-tälern. Auf der Alpensüdseite sorgte ab dem 10. Oktober die Südströmung für intensive Niederschläge. Mitte Monat sorgte eine Westströmung für wechselhaftes aber mildes Wetter in der Schweiz. Die letzten Oktobertage und ersten Novembertage brachten prächtiges Herbstwetter in der Höhe und viel Nebel im Flachland. In den folgenden zwei Wochen sorgte eine Süd-/Südwestströmung für massive Niederschläge im Süden der Alpen. Lokal wurde innert 16 Tagen so viel Niederschlag gemessen wie durchschnittlich in einem Jahr im Mittelland. Anschliessend sorgte Kaltluft aus Norden im Zusammenhang mit der feuchten Luft aus Süden für viel Neuschnee entlang des östlichen Alpennordrandes. Im letzten Monatsdrittel sorgte milde Luft aus dem Mittelmeer-raum vor allem in der Höhe für ausgesprochen milde Temperaturen. Im Mittelland blieb die Kaltluft unter der milden zugeströmten Luft liegen und sorgte so für mehrere aufeinanderfolgende Inversionstage.

Herbst

Der Dezember war geprägt von milden West-/Südwestströmungen, die bis am 25. für frühlingshafte Temperaturen sorgten. Auf der Alpennordseite war es meist ausgesprochen sonnenarm und oft regnerisch, auf der Alpensüdseite hingegen insgesamt recht sonnig. Diese wechselhafte Wetterlage verhinderte die Entstehung von Inversionslagen.

Frühwinter

15 > 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. 61 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. 62), 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. 61 > Verkehrsaufkommen und Schadstoffbelastung, 1991–2014, Sion-Aéroport

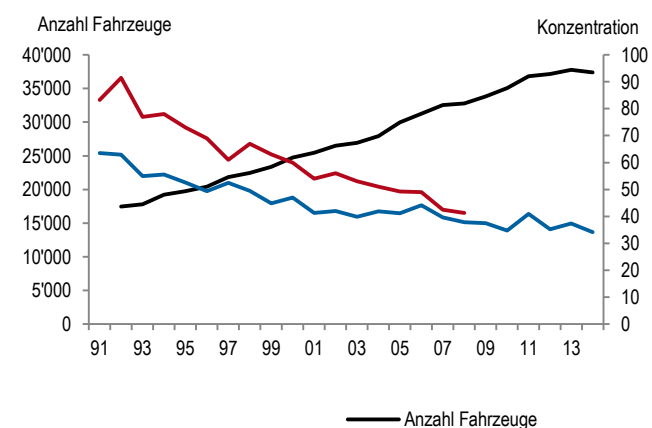
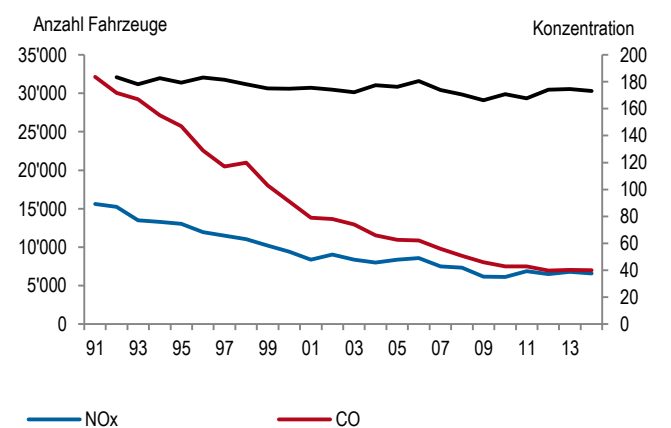


Abb. 62 > Verkehrsaufkommen und Schadstoffbelastung, 1991–2014, Lausanne-César-Roux



Konzentration in ppb (NO_x) und in mg/m³*100 (CO)

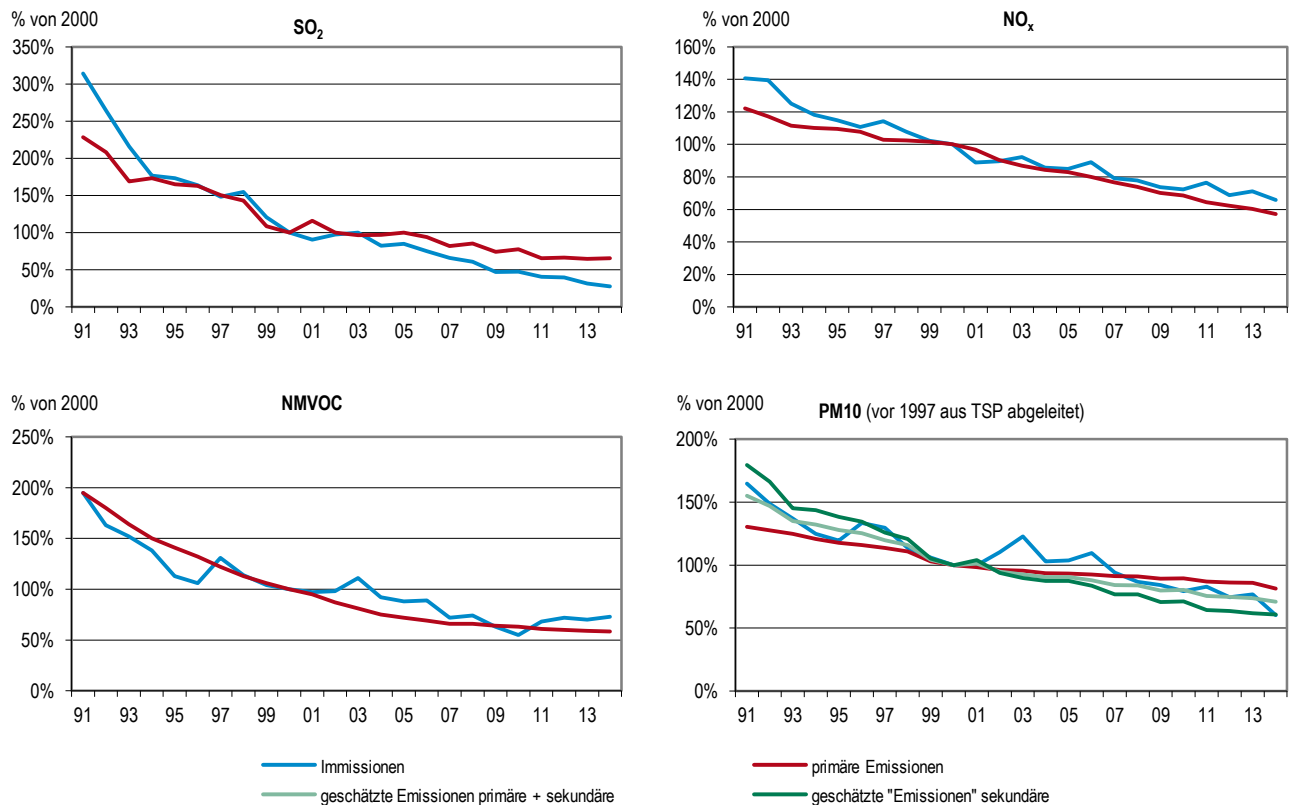
16 > Ausblick

Die Luftbelastung in der Schweiz konnte seit Mitte der 1980er Jahre deutlich verringert werden. Dies ist das Ergebnis von emissionsmindernden Massnahmen in der Schweiz und anderen Ländern Europas. Durch strengere Emissionsvorschriften bei stationären Anlagen und Fahrzeugen sowie auch durch ökonomische Anreize (z. B. die Lenkungsabgaben für VOC oder schwefelhaltige Brennstoffe) konnte der Ausstoss von vielen Luftschadstoffen verringert werden (Bericht Konzept betreffend lufthygienischen Massnahmen des Bundes, 11. September 2009, Bundesblatt Nr. 40, 2009, Seite 6585, www.admin.ch/ch/d/ff/2009/6585.pdf). Parallel zu den Emissionsreduktionen sanken die Konzentrationen von Schadstoffen in der Atmosphäre (Abb. 63).

**Abnahme der Emissionen
und Immissionen**

Abb. 63 > 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.



Grosse Erfolge konnten bei den Luftschadstoffen Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid und bei Schwermetallen wie Blei, Cadmium oder Zink erreicht werden. Für diese Schadstoffe liegen die gemessenen Konzentrationen in aller Regel deutlich unter den Immissionsgrenzwerten. Für die Schadstoffe Stickstoffdioxid, Feinstaub und Ozon konnten zwar die Immissionen gesenkt werden, die gemessenen Konzentrationen liegen aber teilweise noch 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.

Erfolge und Problemschadstoffe

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

Vorsorgeprinzip und verschärfte Emissionsbegrenzungen

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

Überwachung der Luftqualität

> Anhang A

Anhang A1: Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung

Anhang A2: Standortcharakterisierung

Anhang A3: NABEL-Messprogramm

Anhang A4: Messverfahren

Anhang A5: Masseinheiten und statistische Masszahlen

Anhang A6: Homogenisierung von Messreihen der Station Bern

Anhang A1: Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung

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

Wirkungsorientierte Grenzwerte

Tab. A1 > Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung

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

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

Das Zeichen «≤» bedeutet «kleiner oder gleich»

Anhang A2: Standortcharakterisierung

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

Tab. A2 > Standorte der Messstationen NABEL

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

Anhang A3: NABEL-Messprogramm

Tab. A3 > NABEL-Messprogramm (Stand 1. Januar 2014)

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
NO ₂ photolytisch							X					X	X			
NO _y							X									
Lachgas (N ₂ O)							X									
Ozon	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Kohlenmonoxid (CO)		X			X	X	X		X	X		X	X			X
Kohlendioxid (CO ₂)						X	X									
Methan (CH ₄)					X		X			X						X
Nichtmethankohlenwasserstoffe					X					X						X
BTX (Benzol, Toluol, Xylol)		S			S								S			S
VOC Komponenten ¹⁾							S						S			S
Halogenierte Verbindungen ¹⁾							S									
Ammoniak												X		X	X	
Feinstaub PM10, HiVol	T	T	T		T	T	T		T	T	T	T	T	T	T	T
Feinstaub PM10, kont.	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Feinstaub PM2.5, HiVol	T	T			T	T				T	T	T	T			T
Feinstaub PM1, HiVol / kont.						T / X						T				
Partikelanzahl	X	X				X				X			X			
Aerosol-Grössenverteilung																X
BC im Feinstaub PM2.5	X	X			X	X				X	X	X				X
EC/OC im Feinstaub PM2.5	T	T			T	T				T	T	T				T
Pb, Cd, As, Cu, Ni im Feinstaub PM10	J	J	J		J	J	J		J	J	J	J	J	J	J	J
Schwefel, partikelgebunden							T			T		T	T			
Staubniederschlag (SN)	M	M				M			M		M	M	M			M
Pb, Cd, Zn, Tl, As, Cu, Ni im SN	J	J				J			J		J	J	J			J
Regenmenge (Analytik)			W		W						W	W	W			
pH-Wert, Leitfähigkeit (Regen)			W		W						W	W	W			
Na ⁺ , NH ₄ ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ (Regen)			W		W						W	W	W			
Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ (Regen)			W		W						W	W	W			
Σ (NH ₃ + NH ₄); Σ (HNO ₃ + NO ₃)												T	T			
NH ₃ , NH ₄ ; HNO ₃ , NO ₃											2W	2W	2W		2W	
Meteo	XA	X	X	X	X	X	XA	X	X	XA	XA	XA	X	XA	XA	X
Strahlungsbilanz				X				X			X				X	
Niederschlagsmenge (autom.)	XA	X	X	X	X	X		X	X	XA	XA	XA	X	XA	XA	X
Verkehrsdichte		S							S					S		

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

¹⁾ Einzelkomponenten

Anhang A4: Messverfahren

Tab. A4 > Messmethoden und Geräte (Stand 2014)

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, Cavity Ring-Down Spectroscopy	Kalibration mit CO-Referenzgas
Kohlendioxid (CO ₂)	Zehnminutenmittelwerte	Cavity Ring-Down Spectroscopy	Kalibration mit CO ₂ -Referenzgas
Feinstaub (PM10, PM2.5, PM1)	Tagesmittelwerte	Gravimetrische Bestimmung auf Quarzfaserfiltern	Messwerte vergleichbar mit Referenz-Verfahren gemäss EN Norm 12341
	Zehnminutenmittelwerte	TEOM-FDMS, Betastrahlabsorption, optische Geräte	
Schwefel im PM10	Tagesmittelwerte	Ionenchromatographie	
Schwermetalle (Blei, Cadmium) 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, Cadmium, Zink, Kupfer, Arsen, Thallium und Nickel) im Staubniederschlag	Quartalssammelprobe/Jahresmittelwert	Offener Säureaufschluss, Analyse mit ICP-MS	Nach VDI 2267, Bl. 4 (Cd, Pb), Zn, Cu, Tl, Ni und As aus gleicher Aufschlusslösung
Regeninhaltsstoffe	Wochenmittelwerte	«Wet-only» Regensammler Analyse: pH mit Glaselektrode, Leitfähigkeit mit Leitfähigkeitsmesszelle und Ionen mit Ionenchromatographie	EMEP Manual
Σ (NH ₃ + NH ₄); Σ (HNO ₃ + NO ₃)	Tagesmittelwerte	Abscheidung auf imprägnierten Filtern; Ionenchromatographie	EMEP-Manual
NH ₃ , NH ₄ ; HNO ₃ , NO ₃	2-Wochen-Mittel	Minidünder-System, Ionenchromatografie	Modifiziertes Delta-System
Ammoniak	Zehnminutenmittelwerte	Cavity Ring-Down Spectroscopy	Kalibration mit Ammoniak-Permeationsquelle
Partikelanzahlkonzentration	Zehnminutenmittelwerte	Kondensation-Partikelzähler	Geräte werden durch vorgeschaltete Verdünnung im Einzelzählmodus betrieben
Russ (BC)	Zehnminutenmittelwerte	Mult Angle Absorption Photometer oder Aethalometer	Kalibration an EUSAAR-2 Protokoll

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

Anhang A5: Masseinheiten und statistische Masszahlen

Die Geräte für die Messung von Immissions-Konzentrationen bestimmen in der Regel den Gehalt der gasförmigen Schadstoffe in der Umgebungsluft als Volumenanteile in ppm (10^{-6} Volumenanteile), ppb (10^{-9} Volumenanteile) oder ppt (10^{-12} Volumenanteile). In diesem Bericht werden die Messwerte grundsätzlich als Schadstoffmasse pro Volumeneinheit Luft angegeben (Ausnahme NO_x : Volumenanteil NO_x in der Umgebungsluft).

Die verwendeten Einheiten sind:

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

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

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

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

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

Die Konzentrationen von Partikelmasse und Partikelanzahl werden zu Umgebungsbedingungen angegeben.

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

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

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

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

Anhang A6: Homogenisierung von Messreihen der Station Bern

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

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

- > 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 2014 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.

