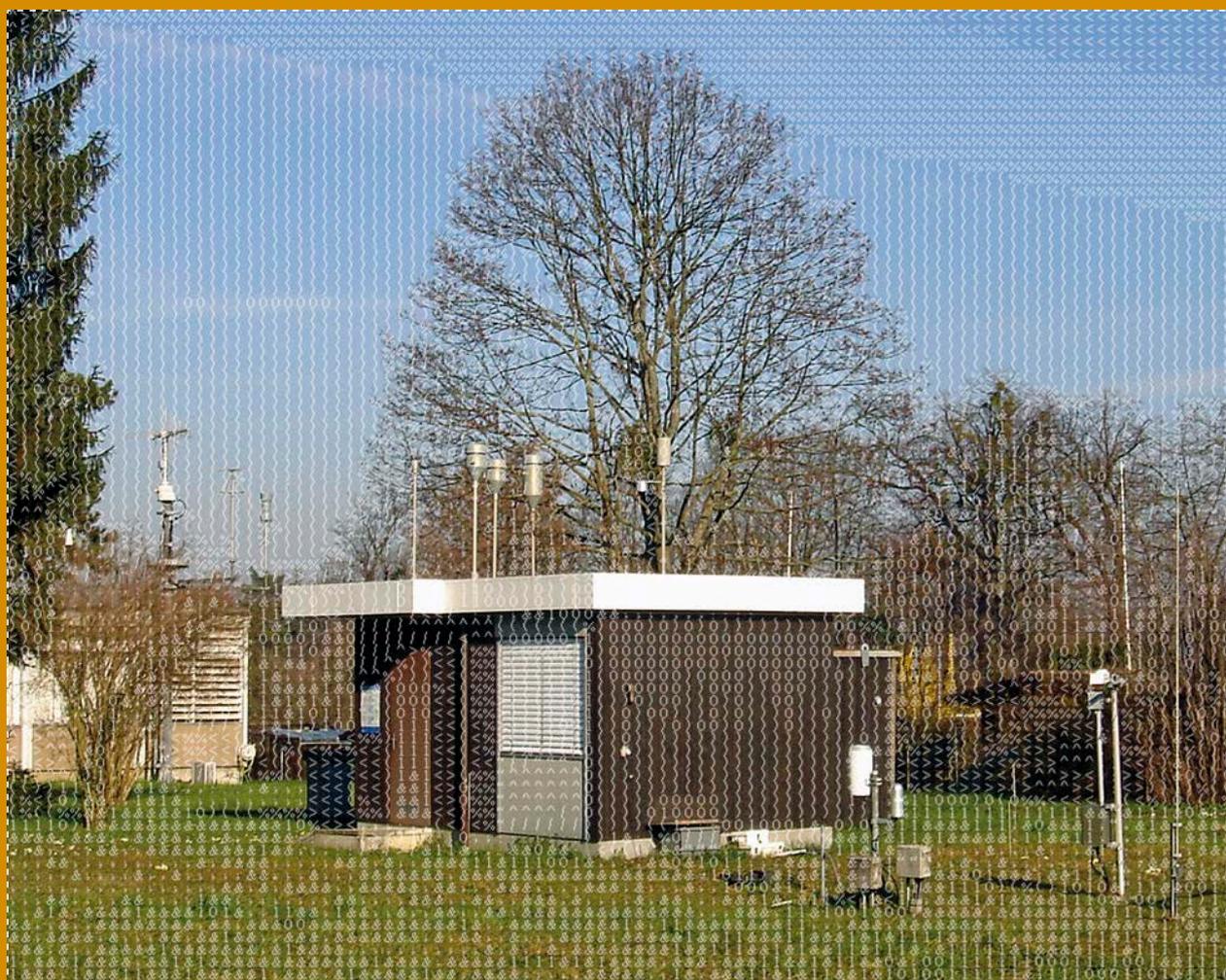


> NABEL Luftbelastung 2015

*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 2015

*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 2016: NABEL – Luftbelastung 2015. Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1624: 132 S.

Titelbild

Messstation Basel-Binningen

Download PDF

www.bafu.admin.ch/uz-1624-d

Eine gedruckte Fassung kann nicht bestellt werden.

Diese Publikation ist auch in französischer Sprache verfügbar.

© BAFU 2016

> Inhalt

Abstracts	5	5 Ozon	45
Vorwort	7	5.1 Entstehung und Charakterisierung	45
Zusammenfassung	9	5.2 Zeitliche Entwicklung	46
		5.3 Situation 2015	50
		5.4 Ozon Jahresgang	51
		5.5 Bewertung	51
<hr/>		<hr/>	
1 Luftverschmutzung in der Schweiz (Übersicht)	15	6 Flüchtige organische Verbindungen	52
1.1 Schadstoffemissionen	15	6.1 Entstehung und Charakterisierung	52
1.2 Transport und chemische Umwandlung der Schadstoffe (Transmission)	15	6.2 VOC-Summenmessung	53
1.3 Luftbelastung in der Schweiz	17	6.3 Aromatische Verbindungen	54
1.4 Auswirkungen der Luftverschmutzung	19	6.4 Gesättigte und ungesättigte Kohlenwasserstoffe	55
		6.5 Halogenierte Verbindungen	56
		6.6 Bewertung	58
<hr/>		<hr/>	
2 Das Nationale Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL)	21	7 Schwefeldioxid	59
2.1 Entstehung des Messnetzes	21	7.1 Entstehung und Charakterisierung	59
2.2 Ziel und Zweck des Messnetzes	21	7.2 Zeitliche Entwicklung	59
2.3 Aufgaben des Messnetzes	22	7.3 Situation 2015	60
2.4 Standorte der Messstationen	23	7.4 Bewertung	61
2.5 Messprogramm und Messverfahren	24		
2.6 Qualitätssicherung	24	<hr/>	
2.7 Weitere NABEL-Publikationen	26	8 Kohlenmonoxid	62
		8.1 Entstehung und Charakterisierung	62
		8.2 Zeitliche Entwicklung	62
		8.3 Situation 2015	63
		8.4 Bewertung	64
<hr/>		<hr/>	
3 Stickoxide	27	9 Treibhausgase	65
3.1 Entstehung und Charakterisierung	27		
3.2 Zeitliche Entwicklung	27		
3.3 Situation 2015	29		
3.4 Bewertung	33		
<hr/>		<hr/>	
4 Feinstaub	34	10 Staubbiederschlag	67
4.1 Entstehung und Charakterisierung	34		
4.2 Zeitliche Entwicklung	35		
4.3 Situation 2015	35		
4.4 PM2.5-Messungen	37		
4.5 Partikelanzahl – Messungen	39		
4.6 Schwefel im Feinstaub	40		
4.7 Bewertung	41		
4.8 Benzo(a)pyren im Feinstaub	42		
4.9 Russgehalt im Feinstaub	43		

11	Schwermetalle im Feinstaub und im Staubniederschlag	68	Anhang A	89
11.1	Blei	68	Anhang A1: Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte- Verordnung	90
11.2	Cadmium	70	Anhang A2: Standortcharakterisierung	91
11.3	Zink	72	Anhang A3: NABEL-Messprogramm	92
11.4	Thallium	73	Anhang A4: Messverfahren	93
11.5	Bewertung	73	Anhang A5: Masseinheiten und statistische Masszahlen	94
11.6	Weitere Metalle	73	Anhang A6: Homogenisierung von Messreihen der Station Bern	95
12	Regen-Inhaltsstoffe	74	Anhang B	97
12.1	Entstehung und Charakterisierung	74	Anhang B1: Messwerte 2015 der 16 Stationen des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe, NABEL	97
12.2	Zeitliche Entwicklung	75	Anhang B2: VOC-Messwerte	130
12.3	Situation 2015	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 2015	84		
15	Verkehrszahlen	86		
16	Ausblick	87		

> 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 2015. The ambient air quality during 2015 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 2015. Die Luftbelastung des Jahres 2015 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 2015. Pour 2015, 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 2015. La situazione relativa alle immissioni in Svizzera nel 2015 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. 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 PM_{2.5}, 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 2015

Die Luftbelastung des Jahres 2015 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 infolge der Emissionsminderungen deutlich abgenommen, während die Belastung durch Ozon im Streubereich der Jahre 2000 bis 2014 lag. Trotz der Verbesserungen der letzten zwanzig Jahre sind die Immissionsgrenzwerte im Jahr 2015 für Ozon, Feinstaub und Stickstoffdioxid weiterhin überschritten, infolge der immer noch zu hohen Emissionen von Luftschadstoffen in der Schweiz und den Nachbarländern.

Überblick

Der Winter des Jahres 2015 wies, wie schon im Vorjahr, spezielle meteorologische Verhältnisse auf, nämlich meist instabile Situationen mit häufigen Störungen, windigen Verhältnissen und Niederschlag, was die Dispersion der Luftschadstoffe, wie Feinstaub, begünstigte. Hingegen war der Sommer in der ganzen Schweiz überdurchschnittlich sonnig und warm, besonders der Juli, entsprechend war die Ozonbelastung höher als in den letzten 5 Jahren.

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 (586–794 Stunden) wurden im Tessin und in den mittleren Höhenlagen der Alpennordseite (um 1000 m über Meer) gemessen. Diese Stunden verteilten sich auf 63 bis 88 Tage. In den übrigen Gebieten der Alpennordseite wurden an 15 bis 61 Tagen während 46 – 407 Stunden zu hohe Ozonwerte gemessen. Eine der NABEL-Messstellen registrierte im Tessin ein maximales Ozonstundenmittel von $272 \mu\text{g}/\text{m}^3$, auf der Alpennordseite lag der Spitzenwert bei $205 \mu\text{g}/\text{m}^3$. 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 2015 Jahresmittelwerte zwischen 15 und $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen, in einer Strassenschlucht $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Immissionsgrenzwert: $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Auf dem Land, entlang den Autobahnen, wurden Werte von 17 – $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ beobachtet. Abseits von Strassen lagen auf der Alpennordseite die ländlichen Werte mit $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ deutlich unter dem Grenzwert. An den Stationen oberhalb 1000 m über Meer sind die Messwerte mit $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ noch niedriger. Der Tagesmittelgrenzwert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde in den Städten und Agglomerationen an 1 bis 8 Tagen überschritten. Dabei wurden maximale Tagesmittelwerte von 57 – $92 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erreicht. Auf dem Land der Alpennordseite wurde der Wert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nicht überschritten (Maximum: $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$). An den Stationen Chaumont und Rigi-Seebodenalp, über 1000 m gelegen, wurde ebenfalls kein Tagesmittelwert über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registriert.

Feinstaub

Die Immissionsgrenzwerte des Jahresmittels von Stickstoffdioxid wurden im Jahr 2015 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 2015 unmittelbar an Autobahnen oder im Stadtzentrum an 1–2 Tagen registriert.

Stickstoffdioxid

Keine Grenzwertüberschreitungen wurden im Jahr 2015 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). Beim Ozon sind vor allem die Spitzenwerte durch schweizerische Emissionen bestimmt und diese haben seit Messbeginn abgenommen.

Ozon

Auf Grund ausgedehnter Vergleichsmessungen zwischen Feinstaub (PM_{10}) und Gesamtschwebstaub (TSP), die 1997/98 durchgeführt wurden, konnten die PM_{10} -Werte der ersten Hälfte der 90er-Jahre geschätzt werden. Die PM_{10} -Belastung hat seit 1990 deutlich abgenommen. Die erhöhte Belastung durch PM_{10} in den Jahren 2003 und 2006 ist auf die langanhaltenden Inversionslagen dieser Jahre zurückzuführen. Die Höhe der PM_{10} -Belastung wird sehr stark durch die Häufigkeit des Auftretens von winterlichen Inversionslagen bestimmt. Diese unterbinden den Luftaustausch und führen zu hohen PM_{10} -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 vor einigen Jahren 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 2015 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 2015.

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 1986–2015 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 A6).

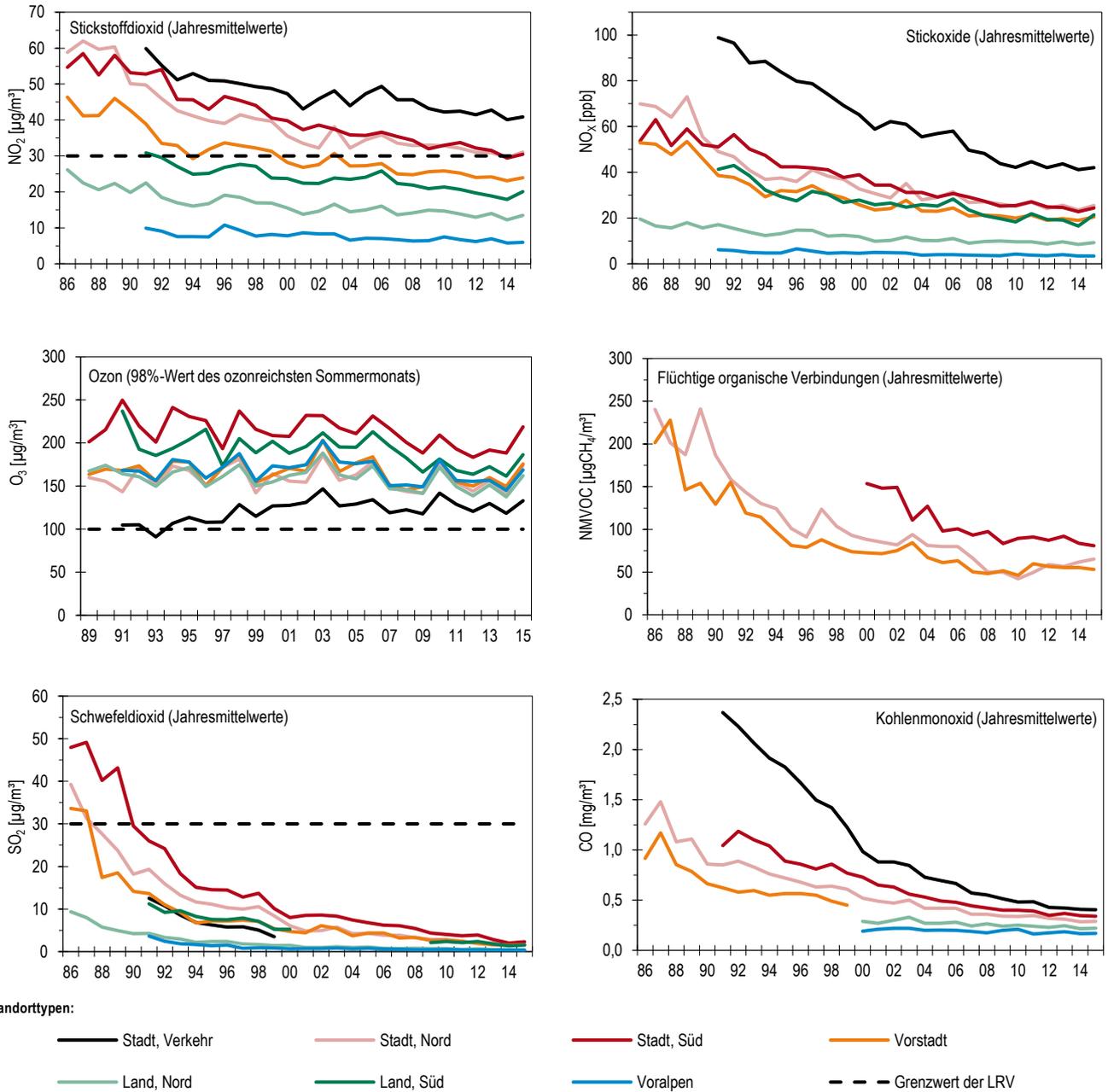


Abb. 2 > Schadstoffentwicklung 1986–2015 an verschiedenen Standorttypen für Feinstaub (PM10, Werte vor 1997 aus TSP-Messungen umgerechnet) und Staubbiederschlag, sowie für Blei und Cadmium im Feinstaub und Staubbiederschlag, Jahresmittelwerte

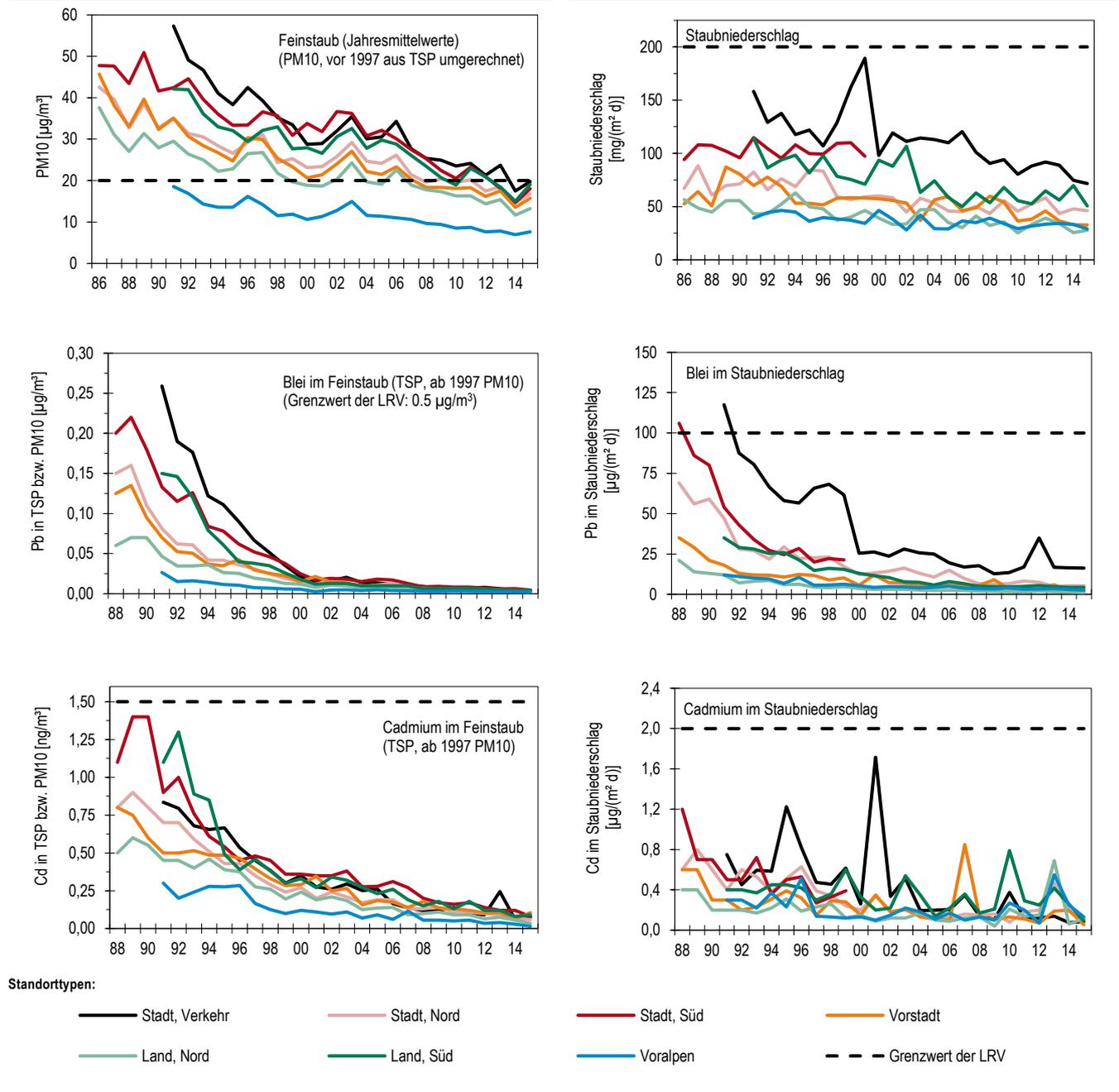
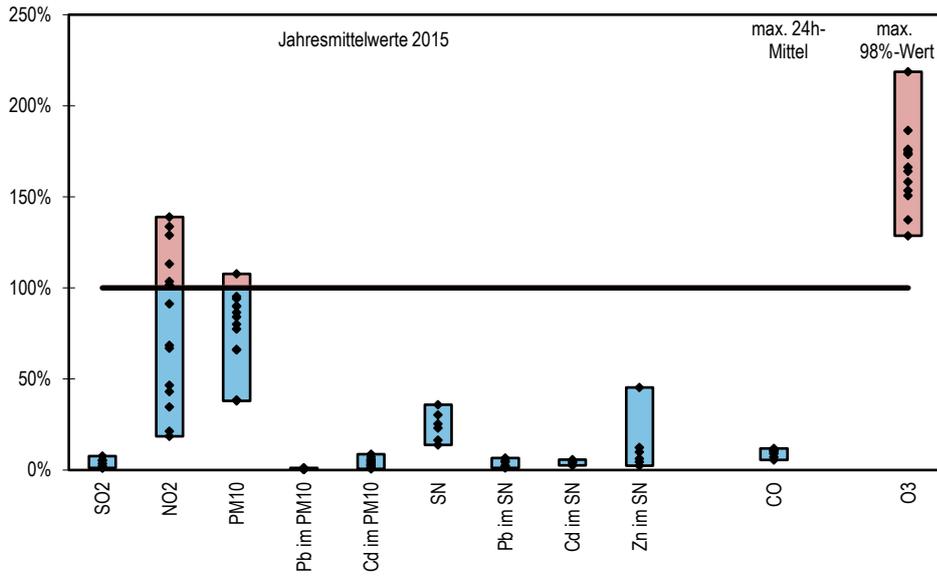


Abb. 3 > Übersicht der Schadstoffbelastung 2015 an NABEL-Stationen im Vergleich zu den Immissionsgrenzwerten der Luftreinhalte-Verordnung

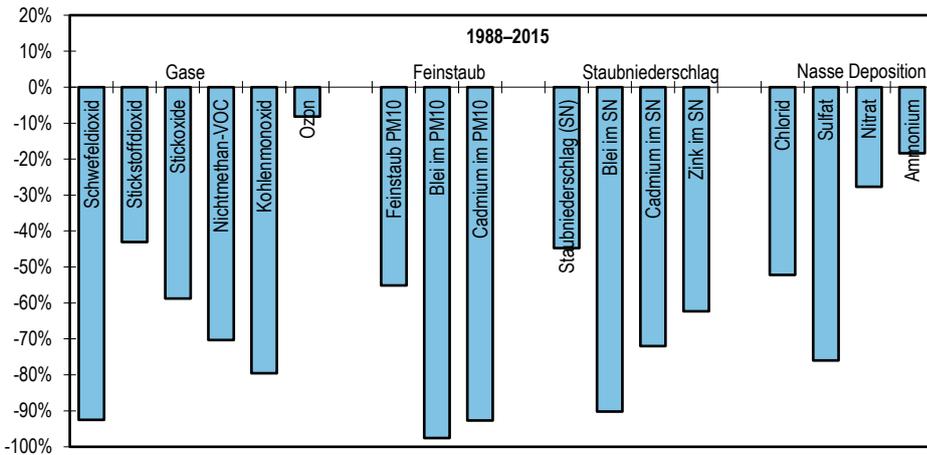
Eingezeichnet sind die Werte der einzelnen NABEL-Stationen, ausser der alpinen Stationen Davos und Jungfrauoch.



SN = Staubniederschlag

Abb. 4 > Veränderung der Luftbelastung an NABEL-Stationen in der Schweiz zwischen 1988 und 2015

Berücksichtigt wurden alle NABEL-Stationen mit durchgehenden Messreihen, ausser den alpinen Stationen Davos und Jungfrauoch.



SN = Staubbiederschlag

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.

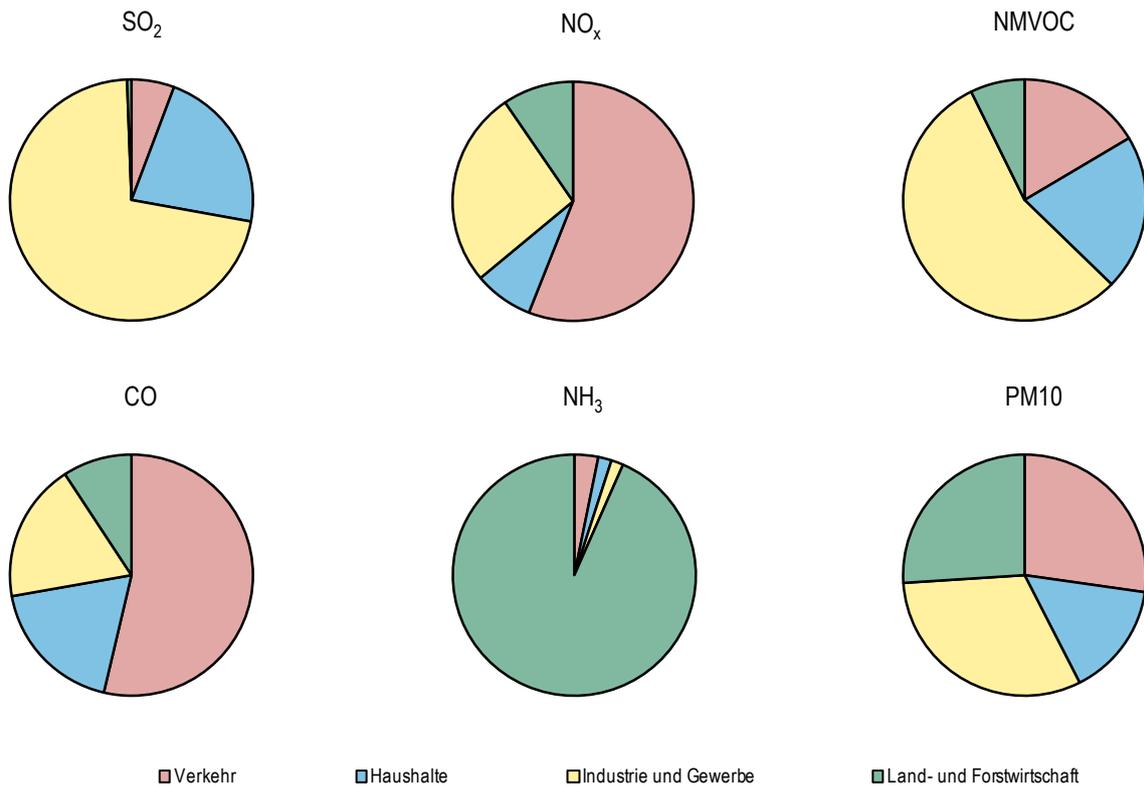
Beiträge verschiedener
Quellengruppen

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 2014



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 (Sommermog). 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 (<http://www.bafu.admin.ch/luft/luftbelastung/aktuell> oder <http://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 2015, 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 Ozonwerte gemessen, da das in grossen Mengen vorkommende Stickstoffmonoxid das Ozon abbaut und dabei in Stickstoffdioxid umgewandelt wird. Die Stadtzentrum-

Ozon

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 2015 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.

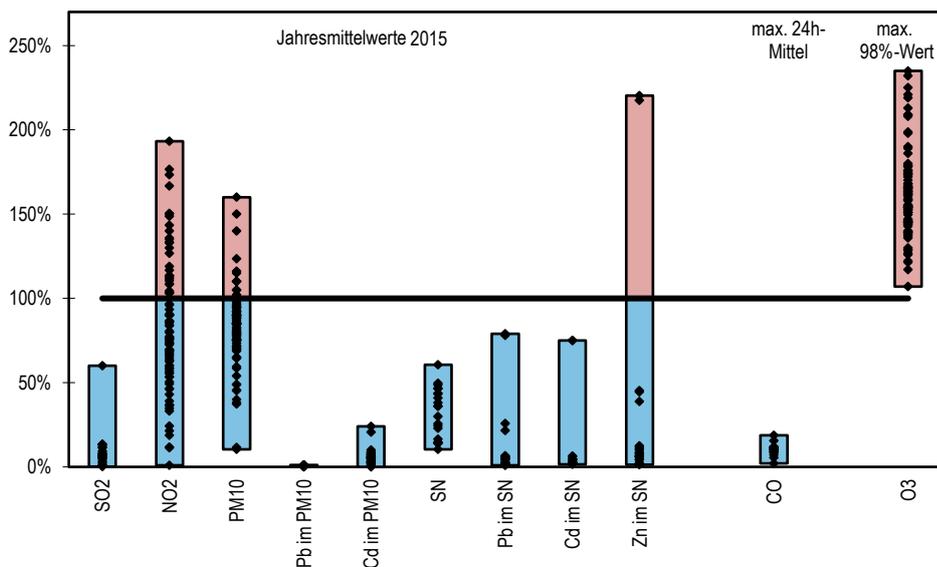
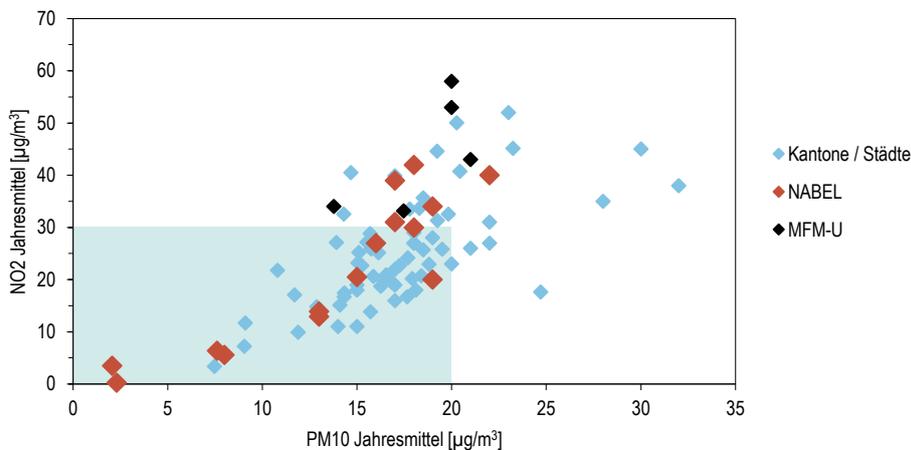


Abb. 7 > Streudiagramm der Jahresmittel 2015 von Stickstoffdioxid und Feinstaub

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 (<http://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», 2014:

<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01798/index.html?lang=de>).

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

Gesamtschweizerische
Bedürfnisse, Messung von
Leitschadstoffen

2.3

Aufgaben des Messnetzes

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

Nationale und internationale Aufgaben

Seit Beginn der Messaktivitäten des NABEL sind mehrere ländliche Stationen Teil des «European Monitoring and Evaluation Program» (EMEP-LRTAP). 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 Jungfrauoch und Rigi-Seebodenalp Teil des Programms «Global Atmosphere Watch» (GAW) der World Meteorological Organization.

