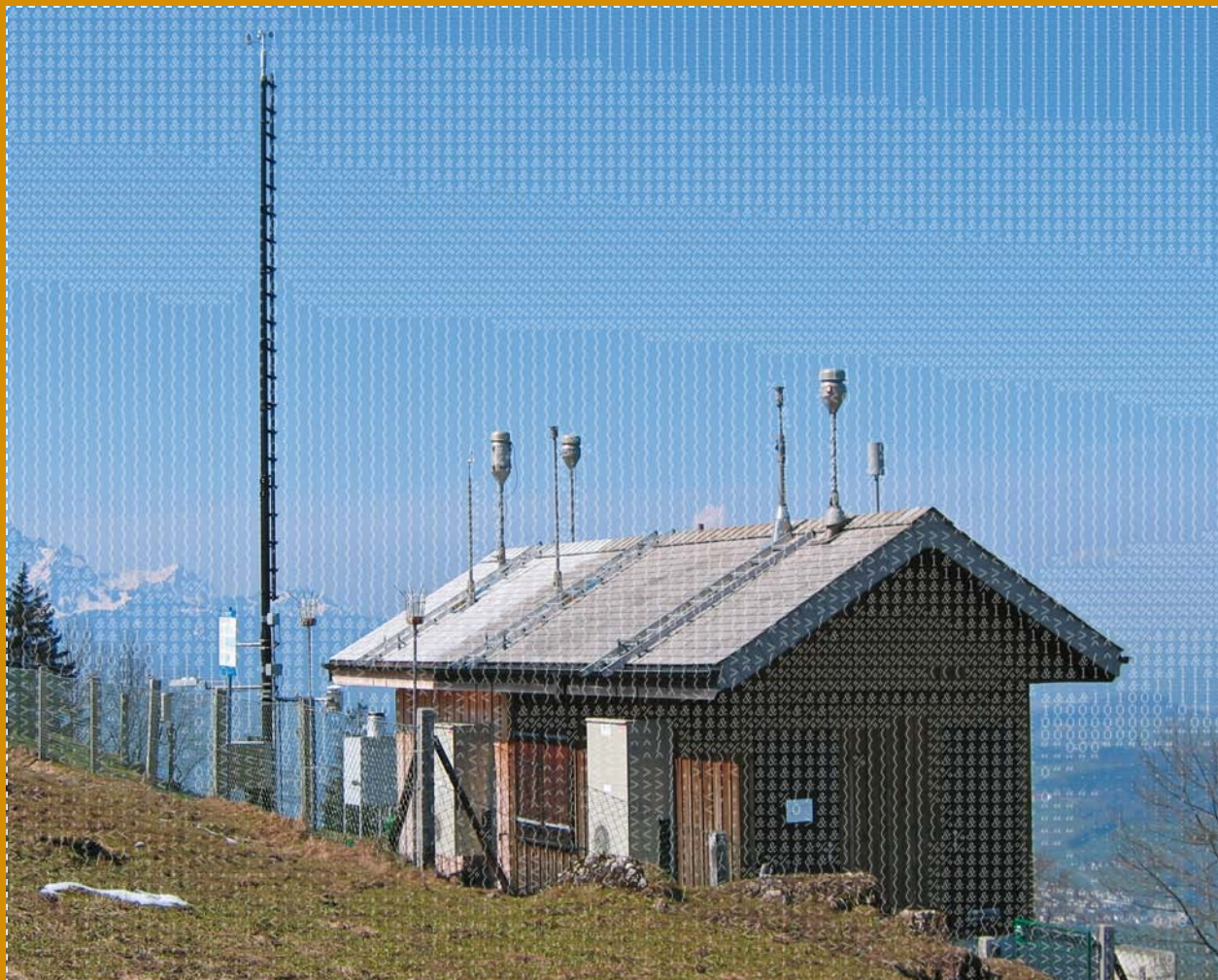


> NABEL Luftbelastung 2010

*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 2010

*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 NIS
3003 Bern
Tel. 031 322 93 12
Fax 031 324 01 37
E-Mail: luftreinhaltung@bafu.admin.ch

Zitiervorschlag

BAFU 2011: NABEL – Luftbelastung 2010. Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1118: 126 S.

Titelbild

Messstation Rigi-Seebodenalp

Download PDF

www.bafu.admin.ch/uz-1118-d
(eine gedruckte Fassung liegt nicht vor)

Diese Publikation ist auch in französischer Sprache verfügbar.

© BAFU 2011

> Inhalt

Abstracts	5		
Vorwort	7		
Zusammenfassung	9		
<hr/>			
1	Luftverschmutzung in der Schweiz (Übersicht)	15	
1.1	Schadstoffemissionen	15	
1.2	Transport und chemische Umwandlung der Schadstoffe (Transmission)	15	
1.3	Immissionssituation in der Schweiz	17	
1.4	Auswirkungen der Luftverschmutzung	18	
1.5	Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung	20	
<hr/>			
2	Das Nationale Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL)	21	
2.1	Entstehung des Messnetzes	21	
2.2	Ziel und Zweck des Messnetzes	21	
2.3	Aufgaben des Messnetzes	22	
2.4	Standorte der Messstationen	23	
2.5	Messprogramm und Messverfahren	24	
2.6	Qualitätssicherung	24	
2.7	Weitere NABEL-Publikationen	26	
<hr/>			
3	Stickoxide	27	
3.1	Entstehung und Charakterisierung	27	
3.2	Zeitliche Entwicklung	27	
3.3	Situation 2010	29	
3.4	Bewertung	33	
<hr/>			
4	Feinstaub	34	
4.1	Entstehung und Charakterisierung	34	
4.2	Zeitliche Entwicklung	34	
4.3	Situation 2010	35	
4.4	PM2.5 und PM1-Messungen	37	
4.5	Partikelanzahl – Messungen	38	
4.6	Schwefel im Schwebstaub	39	
4.7	Bewertung	40	
4.8	Benzo(a)pyren im Feinstaub	41	
<hr/>			
4.9	Russgehalt im Feinstaub		42
<hr/>			
5	Ozon	44	
5.1	Entstehung und Charakterisierung	44	
5.2	Zeitliche Entwicklung	45	
5.3	Situation 2010	49	
5.4	Ozon Jahresgang	50	
5.5	Bewertung	50	
<hr/>			
6	Flüchtige organische Verbindungen	51	
6.1	Entstehung und Charakterisierung	51	
6.2	VOC-Summenmessung	52	
6.3	Aromatische Verbindungen	53	
6.4	Gesättigte und ungesättigte Kohlenwasserstoffe	54	
6.5	Halogenierte Verbindungen	56	
6.6	Bewertung	57	
<hr/>			
7	Schwefeldioxid	58	
7.1	Entstehung und Charakterisierung	58	
7.2	Zeitliche Entwicklung	58	
7.3	Situation 2010	59	
7.4	Bewertung	60	
<hr/>			
8	Kohlenmonoxid	61	
8.1	Entstehung und Charakterisierung	61	
8.2	Zeitliche Entwicklung	61	
8.3	Situation 2010	62	
8.4	Bewertung	63	
<hr/>			
9	Staubniederschlag	64	
<hr/>			
10	Schwermetalle im Schwebstaub und im Staubniederschlag	65	
10.1	Blei		65
10.2	Kadmium		67
10.3	Zink		69

10.4	Thallium	70
10.5	Bewertung	70
10.6	Weitere Metalle	70
11	Regen-Inhaltsstoffe	71
11.1	Entstehung und Charakterisierung	71
11.2	Zeitliche Entwicklung	72
11.3	Situation 2010	74
11.4	Bewertung	76
12	Gasförmige und partikuläre Stickstoffverbindungen	77
12.1	Summenmessung von Stickstoffkomponenten	77
12.2	Gas- und Aerosolphase von Stickstoffverbindungen	79
12.3	Ammoniak	79
13	Witterung	81
13.1	Situation 2010	81
13.2	Inversionen	82
14	Ausblick	83
Anhang A		85
	Anhang A1: Standortcharakterisierung	86
	Anhang A2: NABEL-Messprogramm	87
	Anhang A3: Messverfahren	88
	Anhang A4: Masseinheiten und statistische Masszahlen	89
	Anhang A5: Homogenisierung von Messreihen der Station Bern	90
Anhang B		91
	Anhang B1: Messwerte 2010 der 16 Stationen des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe, NABEL	91

> 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 2010. The ambient air quality during 2010 can be characterised as follows: Exceedances of the ambient air quality standard were observed for nitrogen dioxide, respirable fine particulates (PM10) and ozone. The standards for sulphur dioxide, carbon monoxide, dust fall, and heavy metals were respected in all cases. The air quality has significantly improved over the last 20 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 2010. Die Luftbelastung des Jahres 2010 kann wie folgt charakterisiert werden: Grenzwertüberschreitungen werden bei den Schadstoffen Stickstoffdioxid, lungengängiger Feinstaub (PM10) und Ozon beobachtet. Überall eingehalten werden die Grenzwerte für Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid, Staubbiederschlag und die Schwermetalle. Die Entwicklung der Luftbelastung in den letzten 20 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 2010. Pour 2010, la situation en matière d'immissions peut être caractérisée ainsi: Les valeurs limites fixées pour le dioxyde d'azote, les fines particules respirables (PM10) et l'ozone ont été dépassées, celles pour le dioxyde de soufre, le monoxyde de carbone, les retombées de poussières et les métaux lourds ont pu être respectées partout. La charge polluante de l'air s'est nettement améliorée ces 20 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 2010. La situazione relativa alle immissioni in Svizzera nel 2010 può essere descritta nel modo seguente: sono stati rilevati superamenti dei valori limite per le sostanze biossido di azoto, polveri fini respirabili (PM10) e ozono. I valori dell'anidride solforosa, del monossido di carbonio, della precipitazione di polveri e dei metalli pesanti sono stati rispettati ovunque. Il carico di inquinanti atmosferici negli ultimi 20 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 und zum Beispiel von Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid und Blei sogar deutlich unterschritten. Noch nicht der Fall ist dies jedoch bei den Schadstoffen Ozon, Feinstaub und Stickstoffdioxid. Obgleich sich auch hier die Situation verbessert hat, treten noch immer übermässige Immissionen auf. Daneben stellen auch die zu hohen Säure- und Stickstoffeinträge eine Gefährdung empfindlicher Ökosysteme wie Wälder und Hochmoore dar. Die im Jahr 2007 aufgenommenen Russmessungen als Erfolgskontrolle der Massnahmen des Aktionsplans Feinstaub des Bundesrates zeigen eine Abnahme der Russkonzentration. 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. Dieselmotoren, Benzo(a)pyren aus Holzverbrennung oder Benzol) muss noch weiter gesenkt werden. Die technischen Möglichkeiten zur Emissionsminderung sollen bei allen Quellen ausgeschöpft werden. Der Schadstoffausstoss hängt aber auch von der Entwicklung der Mobilität, des Energieverbrauchs, der industriellen und landwirtschaftlichen Produktion und des Konsums ab.

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

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

> Zusammenfassung

Luftbelastung des Jahres 2010

Die Luftbelastung des Jahres 2010 zeigte ein ähnliches Bild wie in den letzten Jahren. Die Belastung durch Feinstaub (PM10) und Schwefeldioxid hat seit dem Jahr 2000 weiter abgenommen, während die Belastung durch Stickstoffdioxid und Ozon im Streubereich der Jahre 2000 bis 2009 lag. Trotz der Verbesserungen der letzten zwanzig Jahre sind die Immissionsgrenzwerte für Stickstoffdioxid, Ozon und PM10 weiterhin und zum Teil deutlich überschritten, infolge der immer noch zu hohen Emissionen von Luftschadstoffen in der Schweiz und den Nachbarländern.

Überblick

Während der Wintermonate des Jahres 2010 traten über der Schweiz keine lang anhaltenden austauscharmen Inversionslagen auf. Infolgedessen war die Belastung durch Feinstaub und Stickstoffdioxid geringer als in Jahren mit langen Inversionsperioden. Der Sommer war in der ganzen Schweiz gekennzeichnet durch häufige Frontdurchgänge und Gewitter, entsprechend war die Ozonbelastung tiefer als in Jahren mit vielen langanhaltenden sonnigen Perioden.

Witterung

Wie in den vergangenen Jahren wurden die Immissionsgrenzwerte des Jahresmittels von Stickstoffdioxid im Jahr 2010 in den grossen Städten nicht eingehalten und entlang stark befahrener Hauptverkehrsstrassen zum Teil deutlich überschritten. In den vorstädtischen Gebieten lag die Belastung im Bereich des Grenzwerts oder darunter. Im ländlichen Raum abseits der Strassen lagen die Stickstoffdioxidwerte deutlich unter dem Grenzwert. Die meisten Grenzwertüberschreitungen des Tagesmittelwerts von Stickstoffdioxid wurden in einer städtischen Strassenschlucht und entlang von Autobahnen gezählt. Es wurden bis zu 7 Tage mit Tagesmittelwerten über $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registriert.

Stickstoffdioxid

In den Städten und Vorstädten wurden im 2010 Jahresmittelwerte von PM10 zwischen 18 und $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen, verkehrsnah bis $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Immissionsgrenzwert PM10: $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Auf dem Land, entlang den Autobahnen, wurden Werte von 19 – $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ beobachtet. Abseits von Strassen lagen die ländlichen Werte mit 16 – $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ unter dem Grenzwert. Der Tagesmittelgrenzwert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde in den Städten und Agglomerationen an 10 bis 21 Tagen überschritten (maximale Tagesmittelwerte: 66 – $117 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Auf dem Land wurde der Wert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ noch an 4 bis 7 Tagen überschritten (Maximalwert: $87 \mu\text{g}/\text{m}^3$). An den Stationen Chaumont und Rigi-Seebodenalp, über 1000 m gelegen, wurden keine Tagesmittelwerte über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registriert. Die Stationen der Alpensüdseite weisen eine höhere PM10-Belastung auf als vergleichbare Stationen auf der Alpennordseite. Die Überschreitung des Tagesgrenzwerts auf dem Jungfrauoch wurde durch eine hohe Belastung mit Saharastaub verursacht.

Feinstaub

Die Ozonbelastung war 2010 an allen Stationen wegen des wechselhaften Sommerwetters tiefer gegenüber den letzten zehn Jahren, aber immer noch deutlich über den Immissionsgrenzwerten. Auf der Alpennordseite lagen die Spitzenwerte 2010 deutlich unter denen der Vorjahre. Wie in den Vorjahren wurde der Immissionsgrenzwert von 120 Mikrogramm pro Kubikmeter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1h-Mittelwert) an allen Stationen überschritten. Die häufigsten Grenzwertüberschreitungen (525–666 Stunden) wurden im Tessin und in den mittleren Höhenlagen der Alpennordseite (um 1000 m über Meer) gemessen. Diese Stunden verteilten sich auf 45 bis 84 Tage. In den übrigen Gebieten der Alpennordseite wurden an 18 bis 50 Tagen während 97–505 Stunden zu hohe Ozonwerte gemessen. Eine der NABEL-Messstellen registrierte im Tessin einen maximalen Ozonwert von $257 \mu\text{g}/\text{m}^3$, auf der Alpennordseite lag der Spitzenwert bei $209 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ozon

Keine Grenzwertüberschreitungen wurden im Jahr 2010 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.

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 verkehrsbeflügelten Standorten haben die Stickoxidwerte (NO_x) deutlich 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

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

Obwohl die Ozon-Vorläuferschadstoffe (NO_x und VOC) seit Mitte der 80er-Jahre deutlich zurückgegangen sind, hat die Ozonbelastung im gleichen Zeitraum weniger stark abgenommen. Verantwortlich dafür sind die komplexen chemischen Prozesse bei der Bildung von Ozon und grösserräumige Transportprozesse. Die Reduktion der Vorläuferschadstoffe führt nicht automatisch zu einer gleich grossen Abnahme der Ozonbelastung. So hat das Stickstoffdioxid (NO_2), welches für die Ozonbildung massgeblich ist, weniger stark abgenommen als das Stickstoffmonoxid (NO). Vor allem die Spit-

Ozon

zenwerte sind durch schweizerische Emissionen bestimmt und haben seit Messbeginn abgenommen.

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 Schwebestaub und auch das krebserregende Benzol.

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

Der Zustand der Schweizer Luft im Jahre 2010 in Bezug auf die Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung ist in Abb. 3 dargestellt. Abb. 4 gibt eine Übersicht der Veränderung der Luftbelastung in der Schweiz zwischen 1988 und 2010.

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

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

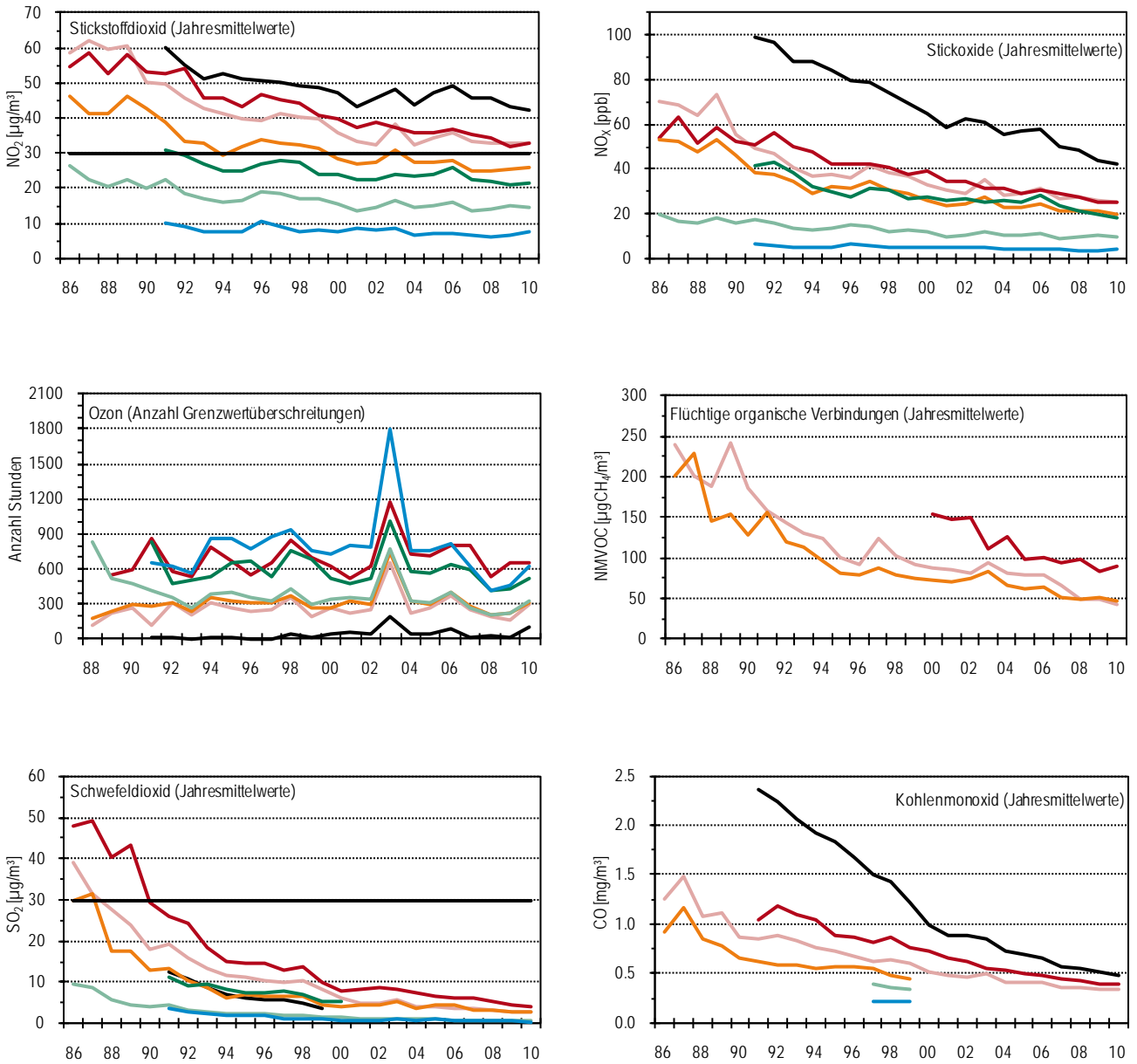
Übrige Schadstoffe

Trotz bedeutender Fortschritte muss die Luft noch sauberer werden

Weitere Massnahmen sind erforderlich

Abb. 1 > Immissionsentwicklung 1986–2010 an verschiedenen Standorttypen für die Schadstoffe Stickstoffdioxid, Stickoxide, Ozon, flüchtige organische Verbindungen (NMVOC), Schwefeldioxid und Kohlenmonoxid

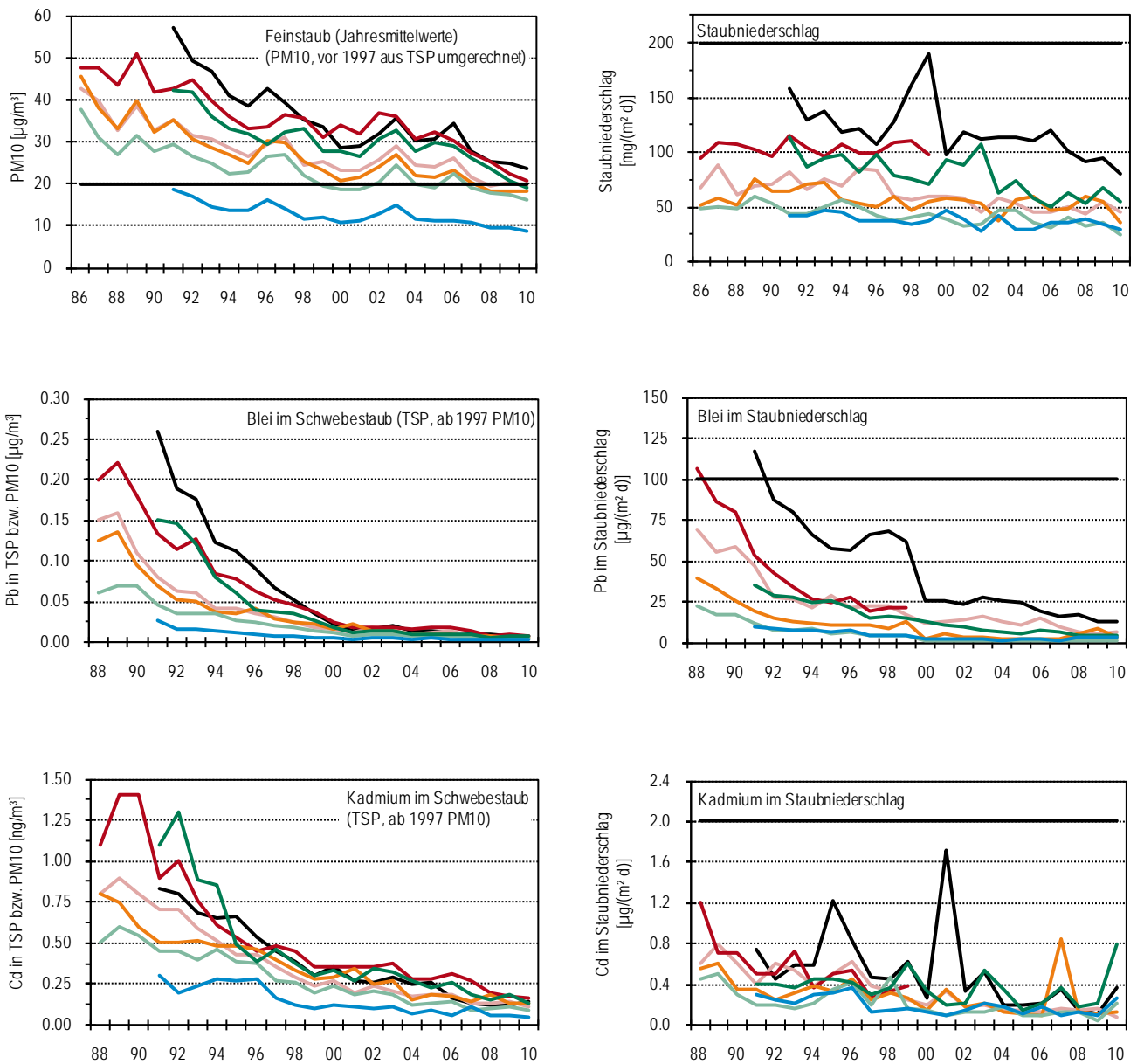
Die Messwerte der Station Bern wurden homogenisiert (siehe Anhang 5).



Standorttypen:

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

Abb. 2 > Schadstoffentwicklung 1986–2010 an verschiedenen Standorttypen für Feinstaub (PM10, Werte vor 1997 aus TSP-Messungen umgerechnet) und Staubbiederschlag, sowie für Blei und Kadmium im Schwebestaub und Staubbiederschlag, Jahresmittelwerte

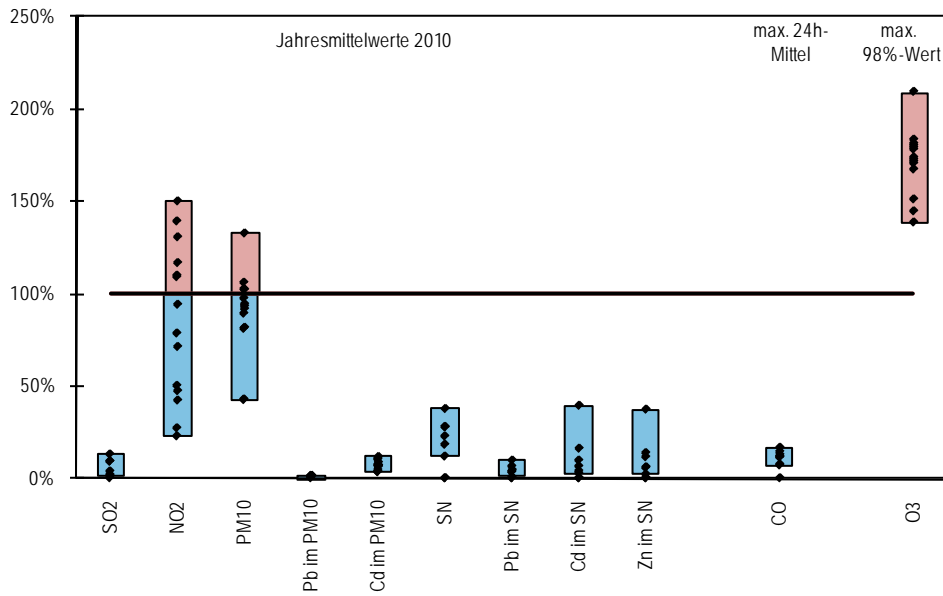


Standorttypen:

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

Abb. 3 > Übersicht der Schadstoffbelastung 2010 im Vergleich zu den Immissionsgrenzwerten der Luftreinhalte-Verordnung

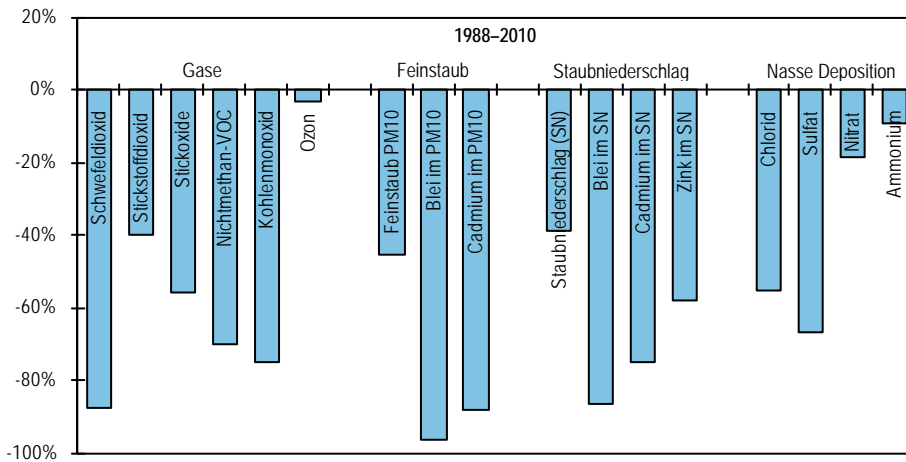
Eingezeichnet sind die Werte der einzelnen NABEL-Stationen, ausser der alpinen Stationen Davos und Jungfraujoch.



SN = Staubniederschlag

Abb. 4 > Veränderung der Luftbelastung in der Schweiz zwischen 1988 und 2010

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



SN = Staubniederschlag σ = Leitfähigkeit

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, Kadmium) 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) beträgt der Anteil der natürlichen Emissionen zur Zeit rund 45 %. Die vom Menschen verursachten Emissionen überwiegen also in den meisten Fällen in der Schweiz die natürlichen Emissionen bei weitem.

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.

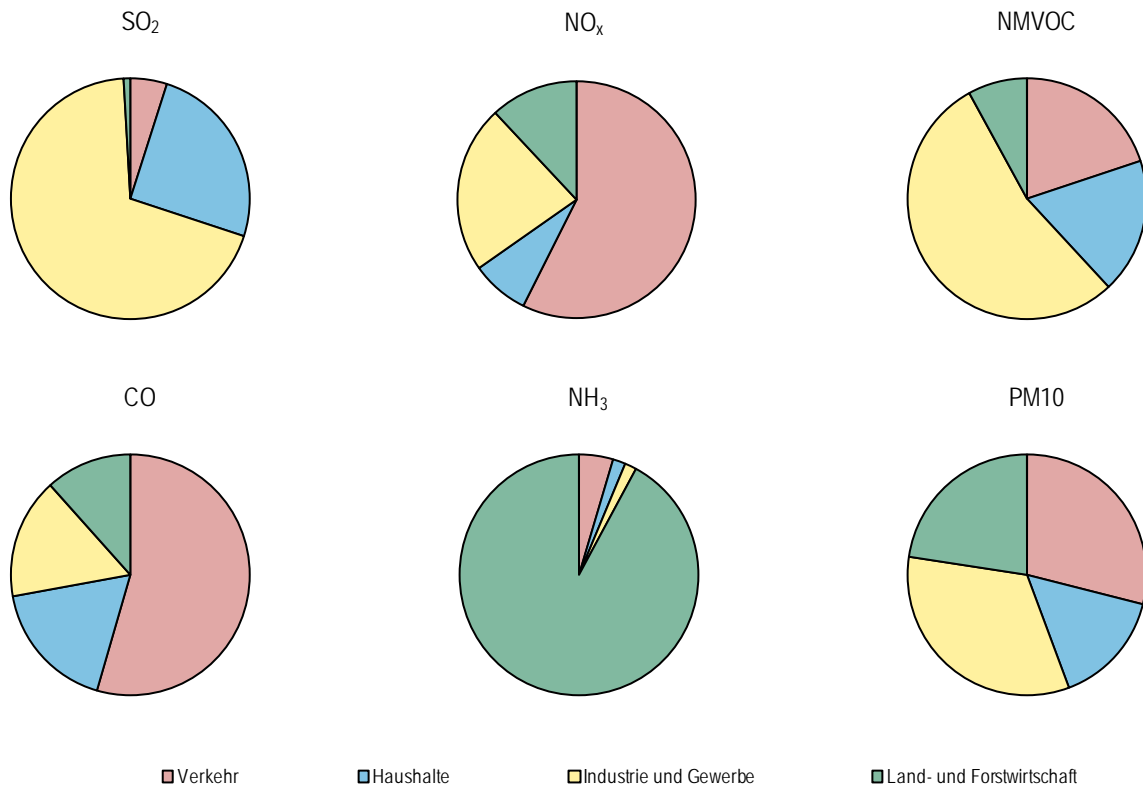
Beiträge verschiedener
Quellengruppen

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

Primäre und sekundäre
Schadstoffe

Abb. 5 > Beiträge verschiedener Quellengruppen an den anthropogenen schweizerischen Emissionen nach Territorialprinzip von: Schwefeldioxid (SO₂), Stickoxide (NO_x), flüchtigen organischen Verbindungen (NMVOC), Kohlenmonoxid (CO), Ammoniak (NH₃) und primärem Feinstaub (PM10)



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

Transport, chemische Umwandlung, Meteorologie

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

Wintersmog

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

Sommersmog

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

Deposition

1.3 Immissionsituation in der Schweiz

Die Grenzwerte für den Schadstoff Stickstoffdioxid werden in den Stadtzentren beinahe überall und zum Teil deutlich überschritten (Tab. 1). In den vorstädtischen Gebieten liegen die NO₂-Werte abseits der Hauptverkehrsstrassen im Bereich des Grenzwertes, entlang der Hauptverkehrsstrassen in der Regel deutlich darüber. Im ländlichen Raum werden die NO₂-Grenzwerte, mit Ausnahme von Korridoren entlang der Hauptverkehrsachsen, in der Regel 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 (Tab. 1). 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 (Tab. 1). Für die Beurteilung der Ozonbelastung dient der 98 %-Wert der Halbstundenmittelwerte des ozonreichsten Sommermonats. Er gibt an, welcher Ozonwert während 15 Stunden eines Monats überschritten wird. Entlang von Strassen werden zum Teil niedrigere Ozonwerte gemessen, da das in grossen Mengen vorkommende Stickstoffmonoxid das Ozon abbaut und dabei in Stickstoffdioxid umgewandelt wird. Die Stadtzentrum-Stationen mit den niedrigsten Ozonwerten sind aus diesem Grund gleichzeitig diejenigen Stationen mit den höchsten NO₂-Werten.

Ozon






















Keine Grenzwertüberschreitungen wurden 2010 bei den Schadstoffen Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid und bei den Schwermetallen im Schwebstaub beobachtet. Die Belastung durch Schwermetalle (Blei, Kadmium, Zink) im Staubbiederschlag liegt in der Regel deutlich unter den Grenzwerten.

Übrige Schadstoffe

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

Drei Problemschadstoffe:
NO₂, PM10, Ozon

Tab. 1 > Schematische Übersicht der Immissionssituation in der Schweiz

	Stadt	Vorstadt	Land
Stickstoffdioxid (NO ₂)			
Feinstaub (PM10)			
Ozon (O ₃)			
Schwefeldioxid (SO ₂)			
Kohlenmonoxid (CO)			
Schwermetalle			
	Immissionsgrenzwert praktisch überall eingehalten		
	Immissionsgrenzwert teilweise überschritten		
	Immissionsgrenzwert häufig / stark überschritten		

1.4 Auswirkungen der Luftverschmutzung

Luftverschmutzung ist eine nachweisliche Ursache für Krankheit und vorzeitige Todesfälle. Luftschadstoffe können beim Menschen sowohl akute wie auch chronische Wirkungen hervorrufen. Je nach Schadstoff sind einzelne Organe stärker betroffen: so die Atemwege durch PM10, Stickstoffdioxid, Ozon und Schwefeldioxid; das Herz-Kreislaufsystem durch PM2.5, ultrafeine Partikel, Stickstoffdioxid und Kohlenmonoxid; Nervensystem, Blut und Niere durch Blei; die Niere auch durch Kadmium (weitere Informationen in der Broschüre: «Luftverschmutzung und Gesundheit», 2010: www.ersnet.org/index.php/publications/air-quality-and-health.html).

Verschiedene Organe sind betroffen

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.