Anhang B2: VOC-Messwerte

Jahresübersicht 2014	Basel-Binningen		Koordinaten: 610'890 / 265'605
	Vorstädtisch		Höhe: 316 m

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	2,7	2,1	2,4	1,4	0,9	1,2	0,8	0,8	1,4	1,5	1,6	1,5	1,5
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	5,1	4,7	5,6	4,8	3,2	2,7	2,0	2,4	7,6	3,6	3,5	4,6	7,6
	24h-Mittel > 100 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	32,0	27,1	28,8	18,4	12,2	13,6	11,2	10,7	17,9	22,9	28,8	24,3	20,6
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	52,5	49,7	42,7	49,6	24,4	22,2	23,4	23,5	33,1	38,6	39,4	45,4	52,5
	24h-Mittel > 80 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m ³	12,0	6,1	5,0	2,8	1,3	1,2	1,3	2,0	3,9	5,6	15,8	10,8	5,6
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	42,2	23,4	11,7	12,5	4,8	2,7	3,6	7,1	11,6	17,0	41,6	41,2	42,2
NO _x	Mittelwerte	ppb	26,4	19,1	19,1	11,9	7,4	8,1	6,9	7,2	12,5	16,5	27,8	21,4	15,3
	max. 24h-Mittelwert	ppb	49,7	39,3	28,9	31,4	15,8	13,6	14,4	18,0	26,6	33,4	51,5	48,0	51,5
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	24	41	49	61	70	84	66	54	44	27	13	26	47
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	78	85	109	112	128	151	137	107	117	75	65	74	151
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	82	90	130	126	144	172	153	133	126	83	75	78	172
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	5	5	25	113	44	4	7	0	0	0	203
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel > 240 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m ³	16	11	24	13	8	14	10	9	14	12	14	14	13
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	37	33	59	32	17	28	20	31	25	20	25	38	59
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
SN	Mittelwerte	mg/(m ² d)	17	22	28	-	51	54	72	36	19	34	16	15	33

-) keine Messwerte vorhanden

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	4,5	5,7	8,5	12,2	13,9	19,2	19,1	17,4	16,4	13,6	7,9	3,8	11,9
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	482	400	314	142	80	0	0	0	8	101	362	502	2390
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	43	75	152	184	215	278	200	187	156	99	54	24	139
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	81	74	65	66	68	60	76	75	79	83	86	84	75
Niederschlag	Summen	mm	57	72	14	59	70	59	196	89	34	81	85	51	869
Druck	Mittelwerte	hPa	973	973	980	977	979	980	978	978	981	981	975	984	978

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.

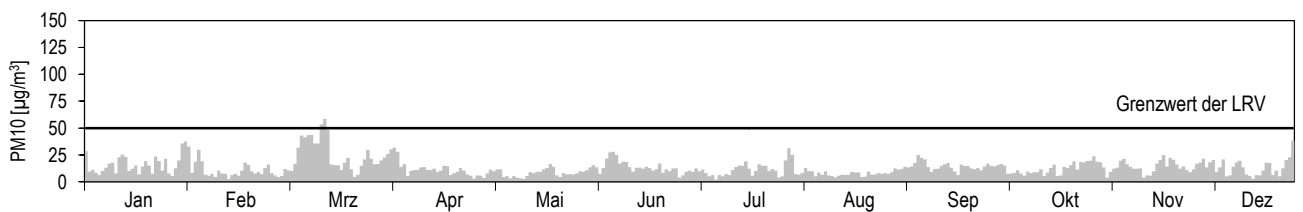
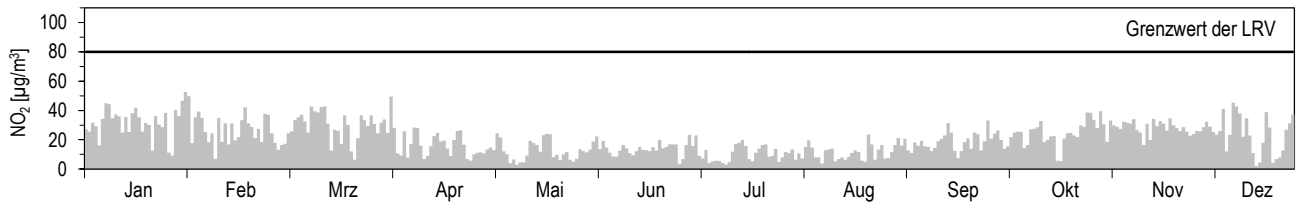
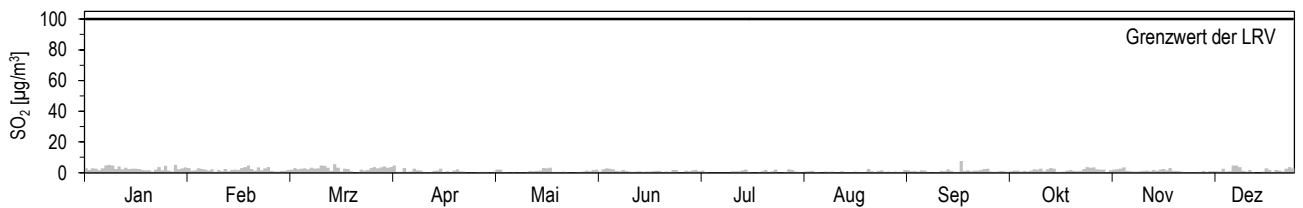
**Jahresübersicht
2014**

Basel-Binningen
Vorstädtisch

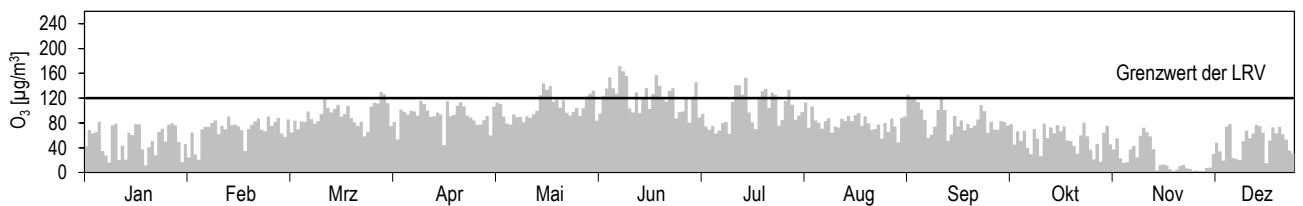


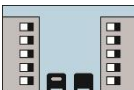
Koordinaten: 610'890 / 265'605
Höhe: 316 m

Tagesmittelwerte für SO₂, NO₂ und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2014	Bern-Bollwerk		Koordinaten: 600'170 / 199'990
	Städtisch, verkehrsbelastet		Höhe: 536 m

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
NO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	47	46	48	37	34	33	35	29	37	38	38	42	39
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	64	61	66	62	54	48	55	48	53	55	51	59	66
	24h-Mittel > 80 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m ³	50	35	29	20	18	14	19	18	26	37	52	47	30
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	103	71	48	42	40	28	37	32	44	68	92	113	113
NO _x	Mittelwerte	ppb	65	52	48	36	32	28	34	30	40	49	61	60	45
	max. 24h-Mittelwert	ppb	114	88	71	66	60	47	52	50	62	79	96	121	121
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	14	25	35	49	55	67	50	43	35	19	8	14	34
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	62	67	87	102	102	114	108	93	91	63	43	56	114
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	69	73	102	108	114	139	119	105	108	75	58	60	139
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	7
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel > 240 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO	Mittelwerte	mg/m ³	0,52	0,45	0,46	0,36	0,32	0,31	0,31	0,32	0,41	0,47	0,55	0,57	0,42
	max. 24h-Mittelwert	mg/m ³	0,82	0,65	0,61	0,55	0,43	0,43	0,37	0,41	0,55	0,67	0,76	1,59	1,59
	24h-Mittel > 8 mg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m ³	24	20	30	20	14	18	15	15	19	19	21	18	19
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	45	36	61	47	34	29	26	30	26	32	32	28	61
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
SN	Mittelwerte	mg/(m ² d)	57	76	77	181	59	112	90	65	77	77	57	44	81

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	3,4	4,4	7,9	11,7	13,3	18,8	18,8	17,8	16,3	13,4	7,4	3,6	11,4
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	516	438	346	142	106	0	0	0	9	105	377	507	2547
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	44	76	154	176	204	275	192	182	171	103	47	32	138
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	80	76	65	63	66	59	72	69	73	78	85	78	72
Niederschlag	Summen	mm	38	50	22	56	88	59	237	71	16	67	66	15	785
Druck	Mittelwerte	hPa	949	949	955	953	955	955	954	954	957	957	950	958	954

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	Wegen Bauarbeiten liegen keine gültigen Verkehrszahlen vor.											

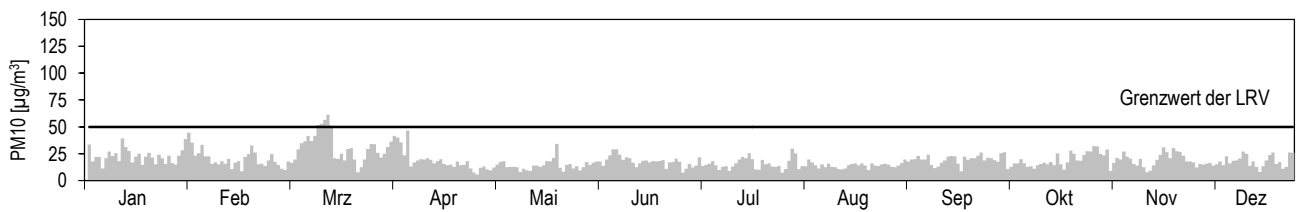
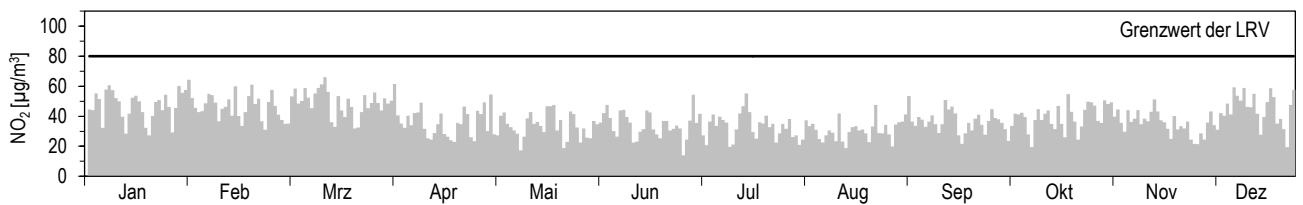
**Jahresübersicht
2014**

Bern-Bollwerk
Städtisch, verkehrsbelastet

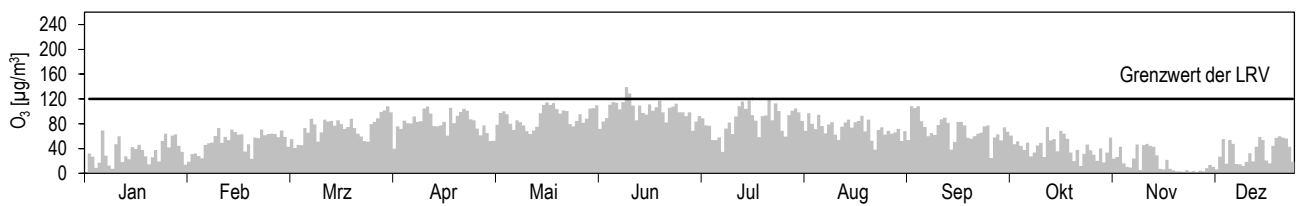



Koordinaten: 600'170 / 199'990
Höhe: 536 m

Tagesmittelwerte für NO₂ und PM₁₀



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2014	Chaumont		Koordinaten: 565'090 / 211'040
	Ländlich, oberhalb 1000 m		Höhe: 1136 m

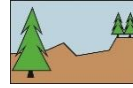
Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
NO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	5,6	4,9	10,8	6,0	3,5	4,8	3,4	2,6	5,4	5,4	5,7	6,5	5,4
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	13,7	9,2	17,0	9,4	5,5	6,6	5,9	5,5	8,7	11,7	15,8	24,9	24,9
	24h-Mittel > 80 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m ³	0,3	0,4	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,7	1,2	0,4
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	1,3	0,8	1,7	0,8	0,5	0,6	0,5	0,4	1,0	1,4	7,0	12,6	12,6
NO _x	Mittelwerte	ppb	3,2	2,9	6,1	3,4	2,0	2,7	1,9	1,5	3,1	3,1	3,5	4,4	3,2
	max. 24h-Mittelwert	ppb	8,2	5,2	10,3	5,4	3,2	3,9	3,5	3,2	5,4	7,3	13,8	20,6	20,6
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	66	76	88	92	92	108	90	78	82	67	61	57	80
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	85	92	125	121	128	143	134	107	116	89	81	91	143
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	88	97	129	135	135	162	146	120	121	94	84	97	162
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	25	20	36	164	82	0	1	0	0	0	328
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel > 240 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m ³	3,9	3,1	15,8	8,8	5,1	10,7	6,6	5,8	9,0	6,0	5,2	2,9	6,9
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	9,2	6,9	43,0	32,8	22,7	24,7	15,4	10,1	14,6	16,1	23,1	6,8	43,0
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	0,6	0,4	4,4	7,3	8,3	14,4	14,1	12,5	12,3	10,0	6,0	0,4	7,6
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	601	548	483	382	338	76	61	129	128	265	420	606	4037
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	47	77	168	187	204	274	197	178	160	102	60	37	141
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	86	87	70	73	79	69	84	83	85	87	83	85	81
Niederschlag	Summen	mm	91	97	33	67	113	50	183	103	41	94	89	67	1027
Druck	Mittelwerte	hPa	881	881	887	885	888	890	889	888	890	890	883	889	887

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

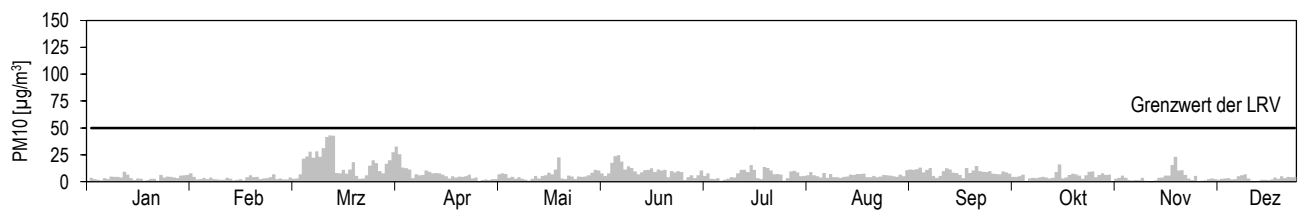
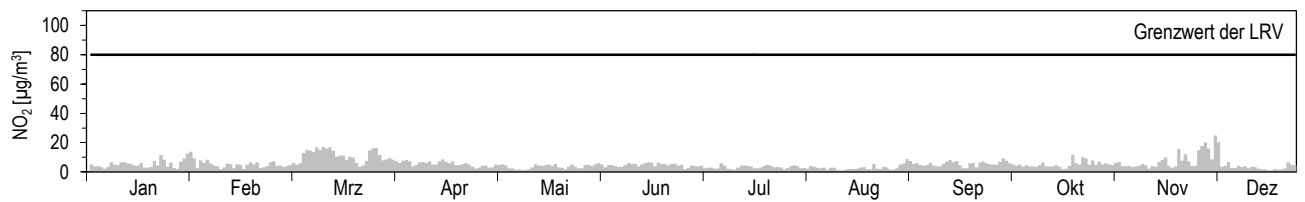
**Jahresübersicht
2014**