Internationaler Datenaustausch

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

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

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

2.4 Standorte der Messstationen

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

Standorttypen

Tab. 2 > Klassierung der NABEL-Stationen nach Standorttyp

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

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.ch/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. Acht NABEL-Standorte befinden sich in der Nähe von Stationen der MeteoSchweiz. An diesen Standorten übernimmt das NABEL die Messwerte der MeteoSchweiz. An den übrigen acht 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

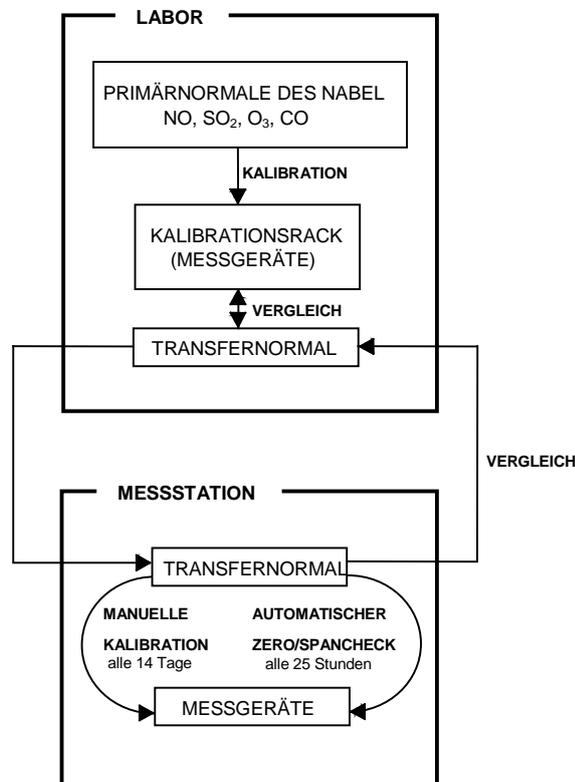
Im NABEL wird der Qualitätssicherung der Messdaten eine grosse Bedeutung zugemessen. Es gelten folgende allgemeine Qualitätssicherungsmassnahmen:

- > 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 Messsta-

tionen mit den TransfERNormalen alle zwei Wochen manuell kalibriert. Zusätzlich wird das TransfERNormal alle 25 Stunden für einen automatischen Test des Kalibrierpunktes verwendet. Die Rückverfolgbarkeit für 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) 2015 (www.empa.ch/de/web/s503/nabel) entnommen werden.

Tab. 3 > Messunsicherheiten der im NABEL verwendeten Messverfahren bei den Grenzwerten (siehe Technischer Bericht 2015, www.bafu.admin.ch/luft/00612/00625)

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 521 (SRF1, RTS1 und RS11) 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.bafu.admin.ch/luft/00612/00625).

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

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

Abb. 9 > Stickstoffdioxid (NO₂), Jahresmittelwerte 1981–2015

Die Messwerte der Station Bern wurden homogenisiert (siehe Anhang A6).

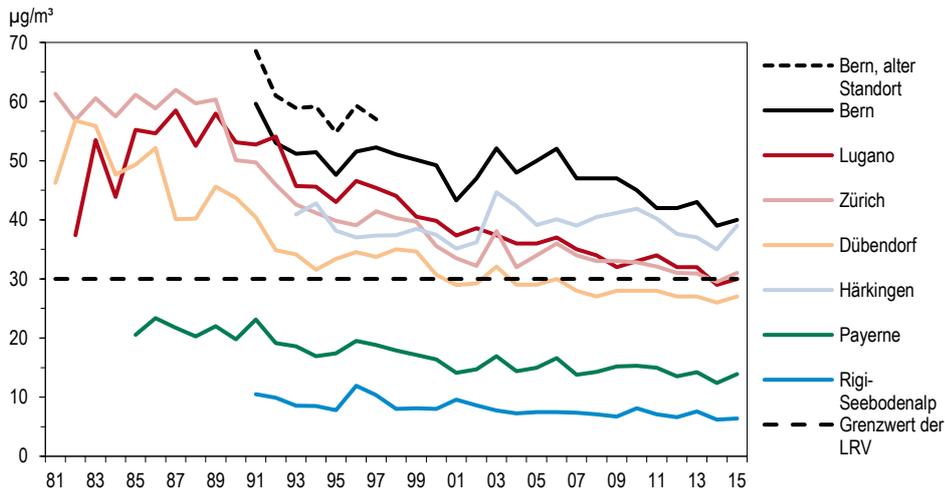


Abb. 10 > Stickstoffmonoxid (NO), Jahresmittelwerte 1981–2015

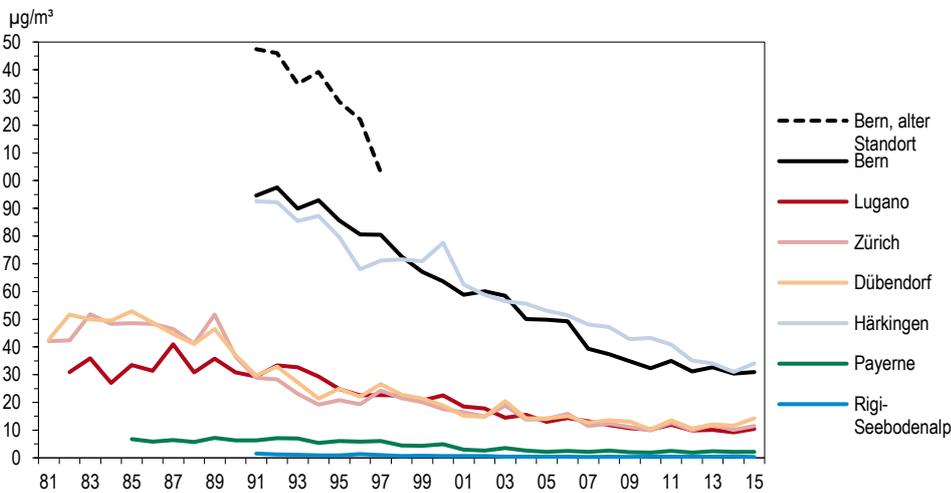
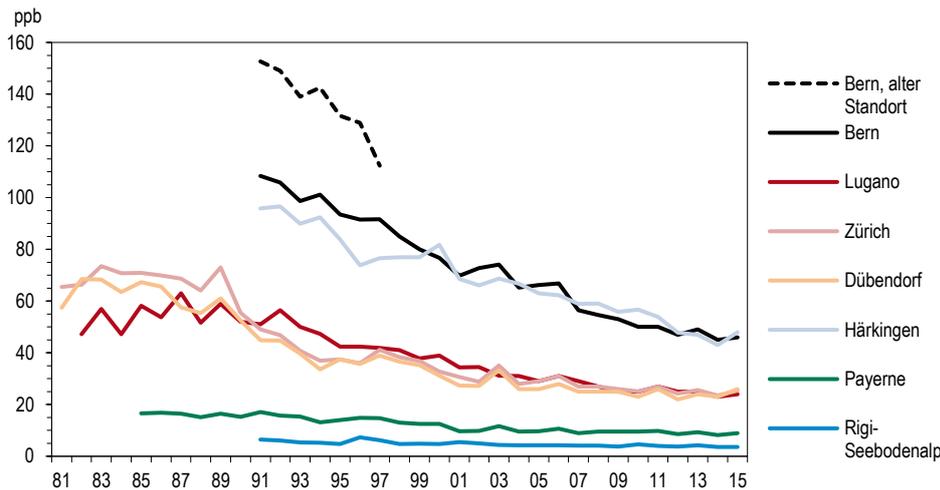


Abb. 11 > Stickoxide (NO_x), Jahresmittelwerte 1981–2015

Die Messwerte der Station Bern wurden homogenisiert (siehe Anhang A6).



Vergleicht man die 2015 gemessenen Werte mit denjenigen Mitte der 80er-Jahre, so sind Belastungsrückgänge von 40–54 % beim NO₂ und von 51–65 % 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 (-38 % resp. -53 %).

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

3.3 Situation 2015

Die wichtigsten Messergebnisse des NABEL des Jahres 2015 sind in Tab. 4 bis Tab. 6 zusammengefasst. Verkehrsnahe Stadtzentrums-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 Stadtzentrumsstandorten eine tiefere mittlere Belastung. Die NO₂-Jahresmittelwerte lagen dort 2015 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 2015

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	40	79	80	0
	Lausanne-César-Roux	42	80	78	0
Städtisch	Lugano-Universität	30	72	72	0
	Zürich-Kaserne	31	68	84	1
Vorstädtisch	Basel-Binningen	21	52	62	0
	Dübendorf-Empa	27	65	79	0
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	39	82	84	1
	Sion-Aéroport-A9	34	83	82	2
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	20	54	57	0
	Payerne	14	34	43	0
	Tänikon	13	33	56	0
	Lägeren	10	27	45	0
Ländlich, oberhalb 1000 m	Chaumont	6	14	27	0
	Rigi-Seebodenalp	6	17	43	0
	Davos-Seehornwald	4	9	21	0
Hochgebirge	Jungfraujoch	<1	<1	5	0
LRV-Immissionsgrenzwert		30	100	80	1

Abb. 12 > Stickstoffdioxid (NO₂), Monatsmittelwerte 2015

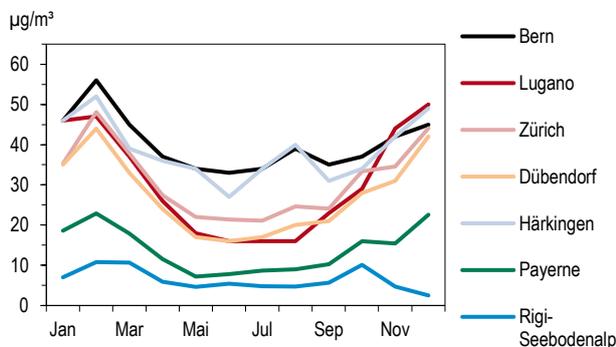
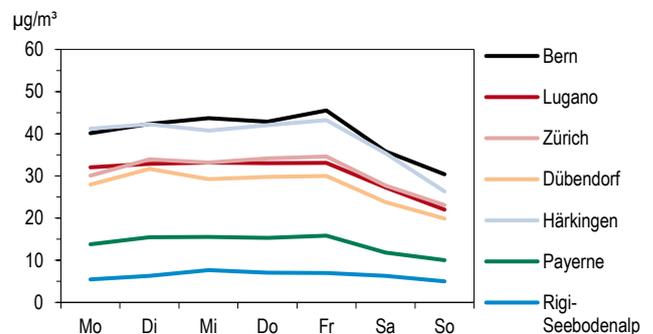


Abb. 13 > Stickstoffdioxid (NO₂), mittlerer Wochengang 2015



Tab. 5 > Stickstoffmonoxid (NO), Jahresstatistik 2015

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert µg/m ³	95 %-Wert µg/m ³	max. 24h-Mittelwert µg/m ³
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	31	113	130
	Lausanne-César-Roux	20	68	76
Städtisch	Lugano-Università	11	57	72
	Zürich-Kaserne	12	64	126
Vorstädtisch	Basel-Binningen	6	33	74
	Dübendorf-Empa	14	82	140
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	34	134	110
	Sion-Aéroport-A9	23	106	122
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	14	76	124
	Payerne	2	12	28
	Tänikon	4	18	86
	Lägeren	1	4	11
Ländlich, oberhalb 1000 m	Chaumont	<1	1	3
	Rigi-Seebodenalp	<1	2	5
	Davos-Seehornwald	<1	<1	3
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 2015

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert ppb	95 %-Wert ppb	max. 24h-Mittelwert ppb
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	46	126	132
	Lausanne-César-Roux	38	91	93
Städtisch	Lugano-Universität	24	81	95
	Zürich-Kaserne	25	82	131
Vorstädtisch	Basel-Binningen	15	49	84
	Dübendorf-Empa	26	96	142
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	48	146	127
	Sion-Aéroport-A9	36	126	137
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	21	85	123
	Payerne	9	25	36
	Tänikon	10	32	85
	Lägeren	6	17	29
Ländlich, oberhalb 1000 m	Chaumont	3	8	17
	Rigi-Seebodenalp	4	10	26
	Davos-Seehornwald	2	6	15
Hochgebirge	Jungfrauojoch	<1	<1	4

Abb. 14 > Stickoxide (NO_x), Monatsmittelwerte 2015

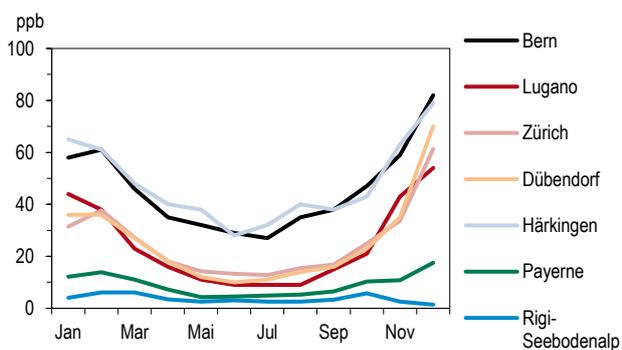
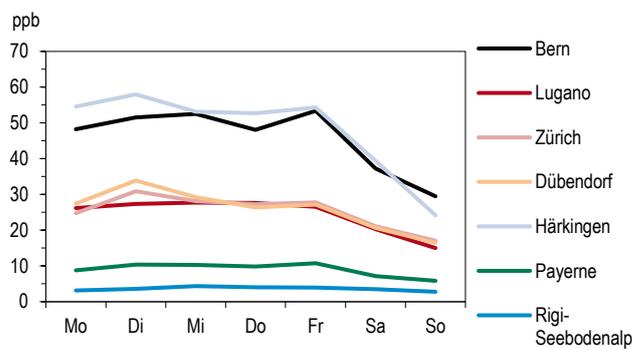


Abb. 15 > Stickoxide (NO_x), mittlerer Wochengang 2015



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 3.2, 2014, 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

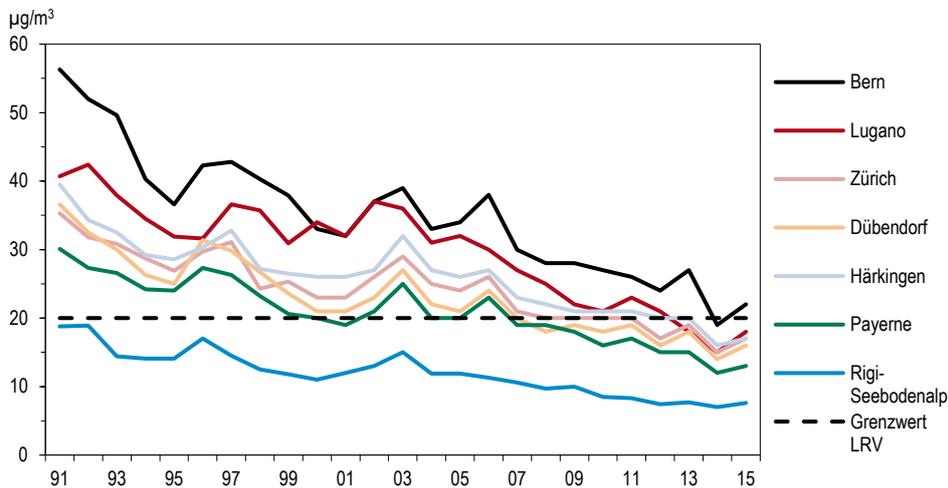
4.2 Zeitliche Entwicklung

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 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.

Deutlicher Rückgang der PM10-Belastung seit 1991

Abb. 16 > Feinstaub (PM10), Jahresmittelwerte 1991–2015

Die Werte vor 1997 wurden aus TSP-Messungen umgerechnet.



4.3 Situation 2015

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).

Jahresmittelwerte strassennah zu hoch

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).

Sekundäres PM10, grossräumiger Transport

Tab. 7 > Feinstaub (PM10), Jahresstatistik 2015

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert µg/m³	max. 24h-Mittelwert µg/m³	Anzahl Grenzwert- überschreitungen 24h-Mittelwert
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	22	65	11
	Lausanne-César-Roux	18	61	7
Städtisch	Lugano-Università	18	92	8
	Zürich-Kaserne	17	57	5
Vorstädtisch	Basel-Binningen	15	65	4
	Dübendorf-Empa	16	77	1
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	17	57	4
	Sion-Aéroport-A9	19	49	0
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	19	84	7
	Payerne	13	47	0
	Tänikon	13	43	0
Ländlich, oberhalb 1000 m	Chaumont	8	42	0
	Rigi-Seebodenalp	8	38	0
	Davos-Seehornwald	2	15	0
Hochgebirge	Jungfrauojoch	2	29	0
LRV-Immissionsgrenzwert		20	50	1

Der Tagesgrenzwert von 50 µg/m³ wurde an etlichen Stationen überschritten. An den Stationen oberhalb 1000 m über Meer, wurde kein Tagesmittelwert über 50 µg/m³ 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 1000 m über Meer zeigen höhere Werte im Sommer, da sie im Herbst und Winter in der sauberen Luft oberhalb der Temperaturinversion liegen.

Abb. 17 > Feinstaub (PM10), Monatsmittelwerte 2015

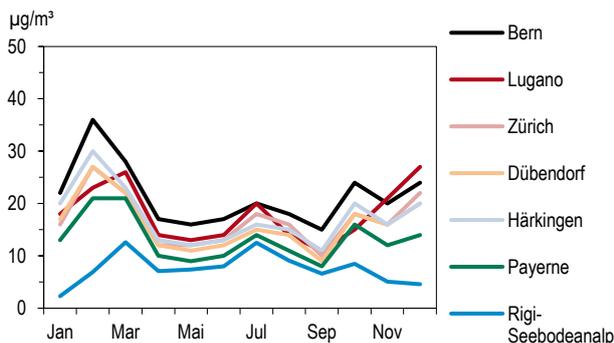
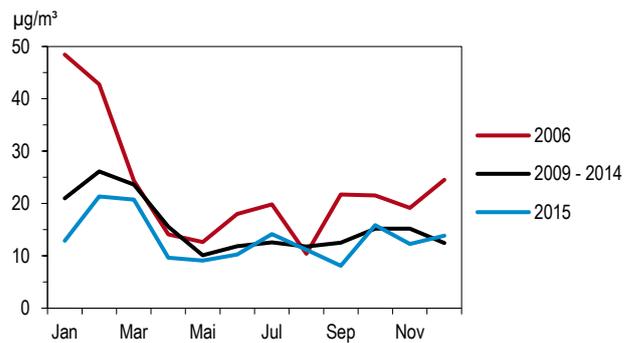


Abb. 18 > Feinstaub (PM10) Payerne, Vergleich der Monatsmittelwerte zu den Vorjahren



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 2015 sind zusätzlich durch die günstige Witterung bestimmt. So zeigt der Vergleich des Jahresganges in Payerne (Abb. 18) mit dem mittleren Jahresgang 2009-2014 markant tiefere Monatsmittel von Januar bis April aber auch in den meisten anderen Monaten tiefere Werte als im mehrjährigen Mittel. 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.

Jahresgang:

hohe Werte in den Wintermonaten

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 (10–13 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 2015

Standorttyp	Station	Jahresmittelwerte	Mittel der täglichen Verhältnisse
		PM2.5 µg/m³	PM2.5/PM10 %
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	13,4	61
Städtisch	Lugano-Universität	13,2	70
	Zürich-Kaserne	11,8	68
Vorstädtisch	Basel-Binningen	11,5*	70
	Dübendorf-Empa	10,9	66
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	12,0*	66
Ländlich, unterhalb 1000 m	Payerne	9,8*	68
	Magadino-Cadenazzo	12,7*	66
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	5,8*	73

* 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 61% 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 1998–2015

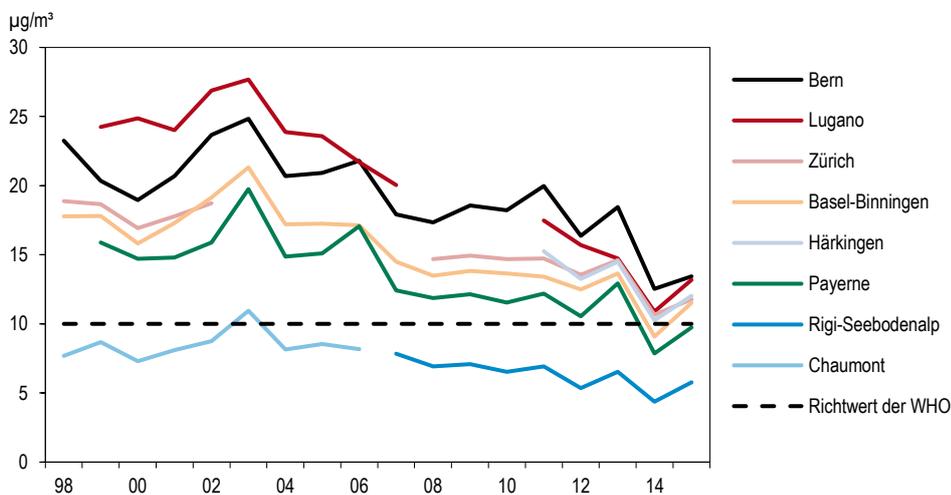


Abb. 20 > Feinstaub (PM2.5), Monatsmittelwerte 2015

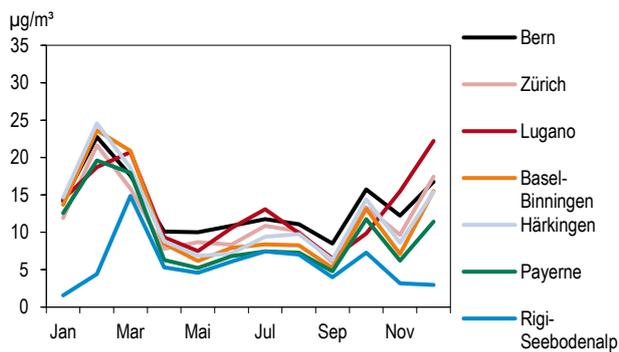
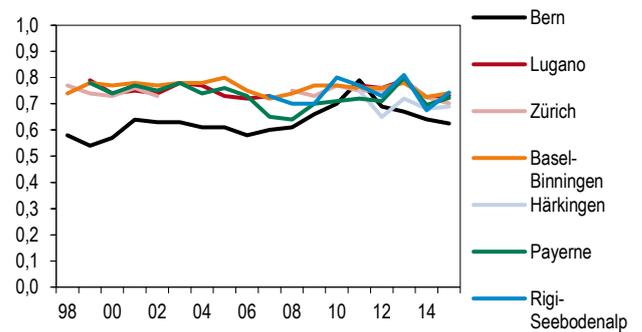


Abb. 21 > Verhältnis der Jahresmittel PM2.5/PM10 1998–2015



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

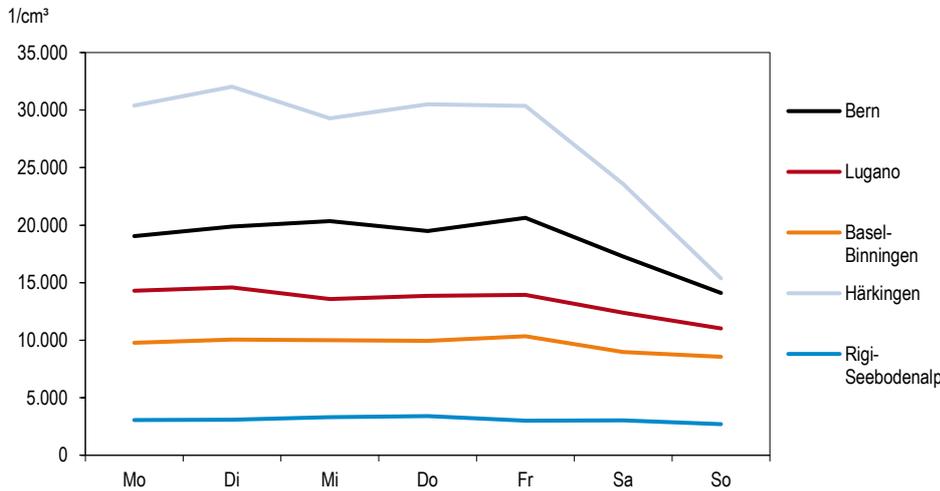
Die Partikelanzahlkonzentration weist an städtischen und verkehrsbelasteten Standorten einen ausgeprägten Tagesgang auf mit Maxima während den Hauptverkehrszeiten.

Tagesgang

Tab. 9 > Partikelanzahl, Jahresstatistik 2015

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert Partikelanzahl 1/cm ³	Maximaler Tagesmittelwert 1/cm ³	95 %-Wert der Halbstundenmittel 1/cm ³
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	18'700	40'888	41'928
Städtisch	Lugano-Universität	13'384	33'403	36'227
Vorstädtisch	Basel-Binningen	9'664	19'618	20'343
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	27'261	55'859	73'932
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	3'086	10'878	7'273

Abb. 22 > Partikelanzahl-Konzentration, Mittlerer Wochengang, 2015



4.6 Schwefel im Feinstaub

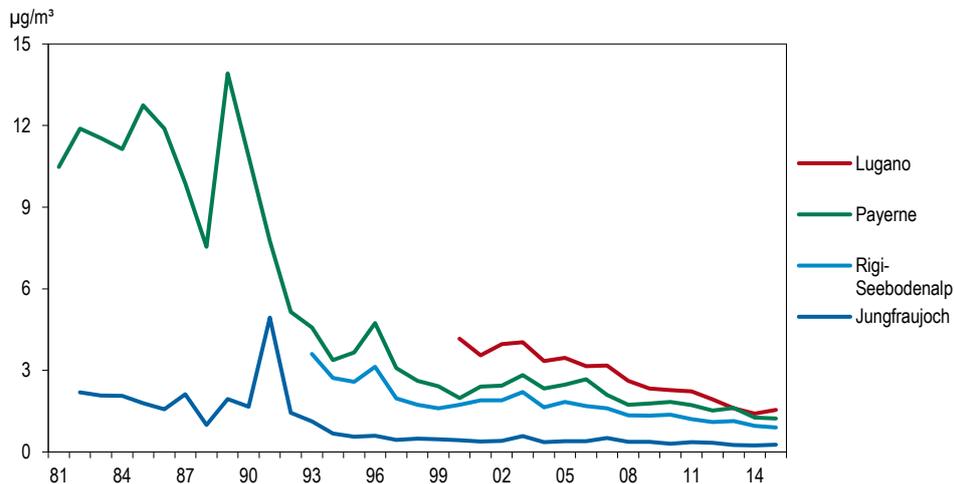
An vier Stationen wird täglich der Sulfatgehalt (SO₄²⁻) im Feinstaub bestimmt. Bis 2010 wurde das partikelgebundene Sulfat gemessen, indem während 24 Stunden ein bekanntes Probevolumen durch einen Zellulosefilter gesaugt wurde. Sulfat ist zum grössten Teil in Partikeln, die kleiner als 10 µm sind, enthalten. 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 2015

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	0,51	2,3	1,54	8,6
Ländlich, < 1000 m	Payerne	0,41	2,0	1,23	9,3
Ländlich, > 1000 m	Rigi-Seebodenalp	0,30	1,7	0,90	11,9
Hochgebirge	Jungfrauoch	0,09	0,8	0,26	11,3

Abb. 23 > Sulfat im PM10, Jahresmittelwerte 1981–2015



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 2015 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 9–12% 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 2015 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 Motorfahrzeuge (in Abstimmung mit der EU) oder strengeren Emissionsvorschriften für stationäre Anlagen, wird auch die Feinstaubbelastung reduziert.

PM10-Grenzwerte in Städten deutlich überschritten

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

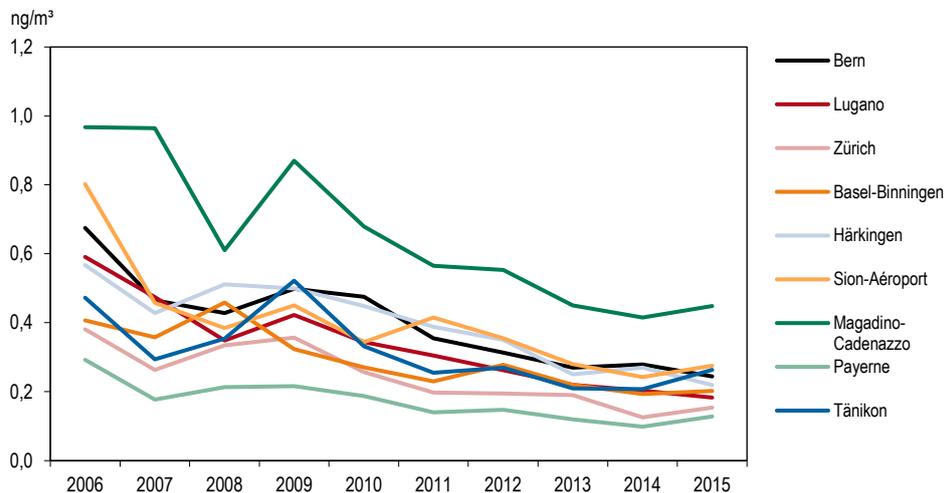
Besondere Anstrengungen braucht es bei den kleinen, krebserregenden Russpartikeln. Für diese Schadstoffe gibt es keine Unbedenklichkeitsschwelle. Gemäss der schweizerischen Gesetzgebung sind die Emissionen des krebserregenden Russes soweit zu begrenzen als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich 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 2015. An allen Standorten waren die Immissionen im Jahr 2015 tiefer als im Jahr 2006, was parallel verläuft mit der ebenfalls tieferen PM10-Belastung im Jahr 2015. An allen untersuchten NABEL-Standorten lag die Belastung unter dem europäischen Zielwert. Die höchsten Konzentrationen von Benzo(a)pyren werden im ländlichen Gebiet der Alpensüdseite (Magadino-Cadenazzo 0.45 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 2015). 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.

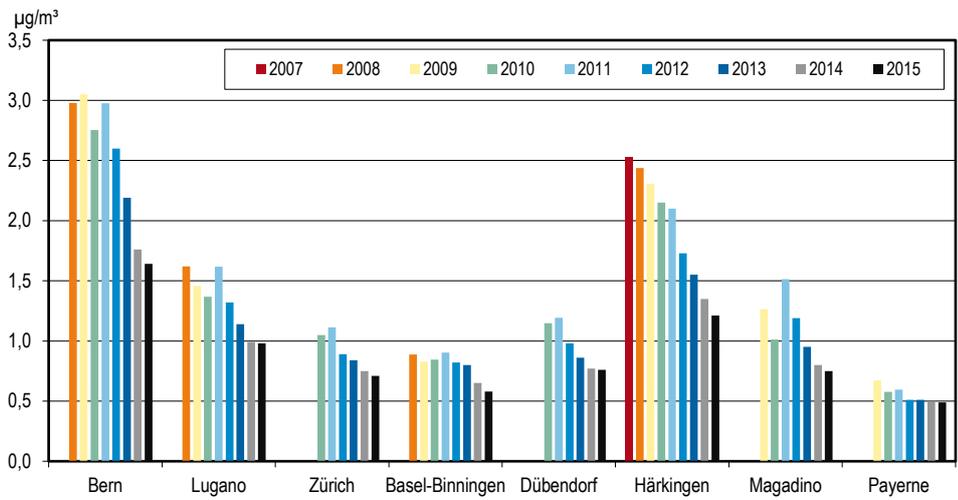
Der Begriff Russ umfasst alle primären, kohlenstoffhaltigen Partikel eines unvollständigen Verbrennungsprozesses. Er besteht vor allem aus elementarem (schwarzem) Kohlenstoff (elemental carbon, EC) und organischen Verbindungen, die als organischer Kohlenstoff (organic carbon, OC) gemessen werden. In 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 2015. 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. Dort bildet der Russ auch einen wesentlich grösseren Anteil an der Massenkonzentration PM2.5 als an den anderen Standorten.