Auswirkungen von Feinstaub

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

Studien in der Schweiz

Stickstoffdioxid führt zu Entzündungserscheinungen in den Atemwegen und verstärkt die Reizwirkung von Allergenen. Nimmt die NO₂-Belastung der Aussenluft zu, werden kurzfristig 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

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

Krebserregende Schadstoffe

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

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

1.5 Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung

Zur Beurteilung der Luftverschmutzung müssen die gemessenen Schadstoffkonzentrationen mit den Immissionsgrenzwerten der Luftreinhalte-Verordnung (Tab. 2) verglichen werden. Diese auf Grund der Anforderungen des Umweltschutzgesetzes festgelegten Werte sind wirkungsorientiert. Sie sind ein Mass für die Schadstoffbelastung, die zur Vermeidung von Schäden nicht überschritten werden sollte. Es sind dabei zwei Arten von Immissionsgrenzwerten zu unterscheiden. Die Kurzzeitgrenzwerte (wie z. B. Stundenmittelwerte, Tagesmittelwerte oder der 95 %-Wert der Summenhäufigkeit der Halbstundenwerte) 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. 2 > 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
Schwebstaub 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 Schwebstaub (PM10)	500 ng/m ³	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
Kadmium (Cd) im Schwebstaub (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)
Kadmium (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»

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

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

2.3

Aufgaben des Messnetzes

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

Nationale und internationale Aufgaben

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

Internationaler Datenaustausch

Tab. 3 > Verwendung von Messdaten des NABEL-Messnetzes in nationalen und internationalen Programmen und Aktivitäten

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

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

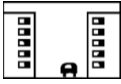




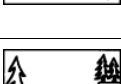

2.4

Standorte der Messstationen

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. 4 > Klassierung der NABEL-Stationen nach Standorttyp

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

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

Alle Belastungsstufen sind vertreten

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

2.5 Messprogramm und Messverfahren

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

Schadstoffe

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

Meteorologie

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

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. A2 und A3).

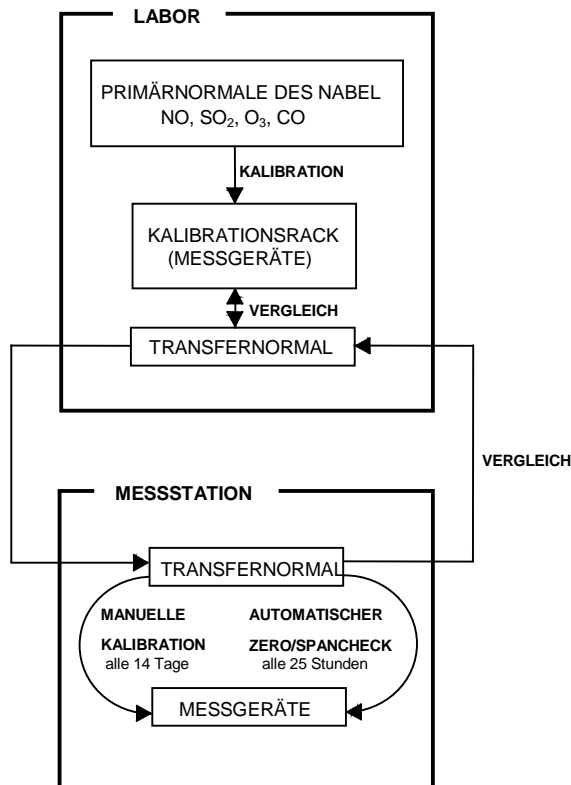
Messmethoden

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-

Abb. 6 > Rückverfolgbarkeit von SO₂, NO, O₃ und CO

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. 6 dargestellt. Durch eine konsequente Umsetzung der Qualitätssicherungsmaßnahmen können die Unsicherheiten der eingesetzten Messmethoden klein gehalten werden. Eine Zusammenstellung der Messunsicherheiten einer Auswahl von Luftschadstoffen, die im NABEL gemessen werden, ist in Tab. 5 zu finden.

Ausführlichere Informationen zu den Messverfahren, der Qualitätssicherung sowie zu den Messunsicherheiten können dem Technischen Bericht zum Nationalen Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL) 2010 (www.empa.ch/nabel) entnommen werden.

Tab. 5 > Messunsicherheiten der im NABEL verwendeten Messverfahren bei den Grenzwerten (siehe Technischer Bericht 2010, www.empa.ch/nabel)

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

2.7

Weitere NABEL-Publikationen

Auf dem Internet stehen unter der Adresse www.bafu.admin.ch/luft (Stichwort Luftbelastung) grosse Teile der NABEL-Daten zur Verfügung. Es werden dort sowohl aktuelle Werte (stündlich aktualisiert) wie auch die Entwicklung der Schadstoffbelastung seit 1980 publiziert. Angaben zum Messnetz und zu den einzelnen Stationen, sowie pdf-Dateien diverser Publikationen, sind ebenfalls im Internet zu finden.

Internet

Zusammen mit den Messwerten von kantonalen und städtischen Stationen dienen die NABEL-Daten als Grundlage für stündlich aktualisierte Karten der Schadstoffbelastung.

Daneben werden aktuelle Messwerte und gleitende Jahreswerte über die drei schweizerischen Landessender auf der Teletextseite 666 (SF1, TSR1 und RSI1) ausgestrahlt.

Teletext

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

Monatsbericht

Ein Bericht der Empa (Technischer Bericht zum Nationalen Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe NABEL) orientiert ausführlich über alle technischen Aspekte des NABEL-Messnetzes (Bestellung: Empa, Abt. Luftfremdstoffe / Umwelttechnik, 8600 Dübendorf, www.empa.ch).

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 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.

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. Aus den Stickoxiden bildet sich auch Nitrat, welches zur Feinstaubbelastung beiträgt.

Auswirkungen

3.2 Zeitliche Entwicklung

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

Trend seit 1981

Die Abbildungen zeigen, dass die Belastung der Luft durch Stickoxide bis gegen Ende der 80er-Jahre keinen klaren Trend aufwies. An einzelnen Stationen nahm sie leicht ab, an anderen leicht zu. Seit 1989 zeigen die meisten Stationen eine deutliche Abnahme der Stickoxidbelastung. Seit 1995 sind die NO_x -Werte von 7 städtischen und strassen-nahen 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.

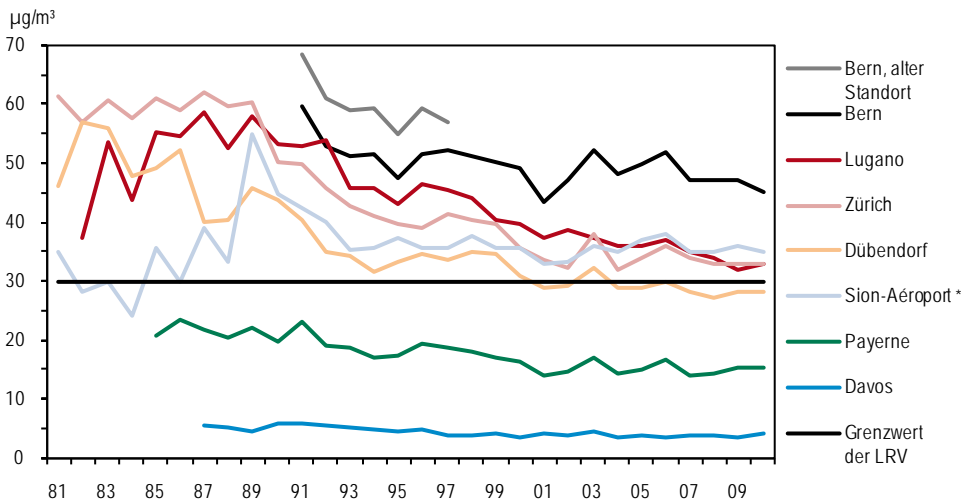
Bis Ende 80er-Jahre in etwa konstant, danach Abnahme; NO_x nimmt stärker ab als NO_2

Vergleicht man die 2010 gemessenen Werte mit denjenigen Mitte der 80er-Jahre, so sind Belastungsrückgänge von 31–48 % beim NO₂ und von 43–65 % 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 (-36 % resp. -55 %).

NO₂-Rückgang 30–50 %
seit Mitte der 80er Jahre

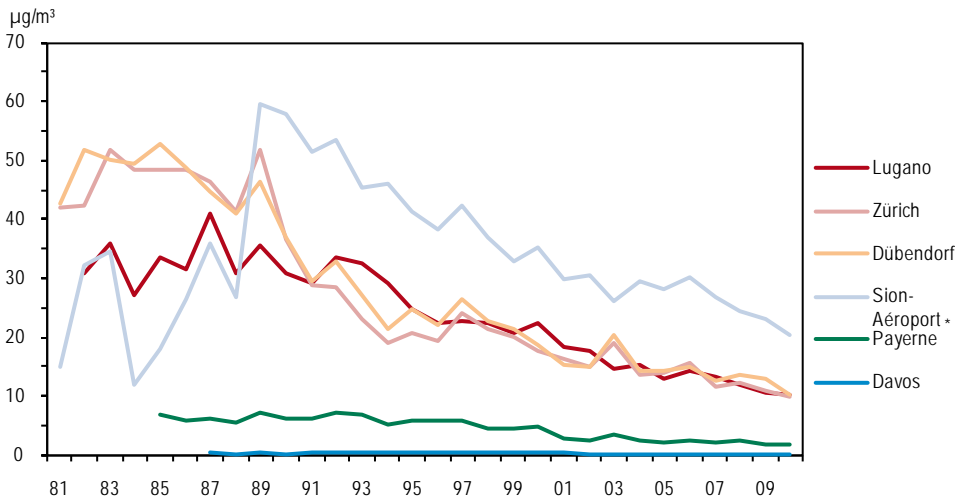
Abb. 7 > Stickstoffdioxid (NO₂), Jahresmittelwerte 1981–2010

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



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

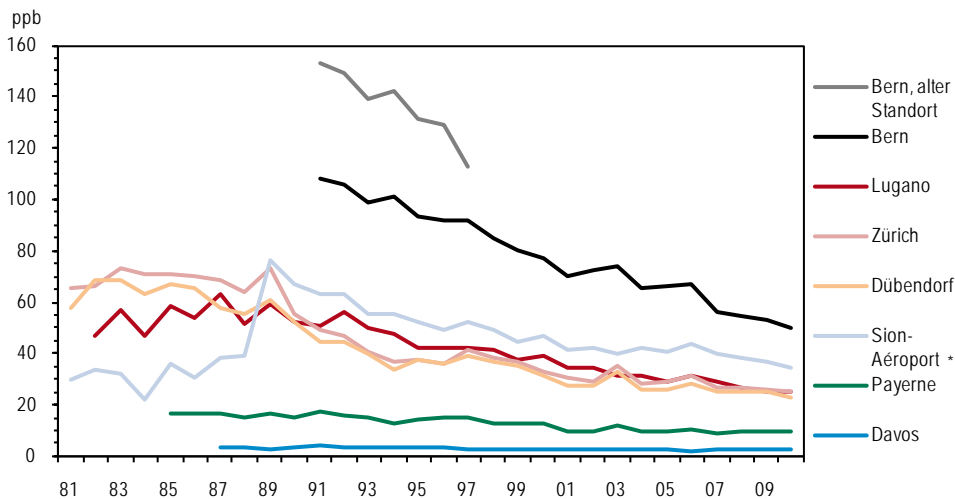
Abb. 8 > Stickstoffmonoxid (NO), Jahresmittelwerte 1981–2010



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

Abb. 9 > Stickoxide (NO_x), Jahresmittelwerte 1981–2010

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



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

3.3 Situation 2010

Die wichtigsten Messergebnisse des NABEL des Jahres 2010 sind in Tab. 6 bis Tab. 8 zusammengefasst. Die Stadtzentrams-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 unter dem Grenzwert von 100 µg/m³ liegen. Dies weist auf eine permanent zu hohe NO₂-Belastung hin, wohingegen hohe Spitzenwerte eher selten sind.

Stadt: Grenzwert überschritten

Die vorstädtischen Standorte zeigen gegenüber den Stadtzentramsstandorten eine tiefere mittlere Belastung. Die NO₂-Jahresmittelwerte lagen dort 2010 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. 10) ist vom Standorttyp abhängig. Die höher gelegenen ländlichen Stationen wie auch die städtischen Verkehrsstandorte zeigen wenig Jahresgang. Bei den übrigen Stationen sind dagegen die Monatsmittelwerte im Winter ungefähr doppelt so hoch wie im Sommer.

Jahresgang: in der Regel tiefere
Werte im Sommer

Tab. 6 > Stickstoffdioxid (NO₂), Jahresstatistik 2010

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	45	87	100	7
	Lausanne-César-Roux	39	76	77	0
Städtisch	Lugano-Università	33	74	99	5
	Zürich-Kaserne	33	70	90	3
Vorstädtisch	Basel-Binningen	24	58	77	0
	Dübendorf-Empa	28	66	78	0
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	42	88	97	6
	Sion-Aéroport-A9	35	81	99	3
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	21	59	76	0
	Payerne	15	37	53	0
	Tänikon	14	39	73	0
	Lägeren	13	34	51	0
Ländlich, oberhalb 1000 m	Chaumont	7	18	25	0
	Rigi-Seebodenalp	8	24	36	0
	Davos-Seehornwald	4	12	22	0
Hochgebirge	Jungfrauojoch	<1	1	2	0
<i>LRV-Immissionsgrenzwert</i>		30	100	80	1

Abb. 10 > Stickstoffdioxid (NO₂), Monatsmittelwerte 2010

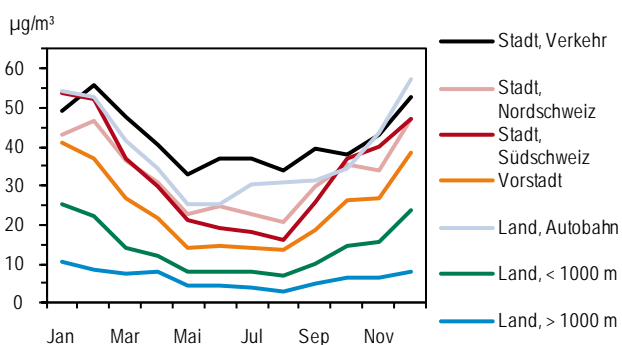
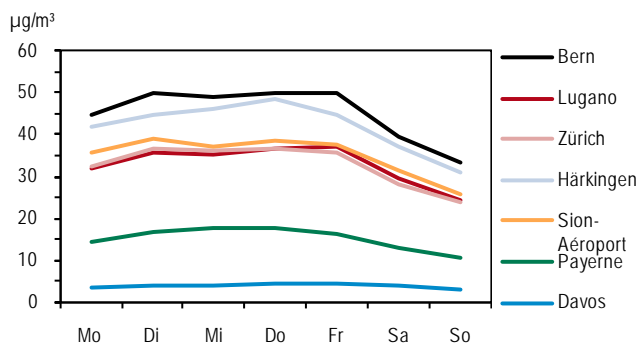


Abb. 11 > Stickstoffdioxid (NO₂), mittlerer Wochengang 2010



Tab. 7 > Stickstoffmonoxid (NO), Jahresstatistik 2010

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert µg/m ³	95 %-Wert µg/m ³	max. 24h-Mittelwert µg/m ³
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	32	111	195
	Lausanne-César-Roux	18	57	88
Städtisch	Lugano-Universität	10	48	95
	Zürich-Kaserne	10	48	94
Vorstädtisch	Basel-Binningen	6	33	75
	Dübendorf-Empa	10	56	89
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	43	171	202
	Sion-Aéroport-A9	21	92	142
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	9	50	91
	Payerne	2	10	25
	Tänikon	3	12	44
	Lägeren	1	4	25
Ländlich, oberhalb 1000 m	Chaumont	<1	2	6
	Rigi-Seebodenalp	<1	3	12
	Davos-Seehornwald	<1	1	13
Hochgebirge	Jungfraujoch	<1	<1	<1

Deutlicher ausgeprägt ist der Jahresgang bei der Summe der Stickoxide (NO_x, Abb. 12). An den verkehrsbelasteten Standorten ist die Stickoxidbelastung während des ganzen Jahres wesentlich höher als an den nicht-strassennahen Stationen. Die tieferen NO_x-Konzentrationen während der Sommermonate sind nicht durch den Rückgang der Emissionen begründet. Vielmehr werden die überwiegend vom Motorfahrzeugverkehr stammenden Stickoxide in der warmen Jahreszeit wegen der erhöhten Turbulenzintensität besser verdünnt, das NO rascher in NO₂ umgewandelt und dieses vermehrt unter Einfluss von Sonnenlicht in Sekundärschadstoffe (z. B. Salpetersäure, PAN) transformiert.

Der Wochengang (Abb. 11 und Abb. 13) zeigt an praktisch allen Stationen eine charakteristische Abnahme der Stickoxid-Belastung am Wochenende. Sehr ausgeprägt ist der Rückgang bei der Summe der Stickoxide (NO_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. 8 > Stickoxide (NO_x), Jahresstatistik 2010

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert ppb	95 %-Wert ppb	max. 24h-Mittelwert ppb
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	50	130	207
	Lausanne-César-Roux	35	81	97
Städtisch	Lugano-Universität	25	75	120
	Zürich-Kaserne	25	73	110
Vorstädtisch	Basel-Binningen	17	54	93
	Dübendorf-Empa	23	75	99
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	57	178	212
	Sion-Aéroport-A9	35	112	166
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	18	65	99
	Payerne	10	26	46
	Tänikon	10	28	50
	Lägeren	8	20	38
Ländlich, oberhalb 1000 m	Chaumont	4	10	17
	Rigi-Seebodenalp	5	14	25
	Davos-Seehornwald	3	8	24
Hochgebirge	Jungfrauoch	<1	1	2

Abb. 12 > Stickoxide (NO_x), Monatsmittelwerte an Standorttypen 2010

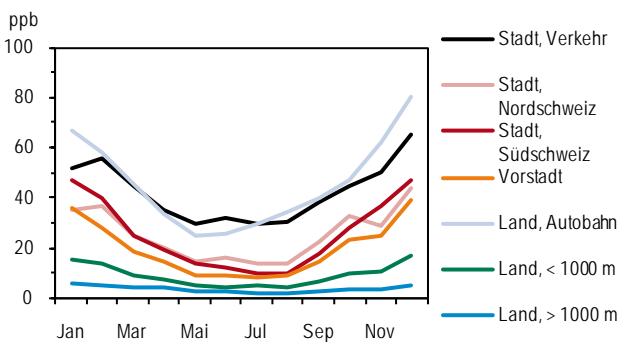
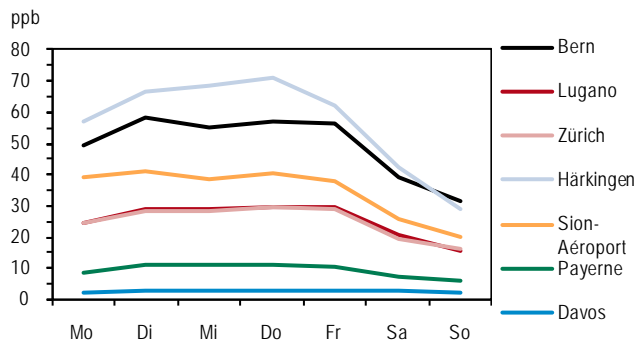


Abb. 13 > Stickoxide (NO_x), mittlerer Wochengang 2010



3.4

Bewertung

Die Stickstoffdioxid-Immissionen sind in den Städten und 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 im Bereich des Grenzwerts oder darunter. In den ländlichen Gebieten abseits der Hauptverkehrsstrassen liegen die Jahresmittelwerte unterhalb des Immissionsgrenzwertes. Entlang der Hauptverkehrsachsen treten dagegen Belastungskorridore auf, in denen auch im ländlichen Raum die NO₂-Grenzwerte überschritten sind.

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

Das Stickoxid-Problem ist im Wesentlichen das Problem einer permanent zu hohen Belastung. Dies äussert sich in den Jahresmittelwerten, die das 1,5-fache des Grenzwertes noch immer überschreiten können. Hohe Spitzenwerte der Stickstoffdioxidbelastung treten dagegen nicht sehr häufig auf. Die Belastungssituation durch Stickoxide, insbesondere durch Stickstoffdioxid, ist im Weiteren von der Distanz zu stark befahrenen Strassen abhängig. Dies führt dazu, dass auch in kleineren Ortschaften entlang der Strassen Grenzwertüberschreitungen vorkommen.

Neben der Belastung von Mensch und Umwelt durch zu hohe 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.

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

NO₂-Belastung in Städten und an Hauptverkehrssachsen zu hoch

Verkehrsemissionen nehmen langsamer ab als erwartet

Hohe Langzeitwerte, aber moderate Spitzenwerte

Auch für Säure und Stickstoffeintrag wichtig

4 > Feinstaub

4.1 Entstehung und Charakterisierung

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

Grösse und Zusammensetzung

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

Quellen

Wird die Gesamtheit der feindispersen Schwebestoffe mit einer Sinkgeschwindigkeit von weniger als 10 cm/s und einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als etwa 50 µm gemessen, so spricht man von einer TSP-Messung (TSP = total suspended particles). Werden nur die lungengängigen Feinstäube mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als 10 µm gemessen, so spricht man von einer PM10-Messung (PM10 = particulate matter < 10 µm, thorakale Fraktion des Schwebestaubs). Wird nur der Feinstaub mit einem Durchmesser von weniger als 2,5 µm erfasst, spricht man von einer PM2.5-Messung (alveolengängige Fraktion des Schwebestaubs). Im Feinstaub enthalten sind die sehr feinen Verbrennungsaerosole, beispielsweise die Russemissionen von Dieselmotoren. Da es sich dabei um sehr feine lungengängige Partikel handelt, tragen sie gewichtsmässig nicht sehr viel bei. Sie sind jedoch von grosser Bedeutung für die gesundheitlichen Auswirkungen. Weiterführende Informationen finden sich im Status-Bericht «Feinstaub in der Schweiz» der eidgenössischen Kommission für Lufthygiene (Bern, 2009).

TSP, PM10, PM2.5

4.2 Zeitliche Entwicklung

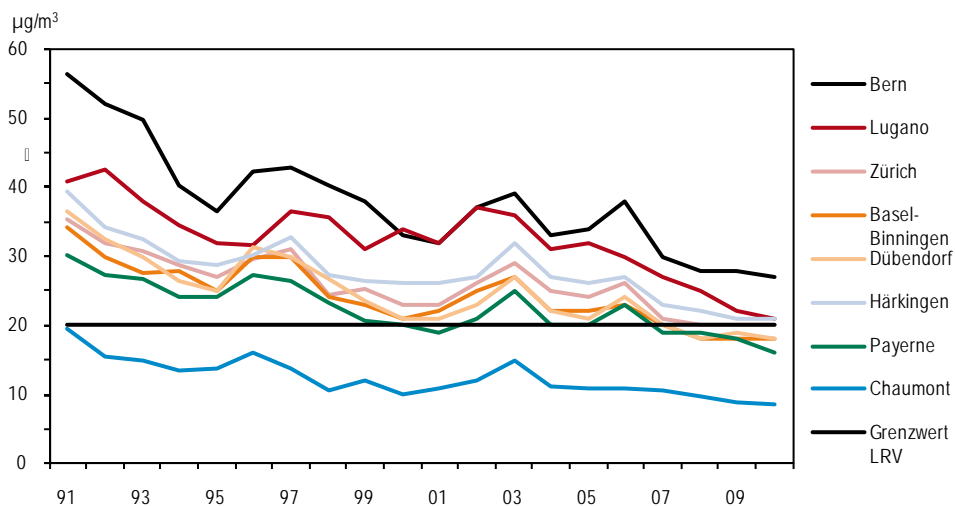
In der Abb. 14 sind die aus den TSP-Werten berechneten PM10-Jahresmittelwerte (vor 1997) zusammen mit den gemessenen PM10-Werten (ab 1997) dargestellt. Seit 1991 ist die PM10-Belastung zurückgegangen. Dieser Rückgang dürfte einerseits auf die Reduktion der sekundären Partikel (insbesondere Sulfat) und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

Deutlicher Rückgang der PM10-Belastung seit 1991

Reduktion der primären Partikelemission zurückzuführen sein. Seit dem Jahr 2000 hat die PM10-Belastung weiter abgenommen, mit Ausnahme der Jahre 2003 und 2006, wo häufige Inversionen auf der Alpennordseite zu einer erhöhten PM10-Belastung führten. Die PM10-Messungen wurden an der Station Bern-Bollwerk in den Jahren 2007 und 2008 durch die Bauarbeiten am Bahnhofplatz und die Teilspernung des Bollwerks beeinflusst.

Abb. 14 > Feinstaub (PM10), Jahresmittelwerte 1991–2010

Die Werte vor 1997 wurden aus TSP-Messungen umgerechnet.



4.3 Situation 2010

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

Jahresmittelwerte grossflächig 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.

Sekundäres PM10, grossräumiger Transport

Tab. 9 > Feinstaub (PM10), Jahresstatistik 2010

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert $\mu\text{g}/\text{m}^3$	max. 24h-Mittelwert $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Anzahl Grenzwert-überschreitungen 24h-Mittelwert
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	27	117	21
	Lausanne-César-Roux	20	82	12
Städtisch	Lugano-Università	21	90	19
	Zürich-Kaserne	20	86	12
Vorstädtisch	Basel-Binningen	18	66	11
	Dübendorf-Empa	18	86	10
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	21	91	13
	Sion-Aéroport-A9	19	62	4
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	19	84	9
	Payerne	16	87	4
	Tänikon	16	81	7
Ländlich, oberhalb 1000 m	Chaumont	9	46	0
	Rigi-Seebodenalp	9	42	0
Hochgebirge	Jungfrauojoch	2	50	1
<i>LRV-Immissionsgrenzwert</i>		20	50	1

Der Tagesgrenzwert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde ebenfalls und zum Teil sehr häufig überschritten. An den Stationen Rigi-Seebodenalp und Chaumont oberhalb 1000 m über Meer, wurden keine Tagesmittelwerte über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registriert.

Tagesgrenzwert zum Teil sehr häufig überschritten

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

Abb. 15 > Feinstaub (PM10) Monatsmittelwerte 2010

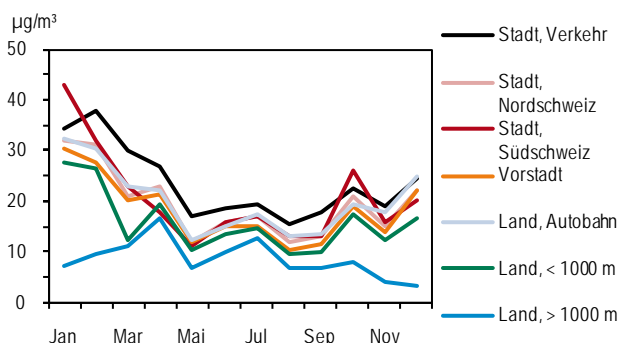
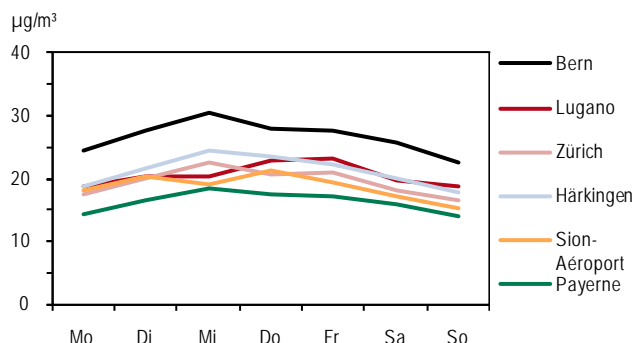


Abb. 16 > Feinstaub (PM10), mittlerer Wochengang 2010



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

Jahresgang:
hohe Werte in den Wintermonaten

4.4 PM2.5 und PM1-Messungen

An 7 NABEL-Stationen werden Messungen der sehr feinen Fraktionen des Feinstaubes durchgeführt (PM2.5 = particulate matter < 2,5 µm, PM1 = particulate matter < 1 µm).

PM2.5 und PM1 Messungen

Die PM2.5-Belastung (Tab. 10) zeigt in den tieferen Lagen der Alpennordseite geringe Unterschiede (12–18 µg/m³). Diese sind noch kleiner als beim PM10. Die Station Bern, die in einer Strassenschlucht liegt, weist die höchste PM2.5-Belastung auf. Es ist davon auszugehen, dass die räumlich homogen verteilte sekundäre Partikelbelastung beim PM2.5 eine noch grössere Rolle spielt als beim PM10. Die PM1-Belastung (Tab. 10) zeigt in den tieferen Lagen der Alpennordseite kleine Unterschiede (9–13 µg/m³). An den stark verkehrsbelasteten Standorten Bern und Härkingen wurde mehr PM1 gemessen als in Basel-Binningen, einem Standort abseits des direkten Einflusses von Strassenverkehr.

Räumliche Unterschiede im PM2.5 und PM1 gering

Das Verhältnis zwischen PM2.5 und PM10-Tagesmittelwerten ist an 2 der tiefgelegenen Stationen sehr ähnlich. Es liegt zwischen 75 % und 77 %. An der Station Payerne ist das Verhältnis mit 68 % aus noch nicht bekannten Gründen deutlich tiefer. An der Station Bern ist das Verhältnis ebenfalls niedriger (67%). In der speziellen Umgebung dieser Strassenschlucht ist der Anteil der Partikel im Bereich 2,5–10 µm, die z. B. durch Reifenabrieb und Aufwirbelung von Strassenstaub entstehen, wesentlich grösser.

Verhältnis PM2.5/PM10

Das Verhältnis der Tagesmittelwerte von PM1 und PM10 ist an allen tiefgelegenen Stationen ähnlich (46–63 %), etwas grösser (68%) ist es auf Rigi-Seebodenalp.

Verhältnis PM1/PM10

Tab. 10 > Feinstaub: PM10, PM2.5 und PM1 Parallelmessungen 2010

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert			Verhältnisse	
		PM10 µg/m ³	PM2.5 µg/m ³	PM1 µg/m ³	PM2.5/PM10 %	PM1/PM10 %
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	27	18	13	67	48
Städtisch	Lugano-Universität	21		13		63
	Zürich-Kaserne	20	15		75	
Vorstädtisch	Basel-Binningen	18	14	10	77	57
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	21		12		56
Ländlich, unterhalb 1000 m	Payerne	16	12	9	68	51
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	9	7	5	81	68

4.5 **Partikelanzahl – Messungen**

Im Rahmen eines Projekts wird an einigen Standorten des NABEL die Partikelanzahlkonzentration gemessen. Die Messungen erfolgen mit einem Kondensationspartikelzähler, der durch geeignete Verdünnung grösstenteils im Einzelzählmodus betrieben wird. Das Messgerät zählt Partikel zwischen 7 nm und 3 µm Grösse. Die meisten Partikel in der Umgebungsluft sind kleiner als 200 nm, in der Nähe von Emissionsquellen von Verbrennungsprozessen sogar kleiner als 100 nm. Damit gibt die gemessene Partikelanzahl ein Mass für die kleinsten Partikel, die nicht nur in die Lunge sondern auch ins Blut eindringen können.

Orientierende Partikelanzahl-Messungen

Die gemessenen Partikelanzahlkonzentrationen zeigen grosse Unterschiede zwischen den verschiedenen Stationstypen (Tab. 11). So werden auf Rigi-Seebodenalp im Jahresmittel rund 3'000 Partikel pro Kubikzentimeter gezählt, unmittelbar an der Autobahn in Härkingen mehr als die achtfache Anzahl. Die sehr feinen Partikel aus Verbrennungsprozessen dominieren in Quellennähe die Partikelanzahlkonzentration.

Grosse räumliche Unterschiede

Auch die maximalen Stundenmittelwerte zeigen deutliche Unterschiede je nach Standorttyp. Unmittelbar an der Autobahn werden rund 150'000 Partikel pro Kubikzentimeter gemessen, noch höhere Werte werden in einer innerstädtischen Strassenschlucht erreicht.

Maximalwerte

Der Wochengang (Abb. 17) der Partikelanzahlkonzentration zeigt an den stark durch Emissionen des Strassenverkehrs beeinflussten Standorten eine deutliche Abnahme am Wochenende. So ist an der Station Härkingen in unmittelbarer Autobahnnähe die Partikelanzahl am Sonntag über ein Drittel tiefer als an Werktagen, was auf den Schwerverkehr als wesentlichen Emittenten von sehr feinen Partikeln hinweist.

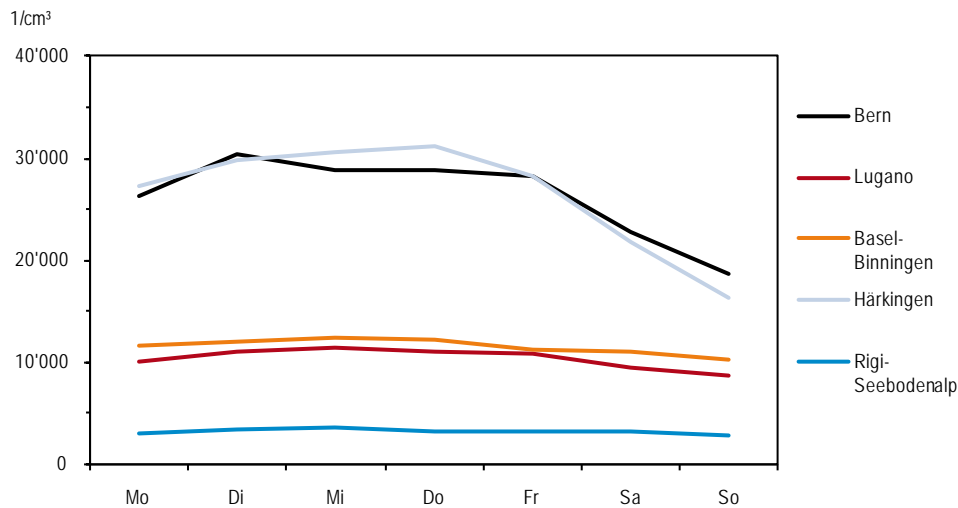
Wochengang

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

Tagesgang

Tab. 11 > Partikelanzahl, Jahresstatistik 2010

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert Partikelanzahl 1/cm ³	Maximaler Stundenmittelwert 1/cm ³	Maximaler Tagesmittelwert 1/cm ³
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	26'400	235'100	74'100
Städtisch	Lugano-Universität	10'400	61'300	34'500
Vorstädtisch	Basel-Binningen	11'500	103'700	30'400
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	26'400	149'700	73'500
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	3'200	117'200	11'200

Abb. 17 > Partikelanzahl-Konzentration, Mittlerer Wochengang, 2010

4.6

Schwefel im Schwebestaub

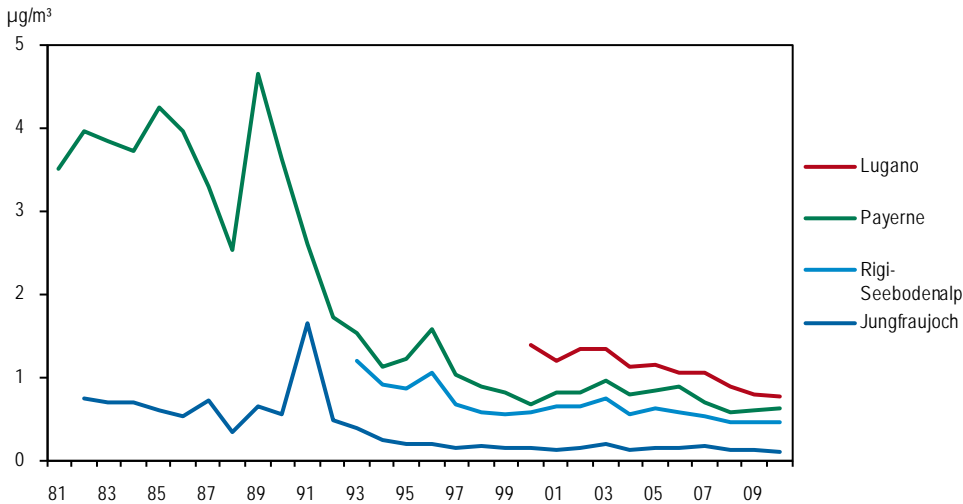
An vier Stationen wird täglich der Schwefelgehalt im Schwebestaub bestimmt. Bis 2010 wurde der partikelgebundenen Schwefels gemessen, indem während 24 Stunden ein bekanntes Probevolumen durch einen Zellulosefilter gesaugt wurde. Aus den Tagesproben dieser Filter wurde der Schwefelgehalt bestimmt. Der Schwefel im Schwebestaub besteht zum überwiegenden Teil aus Sulfat (SO_4^{2-}) und ist zum grössten Teil in Partikeln, die kleiner als $10\ \mu\text{m}$ sind, enthalten. Seit dem 1. August 2010 wird der Schwefelgehalt direkt von den PM10-Filtern bestimmt. Die früheren Messwerte von Zellulosefiltern wurden, mit einem aus Parallelmessungen bestimmten Faktor, an die Schwefelmessungen im PM10 skaliert.