Chaumont
Ländlich, oberhalb 1000 m

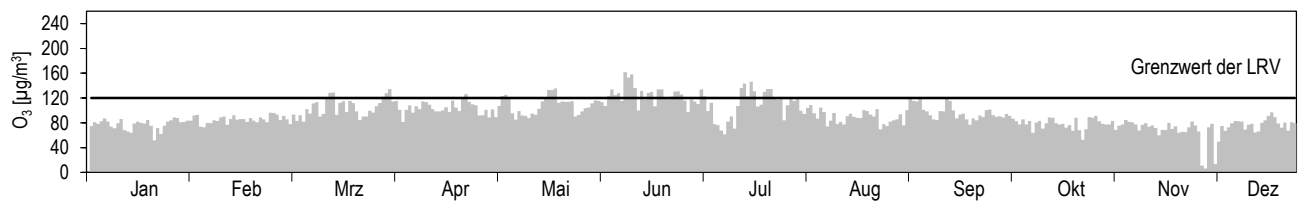


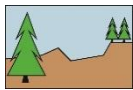
Koordinaten: 565'090 / 211'040
Höhe: 1136 m

Tagesmittelwerte für NO₂ und PM₁₀



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2014	Davos-Seehornwald		Koordinaten: 784'450 / 187'735
	Ländlich, oberhalb 1000 m		Höhe: 1637 m

Luftschadstoffe ¹⁾			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
NO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	4,8	4,0	3,8	3,4	2,3	2,4	2,0	2,1	2,6	3,2	3,8	6,2	3,4
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	10,2	9,6	8,1	7,7	3,1	4,2	3,2	3,6	4,1	6,0	9,6	18,2	18,2
	24h-Mittel > 80 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m ³	0,39	0,32	0,18	0,13	0,12	0,09	0,10	0,12	0,21	0,29	0,33	1,00	0,27
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	1,08	1,02	0,43	0,29	0,19	0,17	0,19	0,30	0,41	1,34	1,34	9,57	9,57
NO _x	Mittelwerte	ppb	3,3	2,7	2,5	2,2	1,5	1,5	1,3	1,4	1,8	2,2	2,6	4,6	2,3
	max. 24h-Mittelwert	ppb	7,1	6,1	4,9	4,8	2,0	2,7	2,0	2,4	2,8	4,3	7,0	15,4	15,4
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	60	70	83	80	79	80	68	58	56	55	52	49	66
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	77	93	108	108	107	107	103	90	86	80	82	75	108
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	84	96	112	112	117	120	109	106	93	86	86	80	120
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel > 240 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m ³	1,2	2,1	4,6	6,4	5,3	6,2	3,9*	3,2	3,9	2,2*	1,7*	1,6*	3,6
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	3,6	8,2	17,8	25,0	63,2	21,9	12,1*	6,5	10,3	4,8*	8,9*	7,5*	63,2
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1

1) Die Umrechnung von ppb in µg/m³ erfolgt für die Station Davos mit standortabhängigen Faktoren (Anhang A5)

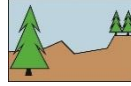
*) unvollständige Messreihe (siehe Anhang A5), aber mindestens 50 % der Messwerte vorhanden

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	-1,8	-1,8	1,3	4,1	5,9	10,8	11,3	9,9	8,9	6,7	4,2	-1,9	4,8
	Heizgradtagzahl ²⁾	(°C*d)	675	609	581	477	431	226	193	281	310	414	475	677	5338
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	56	98	169	188	223	240	195	178	145	103	66	42	142
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	75	71	58	67	71	69	79	81	78	74	72	75	72
Niederschlag	Summen	mm	31	40	20	25	34	116	132	120	45	52	45	23	682
Druck	Mittelwerte	hPa	828	828	834	833	835	838	837	837	839	838	832	835	834

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

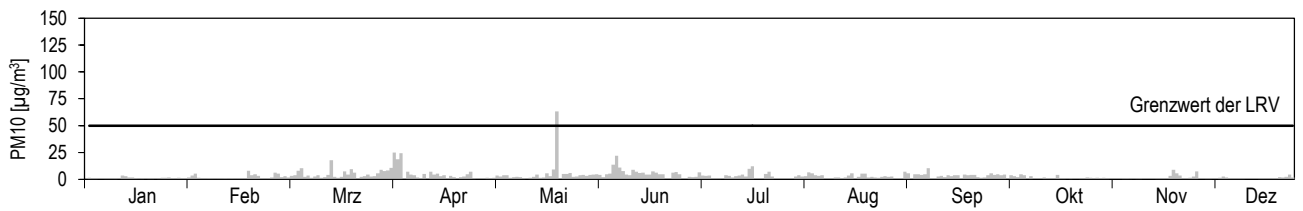
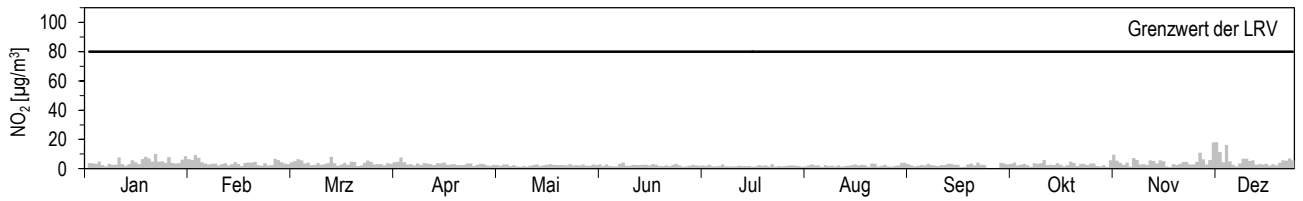
**Jahresübersicht
2014**

Davos-Seehornwald
Ländlich, oberhalb 1000 m



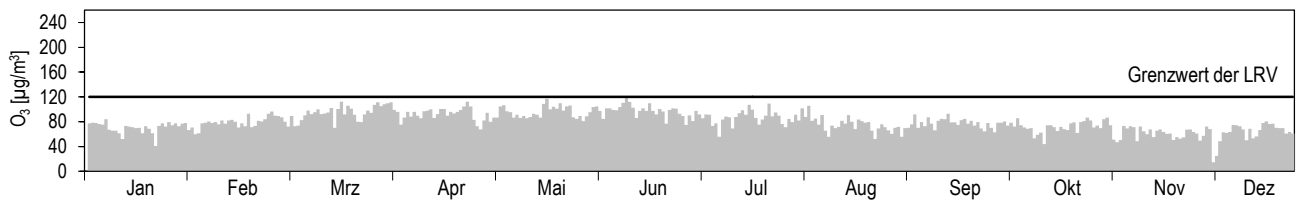
Koordinaten: 784'450 / 187'735
Höhe: 1637 m

Tagesmittelwerte für NO₂ ¹⁾




1) Die Umrechnung von ppb in µg/m³ und ppm in mg/m³ erfolgt für die Station Davos mit standortabhängigen Faktoren (Anhang A5)

Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃ ¹⁾



1) Die Umrechnung von ppb in µg/m³ erfolgt für die Station Davos mit standortabhängigen Faktoren (Anhang A5)

Jahresübersicht 2014	Dübendorf-Empa		Koordinaten: 688'675 / 250'900 Höhe: 432 m	
	Vorstädtisch			

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	1,8	1,9	2,1	1,4	0,7	0,7	0,6	0,7	1,2	0,8	1,1	1,7	1,2
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	4,0	3,4	3,7	3,5	1,5	1,2	2,1	2,2	12,2	1,7	2,1	4,1	12,2
	24h-Mittel > 100 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	37	35	37	26	15	15	16	16	23	26	29	30	26
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	61	61	64	62	33	26	32	25	41	43	45	54	64
	24h-Mittel > 80 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m ³	19,9	18,8	13,9	7,9	2,7	2,7	3,7	4,6	7,6	16,0	26,7	15,3	11,6
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	84,2	58,8	44,0	44,2	13,0	10,0	8,3	15,8	19,7	71,2	82,9	87,1	87,1
NO _x	Mittelwerte	ppb	36	34	31	20	10	10	11	12	18	27	37	28	23
	max. 24h-Mittelwert	ppb	99	79	69	61	25	22	24	26	36	80	84	98	99
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	19	33	40	55	69	81	63	51	36	22	11	21	42
	98 %-Wert der 1/2h-Mittel	µg/m ³	74	82	107	119	128	148	135	103	106	71	65	70	148
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	78	92	126	132	137	164	183	116	124	81	71	75	183
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	3	11	24	101	38	0	5	0	0	0	182
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	1h-Mittel > 240 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO	Mittelwerte	mg/m ³	0,40	0,38	0,39	0,29	0,22	0,20	0,18	0,20	0,27	0,29	0,40	0,34	0,30
	max. 24h-Mittelwert	mg/m ³	0,72	0,62	0,61	0,48	0,31	0,32	0,26	0,26	0,39	0,58	0,69	0,68	0,72
	24h-Mittel > 8 mg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NMVOC	Mittelwerte	µgCH ₄ /m ³	72	76	82	57	30	35	36	35	60	60	69	53	55
	max. 24h-Mittelwert	µgCH ₄ /m ³	137	304	204	237	63	72	80	61	233	125	132	139	304
CH ₄	Mittelwerte	mg/m ³	1,36	1,35	1,38	1,33	1,28	1,29	1,30	1,31	1,37	1,37	1,44	1,36	1,35
PM10	Mittelwerte	µg/m ³	17	14	25	14	8	12	10	10	14	13	15	13	14
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	49	37	68	39	33	27	22	29	19	28	29	39	68
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	3,3	4,3	7,3	11,4	13,5	18,9	18,5	17,0	15,8	12,8	6,9	3,5	11,1
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	518	439	377	165	102	0	0	0	17	113	393	511	2636
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	36	72	136	168	196	264	184	175	142	89	45	26	128
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	84	78	69	66	66	61	76	74	79	84	88	82	76
Niederschlag	Summen	mm	44	68	26	68	90	119	182	61,7*	51	69	80	51	913
Druck	Mittelwerte	hPa	961	960	966	964	966	967	965	965	968	968	962	970	965

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

**Jahresübersicht
2014**

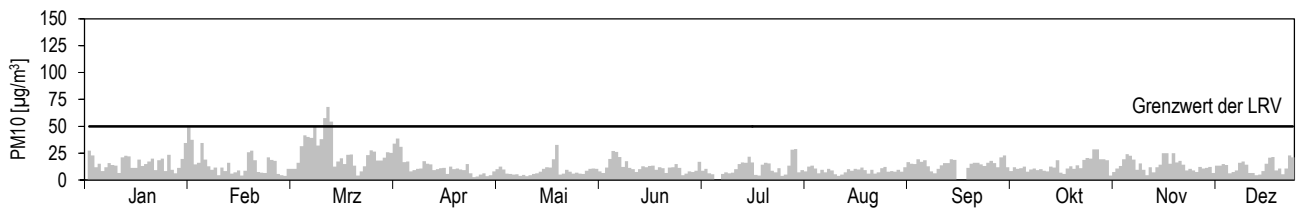
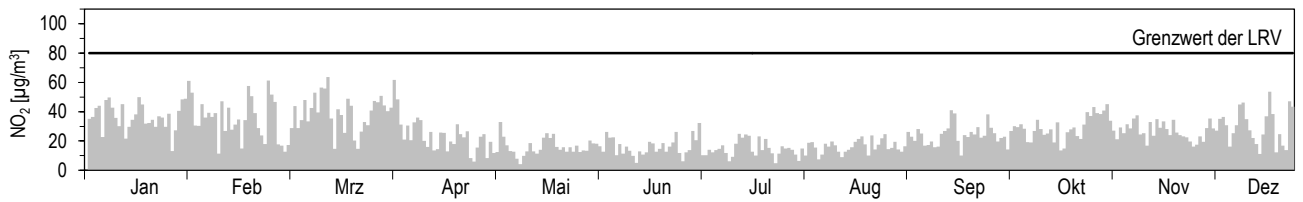
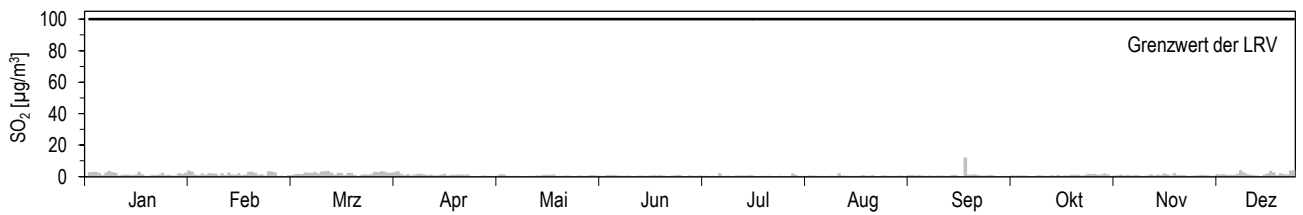
Dübendorf-Empa

Vorstädtisch

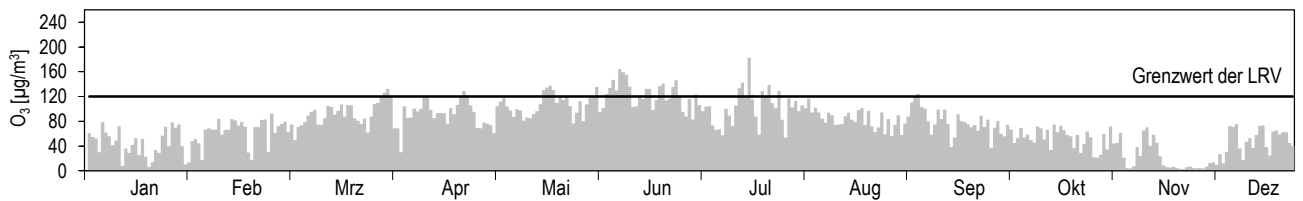



Koordinaten: 688'675 / 250'900
Höhe: 432 m

Tagesmittelwerte für SO₂, NO₂ und PM₁₀



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2014	Härkingen-A1		Koordinaten: 628'875 / 240'185
	Ländlich, Autobahn		Höhe: 431 m

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	1,1	0,9	1,1	0,8	0,5	0,6	0,5	0,6	1,3	0,9	1,0	1,2	0,9
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	2,2	1,6	2,0	1,9	1,0	0,8	0,8	2,9	17,4	1,5	1,6	2,3	17,4
	24h-Mittel > 100 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	44	42	39	33	28	25	31	30	32	36	41	39	35
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	60	57	60	62	46	47	65	44	51	53	65	71	71
	24h-Mittel > 80 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m ³	46	35	27	23	17	12	20	22	28	38	58	47	31
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	97	79	55	54	37	38	53	51	66	87	107	121	121
NO _x	Mittelwerte	ppb	60	51	42	36	29	23	32	33	39	50	69	58	43
	max. 24h-Mittelwert	ppb	107	92	71	75	53	55	77	62	77	98	113	129	129
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	15	27	36	48	58	72	50	40	34	19	7	17	35
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	74	73	96	105	118	141	124	100	97	72	52	67	141
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	80	82	114	127	138	164	154	121	114	87	68	75	164
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	5	12	62	23	2	0	0	0	0	104
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel > 240 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO	Mittelwerte	mg/m ³	0,36	0,35	0,36	0,29	0,23	0,21	0,22	0,23	0,28	0,30	0,43	0,40	0,31
	max. 24h-Mittelwert	mg/m ³	0,62	0,56	0,48	0,44	0,29	0,28	0,29	0,32	0,36	0,48	0,62	0,61	0,62
	24h-Mittel > 8 mg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m ³	20	15	29	15	9	15	12	11	15	14	17	14	16
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	44	35	74	38	23	28	23	40	22	27	29	37	74
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
SN	Mittelwerte	mg/(m ² d)	34	44	91	66	152	66	-	36	52	80	23	49	63

-) keine Messwerte vorhanden

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	3,3	4,1	7,2	11,4	13,5	18,7	18,9	17,5	16,2	12,9	6,8	3,0	11,2
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	519	446	398	159	92	0	0	0	17	113	395	528	2667
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	42	72	143	178	214	281	199	182	146	88	39	33	135
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	85	82	71	69	69	63	76	74	77	85	91	85	77
Niederschlag	Summen	mm	50	65	28	63	78	66	184	65	20	81	73	54	828
Druck	Mittelwerte	hPa	962	961	967	965	967	967	966	966	969	969	963	971	966

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	Wegen Bauarbeiten liegen keine gültigen Verkehrszahlen vor.											