Messung von Russ

Tab. 11 > Russ im PM2.5 als EC gemäss TOT/EUSAAR-2 Verfahren, Jahresstatistik 2015

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert µg/m³	Maximaler Tagesmittelwert µg/m³	Anteil Russ am PM2.5 %
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	1,6	4,3	12%
Städtisch	Lugano-Universität	1,0	4,5	7%
	Zürich-Kaserne	0,7	3,2	6%
Vorstädtisch	Basel-Binningen	0,6	1,9	5%
	Dübendorf-Empa	0,8	2,9	7%
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	1,2	3,2	10%
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	0,8	2,8	6%
	Payerne	0,5	1,5	5%

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 Grundsicht der Atmosphäre entstammt nicht direkten Schadstoffquellen. Es wird erst in der Atmosphäre durch photochemische Reaktionen aus so genannten Vorläuferschadstoffen, dem Stickstoffdioxid (NO₂) 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 NO₂ 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 Ozentrends dargestellt. Um die Trends deutlicher zu machen, werden jeweils mehrere Stationen, die sich ähnlich verhalten, zusammengefasst: Städtische Stationen der Alpennordseite (Basel-Binningen, Dübendorf, Zürich), ländliche Stationen des Mittellandes (Payerne, Tänikon), Stationen in mittlerer Höhenlage (Chaumont, Rigi-Seebodenalp) und die beiden Stationen der Alpensüdseite (Lugano, Magadino-Cadenazzo).

Ozentrends seit den 90er-Jahre

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 2015 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).

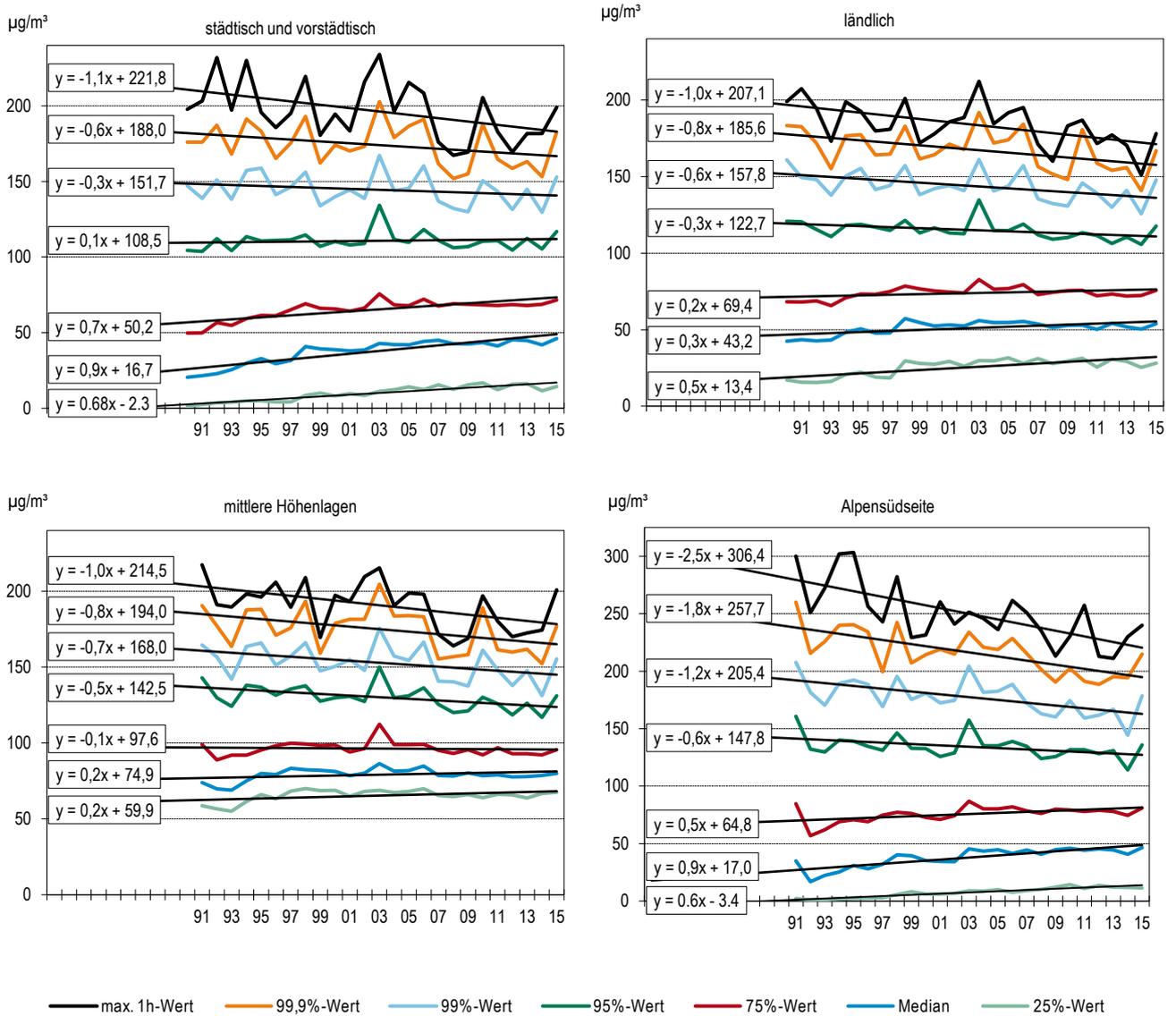
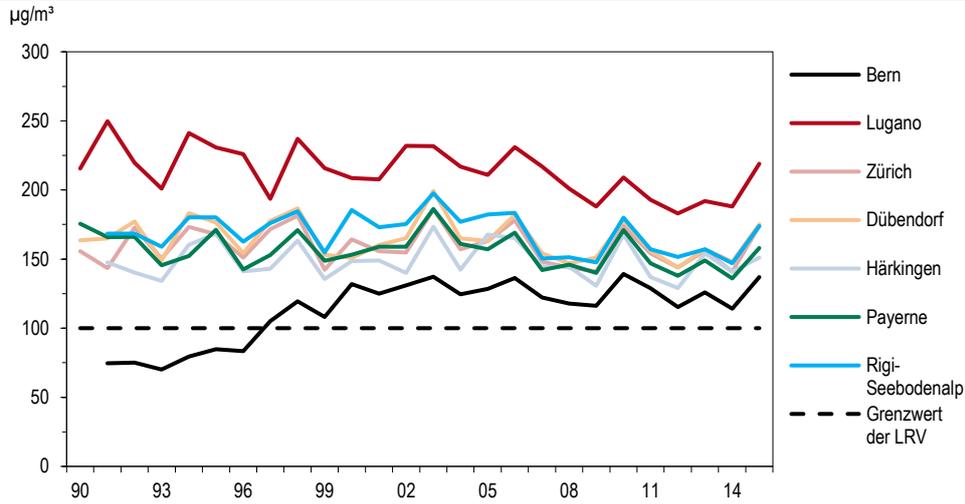
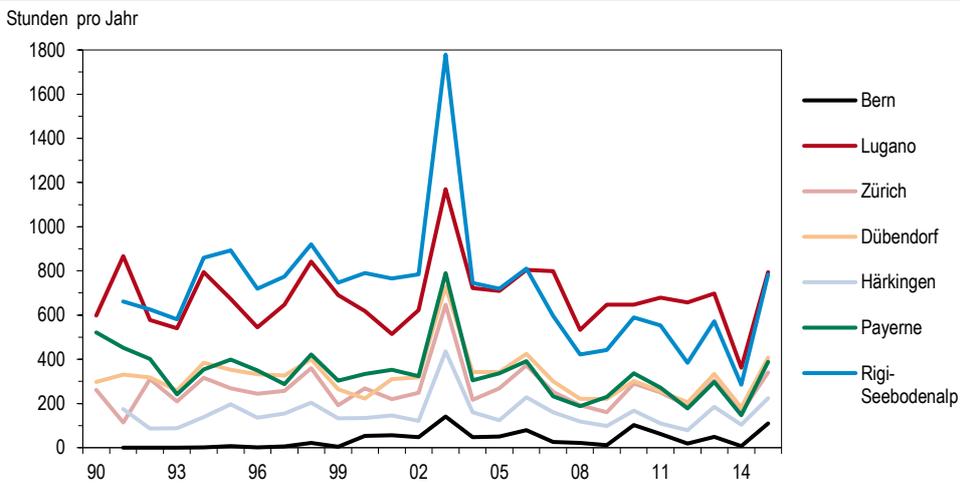


Abb. 27 > Ozon, 98%-Werte des ozonreichsten Sommermonats 1990–2015**Abb. 28** > Ozon, Anzahl Überschreitungen des 1h-Immissionsgrenzwertes 1990–2015

5.3

Situation 2015

Die Jahresstatistik 2015 (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 2015

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert µg/m³	max. 98 %-Wert µg/m³	max. Stundenmittelwert µg/m³	Anz. Grenzwertüberschreitungen (1h-Wert)	Anzahl Tage mit max. 1h-Mittelwert			max. 8h-Mittelwert µg/m³	Anzahl Tage mit max. 8h-Mittelwert	
						> 120 µg/m³	> 180 µg/m³	> 240 µg/m³		> 100 µg/m³	> 120 µg/m³
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	38	137	147	109	31	0	0	140	46	7
	Lausanne-César-Roux	45	129	143	46	15	0	0	127	42	4
Städtisch	Lugano-Universität	55	219	272	794	88	32	4	222	105	77
	Zürich-Kaserne	48	174	199	341	54	3	0	175	81	39
Vorstädtisch	Basel-Binningen	50	176	194	380	54	6	0	180	80	41
	Dübendorf-Empa	46	175	205	407	60	6	0	183	87	44
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	39	151	193	224	45	2	0	168	59	24
	Sion-Aéroport-A9	43	153	183	232	44	1	0	166	79	27
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	49	186	207	586	88	13	0	190	109	68
	Payeme	54	158	175	389	61	0	0	162	87	46
	Tänikon	56	166	181	407	61	1	0	167	93	50
	Lägeren	66	173	190	651	63	2	0	180	109	61
Ländlich, oberhalb 1000 m	Chaumont	84	164	187	761	63	1	0	176	118	59
	Rigi-Seebodenalp	82	174	215	783	72	3	0	194	123	62
	Davos-Seehornwald	70	126	138	50	9	0	0	133	52	7
Hochgebirge	Jungfrauoch	74	117	138	19	8	0	0	126	35	1
<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 A55).

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 Juli hatte ausserordentlich viele Sonnenstunden und wies entsprechend hohe Ozonwerte auf (Abb. 29).

Hohe Ozonwerte im Juni

Abb. 29 > Ozon (O₃), Monatsmittelwerte 2015

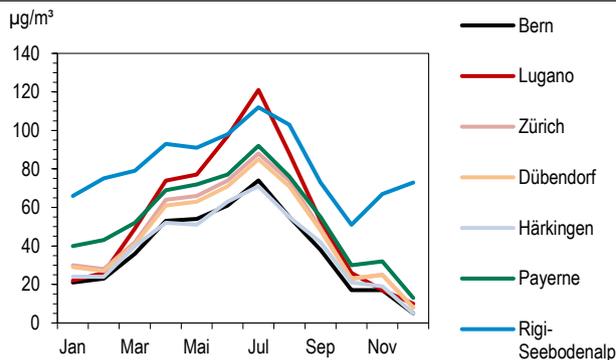
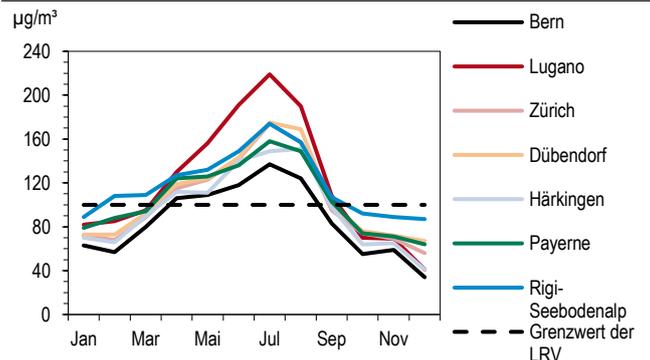


Abb. 30 > Ozon (O₃), monatliche 98 %-Werte 2015



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 70 % seit Ende der 80er Jahre. In Tab. 13 sind die wichtigsten Messwerte des Jahres 2015 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

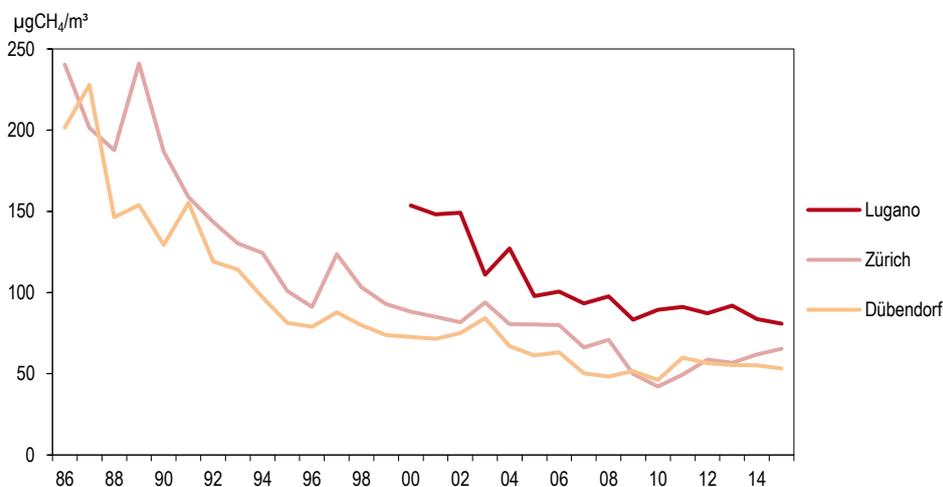
Reduktion der Belastung um rund 3/4 in den letzten 20 Jahren

Höhere Werte im Tessin

Tab. 13 > Nichtmethan-VOC (ausgedrückt als Methanäquivalent), Jahresstatistik 2015

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	81	172	203
	Zürich-Kaserne	65	152	428
Vorstädtisch	Dübendorf-Empa	53	134	180

Abb. 31 > Nichtmethan-VOC (ausgedrückt als Methanäquivalent), Jahresmittelwerte 1986–2015



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 2015

	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	1,33	3,35	0,46	1,73	0,59
Zürich-Kaserne	0,72	2,70	0,48	1,58	0,58
Dübendorf-Empa	0,71	2,75			
Rigi-Seebodenalp	0,26	0,35	0,07	0,13	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.

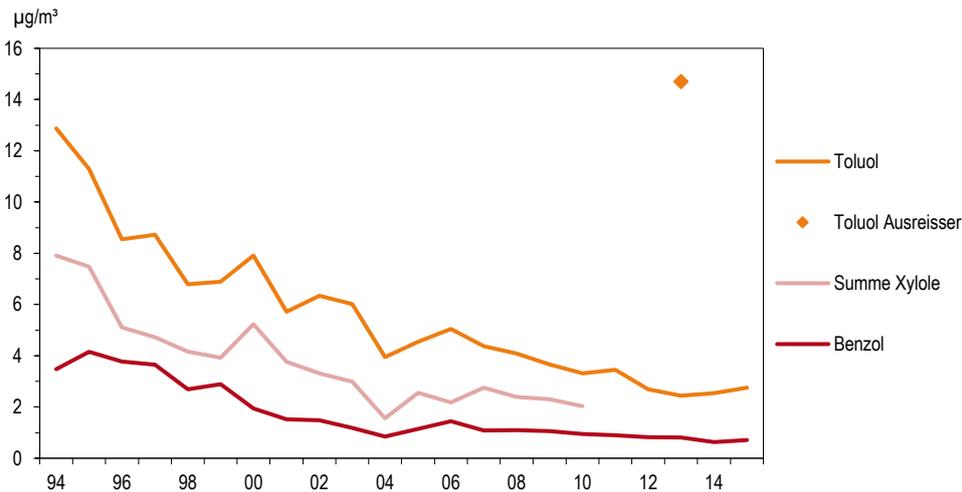
Die Konzentration von Toluol hat seit 1994 deutlich abgenommen (Abb. 32). Die Benzolwerte sind zwischen 1994 und 1999 nur wenig zurückgegangen. Zwischen 1999 und 2001 wurde dagegen ein deutlicher Rückgang beobachtet. Dieses Verhalten wurde auch an kantonalen Stationen beobachtet, die zum grossen Teil 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 1994–2015, 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

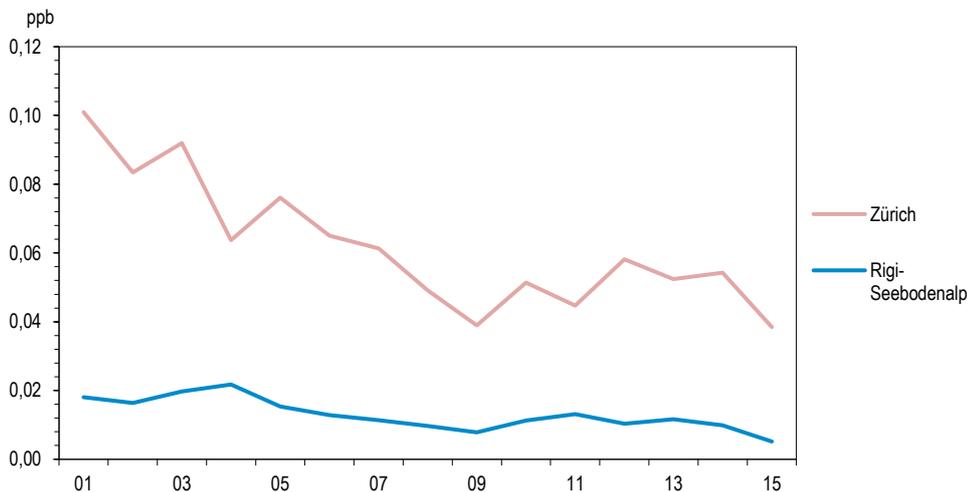
Die VOC-Messungen sind verknüpft mit einem europäischen Programm, das Daten für die Kalibrierung des europäischen EMEP-Modells bereitstellt. Seit 2001 werden VOC-Komponenten in Zürich und auf Rigi-Seebodenalp gemessen (siehe Anhang B).

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 2015 fast auf die Hälfte gesunken, vermutlich als Folge der verbesserten Motorentechnik und Abgasreinigung bei Fahrzeugen.

1,3-Butadien

Abb. 33 > 1,3-Butadien, Jahresmittelwerte 2001–2015



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.

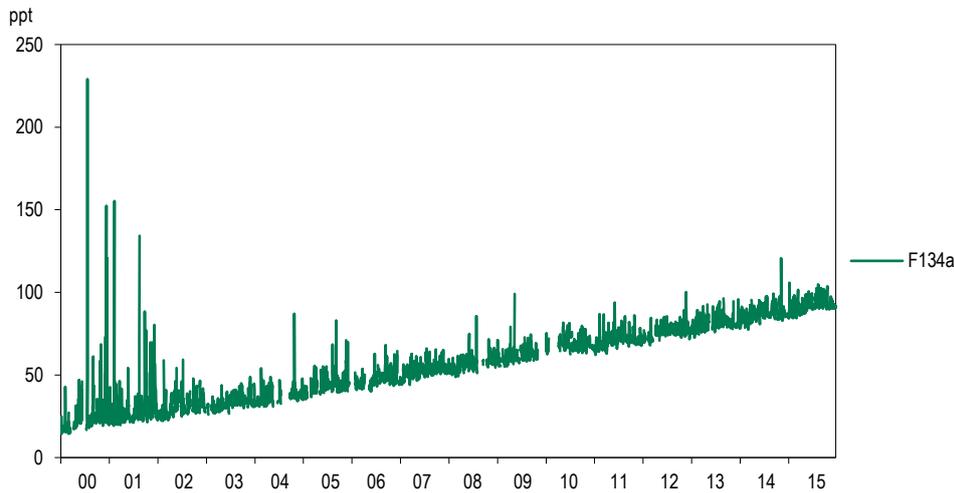
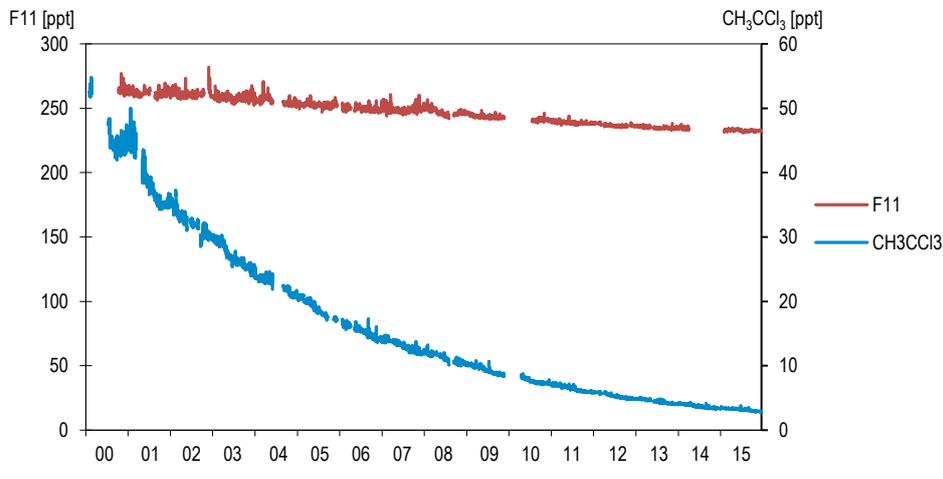
Bedeutung in der Atmosphäre

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 2015 auf dem Jungfrauojoch**Abb. 35** > 1,1,1-Trichlorethan und F11: Tagesmittelwerte von 2000 bis 2015 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.

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 langlebige Substanz
F11

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

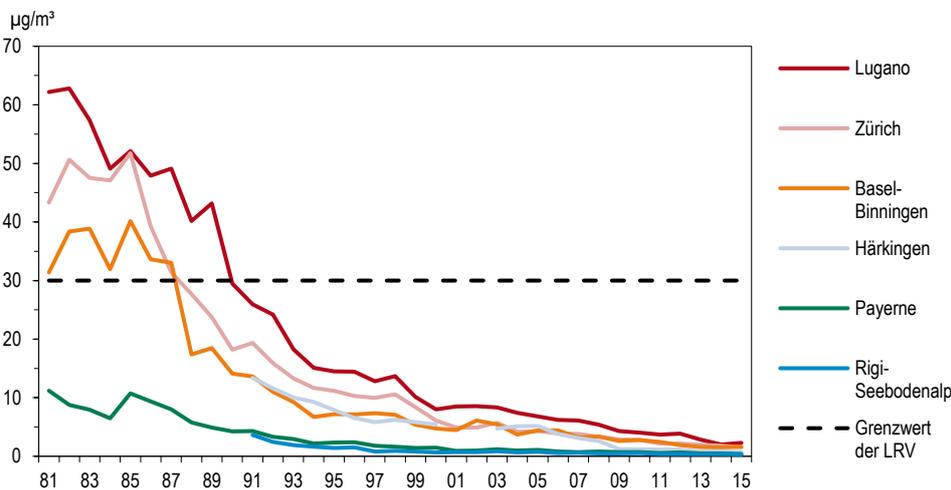
Schwefeldioxid ist ein farbloses, in höheren Konzentrationen stechend riechendes, gut wasserlösliches Reizgas. Es entsteht vor allem beim Verbrennen schwefelhaltiger Brenn- und Treibstoffe. Das Maximum der Schwefeldioxidemissionen wurde 1980 erreicht. Die Emissionen sind seither auf weniger als ein Sechstel 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 1981–2015



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 Jungfraujoch 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 2015

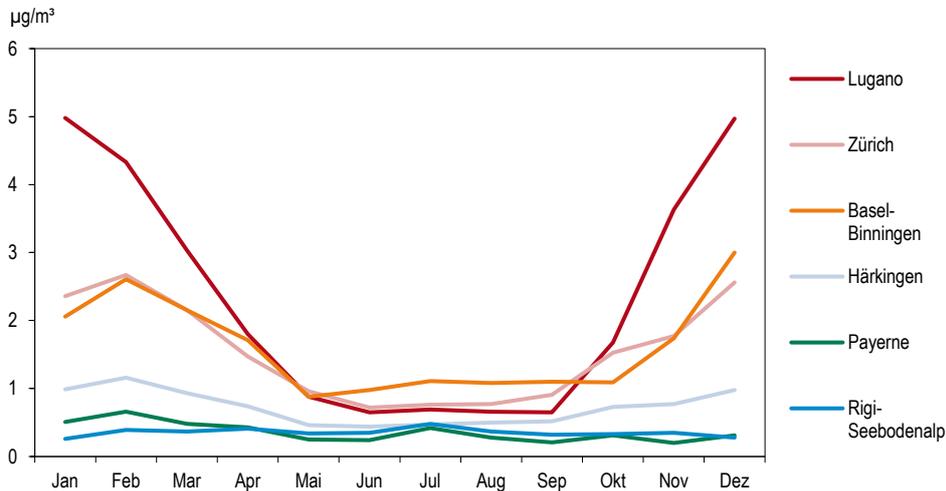
Die SO₂-Messergebnisse des Jahres 2015 sind in der Tab. 15 zusammengestellt. Im NABEL sind keine Überschreitungen des Jahresgrenzwertes aufgetreten. Der 95 %-Wert als Mass für die Kurzzeitbelastung lag ebenfalls bei allen Stationen deutlich unter dem Grenzwert von 100 µg/m³. Dasselbe gilt für die höchsten Tagesmittelwerte.

Generell tiefe Belastung

Tab. 15 > Schwefeldioxid (SO₂), Jahresstatistik 2015

Standorttyp	Station	Jahres- mittelwert µg/m ³	95 %- Wert µg/m ³	max. 24h- Mittelwert µg/m ³	Anzahl Grenzwert- überschreitungen 24h-Mittelwert
Städtisch	Lugano-Universität	2,3	6	8	0
	Zürich-Kaserne	1,5	5	5	0
Vorstädtisch	Basel-Binningen	1,6	5	7	0
	Dübendorf-Empa	1,1	4	4	0
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	<1	2	3	0
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	1,6	4	8	0
	Payerne	<1	1	2	0
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	<1	<1	1	0
Hochgebirge	Jungfraujoch	<1	<1	3	0
LRV-Immissionsgrenzwert		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 2015

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 2015 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 > Kohlenmonoxid

8.1 Entstehung und Charakterisierung

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

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

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

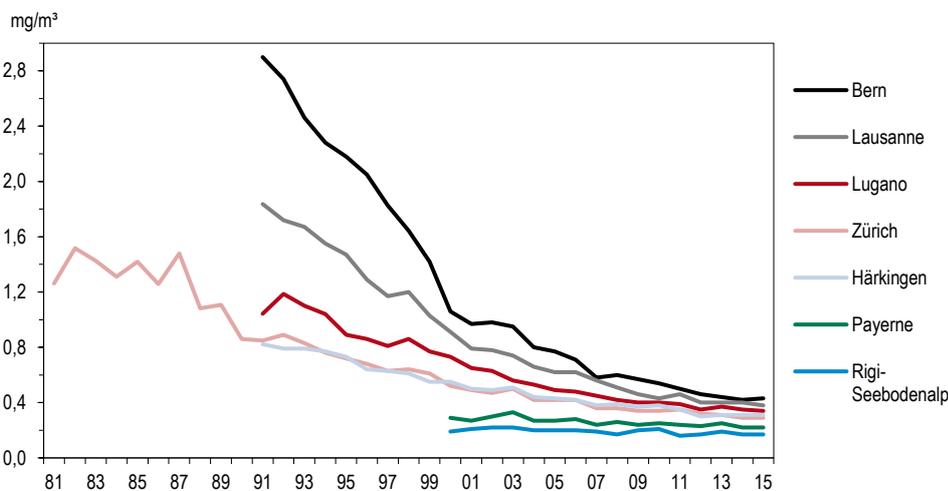
Wirkung

8.2 Zeitliche Entwicklung

Hinsichtlich der Belastung durch Kohlenmonoxid lässt sich an allen stark belasteten Stationen eine deutliche Abnahme seit 1990 erkennen (Abb. 38). Die beiden strassen-nahen Stationen in den Stadtzentren (Bern und Lausanne) zeigen die stärkste Abnahme.

Rückgang der Immission um über 60 % seit 1992

Abb. 38 > Kohlenmonoxid (CO), Jahresmittelwerte 1981–2015



8.3 Situation 2015

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 0,43 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.

Hohe Hintergrundbelastung

Der Grenzwert für die Kohlenmonoxid-Belastung (Tagesmittelwert von 8 mg/m³) wird an keiner Station erreicht. Der höchste gemessene Tagesmittelwert betrug in Lugano 1,0 mg/m³. Die Werte der übrigen Stationen lagen noch tiefer.

Grenzwerte deutlich eingehalten

Tab. 16 > Kohlenmonoxid (CO), Jahresstatistik 2015

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	0,43	0,8	0,8	0
	Lausanne-César-Roux	0,38	0,7	0,7	0
Städtisch	Lugano-Universität	0,34	0,7	1,0	0
	Zürich-Kaserne	0,29	0,5	0,9	0
Vorstädtisch	Dübendorf-Empa	0,29	0,6	0,8	0
Ländlich, Autobahn	Härkingen_A1	0,31	0,6	0,7	0
Ländlich, unterhalb 1000 m	Payerne	0,22	0,4	0,6	0
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	0,17	0,3	0,4	0
Hochgebirge	Jungfrauoch	0,09	0,0	0,2	0
<i>LRV-Immissionsgrenzwert</i>				8,0	1

Abb. 39 > Kohlenmonoxid (CO), Monatsmittelwerte 2015

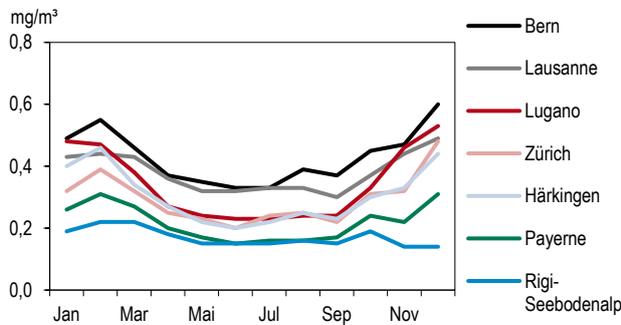
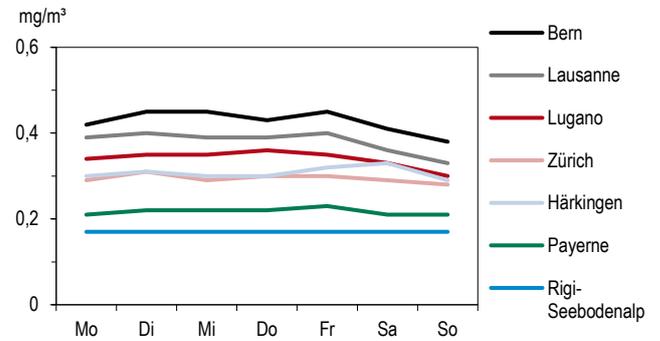


Abb. 40 > Kohlenmonoxid (CO), mittlerer Wochengang 2015



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 Personewagen, die in der Nähe der Stationen vorbeifahren. In den Städten nimmt der Personewagenverkehr 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 Personewagen.