Schwefelbestimmungen auf PM10-Filtern

Tab. 12 > Schwefel und Sulfatgehalt in PM10, Jahresstatistik 2010

Standorttyp	Station	Schwefel im PM10		Sulfatgehalt in PM10	
		Jahresmittelwert $\mu\text{g}/\text{m}^3$	max. 24h-Mittelwert $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Jahresmittelwert $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Anteil Sulfat in PM10 %
Städtisch	Lugano-Universität	0,76	3,8	2,27	11,1
Ländlich, < 1000 m	Payerne	0,61	4,9	1,84	11,3
Ländlich, > 1000 m	Rigi-Seebodenalp	0,46	3,7	1,37	16,1
Hochgebirge	Jungfrauoch	0,10	0,9	0,31	14,1

Abb. 18 > Schwefel im PM10, Jahresmittelwerte 1981–2010



Grossräumige Prozesse bestimmen die räumliche Verteilung des Sulfats, das sich aus Schwefeldioxid bildet und eine Lebensdauer in der Atmosphäre von mehreren Tagen hat. Es ist deshalb von einer relativ homogenen räumlichen Verteilung auszugehen. Der bedeutende Rückgang der Sulfatwerte (Abb. 18) ist nicht nur auf den Rückgang der Schwefeldioxid-Emissionen in der Schweiz, sondern im ganzen mitteleuropäischen Raum zurückzuführen. Die hohen Schwefelwerte auf dem Jungfrauoch 1991 sind wahrscheinlich auf den Ausbruch des Vulkans Pinatubo zurückzuführen.

Homogene räumliche Verteilung

In der Tab. 12 sind die Messwerte des Jahres 2010 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 11–16 % 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 Sulfatgehalt im PM10

4.7 **Bewertung**

Der Jahresgrenzwert für den lungengängigen Feinstaub (PM10) wurde 2010 in den 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

PM10-Grenzwerte in Städten deutlich überschritten

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

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

Massnahmen auf lokaler bis internationaler Ebene erforderlich

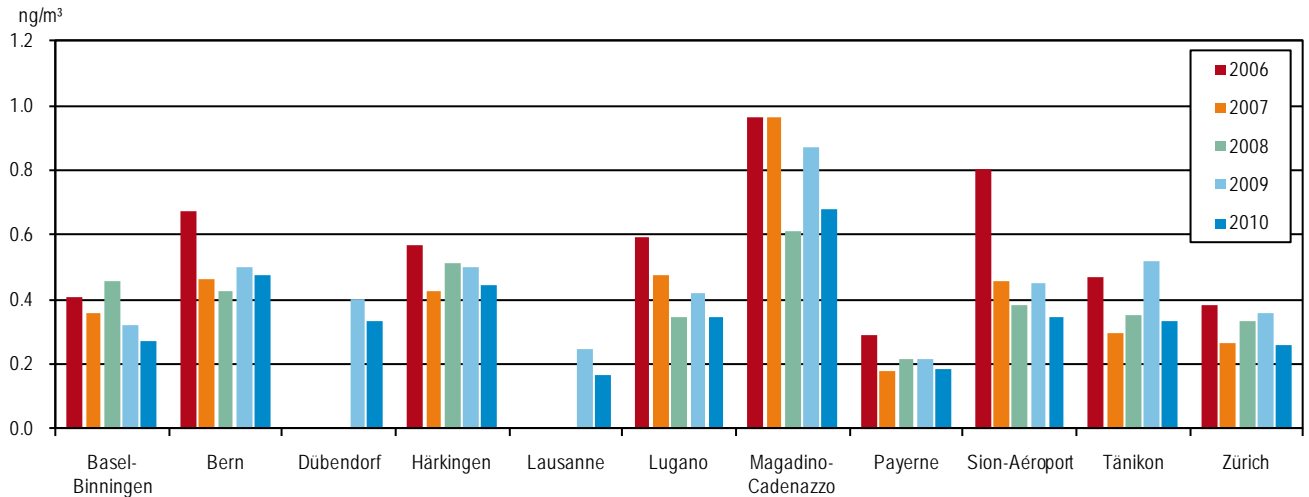
Besondere Anstrengungen braucht es bei den kleinen, krebserregenden Russpartikeln. Für diese Schadstoffe gibt es keine Unbedenklichkeitsschwelle. Gemäss der schweizerischen Gesetzgebung sind die Emissionen des krebserregenden Russes soweit zu begrenzen als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich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

Russpartikel minimieren

4.8 Benzo(a)pyren im Feinstaub

Feinstaub, wie er in der Aussenluft über der Schweiz gemessen wird, besteht aus einer Vielzahl unterschiedlicher chemischer Komponenten. Als besonders gefährlich für die menschliche Gesundheit eingestuft werden unter anderem Schwermetalle (siehe Kapitel 10) und gewisse polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe wie das Benzo(a)pyren. In der europäischen Union wurde in der Richtlinie 2004/107/EG vom 15. Dezember 2004 ein Zielwert für das krebserregende Benzo(a)pyren von 1 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. 19 zeigt die Jahresmittel der Benzo(a)pyren-Konzentrationen für die Jahre 2006 bis 2010. An den meisten Standorten waren die Immissionen im Jahr 2010 tiefer als im Jahr 2006, was parallel verläuft mit der ebenfalls tieferen PM10-Belastung im Jahr 2010. 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 0.68 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 2010). 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. Zudem sind Grenzwerte für die maximal zulässigen Emissionskonzentrationen festgelegt.

Abb. 19 > Jahresmittelwerte der Konzentration von Benzo(a)pyren im PM10



4.9

Russgehalt im Feinstaub

Russ ist nicht nur ein Ärgernis, weil er sich als schmutzige schwarze Schicht auf Fenstern niederschlägt. Die mikroskopisch kleinen Russpartikel dringen tief in die Lunge ein und 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 im Jahre 2007 an vier NABEL-Stationen Russ-Messungen mit einem MAAP (Multi Angle Absorption Photometer) aufgenommen.

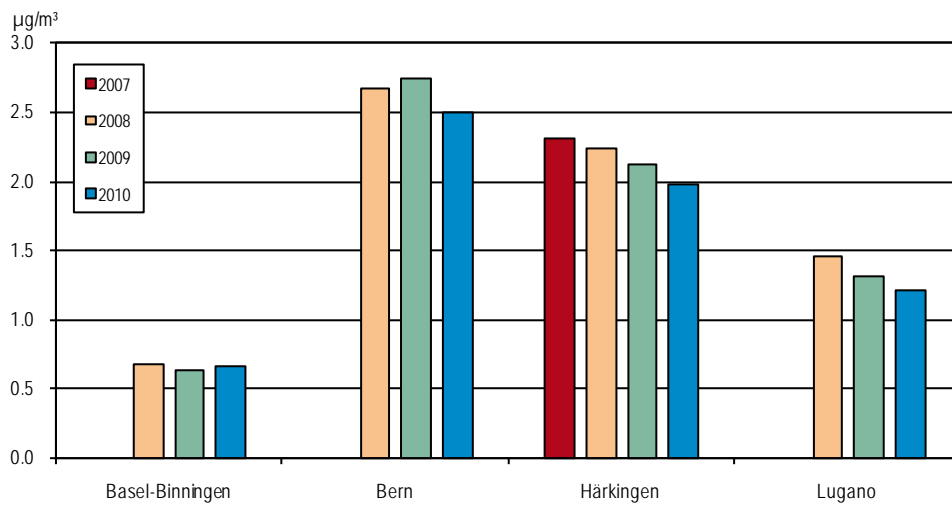
Der Begriff Russ umfasst alle primären, kohlenstoffhaltigen Partikel eines unvollständigen Verbrennungsprozesses. Er besteht vor allem aus elementarem (schwarzem) Kohlenstoff (elemental carbon, EC) und organischen Verbindungen, die als organischer Kohlenstoff (organic carbon, OC) gemessen werden. In Immissionsmessungen wird oft der elementare Kohlenstoff allein als Russ bezeichnet. Die Abgrenzung von EC zu organischen Kohlenstoffverbindungen ist allerdings nicht exakt definiert und wird durch die Messmethode beeinflusst. Im Rahmen des Europäischen Komitees für Normierung CEN (TC264 WG35) wird derzeit ein Referenzverfahren zur Messung von elementarem Kohlenstoff festgelegt. Es steht bereits ein provisorisches Verfahren zur Verfügung, das sogenannte thermisch-optische Verfahren (TOT) mit dem EU-SAAR-2 Temperaturprotokoll. Die im Folgenden präsentierten Messwerte von Russ (EC) sind an dieses Verfahren angepasst (das früher in der Schweiz häufig gebrauchte VDI-Verfahren, nach Richtlinie 2465 Blatt 2, liefert in der Regel höhere EC-Werte als das TOT/EUSAAR-2 Verfahren). Die Tab. 13 zeigt eine Übersicht der Russ-Messwerte des Jahres 2010. Abb. 20 zeigt die Entwicklung der Russbelastung über die letzten Jahre. Entlang von stark befahrenen Strassen ist die Russbelastung deutlich

grösser als im städtischen oder vorstädtischen Hintergrund. Dort bildet der Russ auch einen wesentlich grösseren Anteil an der Massenkonzentration PM1 als an nicht unmittelbar verkehrsbelasteten Standorten.

Tab. 13 > Russ im PM1 als EC gemäss TOT/EUSAAR-2 Verfahren, Jahresstatistik 2010

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Maximaler Tagesmittelwert $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Anteil Russ am PM1 %
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	2,5	6,3	19
Städtisch	Lugano-Universität	1,2	4,6	10
Vorstädtisch	Basel-Binningen	0,7	2,8	6
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	2,0	5,4	17

Abb. 20 > Jahresmittelwerte der Russkonzentration im PM1 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 hauptsächlichste Quelle für dieses natürliche Ozon ist der Transport von Ozon aus der Stratosphäre in die Troposphäre. Daneben kommt als weitere Quelle eine photochemische Bildung auf Grund der natürlichen Emissionen von Stickoxiden, flüchtigen organischen Verbindungen, Kohlenmonoxid und Methan in Frage. Die heute in der freien Troposphäre zu beobachtenden Ozonkonzentrationen, die oft als Ozon-Hintergrundbelastung bezeichnet werden, liegen um mindestens einen Faktor 2 über diesem Niveau. Diese Hintergrundbelastung darf nicht mit dem natürlichen Ozongehalt der Atmosphäre verwechselt werden.

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 dem NO₂ und den VOC auch Kohlenmonoxid und Methan eine wesentliche Rolle.

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

Ozontrends der 90er-Jahre

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

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

Quantile der Ozonverteilung

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

Hohe Ozonwerte rückläufig,
Mittelwerte ansteigend

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

Zunahme der Ozonmittelwerte in
Städten

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

Zunahme der Ozonmittelwerte in
erhöhten Lagen

Die Trends, wie sie in den Abb. 21 dokumentiert sind, stimmen gut mit der theoretisch zu erwartenden Ozonentwicklungen überein, wie sie in Ozonmodellen berechnet werden. Zwischen 1990 und 2010 haben die gesamtschweizerischen NO_x -Emissionen um 45% und die NMVOC-Emissionen um 65% 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. 22 und Abb. 23 sind die beiden Zeitreihen dargestellt, die sich auf die Grenzwerte der LRV beziehen. Beide Zeitreihen zeigen keine signifikante Zu- oder Abnahme. Die lang anhaltenden Schönwetterperioden des Jahres 2003 bewirkten zahlreiche Überschreitungen des Immissionsgrenzwerts, aber nur leicht erhöhte 98%-Werte.

Abb. 21 > Statistik der Ozon-Stundenmittelwerte

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

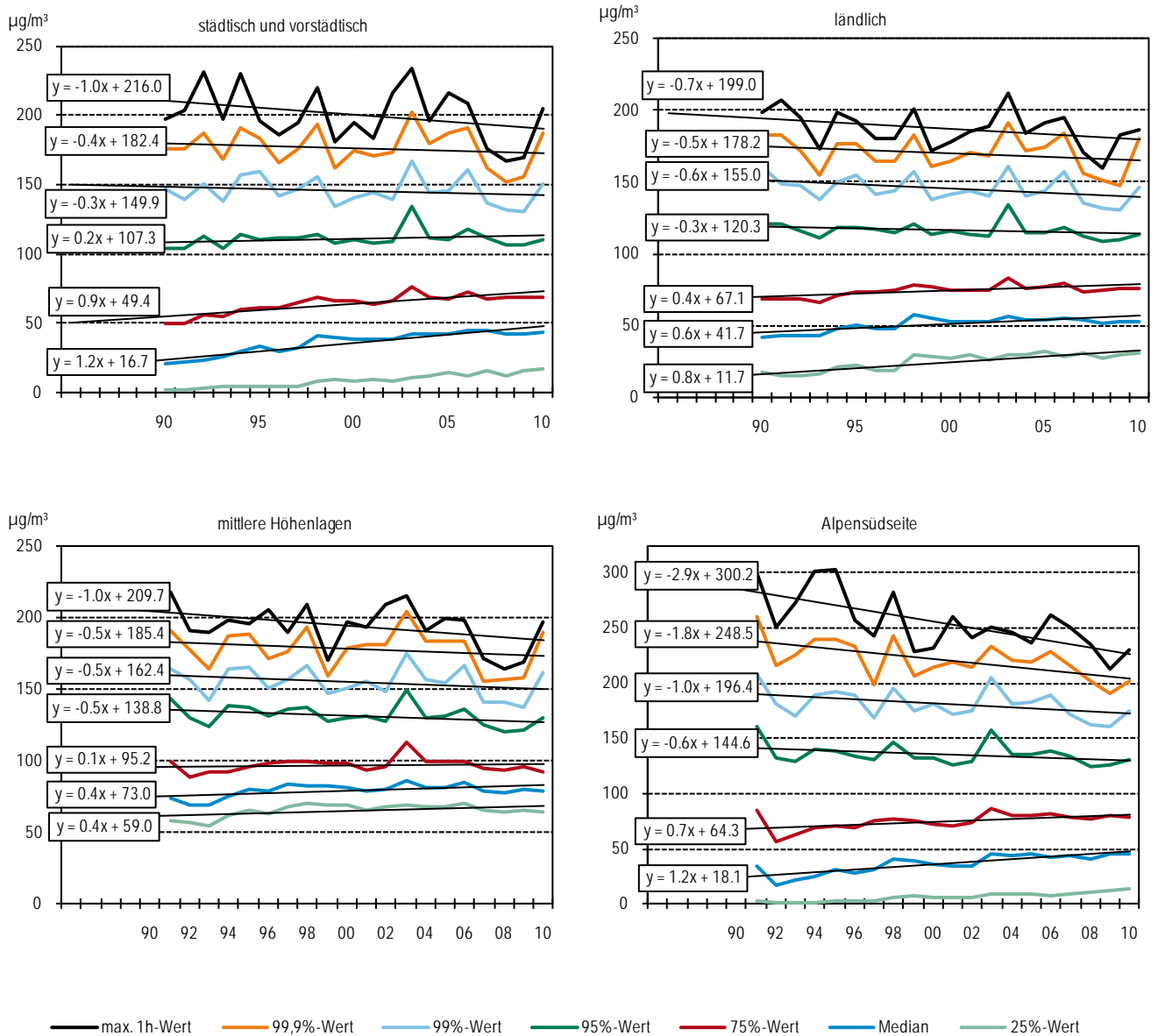


Abb. 22 > Ozon, 98%-Werte des ozonreichsten Sommermonats 1990–2010

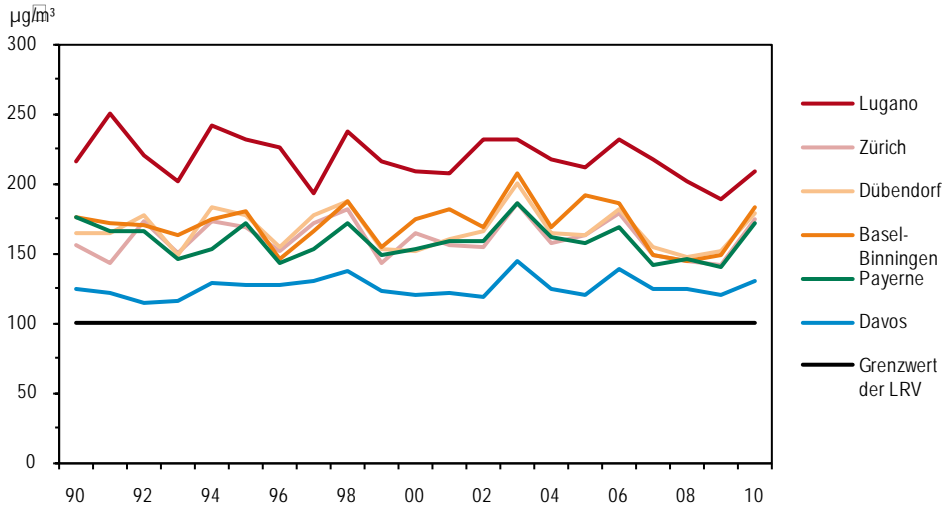
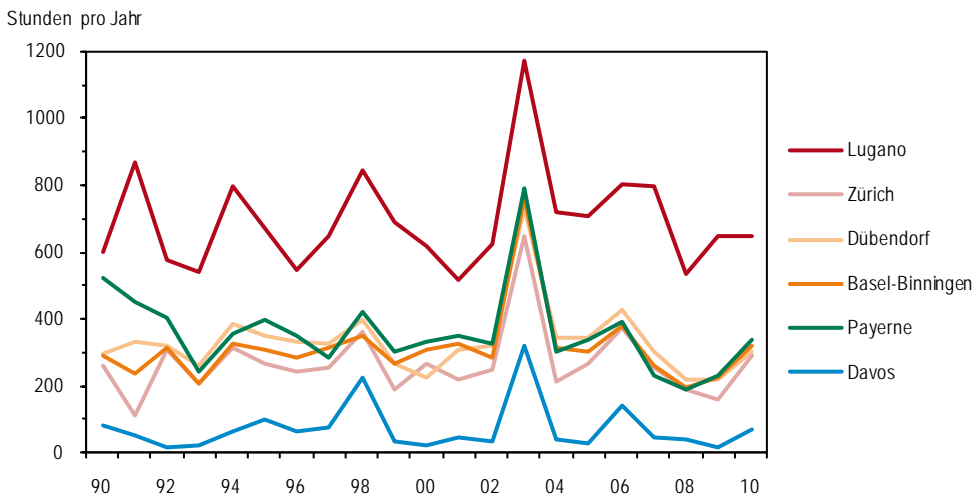


Abb. 23 > Ozon, Anzahl Überschreitungen des 1h-Immissionsgrenzwertes 1990–2010



5.3

Situation 2010

Die Jahresstatistik 2010 (Tab. 14) zeigt, dass die Ozongrenzwerte der Luftreinhalteverordnung (maximaler Stundenmittelwert von 120 µg/m³, 98 %-Wert der Summenhäufigkeit der Halbstundenmittelwerte eines Monats von 100 µg/m³) wie in den Vorjahren an allen Stationen und zum Teil erheblich überschritten wurden. Die Grenzwertüberschreitungen traten hauptsächlich zwischen März und September auf, mit maximalen Häufigkeiten von Mai bis Juli.

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. 14 > Ozon (O3), Jahresstatistik 2010

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert µg/m ³	max. 98 %-Wert µg/m ³	max. Stundenmittelwert µg/m ³	Anz. Grenzwertüberschreitungen (1h-Wert)	Anzahl Tage mit max. 1h-Mittelwert			max. 8h-Mittelwert µg/m ³	Anzahl Tage mit max. 8h-Mittelwert	
						> 120 µg/m ³	> 180 µg/m ³	> 240 µg/m ³		> 100 µg/m ³	> 120 µg/m ³
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	35	139	168	102	18	0	0	150	33	13
	Lausanne-César-Roux	47	145	165	97	23	0	0	157	39	10
Städtisch	Lugano-Università	54	209	257	647	84	24	1	225	113	63
	Zürich-Kaserne	46	174	201	290	44	3	0	178	61	33
Vorstädtisch	Basel-Binningen	49	183	209	320	42	7	0	195	56	35
	Dübendorf-Empa	44	178	206	302	49	5	0	180	59	35
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	36	168	209	167	32	3	0	192	43	17
	Sion-Aéroport-A9	42	151	177	168	35	0	0	148	63	22
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	50	181	204	525	81	10	0	187	102	59
	Payerne	56	171	188	336	45	3	0	181	66	37
	Tänikon	54	173	186	308	50	2	0	175	64	36
	Lägeren	67	172	192	505	52	2	0	183	80	43
Ländlich, oberhalb 1000 m	Chaumont	81	180	190	666	52	5	0	184	102	47
	Rigi-Seebodenalp	77	180	204	590	45	6	0	189	91	44
	Davos-Seehornwald	67	130	141	70	11	0	0	133	51	6
Hochgebirge	Jungfrauoch	74	114	154	13	5	0	0	124	23	3
<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 A4).

5.4 Ozon Jahresgang

Ozon zeigt einen typischen Jahresgang, der sich grundlegend von den meisten anderen Schadstoffen unterscheidet (Abb. 24 und Abb. 25). Im Sommer werden bedeutend höhere Konzentrationen gemessen als im Winter. Die Darstellung der Monatsmittelwerte (Abb. 24) zeigt, dass die tiefsten mittleren sommerlichen Ozonwerte an den stark verkehrsbeeinflussten Stationen (Ozonabbau durch Stickstoffmonoxid) auftreten, die höchsten Werte dagegen an den Stationen in mittlerer Höhenlage (Chaumont und Rigi-Seebodenalp).

Höchste Monatsmittelwerte an Stationen in mittlerer Höhenlage

Der April hatte ausserordentlich viele Sonnenstunden und wies entsprechend hohe Ozonwerte auf (Abb. 24).

Hohe Ozonwerte im April

Abb. 24 > Ozon (O₃), Monatsmittelwerte an Standorttypen, 2010

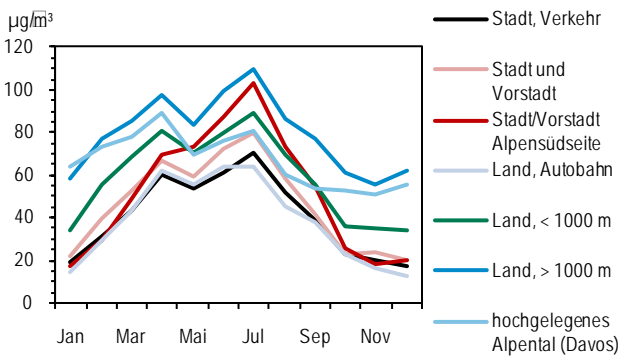
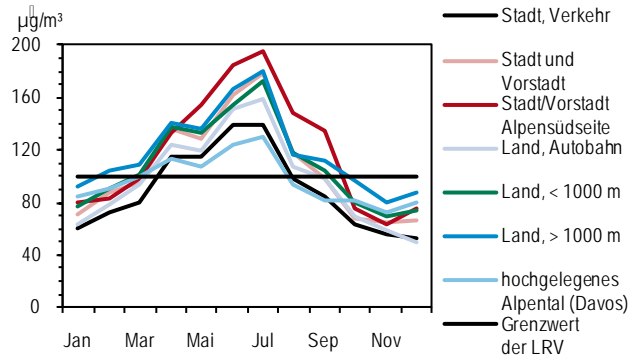


Abb. 25 > Ozon (O₃), monatliche 98%-Werte an Standorttypen, 2010



5.5 Bewertung

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

Lösung des Ozon-Problems erfordert massive Reduktion der Vorläuferschadstoffe

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

Dauerhaft wirksame Massnahmen notwendig

6 > Flüchtige organische Verbindungen

6.1 Entstehung und Charakterisierung

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 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.

Messtechnik

Die Immissionsentwicklung seit 1986 (Abb. 26) ist für die Erfolgskontrolle von speziellem Interesse. Beide Stationen mit langen Messreihen zeigen eine Abnahme um rund 75 % seit Ende der 80er Jahre. In Tab. 15 sind die wichtigsten Messwerte des Jahres 2010 zusammengestellt.

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

Die Messungen in Lugano deuten auf eine höhere Belastung der Alpen Südseite 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.

Höhere Werte im Tessin

Tab. 15 > Nichtmethan-VOC (ausgedrückt als Methanäquivalent), Jahresstatistik 2010

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert µgCH ₄ /m ³	95 %-Wert µgCH ₄ /m ³	max. 24h-Mittelwert µgCH ₄ /m ³
Städtisch	Lugano-Universität	89	190	275
	Zürich-Kaserne	42	105	145
Vorstädtisch	Dübendorf-Empa	46	130	174

Abb. 26 > Nichtmethan-VOC (ausgedrückt als Methanäquivalent), Jahresmittelwerte 1986–2010



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 den Tab. 16 bis Tab. 18 sind die Jahresstatistiken sämtlicher C₆–C₈-Aromaten der Stationen Dübendorf, Zürich und Rigi-Seebodenalp zusammengestellt. An der städtischen Station werden die höchsten Aromaten-Konzentrationen gemessen. Ländlich, über 1000 m, sind die Konzentrationen erheblich geringer als in der Region Zürich.

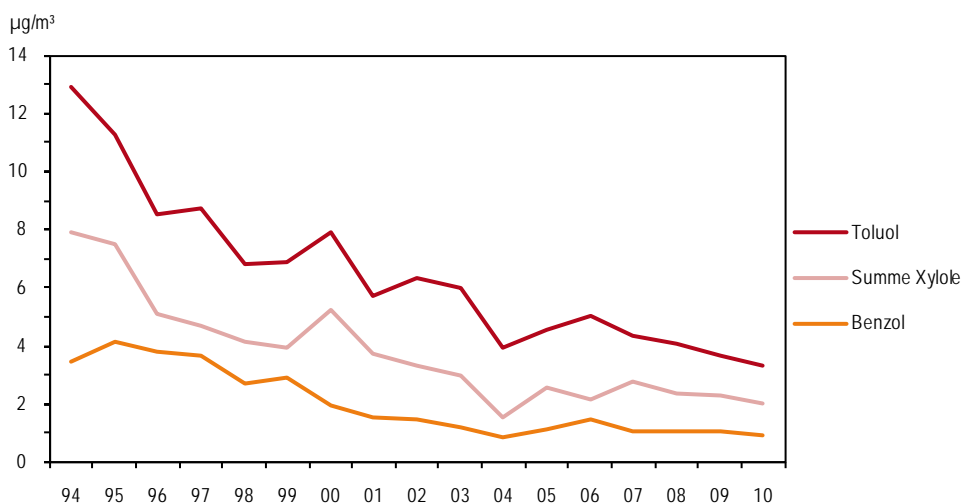
Die Messung einzelner VOC-Komponenten erfolgt mit einer wesentlich aufwändigeren Messtechnik als die Messung anderer Spurengase. Deshalb ist die Datenverfügbarkeit geringer. Da alle Jahreszeiten genügend abgedeckt sind, ist die verlässliche Berechnung von Jahreswerten dennoch möglich.

Die Konzentration von Toluol hat seit 1994 deutlich abgenommen (Abb. 27). Die Benzolwerte sind zwischen 1994 und 1999 nur wenig zurückgegangen. Zwischen 1999 und 2001 wurde dagegen ein deutlicher Rückgang beobachtet. Dieses Verhalten wurde auch an kantonalen Stationen beobachtet, die zum grossen Teil mit Passivsammlern messen. Der Rückgang zwischen 1999 und 2001 betrug im Mittel über 9 Stationen 30%. Die stärkste Abnahme wurde an strassennahen Standorten beobachtet. Die Hauptursache dieses Rückgangs ist die Reduktion des Benzolgehalts im Benzin.

Benzol, Toluol und Xylol als wichtigste aromatische Verbindungen

Deutliche Abnahme der Benzolbelastung zwischen 1999 und 2001

Abb. 27 > Aromatische Verbindungen, Jahresmittelwerte 1994–2010, Dübendorf



Tab. 16 > Aromatische Verbindungen, Jahresstatistik 2010, Dübendorf

		Jahresmittelwert	95 %-Wert	98 %-Wert	Anz. 1h-Mittel
Benzol	µg/m ³	0,94	2,50	2,94	7256
Toluol	µg/m ³	3,32	10,02	13,88	7343
Ethylbenzol	µg/m ³	0,46	1,39	1,82	6280
m/p-Xylol	µg/m ³	1,54	4,59	5,78	7094
o-Xylol	µg/m ³	0,49	1,53	2,03	6063

Tab. 17 > Aromatische Verbindungen, Jahresstatistik 2010, Zürich

		Jahresmittelwert	95 %-Wert	98 %-Wert	Anz. 1h-Mittel
Benzol	µg/m ³	1,04	2,71	3,22	7423
Toluol	µg/m ³	3,51	8,54	11,45	7417
Ethylbenzol	µg/m ³	0,54	1,33	1,69	7015
m/p-Xylol	µg/m ³	1,84	4,93	6,32	7016
o-Xylol	µg/m ³	0,67	1,76	2,25	7012

Tab. 18 > Aromatische Verbindungen, Jahresstatistik 2010, Rigi-Seebodenalp

		Jahresmittelwert	95 %-Wert	98 %-Wert	Anz. 2h-Mittel
Benzol	µg/m ³	0,51	1,69	2,47	4252
Toluol	µg/m ³	0,60	1,70	2,12	4228
Ethylbenzol	µg/m ³	0,12	0,31	0,39	3961
m/p-Xylol	µg/m ³	0,28	0,78	1,02	3860
o-Xylol	µg/m ³	0,11	0,29	0,37	3687

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. Humantoxikologisch ist das krebserregende 1,3-Butadien von 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 (Tab. 19) und auf Rigi-Seebodenalp (Tab. 20) gemessen.

Messungen

Tab. 19 > Gesättigte und ungesättigte Kohlenwasserstoffe, Jahresstatistik 2010, Zürich

	Jahresmittelwert in µg/m ³	95 %-Wert in µg/m ³	98 %-Wert in µg/m ³	Anzahl 1h-Mittel
Ethan	3,09	6,50	8,00	7424
Propan	2,50	6,03	7,73	7417
n-Butan	2,24	5,59	7,20	7367
n-Pentan	1,20	2,89	3,54	7416
n-Hexan	0,35	0,80	1,00	7399
Heptan	0,56	1,45	1,87	7416
Isobutan	1,26	3,06	4,04	7363
Isopentan	2,68	6,80	8,71	7383
Summe Isohexane	2,24	5,64	7,19	7426
Summe Isoheptane	1,71	4,41	5,63	7396
Ethen	1,73	4,86	6,03	7424
Propen	0,57	1,48	1,85	7011
Summe Butene	0,65	1,64	2,17	6854
Summe Pentene	0,44	1,26	1,66	6623
Ethin	0,93	2,43	2,91	7259
Isopren	0,22	0,57	0,77	7425
1,3-Butadien	0,12	0,29	0,36	7250

Tab. 20 > Gesättigte und ungesättigte Kohlenwasserstoffe, Jahresstatistik 2010, Rigi-Seebodenalp

	Jahresmittelwert in µg/m ³	95 %-Wert in µg/m ³	98 %-Wert in µg/m ³	Anzahl 2h-Mittel
Ethan	2,10	4,20	5,20	4263
Propan	1,23	3,16	4,19	4262
n-Butan	0,63	1,73	2,16	4257
n-Pentan	0,43	1,22	1,60	4245
n-Hexan	0,10	0,25	0,33	4162
Isobutan	0,36	1,00	1,24	4252
Isopentan	0,62	1,49	1,82	4259
Summe Isohexane	0,52	1,26	1,50	4250
Summe Isoheptane	0,26	0,77	0,95	3914
Ethen	0,60	2,18	3,41	4263
Propen	0,13	0,39	0,57	4261
Summe Butene	0,18	0,33	0,40	4246
Summe Pentene	0,07	0,15	0,18	4217
Ethin	0,47	1,51	2,36	4257
Isopren	0,12	0,50	0,85	3440
1,3-Butadien	0,03	0,07	0,10	4232

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 durchgeführt (www.empa.ch/plugin/template/empa/*/101463).

Messungen an NABEL-Stationen

Einige Beispiele für die auf dem Jungfraujoch gemessenen Konzentrationen von halogenierten Verbindungen sind in Abb. 28 und Abb. 29 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. 28).