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

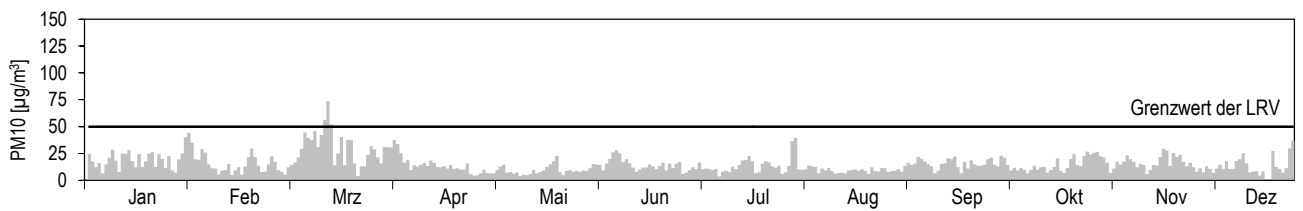
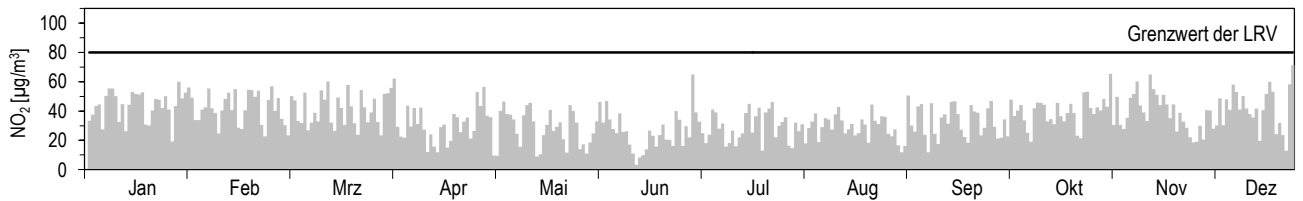
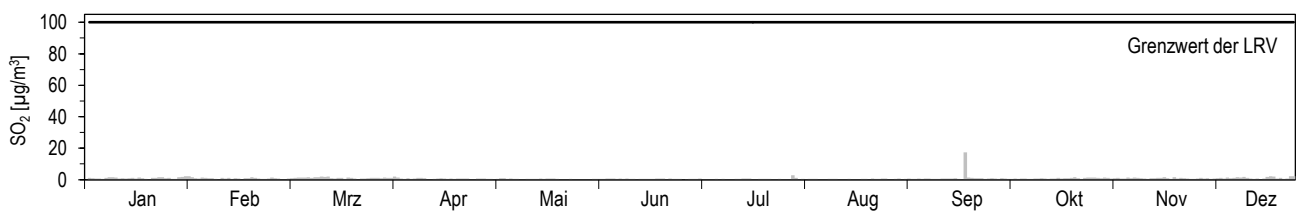
**Jahresübersicht
2014**

Härkingen-A1
Ländlich, Autobahn

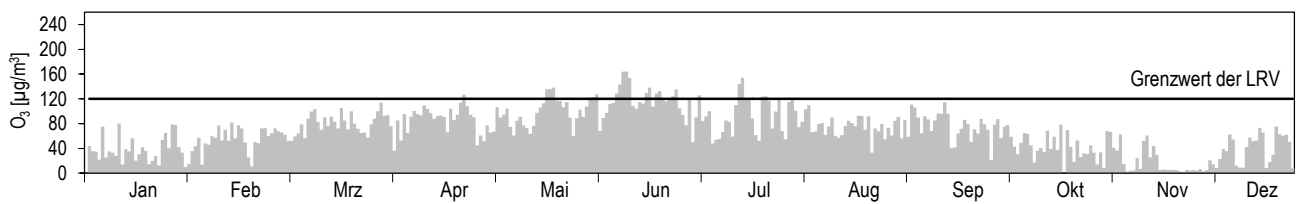


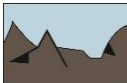
Koordinaten: 628'875 / 240'185
Höhe: 431m

Tagesmittelwerte für SO₂, NO₂ und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2014	Jungfrauoch		Koordinaten: 641'910 / 155'280
	Hochgebirge		Höhe: 3580 m

Luftschadstoffe ¹⁾			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	0,01	0,05	0,07	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,09	0,07	0,06	0,25	0,06
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	0,10	0,18	0,63	0,12	0,09	0,14	0,17	0,09	1,09	1,18	0,69	2,36	2,36
	24h-Mittel > 100 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	0,34*	0,32**	0,26	0,22	0,20	0,18	0,19	0,13	0,15	0,18	0,56	0,22	0,24
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	1,44*	0,3**	1,43	0,44	0,55	0,30	0,51	0,23	0,45	0,57	2,00	1,45	2,00
	24h-Mittel > 80 µg/m ³	Anz. Tage	0*	0*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m ³	0,04	0,05	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,05	0,03	0,03
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	0,12	0,13	0,18	0,10	0,17	0,06	0,09	0,06	0,07	0,09	0,22	0,40	0,40
NO _x	Mittelwerte	ppb	0,29*	0,28**	0,22	0,20	0,19	0,16	0,18	0,12	0,13	0,16	0,46	0,19	0,21
	max. 24h-Mittelwert	ppb	1,19*	0,27**	1,24	0,41	0,59	0,29	0,47	0,20	0,39	0,48	1,60	1,51	1,60
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	62	65	74	81	84	85	82	77	76	68	60	64	74
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	75	83	93	95	104	101	103	100	97	86	78	73	104
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	117	102	98	132	114	103	115	111	104	91	89	75	132
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel > 240 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO	Mittelwerte	mg/m ³	0,09	0,11	0,10	0,11	0,10*	0,08**	0,08	0,09	0,09	0,07	0,09	0,09	0,09
	max. 24h-Mittelwert	mg/m ³	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12*	0,09**	0,10	0,12	0,10	0,10	0,12	0,12	0,13
	24h-Mittel > 8 mg/m ³	Anz. Tage	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m ³	0,6	2,6	1,0	2,8	1,7	5,1	2,2	2,0	1,2	1,0	1,6	0,6	1,9
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	2,7	32,6	2,0	20,6	13,7	24,8	15,2	5,9	3,3	7,5	13,7	2,8	32,6
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	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 Jungfrauoch mit standortabhängigen Faktoren (Anhang A5)

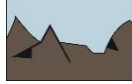
*) unvollständige Messreihe (siehe Anhang A5), aber mindestens 50 % der Messwerte vorhanden

**) unvollständige Messreihe (siehe Anhang A5), weniger als 50 % der Messwerte vorhanden

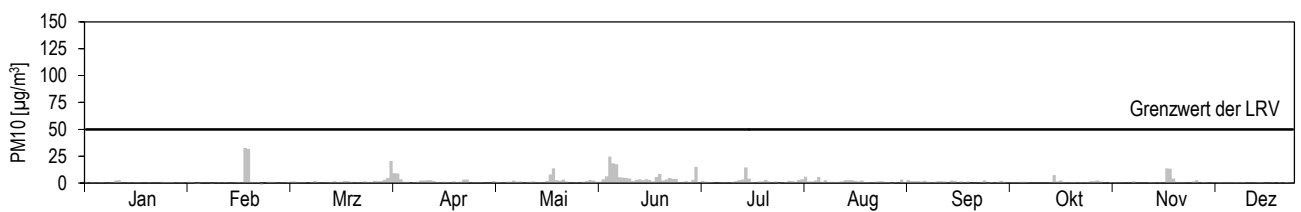
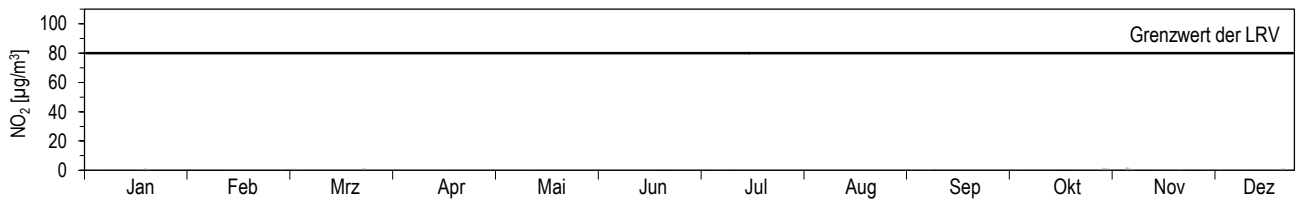
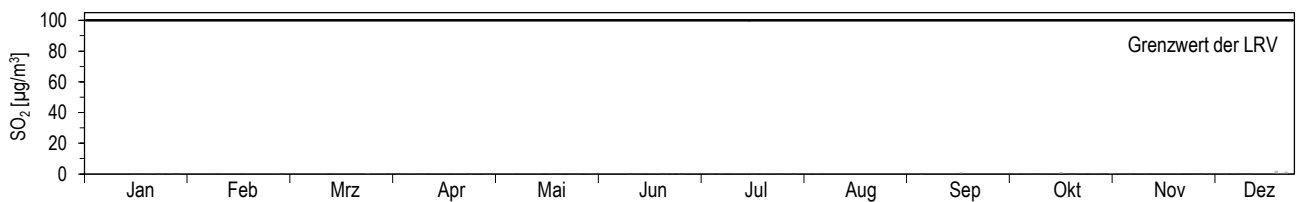
Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	-12,2	-12,9	-9,4	-8,2	-6,9	-1,8	-0,6	-1,5	-1,7	-3,5	-7,2	-11,9	-6,4
	Heizgradtagzahl ²⁾	(°C*d)	1000	922	912	845	833	653	639	667	650	748	817	988	9653
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	68	108	212	252	282	291	253	222	201	131	80	66	181
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	73	69	48	74	78	76	85	77	74	68	82	65	72
Druck	Mittelwerte	hPa	647	646	652	653	655	661	660	660	661	660	652	652	655

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.

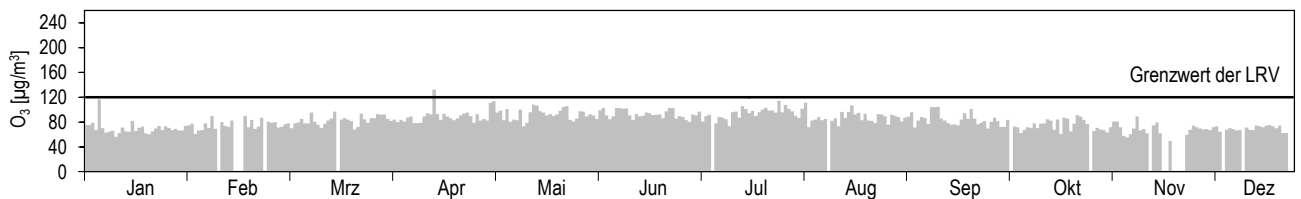
Jahresübersicht 2014	Jungfrauoch		Koordinaten: 641'910 / 155'280 Höhe: 3580 m
	Hochgebirge		

Tagesmittelwerte für SO₂¹⁾, NO₂¹⁾ und PM10




1) Die Umrechnung von ppb in µg/m³ und ppm in mg/m³ erfolgt für die Station Jungfrauoch mit standortabhängigen Faktoren (Anhang A5)

Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃¹⁾



1) Die Umrechnung von ppb in µg/m³ und ppm in mg/m³ erfolgt für die Station Jungfrauoch mit standortabhängigen Faktoren (Anhang A5)

Jahresübersicht 2014	Lägeren		Koordinaten: 669'780 / 259'020
	Ländlich, unterhalb 1000 m		Höhe: 689 m

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
NO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	15,6	13,6	13,0	10,2	6,7	5,8	6,5	5,4	8,5	9,2	17,0	14,8	10,5
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	45,2	33,6	22,4	24,9	11,2	8,1	11,8	10,2	19,7	17,2	32,4	28,9	45,2
	24h-Mittel > 80 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m ³	1,6	1,3	1,2	0,8	0,7	0,6	0,7	0,7	1,0	1,3	4,6	1,8	1,4
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	8,8	8,0	3,4	2,3	1,3	1,1	1,6	1,4	2,4	4,5	19,1	10,4	19,1
NO _x	Mittelwerte	ppb	9,5	8,1	7,8	6,0	4,0	3,5	4,0	3,3	5,2	5,9	12,6	9,2	6,6
	max. 24h-Mittelwert	ppb	30,7	24,0	13,9	13,8	6,9	5,0	7,1	6,4	12,1	11,2	27,7	20,0	30,7
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	39	54	72	80	84	101	84	73	66	49	28	34	64
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	70	81	118	125	131	141	145	109	118	80	69	66	145
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	76	87	131	135	142	155	163	116	130	92	73	77	163
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	10	20	33	143	81	0	10	0	0	0	297
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1h-Mittel > 240 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	2,5	3,3	7,0	10,2	11,5	17,2	17,0	15,2	14,8	12,1	6,3	1,5	9,9
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	542	468	373	224	182	0	20	26	57	119	411	573	2994
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	41	74	148	180	212	291	192	186	154	94	56	28	138
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	83	79	65	66	70	60	77	76	79	82	87	88	76
Niederschlag	Summen	mm	39	45	22	92	72	63	170	80	72	59	66	32	812
Druck	Mittelwerte	hPa	930	930	936	934	936	937	936	936	938	938	932	939	935