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/web/s503/climate-gases). 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

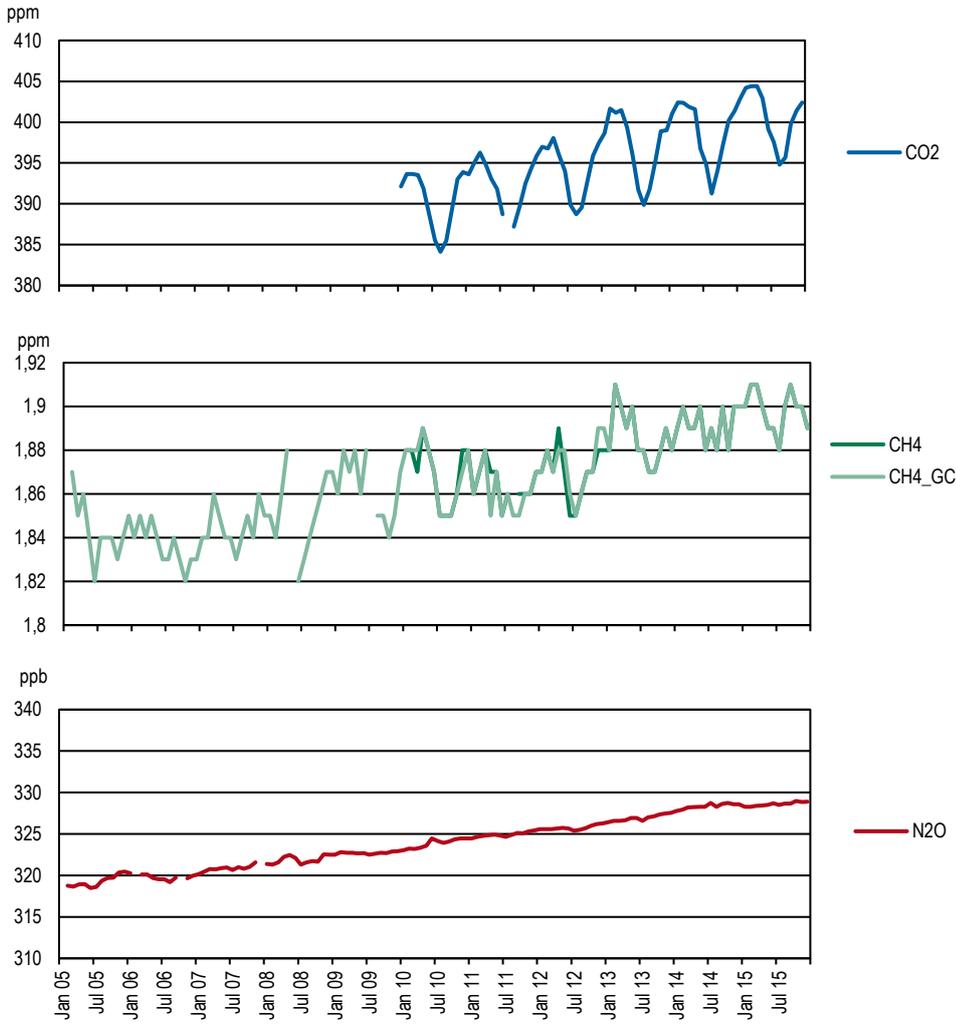
Methan (CH₄) ist der Hauptbestandteil von Erdgas und wird bei der Nutzung von Lagerstätten fossiler Energieträger freigesetzt. Eine wichtige Quelle ist auch die Landwirtschaft, insbesondere die Tierhaltung. Der Methangehalt der Atmosphäre steigt weiterhin an. Methan ist nicht nur ein Treibhausgas, sondern 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 2015



Methan (CH₄) wird mit zwei unterschiedlichen Geräten gemessen.

10 > Staubniederschlag

Die Gesamtmenge des Staubniederschlags, bestimmt nach der Bergerhoff-Methode, spielt heute in der Luftreinheit eine untergeordnete Rolle. Die gemessenen Staubdepositionen haben in den letzten 20 Jahren abgenommen (Abb. 42).

Staubniederschlag heute nicht mehr von grosser Bedeutung

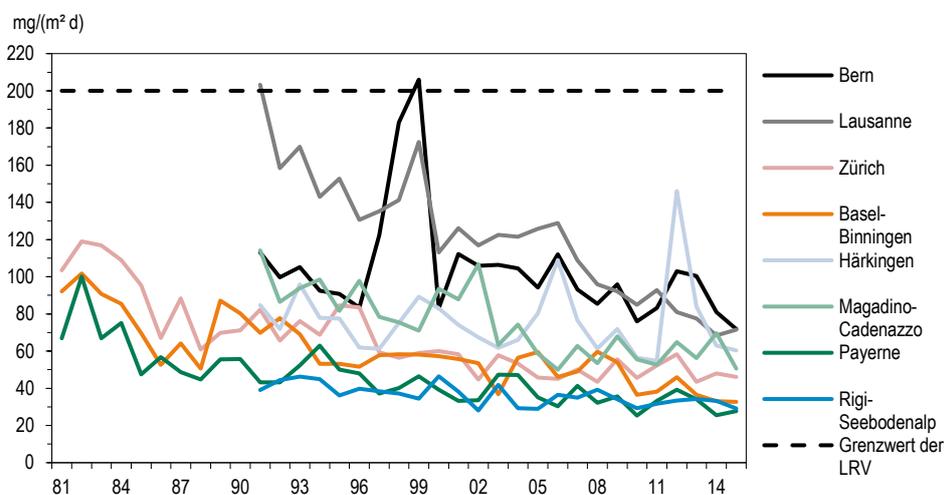
Die höchsten Staubniederschlagswerte werden an den verkehrsexponierten Standorten gemessen (Tab. 17, Abb. 42). Der höchste gemessene Jahresmittelwert (Bern-Bollwerk und Lausanne-César-Roux: 72 mg/(m² d)) liegt jedoch deutlich unterhalb des Grenzwertes. Auffallend ist die relativ hohe Belastung der Station Magadino-Cadenazzo.

Grenzwerte eingehalten

Tab. 17 > Staubniederschlag, Jahresstatistik 2015

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert mg/(m ² d)
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	72
	Lausanne-César-Roux	72
Städtisch	Zürich-Kaserne	46
Vorstädtisch	Basel-Binningen	33
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	60
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	51
	Payerne	28
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	29
LRV-Immissionsgrenzwert		200

Abb. 42 > Staubniederschlag, Jahresmittelwerte 1981–2015



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 Normalbensins seit 1985 wurde eine weitere entscheidende Verminderung der Umweltbelastung durch Blei eingeleitet. Die Blei-Emissionen betragen heute nur noch knapp 5 % der Emissionen zu Beginn der 70er-Jahre.

Emissionen um den Faktor 20 zurückgegangen

Die Konzentrationen von Blei im Feinstaub sind seit 1988 an den meisten Standorten sehr stark zurückgegangen (Abb. 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 1988–2015 (Grenzwert: 500 ng/m³)

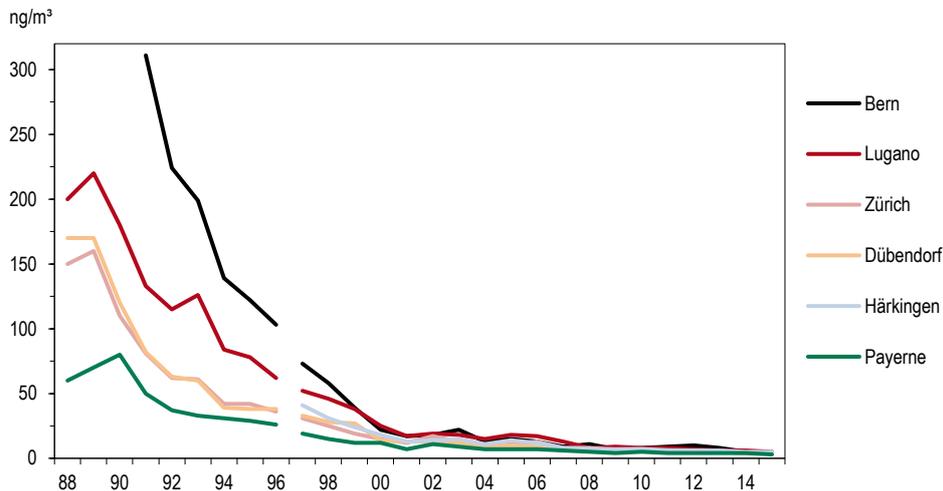
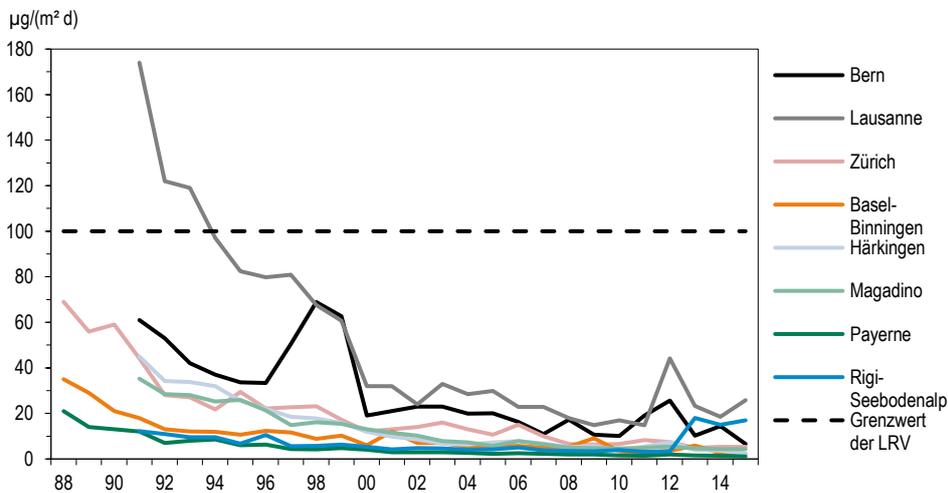


Abb. 44 > Blei im Staubbiederschlag, Jahresmittelwerte 1988–2015



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 7 resp. 26 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 2015

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	4,3	0,11	0,34	1,90	61,7
	Lausanne-César-Roux	3,1	<0,05**	0,26	1,20	30,0
Städtisch	Lugano-Universität	4,6	0,08	0,38	1,20	12,8
	Zürich-Kaserne	4,3	0,06	0,30	1,20	21,0
Vorstädtisch	Basel-Binningen	3,8	0,13	0,29	0,70	8,0
	Dübendorf_Empa	3,6	0,08	0,29	0,70	21,9
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	4,9	0,07	0,31	0,90	19,7
	Sion-Aéroport-A9	5,9	0,05	0,29	1,60	26,3
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	4,2	0,09	0,54	1,20	12,0
	Payerne	2,6	<0,05**	0,33	0,70	4,6
	Tänikon	3,6	<0,05**	0,21	0,60	6,6
Ländlich, oberhalb 1000 m	Chaumont	1,7	<0,05**	0,13	<0,5*	1,7
	Rigi-Seebodenalp	2,4	<0,05**	0,13	0,50	2,0
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

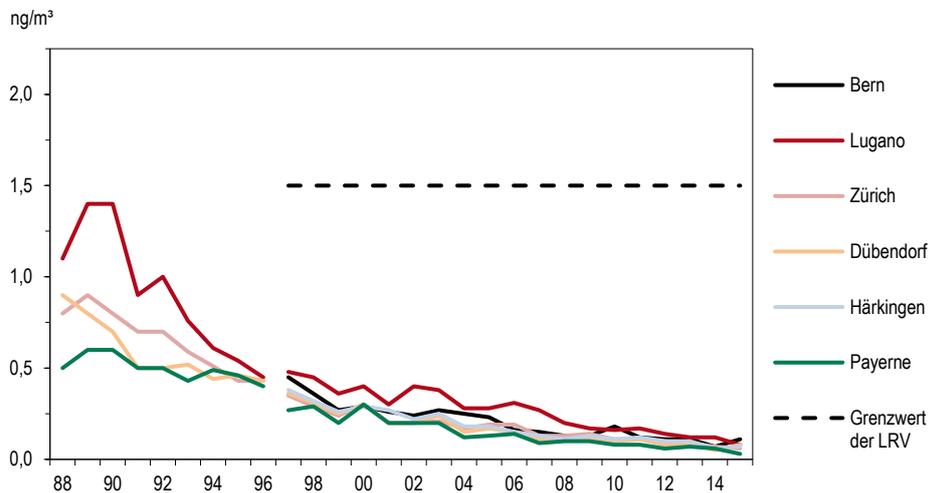
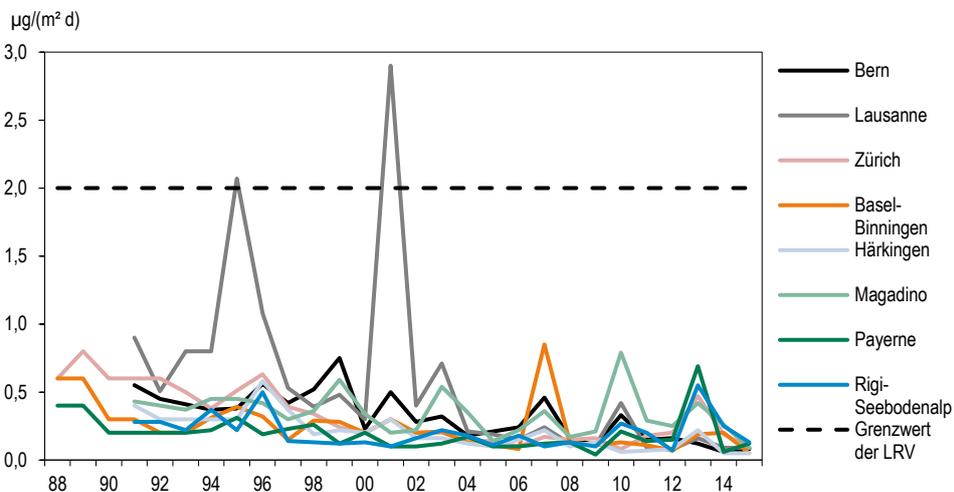
11.2 Cadmium

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 Staubbiederschlag (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 1988–2015**Abb. 46** > Cadmium im Staubniederschlag, Jahresmittelwerte 1988–2015

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 $0,2 \text{ ng/m}^3$. Der Grenzwert für Cadmium im Staubbiederschlag (Tab. 19) ist ebenfalls an allen Stationen eingehalten.

Grenzwerte meist eingehalten

Tab. 19 > Schwermetalle im Staubbiederschlag, Jahresstatistik 2015

Standorttyp	Station	Jahresmittelwerte						
		Blei $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{ d})$	Cadmium $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{ d})$	Zink $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{ d})$	Thallium $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{ d})$	Arsen $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{ d})$	Nickel $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{ d})$	Kupfer $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{ d})$
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	6,6	0,08	181,5	0,013	0,45	4,38	92,1
	Lausanne-César-Roux	25,8	0,09	178,3	0,013	0,47	3,97	88,7
Städtisch	Zürich-Kaserne	5,3	0,09	40,1	0,009	0,29	1,75	25,7
Vorstädtisch	Basel-Binningen	2,3	0,05	18,1	0,007	0,20	1,10	7,8
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	2,4	0,05	49,6	0,009	0,31	1,65	13,2
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	4,3	0,09	25,0	0,022	0,59	3,00	9,0
	Payerne	1,1	0,12	9,5	0,009	0,16	0,75	3,0
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	2,6	0,13	17,1	0,013	0,22	0,90	4,7
<i>LRV-Immissionsgrenzwert</i>		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 Kehrichtverbrennungsanlagen und durch den Motorfahrzeugverkehr (Reifen- und Strassenabrieb) in die Umwelt emittiert. Emissionsmindernde Massnahmen bewirkten seit Anfang der siebziger Jahre eine deutliche Abnahme der industriellen Emissionen. Die Bedeutung der verkehrsbedingten Zinkemissionen hat demgegenüber zugenommen.

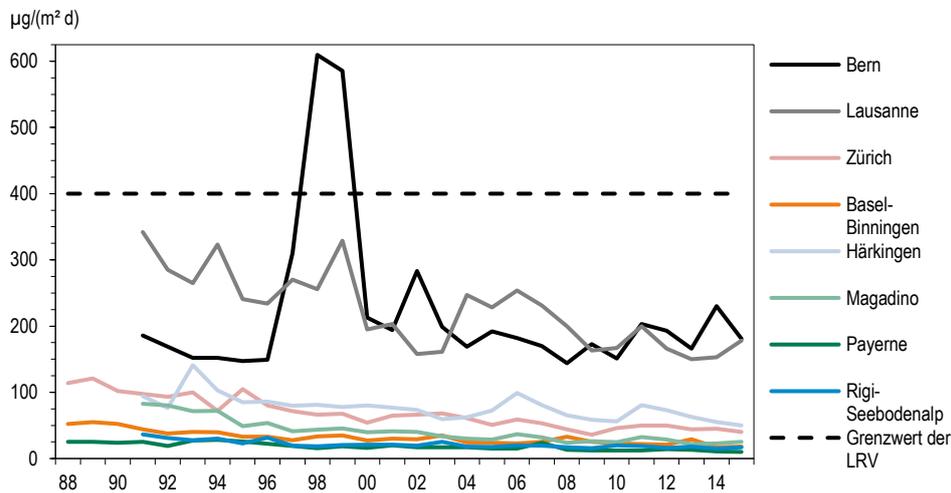
Quellen von Zink

Die Zinkdepositionen sind seit 1991 mit Ausnahme von Bern und Härkingen um 40–60 % zurückgegangen. Die höchsten Zinkdepositionen (Jahresmittelwerte) wurden im NABEL 2015 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 1988–2015



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 0,022 µg/(m² d) weit unter dem Grenzwert von 2 µg/(m² 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 2015 maximale Arsen-Konzentrationen von 0,54 ng/m³ und maximale Nickel-Konzentrationen von 1,9 ng/m³ gemessen. Diese liegen deutlich unter den in der EU geltenden Zielwerten von 6 ng/m³ für Arsen und 20 ng/m³ für Nickel. Die Belastung durch Arsen und Nickel ist deshalb in der Schweiz generell als gering einzustufen.

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 1985–2015

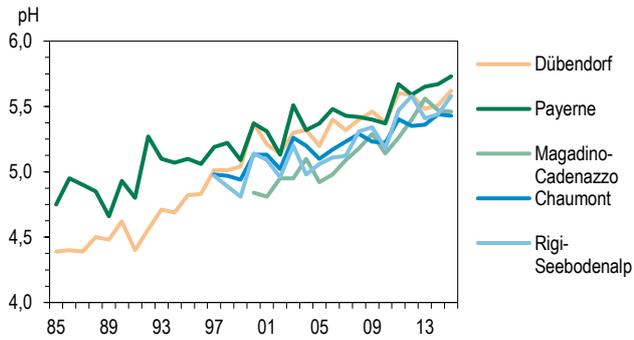


Abb. 49 > Sulfat (SO₄²⁻-S)-Konzentration im Regenwasser, Jahresmittelwerte 1985–2015

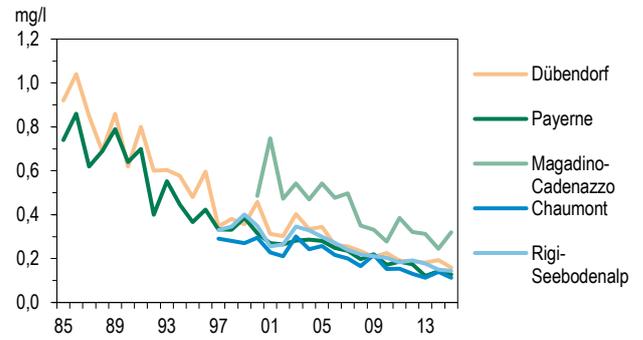


Abb. 50 > Nitrat (NO₃⁻-N)-Konzentration im Regenwasser, Jahresmittelwerte 1985–2015

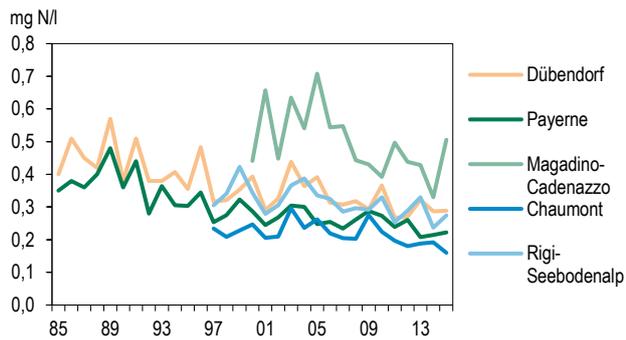


Abb. 51 > Chlorid (Cl⁻)-Konzentration im Regenwasser, Jahresmittelwerte 1985–2015

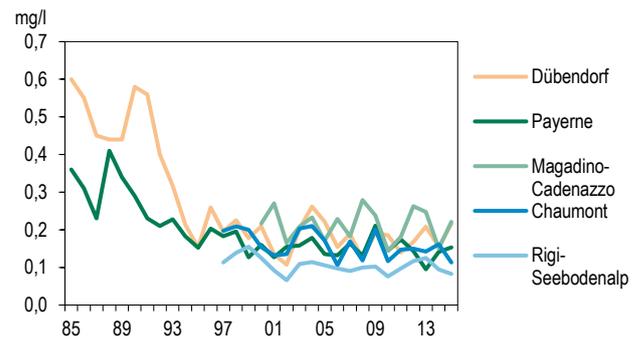


Abb. 52 > Ammonium (NH₄⁺-N)-Konzentration im Regenwasser, Jahresmittelwerte 1985–2015

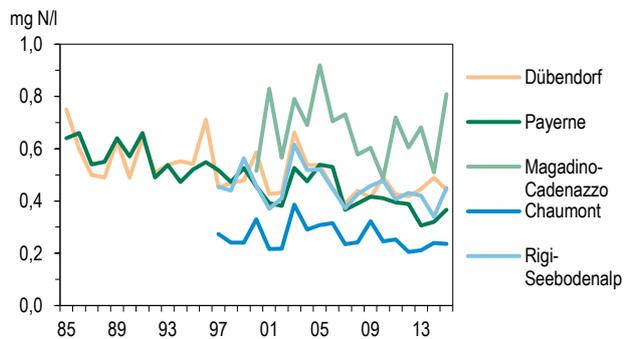
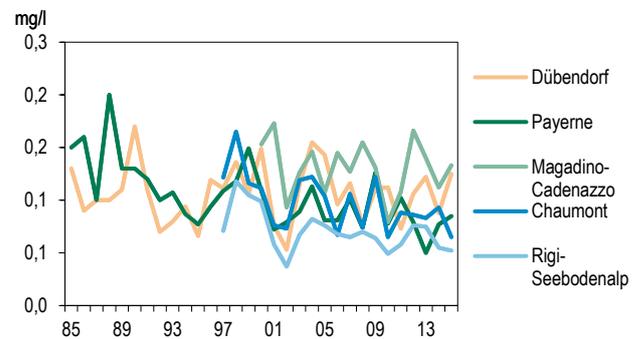
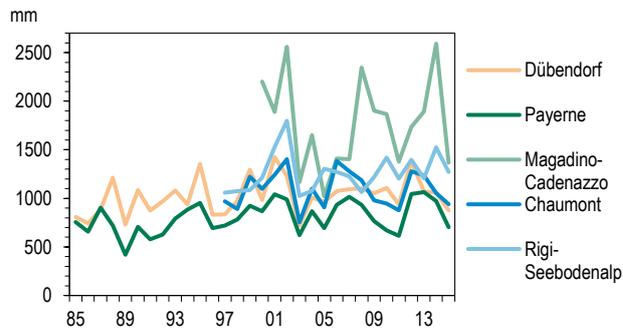


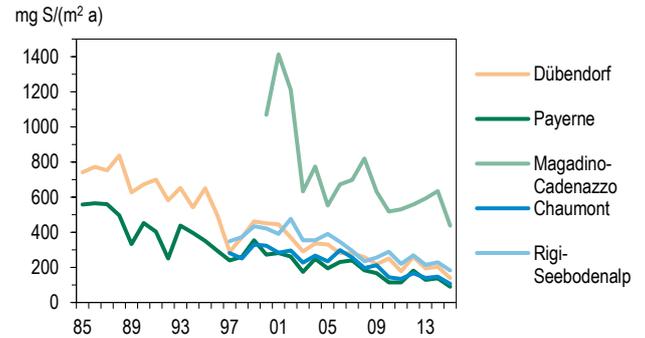
Abb. 53 > Natrium (Na⁺)-Konzentration im Regenwasser, Jahresmittelwerte 1985–2015



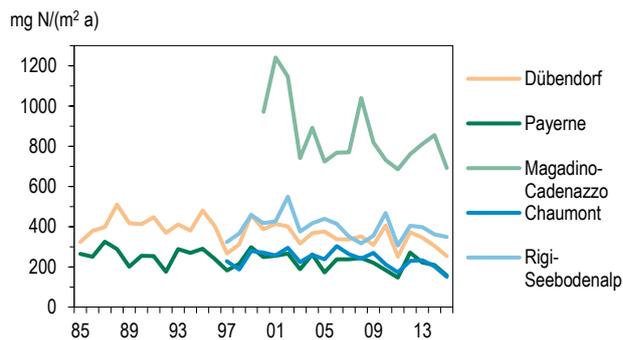
**Abb. 54 > Analyisierte Niederschlagsmengen:
Jahressummen 1985–2015**



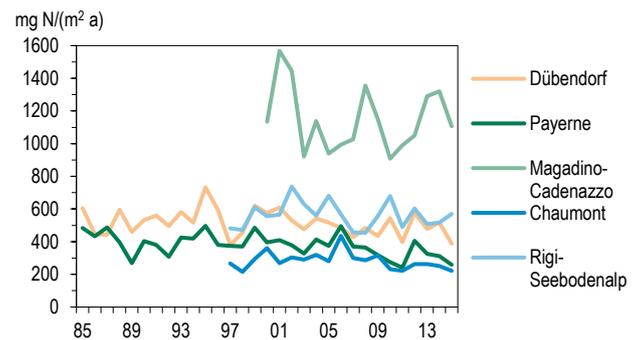
**Abb. 55 > Sulfat (SO_4^{2-} -S)-Fracht,
Jahresfrachten 1985–2015**



**Abb. 56 > Nitrat (NO_3^- -N)-Fracht,
Jahresfrachten 1985–2015**



**Abb. 57 > Ammonium (NH_4^+ -N)-Fracht,
Jahresfrachten 1985–2015**



12.3 Situation 2015

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 von Nitrat, Sulfat und Ammonium auf.