Erlaubte Substanz F134a

Abb. 28 > F134a, Tagesmittelwerte 2000 bis 2010 auf dem Jungfraujoch

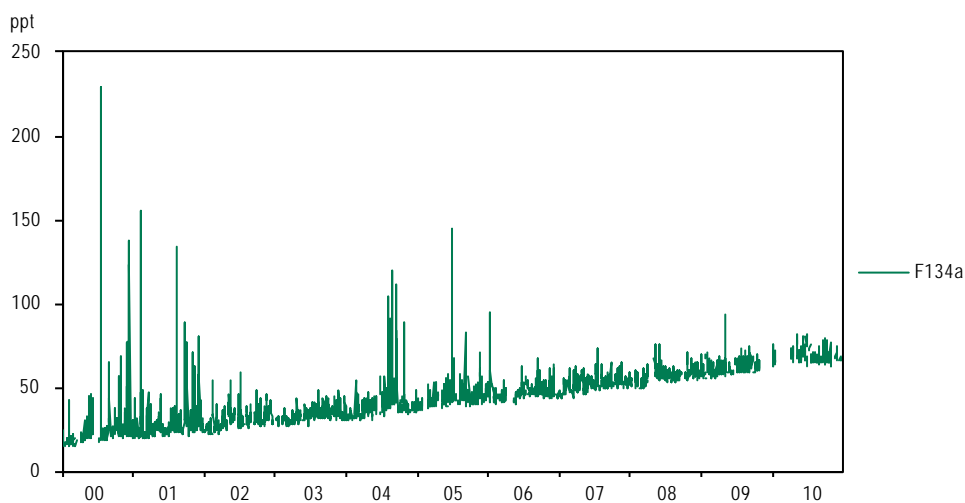
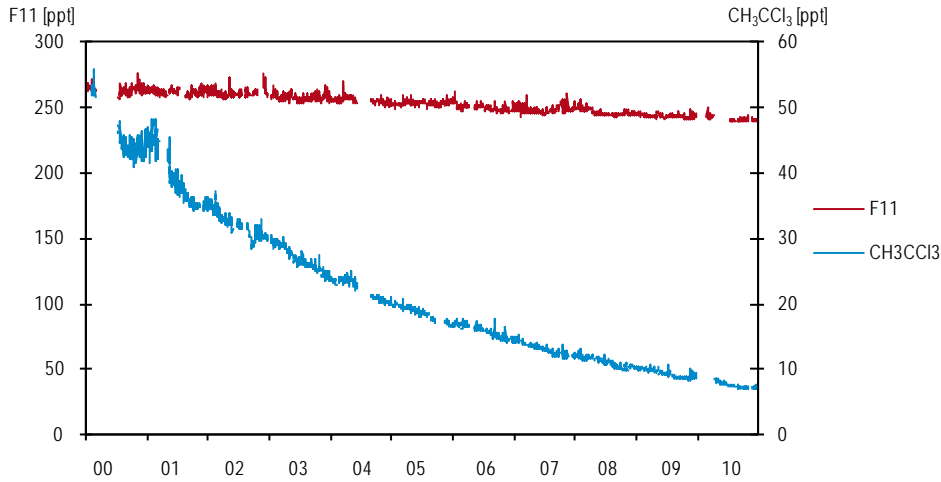


Abb. 29 > 1,1,1-Trichlorethan und F11: Tagesmittelwerte von 2000 bis 2010 auf dem Jungfraujoch

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. 29). Es werden keine ausgeprägten Konzentrationsspitzen gemessen, was darauf hindeutet, dass in Europa keine Quellen von F11 vorhanden sind.

Verbotene langlebige Substanz
F11

Das als Lösungsmittel verwendete 1,1,1-Trichlorethan (CH_3CCl_3) ist gemäss dem Montrealer Protokoll ebenfalls in Produktion und Anwendung eingeschränkt. Wegen seiner kürzeren Lebenszeit in der Atmosphäre ist bereits ein deutlicher Rückgang der Konzentration in den letzten 10 Jahren zu beobachten (Abb. 29).

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 Benzindampfdruckführung 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

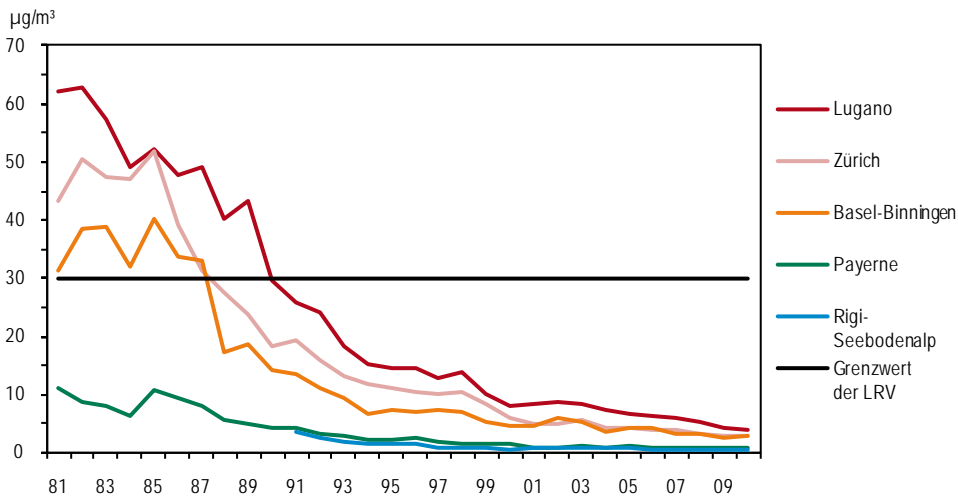
Schwefeldioxid ist ein farbloses, in höheren Konzentrationen stechend riechendes, gut wasserlösliches Reizgas. Es entsteht vor allem beim Verbrennen schwefelhaltiger Brenn- und Treibstoffe. Das Maximum der Schwefeldioxidemissionen wurde 1980 erreicht. Die Emissionen sind seither auf weniger als ein Sechstel 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. SO₂ ist auch stark phytotoxisch. Es ist zudem eine wichtige Vorläufersubstanz für die Bildung von sauren Niederschlägen.

7.2 Zeitliche Entwicklung

Abb. 30 > Schwefeldioxid (SO₂), Jahresmittelwerte 1981–2010



Die Schwefeldioxid-Belastung nahm zwischen 1985 und 1994 sehr stark ab (Abb. 30). Seit Mitte der 90er-Jahre ist die Abnahme geringer. Die SO₂-Belastung liegt heute an allen NABEL-Stationen auf tiefem Niveau, deutlich unter dem Immissionsgrenzwert von 30 µg/m³. Auch an den ländlichen Stationen und an der Hochgebirgsstation Jungfrauoch war die Belastung deutlich rückläufig. Seit Mitte der 80er-Jahre hat die SO₂-Belastung an allen Stationen um über 90 % abgenommen.

Abnahme der Immissionen
um über 90 %

7.3 Situation 2010

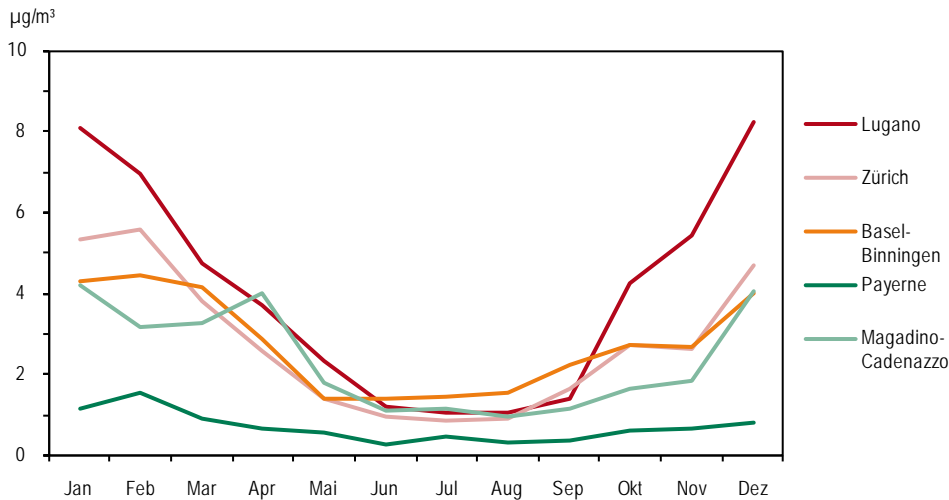
Die SO₂-Messergebnisse des Jahres 2010 sind in der Tab. 21 zusammengestellt. Im NABEL sind keine Überschreitungen des Jahresgrenzwertes aufgetreten. Der 95 %-Wert als Mass für die Kurzzeitbelastung lag ebenfalls bei allen Stationen deutlich unter dem Grenzwert von 100 µg/m³. Dasselbe gilt für die höchsten Tagesmittelwerte.

Generell tiefe Belastung

Tab. 21 > Schwefeldioxid (SO₂), Jahresstatistik 2010

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	4,0	12	15	0
	Zürich-Kaserne	2,8	8	12	0
Vorstädtisch	Basel-Binningen	2,8	10	12	0
	Dübendorf-Empa	2,1	6	9	0
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	1,2	3	7	0
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	2,4	7	11	0
	Payerne	<1	2	7	0
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	<1	1	4	0
Hochgebirge	Jungfrauoch	<1	<1	6	0
<i>LRV-Immissionsgrenzwert</i>		<i>30</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>1</i>

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. 31 > Schwefeldioxid (SO₂), Monatsmittelwerte 2010

Die Abb. 31 zeigt mittlere Jahrgänge an 5 Stationen. Charakteristisch für die Immissionsbelastung durch Schwefeldioxid ist der ausgeprägte Jahrgang. Im Winter – d. h. während der Heizperiode und bei ungünstigeren atmosphärischen Ausbreitungsbedingungen (z. B. Inversionslagen) – werden bedeutend höhere Konzentrationen gemessen als im Sommer. Dieser Jahrgang 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 2010 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 stärksten 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.

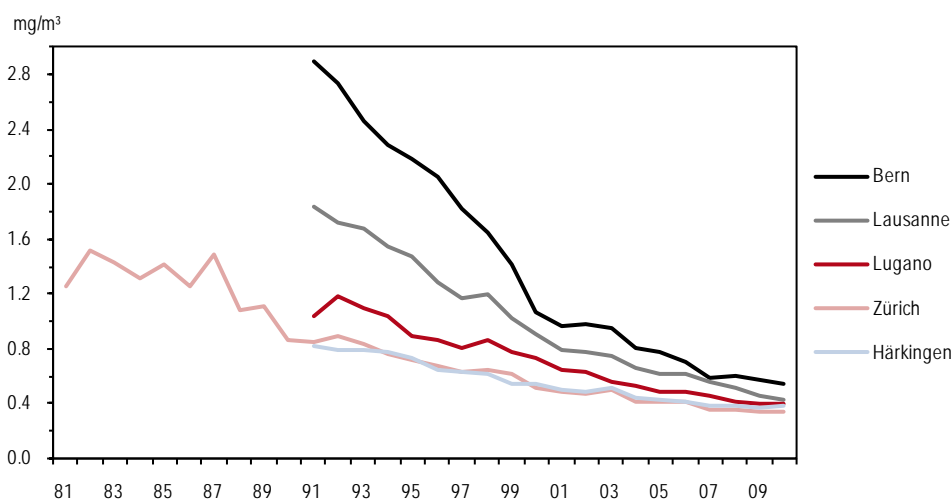
Wirkung

8.2 Zeitliche Entwicklung

Hinsichtlich der Belastung durch Kohlenmonoxid lässt sich an allen stark belasteten Stationen eine deutliche Abnahme seit 1990 erkennen (Abb. 32), welche aber in den letzten Jahren abgeflacht ist. Die beiden strassennahen Stationen in den Stadtzentren (Bern und Lausanne) zeigen die stärkste Abnahme.

Rückgang der Immission um rund
60 % seit 1992

Abb. 32 > Kohlenmonoxid (CO), Jahresmittelwerte 1981–2010



8.3 **Situation 2010**

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 0,54 mg/m³ die höchste Belastung (Tab. 22) auf. Die Jahresmittelwerte des autobahn-nahen 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 Bern 1,4 mg/m³. Die Werte der übrigen Stationen lagen noch tiefer.

Grenzwerte deutlich eingehalten

Tab. 22 > Kohlenmonoxid (CO), Jahresstatistik 2010

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	0,54	1,0	1,4	0
	Lausanne-César-Roux	0,43	0,8	0,9	0
Städtisch	Lugano-Universität	0,40	0,9	1,2	0
	Zürich-Kaserne	0,34	0,7	0,9	0
Vorstädtisch	Dübendorf-Empa	0,30	0,7	1,0	0
Ländlich, Autobahn	Härkingen_A1	0,38	0,7	1,0	0
Ländlich, unterhalb 1000 m	Payerne	0,25	0,5	0,7	0
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	0,21	0,4	0,6	0
Hochgebirge	Jungfrauoch	0,11	0,2	0,2	0
<i>LRV-Immissionsgrenzwert</i>				8,0	1

Abb. 33 > Kohlenmonoxid (CO), Monatsmittelwerte 2010

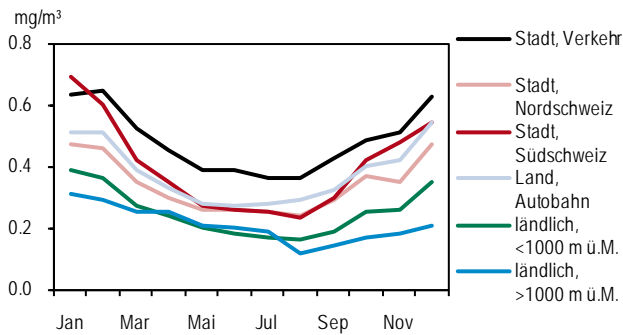
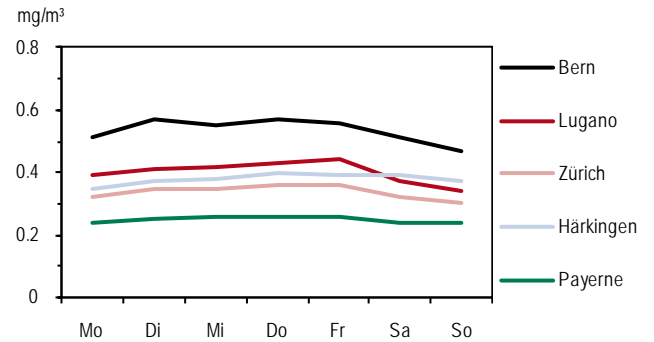


Abb. 34 > Kohlenmonoxid (CO), mittlerer Wochengang 2010



Der Jahresgang der Kohlenmonoxid-Belastung (Abb. 33) ist nur wenig ausgeprägt. Ähnliches gilt für den Wochengang (Abb. 34). 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 > 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. 35).

Staubniederschlag heute nicht mehr von grosser Bedeutung

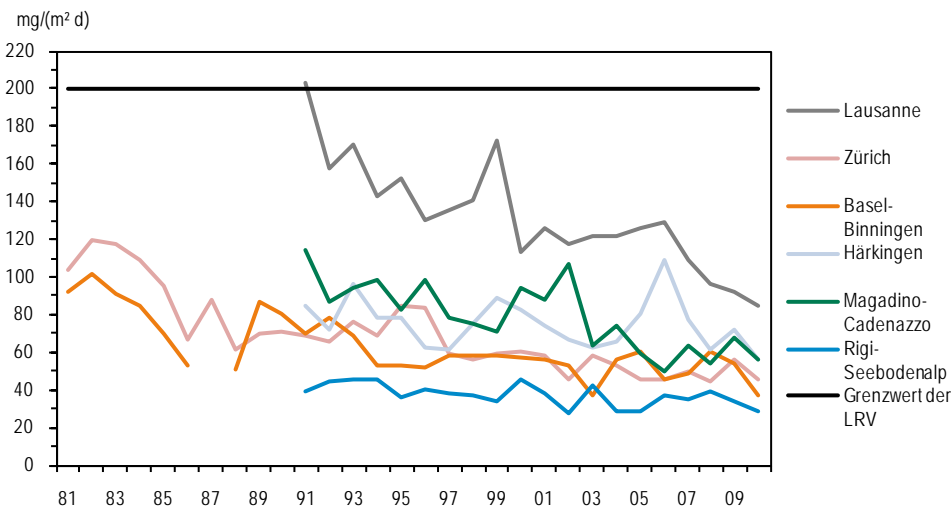
Die höchsten Staubniederschlagswerte werden an den verkehrsexponierten, städtischen Standorten gemessen (Tab. 23, Abb. 35). Der höchste gemessene Jahresmittelwert (Lausanne-César-Roux: 85 mg/(m² d)) liegt jedoch deutlich unterhalb des Grenzwertes. Auffallend ist die relativ hohe Belastung der Station Magadino-Cadenazzo.

Grenzwerte eingehalten

Tab. 23 > Staubniederschlag, Jahresstatistik 2010

Standorttyp	Station	Jahresmittelwert mg/(m ² d)
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	76
	Lausanne-César-Roux	85
Städtisch	Zürich-Kaserne	46
Vorstädtisch	Basel-Binningen	37
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	56
	Payerne	25
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	29
<i>LRV-Immissionsgrenzwert</i>		200

Abb. 35 > Staubniederschlag, Jahresmittelwerte 1981–2010



10 > Schwermetalle im Schwebstaub und im Staubniederschlag

Abgesehen von einigen Schwermetall-Verbindungen und dem flüchtigen Element Quecksilber treten Schwermetalle in der Atmosphäre überwiegend an feine, luftgetragene Schwebstaubteilchen 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. Kadmium). Schwermetalle erweisen sich in mehrfacher Hinsicht als umweltgefährdend: Schwermetalle sind nicht abbaubar; Schwermetalle werden über mineralische und biologische Prozesse angereichert und in der Umwelt gespeichert; Schwermetalle können direkt oder über die Nahrungskette aufgenommen werden und akute oder chronische Schäden hervorrufen.

Wirkungen von erhöhten Schwermetallwerten

10.1 Blei

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

Emissionen um den Faktor 20 zurückgegangen

Die Konzentrationen von schwebstaubgebundenem Blei sind seit 1988 an den meisten Standorten sehr stark zurückgegangen (Abb. 36). Dasselbe gilt für die Bleidepositionen im Staubniederschlag (Abb. 37). Die Bleibelastung hat seit 1991 im Mittel um einen Faktor 3–10 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/m^3 als Jahresmittelwert festgelegt worden. Vergleichsmessungen zwischen TSP und PM10 zeigen, dass das Blei praktisch vollständig in der PM10-Fraktion des Schwebstaubs enthalten ist. Die bisherigen Bleimessungen im TSP (Abb. 36) können somit mit einer geringfügigen Korrektur auch als Bleimessungen im PM10 interpretiert werden.

Abb. 36 > Blei im Schwebestaub (PM10, vor 1997 TSP), Jahresmittelwerte 1988–2010 (Grenzwert: 500 ng/m³)

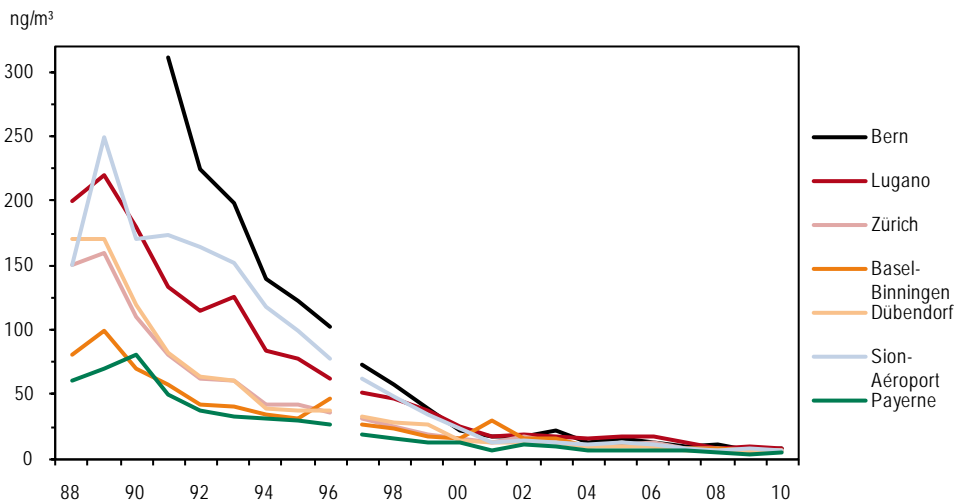
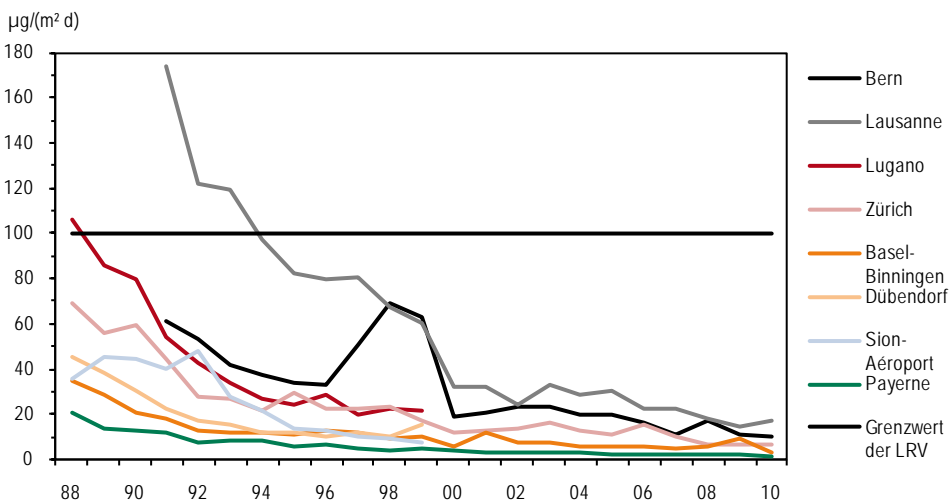


Abb. 37 > Blei im Staubniederschlag, Jahresmittelwerte 1988–2010



Wie aus Tab. 24 ersichtlich ist, wird der Grenzwert von 500 ng/m³ für die Bleikonzentration im Schwebstaub heute an allen Stationen weit unterschritten. Die Bleideposition im Staubniederschlag (Tab. 25, Abb. 37) ist an den städtischen verkehrsexponierten Stationen am höchsten. Die maximal gemessenen Werte in Bern und Lausanne betragen 10 resp. 17 µg/(m² d). Sie liegen deutlich unter dem Grenzwert von 100 µg/(m² d). An den übrigen Standorten des NABEL sind die Werte noch tiefer (2–16 µg/(m² d)).

Grenzwerte weit unterschritten

Tab. 24 > Schwermetalle im Schwebestaub (PM10), Jahresstatistik 2010

Standorttyp	Station	Jahresmittelwerte				
		Blei ng/m ³	Kadmium ng/m ³	Arsen ng/m ³	Nickel ng/m ³	Kupfer ng/m ³
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	7,8	0,18	0,42	2,40	66,3
	Lausanne-César-Roux	6,5	0,10	0,40	1,10	31,7
Städtisch	Lugano-Universität	8,3	0,16	0,41	1,60	14,0
	Zürich-Kaserne	6,3	0,11	0,35	0,90	23,5
Vorstädtisch	Basel-Binningen	6,2	0,16	0,38	1,10	8,1
	Dübendorf_Empa	5,6	0,10	0,33	0,90	19,4
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	7,2	0,11	0,41	1,30	31,7
	Sion-Aéroport-A9	6,3	0,09	0,34	1,00	23,4
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	6,7	0,13	0,49	1,60	9,4
	Payerne	4,9	0,08	0,47	0,50	4,8
	Tänikon	5,5	0,10	0,28	0,30	5,6
Ländlich, oberhalb 1000 m	Chaumont	2,5	0,05	0,16	0,40	1,5
	Rigi-Seebodenalp	3,9	0,05	0,17	0,10	1,9
Hochgebirge	Jungfrauoch	<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

10.2

Kadmium

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

Quellen von Kadmium

Die Kadmiumbelastung im Schwebestaub (Abb. 38) hat sich seit 1991 mehr als halbiert. Die Kadmiumbelastung im Staubniederschlag (Abb. 39) ist ebenfalls, wenn auch nicht im selben Ausmass, zurückgegangen. Die sehr hohen Kadmiumdepositionen in Lausanne in den Jahren 1995 und 2001 dürfen als Einzelereignisse, wahrscheinlich verursacht durch lokale Sanierungsarbeiten, erklärt werden.

Kadmiumbelastung halbiert

Abb. 38 > Kadmium im Schwebestaub (PM10, vor 1997 TSP), Jahresmittelwerte 1988–2010

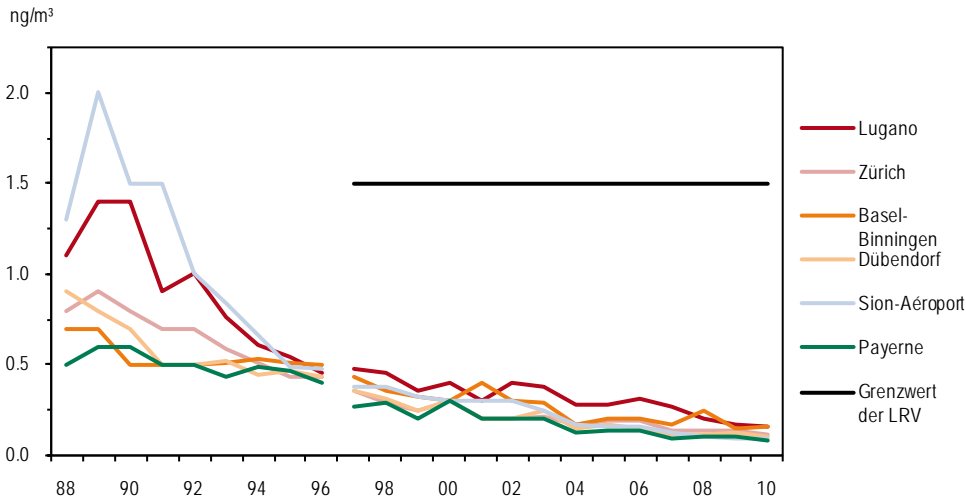
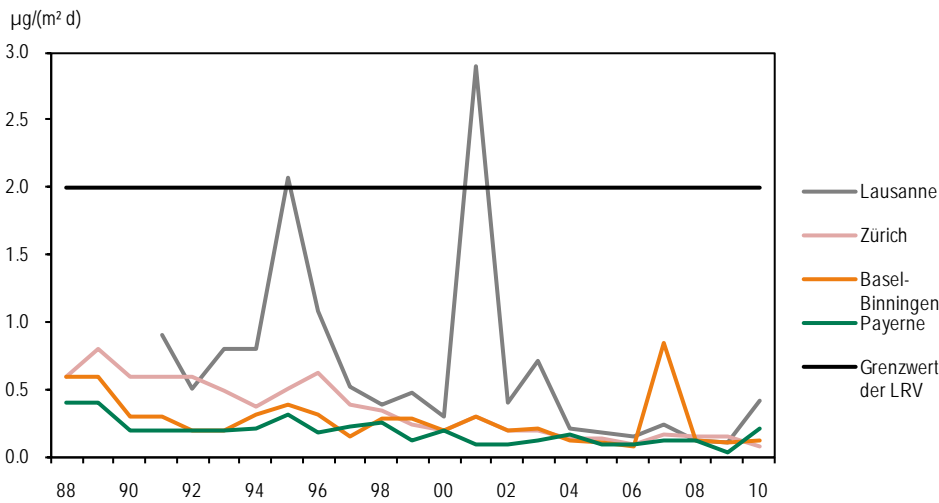


Abb. 39 > Kadmium im Staubniederschlag, Jahresmittelwerte 1988–2010



Wegen des Wechsels von der TSP- zur PM10-Messung ist wie beim Blei auch beim Kadmium eine Grenzwertanpassung vorgenommen worden. In der revidierten Luftreinhalte-Verordnung ist der Grenzwert für Kadmium PM10 mit 1,5 ng/m³ als Jahresmittelwert festgelegt worden. Aus Vergleichsmessungen zwischen TSP und PM10 kann abgeleitet werden, dass Kadmium vollständig in der PM10-Fraktion des Schwebstaubs enthalten ist. Die bisherigen Messungen im TSP (Abb. 38) können somit auch als Kadmiummessungen im PM10 interpretiert werden.

Die Zusammenstellung in der Tab. 24 zeigt, dass der Grenzwert für Kadmium im Schwebestaub an allen Stationen deutlich eingehalten wird. Die Konzentrationen liegen an allen Stationen unter $0,2 \text{ ng/m}^3$. Der Grenzwert für Kadmium im Staubniederschlag (Tab. 25) ist ebenfalls an allen Stationen eingehalten.

Grenzwerte meist eingehalten

Tab. 25 > Schwermetalle im Staubniederschlag, Jahresstatistik 2010

Standorttyp	Station	Jahresmittelwerte						
		Blei $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{ d})$	Kadmium $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{ d})$	Zink $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{ d})$	Thallium $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{ d})$	Arsen $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{ d})$	Nickel $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{ d})$	Kupfer $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{ d})$
Städtisch, verkehrsbelastet	Bern-Bollwerk	10,1	0,33	150,8	0,012	0,42	4,55	83,4
	Lausanne-César-Roux	16,9	0,42	167,2	0,016	0,54	4,22	79,4
Städtisch	Zürich-Kaserne	6,6	0,08	46,3	0,012	0,36	2,13	27,3
Vorstädtisch	Basel-Binningen	3,4	0,13	22,6	0,010	0,26	1,60	9,2
Ländlich, Autobahn	Härkingen-A1	3,9	0,06	55,9	0,011	0,33	2,25	26,3
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	4,6	0,79	24,7	0,019	0,47	2,75	7,9
	Payerne	1,6	0,21	11,9	0,009	0,17	1,08	3,6
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	3,9	0,27	19,9	0,019	0,25	1,00	4,4
<i>LRV-Immissionsgrenzwert</i>		<i>100</i>	<i>2</i>	<i>400</i>	<i>2</i>			

10.3

Zink

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

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

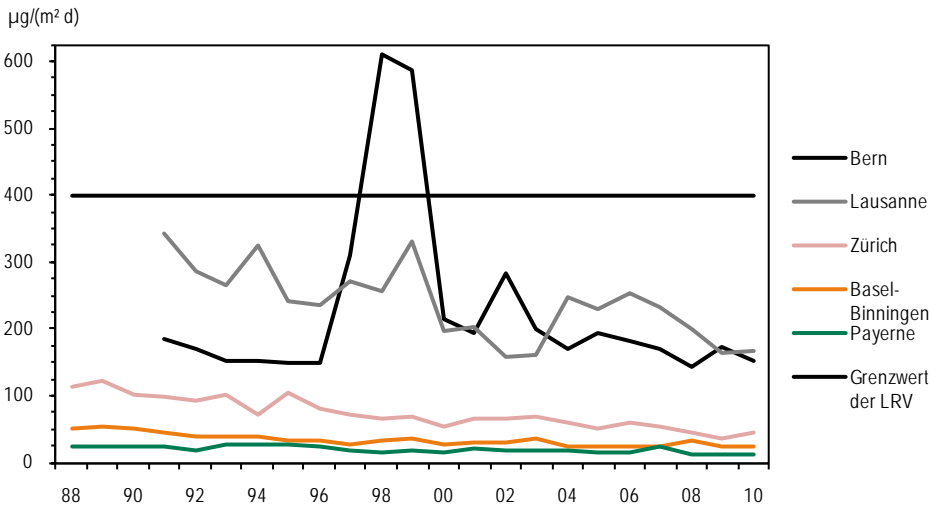
Quellen von Zink

Die Zinkdepositionen sind in den vergangenen 20 Jahren mit Ausnahme von Bern und Härkingen um 40–60 % zurückgegangen. Die höchsten Zinkdepositionen (Jahresmittelwerte) wurden im NABEL 2010 in Bern und Lausanne gemessen (Tab. 25 und Abb. 40). Der Reifen- und Strassenabrieb dürfte an diesen beiden Strassenstationen eine wesentliche Ursache der Zinkdepositionen sein.

Abnahme der Zinkdeposition um
40–60 % seit 1993

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. 40 > Zink im Staubbiederschlag, Jahresmittelwerte 1988–2010



10.4 **Thallium**

Thalliumemissionen treten insbesondere im Zusammenhang mit der Zementherstellung auf. Aufgrund der hohen Persistenz von Thallium im Boden können Pflanzen sowie Mensch und Tier über die Nahrungskette bereits durch relativ niedrige Thalliumbelastungen geschädigt werden. Die an NABEL Stationen gemessenen Thalliumwerte lagen mit maximal 0,02 µg/(m² d) weit unter dem Grenzwert von 2 µg/(m² d) (siehe Tab. 25).

Thalliumimmissionen kein Problem

10.5 **Bewertung**

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

In der Regel weit unter den Grenzwerten

10.6 **Weitere Metalle**

In der Europäischen Union sind in der Richtlinie 2004/107/EG Zielwerte für den Gehalt an Arsen und Nickel im PM10 festgelegt. An den NABEL-Standorten wurden 2010 maximale Arsen-Konzentrationen von 0,5 ng/m³ und maximale Nickel-Konzentrationen von 2,4 ng/m³ gemessen. Diese liegen deutlich unter den in der EU geltenden Zielwerten von 6 ng/m³ für Arsen und 20 ng/m³ für Nickel. Die Belastung durch Arsen und Nickel ist deshalb in der Schweiz generell als gering einzustufen.

11 > Regen-Inhaltsstoffe

11.1 Entstehung und Charakterisierung

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 Nebel und Schwebstaub 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

11.2 Zeitliche Entwicklung

In den Abb. 41 bis Abb. 46 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. 41) zeigte in den letzten 20 Jahren eine steigende Tendenz, was darauf hinweist, dass die starken Säuren in der Atmosphäre abgenommen haben. Dies ist vor allem auf die Abnahme der Konzentration von Schwefelsäure und in geringerem Ausmass von Salzsäure zurückzuführen. Ein Rückgang der Sulfatkonzentrationen im Regenwasser wurde sowohl in der Schweiz (Abb. 42) als auch gesamteuropäisch beobachtet und ist die Folge der im europäischen Raum getroffenen Massnahmen zur Verminderung des Schwefeldioxidausstosses. Der Nitratgehalt (Abb. 43) 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. 45 und Abb. 46) wie auch die nicht dargestellten Gehalte an Kalzium, Magnesium und Kalium.

Säureeintrag hat abgenommen

Die Niederschlagsmenge hat in den letzten 20 Jahren auf der Alpennordseite zugenommen (Abb. 47). Die Sulfatfracht hat in den letzten 20 Jahren abgenommen (Abb. 48), während die Frachten der anderen Ionen, wie zum Beispiel des Nitrats (Abb. 49) oder des Ammoniums (Abb. 50), praktisch unverändert geblieben sind.