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

**Jahresübersicht
2014**

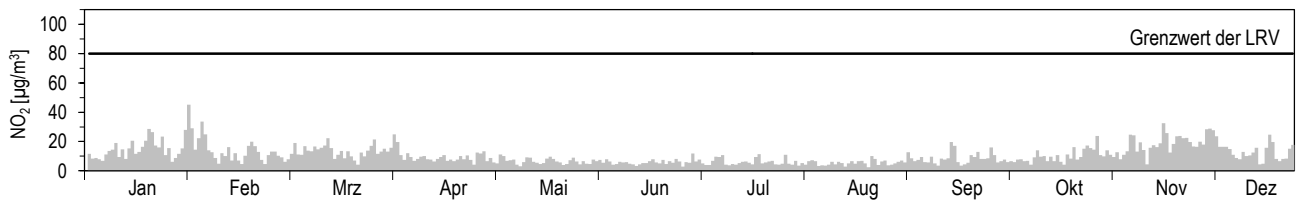
Lägeren

Ländlich, unterhalb 1000 m

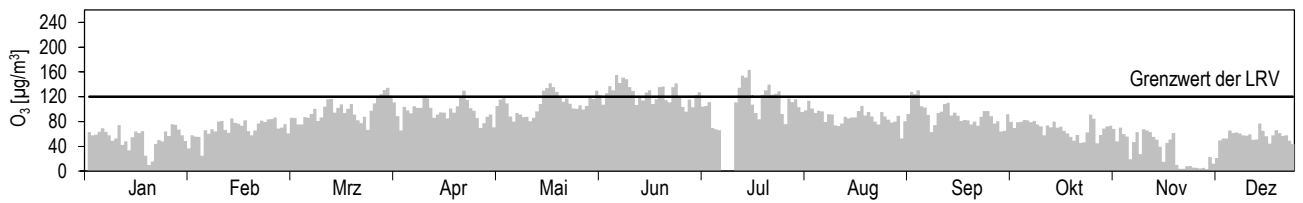



Koordinaten: 669'780 / 259'020
Höhe: 689 m

Tagesmittelwerte für NO₂



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2014	Lausanne-César-Roux		Koordinaten: 538'695 / 152'615 Höhe: 530 m
	Städtisch verkehrsbelastet		

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
NO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	51	52	52	39	35	37	37	33	38	41	44	40	41
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	73	67	85	71	55	59	61	51	62	57	60	73	85
	24h-Mittel > 80 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
NO	Mittelwerte	µg/m ³	31	26	20	14	13	11	14	12	15	24	33	27	20
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	66	50	40	33	23	20	28	22	29	57	54	67	67
NO _x	Mittelwerte	ppb	52	48	43	32	29	28	30	27	32	41	49	43	38
	max. 24h-Mittelwert	ppb	91	75	74	64	45	46	47	43	50	75	68	92	92
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	23	32	43	56	63	74	57	52	44	27	13	21	42
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	62	67	79	94	104	123	113	93	89	64	54	62	123
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	71	76	93	101	109	134	145	110	103	81	63	67	145
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	21	7	0	0	0	0	0	28
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel > 240 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO	Mittelwerte	mg/m ³	0,48	0,46	0,46	0,37	0,33	0,33	0,33	0,32	0,37	0,40	0,48	0,43	0,40
	max. 24h-Mittelwert	mg/m ³	0,72	0,62	0,70	0,68	0,46	0,46	0,42	0,40	0,51	0,62	0,64	0,67	0,72
	24h-Mittel > 8 mg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m ³	18	14	26	17	10	15	12	12	16	16	19	13	16
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	41	32	56	45	27	28	22	22	23	34	36	24	56
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
SN	Mittelwerte	mg/(m ² d)	57	72	76	72	94	43	96	61	55	75	63	57	68

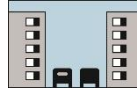
Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	5,2	5,6	9,0	12,6	13,9	20,0	19,3	18,6	17,6	14,9	9,6	5,4	12,7
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	459	402	301	114	87	0	0	0	0	43	284	452	2142
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	44	72	156	194	217	280	192	193	165	103	45	38	142
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	74	73	60	59	62	54	71	65	67	72	78	71	67
Niederschlag	Summen	mm	82	130	38	58	18	48	237	107	17	107	107	41	989
Druck	Mittelwerte	hPa	950	950	955	953	955	955	955	955	957	957	951	959	954

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	29'952	31'017	31'821	30'300	31'703	31'005	29'072	27'085	28'606	31'322	31'721	29'975	30'289

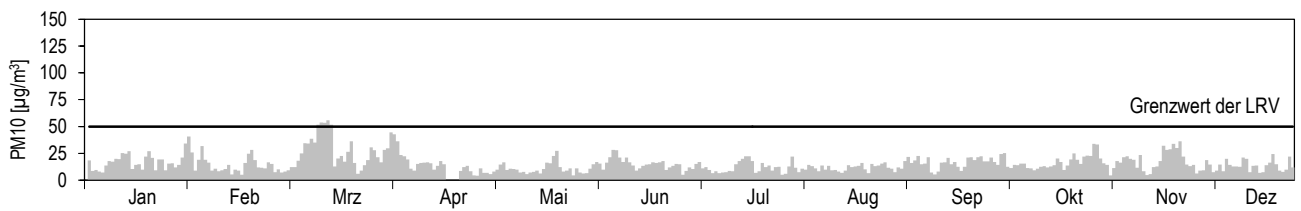
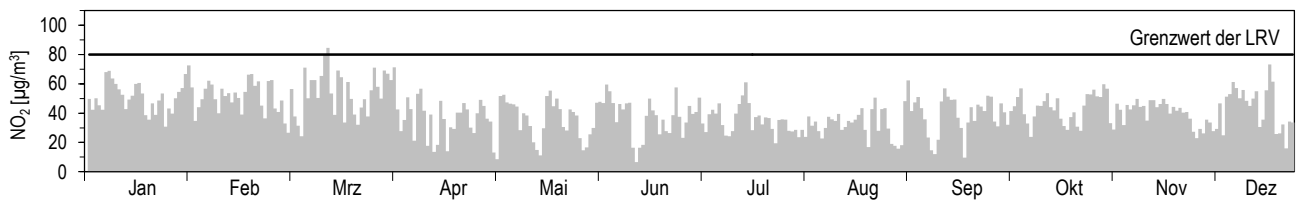
**Jahresübersicht
2014**

Lausanne-César-Roux
Städtisch, verkehrsbelastet

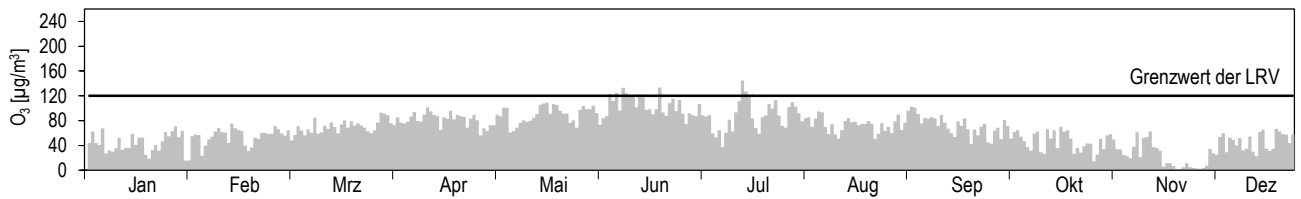



Koordinaten: 538'695 / 152'615
Höhe: 530 m

Tagesmittelwerte für NO₂ und PM₁₀



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2014	Lugano-Universität		Koordinaten: 717'615 / 096'645	
	Städtisch		Höhe: 280 m	

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	4,6	3,5	2,7	1,7	1,0	0,6	0,7	0,6	0,9	1,4	2,5	3,9	2,0
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	6,5	6,2	4,0	3,1	1,9	0,9	1,2	1,7	2,5	3,0	5,1	6,5	6,5
	24h-Mittel > 100 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	47	45	35	28	19	17	19	16	22	29	38	39	29
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	67	58	61	49	33	26	31	26	36	42	48	55	67
	24h-Mittel > 80 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m ³	25,5	13,8	5,2	4,0	2,1	1,5	2,3	2,1	3,2	8,1	19,7	23,4	9,2
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	64,3	23,9	10,8	10,8	8,3	4,3	6,0	4,4	7,3	25,6	64,0	57,7	64,3
NO _x	Mittelwerte	ppb	45	35	22	18	12	10	12	10	14	22	36	39	23
	max. 24h-Mittelwert	ppb	87	48	40	34	21	16	20	16	24	39	76	74	87
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	12	20	55	66	80	91	75	60	55	28	17	16	48
	98 %-Wert der 1/2h-Mittel	µg/m ³	74	77	114	121	134	188	172	128	123	83	62	73	188
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	84	88	133	146	143	264	218	153	138	97	87	80	264
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	9	14	56	152	92	22	17	0	0	0	362
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	26	11	0	0	0	0	0	37
CO	Mittelwerte	mg/m ³	0,53	0,45	0,36	0,30	0,24	0,22	0,23	0,24	0,28	0,33	0,43	0,54	0,35
	max. 24h-Mittelwert	mg/m ³	0,84	0,55	0,53	0,43	0,37	0,31	0,30	0,29	0,37	0,47	0,73	0,76	0,84
	24h-Mittel > 8 mg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel > 240 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
NMVOC	Mittelwerte	µgCH ₄ /m ³	118	87	73	70	58	64	93	62	74	96	103	105	84
	max. 24h-Mittelwert	µgCH ₄ /m ³	202	110	127	124	93	110	126	95	108	139	194	171	202
CH ₄	Mittelwerte	mg/m ³	1,33	1,31	1,31	1,29	1,28	1,26	1,28	1,28	1,31	1,31	1,31	1,32	1,30
PM10	Mittelwerte	µg/m ³	19	14	22	15	10	12	11	10	14	19	13	16	15
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	44	23	63	43	18	24	25	18	37	40	34	31	63
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	4,8	5,8	10,5	13,5	16,1	20,3	20,4	19,8	18,3	15,1	10,0	6,9	13,5
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	472	399	241	74	9	0	0	0	0	46	278	407	1926
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	50	70	163	200	245	264	222	194	173	99	47	48	148
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	82	83	63	67	63	70	77	79	74	80	89	73	75
Niederschlag	Summen	mm	223	250	113	108	136	161	361	259	24	157	568	70	2430
Druck	Mittelwerte	hPa	977	978	980	977	979	980	978	979	982	983	979	983	980

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

Die meteorologischen Daten wurden durch die MeteoSchweiz erhoben.

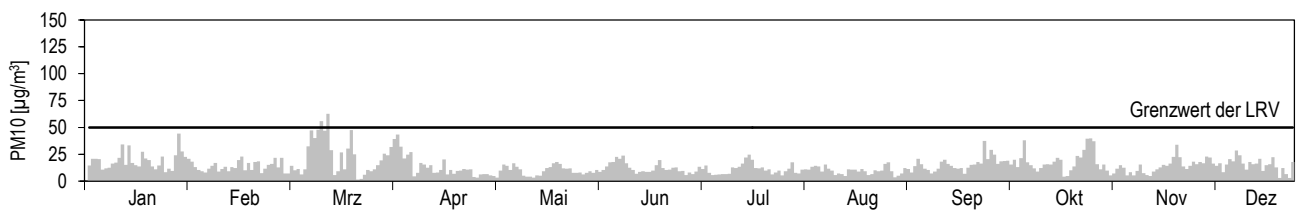
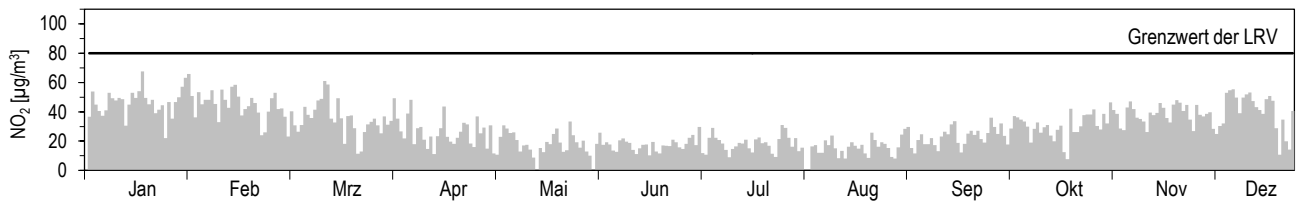
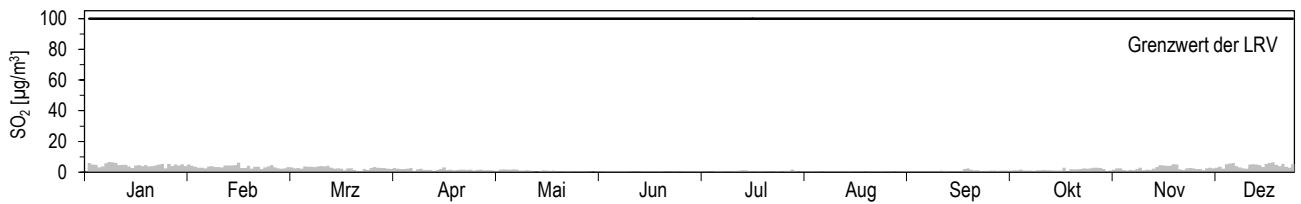
**Jahresübersicht
2014**

Lugano-Universität
Städtisch

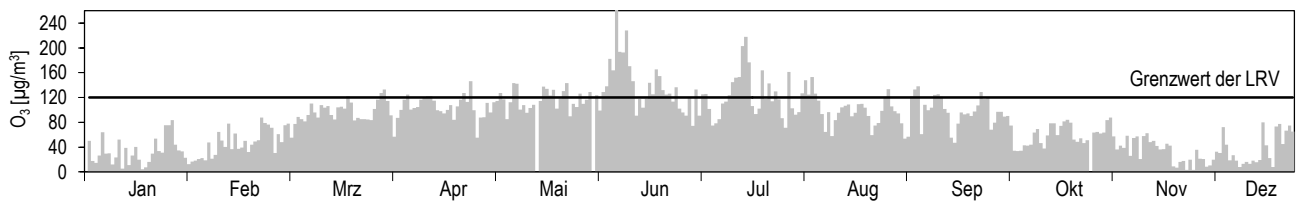



Koordinaten: 717'615 / 096'645
Höhe: 280 m

Tagesmittelwerte für SO₂, NO₂ und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2014	Magadino-Cadenazzo		Koordinaten: 715'500 / 113'200
	Ländlich, unterhalb 1000 m		Höhe: 203 m

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	2,7	2,1	2,3	2,1	1,1	0,7	0,6	0,4	0,6	0,8	1,3	2,0	1,4
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	4,4	3,7	6,1	4,5	2,3	1,5	1,5	1,2	1,8	2,2	3,4	4,4	6,1
	24h-Mittel > 100 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	35	30	19	15	10	9	10	8	12	17	23	27	18
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	59	51	34	27	16	14	17	16	19	30	40	50	59
	24h-Mittel > 80 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m ³	30,5	8,9	2,7	2,2	0,8	0,6	1,3	1,2	2,4	5,6	19,0	30,9	8,9
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	77,6	28,6	7,5	6,2	2,7	1,1	4,2	3,3	5,0	27,7	59,6	108,0	108,0
NO _x	Mittelwerte	ppb	42,8	22,9	12,3	9,4	5,7	5,1	6,2	5,3	8,2	13,5	27,5	38,9	16,5
	max. 24h-Mittelwert	ppb	83,3	48,7	23,3	19,2	9,9	8,0	12,2	10,1	13,3	38,1	68,9	110,7	110,7
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	14	26	58	68	76	80	63	54	45	28	19	16	45
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	77	80	119	121	130	160	162	112	115	85	68	72	162
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	86	91	129	152	144	191	196	143	128	99	80	78	196
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	13	16	40	100	64	11	10	0	0	0	254
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	6	2	0	0	0	0	0	8
	1h-Mittel > 240 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m ³	24	15	20	15	9	12	10	9	12	17	15	21	15
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	40	23	48	40	19	23	25	15	22	34	34	39	48
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SN	Mittelwerte	mg/(m ² d)	15	105	41	56	213	44	-	80	29	92	48	43	70

-) keine Messwerte vorhanden

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	2,4	4,4	9,3	13,6	15,9	20,0	20,0	19,4	17,3	14,0	8,2	4,6	12,5
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	546	437	310	84	9	0	0	0	0	83	355	478	2302
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	47	73	160	196	233	265	208	193	169	99	44	43	145
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	85	84	66	64	63	71	78	79	77	83	92	80	77
Niederschlag	Summen	mm	243	252	131	91	95	207	237	361	29	268	657	73	2643
Druck	Mittelwerte	hPa	989	989	992	989	990	991	989	990	993	995	991	995	991

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

Die meteorologischen Daten wurden durch die MeteoSchweiz erhoben.