Räumlicher Unterschied nicht sehr ausgeprägt

Tab. 20 > Konzentrationen der Regeninhaltsstoffe, Jahresstatistik 2015

Station	Jahresmittelwerte									
	pH	LEIT µS/cm	Cl mg/l	NO ₃ mg N/l	SO ₄ mg S/l	Na mg/l	NH ₄ mg N/l	K mg/l	Mg mg/l	Ca mg/l
Dübendorf-Empa	5,62	8,51	0,22	0,29	0,16	0,13	0,44	0,04	0,03	0,32
Magadino-Cadenazzo	5,46	13,60	0,22	0,51	0,32	0,13	0,81	0,08	0,05	0,44
Payerne	5,73	6,55	0,15	0,22	0,13	0,09	0,37	0,03	0,02	0,22
Chaumont	5,43	5,47	0,11	0,16	0,11	0,07	0,24	0,02	0,02	0,15
Rigi-Seebodenalp	5,58	7,10	0,08	0,27	0,14	0,05	0,45	0,03	0,01	0,15

Tab. 21 > Jahresfrachten der Regeninhaltsstoffe, Jahresstatistik 2015

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	877	189	253	139	110	389	34	27	277	
Magadino-Cadenazzo	1368	302	692	438	182	1107	105	73	605	
Payerne	703	108	156	90	60	258	23	14	155	
Chaumont	941	106	151	106	61	222	23	14	142	
Rigi-Seebodenalp	1270	105	348	183	66	570	36	15	185	

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 Gesamtdposition

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 2015

Standorttyp	Station	$\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$		$\text{HNO}_3 + \text{NO}_3^-$	
		Jahresmittel $\mu\text{g N/m}^3$	Max. 24-h Mittelwert $\mu\text{g N/m}^3$	Jahresmittel $\mu\text{g N/m}^3$	Max. 24-h Mittelwert $\mu\text{g N/m}^3$
Ländlich, unterhalb 1000 m	Payerne	3,5	13,0	0,9	5,0
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	1,9	11,4	0,6	4,3

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 ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) fast viermal so hoch wie diejenige der oxidierten N-Komponenten ($\text{HNO}_3 + \text{NO}_3^-$). In Rigi-Seebodenalp wird etwas mehr als die dreifache 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 2004–2015 (Payerne) und 2000–2015 (Rigi-Seebodenalp)

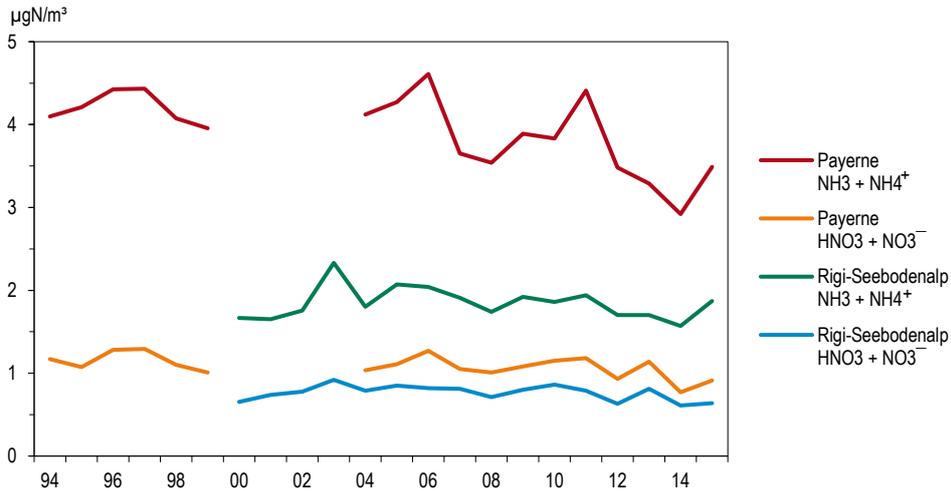
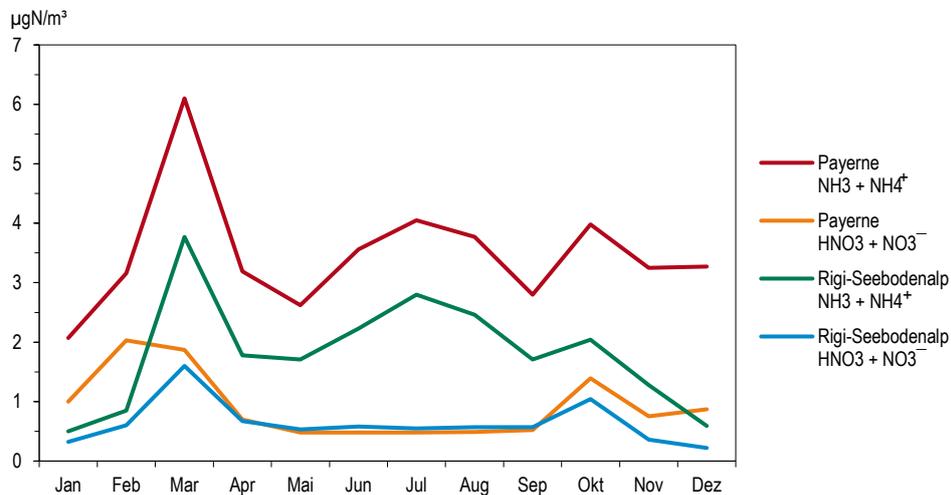


Abb. 59 > Summenmessungen von Stickstoffkomponenten, Monatsmittelwerte 2015 (Payerne und Rigi-Seebodenalp)



Die Messwerte auf Rigi-Seebodenalp sind meist tiefer als in Payerne. Dies trifft insbesondere auf die Summe der reduzierten N-Komponenten (NH₃ + NH₄⁺) zu. Die reduzierten N-Komponenten weisen ein Maximum im Frühjahr auf (Abb. 59). Die oxidierten N-Komponenten (HNO₃ + NO₃⁻) 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 Minidenumethode aufgenommen. Seit 2010 werden entsprechende Messungen auf der Alpensüdseite in Magadino-Cadenazzo durchgeführt, seit 2013 auch in Tänikon. Im Jahresmittel (Tab. 23) liegt in den tiefen Lagen beidseits der Alpen etwa gleich viel Stickstoff in Form der vier reaktiven Verbindungen vor. Hingegen ist auf der Alpensüdseite mehr Stickstoff in der Gasphase vorhanden als auf der Alpennordseite. Mit der Höhe über Meer nimmt die absolute Konzentration ab und auch der relative Anteil der Stickstoffverbindungen in der Gasphase wird kleiner.

Tab. 23 > Reaktive Stickstoffverbindungen, Jahresmittelwerte 2015

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	2,24	1,00	0,24	0,72	4,20	59%	41%
	Tänikon	4,31	0,91	0,24	0,69	6,15	74%	26%
	Magadino-Cadenazzo	4,28	0,95	0,41	0,59	6,23	75%	25%
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	1,22	0,79	0,18	0,49	2,68	52%	48%

13.3 Ammoniak

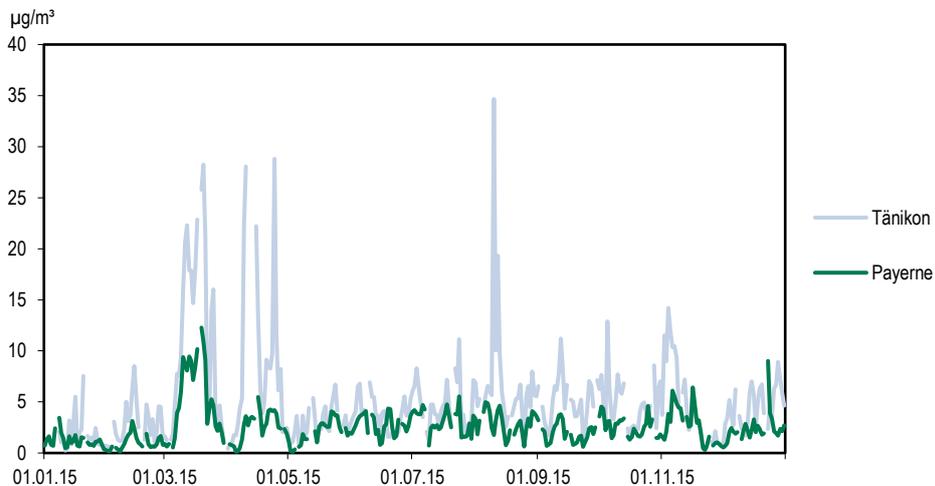
Im Jahr 2015 wurden an den drei Standorten Payerne, Tänikon und Magadino-Cadenazzo kontinuierliche Messungen von Ammoniak vorgenommen. Die kontinuierlich gemessenen NH_3 -Konzentrationen sind tendenziell tiefer als die mit Passivsammlern oder Denudern erhobenen Messwerte. Ein Grund dafür könnten Ammoniakverluste in der Ansaugleitung sein. Die Belastung durch Ammoniak ist an allen 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/00575/11210/ unter Stickstoffhaltige Luftschadstoffe).

**Kontinuierliche Messungen
von Ammoniak**

Tab. 24 > Ammoniak, Jahresstatistik 2015

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	2,6	12	27
	Tänikon	5,2	35	238
	Magadino-Cadenazzo	5,4	30	116

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, 2015

14 > Witterung

14.1 Situation 2015

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

Auf Grund von milden West- und Südwestströmungen startete das Jahr 2015 überdurchschnittlich warm. Am 10. Januar verzeichnete die Messstation Luzern mit einem Tagesmittel von 15,1 Grad gar einen Winter-Rekord seit Beginn der Aufzeichnungen. Ab Mitte Januar gelangte von Norden her kalte Luft ins Land. Beidseits der Alpen schneite es bis in die Niederungen. Auf der Alpensüdseite waren die Schneefälle im Februar ergiebig und deutlich über der Norm. Der gerade auf der Alpennordseite vielerorts unternormal temperierte Februar vermochte allerdings nicht die milden Vormonate auszugleichen. So war der Winter 14/15 landesweit 0,7 Grad wärmer als das Mittel 1981–2010. Im Tessin und Engadin war es teils sogar der zweitwärmste je gemessene Winter.

Milder Jahresbeginn vor dem vielen Schnee

Nach ein paar trüben Tagen Anfang März stellte sich Mitte des Monats eine ruhige Hochdrucklage ein. Mit viel Sonnenschein war es besonders in Berglagen überdurchschnittlich mild. Auf dem Jungfrauoch lagen die Tagesmittel 5–9 Grad über dem Klimanormwert. Auch zur Sonnenfinsternis am 20. März war es im Norden verbreitet heiter. Im Süden dominierten hingegen dichte Wolken. Ende März gab es eine kühle und stürmische Wetterlage. Zuerst fiel Schnee bis auf 600 m, am 27. März brachte der Nordföhn schwere Sturmböen im Tessin, am 31. März fegte Sturm Niklas mit Windspitzen über 100 km/h über die Alpennordseite. Im April dominierte wiederum sonniges und warmes Wetter. Die Sonnenscheindauer erreichte in der ganzen Schweiz etwa 120–160% der Norm. Im Bündnerland und im Süden führte die Niederschlagsarmut zu grosser Waldbrandgefahr. Zum Monatswechsel folgten kräftige Niederschläge. Im Mittel summierten sich über die ganze Schweiz rund 100 mm Niederschlag innert sechs Tagen. Vom Unterwallis bis zum westlichen Berner Oberland fielen in höheren Lagen bis zu 200 mm Niederschlag. Einige Bäche traten über die Ufer. Da es Mitte Mai mit einem Kaltlufteinbruch noch einmal viel Niederschlag gab, resultierte speziell in den Westalpen ein überdurchschnittlich nasser Monat.

Meist viel Sonnenschein im Frühling – dazwischen Sturm, Starkniederschläge und Hochwasser

Der Sommer 2015 wurde durch heisse Südwest- bis Westlagen der zweitwärmste in der Schweiz seit Beginn der Messungen. Über das ganze Land gemittelt war es 2,4 Grad wärmer als die Norm. Nur der Hitzesommer 2003 war noch heisser. Schon im Juni zeichnete sich ein enormer Wärmeüberschuss ab. Ab und zu gab es noch Abkühlungen in Form von kräftigen Gewittern und aktiven Kaltfronten. Der Juli war dann inneralpin und in der Westschweiz der heisseste Monat überhaupt seit Messbeginn im Jahr 1864. Die Temperaturen lagen hier 3 bis 4 Grad über der Norm. Eine Hitzewelle in der ersten Juliwoche brachte in Genf mit 39,7 Grad am 7. Juli die höchste je auf der Alpennordseite gemessene Temperatur. Der Süden erlebte die grösste Hitze vom 17.

Sonniger Sommer mit ausgeprägten Hitzewellen

Bis 23. Juli. In Locarno-Monti wurden bis zu 36,8 Grad gemessen. Dies entspricht der dritthöchsten dort gemessenen Temperatur seit 1935. Auch im August blieb es überdurchschnittlich warm. Vor allem der Juli war im Vergleich zur Norm sehr trocken und deutlich sonniger. Über die drei Sommermonate reichte es im Mittelland oder an den Voralpen teils für den zweitsonnigsten Sommer seit 1959.

Im September und Oktober sorgten Strömungen aus Sektor Nord zunächst für unterdurchschnittliche Temperaturen. In den Bergen fiel mehrmals Schnee. Zum November hin stellte die Wetterlage auf milde West- bis Südwest-Strömungen um. Besonders an Stationen in höheren Lagen wurden neue November-Maxima erreicht. Auf dem Grossen St. Bernhard betrug die Höchsttemperatur am 12. November beispielsweise 11,9 Grad, was mehr als 2 Grad über dem vorherigen November-Rekord liegt. Zudem war es an vielen Messorten einer der drei sonnigsten November seit 55 Jahren. Im Mittelland schien die Sonne regional fast doppelt so lang wie im Mittel von 1981–2010. Nach dem trockenen Sommer gab es abgesehen von September (grössere Mengen vom Nordtessin bis ins Engadin) weiterhin sehr wenig Niederschlag. Die Nordwestschweiz etwa erhielt im Oktober nur 20% des normalen Niederschlags.

Im November blieb es in der ganzen Schweiz mehrere Wochen praktisch trocken. Im Norden gab es Ende Monat dann kräftigen Niederschlag. Im Tessin oder den Bündner Südtälern fiel lokal bis zum Jahresende überhaupt kein Regen oder Schnee. In Locarno und Lugano wurde im November und Dezember zusammen weniger als 1 mm gemessen. Zu Beginn des Winters fehlte in den Bergen entsprechend der Schnee. Das trockene Hochdruckwetter sorgte für überdurchschnittlich viel Sonnenschein. Zudem blieb es nach dem warmen November auch im Dezember landesweit zu warm. Mit 3,2 Grad mehr als üblich war es der wärmste Dezember der Messreihen.

In der Bilanz geht 2015 als wärmstes Jahr in die jüngere Schweizer Klimageschichte ein. Das Jahresmittel lag verbreitet 1,0 bis 1,4 Grad über der Norm. Mit durchschnittlich +1,29 Grad wurde der Rekord vom Vorjahr knapp übertroffen. Der Niederschlag erreichte nur in den Alpen normale Mengen, im Süden und besonders im Norden war der Jahresniederschlag unternormal. Die ist vor allem auf den trockenen Sommer und Herbst zurückzuführen. Die Sonnenscheindauer betrug 10%, im Norden bis 25%, mehr als im Mittel 1981–2010.

Nach einem kühlen Start in den Herbst nochmals viel Sonne und Wärme

Der Winter lässt auf sich warten, vor allem im Süden kaum Niederschlag

Jahresbilanz

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 43% sank. Für CO beträgt die extrapolierte Abnahme mehr als 60%. 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 57 %, CO um 80%. 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 – 2015, Sion-Aéroport*

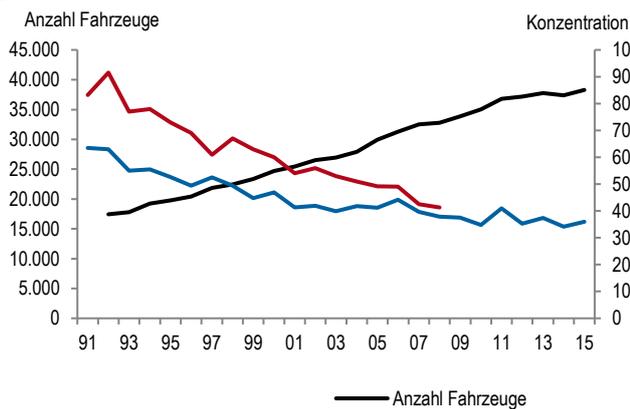
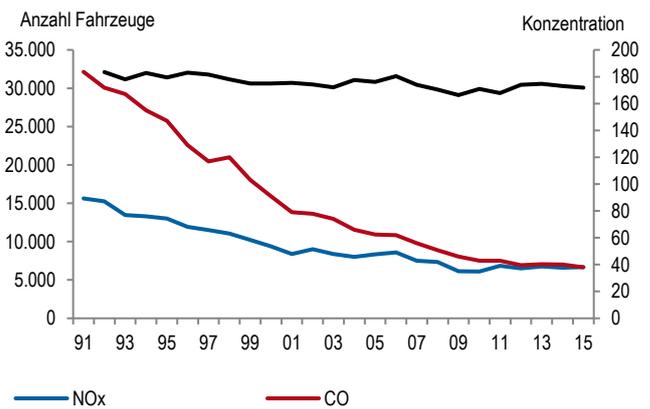


Abb. 62 > Verkehrsaufkommen und Schadstoffbelastung, 1991 – 2015, Lausanne-César-Roux



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

*) unvollständige Messreihe im Jahr 2015 (siehe Anhang B)

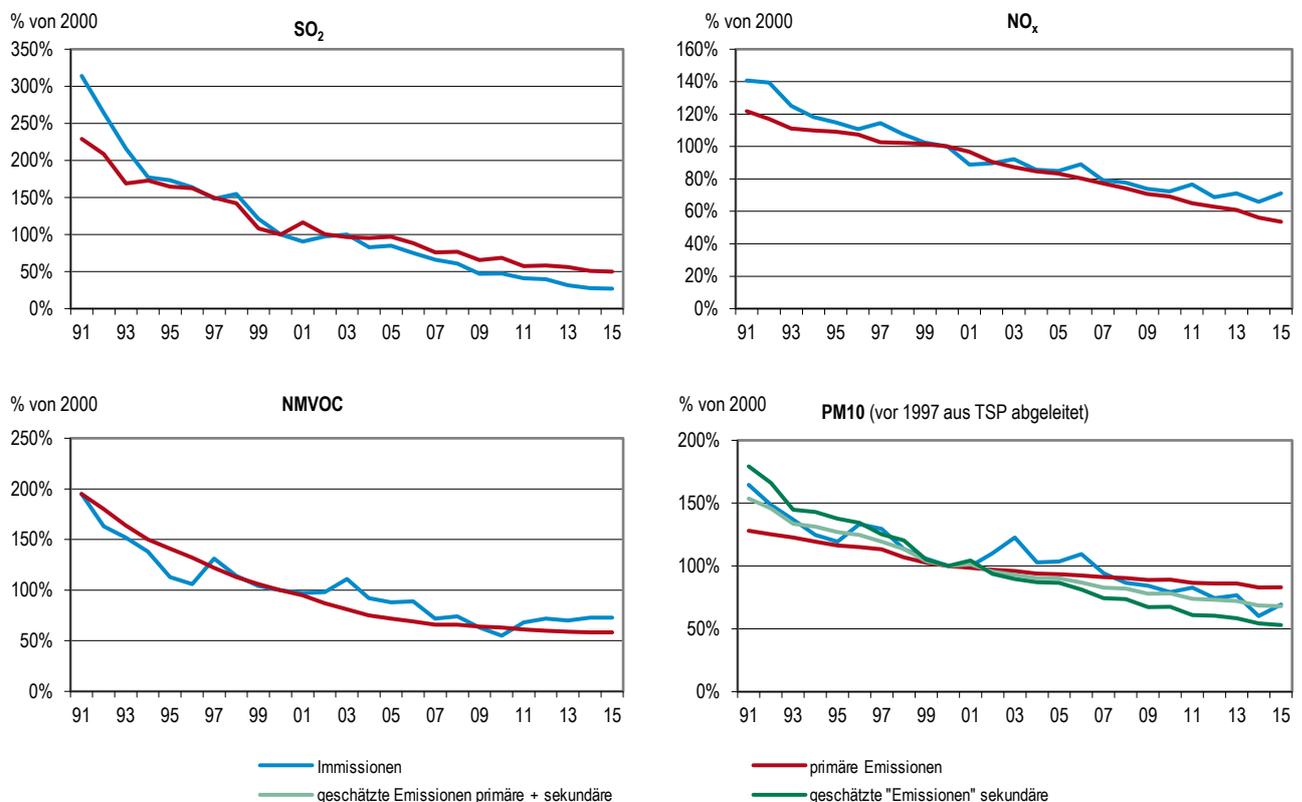
16 > Ausblick

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 Säureinträge in Ökosysteme. Das Ziel einer guten Luftqualität ist noch nicht erreicht – trotz der beachtlichen Erfolge der schweizerischen Luftreinhaltepolitik. Es sind deshalb weitere Emissionsreduktionen notwendig.

Erfolge und Problemschadstoffe

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

Vorsorgeprinzip und verschärfte Emissionsbegrenzungen

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

Überwachung der Luftqualität

> Anhang A

Anhang A1: Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung

Anhang A2: Standortcharakterisierung

Anhang A3: NABEL-Messprogramm

Anhang A4: Messverfahren

Anhang A5: Masseinheiten und statistische Masszahlen

Anhang A6: Homogenisierung von Messreihen der Station Bern

Anhang A1: Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung

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

Wirkungsorientierte Grenzwerte

Tab. A1 > Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung

Schadstoff	Immissionsgrenzwert	Statistische Definition
Stickstoffdioxid (NO 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 2015 (<http://www.bafu.admin.ch/luft/00612/00625>) 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
Jungfrauoch 3580 m ü. M. 641'910/155'280; 46°32'51"/7°59'06"	Hochgebirge	Im Gebäude des Sphinx-Observatoriums der hochalpinen Forschungsstation Jungfrauoch, (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 2015)

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
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	XA	X	X	X	XA	X	X	XA	XA	XA	X	XA	XA	X
Strahlungsbilanz				X				X			X				X	
Niederschlagsmenge (autom.)	XA	X	XA	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 2015)

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 (PM ₁₀ , PM _{2.5} , PM ₁)	Tagesmittelwerte	Gravimetrische Bestimmung auf Quarzfaserfiltern	Messwerte vergleichbar mit Referenz-Verfahren gemäss EN Norm 12341
	Zehnminutenmittelwerte	TEOM-FDMS, Betastrahlabsorption, optische Geräte	
Schwefel im PM ₁₀	Tagesmittelwerte	Ionenchromatographie	
Schwermetalle (Blei, Cadmium) im PM ₁₀	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	Minidenuder-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	Multi 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 Jungfraujoch und Davos, auf einen Luftdruck von 1013,25 hPa und eine Temperatur von 20 °C. Die Werte der Station Jungfraujoch werden auf einen Luftdruck von 653 hPa und eine Temperatur von -8 °C umgerechnet, diejenigen von Davos auf 831 hPa und 3 °C.

Tab. 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.)	Jungfraujoch (3580 m ü. M.)
Stickstoffmonoxid	1,25	1,09	0,89
Stickstoffdioxid	1,91	1,67	1,36
Ozon	2,00	1,74	1,42
Nichtmethan-Kohlenwasserstoffe	0,67	0,58	0,48
Schwefeldioxid	2,66	2,32	1,90
Kohlenmonoxid	1,16	1,01	0,83

In der Tab. 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 Zeitauflösung vorhanden sein. Beim Jahresmittelwert müssen 90 % der Daten vorhanden sein und es darf kein ununterbrochener Ausfall von länger als 10 Tagen vorkommen.

Anhang A6: Homogenisierung von Messreihen der Station Bern

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

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

- > 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 2015 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 2015	Basel-Binningen		Koordinaten: 610'890 / 265'605 Höhe: 316 m
	Vorstädtisch		

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	2,06	2,61	2,15	1,71	0,88	0,98	1,11	1,08	1,10	1,09	1,74	3,00	1,62
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	4,99	6,04	6,90	4,13	2,47	2,33	3,52	3,43	3,79	2,39	5,81	5,34	6,90
	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	26,5	34,6	25,2	17,8	10,6	12,6	11,0	12,7	15,6	23,2	23,2	34,4	20,5
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	49,0	61,7	44,6	29,4	19,5	20,8	22,4	21,2	30,6	33,7	42,9	46,6	61,7
	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	8,8	7,6	5,2	2,6	1,2	1,6	0,9	1,1	2,7	5,4	9,1	21,0	5,6
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	33,9	31,2	19,5	7,3	7,6	4,2	2,3	3,9	6,9	15,1	43,5	74,2	74,2
NO _x	Mittelwerte	ppb	20,9	24,2	17,3	11,4	6,5	7,9	6,5	7,5	10,3	16,5	19,4	34,8	15,2
	max. 24h-Mittelwert	ppb	51,2	57,3	39,0	21,3	15,2	12,5	13,1	14,2	21,6	29,7	55,5	83,8	83,8
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	32	32	46	65	68	73	90	77	52	25	31	12	50
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	78	84	90	122	121	152	176	173	101	76	78	75	176
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	89	95	106	143	132	177	194	191	110	97	82	81	194
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	17	22	75	149	117	0	0	0	0	380
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	9	8	0	0	0	0	17
	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	25	24	12	9	13	15	13	9	19	13	19	15
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	58	53	65	27	16	21	28	24	24	35	28	30	65
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
SN	Mittelwerte	mg/(m ² d)	15	11	48	-	39	-	34	53	48	57	12	10	33

-) keine Messwerte vorhanden

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	3,0	1,6	7,4	11,2	15,0	18,7	23,2	21,0	14,4	10,2	8,7	5,5	11,7
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	520	516	384	176	47	0	0	0	34	261	284	449	2662
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	37	70	132	203	208	245	275	213	154	93	65	51	146
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	81	76	67	61	69	69	57	68	71	81	78	85	72
Niederschlag	Summen	mm	67	26	32	78	101	95	21	76	49	36	49	16	645
Druck	Mittelwerte	hPa	981	979	983	983	980	982	980	979	981	981	985	991	982

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

**Jahresübersicht
2015**

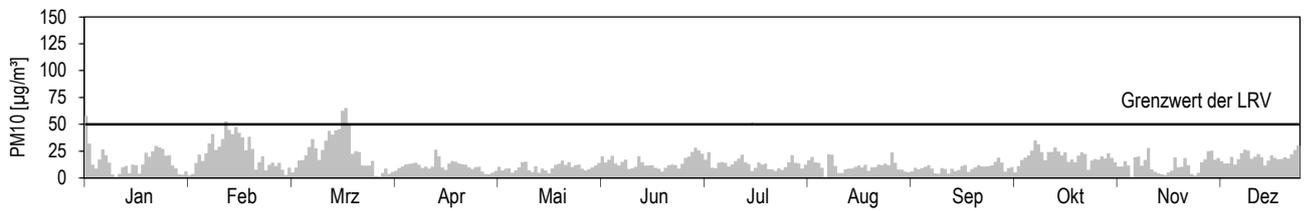
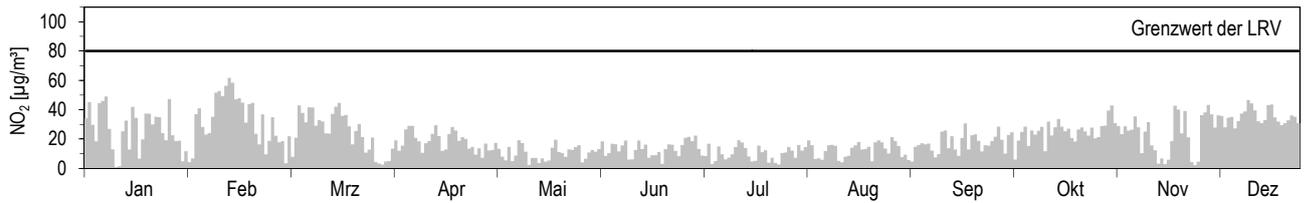
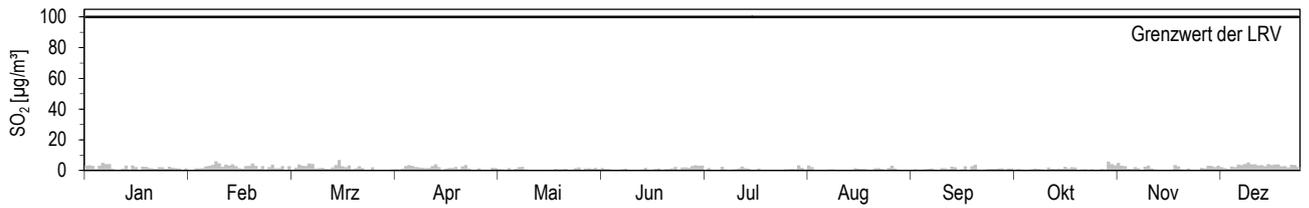
Basel-Binningen

Vorstädtisch

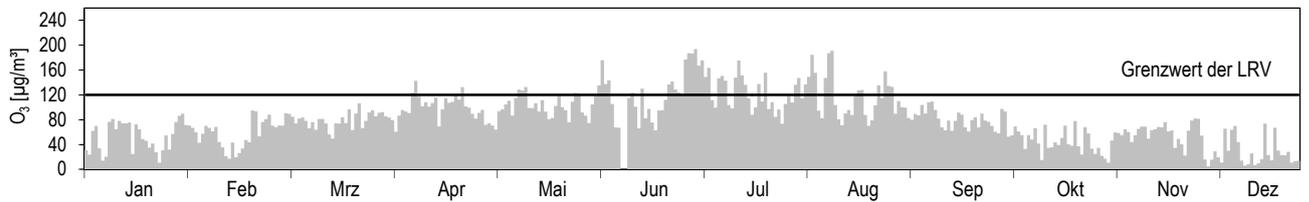


Koordinaten: 610'890 / 265'605
Höhe: 316 m

Tagesmittelwerte für SO₂, NO₂ und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2015	Bern-Bollwerk		Koordinaten: 600'170 / 199'990 Höhe: 536 m
	Städtisch, verkehrsbelastet		

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
NO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	46	56	45	37	34	33	34	39	35	37	42	45	40
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	64	80	64	54	58	50	57	62	50	56	59	63	80
	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	43	40	29	20	19	15	12	18	24	34	47	73	31
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	96	89	54	32	47	24	21	31	45	65	91	130	130
NO _x	Mittelwerte	ppb	58	61	46	35	32	29	27	35	38	47	59	82	46
	max. 24h-Mittelwert	ppb	106	113	77	51	68	43	47	51	62	81	99	132	132
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	21	23	36	53	54	61	74	55	38	17	17	5	38
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	63	57	80	106	109	118	137	124	83	55	59	34	137
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	80	64	100	121	117	128	147	136	93	83	73	74	147
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	1	0	9	77	22	0	0	0	0	109
	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	0,49	0,55	0,46	0,37	0,35	0,33	0,33	0,39	0,37	0,45	0,47	0,60	0,43
	max. 24h-Mittelwert	mg/m ³	0,75	0,77	0,63	0,45	0,48	0,43	0,47	0,48	0,49	0,62	0,70	0,82	0,82
	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	22	36	28	17	16	17	20	18	15	24	20	24	22
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	55	65	55	24	29	26	35	29	29	33	35	32	65
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	1	7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
SN	Mittelwerte	mg/(m ² d)	50	56	82	89	104	92	70	72	76	64	62	45	72

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	2,5	0,8	7,2	10,8	14,9	19,3	23,4	20,9	14,0	10,0	8,0	3,4	11,3
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	536	538	397	177	61	0	0	0	47	285	310	514	2854
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	44	73	135*	207	219	272	277	208	154	88	65	49	150
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	78	74	65	58	63	61	53	65	69	78	76	87	69
Niederschlag	Summen	mm	38	12	33*	49	133	70	37	66	56	37	46	15	591
Druck	Mittelwerte	hPa	957	954	958	958	955	957	956	955	956	956	960	967	958

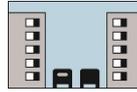
1) Heizgradtagzahl: Monatliche Summe der täglichen Differenzen zwischen Raumtemperatur (20 °C) und der Tagesmittel-Temperatur aller Heiztage (Heiztag: Tag mit Tagesmitteltemperatur <=12 °C)
 *) unvollständige Messreihe (siehe Anhang A5), aber mindestens 50 % der Messwerte vorhanden

Verkehr		Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Verkehrszähler	Fz/Tag	-	-	19'987	19'526	19'917	20'785	18'991	20'122	20'056	20'157	20'953	20'092	20'064