Ionenfrachten unverändert

Abb. 41 > pH-Wert des Regenwassers, Jahresmittelwerte 1985–2010

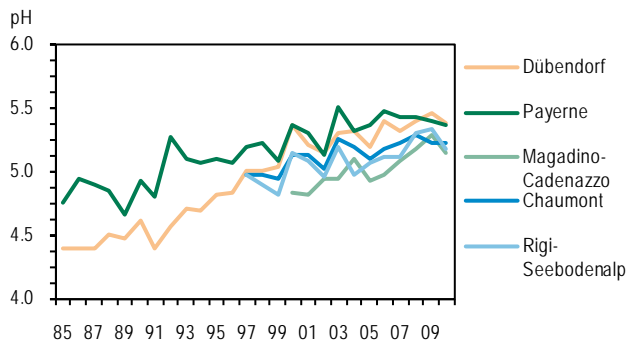


Abb. 42 > Sulfat (SO_4^{2-} -S)-Konzentration im Regenwasser, Jahresmittelwerte 1985–2010

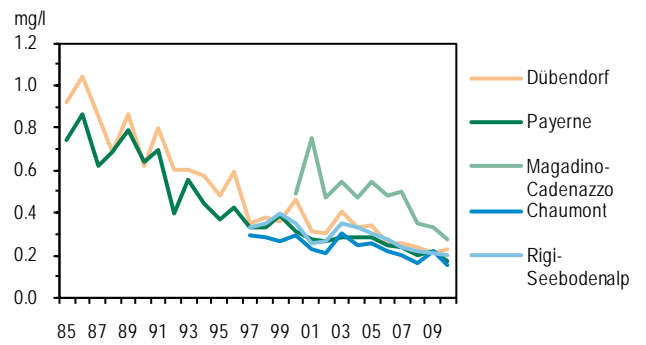


Abb. 43 > Nitrat (NO_3^- -N)-Konzentration im Regenwasser, Jahresmittelwerte 1985–2010

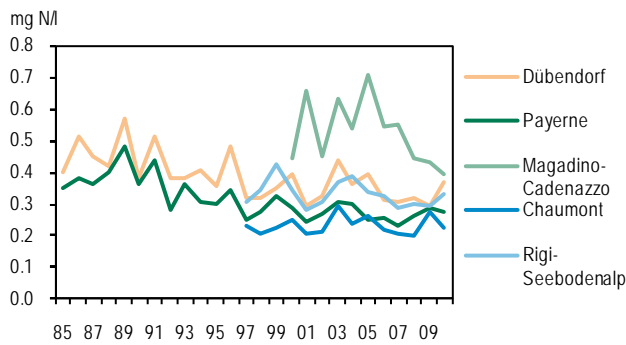


Abb. 44 > Chlorid (Cl^-)-Konzentration im Regenwasser, Jahresmittelwerte 1985–2010

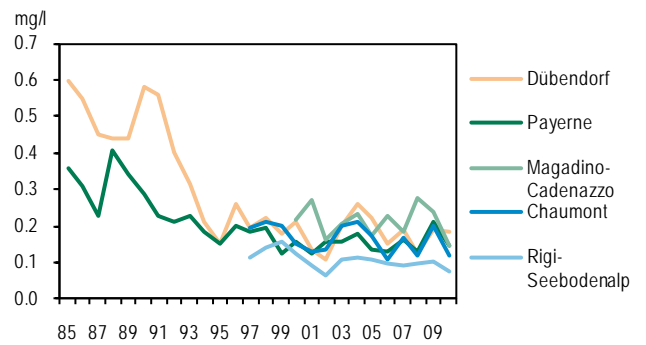


Abb. 45 > Ammonium (NH_4^+ -N)-Konzentration im Regenwasser, Jahresmittelwerte 1985–2010

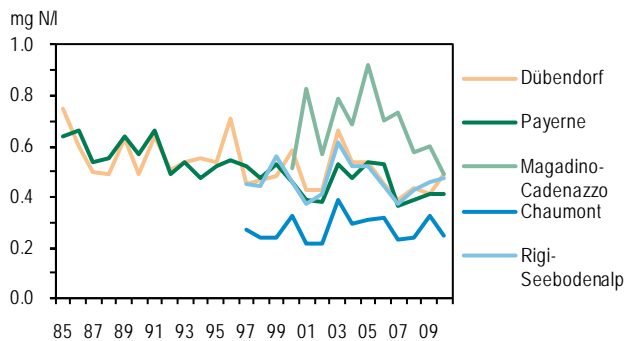
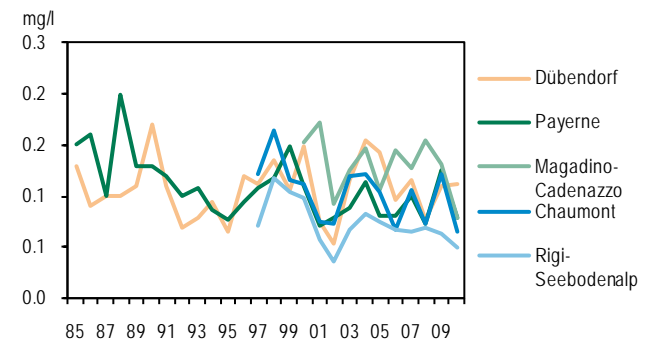
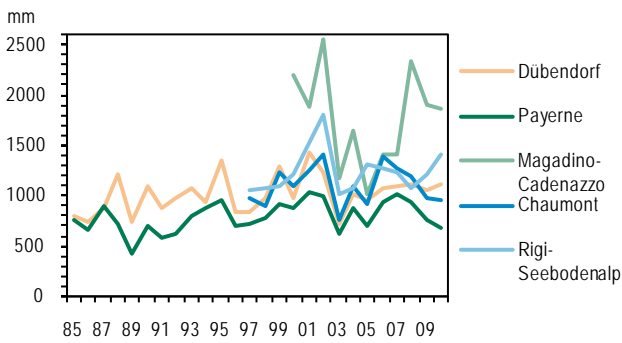


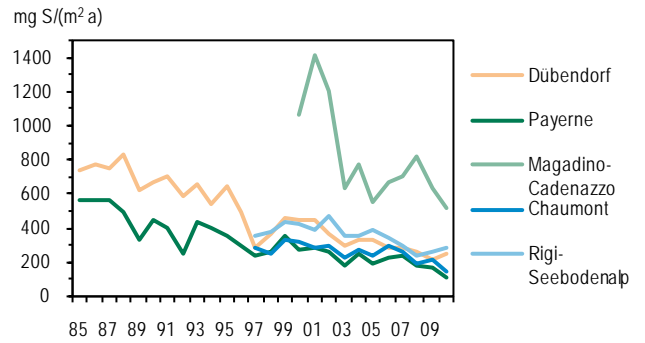
Abb. 46 > Natrium (Na^+)-Konzentration im Regenwasser, Jahresmittelwerte 1985–2010



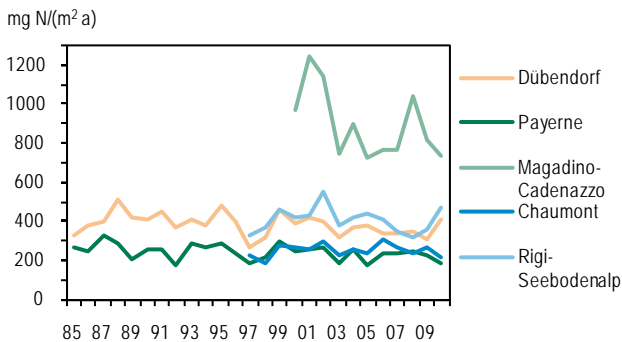
**Abb. 47 > Analyisierte Niederschlagsmengen:
Jahressummen 1985–2010**



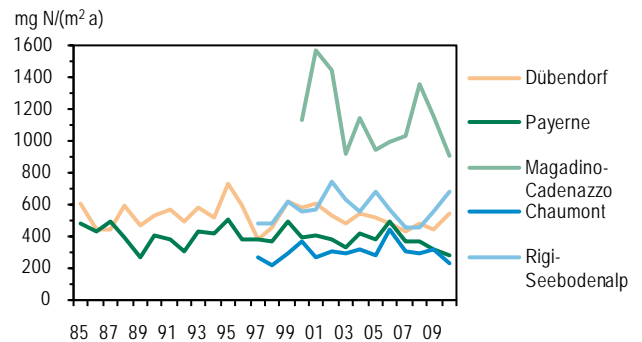
**Abb. 48 > Sulfat (SO₄²⁻-S)-Fracht,
Jahresfrachten 1985–2010**



**Abb. 49 > Nitrat (NO₃⁻-N)-Fracht,
Jahresfrachten 1985–2010**



**Abb. 50 > Ammonium (NH₄⁺-N)-Fracht,
Jahresfrachten 1985–2010**



11.3 **Situation 2010**

Die Jahresstatistik der Regeninhaltsstoffe ist in den Tab. 26 und Tab. 27 zusammengestellt. Die Jahresmittelwerte der Konzentrationen (Tab. 26) werden grundsätzlich mengengewichtet berechnet. Als Gewichtungsfaktor dient die Regenmenge der einzelnen Ereignisse. Die Mittelbildung des pH-Werts erfolgt über die mengengewichtete Mittelung der H⁺-Konzentrationen (pH = -log [H⁺]).

Die Jahresmittel der Konzentrationen sind insbesondere für Trendanalysen heranzuziehen. Für die Umwelt sind demgegenüber hauptsächlich die Jahresfrachten (Tab. 27) 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 hauptsächlichen Bestandteile des Regens darstellen. Die routinemässig bei jeder einzelnen Tagesprobe durchgeführte Berechnung der Ionenbilanz ergibt in der Regel bei pH-Werten <5 eine gute Übereinstimmung der Anionen und Kationen. Bei den in jüngerer Zeit immer häufiger auftretenden Regenproben mit hohen pH-Werten >5 wird meist ein mit steigendem pH höherer Kationenüberschuss festgestellt, was auf ein oder mehrere nicht analysierte (basische) Anionen hindeutet. Die Zuverlässigkeit der Analyse der quantifizierten Ionen ist durch regelmässige Ringversuche hinreichend gesichert. Neben Bikarbonat können Komponenten mineralischer Herkunft eine Rolle spielen. In Payerne sind solche Einträge leicht vorstellbar, werden doch in der unmittelbaren Umgebung des Messgeländes weite Ackerflächen bewirtschaftet. Phosphat als nicht quantifiziertes Anion scheidet aus, da es bei evtl. Vorhandensein im Ionenchromatogramm erkannt würde.

Ionenbilanzen

Um die räumlichen Unterschiede der Nassdeposition erfassen zu können, werden zusätzlich zu Payerne und Dübendorf an den NABEL-Stationen Chaumont, Rigi-Seebodenalp und Magadino-Cadenazzo die Regeninhaltsstoffe bestimmt. Alle Komponenten zeigen mehr oder weniger deutliche Unterschiede zwischen den Stationen (Tab. 26). Es ist jedoch kein einheitliches Muster zu erkennen. Die Station Magadino-Cadenazzo weist die höchsten Werte auf von Nitrat, Sulfat und Ammonium.

Räumlicher Unterschied nicht sehr ausgeprägt

Tab. 26 > Konzentrationen der Regeninhaltsstoffe, Jahresstatistik 2010

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	5,38	9,40	0,19	0,37	0,23	0,11	0,49	0,03	0,02	0,26
Magadino-Cadenazzo	5,14	10,51	0,14	0,39	0,28	0,08	0,49	0,03	0,02	0,24
Payerne	5,37	7,91	0,15	0,27	0,17	0,08	0,41	0,04	0,02	0,20
Chaumont	5,22	6,76	0,12	0,22	0,15	0,07	0,25	0,03	0,02	0,16
Rigi-Seebodenalp	5,18	9,16	0,08	0,33	0,20	0,05	0,48	0,03	0,01	0,16

Tab. 27 > Jahresfrachten der Regeninhaltsstoffe, Jahresstatistik 2010

Station	Jahresmittelwerte									
	Menge 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	1108	205	406	250	124	544	38	24	291	
Magadino-Cadenazzo	1865	269	731	518	147	908	56	45	448	
Payerne	671	97	183	115	52	275	28	13	136	
Chaumont	948	111	212	144	62	232	27	14	155	
Rigi-Seebodenalp	1419	108	468	289	70	678	40	18	224	

11.4 Bewertung

Der Eintrag von Luftschadstoffen aus der Atmosphäre in den Boden ist vor allem für empfindliche Ökosysteme von grosser Bedeutung. Der gesamte Eintrag umfasst ausser der nassen auch die trockene und die okkulte Deposition, die vor allem in Wäldern einen wichtigen Beitrag liefern kann. Die in diesem Kapitel beschriebenen Frachten der Regeninhaltsstoffe stellen somit nur einen Teil des gesamten Schadstoffeintrags dar. Obwohl für die nasse Deposition der grossräumige Transport von Schadstoffen eine beträchtliche Rolle spielt, zeigt sich im langjährigen Vergleich der beiden Stationen Dübendorf und Payerne, dass der Vorstadtstandort höhere NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- und Na^+ -Konzentrationen aufweist als der ländliche Standort. Gesamteuropäisch gesehen gehören diese Stationen zu den mittelstark belasteten.

Nasse Deposition als Teil des gesamten Eintrages

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. Die Schweiz hat sich aktiv an diesen Arbeiten beteiligt. 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.

Kritische Belastungsgrenzen für die Gesamtdeposition

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 Luftverschmutzung. 1999 wurde in Göteborg das neuste Protokoll dieser Konvention unterzeichnet. Die Unterzeichnerstaaten engagieren sich dafür, bis 2010 die Emissionen von Schwefel, Stickoxiden, Ammoniak und flüchtigen organischen Verbindungen ohne Methan (NMVOC) zu reduzieren. Die eingegangenen Verpflichtungen sollen zwischen 1990 und 2010 zu Emissionsreduktionen in Europa führen, die beim Schwefeldioxid 63 %, bei den Stickoxiden 41 %, bei den VOC 40 % und beim Ammoniak 17 % betragen. Werden diese Reduktionen erreicht, so ist mit einer wesentlichen Verminderung der Schadstoffeinträge in empfindliche Ökosysteme zu rechnen. Modellrechnungen zeigen jedoch, dass auch mit diesen bedeutenden Reduktionen die kritischen Belastungsgrenzen noch nicht überall eingehalten werden können. Eine Revision des Göteborg-Protokolls mit weitergehenden Emissionsminderungen für die Zeit nach 2010 ist gegenwärtig in Verhandlung.

Reduktionsziele des Göteborg Protokolls

12 > Gasförmige und partikuläre Stickstoffverbindungen

12.1 Summenmessung von Stickstoffkomponenten

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

Beitrag zum Stickstoffeintrag

Tab. 28 > Summenmessungen von Stickstoffkomponenten, Jahresstatistik 2010

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	3,8	14,9	1,2	9,1
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	1,9	9,3	0,9	6,1

In der Abb. 51 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. 43 und Abb. 45). In Payerne ist die Konzentration der reduzierten N-Komponenten ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) rund dreimal so hoch wie diejenige der oxidierten N-Komponenten ($\text{HNO}_3 + \text{NO}_3^-$). In Rigi-Seebodenalp wird etwa die doppelte Konzentration von reduzierten wie von oxidierten N-Komponenten gemessen, was eine Folge der unterschiedlichen Lebensdauer der verschiedenen Substanzen ist. Insbesondere das Ammoniak (NH_3) wird rasch deponiert und zeigt in Quellennähe hohe Werte.

Unveränderte Belastung

Abb. 51 > Summenmessungen von Stickstoffkomponenten, Jahresmittelwerte 1994–1999 und 2004–2010 (Payerne) und 2000–2010 (Rigi-Seebodenalp)

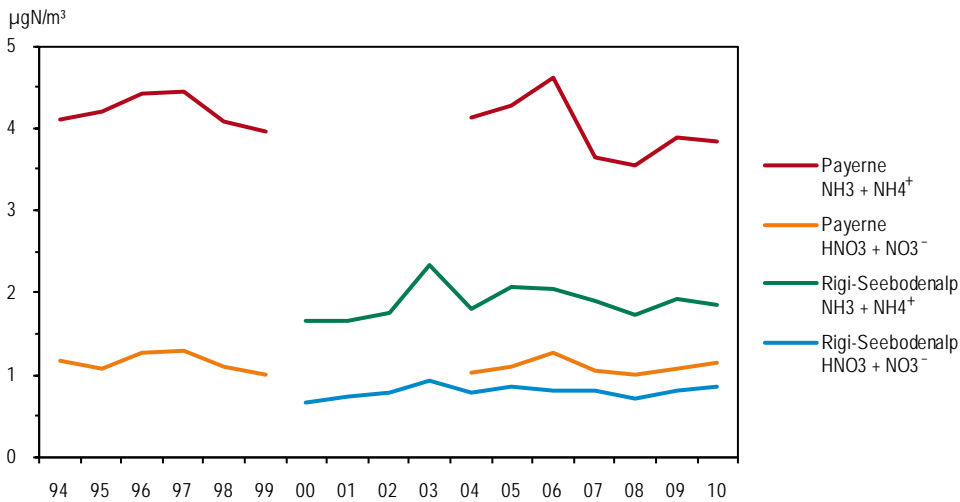
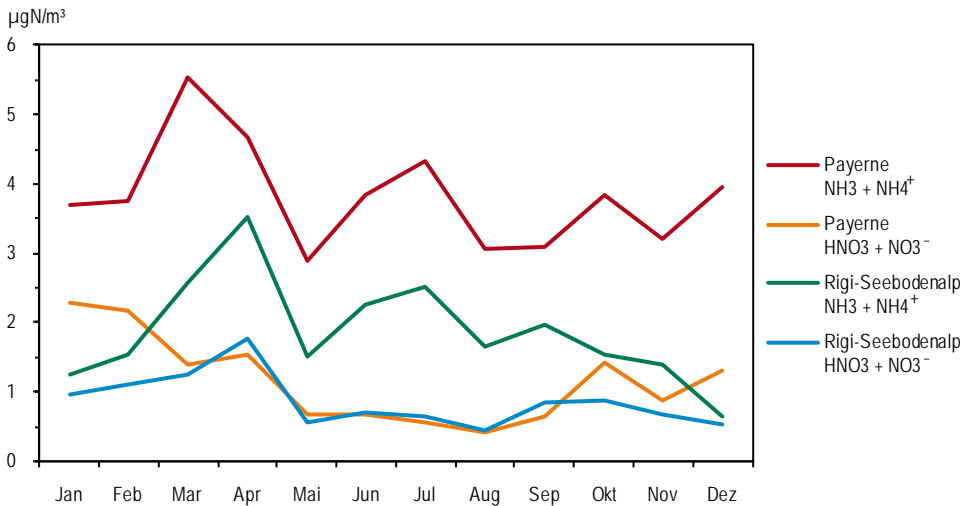


Abb. 52 > Summenmessungen von Stickstoffkomponenten, Monatsmittelwerte 2010 (Payerne und Rigi-Seebodenalp)



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 auf Rigi-Seebodenalp ein Maximum im Frühjahr auf und höhere Sommer- als Winterwerte (Abb. 52). Die oxidierten N-Komponenten (HNO₃ + NO₃⁻) haben in Payerne höhere Werte im Winter.

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

12.2 Gas- und Aerosolphase von Stickstoffverbindungen

Im Rahmen des EMEP Messprogramms werden neben der Summenmessung von reduzierten und oxidierten Stickstoffverbindungen auch nach Gas- und Aerosolphase getrennte Messungen von Salpetersäure (HNO_3) und Nitrat (NO_3^-), respektive Ammoniak (NH_3) und Ammonium (NH_4^+) erwartet. Deshalb wurden 2007 an den Stationen Payerne und Rigi-Seebodenalp Messungen mit einer Zeitauflösung von zwei Wochen gemäss der vom CEH Edinburgh vorgeschlagenen und an der Empa weiterentwickelten Minidenermethode aufgenommen. Seit 2010 werden auch entsprechende Messungen auf der Alpensüdseite in Magadino-Cadenazzo durchgeführt. Im Jahresmittel (Tab. 29) 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. 29 > Reaktive Stickstoffverbindungen, Jahresmittelwerte 2010

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	2.25	1.43	0.28	0.86	4.83	52%	48%
Ländlich, unterhalb 1000 m	Magadino-Cadenazzo	2.71	1.11	0.53	0.68	5.03	64%	36%
Ländlich, oberhalb 1000 m	Rigi-Seebodenalp	0.83	1.05	0.20	0.61	2.69	38%	62%

12.3 Ammoniak

Im Laufe des Jahres 2005 wurden an den beiden Standorten Payerne und Härkingen kontinuierliche Messungen von Ammoniak aufgenommen. Die kontinuierlich gemessenen NH_3 -Konzentrationen sind tendenziell tiefer als die mit Passivsammlern oder Denudern erhobenen Messwerte. Ein Grund dafür könnten Ammoniakverluste in der Ansaugleitung sein. Die Belastung durch Ammoniak ist an beiden Standorten hoch (Tab. 30) im Vergleich zu den im Rahmen der Konvention über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung empfohlenen Schutzwerten (Jahresmittel, je nach Vegetationstyp 1 bis $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 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/00649/01960/index.html).

Kontinuierliche Messungen
von Ammoniak

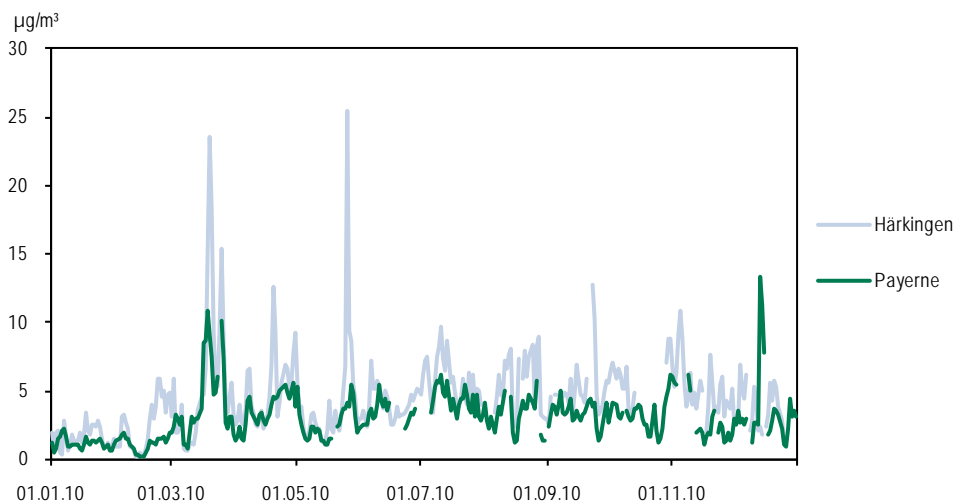
Tab. 30 > Ammoniak, Jahresstatistik 2010

Standorttyp	Station	Jahresmittel µg/m³	Max. 24-h Mittelwert µg/m³	Max. Stundenmittelwert µg/m³
Ländlich, Autobahn	Härkingen	4,5	26	107
	Payerne	3,1	13	41
Ländlich, unterhalb 1000 m	Tänikon	5,0	21	81
	Magadino-Cadenazzo	2,3*	13*	57*

*) unvollständige Messreihe (siehe Anhang A4)

Der Jahresverlauf (Abb. 53) 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 wenigen 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. 53 > Tagesmittelwerte der Ammoniakkonzentration, 2010



13 > Witterung

13.1 Situation 2010

Für die meteorologische Charakterisierung wurde der Witterungsbericht von MeteoSCHWEIZ verwendet.

Die Schweiz erlebte den kältesten Januar seit 23 Jahren. Neuschnee fiel zwar auch im Flachland oft, aber meist in geringen Mengen. Eisige Kälte brachten die ersten Februartage. In La Brévine fiel die Temperatur bis -35.6 Grad. Das kalte Winterwetter mit Schnee bis ins Flachland hielt bis zur Februarmitte an. An den Gipfelstationen wurde der kälteste Winter seit rund 30 Jahren registriert.

Ausgeprägter Flachlandwinter

Winterliche Verhältnisse mit intensiven Schneefällen vor allem im zentralen Mittelland sowie mit anhaltender eisiger Bise prägten die erste Märzhälfte. Veränderlich mit warmen und kalten Phasen war die zweite Märzhälfte. Der April begann kühl mit häufigem Schauerwetter. Frühlingshaft zeigte sich die zweite Aprilhälfte und gegen Monatsende konnte verbreitet der erste Sommertag mit Tageshöchstwerten von 25 Grad oder mehr genossen werden. In diese ruhige Schönwetterphase fiel der Ausbruch des isländischen Vulkans Eyjafjalla. Die Aschewolke erreichte am 17. April die Schweiz, worauf der Flugverkehr für drei Tage vollständig eingestellt werden musste. (www.empa.ch/plugin/template/empa/*/102775)

Zögerlicher Frühlingseinzug

Der Mai zeigte sich überwiegend regnerisch, kühl und insgesamt extrem sonnenarm. Die regnerische und trübe Witterung hielt bis zum 5. Juni an und sie übernahm nochmals das Regime vom 12. bis zum 20. Juni. Der Föhn brachte der Alpennordseite einen hochsommerlichen Unterbruch im trüben und regnerischen Frühsommer. Sommerwetter setzte im letzten Junidrittel ein. Eine heisse Phase gab es vom 8. bis zum 21. Juli, wo fast täglich über 30 Grad erreicht wurden. Die Hitze führte vor allem von der Westschweiz über das Seeland bis zur Region Basel zu grosser Trockenheit, da sich die Gewitter hauptsächlich auf die Berge und die Ostschweiz konzentrierten. Nur einen Monat nach seinem Einzug verabschiedete sich der Hochsommer auf der Alpennordseite im letzten Julidrittel. Mit Nordwestströmungen gelangte immer wieder kühlfeuchte Atlantikluft zur Schweiz.

Trüber und verregneter Frühsommer, hochsommerliche Hitzewelle

Nach einer milden frühherbstlichen Schönwetterphase im September gab es Ende Monat einen Wintereinbruch in Berglagen und nass-kühle Witterung im Flachland. In gleicher Weise zog der Oktober nach: Nach goldenen Herbsttagen in höheren Lagen wurde es auf den 25. bis auf 700 Meter hinunter weiss. Ende November übernahm kalte Polarluft das Witterungsregime in der Schweiz und die Temperaturen sanken im Flachland der Alpennordseite und im Jura lokal auf neue November-Tiefstwerte. Im Dezember fiel wiederholt Schnee.

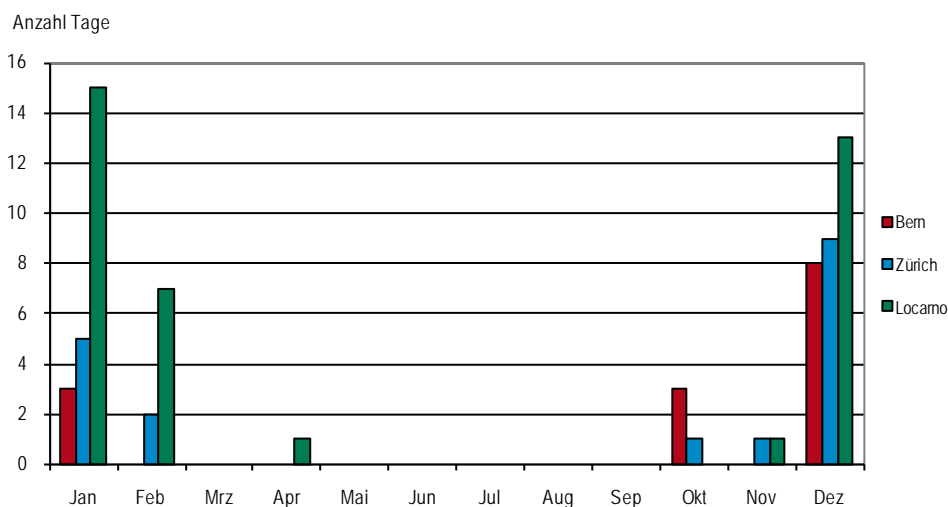
Regelmässige Kaltlufteinbrüche und Flachlandschnee pünktlich zum Winterbeginn

13.2 Inversionen

Temperaturinversionen verhindern die vertikale Ausbreitung von Luftschadstoffen. Vor allem die bodennahen Inversionen mit einer Temperaturumkehr zwischen 800 und 1000 Metern ü.M. sorgen in der Regel für hohe Schadstoffkonzentrationen. Für die Standorte Zürich und Bern im Mittelland sowie Locarno im Süden, wurde die Häufigkeit von stabilen Temperaturschichtungen um die Mittagszeit (12 bis 14 Uhr MEZ) bestimmt. Dabei steht für Zürich mit dem Üetliberg (Höhendifferenz 490 Meter) eine repräsentative Station zur Verfügung. Im 2010 wurde für Bern die Inversion mit Plaffeien Oberschrot berechnet, da bei der Messstation Bantiger viele Fehlwerte auftraten.

Abb. 54 zeigt die grösste Häufigkeit von Inversionen erwartungsgemäss in der kalten Jahreszeit, im Berichtsjahr vor allem in den Monaten Januar und Dezember. Von März bis September lässt die kräftige Sonneneinstrahlung kaum mehr Inversions- oder tiefe Hochnebellagen zu. An den beiden Mittelland- Stationen Bern und Zürich zeigt sich ein ähnliches Bild, wobei die Region Zürich (repräsentativ für das tiefere Mittelland) insgesamt etwas häufiger von Inversionen betroffen war als die Region Bern. Die meisten Nebel- und Inversionstage traten im Dezember auf. Für die Alpensüdseite ergibt sich durch das Stationspaar Locarno-Magadino/Locarno-Monti mit einer Höhendifferenz von nur gerade 169 Metern eine wesentlich höhere Anzahl von Tagen mit stabiler Schichtung. Dieses Stationspaar ermöglicht nicht so präzise Inversionsbestimmungen, da die höheren Temperaturen in Locarno-Monti nicht nur durch Inversionen bedingt sind, sondern durch die spezielle Lage an einem Südhang oberhalb der Stadt. Aber auch hier zeigt sich der typische Jahresgang. Am meisten Inversionen wurden ebenfalls im Januar und Dezember verzeichnet. Im Herbst traten hingegen noch kaum Inversionen auf.

Abb. 54 > Anzahl Tage mit stabiler Temperaturschichtung zwischen 12 und 14 MEZ (mindestens Isothermie, d. h. Höhen- und Talstation haben dieselbe Temperatur)



Quelle: MeteoSchweiz, Jahresstatistik 2010

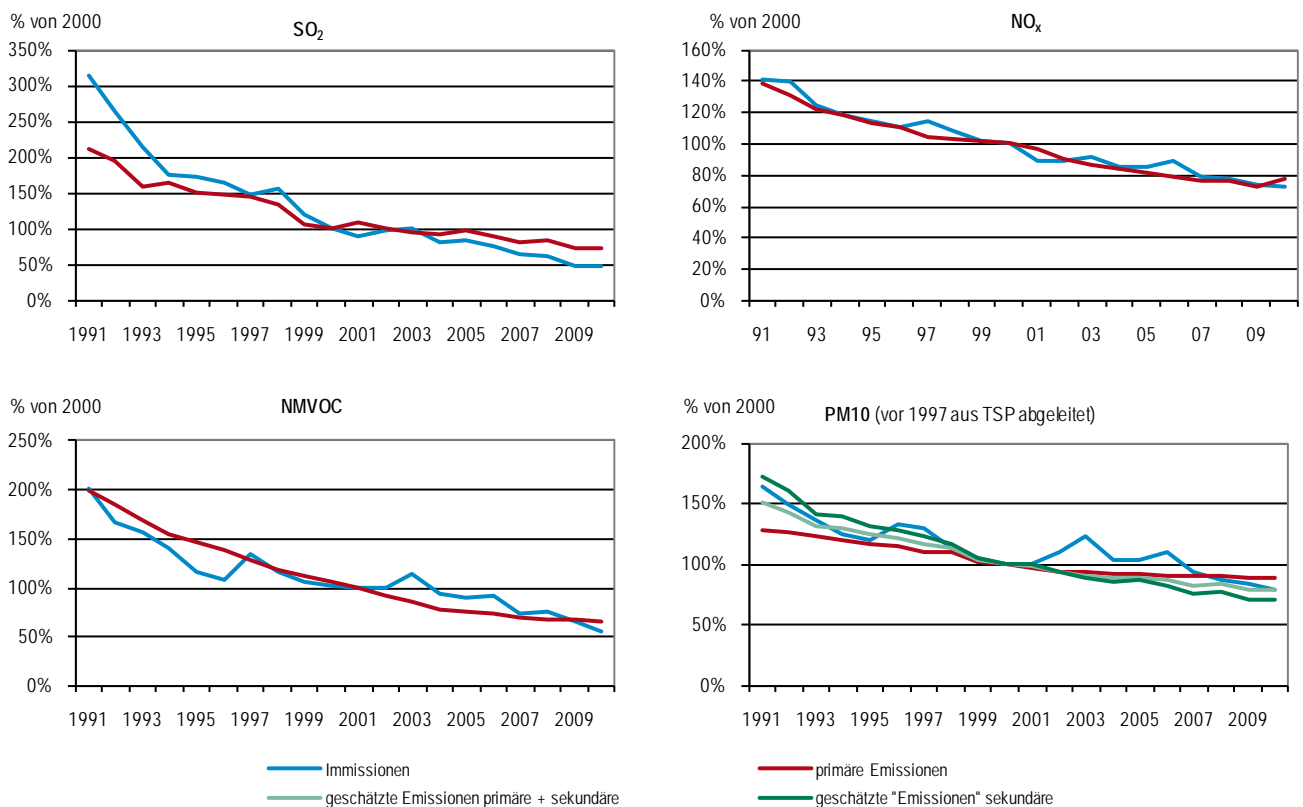
14 > Ausblick

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 Brenn- und Treibstoffe) 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. 55).

Abnahme der Emissionen
und Immissionen

Abb. 55 > 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, Kadmium oder Zink erreicht werden. Für diese Schadstoffe liegen die gemessenen Konzentrationen in aller Regel deutlich unter den Immissionsgrenzwerten. Für die Schadstoffe Stickstoffdioxid, Feinstaub und Ozon konnten zwar die Immissionen gesenkt werden, die gemessenen Konzentrationen liegen aber immer noch häufig und vielerorts über den Grenzwerten. Ebenfalls noch deutlich zu hoch sind die Stickstoff- und 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 Trendentwicklung 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: Standortcharakterisierung

Anhang A2: NABEL-Messprogramm

Anhang A3: Messverfahren

Anhang A4: Masseinheiten und statistische Masszahlen

Anhang A5: Homogenisierung von Messreihen der Station Bern

Anhang A1: Standortcharakterisierung

Die Angaben zu Koordinaten und Höhe beziehen sich auf den momentanen Standort der Messstationen. Einige Stationen wie Bern, Lugano oder Zürich wurden in früheren Jahren geringfügig verschoben. Diese Standortwechsel sind im technischen Bericht zum NABEL 2010 (www.empa.ch/nabel) dokumentiert.