**Jahresübersicht
2014**

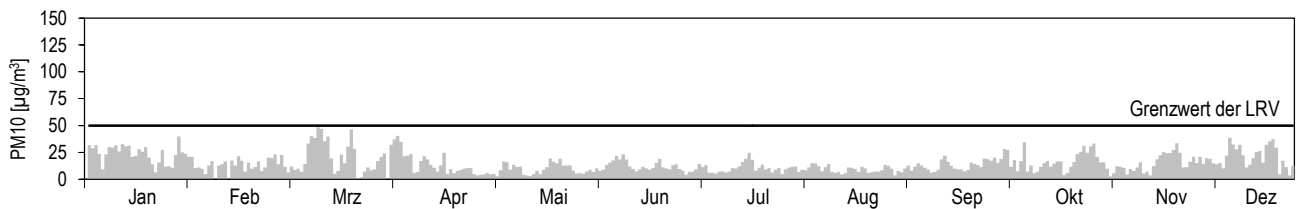
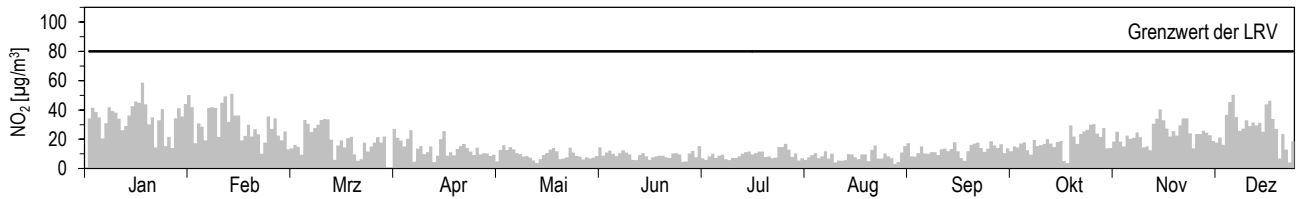
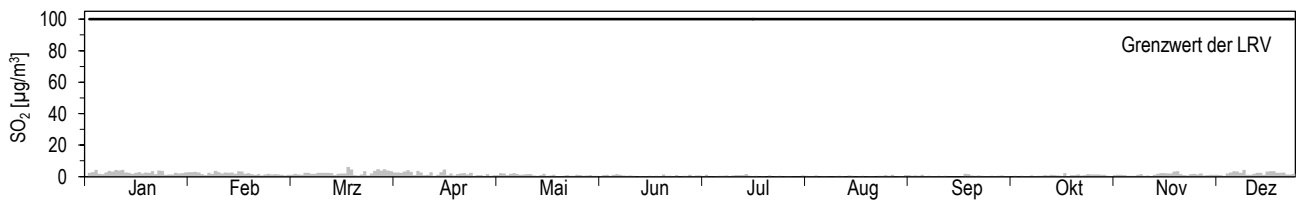
Magadino-Cadenazzo

Ländlich, unterhalb 1000 m

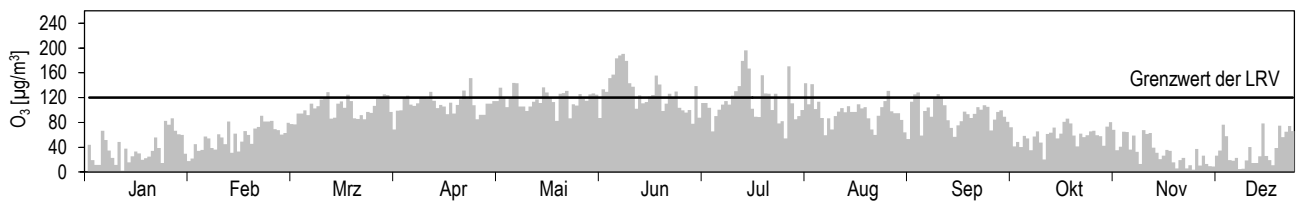



Koordinaten: 715'500 / 113'200
Höhe: 203 m

Tagesmittelwerte für SO₂, NO₂ und PM₁₀



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2014	Payerne		Koordinaten: 562'285 / 184'775 Höhe: 489 m
	Ländlich, unterhalb 1000 m		

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	0,57	0,47	0,66	0,46	0,33	0,43	0,21	0,25	0,71	0,37	0,41	0,63	0,46
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	1,39	0,94	1,03	0,87	0,70	0,72	0,64	0,53	8,53	0,75	0,78	1,53	8,53
	24h-Mittel > 100 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	19,5	15,5	16,6	10,9	6,6	7,6	6,1	5,9	10,5	13,7	19,7	17,2	12,4
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	41,4	28,4	27,2	30,6	11,8	10,5	10,1	12,7	19,1	24,5	28,2	31,1	41,4
	24h-Mittel > 80 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m ³	3,7	1,8	2,0	1,3	0,6	0,6	0,5	0,7	1,8	2,4	6,7	3,7	2,1
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	23,9	6,0	5,4	4,2	2,1	1,8	1,2	2,1	6,8	6,9	19,6	19,0	23,9
NO _x	Mittelwerte	ppb	13,2	9,6	10,3	6,7	4,0	4,5	3,6	3,6	6,9	9,1	15,7	12,0	8,2
	max. 24h-Mittelwert	ppb	40,9	19,3	18,1	19,4	7,6	6,9	5,7	8,3	13,2	18,3	26,4	24,8	40,9
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	32	47	58	66	74	81	66	59	50	32	17	30	51
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	77	85	109	112	123	136	128	109	114	83	64	72	136
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	84	90	126	122	134	151	140	123	128	93	74	78	151
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	4	3	20	81	32	2	5	0	0	0	147
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel > 240 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO	Mittelwerte	mg/m ³	0,28	0,25	0,26		0,17	0,15	0,15	0,16	0,18	0,21	0,30	0,29	0,22
	max. 24h-Mittelwert	mg/m ³	0,50	0,42	0,33	0,28	0,22	0,18	0,18	0,20	0,23	0,31	0,46	0,47	0,50
	24h-Mittel > 8 mg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m ³	14	10	22	12	6	13	10	8	12	12	13	10	12
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	36	26	56	35	20	25	21	19	19	25	28	20	56
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
SN	Mittelwerte	mg/(m ² d)	8	27	19	38	46	43	-	22	18	34	17	9	26

-) keine Messwerte vorhanden

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	2,9	3,6	6,7	10,7	12,4	17,7	17,7	17,0	15,2	12,4	6,5	3,5	10,6
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	531	460	405	194	118	0	8	0	35	117	406	511	2786
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	48	74	160	202	229	296	213	201	176	99	42	38	148
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	87	85	74	71	73	68	81	76	81	88	94	83	80
Niederschlag	Summen	mm	77	95	29	62	84	42	193	89	22	140	81	27	941
Druck	Mittelwerte	hPa	954	954	959	957	959	960	958	959	961	961	955	963	958

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.

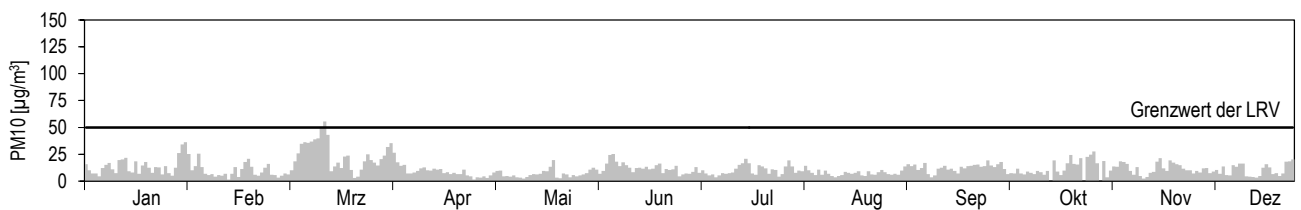
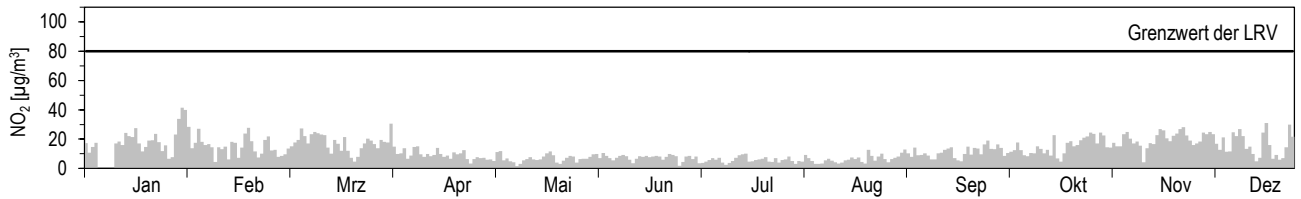
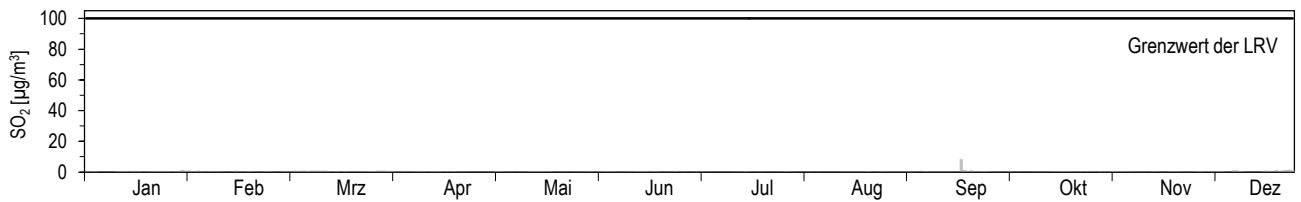
**Jahresübersicht
2014**

Payerne
Ländlich, unterhalb 1000 m

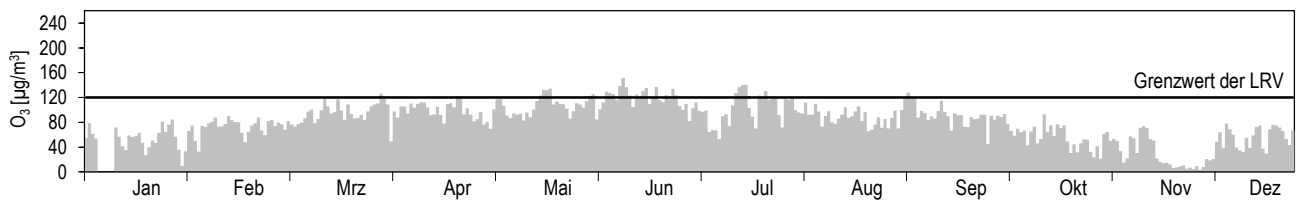



Koordinaten: 562'285 / 184'775
Höhe: 489 m

Tagesmittelwerte für SO₂, NO₂ und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2014	Rigi-Seebodenalp		Koordinaten: 677'835 / 213'440
	Ländlich, oberhalb 1000 m		Höhe: 1031 m

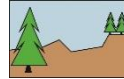
Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	0,32	0,32	0,58	0,41	0,30	0,41	0,27	0,25	0,88	0,16	0,14	0,40	0,37
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	1,08	0,62	1,34	1,05	0,70	0,81	0,65	0,50	18,94	0,67	0,55	2,55	18,94
	24h-Mittel > 100 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	6,0	5,8	10,6	6,8	4,1	5,7	3,9	3,6	6,3	5,4	6,8	9,0	6,2
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	22,0	13,0	21,0	13,0	5,8	8,6	6,2	6,2	11,8	11,4	26,4	25,2	26,4
	24h-Mittel > 80 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m ³	0,39	0,38	0,57	0,29	0,17	0,20	0,13	0,14	0,33	0,35	1,05	1,95	0,50
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	3,22	1,45	1,93	1,28	0,71	0,56	0,53	0,40	1,10	1,19	11,29	18,93	18,93
NO _x	Mittelwerte	ppb	3,4	3,3	6,0	3,8	2,3	3,1	2,1	2,0	3,6	3,1	4,4	6,3	3,6
	max. 24h-Mittelwert	ppb	14,1	8,0	12,5	7,3	3,6	5,0	3,5	3,5	6,6	6,7	22,8	25,8	25,8
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	67	76	86	90	92	105	92	81	77	65	58	52	78
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	90	95	117	123	125	147	139	109	113	93	86	88	147
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	99	101	130	134	129	187	166	118	120	99	91	92	187
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	5	20	47	154	59	0	0	0	0	0	285
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
	1h-Mittel > 240 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO	Mittelwerte	mg/m ³	0,17	0,18	0,21	0,18	0,15	0,14	0,13	0,14	0,17	0,14	0,17	0,22	0,17
	max. 24h-Mittelwert	mg/m ³	0,28	0,28	0,31	0,23	0,19	0,17	0,16	0,17	0,2	0,18	0,34	0,47	0,47
	24h-Mittel > 8 mg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m ³	4,1	3,9	17,0	9,7	5,7	10,1	6,2	5,6	8,8	5,6	4,6	2,4	7,0
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	16,2	11,9	49,6	29,5	39,7	24,9	15,5	11,1	14,4	14,6	21,7	7,0	49,6
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SN	Mittelwerte	mg/(m ² d)	10	59	8	42	68	59	19	34	28	38	18	16	33

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	1,9	1,9	4,7	8,1	9,5	15,1	15,0	13,6	13,0	10,9	6,8	1,3	8,5
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	561	508	473	343	290	62	42	92	132	194	388	580	3664
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	39	75	151	169	184	262	177	170	151	94	59	23	129
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	74	74	70	71	75	68	81	80	81	79	75	81	76
Niederschlag	Summen	mm	47	40	41	87	106	128	366	183	78	91	116	46	1326
Druck	Mittelwerte	hPa	893	893	899	898	900	901	900	900	902	902	895	901	899