-) keine Messwerte vorhanden

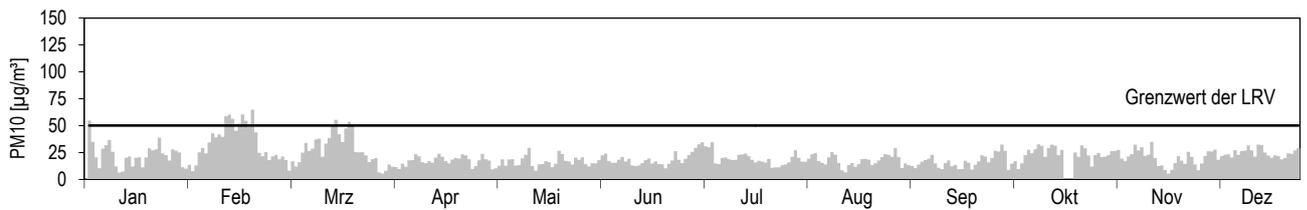
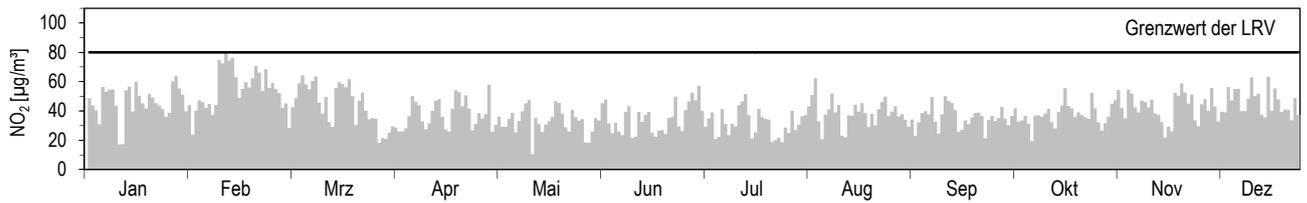
**Jahresübersicht
2015**

Bern-Bollwerk
Städtisch, verkehrsbelastet

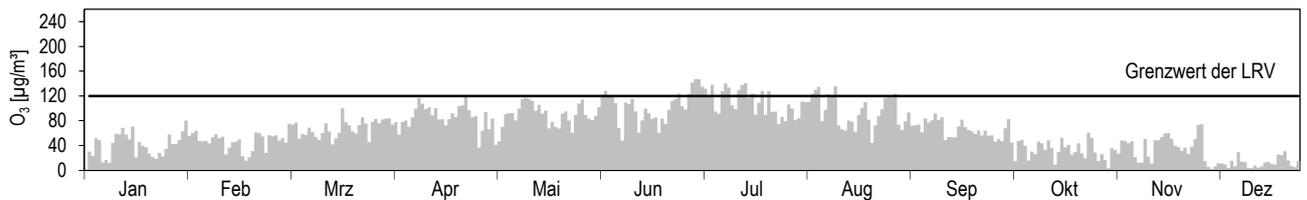


Koordinaten: 600'170 / 199'990
Höhe: 536 m

Tagesmittelwerte für NO₂ und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2015	Chaumont		Koordinaten: 565'090 / 211'040 Höhe: 1136 m
	Ländlich, oberhalb 1000 m		

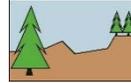
Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
NO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	4,9	7,9	10,1	5,6	3,9	4,5	4,3	4,3	4,9	8,6	4,1	3,9	5,6
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	16,0	26,7	18,6	10,5	8,2	8,6	6,3	7,1	10,6	15,8	9,8	6,2	26,7
	24h-Mittel > 80 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m ³	0,4	0,6	0,6	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,4	0,3	0,2	0,3
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	2,2	3,3	1,9	1,3	0,7	0,8	0,5	0,6	1,2	1,5	0,9	0,4	3,3
NO _x	Mittelwerte	ppb	2,9	4,6	5,8	3,2	2,2	2,6	2,4	2,4	2,8	4,8	2,3	2,2	3,2
	max. 24h-Mittelwert	ppb	10,1	16,6	10,8	6,3	4,6	5,1	3,5	4,0	6,5	9,0	5,6	3,5	16,6
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	69	76	80	95	91	99	112	105	79	58	71	70	84
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	90	101	112	129	130	149	164	160	107	93	94	90	164
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	93	112	126	137	140	165	177	187	119	101	99	96	187
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	1	67	46	131	293	223	0	0	0	0	761
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2
	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	2,7	5,8	13,4	7,2	7,9	8,9	12,0	9,4	6,0	8,1	5,1	5,6	7,7
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	6,5	18,6	42,4	14,7	17,3	16,8	23,9	21,4	21,4	17,0	27,0	15,5	42,4
	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	-0,5	-2,2	3,2	6,8	10,1	14,5	18,5	16,6	9,5	6,2	5,9	4,8	7,9
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	635	621	454	382	270	101	27	62	292	443	402	473	4147
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	42	88	141	206	212	272	287	204	145	88	71	57	151
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	83	80	70	63	74	73	61	72	79	87	74	76	74
Niederschlag	Summen	mm	111	55	80	75	139	101	47	100	74	52	104	18	957
Druck	Mittelwerte	hPa	887	884	889	891	889	892	891	890	889	888	892	898	890

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

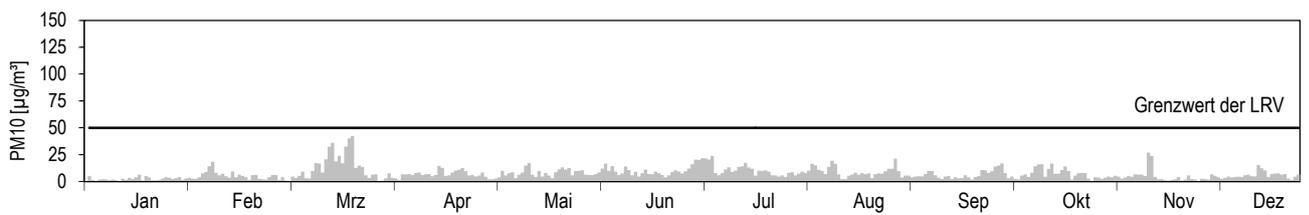
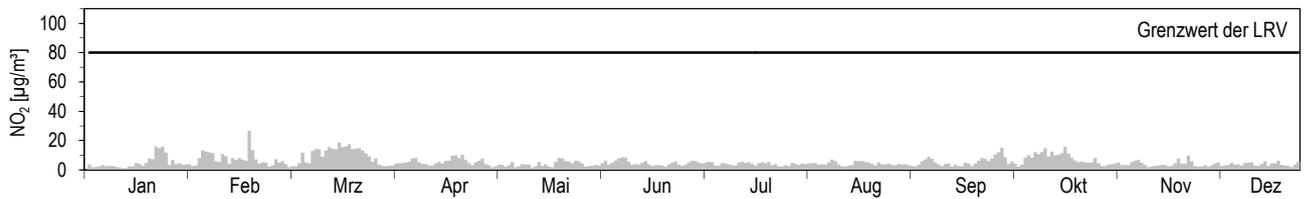
**Jahresübersicht
2015**

Chaumont
Ländlich, oberhalb 1000 m

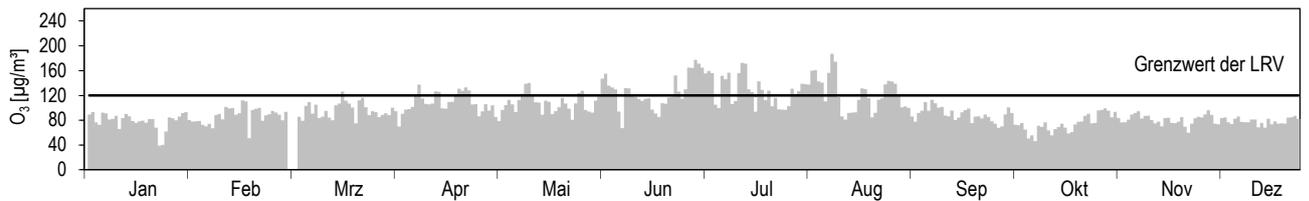


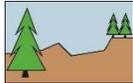
Koordinaten: 565'090 / 211'040
Höhe: 1136 m

Tagesmittelwerte für NO₂ und PM₁₀



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2015	Davos-Seehornwald		Koordinaten: 784'450 / 187'735 Höhe: 1637 m
	Ländlich, oberhalb 1000 m		

Luftschadstoffe ¹⁾		Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	
NO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	5,7	5,9	4,7	3,1	2,4	2,4	2,5	2,5	2,8	3,7	2,9	3,6	3,5
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	20,7	20,5	8,9	5,8	3,5	4,1	3,1	3,3	5,2	8,9	5,9	7,4	20,7
	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	0,50	0,44	0,21	0,14	0,11	0,10	0,07	0,11	0,15	0,24	0,16	0,23	0,20
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	1,79	2,84	0,85	0,55	0,24	0,39	0,20	0,18	0,34	0,88	0,30	0,64	2,84
NO _x	Mittelwerte	ppb	3,9	3,9	3,0	2,0	1,5	1,6	1,6	1,6	1,8	2,5	1,9	2,4	2,3
	max. 24h-Mittelwert	ppb	14,0	14,9	5,5	3,9	2,3	2,8	1,9	2,1	3,4	6,2	3,8	4,9	14,9
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	62	69	80	85	74	78	83	74	60	51	58	64	70
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	78	91	100	111	105	115	126	120	94	79	77	77	126
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	89	94	110	119	112	120	138	132	118	85	83	79	138
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	37	13	0	0	0	0	50
	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	1,1	2,6	3,6	2,3	2,3	2,4	2,7	2,3*	2,3*	1,2*	1,0	1,2	2,1
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	8,0	15,2	11,8	6,3	4,7	5,0	4,6	5,6*	5,7*	2,6*	4,4	3,7	15,2
	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 erfolgt für die Station Davos mit standortabhängigen Faktoren (Anhang A5)

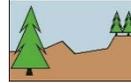
*) unvollständige Messreihe (siehe Anhang A5), aber mindestens 50 % der Messwerte vorhanden

Meteorologie		Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	
Temperatur	Mittelwerte	°C	-3,4	-4,6	0,0	3,0	7,2	11,4	15,6	14,1	7,1	4,6	3,2	2,3	5,0
	Heizgradtagzahl ²⁾	(°C*d)	727	690	620	510	379	176	77	83	369	493	505	549	5161
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	64	102	153	215	202	224	266	215	152	114	78	58	153
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	72	65	64	60	73	70	66	70	79	76	60	52	67
Niederschlag	Summen	mm	43	8	47	35	116	82	74	64	118	56	14	13	669
Druck	Mittelwerte	hPa	833	830	835	837	836	840	840	840	837	836	839	845	837

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

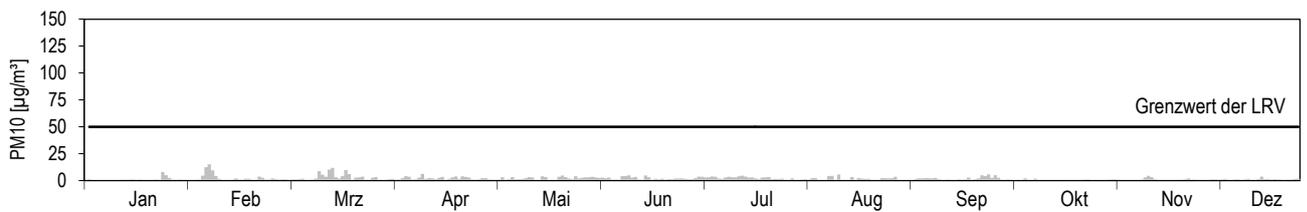
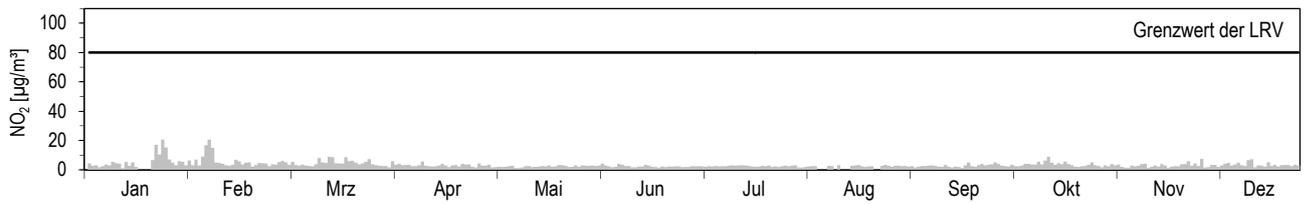
**Jahresübersicht
2015**

Davos-Seehornwald
Ländlich, oberhalb 1000 m



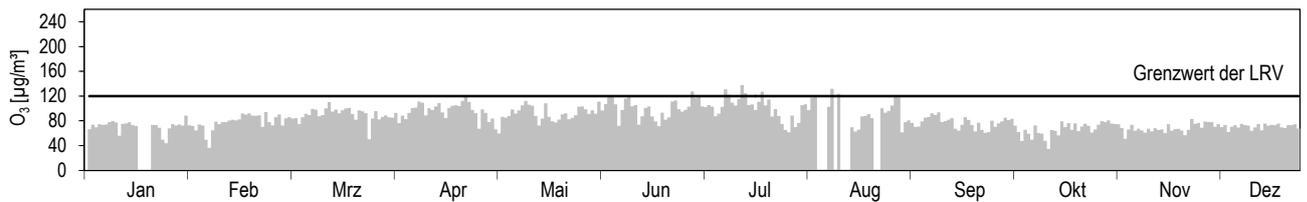
Koordinaten: 784'450 / 187'735
Höhe: 1637 m

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 2015	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	1,7	1,9	1,5	1,1	0,5	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,3	2,0	1,1
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	4,4	4,0	2,9	2,5	1,1	0,8	0,9	1,2	1,3	1,9	2,9	3,1	4,4
	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	35	44	33	24	17	16	17	20	21	28	31	42	27
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	69	79	57	53	34	35	34	28	40	39	51	57	79
	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	22,6	16,3	12,2	6,0	3,2	2,4	2,5	4,0	6,3	10,5	23,9	60,0	14,2
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	130,8	75,5	39,5	24,8	16,0	7,9	6,2	14,8	25,0	28,9	102,1	140,0	140,0
NO _x	Mittelwerte	ppb	36	36	27	18	12	10	11	14	16	23	35	70	26
	max. 24h-Mittelwert	ppb	141	102	60	48	27	25	21	26	37	43	109	142	142
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	29	27	41	61	63	71	85	71	48	23	25	8	46
	98 %-Wert der 1/2h-Mittel	µg/m ³	73	73	92	119	124	143	175	169	99	76	72	67	175
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	86	86	104	129	155	165	191	205	114	100	83	81	205
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	12	23	86	162	124	0	0	0	0	407
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	8	5	0	0	0	0	13
CO	Mittelwerte	mg/m ³	0,36	0,40	0,32	0,24	0,20	0,18	0,20	0,22	0,20	0,30	0,32	0,53	0,29
	max. 24h-Mittelwert	mg/m ³	0,84	0,73	0,53	0,38	0,27	0,25	0,28	0,29	0,30	0,50	0,66	0,79	0,84
	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	56	60	52	42	34	36	44	48	38	53	71	103	53
	max. 24h-Mittelwert	µgCH ₄ /m ³	180	122	106	87	68	67	75	80	77	114	167	156	180
CH ₄	Mittelwerte	mg/m ³	1,36	1,41	1,36	1,32	1,30	1,30	1,29	1,34	1,32	1,37	1,37	1,46	1,35
PM10	Mittelwerte	µg/m ³	17	27	22	12	11	12	15	14	9	18	16	20	16
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	77	49	43	19	21	19	28	25	24	31	34	32	77
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	2,2	-0,2	6,8	10,5	14,6	18,8	23,2	21,1	14,0	9,8	7,8	3,5	11,1
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	547	565	410	170	68	0	0	0	53	287	325	513	2927
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	36	65	125	194	187	242	249	195	135	77	55	39	133
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	83	81	69	61	71	68	57	68	72	81	80	91	73
Niederschlag	Summen	mm	80	26	58	115	145	111	29	45	32	35	58	8	741
Druck	Mittelwerte	hPa	968	966	969	970	967	969	967	966	967	967	971	979	969

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

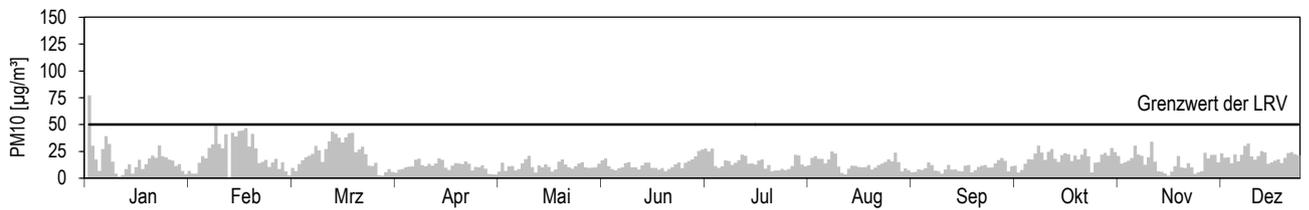
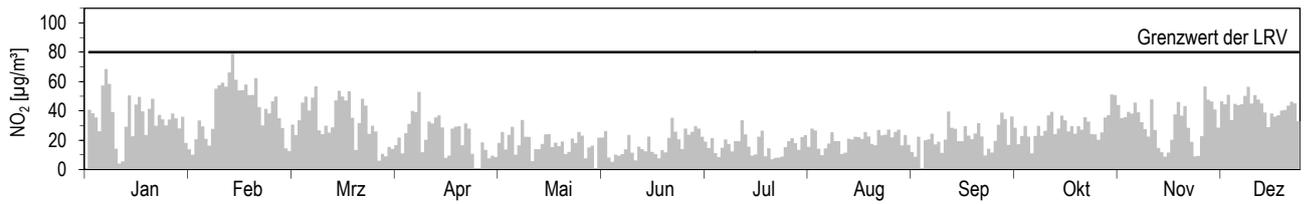
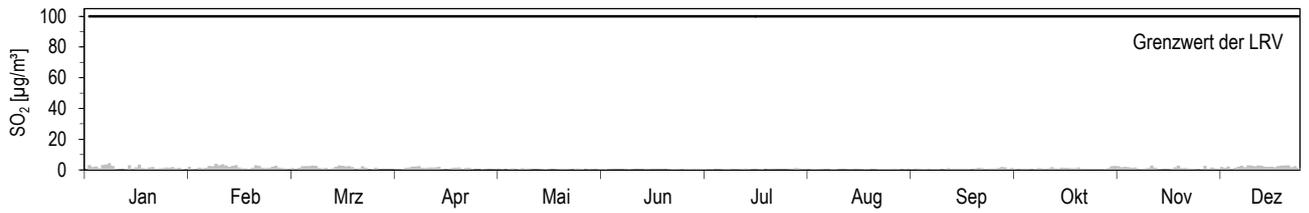
**Jahresübersicht
2015**

Dübendorf-Empa
Vorstädtisch

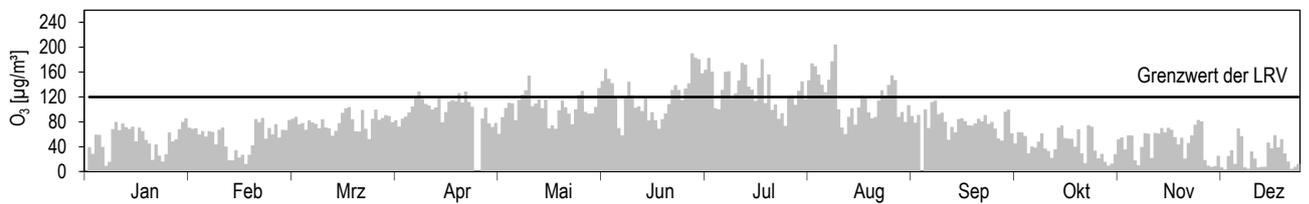


Koordinaten: 688'675 / 250'900
Höhe: 432 m

Tagesmittelwerte für SO₂, NO₂ und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2015	Härkingen-A1		Koordinaten: 628'875 / 240'185 Höhe: 431 m
	Ländlich, Autobahn		

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	1,0	1,2	0,9	0,7	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,7	0,8	1,0	0,7
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	1,8	2,7	1,7	1,7	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	1,4	1,7	1,7	2,7
	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	46	52	39	36	34	27	34	40	31	34	42	49	39
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	67	84	63	65	60	51	64	66	56	53	60	60	84
	24h-Mittel > 80 µg/m ³	Anz. Tage	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
NO	Mittelwerte	µg/m ³	52	42	34	26	25	17	17	24	27	31	51	67	34
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	108	104	74	60	49	47	28	48	77	77	110	104	110
NO _x	Mittelwerte	ppb	65	61	48	40	38	28	32	40	38	43	63	79	48
	max. 24h-Mittelwert	ppb	120	127	92	80	70	64	54	65	88	89	118	112	127
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	24	24	40	52	51	63	71	55	42	21	19	5	39
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	70	66	90	112	111	140	149	151	98	64	65	41	151
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	88	72	106	131	130	158	193	188	111	73	80	71	193
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	5	6	58	88	67	0	0	0	0	224
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	3	2	0	0	0	0	5
	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	0,46	0,34	0,27	0,22	0,20	0,22	0,25	0,23	0,30	0,33	0,44	0,31
	max. 24h-Mittelwert	mg/m ³	0,57	0,73	0,55	0,38	0,30	0,31	0,34	0,33	0,36	0,47	0,49	0,59	0,73
	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	30	23	13	12	13	16	15	11	20	16	20	17
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	57	54	49	25	23	22	30	29	29	30	36	35	57
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
SN	Mittelwerte	mg/(m ² d)	97	84	71	79	63	52	38	46	67	-	39	29	60

-) keine Messwerte vorhanden

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	1,8	-0,1	6,6	9,7	14,5	18,5	22,8	20,5	13,9	9,7	7,0	3,8	10,8
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	558	563	414	145	67	0	0	0	62	298	382	503	2982
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	39	70	129	196*	213	273	284	220	156	84	60	34	145
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	86	82	70	65	71	69	59	69	72	82	84	91	75
Niederschlag	Summen	mm	77	17	63	36	158	118	36	40	44	44	92	14	739
Druck	Mittelwerte	hPa	969	966	970	971	967	970	968	967	968	968	972	980	970

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

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

Verkehr		Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Verkehrszähler	Fz/Tag	Wegen Bautätigkeiten keine gültigen Verkehrszahlen						98'169	101'930	98'475	94'829	89'439	85'214	94'667

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

**Jahresübersicht
2015**

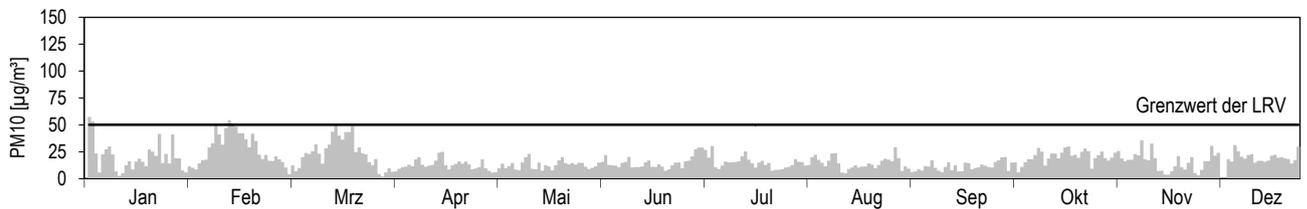
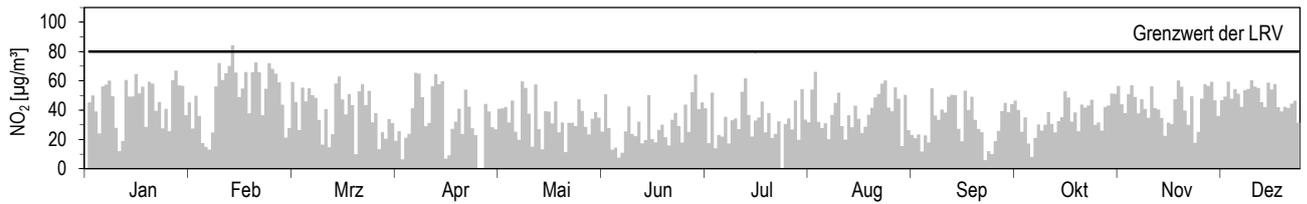
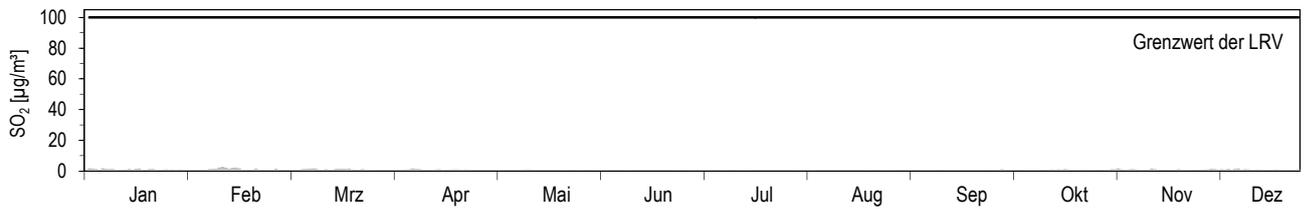
Härkingen-A1

Ländlich, Autobahn

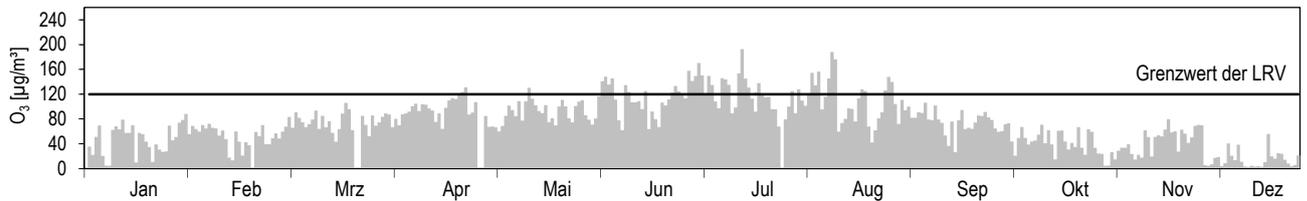


Koordinaten: 628'875 / 240'185
Höhe: 431m

Tagesmittelwerte für SO₂, NO₂ und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2015	Jungfrauojoch		Koordinaten: 641'910 / 155'280 Höhe: 3580 m
	Hochgebirge		

Luftschadstoffe ¹⁾			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	0,06	0,06	0,03	0,07	0,06	0,04	0,04	0,03	0,01	0,11	0,03	0,14	0,06
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	0,42	0,42	0,09	0,18	0,22	0,07	0,22	0,10	0,08	2,07	0,22	3,24	3,24
	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	0,54	0,50	0,26	0,27	0,15**	0,17	0,21	0,24	0,22**	0,22	0,15	0,06	0,26
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	4,57	1,87	0,87	1,10	0,27**	0,31	0,50	0,44	0,52**	1,07	1,24	0,32	4,57
	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	0,03	0,07	0,03	0,04	0,02**	0,03	0,02	0,03	0,02**	0,03	0,02	0,01	0,03
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	0,24	0,41	0,19	0,41	0,04**	0,07	0,06	0,09	0,11**	0,19	0,16	0,08	0,41
NO _x	Mittelwerte	ppb	0,43	0,45	0,23	0,24	0,13**	0,16	0,18	0,20	0,19**	0,20	0,13	0,06	0,23
	max. 24h-Mittelwert	ppb	3,63	1,83	0,86	1,27	0,23**	0,27	0,43	0,42	0,5**	0,99	1,10	0,32	3,63
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	63	66	73	79	80	84	88	85	74	68	64	68	74
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	75	87	89	99	109	107	109	117	92	87	80	78	117
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	80	138	98	106	124	119	129	124	108	102	109	98	138
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	1	0	0	1	0	9	8	0	0	0	0	19
	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	0,10	0,11	0,11	0,10	0,09	0,08	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,09	0,09
	max. 24h-Mittelwert	mg/m ³	0,13	0,15	0,16	0,12	0,10	0,10	0,12	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,16
	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	0,7	0,8	1,6	2,1	3,3	2,9	9,0	3,6	1,6	0,8	0,7	0,5	2,3
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	1,3	10,1	11,0	10,1	14,7	8,7	29,0	9,6	4,6	1,9	3,2	2,6	29,0
	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 Jungfrauojoch mit standortabhängigen Faktoren (Anhang A5)

**) 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	-13,4	-14,1	-10,6	-8,5	-4,2	-1,0	3,5	1,8	-3,8	-5,4	-7,0	-6,2	-5,7
	Heizgradtagzahl ²⁾	(°C*d)	1034	956	949	854	750	631	511	563	714	812	809	811	9368
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	70	122	172	256	292	276	269**	250	196	140	93	74	177
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	65	65	69	61	70	79	63	75	72	66	59	50	66
Druck	Mittelwerte	hPa	650	647	653	656	658	663	666	664	658	656	658	663	658

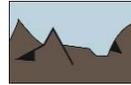
2) Heizgradtagzahl: Monatliche Summe der täglichen Differenzen zwischen Raumtemperatur (20 °C) und der Tagesmittel-Temperatur aller Heitztage (Heiztag: Tag mit Tagesmitteltemperatur <= 12 °C)

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

Die meteorologischen Daten wurden durch die MeteoSchweiz erhoben.