Tab. A1 > Standorte der Messstationen NABEL

Ort; Koordinaten; Höhe über Meer	Standorttyp	Nähere Beschreibung
Basel-Binningen 316 m ü. M. 610°890/265°605; 47°32'28"/7°35'00"	Vorstädtisch	Gelände des ehemaligen astronom. Instituts der Universität, Parkgelände; unmittelbare Umgebung wenig überbaut, wenig Verkehr, Entfernung zum Stadtzentrum 2 km, zur Grossindustrie 4–6 km.
Bern-Bollwerk 536 m. ü. M. 600°170/199°990; 46°57'04"/7°26'27"	Städtisch, verkehrsbelastet	Areal des Bahnhofs, Messung an beidseitig geschlossen bebauter Strasse mit grossem Verkehrsaufkommen. Quartier mit hohem Anteil an Dienstleistungsbetrieben. Die Feinstaubmessgeräte sind ca. 80m von den Gasmessungen entfernt, auf der anderen Strassenseite, am Standort 600°135/199°910.
Chaumont 1136 m ü. M. 565°090/211°040; 47°02'58"/6°58'45"	Ländlich, oberhalb 1000 m	Auf der Jurahöhe, in extensiv genutztem Landwirtschaftsgebiet, offenes Gelände, 700 m über Neuenburger- und Bielersee, Entfernung zu Cressier 4,5 km, Neuenburg 7 km.
Davos-Seehornwald 1637 m ü. M. 784°450/187°735; 46°48'55"/9°51'21"	Ländlich, oberhalb 1000 m	Im Wald südöstlich des Davosersees, 70 m über dem Seeniveau; Ansaugsonde auf 35 m hohem Turm; Entfernung zu Davos 3 km.
Dübendorf-Empa 432 m ü. M. 688°675/250°900; 47°24'11"/8°36'48"	Vorstädtisch	Empa-Areal, offenes Gelände; Region stark besiedelt, mit Industrie, dichtem Strassennetz und Autobahn, 150 m zur nächstgelegenen Hauptverkehrsstrasse.
Härkingen-A1 431 m ü. M. 628°875/240°185; 47°18'43"/7°49'14"	Ländlich, Autobahn	Landwirtschaftsgebiet, offenes Gelände, 10 m nördlich der Autobahn A1, ca. 1 km östlich des Autobahnkreuzes A1/A2
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.
Payerne 489 m ü. M. 562°285/184°775; 46°48'47"/6°56'40"	Ländlich, unterhalb 1000 m	Areal der Station aérologique der MeteoSchweiz, offenes Gelände, ländliche Umgebung; Entfernung zu Payerne ca. 1 km.
Rigi-Seebodenalp 1031 m ü. M. 677°835/213°440; 47°04'03"/8°27'48"	Ländlich, oberhalb 1000 m	Nordhang der Rigi, extensiv genutztes Landwirtschaftsgebiet, offenes Gelände, 600 m über Vierwaldstättersee; Entfernung zu Luzern und Zug je 12 km.
Sion-Aéroport-A9 483 m ü. M. 592°540/118°755; 46°13'13"/7°20'31"	Ländlich, Autobahn	Areal des Flugplatzes, offenes Gebirgstal mit flachem Talboden; niedrige Bauten und Obstkulturen; zum Stadtzentrum von Sion 2 km; 30 m nördlich der Autobahn.
Tänikon 538 m ü. M. 710°500/259°810; 47°28'47"/8°54'17"	Ländlich, unterhalb 1000 m	Areal der landwirtschaftlichen Forschungsanstalt; offenes locker überbautes Gelände, ländliche Umgebung; Entfernung zu Aadorf 1 km.
Zürich-Kaserne 409 m ü. M. 682°450/247°990; 47°22'39"/8°31'50"	Städtisch	Zeughaus Hof Kaserne, zentrale Lage in Hinterhof-Situation der City; Quartier mit hohem Wohnanteil, Kleingewerbe und Geschäfte, keine Hauptverkehrsachse in unmittelbarer Nähe.

Anhang A2: NABEL-Messprogramm

Tab. A2 > NABEL-Messprogramm (Stand 1. Januar 2010)

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

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

¹⁾ Einzelkomponenten

Anhang A3: Messverfahren

Tab. A3 > Messmethoden und Geräte (Stand 2010)

Schadstoff	Zeitliche Erfassung	Messmethoden / Geräte	Anmerkung
Stickoxide (NO und NO ₂)	Kontinuierlich/ Zehnminutenmittelwerte	Chemilumineszenz-Verfahren (Geräte: Horiba APNA 360; TEI C42 TL, CRANOX mit PLC760 und CLD 89p)	Kalibration mit NO-Referenzgasen, Konverterwirkungsgrad: Gasphasentitration
Ozon (O ₃)	kontinuierlich/ Zehnminutenmittelwerte	UV-Absorption (Geräte: Thermo Environmental Instr. 49C)	Funktionskontrolle mit O ₃ -Generator; Kalibration: UV-Photometer (Standard-Referenz-Photometer von NIST), TEI 49C PS (Transferstandard)
Nichtmethan-VOC	Kontinuierlich/ Zehnminutenmittelwerte	1-Kanal-FID-Detektor (Gerät: Horiba APHA 360)	Kalibration mit Methan, Cutter-Überprüfung mit Propan
VOC (Einzelkomponenten)	Quasikontinuierlich/ Halbstundenwert (alle 1h oder 2h)	GC (Syntech, Varian) mit trap (Aufkonzentrierungseinheit, gekühlt), FID, PID	Kalibration mit Pentan und Benzol (NIST) oder NPL30-Komponenten-Standard
Schwefeldioxid (SO ₂)	kontinuierlich/ Zehnminutenmittelwerte	UV-Fluoreszenz (Geräte: Thermo Environmental Inst. TEI 43C TL)	Kalibration mit verdünnten SO ₂ -Referenzgasen (SO ₂ -Druckgasflasche)
	Tagesmittelwerte (nur Jungfrauoch)	Nasschemische Bestimmung: Absorption in H ₂ O ₂ -Lösung, Sulfatbestimmung mit Ionenchromatographie (Geräte: Digital 14-Probensammler; Dionex ICS3000 mit AS14-Anionen-Säule)	
Kohlenmonoxid (CO)	kontinuierlich/ Zehnminutenmittelwerte	Infrarot-Absorption (Geräte: Horiba APMA 360)	Kalibration mit CO-Referenzgas
Schwebestaub (TSP, PM ₁₀ , PM _{2.5})	Tagesmittelwerte	Gravimetr. Bestimmung auf Quarzfaserfiltern; (Gerät: Digital High Volume Sampler DHA-80H)	Messwerte vergleichbar mit Referenz-Verfahren gemäss EN Norm 12341
	Kontinuierlich/ Zehnminutenmittelwerte	Beta-Strahlenabsorption (Gerät: Staubmessgerät Thermo ESM Andersen FH 62-IR) und TEOM (Gerät: Thermo Environmental Instr. TEOM 1400ab mit FDMS 8500)	
Schwefel im Schwebestaub	Tagesmittelwerte	Abscheidung auf Cellulosefiltern, Analyse mit Röntgenfluoreszenz (Geräte: Digital 14-Probensammler; Breifuss MPN 16K; Philips PW 1404)	EMEP Manual
Schwebestaubgebundene Schwermetalle (Blei, Kadmium)	Halbjahressammelprobe/Jahresmittelwert	Halbjahresweise Sammelproben, Aufschluss in Mitteldruckgefässen im Mikrowellenofen, Analyse mit ICP-MS (Geräte: MLS 1200, MDR 300; Perkin Elmer/Sciex ELAN 6000)	Messwerte vergleichbar mit Verfahren nach VDI 2267 Bl. 3 (Pb) und Bl. 6 (Cd).
Staubniederschlag	Monatsmittelwerte	Staubniederschlag nach Bergerhoff-Methode	Nach VDI 2119, Bl. 2, Kunststoffgefässe
Schwermetalle (Blei, Kadmium, Zink, Kupfer, Arsen und Thallium) im Staubniederschlag	Quartalsammelprobe/Jahresmittelwert	Quartalsweise Sammelproben Offener Säureaufschluss, Analyse mit ICP-MS (Geräte: Digestion System 20; Perkin Elmer/Sciex ELAN 6000)	Nach VDI 2267, Bl. 4 (Cd, Pb), Zn, Cu, Tl und As aus gleicher Aufschlusslösung
Regeninhaltsstoffe	Tagesmittelwerte/ Wochenmittelwerte	«Wet-only» Regensammler Analyse: pH mit Glaselektrode, Leitfähigkeit mit Leitfähigkeitsmesszelle und Ionen mit Ionenchromatographie (Geräte: Digital DRA 92 HK; Radiometer SAC 90, PHM 220 mit pHC 2401, CDM 230 mit CDC 741M3; Dionex ICS 3000 mit AS12- und CS12A-Säulen)	EMEP Manual
Stickstoffaerosole	Tagesmittelwerte	Abscheidung auf imprägnierten Filtern. Analyse mit Dionex DX500 mit AS12- und CS12A-Säule in wässrigem Eluat	EMEP-Manual
Ammoniak	Kontinuierlich/ Zehnminutenmittelwerte	Photoakustik (Geräte: Omnisens TGA 310)	Kalibration mit Ammoniak-Permeationsquelle
Partikelanzahlkonzentration	Kontinuierlich/ Zehnminutenmittelwerte	Kondensation-Partikelzähler (Geräte: TSI CPC 3022A und TSI CPC 3775)	Geräte werden durch vorgeschaltete Verdünnung im Einzelzählmodus betrieben

Anhang A4: Masseinheiten und statistische Masszahlen

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

Die verwendeten Einheiten sind:

- > ng/m^3 = Schadstoffkonzentration in Nanogramm pro Kubikmeter Luft
- > $\mu\text{g/m}^3$ = 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. A4 > Umrechnungsfaktoren für Konzentrationswerte von ppb in $\mu\text{g/m}^3$

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. A4 sind die Umrechnungsfaktoren zusammengestellt, die für die Umrechnung von ppb in $\mu\text{g/m}^3$ verwendet werden. (Beispiel: Bei Stationen unterhalb 1500 m ü. M. ist 1 ppb Schwefeldioxid = 2,66 μg Schwefeldioxid pro m^3).

Die Konzentrationen von Partikelmasse und Partikelanzahl werden zu Umgebungsbedingungen angegeben.

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

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

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

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

Anhang A5: Homogenisierung von Messreihen der Station Bern

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

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


- > NO_x : 0,71 (berücksichtigter Zeitraum: 23.7. 1991 bis 22.7.2003)
- > NO_2 : 0,87 (berücksichtigter Zeitraum: 23.7. 1991 bis 22.7.2003)
- > O_3 : 1,2 (berücksichtigter Zeitraum: 23.7. 1992 bis 22.7.2002)

Das Stickstoffmonoxid NO wurde als Differenz der korrigierten NO_x und NO_2 Werte berechnet. Für CO und SO_2 wich der Faktor nur wenig von 1 ab und es wurde deshalb für diese beiden Messgrössen keine Korrektur vorgenommen.

> Anhang B

Anhang B1: Messwerte 2010 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.umwelt-schweiz.ch/luft unter dem Stichwort Luftbelastung.

Jahresübersicht 2010	Basel-Binningen		Koordinaten: 610'890 / 265'605
	Vorstädtisch		Höhe: 316 m

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	4,3	4,5	4,2	2,9	1,4	1,4	1,5	1,5	2,3	2,7	2,7	4,0	2,8
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	9,2	11,1	10,2	10,8	4,6	4,7	3,9	11,8	6,3	7,3	6,8	8,7	11,8
	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	36,4	32,4	26,7	20,2	14,7	14,9	13,1	12,2	18,7	28,3	25,1	40,2	23,5
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	55,5	76,5	47,3	33,5	27,2	28,3	23,6	25,5	35,4	48,0	55,2	68,1	76,5
	24h-Mittel > 80 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m ³	10,5	7,0	4,3	2,0	1,4	1,4	1,1	2,1	4,9	8,8	8,2	17,9	5,8
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	32,0	48,0	11,2	4,5	5,1	3,7	4,5	7,8	22,8	44,7	51,2	75,3	75,3
NO _x	Mittelwerte	ppb	27,5	22,6	17,4	12,2	8,8	9,0	7,8	8,0	13,7	21,8	19,7	35,4	17,0
	max. 24h-Mittelwert	ppb	53,6	76,5	32,9	21,0	16,9	16,2	14,3	18,2	36,9	60,4	60,4	93,1	93,1
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	24	43	55	69	59	77	84	60	46	23	28	22	49
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	76	90	97	141	127	177	183	111	100	68	69	74	183
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	83	97	106	168	142	209	195	138	109	78	82	82	209
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	53	24	110	128	5	0	0	0	0	320
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	10	16	0	0	0	0	0	26
	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	30	25	20	22	13	16	15	10	11	19	13	22	18
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	57	66	49	56	28	26	25	22	20	59	34	55	66
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	2	4	0	2	0	0	0	0	0	1	0	2	11
SN	Mittelwerte	mg/(m ² d)	16	22	33	90	84	42	44	40	25	19	12	11	37

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	-0,7	2,4	5,9	11,1	12,5	18,0	21,6	18,3	14,1	9,7	6,3	-0,2	9,9
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	641	492	409	203	179	8	0	0	66	277	374	625	3275
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	35	60	122	194	156	219	253	186	160	90	38	28	128
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	84	75	67	62	77	72	66	74	76	81	83	88	76
Niederschlag	Summen	mm	40	54	45	20	141	65	44	141	54	31	72	128	835
Druck	Mittelwerte	hPa	977	969	980	981	977	978	981	979	979	976	971	975	977

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.

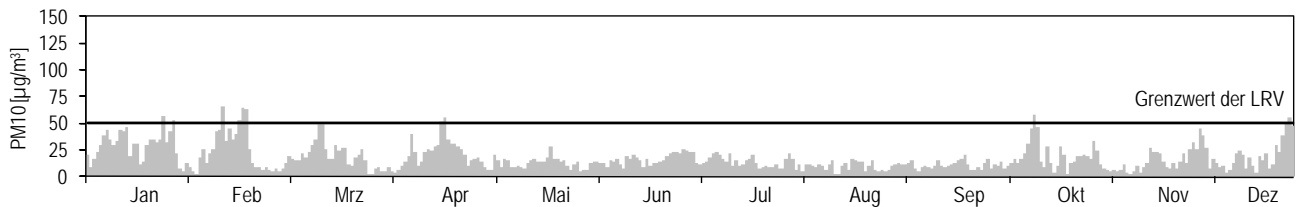
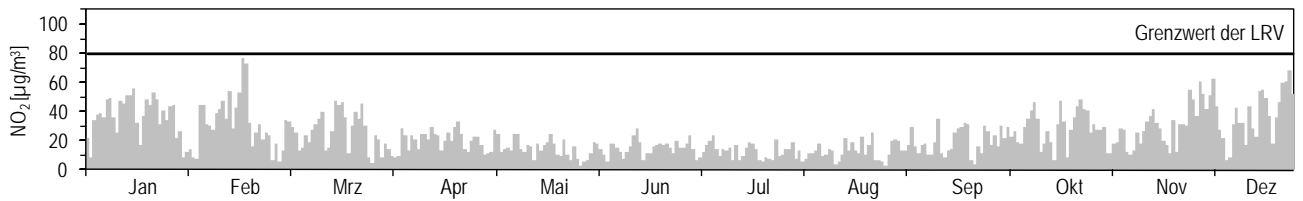
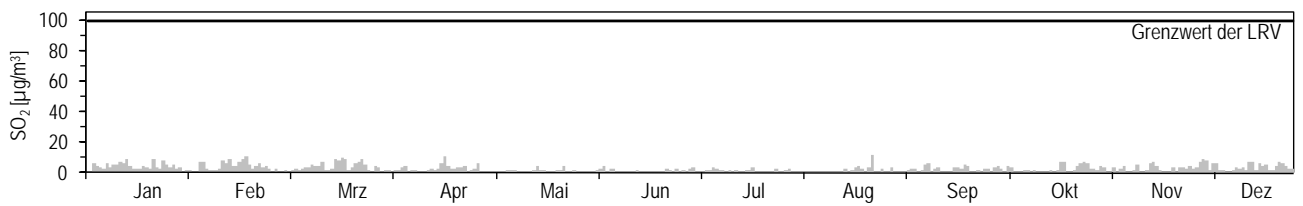
Jahresübersicht
2010

Basel-Binningen
Vorstädtisch

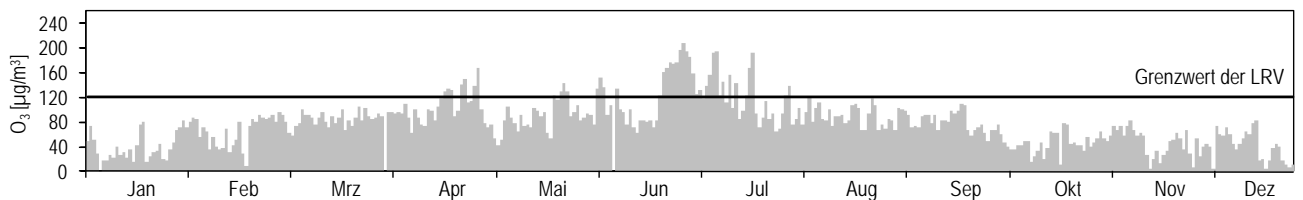



Koordinaten: 610'890 / 265'605
Höhe: 316 m

Tagesmittelwerte für SO₂, NO₂ und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2010	Bern-Bollwerk		Koordinaten: 600'170 / 199'990
	Städtisch, verkehrsbelastet		Höhe: 536 m

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
NO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	54	63	52	42	36	41	37	34	40	41	45	59	45
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	72	100	77	57	54	61	70	49	54	61	70	97	100
	24h-Mittel > 80 µg/m ³	Anz. Tage	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	7
NO	Mittelwerte	µg/m ³	42	41	32	21	20	21	16	19	27	40	44	64	32
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	86	106	54	36	37	33	30	37	41	107	108	195	195
NO _x	Mittelwerte	ppb	62	66	53	39	35	38	32	34	43	53	59	82	50
	max. 24h-Mittelwert	ppb	101	133	84	57	57	58	54	53	62	118	119	207	207
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	16	27	38	57	48	54	63	46	32	17	15	12	35
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	60	73	79	118	115	134	139	98	81	62	53	48	139
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	73	83	86	133	122	168	160	116	88	77	63	67	168
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	9	6	34	53	0	0	0	0	0	102
	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	0,71	0,71	0,57	0,48	0,44	0,44	0,38	0,38	0,45	0,55	0,57	0,76	0,54
	max. 24h-Mittelwert	mg/m ³	1,00	1,14	0,75	0,94	0,56	0,58	0,54	0,55	0,62	0,92	1,08	1,36	1,36
	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	40	46	34	29	18	21	21	18	19	25	22	30	27
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	70	117	67	54	30	30	34	33	31	49	40	50	117
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	7	9	3	1	0	0	0	0	0	0	0	1	21
SN	Mittelwerte	mg/(m ² d)	48	90	90	88	97	72	89	82	65	76	67	49	76

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	-1,1	1,3	5,2	10,9	12,6	17,6	21,4	18,1	14,0	9,1	5,5	-0,7	9,5
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	655	524	453	218	162	18	0	0	67	284	415	641	3437
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	40	75	132	212	174	227	257	189	173	86	52	39	138
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	80	72	64	59	70	68	62	70	72	80	81	82	72
Niederschlag	Summen	mm	17	39	23	14	100	72	58	153	26	34	56	81	672
Druck	Mittelwerte	hPa	950	943	954	955	951	953	956	955	954	952	946	949	951

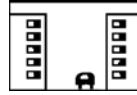
1) Heizgradtagzahl: Monatliche Summe der täglichen Differenzen zwischen Raumtemperatur (20 °C) und der Tagesmittel-Temperatur aller Heiztage (Heiztag: Tag mit Tagesmitteltemperatur <12 °C)

Verkehr		Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Verkehrszähler	Fz/Tag	20200	21310	23429	22763	22676	22971*	21334	22530	22721	21920	23363	21361	22182

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

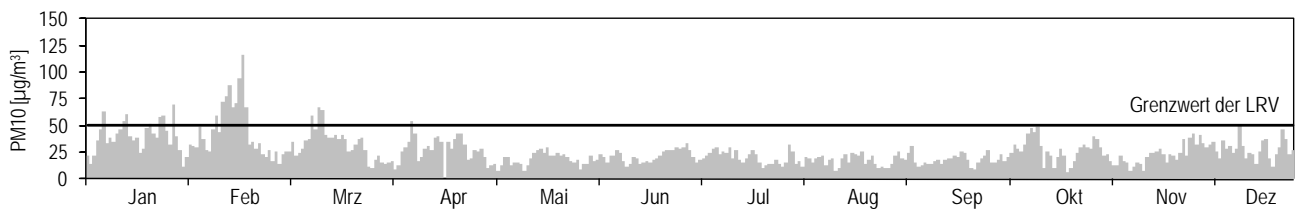
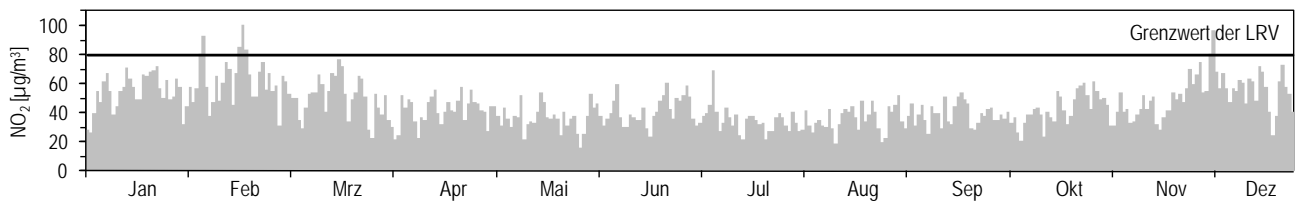
Jahresübersicht
2010

Bern-Bollwerk
Städtisch, verkehrsbelastet

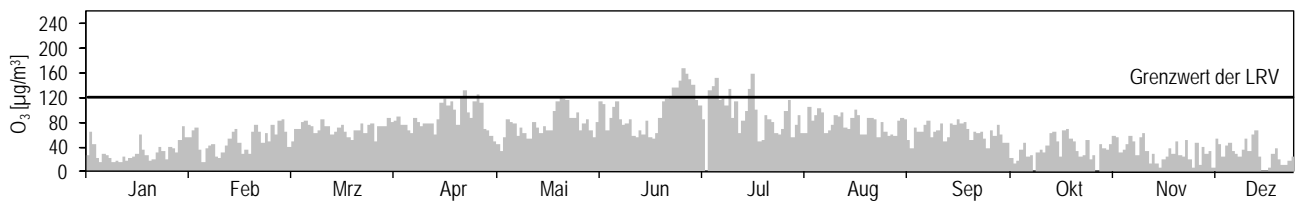



Koordinaten: 600'170 / 199'990
Höhe: 536 m

Tagesmittelwerte für NO₂ und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2010	Chaumont		Koordinaten: 565'090 / 211'040
	Ländlich, oberhalb 1000 m		Höhe: 1136 m

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
NO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	11,3	8,8	7,7	8,9	5,0	5,3	4,6	3,2	5,1	8,1	6,2	7,6	6,8
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	21,4	24,6	16,1	17,8	9,5	7,8	7,5	5,8	10,7	16,1	14,8	25,4	25,4
	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	0,7	0,5	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	0,3	0,6	0,4
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	2,0	2,5	1,3	1,2	0,7	0,7	0,5	0,4	0,9	1,6	1,9	6,3	6,3
NO _x	Mittelwerte	ppb	6,5	5,0	4,4	4,9	2,8	3,0	2,6	1,8	2,9	4,6	3,5	4,5	3,9
	max. 24h-Mittelwert	ppb	12,6	14,2	9,4	10,3	5,3	4,4	4,2	3,3	6,1	9,0	9,3	17,3	17,3
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	58	77	87	101	85	101	110	86	81	65	59	64	81
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	88	102	109	141	136	169	180	117	117	97	80	86	180
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	92	113	116	150	142	186	190	140	124	107	87	93	190
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	150	64	200	238	9	5	0	0	0	666
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	3	15	0	0	0	0	0	18
	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	6,3	9,3	10,8	16,3	7,0	10,5	12,6	6,8	6,3	9,4	3,5	3,6	8,5
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	21,0	46,4	24,3	35,3	21,7	22,3	24,7	16,6	12,9	34,8	12,7	12,4	46,4
	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	-5,0	-3,0	0,6	6,5	7,3	12,9	16,6	13,3	9,9	6,2	1,5	-3,2	5,3
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	774	644	603	385	372	134	53	107	247	407	557	720	4992
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	56	74	131	209	164	217	256	181	168	100	52	44	138
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	88	86	74	68	84	80	72	81	80	80	89	83	80
Niederschlag	Summen	mm	56	93	56	17	105	69	40	174	25	23	124	143	926
Druck	Mittelwerte	hPa	881	875	886	888	885	887	891	889	888	885	878	880	884

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

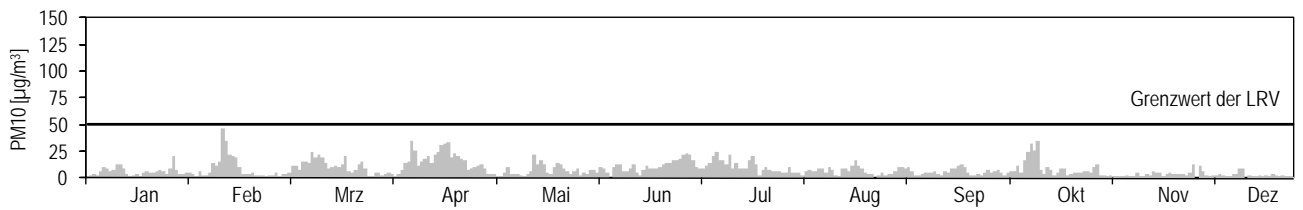
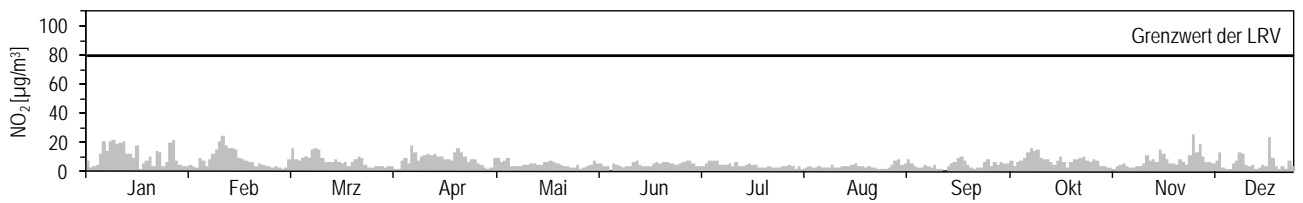
Jahresübersicht
2010

Chaumont
Ländlich, oberhalb 1000 m

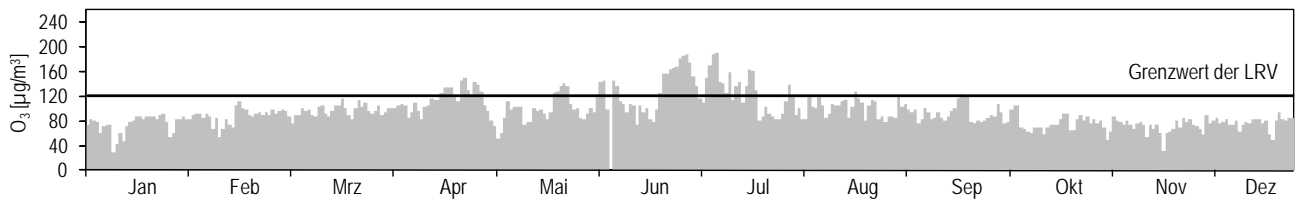



Koordinaten: 565°090 / 211°040
Höhe: 1136 m

Tagesmittelwerte für NO₂ und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2010	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	6,1	6,0	5,2	4,6	2,5	2,3	2,3	2,1	2,5	3,2	4,3	6,5	4,0
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	21,6	20,5	17,9	11,1	4,5	4,3	3,4	3,4	3,6	6,8	9,1	21,0	21,6
	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	0,47	0,38	0,22	0,10	0,14	0,10	0,07	0,11	0,14	0,24	0,25	0,82	0,25
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	3,14	2,03	0,58	0,22	0,45	0,54	0,14	0,25	0,34	1,00	0,78	12,82	12,82
NO _x	Mittelwerte	ppb	4,1	4,0	3,3	2,9	1,6	1,5	1,4	1,4	1,6	2,2	2,8	4,7	2,6
	max. 24h-Mittelwert	ppb	15,9	13,8	11,2	6,7	3,1	3,1	2,1	2,3	2,5	4,6	6,0	24,4	24,4
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	64	73	78	89	70	76	81	60	54	53	51	56	67
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	85	91	100	114	107	124	130	93	81	81	72	80	130
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	89	95	108	119	126	133	141	115	86	86	79	83	141
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	1	30	39	0	0	0	0	0	70
	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

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

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	-6,6	-4,8	-2,2	2,9	4,7	10,4	13,8	10,6	7,1	4,0	-0,5	-5,7	2,9
	Heizgradtagzahl ²⁾	(°C*d)	824	694	688	513	467	215	117	208	386	513	617	796	6021
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	67	105	160	200	178	222	239	175	148	120	65	48	144
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	69	69	66	67	83	74	69	81	77	73	79	74	73
Niederschlag	Summen	mm	8	21	34	23	119	72	91	196	70	23	58	28	743
Druck	Mittelwerte	hPa	827	822	832	835	832	836	840	838	836	833	826	827	832

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

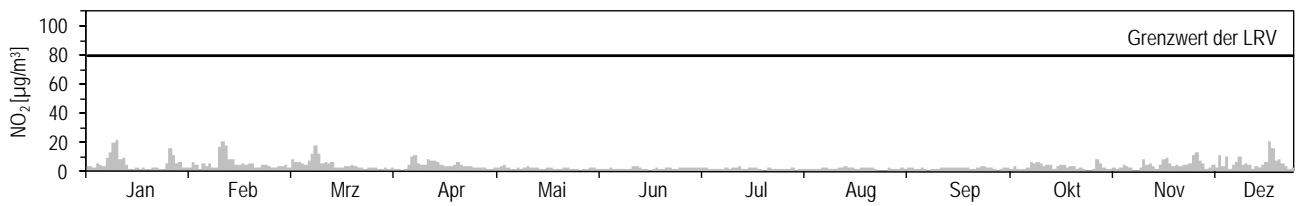
Jahresübersicht
2010

Davos-Seehornwald
Ländlich, oberhalb 1000 m



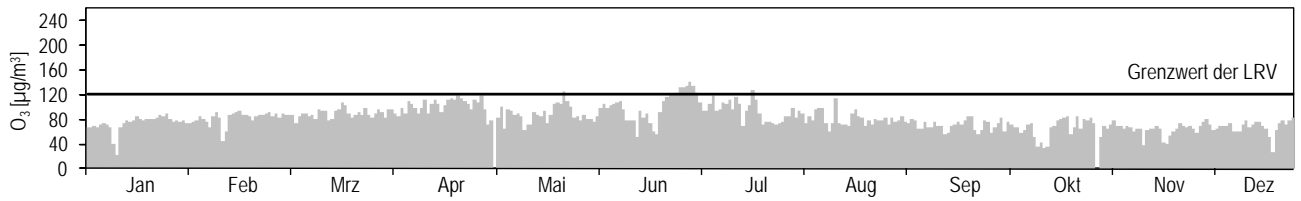
Koordinaten: 784'450 / 187'735
Höhe: 1637 m

Tagesmittelwerte für NO₂ ¹⁾




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

Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃ ¹⁾



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

Jahresübersicht 2010	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	4,0	3,9	2,6	2,1	1,1	0,9	0,8	0,8	1,2	1,8	2,2	3,6	2,1
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	7,0	9,1	5,7	3,4	2,5	1,5	1,5	1,2	2,1	5,0	6,2	8,0	9,1
	24h-Mittel > 100 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	41	41	31	27	18	19	18	18	24	29	31	42	28
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	60	78	59	42	28	31	36	30	41	56	55	66	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	16,6	14,6	8,1	5,8	2,4	2,7	2,3	4,0	9,3	18,1	14,8	23,5	10,2
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	53,6	72,2	27,9	20,4	9,9	7,7	6,9	17,2	31,7	88,6	62,2	71,2	88,6
NO _x	Mittelwerte	ppb	35	33	23	19	11	12	11	13	20	30	28	41	23
	max. 24h-Mittelwert	ppb	72	93	49	38	22	20	23	27	44	99	73	92	99
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	20	38	52	62	58	68	75	55	37	23	22	20	44
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	71	88	96	134	131	156	178	123	98	71	62	66	178
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	83	93	111	145	150	184	206	141	108	86	74	83	206
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	33	32	85	134	18	0	0	0	0	302
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	1	10	0	0	0	0	0	11
	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	0,50	0,50	0,40	0,30	0,20	0,20	0,20	0,20	0,30	0,40	0,40	0,50	0,30
	max. 24h-Mittelwert	mg/m ³	0,80	1,00	0,60	0,40	0,40	0,30	0,40	0,40	0,50	0,80	0,80	0,90	1,00
	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	66	68	46	40	22	29	26	31	51	51	55	71	46
	max. 24h-Mittelwert	µgCH ₄ /m ³	143	174	88	73	52	53	69	61	99	151	134	128	174
CH ₄	Mittelwerte	mg/m ³	1,37	1,36	1,31	1,32	1,28	1,29	1,31	1,30	1,34	1,36	1,34	1,39	1,33
PM10	Mittelwerte	µg/m ³	31	30	20	21	11	14	15	11	12	19	15	22	18
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	62	86	54	49	20	28	28	21	19	45	39	59	86
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	2	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	-1,3	1,3	5,2	10,7	12,5	17,8	20,9	18,0	13,8	9,3	5,9	-0,2	9,5
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	659	523	446	229	157	18	0	8	65	286	396	627	3406
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	36	71	121	193	158	218	243	162	150	81	48	30	126
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	83	74	67	62	75	70	69	75	76	80	80	83	75
Niederschlag	Summen	mm	34	33	51	47	138	136	147	145	80	44	73	99	1028
Druck	Mittelwerte	hPa	962	955	966	967	963	964	967	965	965	963	957	961	963

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

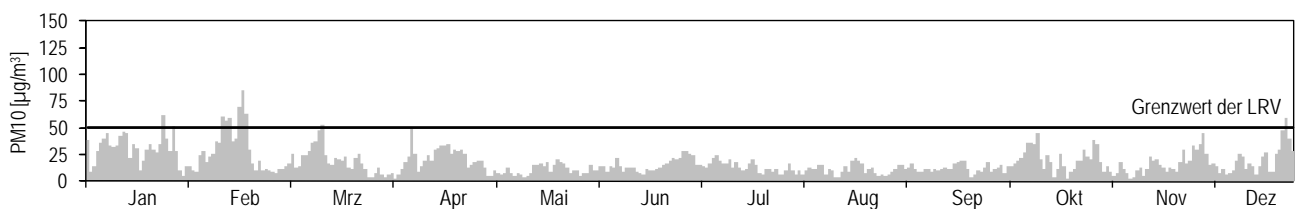
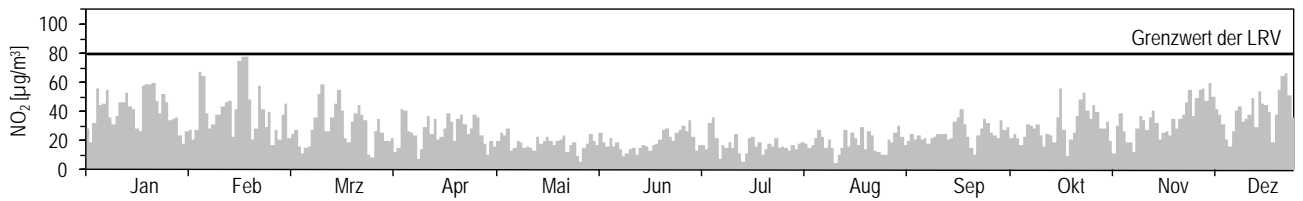
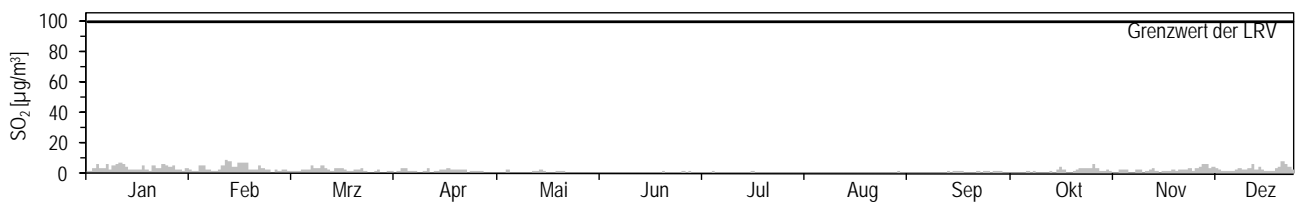
Jahresübersicht
2010