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

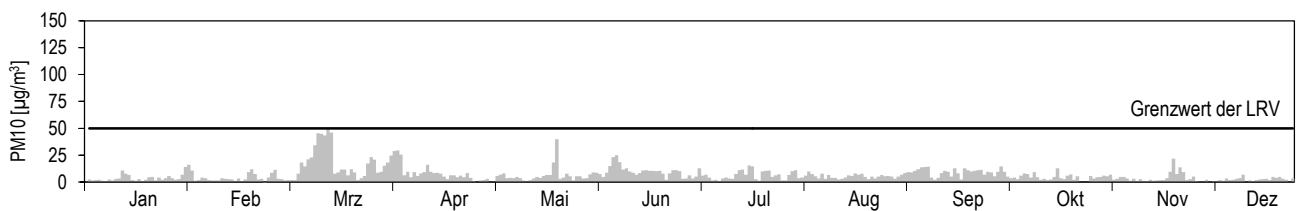
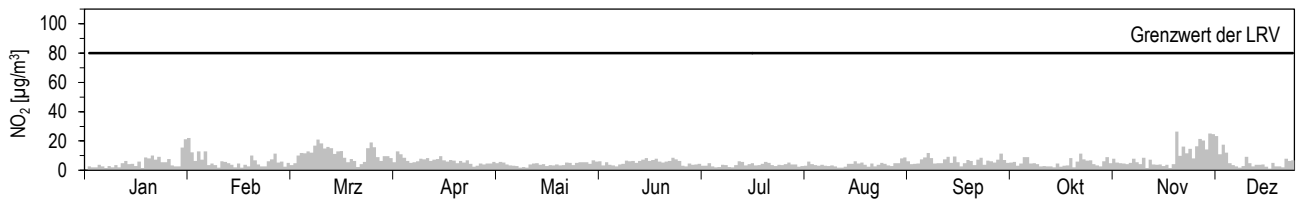
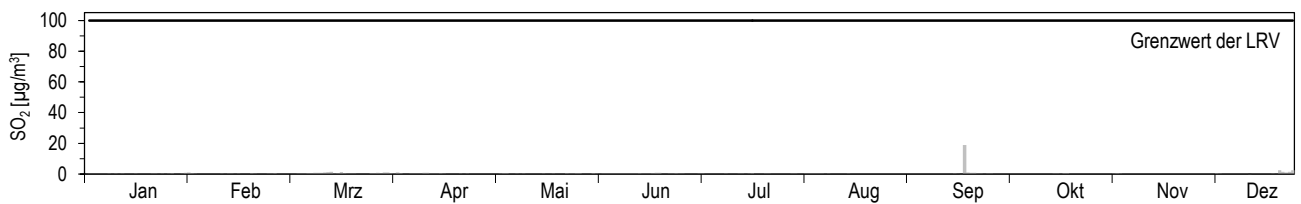
**Jahresübersicht
2014**

Rigi-Seebodenalp
Ländlich, oberhalb 1000 m

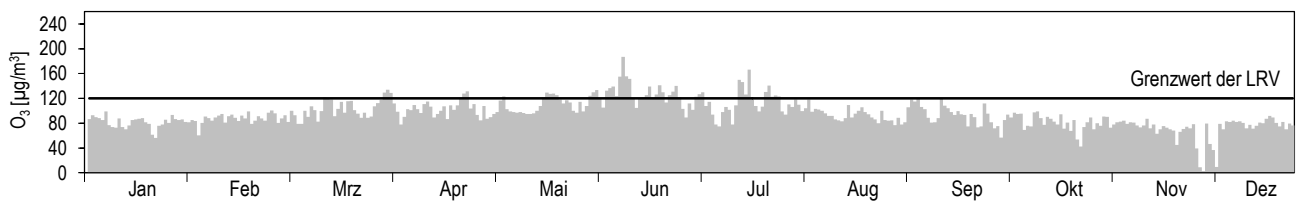



Koordinaten: 677'835 / 213'440
Höhe: 1031 m

Tagesmittelwerte für NO₂ und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃




Jahresübersicht 2014	Sion-Aéroport-A9		Koordinaten: 592'540 / 118'755
	Ländlich, Autobahn		Höhe: 483 m

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
NO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	55	48	38	27	20	21	18	15	25	34	43	50	33
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	68	66	54	56	32	32	30	29	44	56	64	75	75
	24h-Mittel > 80 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m ³	45,0	27,4	15,8	11,4	6,7	5,5	5,0	5,8	12,6	26,3	44,3	50,0	21,3
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	98,3	58,6	27,7	33,8	15,7	8,5	10,6	14,0	29,5	59,2	108,7	108,9	108,9
NO _x	Mittelwerte	ppb	65	47	32	23	16	15	13	13	23	39	58	66	34
	max. 24h-Mittelwert	ppb	114	76	48	56	26	24	24	26	45	77	118	126	126
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	14	29	52	62	68	72	60	51	41	22	15	9	41
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	61	74	108	107	112	126	121	100	97	72	66	57	126
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	73	83	118	120	125	139	142	106	113	80	77	69	142
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	1	3	30	17	0	0	0	0	0	51
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel > 240 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m ³	24	17	20	17	10	17	11	13	17	15	20	21	17
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	38	32	41	48	38	37	21	22	23	26	48	37	48
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

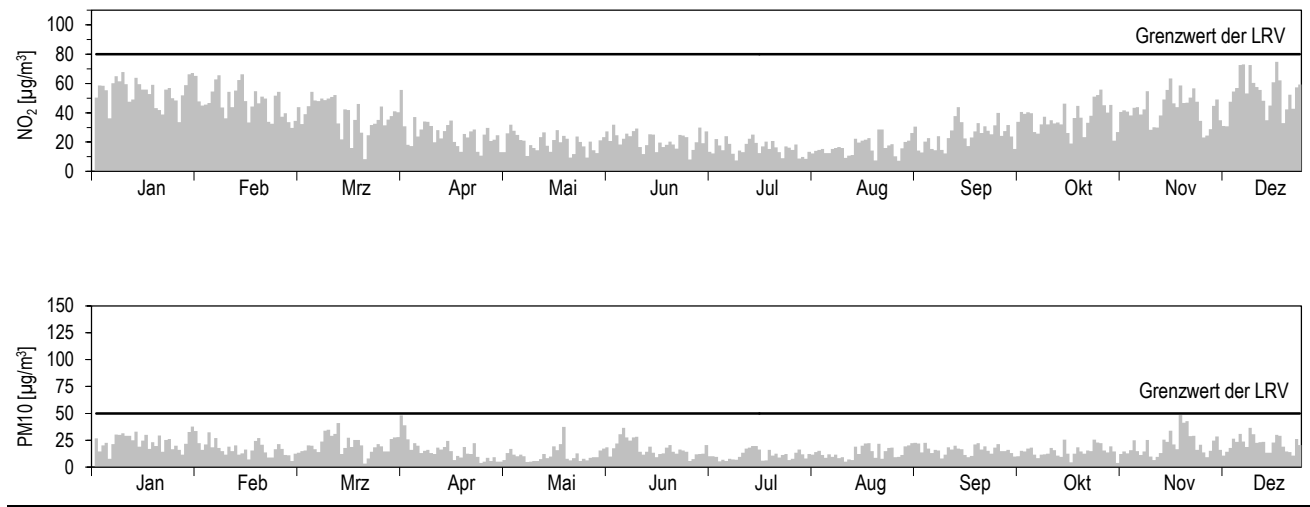
Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	2,6	4,2	8,4	12,8	14,5	20,1	19,3	18,4	16,9	13,0	8,1	2,7	11,8
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	540	443	323	95	64	0	0	0	0	115	352	536	2469
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	52	89	185	222	258	286	220	231	191	122	66	43	164
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	80	76	58	59	61	57	72	71	72	77	79	81	70
Niederschlag	Summen	mm	42	79	5	29	34	17	106	87	15	29	44	42	530
Druck	Mittelwerte	hPa	956	956	960	957	959	960	959	959	961	962	956	964	959

1) Heizgradtagzahl: Monatliche Summe der täglichen Differenzen zwischen Raumtemperatur (20 °C) und der Tagesmittel-Temperatur aller Heiztage (Heiztag: Tag mit Tagesmitteltemperatur <= 12 °C)
Die meteorologischen Daten wurden durch die MeteoSchweiz erhoben.

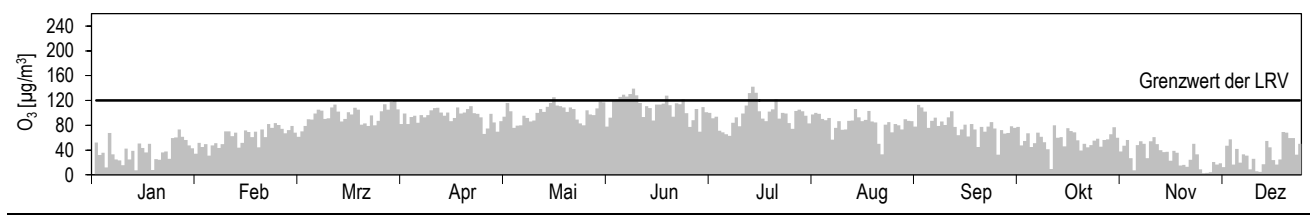
Verkehr		Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Verkehrszähler	Fz/Tag	36'314	39'094	38'510	38'019	37'138	36'219	Wegen Bauarbeiten liegen ab Juli keine gültigen Verkehrszahlen vor.						


Jahresübersicht 2014	Sion-Aéroport-A9		Koordinaten: 592'540 / 118'755 Höhe: 483 m
	Ländlich, Autobahn		

Tagesmittelwerte für NO₂ und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2014	Tänikon		Koordinaten: 710'500 / 259'810 Höhe: 538 m
	Ländlich, unterhalb 1000 m		

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
NO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	18,7	15,8	14,4	11,2	7,5	7,9	6,7	6,0	10,1	12,5	18,3	16,1	12,1
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	41,0	28,7	24,2	22,3	14,9	11,2	12,6	9,9	17,7	20,8	25,3	39,5	41,0
	24h-Mittel > 80 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m ³	4,6	3,3	2,7	2,0	1,0	0,8	0,8	0,8	2,4	3,4	11,6	3,5	3,1
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	24,9	10,9	6,6	6,4	3,1	2,6	1,9	2,8	9,2	17,0	44,2	16,4	44,2
NO _x	Mittelwerte	ppb	13,5	10,9	9,7	7,4	4,7	4,8	4,1	3,8	7,3	9,2	18,9	11,3	8,8
	max. 24h-Mittelwert	ppb	41,4	23,4	18,0	16,8	10,2	7,7	8,1	6,6	15,5	24,2	45,2	31,7	45,2
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	32	45	54	62	73	82	70	60	42	31	15	35	50
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	76	83	108	116	125	139	132	104	100	74	67	72	139
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	80	97	126	129	142	151	149	117	127	80	72	75	151
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	4	4	20	89	31	0	4	0	0	0	152
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1h-Mittel > 240 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM10	Mittelwerte	µg/m ³	13,0	10,0	23,0	13,0	8,0	12,0	9,0	8,0	12,0	10,0	12,0	9,0	11,0
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	41,0	30,0	65,0	33,0	38,0	25,0	17,0	21,0	22,0	20,0	23,0	39,0	65,0
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	2,7	3,5	5,9	9,9	12,3	17,2	17,3	16,0	14,4	11,7	5,8	3,1	10,0
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	536	463	430	255	157	0	8	0	56	142	426	524	2997
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	42	81	151	187	219	289	206	186	152	95	47	30	141
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	86	81	74	73	72	68	80	79	86	87	93	83	80
Niederschlag	Summen	mm	50	87	39	95	93	110	249	123	47	54	84	82	1113
Druck	Mittelwerte	hPa	948	947	954	952	953	954	953	953	956	955	949	957	953

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
2014**

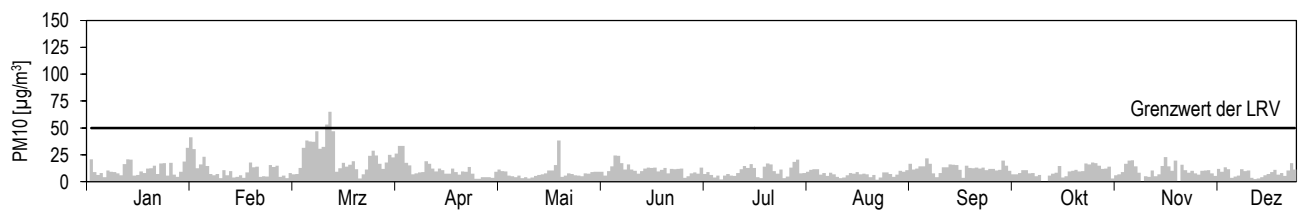
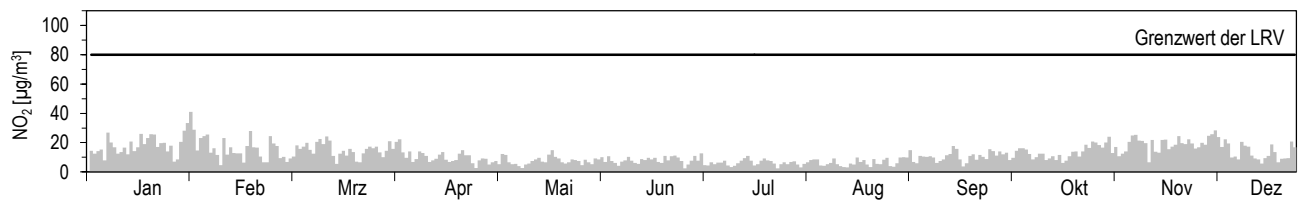
Tänikon

Ländlich, unterhalb 1000 m

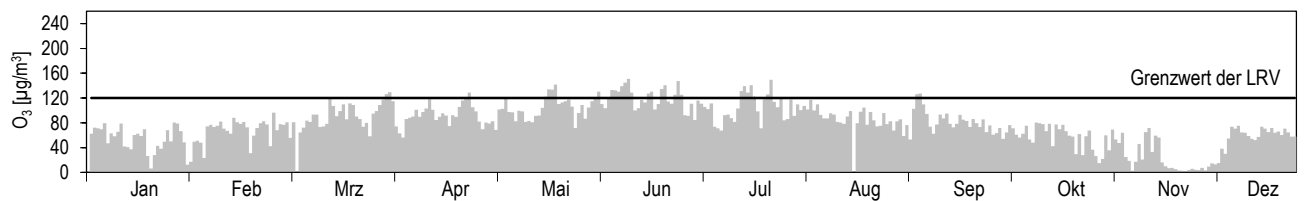



Koordinaten: 710'500 / 259'810
Höhe: 538 m

Tagesmittelwerte für NO₂ und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2014	Zürich-Kaserne		Koordinaten: 682'450 / 247'990 Höhe: 409 m
	Städtisch		

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	2,7	2,7	3,2	2,0	1,1	1,1	0,8	0,9	1,8	1,5	1,7	1,9	1,8
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	5,3	5,0	5,4	4,1	2,4	1,8	1,4	2,1	17,5	3,5	3,1	5,0	17,5
	24h-Mittel > 100 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	40	38	42	29	20	20	20	19	29	32	34	33	30
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	63	67	73	70	38	35	40	32	48	51	50	60	73
	24h-Mittel > 80 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m ³	17,1	15,2	10,0	6,0	2,5	2,3	2,9	3,5	7,1	13,4	28,4	12,9	10,1
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	67,5	67,4	26,4	36,5	8,1	7,8	9,4	13,3	28,1	63,9	80,2	71,0	80,2
NO _x	Mittelwerte	ppb	35	32	30	20	12	12	13	13	21	27	41	28	24
	max. 24h-Mittelwert	ppb	87	89	59	57	27	24	27	27	48	78	85	88	89
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	20	34	43	59	70	84	66	56	40	24	11	22	44
	98 %-Wert der 1/2h-Mittel	µg/m ³	71	78	103	117	125	141	133	102	107	67	62	66	141
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	75	83	124	133	140	162	191	114	124	80	70	73	191
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	1	8	22	93	34	0	2	0	0	0	160
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	1h-Mittel > 240 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO	Mittelwerte	mg/m ³	0,35	0,32	0,34	0,26	0,22	0,21	0,21	0,21	0,28	0,29	0,40	0,33	0,29
	max. 24h-Mittelwert	mg/m ³	0,60	0,53	0,51	0,45	0,29	0,34	0,36	0,29	0,39	0,57	0,67	0,56	0,67
	24h-Mittel > 8 mg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NMVOC	Mittelwerte	µgCH ₄ /m ³	70	69	73	57	45	48	56	42	61	72	88	62	62
	max. 24h-Mittelwert	µgCH ₄ /m ³	131	129	130	144	89	89	198	79	122	162	172	151	198
CH ₄	Mittelwerte	mg/m ³	1,37	1,35	1,35	1,32	1,30	1,29	1,30	1,29	1,35	1,33	1,41	1,33	1,33
PM10	Mittelwerte	µg/m ³	18	14	27	15	9	13	11	11	15	14	17	13	15
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	46	35	70	44	30	28	24	30	20	32	36	33	70
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
SN	Mittelwerte	mg/(m ² d)	32	43	43	69	59	86	-	37	34	39	65	21	48