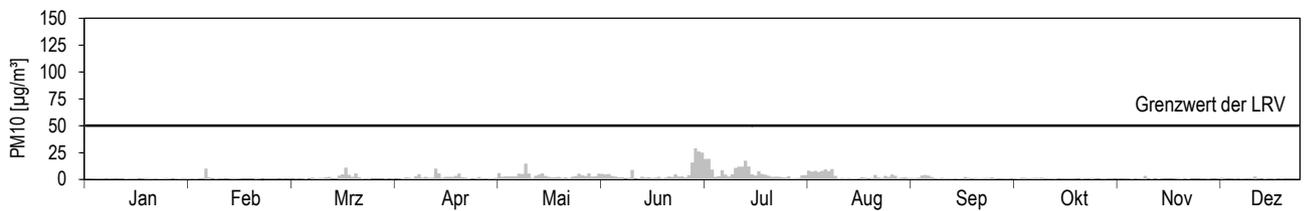
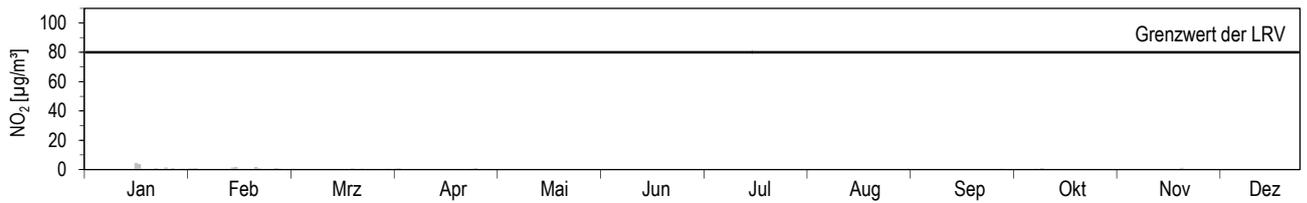
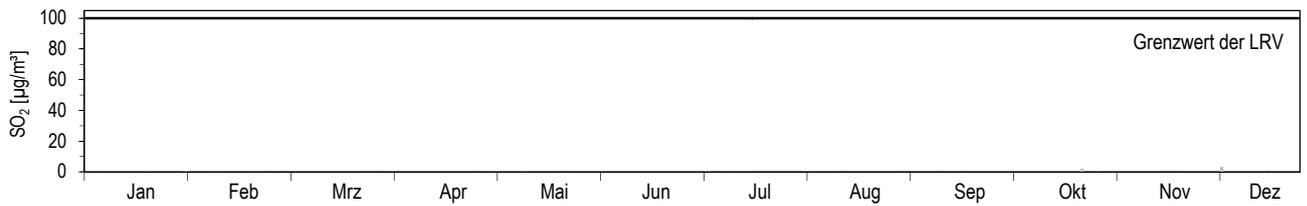
**Jahresübersicht
2015**

Jungfrauojoch
Hochgebirge



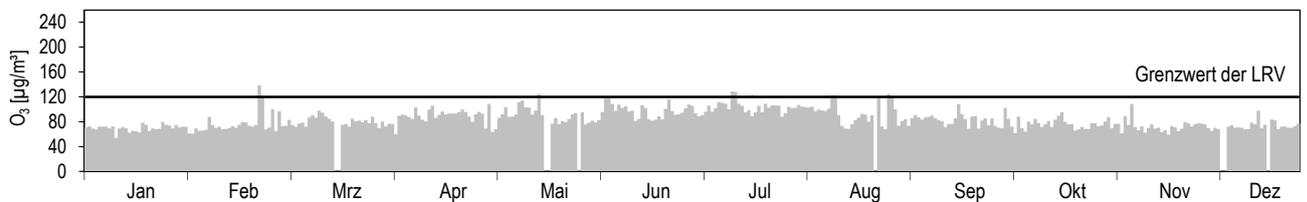
Koordinaten: 641'910 / 155'280
Höhe: 3580 m

Tagesmittelwerte für SO₂¹⁾, NO₂¹⁾ und PM10



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

Jahresübersicht 2015	Lägeren		Koordinaten: 669'780 / 259'020 Höhe: 689 m
	Ländlich, unterhalb 1000 m		

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
NO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	14,0	21,3	12,6	8,4	6,4	5,2	5,0	5,8	6,8	11,4	12,9	15,8	10,4
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	28,1	45,4	21,8	17,3	11,1	11,1	7,5	10,5	11,1	21,8	28,2	30,0	45,4
	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	1,3	2,2	1,0	0,6	0,5	0,7	0,5	0,6	0,7	1,2	1,7	1,9	1,1
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	6,2	9,2	2,5	1,6	1,0	1,3	1,5	1,5	1,9	5,3	8,6	11,1	11,1
NO _x	Mittelwerte	ppb	8,3	12,9	7,4	4,9	3,8	3,2	3,1	3,5	4,1	6,9	8,1	9,8	6,3
	max. 24h-Mittelwert	ppb	17,2	29,1	13,0	10,3	6,6	6,9	4,9	6,7	7,3	14,1	20,6	24,6	29,1
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	47	49	66	87	83	93	109	101	70	40	28	20	66
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	74	80	100	128	130	142	173	171	107	88	59	37	173
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	86	88	107	138	153	161	190	183	121	102	74	43	190
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	26	36	128	250	210	1	0	0	0	651
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	3	4	0	0	0	0	7
	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	0,6	-1,1	5,6	9,3	12,5	16,8	21,2	19,6	12,2	8,0	6,5	4,7	9,7
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	601	592	447	248	138	27	0	0	153	364	385	473	3416
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	39	73	135	211	203	259	288	222	160	83	62	50	149
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	86	82	68	59	72	69	57	67	73	85	82	83	74
Niederschlag	Summen	mm	48	17	43	84	130	88	27	71	38	37	36	10	628
Druck	Mittelwerte	hPa	937	934	938	939	937	939	938	937	938	937	941	947	939

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

**Jahresübersicht
2015**

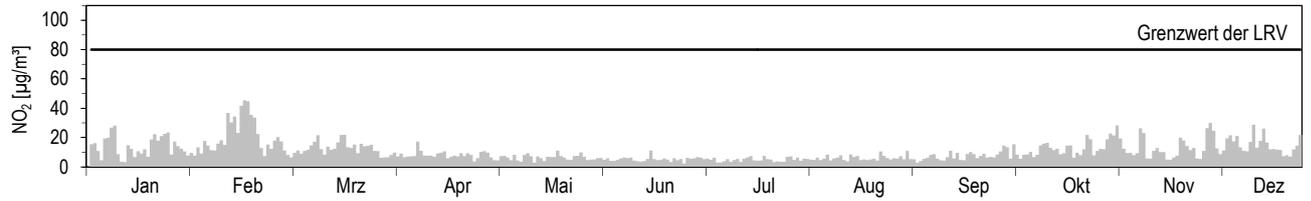
Lägeren

Ländlich, unterhalb 1000 m

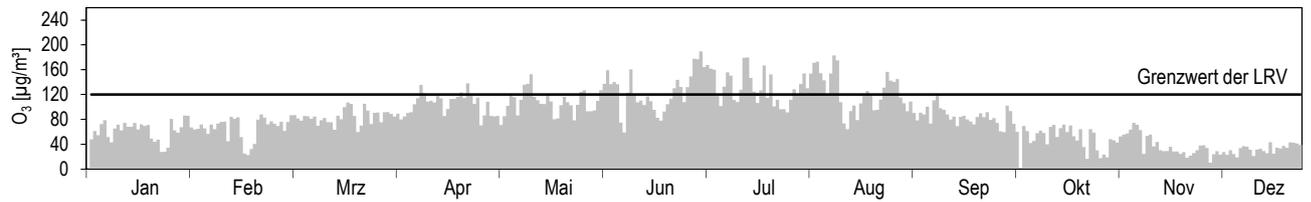


Koordinaten: 669'780 / 259'020
Höhe: 689 m

Tagesmittelwerte für NO₂



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2015	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	46	46	48	41	33	37	40	39	33	37	48	54	42
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	64	78	78	65	58	60	75	66	60	52	66	70	78
	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	26	23	22	16	13	13	11	11	13	20	34	44	20
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	59	65	51	28	32	21	17	20	25	56	72	76	76
NO _x	Mittelwerte	ppb	45	42	43	34	27	30	30	29	28	35	52	63	38
	max. 24h-Mittelwert	ppb	81	91	78	56	50	45	50	46	47	72	91	93	93
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	27	34	39	58	63	69	83	63	50	25	19	10	45
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	68	69	76	102	104	111	129	117	85	64	57	39	129
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	79	82	92	108	108	121	143	143	96	81	69	58	143
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	1	35	10	0	0	0	0	46
	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	0,43	0,44	0,43	0,36	0,32	0,32	0,33	0,33	0,30	0,37	0,44	0,49	0,38
	max. 24h-Mittelwert	mg/m ³	0,63	0,73	0,69	0,50	0,45	0,42	0,49	0,43	0,43	0,56	0,67	0,65	0,73
	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	17	27	26	14	13	13	18	14	12	19	19	24	18
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	36	61	54	23	24	20	34	24	58	33	34	39	61
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	0	3	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	7
SN	Mittelwerte	mg/(m ² d)	55	68	103	62	86	72	52	75	85	71	72	57	72

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	4,0	2,4	8,2	12,0	15,7	20,2	24,4	21,2	15,1	10,7	8,4	5,9	12,4
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	497	493	357	145	31	0	0	0	27	221	281	436	2481
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	42	82	133	202	219	273	284	202	150	91	64	47	149
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	74	70	61	54	58	59	49	64	65	76	77	83	66
Niederschlag	Summen	mm	71	42	39	72	141	33	24	72	110	46	48	15	713
Druck	Mittelwerte	hPa	958	954	958	958	956	958	956	956	956	956	961	968	958

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	29'281	30'340	32'002	30'108	30'528	32'158	28'757	27'437	30'989	31'447	31'975	26'031	30'072

**Jahresübersicht
2015**

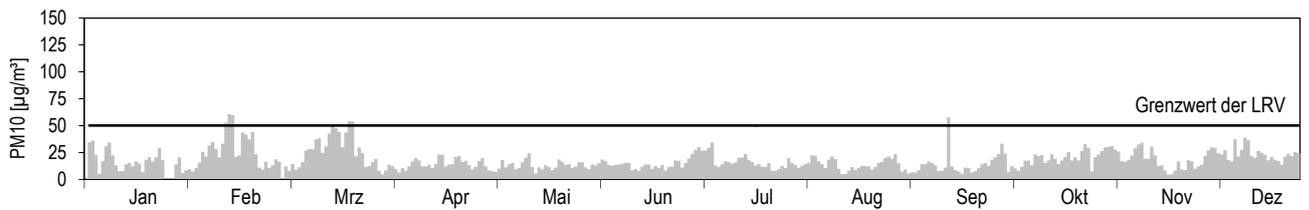
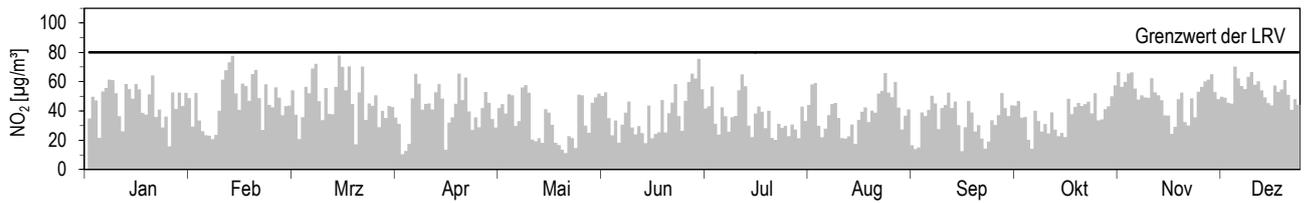
Lausanne-César-Roux

Städtisch, verkehrsbelastet

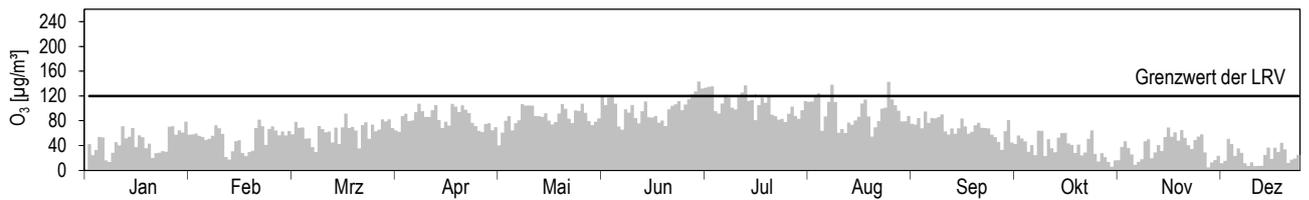


Koordinaten: 538'695 / 152'615
Höhe: 530 m

Tagesmittelwerte für NO₂ und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2015	Lugano-Universität		Koordinaten: 717'615 / 096'645 Höhe: 280 m
	Städtisch		

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	5,0	4,3	3,0	1,8	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	1,7	3,6	5,0	2,3
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	8,2	6,2	4,8	3,8	1,6	1,0	1,1	1,9	1,0	2,9	6,3	6,9	8,2
	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	46	47	37	26	18	16	16	16	23	29	44	50	30
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	68	66	52	47	31	23	22	28	44	39	58	72	72
	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	25,1	16,7	5,2	3,1	1,5	1,0	0,7	1,2	3,5	8,0	25,0	35,3	10,5
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	62,1	36,2	12,6	8,5	4,3	4,2	2,4	3,1	10,5	16,1	56,5	72,4	72,4
NO _x	Mittelwerte	ppb	44	38	23	16	11	9	9	9	15	21	43	54	24
	max. 24h-Mittelwert	ppb	84	63	37	32	18	15	12	17	31	31	73	95	95
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	22	26	49	74	77	97	121	88	53	26	17	10	55
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	82	85	95	130	156	191	219	190	108	70	69	41	219
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	86	91	105	149	189	248	272	208	129	82	78	69	272
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	47	71	179	336	159	2	0	0	0	794
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	3	33	93	22	0	0	0	0	151
	1h-Mittel > 240 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	5	
CO	Mittelwerte	mg/m ³	0,48	0,47	0,38	0,27	0,24	0,23	0,23	0,24	0,24	0,33	0,46	0,53	0,34
	max. 24h-Mittelwert	mg/m ³	0,82	0,79	0,55	0,37	0,32	0,31	0,31	0,33	0,36	0,46	0,74	0,95	0,95
	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	96	91	73	70	66	59	66	61	65	84	118	122	81
	max. 24h-Mittelwert	µgCH ₄ /m ³	191	150	108	109	110	105	86	81	98	129	196	203	203
CH ₄	Mittelwerte	mg/m ³	1,34	1,35	1,33	1,30	1,30	1,29	1,30	1,29	1,29	1,34	1,36	1,36	1,32
PM10	Mittelwerte	µg/m ³	18	23	26	14	13	14	20	14	11	15	21	27	18
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	42	92	68	41	27	23	35	23	20	33	43	72	92
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	8

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	5,1	4,9	9,4	13,3	17,0	21,2	25,8	22,4	17,4	12,8	9,5	6,2	13,8
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	462	422	302	76	8	0	0	0	0	117	261	429	2078
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	64	87	141	223	227	277	283	219	147	111	89	62	161
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	66	70	63	57	71	69	62	71	71	82	71	75	69
Niederschlag	Summen	mm	131	117	30	114	213	85	61	113	192	177	0	1	1232
Druck	Mittelwerte	hPa	982	979	983	983	980	982	980	981	981	982	985	995	983

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.

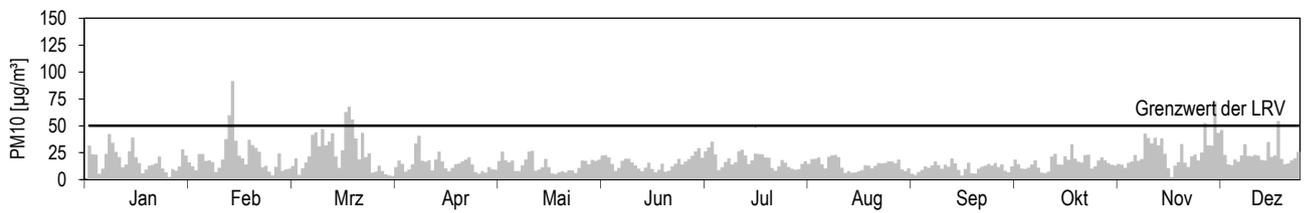
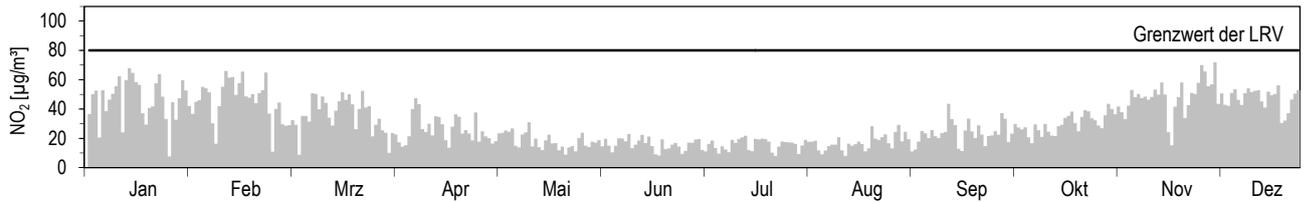
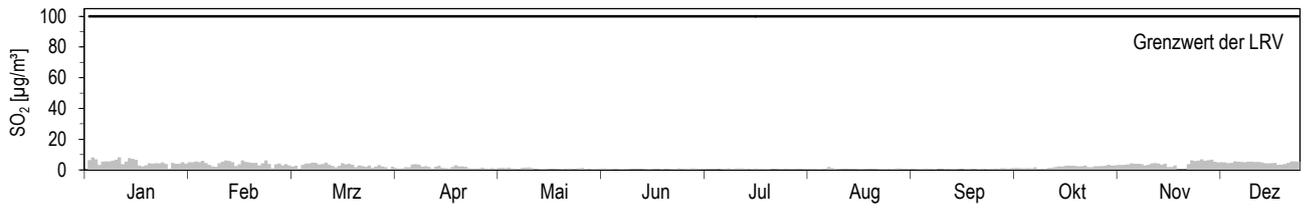
**Jahresübersicht
2015**

Lugano-Universität
Städtisch

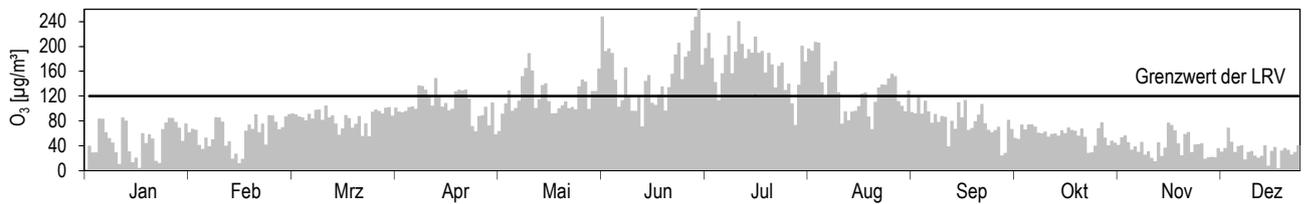


Koordinaten: 717'615 / 096'645
Höhe: 280 m

Tagesmittelwerte für SO₂, NO₂ und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



**Jahresübersicht
2015**

Magadino-Cadenazzo

Ländlich, unterhalb 1000 m



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

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	2,3	2,3	1,9	2,8	1,0	0,6	0,7	0,9	0,9	1,1	1,5	2,6	1,6
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	4,8	7,3	3,1	8,4	2,7	1,5	1,2	2,6	1,8	2,4	3,8	3,8	8,4
	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	34	32	23	14	9	9	11	10	11	18	31	41	20
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	57	53	35	30	14	16	16	14	17	28	51	52	57
	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	27,8	14,1	3,2	1,6	0,8	0,8	0,7	1,1	1,5	6,5	35,3	68,8	13,6
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	85,2	40,0	8,6	8,1	2,8	1,6	1,7	3,0	3,6	21,9	84,2	124,0	124,0
NO _x	Mittelwerte	ppb	40,1	27,9	14,3	8,8	5,5	5,2	6,1	6,1	7,0	14,8	44,4	76,5	21,4
	max. 24h-Mittelwert	ppb	93,4	57,5	24,3	22,3	8,5	8,9	9,3	8,1	10,9	30,8	94,4	122,8	122,8
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	24	32	48	78	72	79	95	70	50	23	15	5	49
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	84	90	102	136	154	172	186	174	98	70	68	41	186
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	89	95	113	145	175	188	207	200	118	84	79	65	207
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	63	66	123	234	100	0	0	0	0	586
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	4	23	10	0	0	0	0	37
	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	23	22	25	14	12	14	20	14	10	14	25	36	19
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	61	84	64	41	30	21	38	26	19	31	45	54	84
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	7
SN	Mittelwerte	mg/(m ² d)	28	33	48	53	99	-	71	83	84	34	13	10	51

-) keine Messwerte vorhanden

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	2,7	3,5	8,7	13,4	16,8	20,7	24,9	21,5	16,6	11,5	6,5	1,5	12,4
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	538	461	330	84	9	0	0	0	0	178	405	573	2576
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	57	87	137	213	215	276	280	211	138	109	82	53	155
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	73	71	66	54	70	70	66	76	75	84	77	84	72
Niederschlag	Summen	mm	172	118	36	98	191	110	83	133	267	174	0	0	1383
Druck	Mittelwerte	hPa	994	991	995	994	991	993	991	992	992	993	997	1007	994

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
2015**

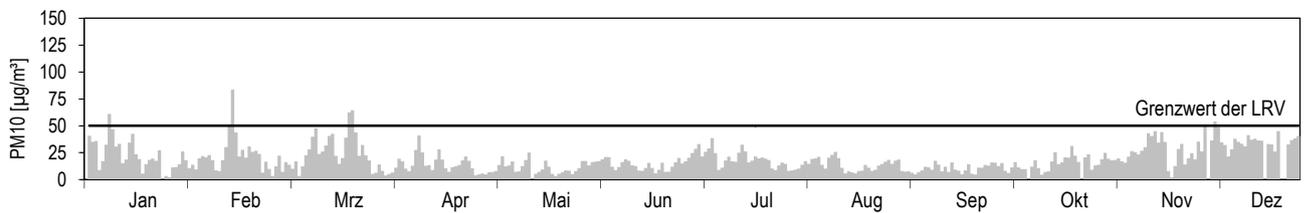
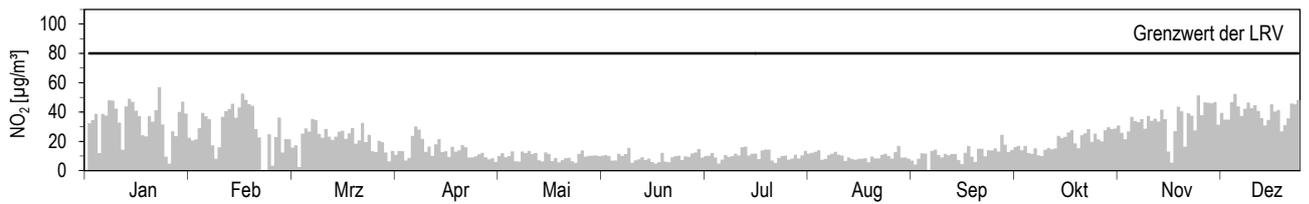
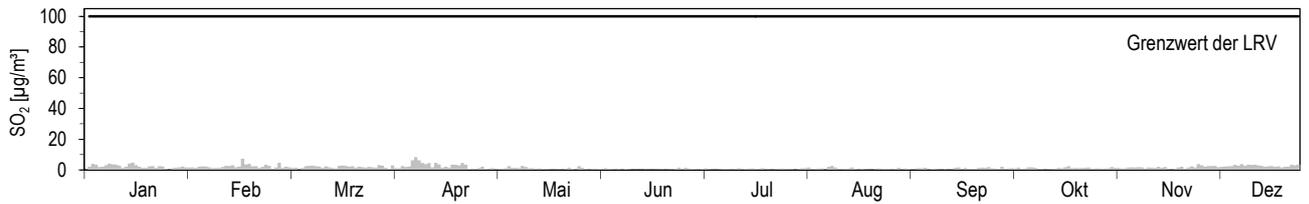
Magadino-Cadenazzo

Ländlich, unterhalb 1000 m

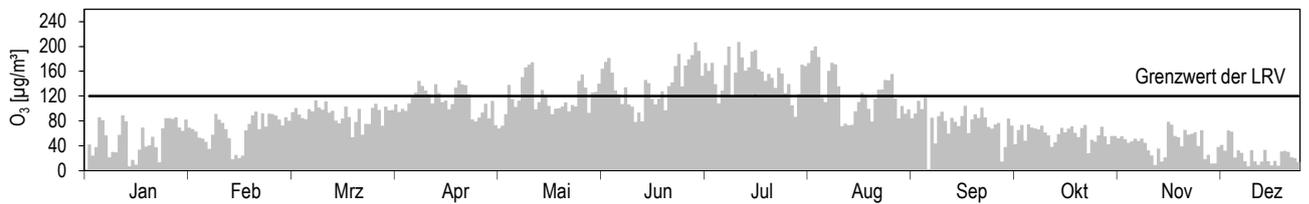


Koordinaten: 715'500 / 113'200
Höhe: 203 m

Tagesmittelwerte für SO₂, NO₂ und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2015	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	0,51	0,66	0,48	0,43	0,25	0,24	0,42	0,28	0,21	0,31	0,20	0,31	0,36
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	1,23	1,91	0,99	1,05	0,66	1,72	1,01	0,74	0,68	0,66	0,51	0,75	1,91
	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	18,6	22,9	17,9	11,5	7,2	7,8	8,7	9,0	10,3	16,0	15,4	22,6	13,9
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	37,4	42,7	29,5	20,5	11,9	10,9	13,9	12,3	18,5	21,5	25,1	35,3	42,7
	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	3,1	2,5	2,1	1,4	0,6	0,6	0,4	0,6	1,4	2,4	3,5	7,0	2,1
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	16,2	12,7	7,1	3,7	2,2	1,2	1,7	2,1	4,5	5,3	18,9	27,9	27,9
NO _x	Mittelwerte	ppb	12,2	13,9	11,0	7,2	4,3	4,5	4,9	5,2	6,5	10,3	10,8	17,5	9,0
	max. 24h-Mittelwert	ppb	31,8	32,6	19,6	13,7	7,5	6,5	7,8	7,9	12,2	15,3	26,7	35,7	35,7
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	40	43	52	69	72	77	92	76	55	30	32	13	54
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	79	88	94	124	126	136	158	149	103	74	71	64	158
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	94	95	108	136	138	155	175	162	116	98	79	77	175
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	18	29	73	164	105	0	0	0	0	389
	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	0,26	0,31	0,27	0,20	0,17	0,15	0,16	0,16	0,17	0,24	0,22	0,31	0,22
	max. 24h-Mittelwert	mg/m ³	0,43	0,46	0,57	0,24	0,19	0,18	0,25	0,20	0,21	0,34	0,35	0,44	0,57
	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	13	21	21	10	9	10	14	11	8	16	12	14	13
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	37	43	47	18	19	17	29	21	21	28	26	24	47
	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)	8	10	29	37	64	45	32	45	30	11	15	6	28

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	1,7	0,1	6,3	9,8	14,2	18,5	22,5	19,8	13,2	9,0	7,2	2,8	10,5
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	558	557	424	233	52	0	0	0	85	318	347	534	3099
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	47	75	141	211	233	283	292	214	167	91	65	39	155
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	84	82	72	66	70	69	58	72	76	85	82	95	76
Niederschlag	Summen	mm	64	32	49	56	109	72	25	79	64	42	40	11	643
Druck	Mittelwerte	hPa	962	958	962	963	960	962	960	960	960	960	965	972	962

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.

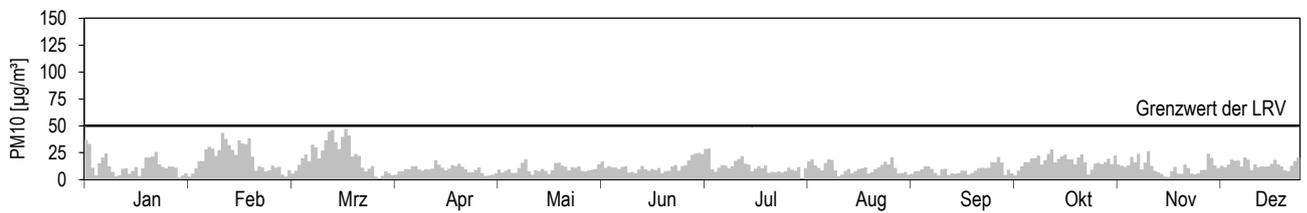
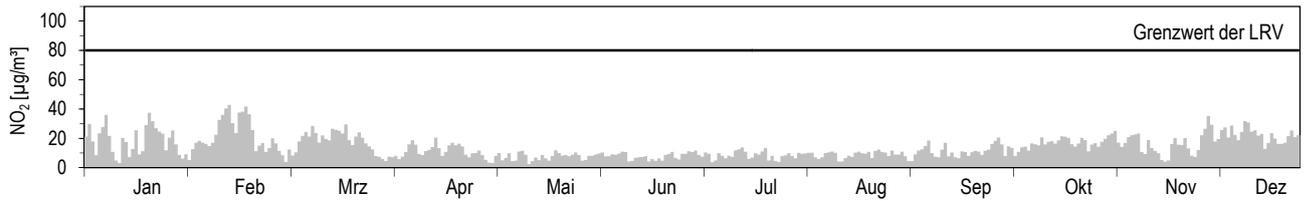
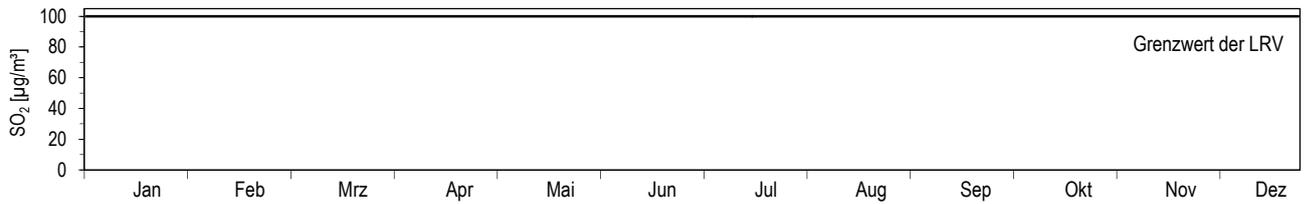
**Jahresübersicht
2015**

Payerne
Ländlich, unterhalb 1000 m

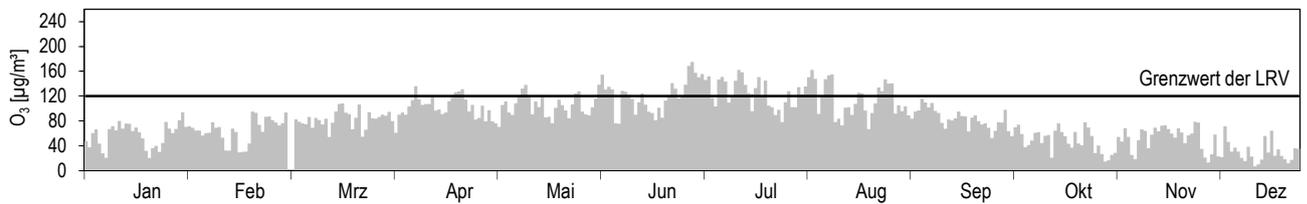


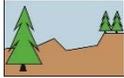
Koordinaten: 562'285 / 184'775
Höhe: 489 m

Tagesmittelwerte für SO₂, NO₂ und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2015	Rigi-Seebodenalp		Koordinaten: 677'835 / 213'440 Höhe: 1031 m
	Ländlich, oberhalb 1000 m		