Dübendorf-Empa
Vorstädtisch

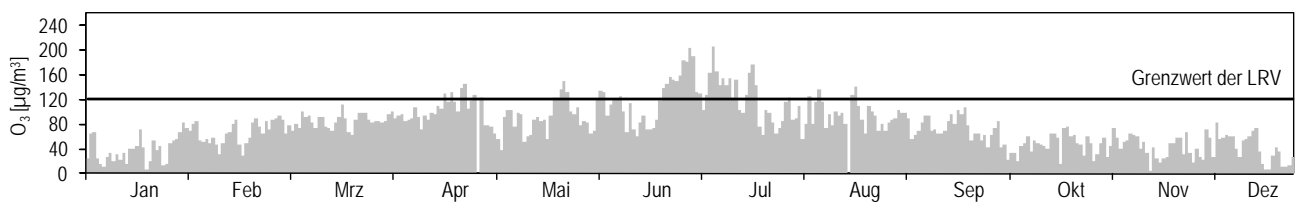



Koordinaten: 688'675 / 250'900
Höhe: 432 m

Tagesmittelwerte für SO₂, NO₂ und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2010	Härkingen-A1		Koordinaten: 628'875 / 240'185	
	Ländlich, Autobahn		Höhe: 431 m	

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	2,0	2,1	1,5	1,2	0,7	0,8	0,8	0,6	0,8	1,0	1,2	1,8	1,2
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	3,9	6,7	3,6	2,5	1,6	1,5	1,2	1,2	1,2	2,2	2,3	3,7	6,7
	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	50	55	44	38	31	31	38	40	37	36	45	57	42
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	76	95	79	70	57	52	59	62	62	58	70	97	97
	24h-Mittel > 80 µg/m ³	Anz. Tage	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6
NO	Mittelwerte	µg/m ³	52	55	42	29	23	24	27	37	45	49	62	74	43
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	114	150	100	78	74	48	72	75	85	122	114	202	202
NO _x	Mittelwerte	ppb	68	73	57	43	35	36	42	51	56	58	73	89	57
	max. 24h-Mittelwert	ppb	131	168	118	88	88	66	86	92	101	129	127	212	212
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	17	27	42	56	50	58	60	39	32	20	16	14	36
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	68	76	92	121	117	168	166	106	96	61	59	55	168
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	79	83	102	139	139	209	198	121	110	79	69	67	209
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	13	6	73	74	1	0	0	0	0	167
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	8	2	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	0,51	0,51	0,39	0,33	0,28	0,27	0,28	0,29	0,32	0,40	0,42	0,54	0,38
	max. 24h-Mittelwert	mg/m ³	0,74	0,96	0,59	0,43	0,37	0,37	0,41	0,44	0,46	0,67	0,63	0,86	0,96
	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	34	35	24	24	13	16	18	14	14	21	18	27	21
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	59	91	49	49	23	28	30	23	26	51	39	59	91
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	4	6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	13
SN	Mittelwerte	mg/(m ² d)	90	48	56	61	53	47	59	47	39	43	40	94	56

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	-0,8	1,0	4,8	10,7	13,0	18,3	21,4	18,0	14,0	9,4	5,7	-0,6	9,6
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	643	532	470	226	130	9	0	0	55	278	407	637	3388
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	38	72	123	197	168	222	250	181	164	83	52	38	132
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	80	76	68	62	71	68	66	74	74	79	81	82	73
Niederschlag	Summen	mm	20	30	33	26	76	75	74	166	37	41	74	75	726
Druck	Mittelwerte	hPa	962	955	966	967	963	964	967	966	965	964	957	961	963

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	68855	74480	81808	85998	85314	88136	91205	94701	91224	86955	80979	71566	83461

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

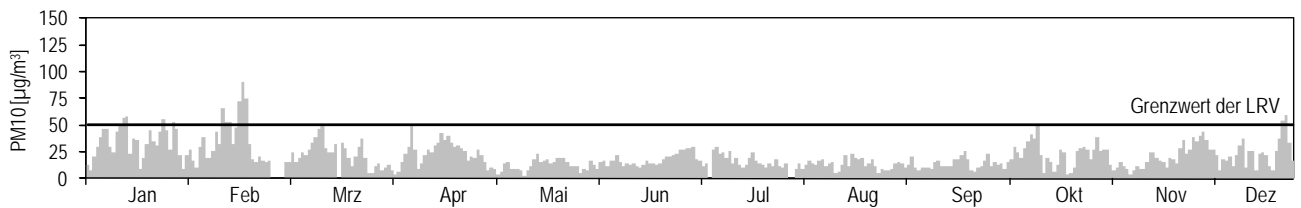
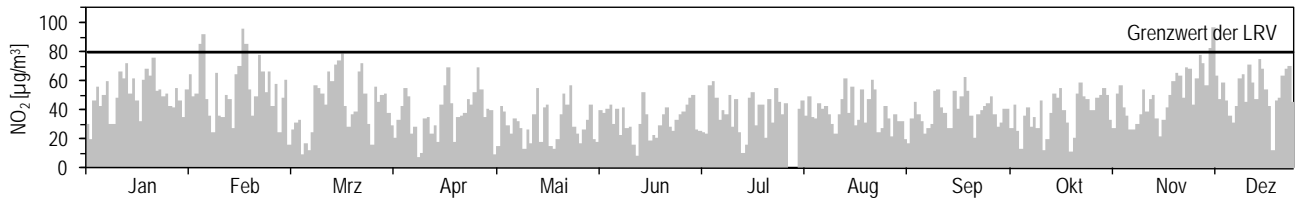
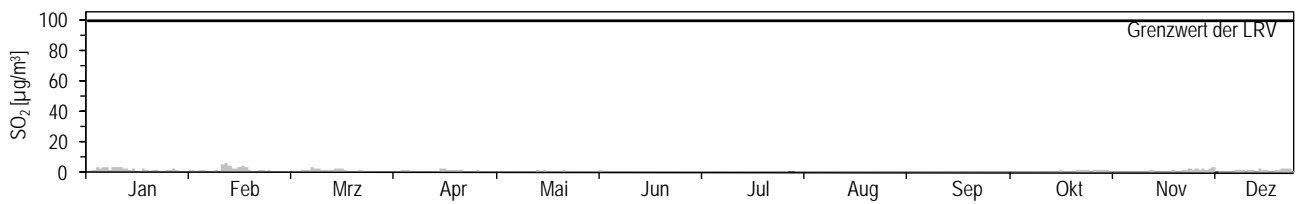
Jahresübersicht
2010

Härkingen-A1
Ländlich, Autobahn

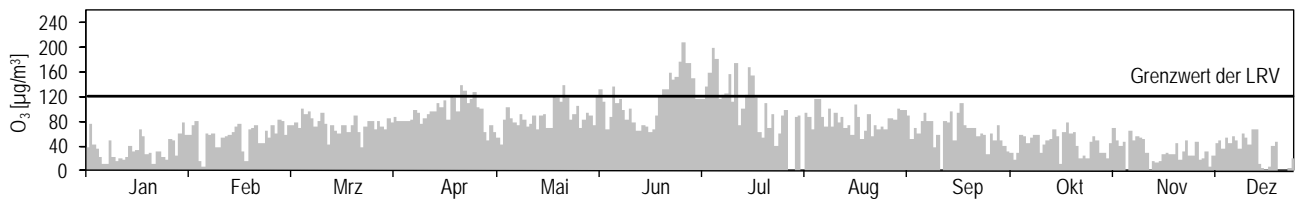


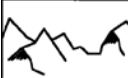
Koordinaten: 628°875 / 240°185
Höhe: 431m

Tagesmittelwerte für SO₂, NO₂ und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2010	Jungfrauoch		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	0,07	0,11	0,13	0,15	0,39	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04*	0,09
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	0,21	0,62	0,83	0,96	6,25	0,11	0,13	0,09	0,12	0,18	0,23	0,36	6,25
	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	0,35	0,35	0,33*	0,40*	0,34*	0,22	0,18	0,16	0,18	0,30	0,46**	0,45**	0,29
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	1,07	1,37	0,95*	1,04*	1,55*	0,49	0,32	0,33	0,51	1,85	0,79**	2,15**	2,20
	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	0,04	0,06*	0,06	0,09	0,04	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04**	0,06**	0,04
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	0,17	0,22	0,22*	0,16	0,41	0,15	0,05	0,08	0,07	0,27	0,09**	0,37**	0,41
NO _x	Mittelwerte	ppb	0,29	0,30	0,30*	0,37*	0,35*	0,21	0,16	0,14	0,16	0,26	0,39**	0,39**	0,26
	max. 24h-Mittelwert	ppb	0,88	1,22	0,91*	0,95*	1,59*	0,53	0,27	0,33	0,44	1,55	0,66**	1,99**	1,99
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	67	71	74	87	82	87	84	76	69	68	60	62	74
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	82	81	88	101	106	114	113	98	84	85	77	73	114
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	100	84	96	102	111	154	134	106	90	91	85	77	154
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	7	6	0	0	0	0	0	13
	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	0,11	0,13	0,13	0,13	0,12	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,100*	0,11	0,11
	max. 24h-Mittelwert	mg/m ³	0,16	0,17	0,16	0,16	0,15	0,11	0,11	0,11	0,10	0,13	0,117*	0,14	0,17
	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	0,2	0,8	1,3	4,1	2,2	3,0	5,2	1,8	0,9	4,3	1,2	1,1	2,2
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	0,9	2,8	3,5	13,7	14,3	7,8	28,0	7,8	5,6	50,1	5,0	2,9	50,1
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1

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

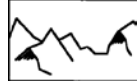
*) unvollständige Messreihe (siehe Anhang A4), aber mindestens 50 % der Messwerte vorhanden

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

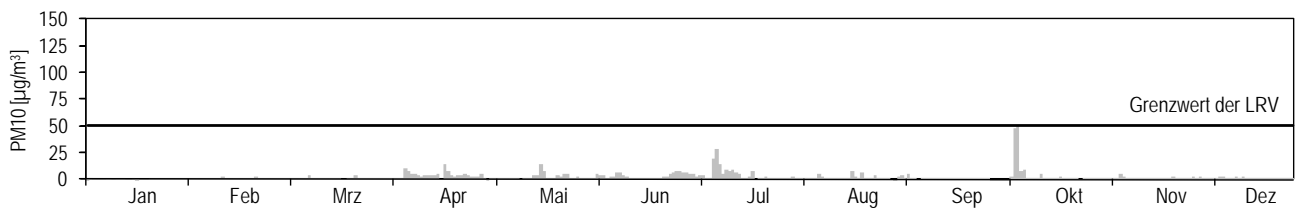
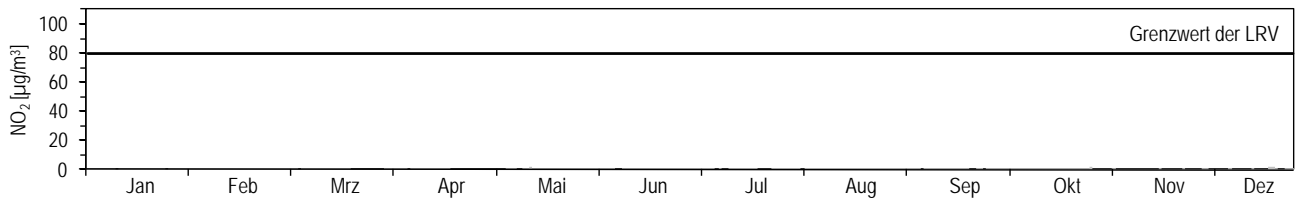
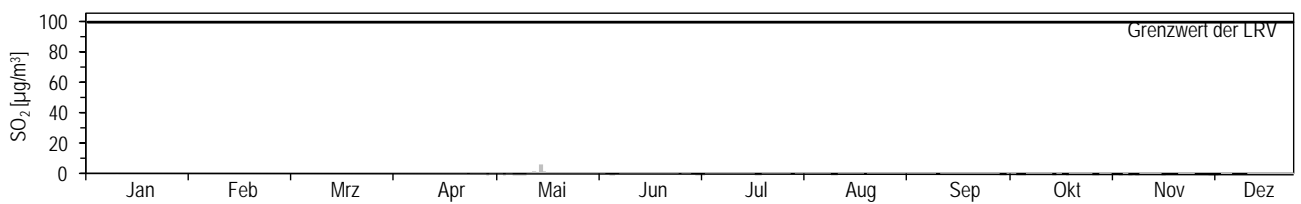
Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	-15,7	-15,2	-13,5	-9,4	-6,6	-1,3	1,5	-0,8	-3,3	-5,3	-11,5	-15,2	-8,0
	Heizgradtagzahl ²⁾	(°C*d)	1105	987	1039	883	825	638	573	645	700	786	944	1091	10215
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	78	118	168	272	269	291	273	224	207	144	82	59	182
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	62	68	65	65	85	80	75	79	67	62	74	73	71
Druck	Mittelwerte	hPa	643	640	649	654	653	659	665	661	658	654	645	643	652

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

Die meteorologischen Daten wurden durch die MeteoSchweiz erhoben.

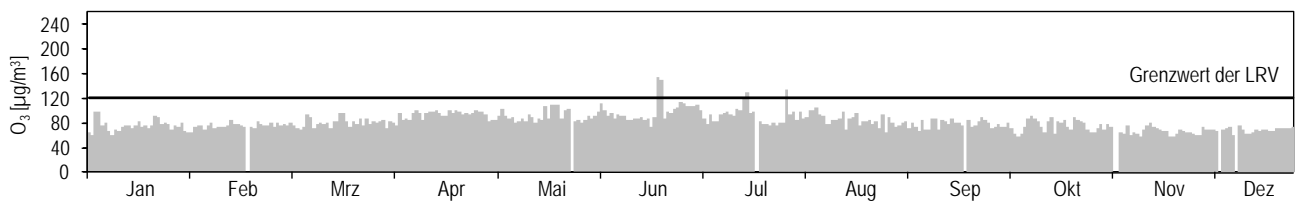
Jahresübersicht 2010	Jungfrauoch		Koordinaten: 641°910 / 155°280 Höhe: 3580 m
	Hochgebirge		

Tagesmittelwerte für SO₂¹⁾, NO₂¹⁾ und PM10




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

Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃¹⁾




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

Jahresübersicht 2010	Lägeren		Koordinaten: 669'780 / 259'020 Höhe: 689 m
	Ländlich, unterhalb 1000 m		

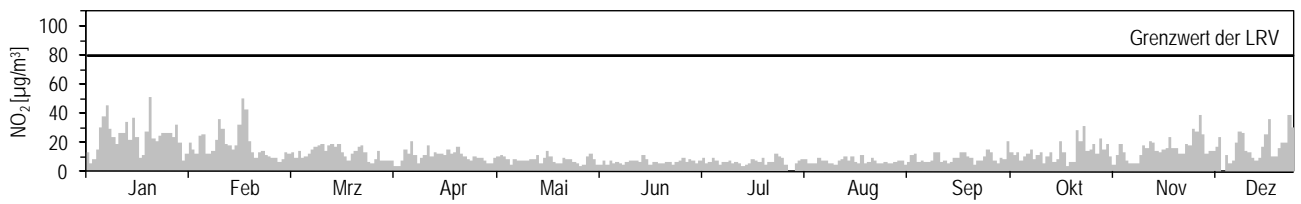
Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
NO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	23,9	19,1	13,1	11,0	7,9	7,0	7,2	7,2	8,7	12,5	14,4	19,6	12,6
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	51,2	50,4	19,2	20,8	13,8	12,7	12,2	11,4	15,1	31,0	23,9	39,3	51,2
	24h-Mittel > 80 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO	Mittelwerte	µg/m ³	2,1	1,4	1,1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	1,0	2,2	1,6	2,9	1,4
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	11,4	4,3	2,7	2,2	1,5	2,4	1,9	1,6	2,5	8,2	4,8	24,6	24,6
NO _x	Mittelwerte	ppb	14,2	11,1	7,7	6,4	4,8	4,3	4,4	4,5	5,4	8,3	8,8	12,6	7,7
	max. 24h-Mittelwert	ppb	33,2	29,7	11,3	11,7	8,0	7,7	7,4	6,9	9,1	22,8	14,8	38,4	38,4
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	37	60	75	91	76	91	102	77	68	45	40	41	67
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	75	88	103	140	133	155	172	121	107	80	72	75	172
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	81	92	114	148	151	185	192	131	115	88	87	87	192
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	78	35	150	225	17	0	0	0	0	505
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	2	7	0	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

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	-3,2	-0,4	3,4	9,1	10,0	15,9	19,2	15,8	12,4	7,9	3,9	-1,8	7,7
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	719	570	508	284	274	79	0	39	116	349	469	677	4075
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	36	68	123	210	162	225	260	172	164	89	47	30	132
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	90	81	70	63	81	73	70	79	76	81	87	88	78
Niederschlag	Summen	mm	20	30	30	28	139	128	115	152	48	54	64	80	888
Druck	Mittelwerte	hPa	932	925	936	937	934	936	939	937	937	934	927	931	934

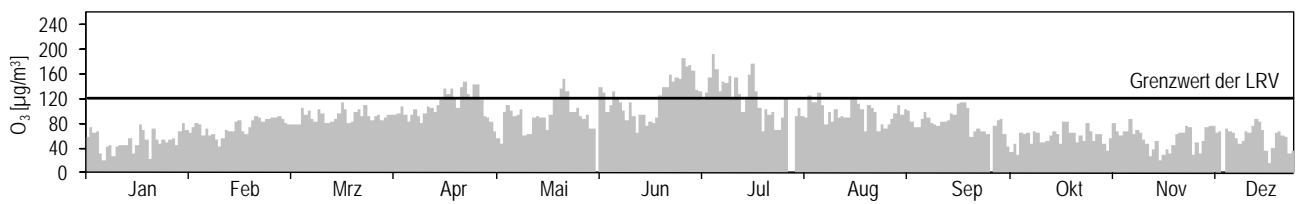
1) Heizgradtagzahl: Monatliche Summe der täglichen Differenzen zwischen Raumtemperatur (20 °C) und der Tagesmittel-Temperatur aller Heiztage (Heiztag: Tag mit Tagesmitteltemperatur <= 12 °C)

Jahresübersicht 2010	Lägeren		Koordinaten: 669'780 / 259'020 Höhe: 689 m
	Ländlich, unterhalb 1000 m		

Tagesmittelwerte für NO₂



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2010	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	44	49	43	39	30	33	37	34	39	35	41	47	39
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	65	77	68	61	57	55	69	53	63	54	57	74	77
	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	23	23	17	14	12	11	10	12	17	22	26	29	18
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	53	52	37	29	30	20	17	22	32	88	52	60	88
NO _x	Mittelwerte	ppb	41	45	37	31	25	26	28	27	34	36	42	48	35
	max. 24h-Mittelwert	ppb	77	80	63	50	44	41	47	44	53	97	70	86	97
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	23	36	48	64	60	69	78	58	46	28	25	22	47
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	61	73	81	113	115	145	139	98	87	66	58	56	145
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	66	87	88	127	123	165	157	123	100	84	66	60	165
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	2	3	35	55	2	0	0	0	0	97
	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	0,55	0,58	0,47	0,43	0,34	0,34	0,34	0,34	0,40	0,42	0,45	0,49	0,43
	max. 24h-Mittelwert	mg/m ³	0,73	0,91	0,69	0,54	0,55	0,48	0,61	0,50	0,68	0,87	0,71	0,71	0,91
	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	29	30	26	25	16	16	18	13	17	20	16	19	20
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	56	82	63	57	35	27	36	22	29	39	32	36	82
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	2	6	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	12
SN	Mittelwerte	mg/(m ² d)	74	140	92	99	83	89	70	70	73	92	64	73	85

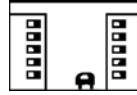
Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	0,5	2,4	6,1	11,8	12,9	18,3	22,4	18,9	15,3	10,7	6,6	1,0	10,6
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	603	492	387	185	148	9	0	0	39	242	358	590	3052
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	41	71	126	208	185	241	251	191	163	94	51	36	138
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	75	70	61	56	68	64	56	66	66	72	76	77	67
Niederschlag	Summen	mm	33	32	35	17	70	51	28	144	31	6	72	116	634
Druck	Mittelwerte	hPa	951	944	955	956	952	953	957	956	955	953	947	950	952

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

Verkehr		Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Verkehrszähler	Fz/Tag	28168	29641	30761	29228	28768	30087	28842	28810	31748	31191	32189	29575	29899

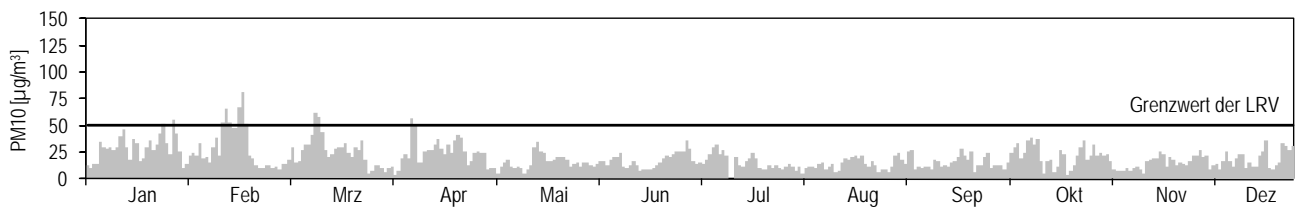
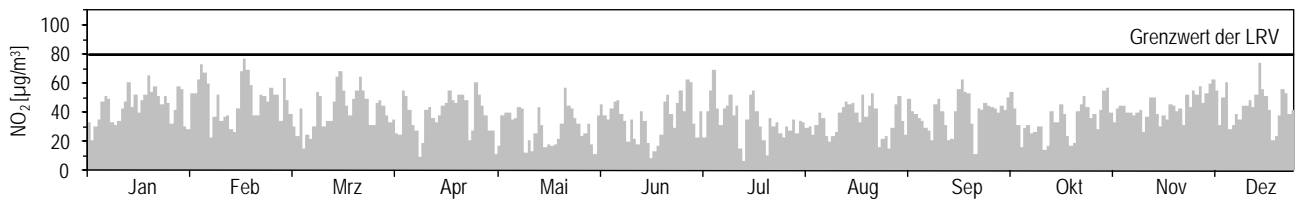
Jahresübersicht
2010

Lausanne-César-Roux
Städtisch, verkehrsbelastet

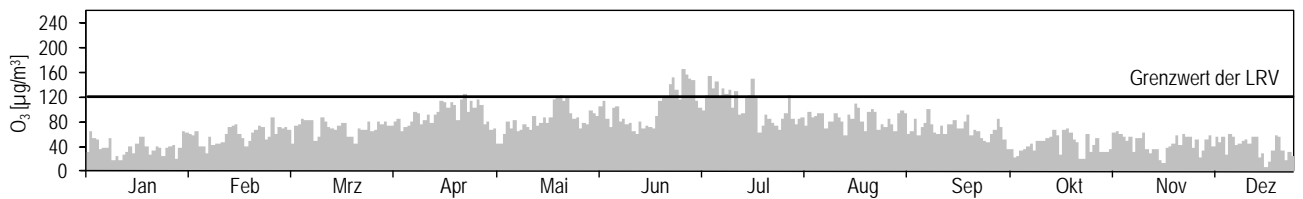


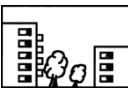
Koordinaten: 538'695 / 152'615
Höhe: 530 m

Tagesmittelwerte für NO₂ und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2010	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	8,1	6,9	4,8	3,7	2,3	1,2	1,1	1,1	1,4	4,3	5,5	8,2	4,0
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	13,2	14,1	8,0	6,5	8,8	1,8	1,7	2,1	2,7	8,3	9,8	14,8	14,8
	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	54	52	37	30	21	19	18	16	26	37	40	47	33
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	99	84	58	42	45	31	23	25	46	50	58	80	99
	24h-Mittel > 80 µg/m ³	Anz. Tage	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5
NO	Mittelwerte	µg/m ³	23,1	16,2	7,2	4,7	3,3	2,1	1,5	1,8	4,9	10,6	19,3	27,7	10,2
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	62,2	95,0	19,9	9,2	10,5	4,7	3,3	3,6	8,9	21,4	40,8	91,1	95,0
NO _x	Mittelwerte	ppb	47	40	25	19	14	12	10	10	18	28	37	47	25
	max. 24h-Mittelwert	ppb	96	120	46	29	32	20	14	15	30	41	58	107	120
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	16	27	45	70	74	93	114	81	58	26	18	21	54
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	78	79	94	132	160	193	209	154	135	72	63	77	209
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	84	87	114	145	184	223	257	180	150	85	73	83	257
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	49	48	151	266	91	42	0	0	0	647
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	4	34	61	0	0	0	0	0	99
	1h-Mittel > 240 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3
CO	Mittelwerte	mg/m ³	0,69	0,60	0,42	0,35	0,27	0,26	0,25	0,23	0,30	0,42	0,48	0,54	0,40
	max. 24h-Mittelwert	mg/m ³	1,08	1,18	0,59	0,42	0,40	0,34	0,33	0,30	0,37	0,55	0,79	1,01	1,18
	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	151	108	76	79	63	71	67	60	82	100	103	113	89
	max. 24h-Mittelwert	µgCH ₄ /m ³	275	243	126	120	95	97	96	95	113	146	148	216	275
CH ₄	Mittelwerte	mg/m ³	1,35	1,32	1,29	1,28	1,26	1,27	1,26	1,26	1,28	1,31	1,31	1,31	1,29
PM10	Mittelwerte	µg/m ³	43	32	23	18	11	16	17	13	13	26	16	20	21
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	90	86	40	48	28	33	33	23	25	58	35	49	90
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	12	5	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	19

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	2,1	4,1	7,4	11,9	15,0	20,2	24,4	21,0	17,1	11,8	7,8	2,6	12,1
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	556	445	383	163	53	0	0	0	0	179	365	538	2682
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	53	88	130	200	202	248	291	221	175	94	49	43	150
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	72	72	68	66	70	69	61	70	72	77	81	68	71
Niederschlag	Summen	mm	34	92	109	65	345	122	161	191	191	194	211	138	1854
Druck	Mittelwerte	hPa	977	971	981	982	976	978	980	979	979	980	973	976	978

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

Die meteorologischen Daten wurden durch die MeteoSchweiz erhoben.

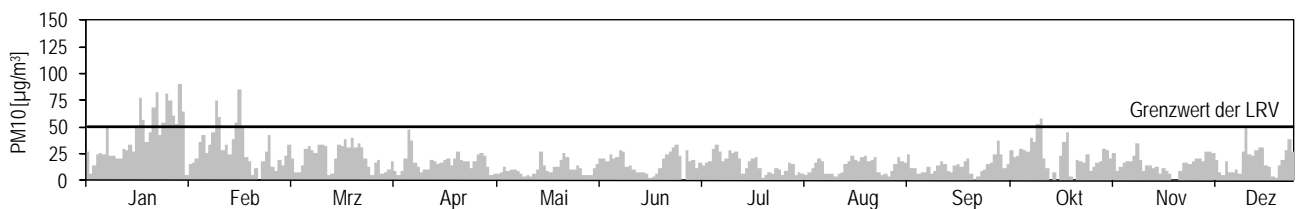
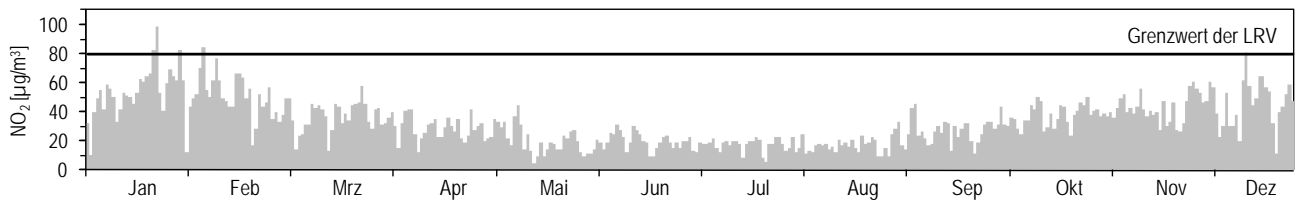
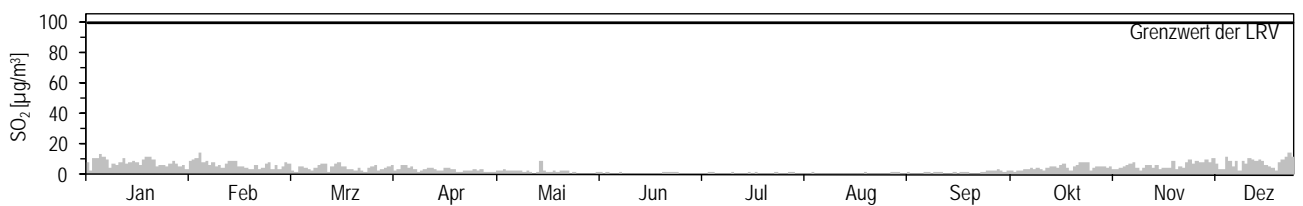
Jahresübersicht
2010

Lugano-Universität
Städtisch

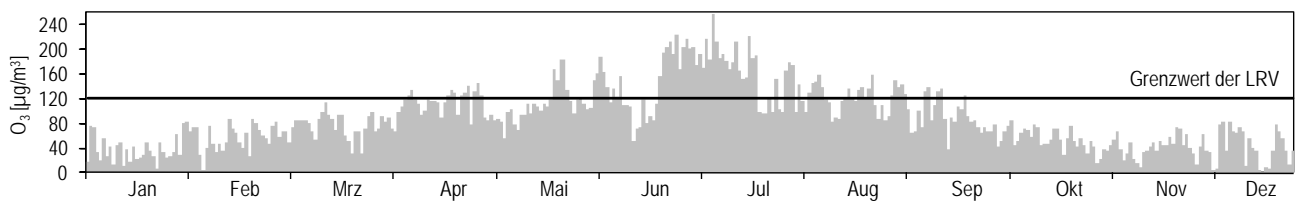



Koordinaten: 717'615 / 096'645
Höhe: 280 m

Tagesmittelwerte für SO₂, NO₂ und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2010	Magadino-Cadenazzo		Koordinaten: 715'500 / 113'200 Höhe: 203 m
	Ländlich, unterhalb 1000 m		

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	4,2	3,2	3,3	4,0	1,8	1,1	1,1	1,0	1,2	1,6	1,9	4,0	2,4
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	6,5	6,8	10,8	7,6	9,0	2,6	3,0	2,0	2,2	4,9	3,8	8,5	10,8
	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	38	22	18	10	10	11	10	14	21	25	34	21
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	76	68	38	26	19	22	16	15	22	33	43	52	76
	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	26,7	11,9	3,3	2,8	1,3	1,1	1,2	1,2	2,8	7,8	16,1	30,0	8,8
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	82,2	51,2	15,9	7,8	2,3	5,2	2,6	2,2	7,5	31,3	42,7	91,3	91,3
NO _x	Mittelwerte	ppb	45,4	29,6	14,3	11,5	6,2	5,9	6,6	6,0	9,3	17,4	26,0	41,9	18,3
	max. 24h-Mittelwert	ppb	98,1	75,3	30,7	19,4	11,3	15,9	10,2	8,8	16,1	40,6	47,2	99,1	99,1
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	18	32	53	70	73	82	92	66	51	25	18	19	50
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	81	87	101	133	148	177	181	143	134	78	65	74	181
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	87	95	116	142	183	187	204	175	157	94	80	79	204
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	76	40	126	192	60	31	0	0	0	525
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	1	6	15	0	0	0	0	0	22
	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	38	29	19	14	9	15	17	12	11	21	17	24	19
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	70	84	41	28	27	31	32	24	23	39	36	46	84
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
SN	Mittelwerte	mg/(m ² d)	11	25	40	86	68	142	52	43	128	43	17	11	56

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	0,2	2,9	7,5	12,0	15,2	20,2	23,8	20,5	16,4	10,8	6,5	0,8	11,4
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	614	479	374	168	44	0	0	0	18	226	405	596	2923
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	57	87	132	194	198	241	283	217	175	91	52	41	147
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	79	74	66	67	70	70	65	74	76	81	84	74	73
Niederschlag	Summen	mm	46	83	134	85	376	205	66	174	151	189	248	127	1884
Druck	Mittelwerte	hPa	989	982	993	993	987	989	991	990	990	991	985	988	989

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
2010

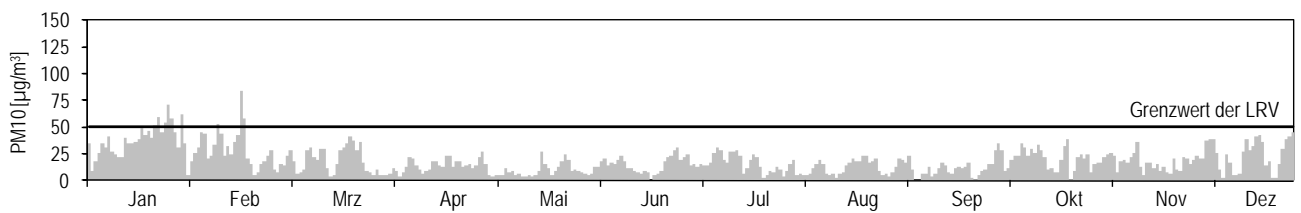
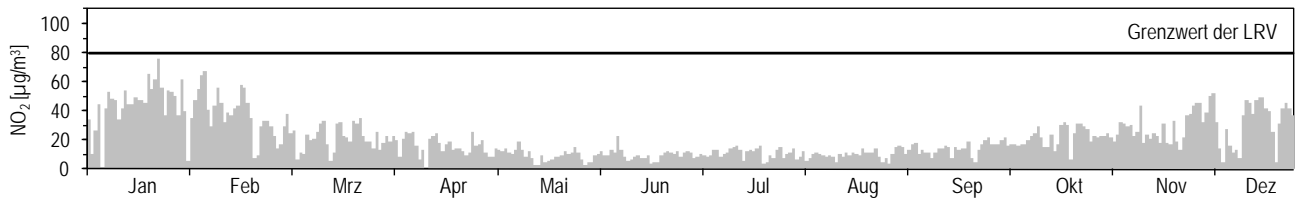
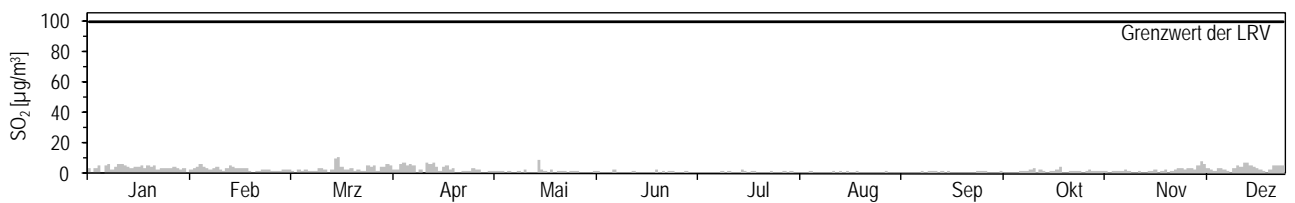
Magadino-Cadenazzo

Ländlich, unterhalb 1000 m

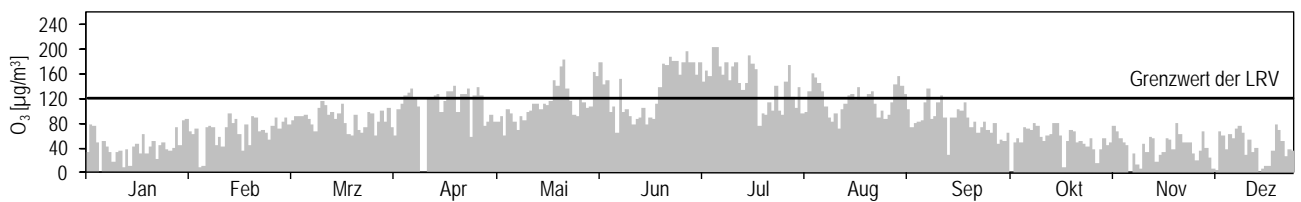



Koordinaten: 715'500 / 113'200
Höhe: 203 m

Tagesmittelwerte für SO₂, NO₂ und PM₁₀



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2010	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	1,16	1,55	0,92	0,67	0,55	0,27	0,45	0,30	0,37	0,59	0,68	0,82	0,69
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	3,14	7,41	2,67	1,21	2,43	0,58	1,05	0,64	0,62	1,70	1,66	1,53	7,41
	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	25,3	22,9	16,3	13,9	8,6	9,0	9,3	7,5	10,8	17,0	17,4	25,5	15,3
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	37,5	52,8	29,3	22,0	13,5	12,8	16,2	13,4	18,9	30,4	51,3	48,9	52,8
	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	2,5	1,8	1,7	1,1	0,6	0,7	0,6	0,6	1,4	3,1	2,8	5,9	1,9
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	9,1	7,8	6,1	3,3	2,1	1,4	1,7	2,2	3,2	15,4	23,9	25,2	25,2
NO _x	Mittelwerte	ppb	15,2	13,4	9,8	8,1	5,0	5,2	5,3	4,4	6,8	11,4	11,4	18,1	9,5
	max. 24h-Mittelwert	ppb	25,3	30,9	17,7	12,6	7,6	7,8	9,6	8,6	11,8	28,3	46,0	40,4	46,0
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	33	53	64	78	69	75	84	67	53	33	34	31	56
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	80	90	100	136	131	154	171	113	110	83	71	72	171
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	85	95	115	152	138	188	187	128	119	96	77	76	188
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	68	42	89	135	2	0	0	0	0	336
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	5	7	0	0	0	0	0	12
	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	0,39	0,36	0,27	0,24	0,20	0,18	0,17	0,16	0,19	0,25	0,26	0,35	0,25
	max. 24h-Mittelwert	mg/m ³	0,60	0,67	0,45	0,29	0,23	0,21	0,23	0,22	0,26	0,41	0,52	0,51	0,67
	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	27	26	20	19	11	13	15	10	10	18	13	15	16
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	48	87	47	43	24	25	28	18	23	42	29	31	87
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
SN	Mittelwerte	mg/(m ² d)	3	11	27	34	29	48	42	34	35	19	12	10	25

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	-1,5	0,7	4,5	10,0	12,2	17,0	20,8	17,8	13,4	8,7	5,3	-0,9	9,0
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	668	541	473	259	183	10	0	0	71	281	421	648	3555
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	41	78	134	217	196	241	270	194	181	90	56	44	145
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	86	79	70	67	76	74	66	75	77	83	84	85	77
Niederschlag	Summen	mm	27	56	36	13	69	38	21	117	23	33	77	84	594
Druck	Mittelwerte	hPa	956	949	959	960	957	958	961	960	959	957	951	955	957

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.