-) keine Messwerte vorhanden

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	4,8	5,7	9,0	12,8	14,5	20,1	19,8	18,4	17,3	14,4	8,4	4,9	12,6
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	470	400	301	115	71	0	0	0	0	89	347	467	2260
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	39	74	141	175	207	277	190	180	146	90	48	26	133
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	77	72	62	61	62	56	70	68	72	77	81	76	69
Niederschlag	Summen	mm	53	73	30	74	139	146	159	104	66	69	85	55	1054
Druck	Mittelwerte	hPa	964	964	970	967	969	970	968	969	971	971	965	973	968

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

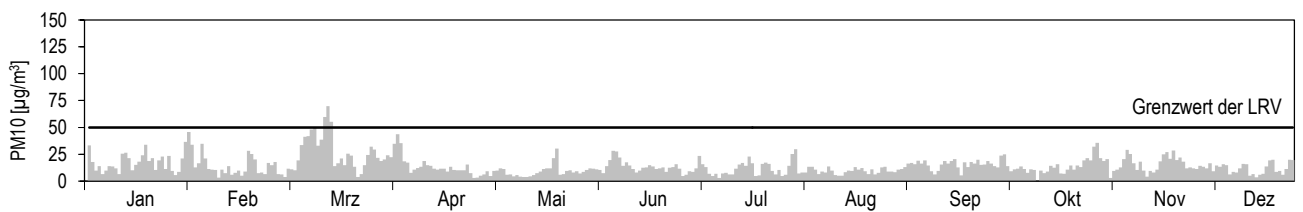
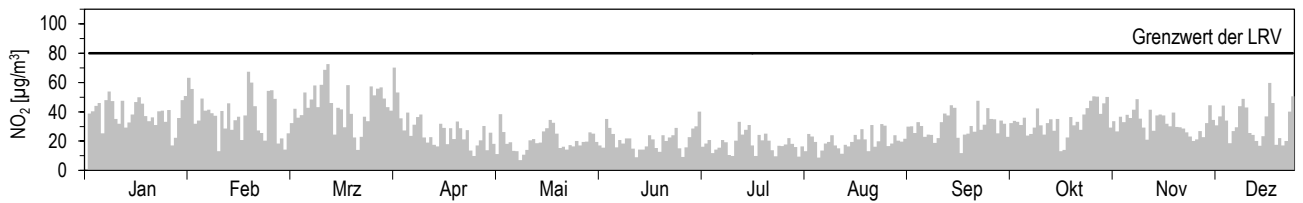
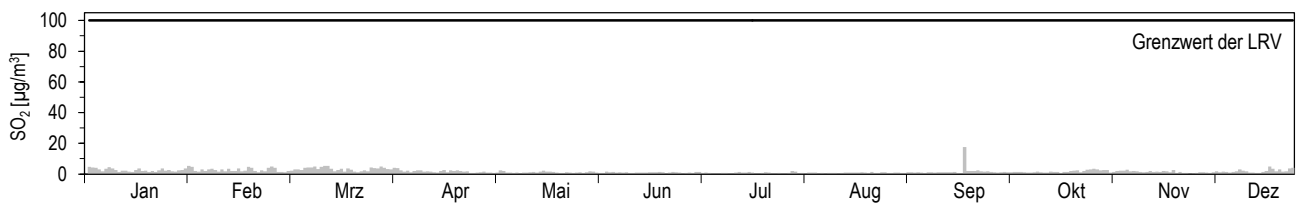
**Jahresübersicht
2014**

Zürich-Kaserne
Städtisch

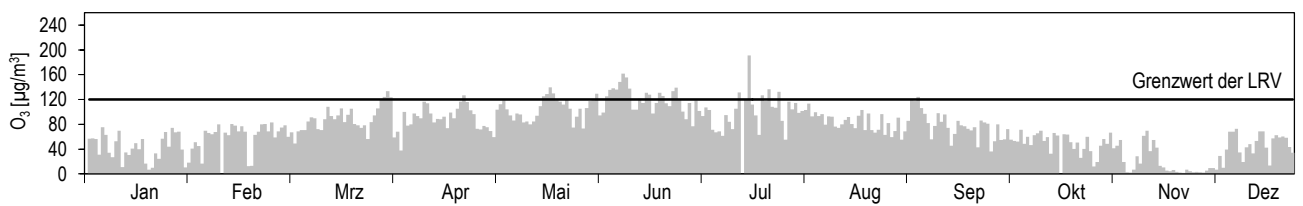


Koordinaten: 682'450 / 247'990
Höhe: 409 m


Tagesmittelwerte für SO₂, NO₂ und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Anhang B2: VOC-Messwerte

Jahresübersicht VOC 2014	Rigi-Seebodenalp		Koordinaten: 677'835 / 213'440
	Ländlich, oberhalb 1000 m		Höhe: 1031 m

Aromatische Verbindungen			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Benzol	Mittelwerte	µg/m³	0,41	0,45	0,51	0,30	0,17	0,12	0,11	0,12	0,27	0,18	0,35	0,58	0,30
Toluol	Mittelwerte	µg/m³	0,39	0,34	0,49	0,34	0,20	0,28	0,27	0,24	0,62	0,46	0,54	0,54	0,39
Ethylbenzol	Mittelwerte	µg/m³	0,07	0,06	0,08	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,09	0,09	0,09	0,11	0,06
m/p-Xylol	Mittelwerte	µg/m³	0,19	0,14	0,16	0,11	0,08	0,08	0,08	0,07	0,22	0,22	0,22	0,27	0,15
o-Xylol	Mittelwerte	µg/m³	0,07	0,06	0,07	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,09	0,08	0,09	0,13	0,06
Umrechnungsfaktoren (F):		[ppb] * F = [µg/m³]													
F_Benzol = 3,25		F_Toluol = 3,83	F_Ethylbenzol = 4,41				F_m/p-Xylol = 4,41				F_o-Xylol = 4,41				

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

Gesättigte Kohlenwasserstoffe

Ethan	Mittelwerte	µg/m³	2,66	2,86	3,14	2,57	2,04	1,35	1,10	1,14	1,34	1,36	2,01	2,77	2,04
Propan	Mittelwerte	µg/m³	1,70	1,75	1,70	1,04	0,58	0,46	0,43	0,34	0,71	0,68	1,14	1,78	1,03
n-Butan	Mittelwerte	µg/m³	0,79	0,74	0,79	0,44	0,22	0,26	0,25	0,18	0,44	0,38	0,63	0,93	0,51
n-Pentan	Mittelwerte	µg/m³	0,32	0,31	0,45	0,30	0,18	0,30	0,25	0,20	0,46	0,33	0,42	0,48	0,33
n-Hexan	Mittelwerte	µg/m³	0,09	0,08	0,07	0,05	0,04	0,05	0,04	0,03	0,09	0,07	0,07	0,12	0,07
Isobutan	Mittelwerte	µg/m³	0,42	0,39	0,46	0,24	0,12	0,14	0,14	0,09	0,25	0,21	0,35	0,52	0,28
Isopentan	Mittelwerte	µg/m³	0,46	0,43	0,59	0,40	0,26	0,41	0,38	0,31	0,67	0,45	0,53	0,57	0,45
Σ Isohexane	Mittelwerte	µg/m³	0,49	0,46	0,50	0,37	0,27	0,32	0,30	0,28	0,59	0,39	0,45	0,57	0,41
Σ Isoheptane	Mittelwerte	µg/m³	0,16	0,12	0,22	0,12	0,08	0,10	0,10	0,09	0,18	0,16	0,24	0,29	0,16


Ungesättigte Kohlenwasserstoffe

Ethen	Mittelwerte	µg/m³	0,57	0,46	0,50	0,31	0,17	0,15	0,15	0,15	0,22	0,26	0,57	1,05	0,39
Propen	Mittelwerte	µg/m³	0,12	0,08	0,11	0,10	0,08	0,08	0,06	0,05	0,07	0,08	0,12	0,20	0,10
Σ Butene	Mittelwerte	µg/m³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Σ Pentene	Mittelwerte	µg/m³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ethin	Mittelwerte	µg/m³	0,36	0,44	0,53	0,30	0,17	0,12	0,11	0,11	0,22	0,16	0,33	0,56	0,28
Isopren	Mittelwerte	µg/m³	0,03	0,04	0,02	0,03	0,04	0,11	0,13	0,09	0,08	0,05	0,05	0,03	0,07
1,3-Butadien	Mittelwerte	µg/m³	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02

-) keine Messwerte vorhanden

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

F_Ethan = 1,25	F_Propan = 1,83	F_n-Butan = 2,42	F_n-Pentan = 3,00	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 2014	Zürich		Koordinaten: 682'450 / 247'990
	Städtisch		Höhe: 409 m

Aromatische Verbindungen			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Benzol	Mittelwerte	µg/m³	0,94	0,83	1,03	0,63	0,32	0,30	0,36	0,31	0,64	0,72	1,23	0,96	0,72
Toluol	Mittelwerte	µg/m³	3,11	2,96	3,37	2,42	1,46	1,73	2,44	2,28	3,35	3,94	3,95	2,18	2,83
Ethylbenzol	Mittelwerte	µg/m³	0,59	0,57	0,62	0,42	0,28	0,31	0,38	0,38	0,73	0,67	0,70	0,39	0,52
m/p-Xylol	Mittelwerte	µg/m³	2,37	2,52	2,52	1,54	0,96	1,08	1,35	1,43	2,17	2,36	2,74	1,43	1,90
o-Xylol	Mittelwerte	µg/m³	0,78	0,77	0,84	0,59	0,41	0,46	0,60	0,57	0,82	0,96	1,08	0,64	0,73
Umrechnungsfaktoren (F):			[ppb] * F = [µg/m³]		F_Ethylbenzol = 4,41		F_m/p-Xylol = 4,41		F_o-Xylol = 4,41						
F_Benzol = 3,25			F_Toluol = 3,83												

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

Gesättigte Kohlenwasserstoffe

Ethan	Mittelwerte	µg/m³	3,71	3,74	4,25	3,43	2,54	1,80	1,55	1,89	2,30	2,50	3,82	3,96	2,99
Propan	Mittelwerte	µg/m³	3,00	3,03	3,23	2,27	1,49	1,50	1,74	1,49	2,59	2,72	3,72	3,12	2,56
n-Butan	Mittelwerte	µg/m³	2,78	2,70	3,12	2,17	1,32	1,38	1,55	0,79	2,10	2,89	3,57	2,34	2,34
n-Pentan	Mittelwerte	µg/m³	0,99	0,98	1,25	1,05	0,70	0,85	1,00	0,50	1,38	1,52	1,92	1,06	1,16
n-Hexan	Mittelwerte	µg/m³	0,30	0,32	0,40	0,30	0,19	0,26	0,34	0,26	0,44	0,41	0,45	0,34	0,34
Heptan	Mittelwerte	µg/m³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Isobutan	Mittelwerte	µg/m³	1,48	1,43	1,67	1,15	0,76	0,75	0,86	0,55	1,27	1,68	2,11	1,48	1,33
Isopentan	Mittelwerte	µg/m³	2,41	2,36	3,03	2,48	1,85	2,37	2,54	0,97	3,51	3,74	3,73	1,71	2,72
Σ Isohexane	Mittelwerte	µg/m³	1,94	1,86	2,40	1,92	1,39	1,81	1,95	1,33	2,81	2,74	2,95	1,77	2,15
Σ Isoheptane	Mittelwerte	µg/m³	1,01	1,09	1,25	0,98	1,35	1,54	1,00	0,69	1,10	1,41	1,58	0,87	1,20


Ungesättigte Kohlenwasserstoffe

Ethen	Mittelwerte	µg/m³	1,82	1,45	1,53	0,99	0,69	0,72	0,83	1,08	1,16	1,50	2,92	2,26	1,46
Propen	Mittelwerte	µg/m³	0,59	0,46	0,47	0,33	0,27	0,28	0,34	0,33	0,43	0,53	0,81	0,61	0,47
Σ Butene	Mittelwerte	µg/m³	0,76	0,96	0,99	0,49	0,36	0,32	0,52	0,74	0,53	0,80	1,07	0,65	0,68
Σ Pentene	Mittelwerte	µg/m³	0,35	0,40	0,47	0,41	0,29	0,33	0,33	0,25	0,50	0,58	0,58	0,34	0,43
Ethin	Mittelwerte	µg/m³	1,23	1,19	1,20	0,71	0,43	0,39	0,43	0,45	0,64	0,78	1,29	1,10	0,85
Isopren	Mittelwerte	µg/m³	0,18	0,17	0,20	0,16	0,16	0,25	0,29	0,12	0,21	0,25	0,26	0,17	0,21
1,3-Butadien	Mittelwerte	µg/m³	0,12	0,14	0,14	0,11	0,08	0,08	0,10	-	0,13	0,14	0,16	0,14	0,12

-) keine Messwerte vorhanden

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


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

Jahresübersicht VOC 2014	Dübendorf-Empa		Koordinaten: 688'675 / 250'900
	Vorstädtisch		Höhe: 432 m

Aromatische Verbindungen			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Benzol	Mittelwerte	µg/m³	0,95	0,84	0,81	0,54	0,40	0,33	0,27	0,28	0,45	0,59	1,08	0,92	0,63
Toluol	Mittelwerte	µg/m³	3,33	2,31	4,53	2,88	1,87	1,88	1,80	1,64	2,15	2,79	3,01	1,90	2,54

* Hohe Werte aufgrund von Phasen mit starker lokaler Verschmutzung

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

Jahresübersicht VOC 2014	Bern-Bollwerk		Koordinaten: 600'170 / 199'990
	Städtisch, verkehrsbelastet		Höhe: 536 m

Aromatische Verbindungen			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Benzol	Mittelwerte	µg/m³	1,48	1,33	1,32	0,90	0,85	0,80	0,89	1,02	1,22	1,32	1,57	1,61	1,21
Toluol	Mittelwerte	µg/m³	4,38	3,64	3,48	2,35	2,97	2,78	3,25	3,13	3,98	4,27	4,47	4,06	3,61
Ethylbenzol	Mittelwerte	µg/m³	0,67	0,59	0,52	0,37	0,73	0,37	0,48	0,45	0,58	0,62	0,63	0,53	0,55
m/p-Xylol	Mittelwerte	µg/m³	2,79	2,38	2,15	1,50	2,64	1,58	1,92	1,84	2,32	2,48	2,52	2,14	2,22
o-Xylol	Mittelwerte	µg/m³	0,89	0,76	0,66	0,50	0,87	0,47	0,57	0,56	0,70	0,76	0,77	0,66	0,69

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