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	0,26	0,39	0,37	0,41	0,34	0,35	0,48	0,37	0,32	0,33	0,35	0,28	0,35
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	0,67	1,08	1,08	0,87	1,04	0,65	0,74	0,72	0,71	0,91	0,80	0,54	1,08
	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	7,0	10,8	10,7	5,9	4,6	5,4	4,8	4,7	5,7	10,1	4,7	2,5	6,4
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	31,1	43,4	21,3	11,1	10,0	9,6	6,6	6,5	11,3	22,1	12,8	4,5	43,4
	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	0,41	0,59	0,65	0,37	0,21	0,23	0,17	0,19	0,39	0,56	0,19	0,11	0,34
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	2,75	4,54	1,48	1,13	0,63	0,90	0,48	0,51	1,06	1,34	1,07	0,44	4,54
NO _x	Mittelwerte	ppb	4,0	6,1	6,1	3,4	2,6	3,0	2,6	2,6	3,3	5,7	2,6	1,4	3,6
	max. 24h-Mittelwert	ppb	17,4	26,3	12,3	6,6	5,7	5,8	3,8	3,8	6,5	12,6	7,6	2,4	26,3
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	66	75	79	93	91	98	112	103	73	51	67	73	82
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	89	108	109	127	132	149	174	157	107	92	89	87	174
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	97	117	111	142	157	190	215	175	135	99	99	95	215
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	61	50	166	303	200	3	0	0	0	783
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	1	9	0	0	0	0	0	10
	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	0,19	0,22	0,22	0,18	0,15	0,15	0,15	0,16	0,15	0,19	0,14	0,14	0,17
	max. 24h-Mittelwert	mg/m ³	0,33	0,44	0,27	0,21	0,18	0,18	0,2	0,19	0,18	0,27	0,21	0,17	0,44
	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	2,3	6,9	12,6	7,1	7,4	8,0	12,5	9,1	6,6	8,5	5,1	4,6	7,6
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	7,1	22,8	37,7	13,4	18,3	17,0	26,6	18,8	15,4	27,4	22,3	16,6	37,7
	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)	21	18	26	55	29	53	50	34	-	27	6	1	29

-) keine Messwerte vorhanden

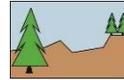
Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	0,3	-1,8	3,7	7,4	11,0	15,2	19,4	17,7	10,5	6,9	6,9	6,1	8,7
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	611	612	504	350	225	64	16	18	247	397	359	431	3821
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	37	74	124	198	189	236	255	204	120	73	58	46	135
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	77	75	72	64	74	74	65	72	79	85	68	63	72
Niederschlag	Summen	mm	65	30	49	114	247	132	81	145	68	81	61	24	1097
Druck	Mittelwerte	hPa	899	896	901	903	901	904	903	902	901	900	904	910	902

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

**Jahresübersicht
2015**

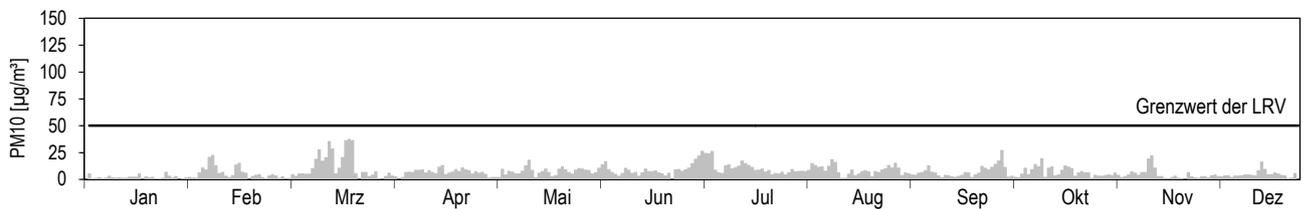
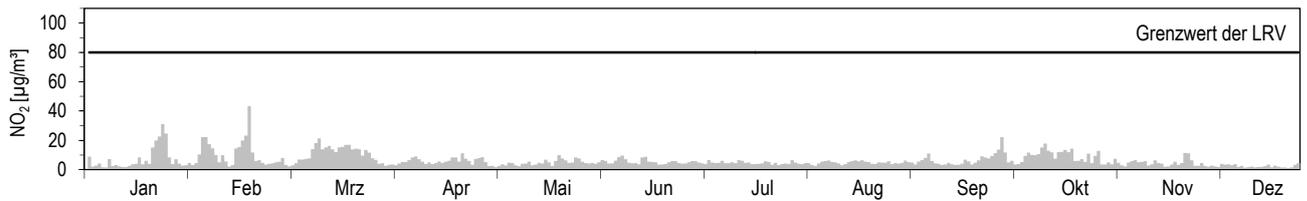
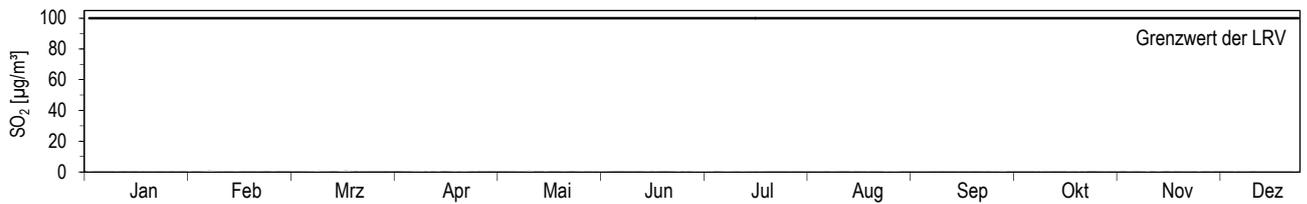
Rigi-Seebodenalp

Ländlich, oberhalb 1000 m

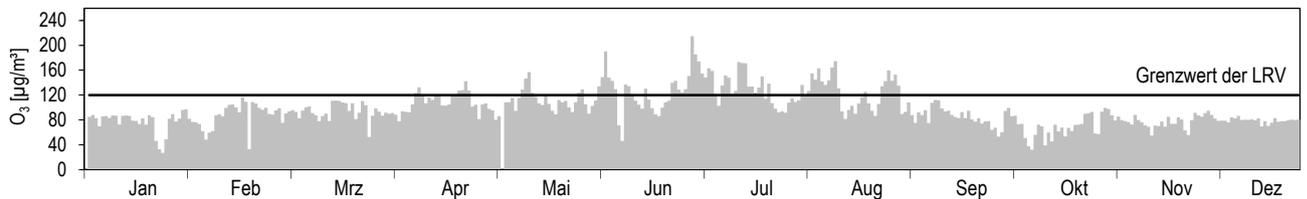


Koordinaten: 677'835 / 213'440
Höhe: 1031 m

Tagesmittelwerte für NO₂ und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2015	Sion-Aéroport-A9		Koordinaten: 592'540 / 118'755 Höhe: 483 m
	Ländlich, Autobahn		

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
NO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	54	55	35	26	19	15	17	18	23	31	52	64	34
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	77	82	52	44	32	24	32	30	38	54	68	80	82
	24h-Mittel > 80 µg/m ³	Anz. Tage	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
NO	Mittelwerte	µg/m ³	41,2	28,4	12,6	10,2	6,4	4,1	3,3	5,4	13,5	21,7	50,5	75,3	22,7
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	91,2	63,1	27,8	20,0	24,7	8,2	6,1	13,1	31,1	58,1	93,7	122,1	122,1
NO _x	Mittelwerte	ppb	61	52	28	22	15	11	12	14	23	33	68	94	36
	max. 24h-Mittelwert	ppb	111	93	50	37	35	18	21	25	45	75	108	137	137
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	17	26	48	61	64	74	84	62	46	22	13	4	43
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	63	73	102	118	114	131	153	130	96	64	62	31	153
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	76	77	116	130	140	148	183	149	101	87	77	43	183
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	8	5	37	129	53	0	0	0	0	232
	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
PM10	Mittelwerte	µg/m ³	23	28	18	14	13	14	20	15	13	15	22	31	19
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	45	47	38	31	28	21	39	28	39	28	36	49	49
	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	1,4	1,3	7,9	12,2	15,6	20,6	24,0	20,9	14,9	10,5	5,9	2,2	11,5
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	577	525	374	118	47	0	0	0	36	229	422	553	2872
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	53	103	157	232	252	295	296	225	181	119	72	50	170
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	78	72	60	55	62	58	53	66	67	75	76	79	67
Niederschlag	Summen	mm	56	10	63	12	123	35	35	78	13	29	42	4	500
Druck	Mittelwerte	hPa	963	959	963	963	960	962	961	961	961	961	967	974	963

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	36'054	40'004	39'205	38'675	37'484	-	-	-	-	-	-	-	38'285**

-) keine Messwerte vorhanden

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

**Jahresübersicht
2015**

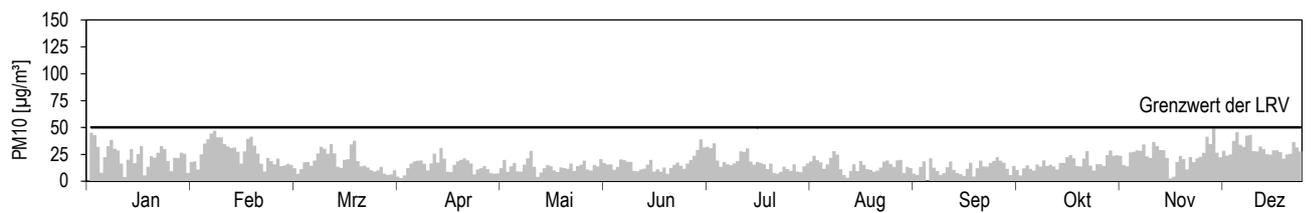
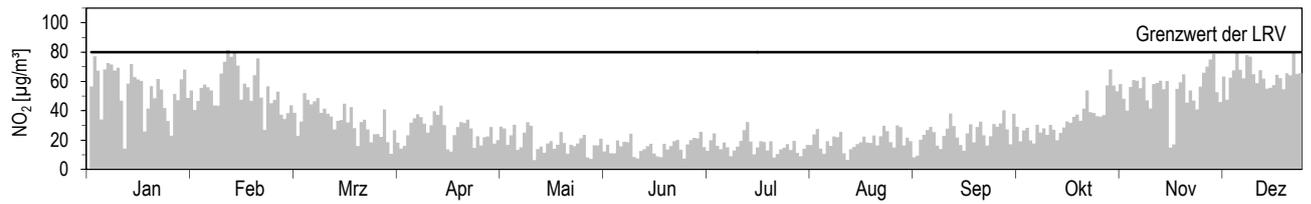
Sion-Aéroport-A9

Ländlich, Autobahn

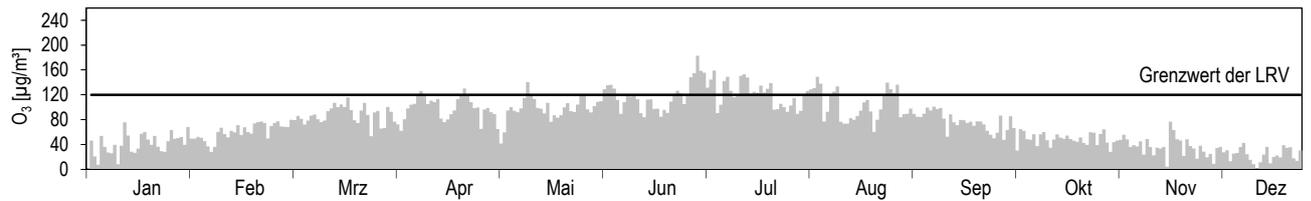


Koordinaten: 592'540 / 118'755
Höhe: 483 m

Tagesmittelwerte für NO₂ und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



**Jahresübersicht
2015**

Tänikon

Ländlich, unterhalb 1000 m



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

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
NO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	17,4	26,9	14,6	10,2	6,3	6,9	6,8	8,4	10,4	15,0	13,7	19,8	12,9
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	37,6	55,7	24,3	17,3	11,9	9,9	11,2	12,6	16,2	22,4	26,4	39,3	55,7
	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	6,4	2,8	1,6	0,8	0,8	0,6	1,1	2,0	3,3	4,3	15,1	3,5
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	17,8	35,9	8,7	4,8	2,7	1,9	1,5	4,1	5,2	8,8	21,2	86,3	86,3
NO _x	Mittelwerte	ppb	12,0	19,2	9,9	6,6	3,9	4,3	4,0	5,2	7,1	10,5	10,6	22,4	9,6
	max. 24h-Mittelwert	ppb	31,0	58,0	19,2	12,9	8,4	6,7	6,6	9,8	11,1	18,6	29,2	84,6	84,6
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	44	41	51	70	72	76	90	81	52	30	37	21	56
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	80	81	96	122	129	139	166	163	104	81	78	74	166
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	91	96	103	133	138	153	179	181	116	101	84	82	181
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	18	25	77	161	126	0	0	0	0	407
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	0	1	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
PM10	Mittelwerte	µg/m ³	12	23	20	10	9	10	13	12	9	16	11	14	13
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	40	43	42	15	19	15	26	24	15	29	31	27	43
	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	1,9	-1,5	5,2	9,0	13,6	17,3	21,3	19,7	12,4	8,9	7,1	3,0	9,9
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	537	601	458	275	91	0	0	0	144	330	355	528	3307
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	43	77	140	217	210	260	279	225	143	79	66	47	149
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	82	84	75	67	74	74	64	72	77	85	81	89	77
Niederschlag	Summen	mm	93	36	90	121	168	151	38	50	38	40	86	16	927
Druck	Mittelwerte	hPa	955	953	956	957	954	957	955	954	955	955	958	965	956

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
2015**

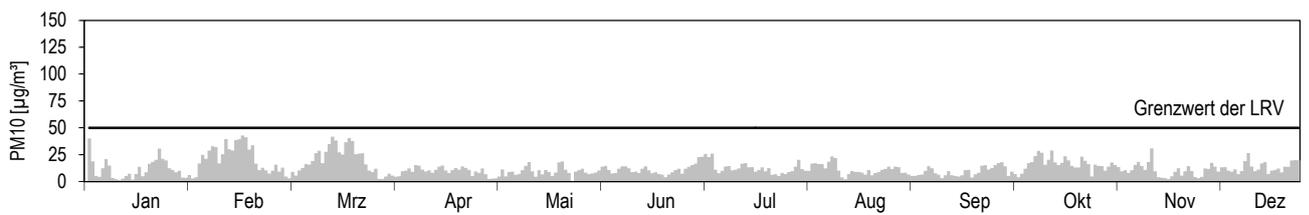
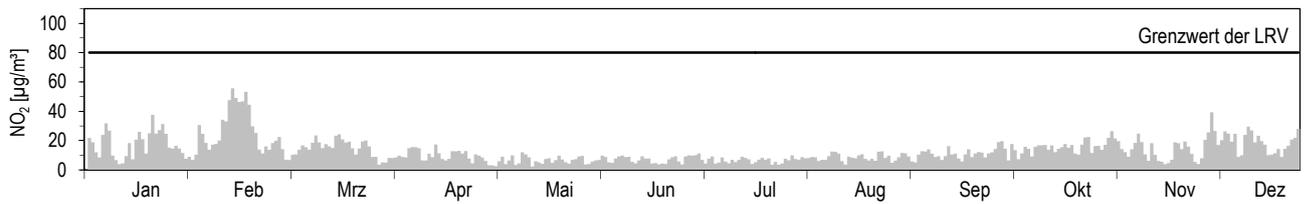
Tänikon

Ländlich, unterhalb 1000 m

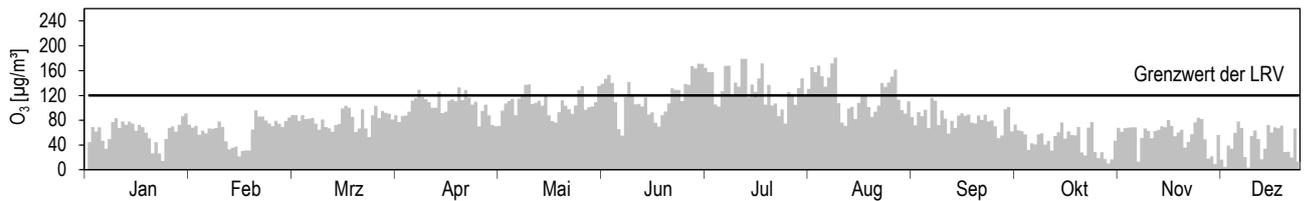


Koordinaten: 710'500 / 259'810
Höhe: 538 m

Tagesmittelwerte für NO₂ und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2015	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	2,4	2,7	2,2	1,5	1,0	0,7	0,8	0,8	0,9	1,5	1,8	2,6	1,5
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	5,4	5,1	4,5	3,4	1,6	1,2	2,1	2,5	1,9	2,8	4,2	5,2	5,4
	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	35	48	38	27	22	21	21	25	24	33	35	44	31
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	69	84	66	51	38	36	40	43	43	46	65	60	84
	24h-Mittel > 80 µg/m ³	Anz. Tage	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
NO	Mittelwerte	µg/m ³	16,2	15,6	9,4	4,6	3,3	2,6	2,2	3,1	5,2	9,2	19,5	47,6	11,5
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	107,9	73,9	25,0	18,5	18,6	6,8	4,1	10,5	19,7	24,1	87,1	125,5	125,5
NO _x	Mittelwerte	ppb	31	38	27	18	14	13	13	15	17	25	34	61	25
	max. 24h-Mittelwert	ppb	122	103	50	41	30	24	24	31	38	38	100	131	131
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	30	28	42	64	66	74	88	74	49	23	25	8	48
	98 %-Wert der 1/2h-Mittel	µg/m ³	72	68	89	115	123	142	174	157	95	74	69	56	174
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	82	79	103	128	162	173	186	199	112	96	79	79	199
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	6	22	64	150	99	0	0	0	0	341
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	5	4	0	0	0	0	9
	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	0,32	0,39	0,32	0,25	0,23	0,20	0,24	0,25	0,22	0,31	0,32	0,48	0,29
	max. 24h-Mittelwert	mg/m ³	0,68	0,69	0,46	0,35	0,33	0,27	0,52	0,42	0,33	0,41	0,63	0,88	0,88
	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	62	70	64	53	52	53	83	62	52	67	71	95	65
	max. 24h-Mittelwert	µgCH ₄ /m ³	159	146	109	97	83	82	428	106	101	142	193	182	428
CH ₄	Mittelwerte	mg/m ³	1,33	1,37	1,33	1,29	1,28	1,28	1,28	1,29	1,30	1,35	1,37	1,44	1,32
PM10	Mittelwerte	µg/m ³	16	27	22	12	12	13	18	16	10	18	16	22	17
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	55	55	45	19	24	22	55	26	23	30	32	57	57
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	1	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	5
SN	Mittelwerte	mg/(m ² d)	31	16	54	83	94	67	45	42	32	30	39	20	46

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	3,7	1,4	8,1	11,9	15,8	20,1	24,4	22,4	15,1	10,8	8,9	5,1	12,4
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	499	520	345	149	31	0	0	0	18	235	268	463	2519
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	36	66	130	199	199	251	265	211	142	77	58	42	140
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	75	74	62	55	64	61	52	62	66	76	75	85	67
Niederschlag	Summen	mm	89	30	73	140	177	134	36	56	40	36	56	9	876
Druck	Mittelwerte	hPa	971	969	973	973	970	972	970	970	971	971	975	982	972

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

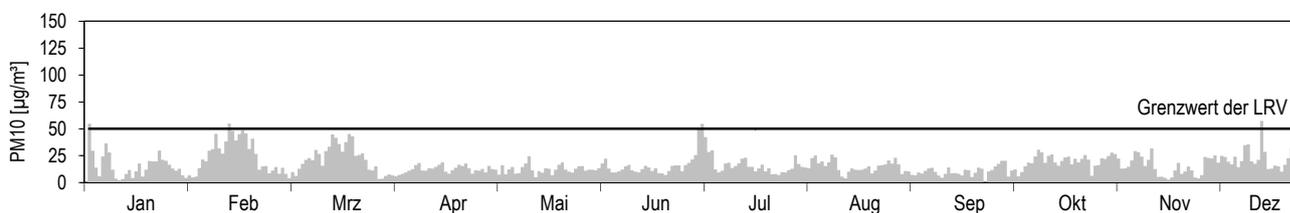
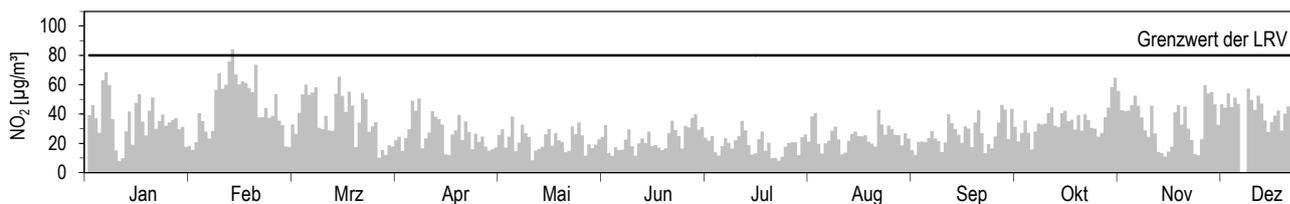
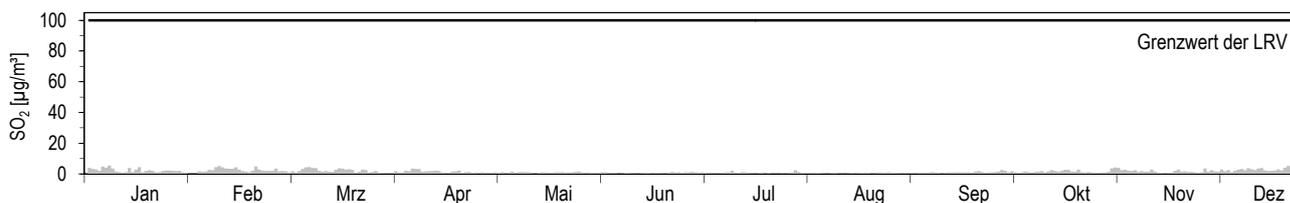
**Jahresübersicht
2015**

Zürich-Kaserne
Städtisch

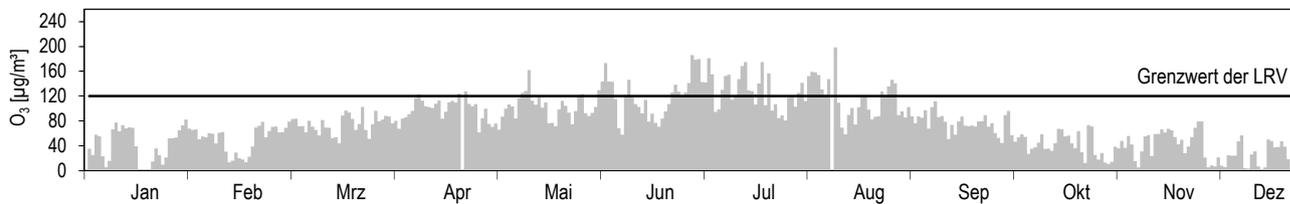


Koordinaten: 682'450 / 247'990
Höhe: 409 m

Tagesmittelwerte für SO₂, NO₂ und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Anhang B2: VOC-Messwerte

Jahresübersicht VOC 2015	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	0,42	0,53	0,47	0,24	0,13	0,11	0,12	0,13	0,16	0,42	0,20	0,19	0,26
Toluol	Mittelwerte	µg/m³	0,37	0,41	0,48	0,28	0,24	0,34	0,31	0,32	0,35	0,66	0,30	0,15	0,35
Ethylbenzol	Mittelwerte	µg/m³	0,07	0,06	0,10	0,07	0,06	0,08	0,05	0,05	0,05	0,12	0,07	0,04	0,07
m/p-Xylol	Mittelwerte	µg/m³	0,15	0,11	0,17	0,12	0,13	0,15	0,10	0,09	0,12	0,27	0,15	0,06	0,13
o-Xylol	Mittelwerte	µg/m³	0,08	0,06	0,08	0,06	0,05	0,06	0,04	0,04	0,05	0,12	0,06	0,03	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	2,56	2,93	2,95	2,36	1,73	1,34	1,04	1,03	1,23	1,78	1,65	1,74	1,86
Propan	Mittelwerte	µg/m³	1,60	1,83	1,58	0,93	0,50	0,48	0,37	0,47	0,55	1,04	0,83	0,80	0,91
n-Butan	Mittelwerte	µg/m³	0,75	0,83	0,71	0,35	0,21	0,26	0,26	0,28	0,28	0,56	0,39	0,35	0,43
n-Pentan	Mittelwerte	µg/m³	0,33	0,36	0,40	0,23	0,19	0,26	0,24	0,23	0,23	0,46	0,20	0,11	0,27
n-Hexan	Mittelwerte	µg/m³	0,09	0,09	0,08	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,09	0,05	0,03	0,06
Isobutan	Mittelwerte	µg/m³	0,41	0,47	0,42	0,20	0,12	0,14	0,13	0,16	0,17	0,34	0,21	0,19	0,25
Isopentan	Mittelwerte	µg/m³	0,42	0,45	0,50	0,31	0,27	0,39	0,45	0,45	0,36	0,60	0,30	0,17	0,39
Σ Isohexane	Mittelwerte	µg/m³	0,40	0,42	0,46	0,32	0,26	0,32	0,28	0,32	0,31	0,52	0,30	0,21	0,34
Σ Isoheptane	Mittelwerte	µg/m³	0,18	0,21	0,20	0,09	0,08	0,10	0,07	0,08	0,11	0,26	0,11	0,05	0,13

Ungesättigte Kohlenwasserstoffe

Ethen	Mittelwerte	µg/m³	0,58	0,68	0,50	0,23	0,16	0,16	0,12	0,13	0,18	0,53	0,27	0,23	0,31
Propen	Mittelwerte	µg/m³	0,12	0,12	0,12	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,09	0,06	0,04	0,07
Σ Butene	Mittelwerte	µg/m³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Σ Pentene	Mittelwerte	µg/m³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ethin	Mittelwerte	µg/m³	0,44	0,60	0,54	0,28	0,16	0,14	0,13	0,14	0,17	0,42	0,21	0,21	0,28
Isopren	Mittelwerte	µg/m³	0,02	0,01	0,03	0,08	0,19	0,26	0,51	0,31	0,08	0,05	0,05	0,03	0,17
1,3-Butadien	Mittelwerte	µg/m³	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

-) 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 2015	Zürich		Koordinaten: 682'450 / 247'990 Höhe: 409 m
	Städtisch		

Aromatische Verbindungen			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Benzol	Mittelwerte	µg/m³	0,91	1,13	0,78	0,44	0,33	0,38	0,37	0,51	0,44	0,89	0,90	1,51	0,72
Toluol	Mittelwerte	µg/m³	2,31	2,43	2,56	1,80	1,78	2,11	2,27	2,72	2,28	2,81	3,89	5,34	2,70
Ethylbenzol	Mittelwerte	µg/m³	0,43	0,48	0,44	0,34	0,32	0,39	0,40	0,46	0,39	0,49	0,67	0,88	0,48
m/p-Xylol	Mittelwerte	µg/m³	1,40	1,47	1,44	1,12	1,01	1,17	1,26	1,51	1,32	1,60	2,35	3,15	1,58
o-Xylol	Mittelwerte	µg/m³	0,52	0,55	0,54	0,41	0,37	0,44	0,46	0,55	0,48	0,60	0,87	1,15	0,58

Umrechnungsfaktoren (F): [ppb] * F = [µg/m³]
 F_Benzol = 3,25 F_Toluol = 3,83 F_Ethylbenzol = 4,41 F_m/p-Xylol = 4,41 F_o-Xylol = 4,41

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

Gesättigte Kohlenwasserstoffe

Ethan	Mittelwerte	µg/m³	3,89	4,28	3,92	3,16	2,44	1,96	1,57	1,73	1,92	2,91	3,27	4,48	2,95
Propan	Mittelwerte	µg/m³	3,21	3,61	3,01	2,23	1,68	1,81	1,73	2,05	1,75	2,37	3,41	4,46	2,60
n-Butan	Mittelwerte	µg/m³	2,64	2,62	2,45	1,72	1,48	1,67	1,84	2,14	1,74	2,35	4,02	5,18	2,45
n-Pentan	Mittelwerte	µg/m³	1,01	1,10	1,07	0,86	0,89	0,98	1,06	1,13	0,87	1,23	2,10	2,39	1,20
n-Hexan	Mittelwerte	µg/m³	0,29	0,30	0,26	0,21	0,21	0,23	0,35	0,39	0,26	0,32	0,44	0,53	0,31
Heptan	Mittelwerte	µg/m³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Isobutan	Mittelwerte	µg/m³	1,43	1,47	1,36	0,95	0,78	0,86	0,93	1,05	0,88	1,25	2,21	2,83	1,31
Isopentan	Mittelwerte	µg/m³	1,88	1,89	2,04	1,80	1,86	2,36	2,87	3,27	2,14	2,48	4,36	4,82	2,61
Σ Isohexane	Mittelwerte	µg/m³	1,41	1,43	1,38	1,20	1,19	1,43	1,57	1,88	1,45	1,68	2,80	3,16	1,69
Σ Isoheptane	Mittelwerte	µg/m³	0,84	0,85	0,74	0,76	0,78	0,91	1,13	0,99	0,72	0,85	1,53	1,66	0,97

Ungesättigte Kohlenwasserstoffe

Ethen	Mittelwerte	µg/m³	1,89	2,22	1,40	0,82	0,68	0,66	0,62	0,83	0,77	1,48	2,02	3,31	1,38
Propen	Mittelwerte	µg/m³	0,59	0,60	0,48	0,28	0,26	0,28	0,28	0,36	0,30	0,43	0,67	0,99	0,45
Σ Butene	Mittelwerte	µg/m³	0,57	0,54	0,55	0,28	0,30	0,35	0,31	0,35	0,29	0,44	0,85	1,10	0,49
Σ Pentene	Mittelwerte	µg/m³	0,43	0,35	0,39	0,25	0,26	0,42	0,45	0,49	0,37	0,43	0,70	0,80	0,44
Ethin	Mittelwerte	µg/m³	1,16	1,52	1,07	0,68	0,43	0,40	0,37	0,48	0,48	0,93	1,08	1,74	0,86
Isopren	Mittelwerte	µg/m³	0,11	0,11	0,11	0,12	0,16	0,30	0,48	0,41	0,18	0,15	0,24	0,26	0,22
1,3-Butadien	Mittelwerte	µg/m³	-	-	-	0,06	0,05	0,07	0,06	0,08	0,06	0,08	0,13	0,20	0,09

-) 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 2015	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	1,11	1,25	0,81	0,46	0,31	0,29	0,32	0,31	0,30	0,79	0,99	1,49	0,71
Toluol	Mittelwerte	µg/m³	2,77	2,64	2,26	1,76	1,47	1,60	2,30	2,67	2,27	3,05	4,35	5,74	2,75

* 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 2015	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	1,62	1,77	1,53	0,96	0,92	0,96	0,95	1,06	1,10	1,54	1,48	1,84	1,33
Toluol	Mittelwerte	µg/m³	3,61	3,83	3,93	3,59	3,30	3,18	3,22	3,78	2,35	2,82	3,01	3,62	3,35
Ethylbenzol	Mittelwerte	µg/m³	0,50	0,55	0,60	0,55	0,52	0,44	0,47	0,52	0,27	0,35	0,39	0,44	0,46
m/p-Xylol	Mittelwerte	µg/m³	1,81	2,05	2,07	1,96	1,71	1,62	1,71	2,00	1,11	1,35	1,52	1,94	1,73
o-Xylol	Mittelwerte	µg/m³	0,59	0,70	0,74	0,71	0,61	0,53	0,59	0,68	0,38	0,48	0,51	0,60	0,59

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