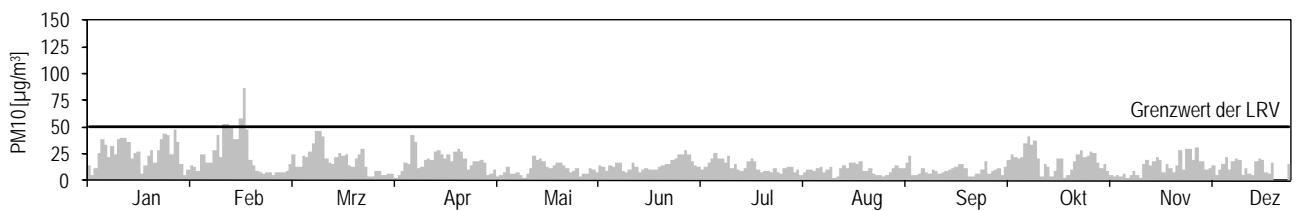
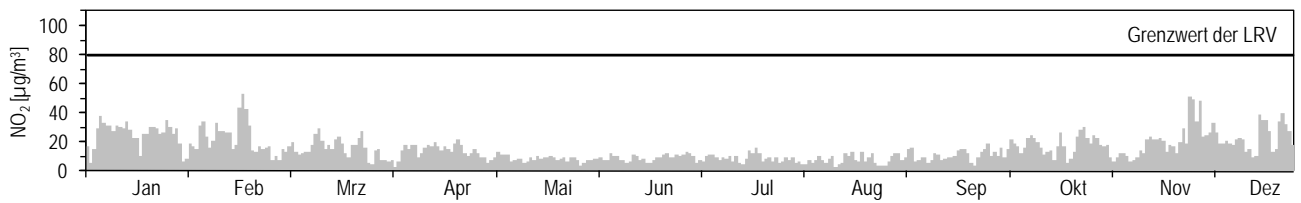
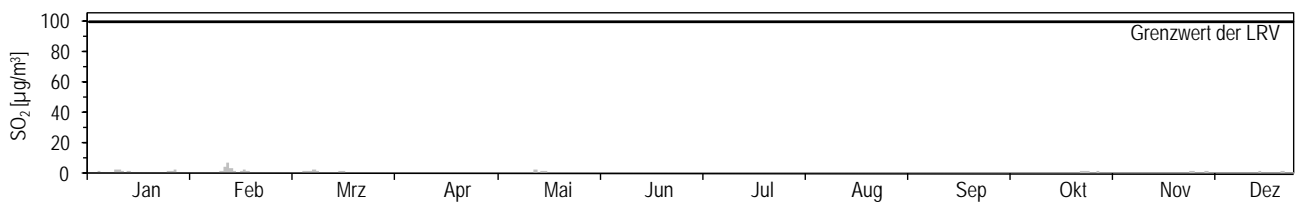
Jahresübersicht
2010

Payerne
Ländlich, unterhalb 1000 m

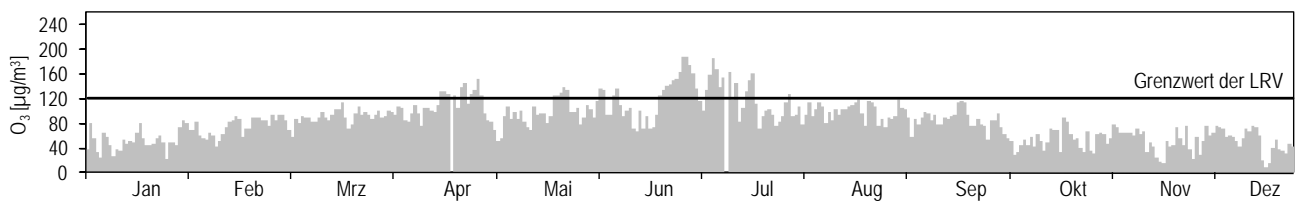



Koordinaten: 562'285 / 184'775
Höhe: 489 m

Tagesmittelwerte für SO₂, NO₂ und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2010	Rigi-Seebodenalp		Koordinaten: 677'835 / 213'440
	Ländlich, oberhalb 1000 m		Höhe: 1031 m

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
SO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	0,64	0,92	0,73	0,78	0,48	0,35	0,46	0,28	0,38	0,32	0,46	0,61	0,53
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	2,22	4,34	2,90	2,97	1,78	1,01	1,26	0,50	0,58	0,63	1,21	1,97	4,34
	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	13,8	10,7	9,1	10,1	6,0	5,6	4,9	3,6	6,4	8,4	9,4	9,9	8,1
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	34,1	33,5	25,4	19,2	12,6	9,2	7,9	5,9	10,5	22,7	25,4	35,7	35,7
	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	1,04	0,66	0,49	0,45	0,27	0,23	0,15	0,13	0,37	0,64	0,49	0,98	0,49
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	5,46	3,14	1,43	1,58	0,85	0,54	0,46	0,62	1,15	2,74	2,15	11,64	11,64
NO _x	Mittelwerte	ppb	8,0	6,1	5,2	5,6	3,3	3,1	2,7	2,0	3,6	4,9	5,3	6,0	4,7
	max. 24h-Mittelwert	ppb	21,3	20,1	14,2	10,9	7,3	5,1	4,3	3,3	6,3	13,2	14,2	24,6	24,6
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	58	77	84	95	82	97	109	86	73	57	52	61	77
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	95	106	110	140	137	165	180	117	106	95	80	90	180
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	99	114	118	158	150	199	204	131	116	100	94	93	204
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	108	69	163	241	9	0	0	0	0	590
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	5	13	0	0	0	0	0	18
	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	0,31	0,29	0,25	0,25	0,21	0,20	0,19	0,12	0,14	0,17	0,18	0,21	0,21
	max. 24h-Mittelwert	mg/m ³	0,56	0,53	0,44	0,32	0,28	0,24	0,25	0,19	0,19	0,28	0,3	0,46	0,56
	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	8,1	10,2	11,3	17,0	6,6	9,5	11,6*	6,6	7,4	6,8	4,7	3,3	8,5
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	23,6	41,8	35,8	39,8	16,1	22,5	24,2*	16,9	13,3	28,9	25,3	12,2	41,8
	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)	6	15	16	65	66	47	-	36	36	18	11	6	29

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

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	-4,1	-1,5	1,7	7,1	8,2	13,8	17,1	14,5	10,7	7,0	2,7	-2,1	6,2
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	725	603	562	363	348	122	27	80	207	393	518	686	4623
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	40	70	120	183	140	198	233	159	144	77	44	32	120
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	83	73	71	70	83	78	75	79	81	80	84	80	78
Niederschlag	Summen	mm	23	29	39	38	194	150	313	274	177	72	50	87	1446
Druck	Mittelwerte	hPa	892	886	897	899	896	898	902	900	899	896	890	892	896

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

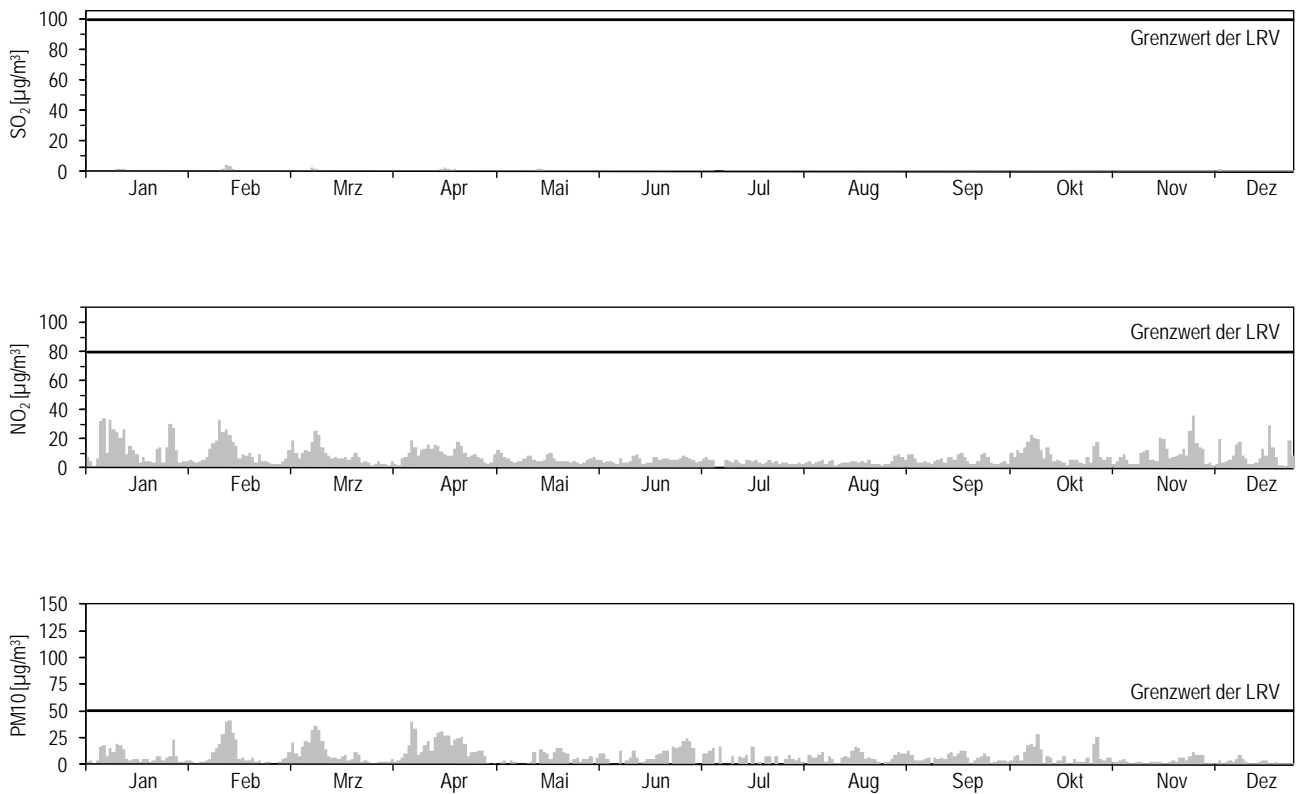
Jahresübersicht
2010

Rigi-Seebodenalp
Ländlich, oberhalb 1000 m

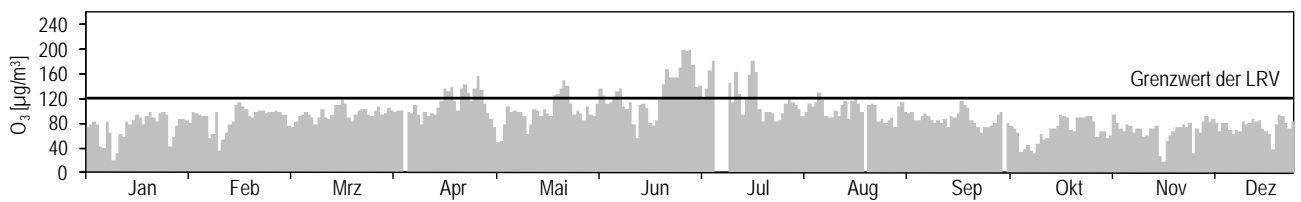



Koordinaten: 677'835 / 213'440
Höhe: 1031 m

Tagesmittelwerte für NO₂ und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2010	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	59	51	40	30	19	20	23	22	26	33	42	58	35
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	78	73	58	39	30	32	34	42	42	58	65	99	99
	24h-Mittel > 80 µg/m ³	Anz. Tage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3
NO	Mittelwerte	µg/m ³	43,4	21,8	16,1	10,5	6,6	5,9	6,6	8,6	13,7	23,6	36,7	51,8	20,5
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	95,8	44,8	32,8	20,4	15,7	10,8	13,4	23,0	26,0	60,5	75,3	141,9	141,9
NO _x	Mittelwerte	ppb	66	44	34	24	15	15	17	18	25	36	51	72	35
	max. 24h-Mittelwert	ppb	117	74	54	37	28	25	24	39	40	76	88	166	166
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	12	31	44	68	61	69	68	52	43	25	17	12	42
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	60	80	96	126	122	136	151	109	100	77	58	43	151
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	78	87	113	144	139	151	177	128	118	91	71	73	177
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	27	17	51	72	1	0	0	0	0	168
	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	31	26	22	20	12	14	17	12	13	18	18	23	19
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	46	56	62	45	26	25	28	25	20	36	32	37	62
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	-1,5	1,5	6,1	11,8	14,0	18,9	21,8	18,5	14,8	10,3	5,5	-0,6	10,1
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	665	517	410	177	83	0	0	0	56	226	435	640	3210
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	55	98	153	239	235	274	284	216	183	116	63	43	163
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	80	69	61	58	69	65	65	71	70	73	77	80	70
Niederschlag	Summen	mm	11	29	29	6	121	20	73	46	22	17	37	69	480
Druck	Mittelwerte	hPa	956	950	960	960	956	957	961	960	959	958	952	956	957

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	31866	35685	35883	36040	33688	34494	36655	37242	36954	36511**	33256	32594**	35069*

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

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

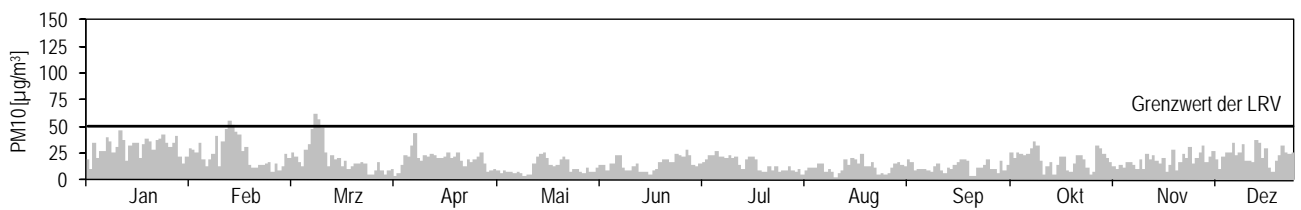
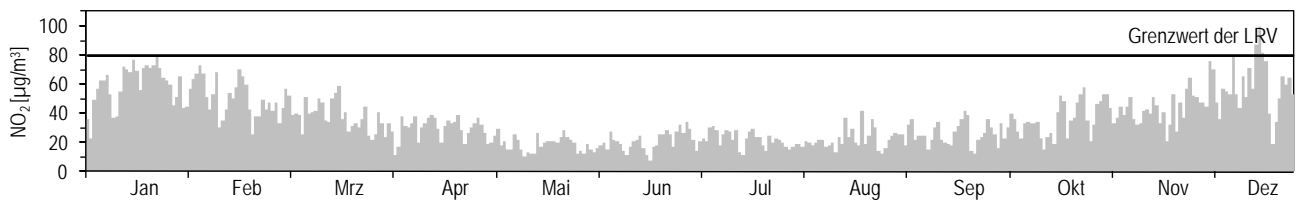
Jahresübersicht
2010

Sion-Aéroport-A9
Ländlich, Autobahn

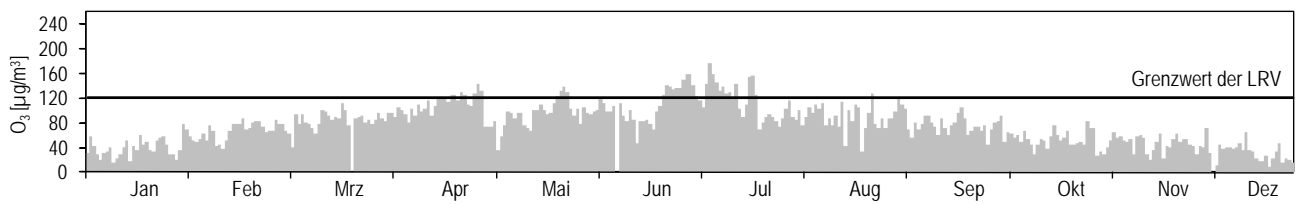



Koordinaten: 592'540 / 118'755
Höhe: 483 m

Tagesmittelwerte für NO₂ und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2010	Tänikon		Koordinaten: 710'500 / 259'810 Höhe: 538 m
	Ländlich, unterhalb 1000 m		

Luftschadstoffe			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
NO ₂	Mittelwerte	µg/m ³	26,8	24,8	13,5	10,8	7,3	7,3	7,4	6,7	10,3	14,4	15,3	26,0	14,2
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	40,7	72,8	26,6	17,3	12,2	10,4	11,7	12,0	16,9	25,5	33,4	46,9	72,8
	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	3,8	3,6	1,8	2,2	0,7	1,0	0,8	1,0	2,5	3,9	3,5	8,8	2,8
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	11,2	12,7	4,5	4,8	2,3	2,2	2,8	2,8	6,8	17,0	13,5	44,0	44,0
NO _x	Mittelwerte	ppb	17,1	15,8	8,5	7,4	4,4	4,6	4,5	4,3	7,4	10,7	10,8	20,6	9,6
	max. 24h-Mittelwert	ppb	30,3	48,2	16,5	12,6	7,9	6,3	8,4	8,5	14,2	26,9	22,8	50,0	50,0
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	32	54	67	73	66	74	81	64	46	30	32	31	54
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	78	92	103	136	137	153	173	120	97	77	66	76	173
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	89	96	122	151	153	177	186	134	105	81	80	83	186
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	2	55	28	79	130	14	0	0	0	0	308
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	6
	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	28	27	17	20	10	14	14	9	10	17	12	18	16
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	64	81	46	50	19	26	27	17	16	44	28	48	81
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	1	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	7

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	-2,1	0,2	4,0	8,9	11,5	16,2	19,5	17,0	12,6	8,0	4,9	-1,5	8,3
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	686	554	488	308	221	61	0	18	99	332	427	668	3860
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	38	77	131	202	163	217	253	175	155	80	49	32	131
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	86	78	71	69	79	76	74	78	80	86	84	87	79
Niederschlag	Summen	mm	50	59	71	33	211	139	120	180	81	76	76	130	1227
Druck	Mittelwerte	hPa	950	942	954	955	951	952	956	954	954	952	945	948	951

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.

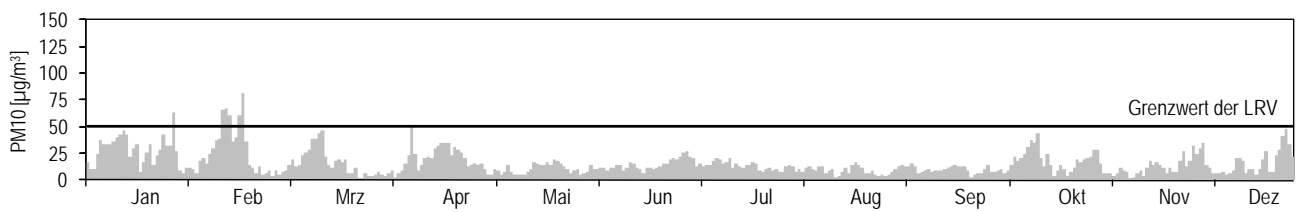
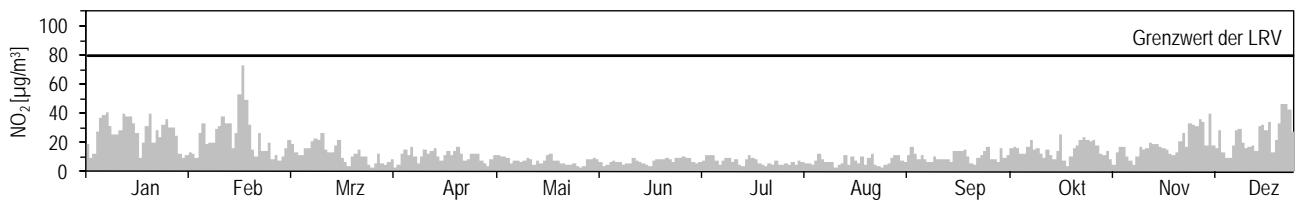
Jahresübersicht
2010

Tänikon
Ländlich, unterhalb 1000 m

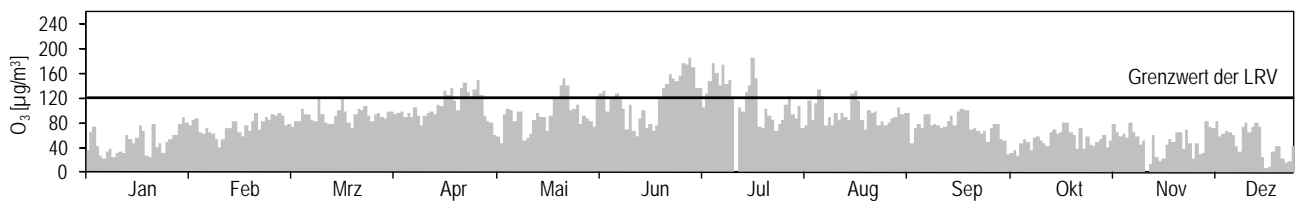



Koordinaten: 710'500 / 259'810
Höhe: 538 m

Tagesmittelwerte für NO₂ und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht 2010	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	5,3	5,6	3,8	2,6	1,4	1,0	0,9	0,9	1,7	2,7	2,6	4,7	2,8
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	9,9	11,6	9,4	4,7	3,6	1,6	1,5	1,9	3,0	7,9	5,6	12,4	12,4
	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	43	46	36	31	23	25	23	21	30	36	34	47	33
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	68	90	66	50	34	38	45	33	57	66	60	75	90
	24h-Mittel > 80 µg/m ³	Anz. Tage	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
NO	Mittelwerte	µg/m ³	15,3	15,2	7,6	4,8	3,4	3,5	2,5	3,3	8,3	17,4	13,9	23,8	9,9
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	48,6	67,8	27,8	20,7	8,5	7,1	6,1	12,0	29,3	93,8	49,1	62,0	93,8
NO _x	Mittelwerte	ppb	35	36	25	20	15	16	14	14	22	33	29	44	25
	max. 24h-Mittelwert	ppb	69	92	51	43	24	25	26	27	49	110	64	89	110
O ₃	Mittelwerte	µg/m ³	21	37	52	68	60	71	80	59	41	23	22	19	46
	98 %-Wert der ½h-Mittel	µg/m ³	67	85	91	135	128	152	174	120	95	66	62	61	174
	max. 1h-Mittelwert	µg/m ³	77	92	107	142	146	178	201	134	101	85	74	80	201
	1h-Mittel > 120 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	35	32	75	134	14	0	0	0	0	290
	1h-Mittel > 180 µg/m ³	Anz. Std.	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	12
	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	0,47	0,46	0,35	0,30	0,26	0,26	0,25	0,24	0,29	0,37	0,35	0,47	0,34
	max. 24h-Mittelwert	mg/m ³	0,77	0,91	0,55	0,40	0,35	0,37	0,43	0,38	0,48	0,75	0,63	0,85	0,91
	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	71	73	58	38	34	35	13	24	34	43	36	49	42
	max. 24h-Mittelwert	µgCH ₄ /m ³	117	145	113	70	65	52	45	56	77	127	81	87	145
CH ₄	Mittelwerte	mg/m ³	1,36	1,35	1,31	1,28	1,28	1,28	1,29	1,28	1,32	1,36	1,33	1,38	1,32
PM10	Mittelwerte	µg/m ³	32	31	21	23	12	16	17	12	13	21	15	22	20
	max. 24h-Mittelwert	µg/m ³	65	86	51	54	21	30	31	25	24	47	39	54	86
	24h-Mittel > 50 µg/m ³	Anz. Tage	3	6	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	12
SN	Mittelwerte	mg/(m ² d)	21	38	55	61	63	75	78	41	45	30	26	15	46

Meteorologie			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Temperatur	Mittelwerte	°C	0,2	2,7	6,2	12,0	13,8	19,2	22,1	18,9	14,9	10,3	6,8	0,7	10,7
	Heizgradtagzahl ¹⁾	(°C*d)	613	486	376	169	116	8	0	0	38	257	349	597	3011
Globalstrahlung	Mittelwerte	W/m ²	32	66	120	196	157	218	251	170	149	79	45	28	126
Feuchtigkeit	Mittelwerte	% r.F.	74	66	60	55	67	61	63	70	70	75	77	80	68
Niederschlag	Summen	mm	29	29	43	37	119	122	150	122	70	39	66	85	911
Druck	Mittelwerte	hPa	966	958	969	970	966	967	970	969	969	967	961	964	967

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

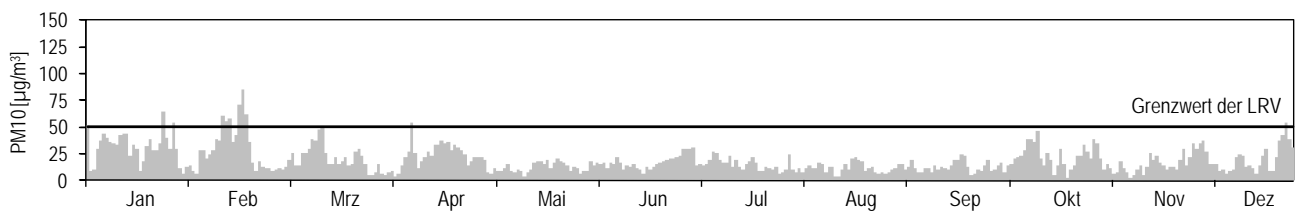
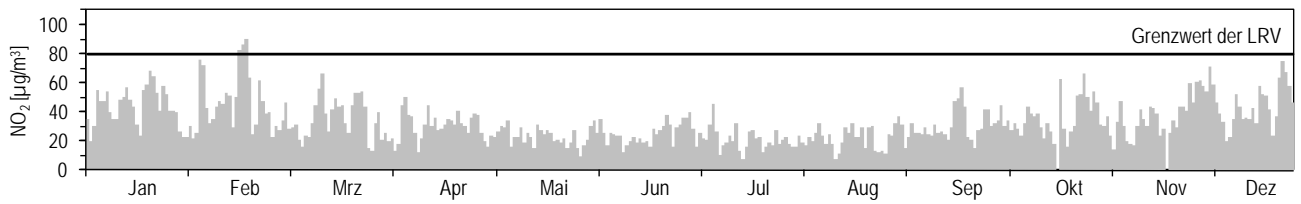
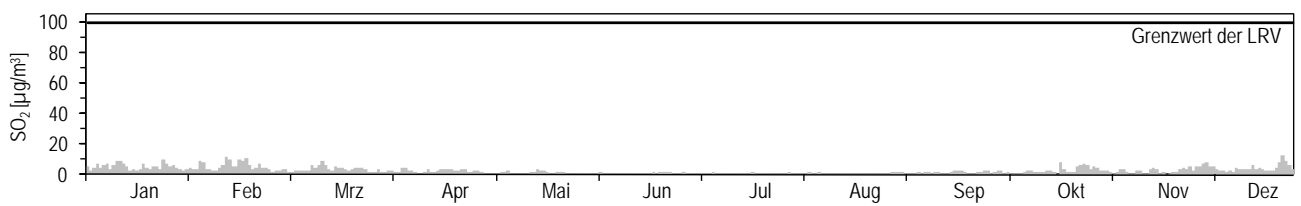
Jahresübersicht
2010

Zürich-Kaserne
Städtisch

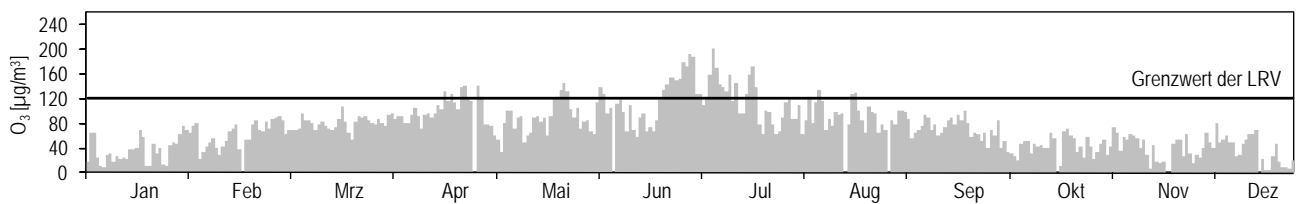



Koordinaten: 682'450 / 247'990
Höhe: 409 m

Tagesmittelwerte für SO₂, NO₂ und PM10



Maximales Stundenmittel pro Tag für O₃



Jahresübersicht VOC 2010	Dübendorf		Koordinaten: 688'675 / 250'900 Höhe: 432 m
	Vorstädtisch		

VOC Aromatische Verbindungen			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Benzol	Mittelwerte	µg/m³	1,77	1,00	0,90	0,77	0,52**	0,37*	0,43	0,63	0,75	0,84*	1,54*	1,66*	0,94*
Toluol	Mittelwerte	µg/m³	2,48	2,08	1,85	1,87	1,15**	2,58*	3,07	4,40	5,87	5,87*	5,39	3,13*	3,32*
Ethylbenzol	Mittelwerte	µg/m³	0,45*	0,46	0,35*	0,35	0,17**	0,37*	0,40	0,48	0,47*	0,57**	0,85	0,46*	0,46*
m/p-Xylol	Mittelwerte	µg/m³	1,49	1,56	1,20	1,19	0,73**	1,22*	1,41	1,65	1,60	1,94**	2,65*	1,75*	1,54*
o-Xylol	Mittelwerte	µg/m³	0,41*	0,52	0,41*	0,41*	0,18**	0,38*	0,40	0,48	0,47*	0,56**	0,92	0,58*	0,49*

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

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

Umrechnungsfaktoren (F):

[ppb] * F = [µg/m³]


F_Benzol = 3,25

F_Toluol = 3,83

F_Ethylbenzol = 4,41

F_m/p-Xylol = 4,41

F_o-Xylol = 4,41

Jahresübersicht VOC 2010	Rigi-Seebodenalp		Koordinaten: 677'835 / 213'440 Höhe: 1031 m
	Ländlich, oberhalb 1000 m		

VOC Aromatische Verbindungen			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Benzol	Mittelwerte	µg/m³	1,20	1,00	0,67	0,48	0,27	0,21	0,15	0,16	0,24	0,45	0,52	0,70	0,51
Toluol	Mittelwerte	µg/m³	1,04	0,73	0,54	0,55	0,44	0,53	0,46	0,39	0,61	0,72	0,65	0,57	0,60
Ethylbenzol	Mittelwerte	µg/m³	0,19	0,14	0,10	0,11	0,09	0,13	0,10	0,09	0,14	0,16	0,12	0,13*	0,12
m/p-Xylol	Mittelwerte	µg/m³	0,47	0,30	0,22	0,25	0,20	0,27	0,19	0,17	0,26	0,39	0,32	0,34*	0,28*
o-Xylol	Mittelwerte	µg/m³	0,17	0,11	0,08	0,09*	0,08	0,12*	0,09	0,08	0,11	0,13	0,11	0,14*	0,11*

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

Umrechnungsfaktoren (F):

[ppb] * F = [µg/m³]


F_Benzol = 3,25

F_Toluol = 3,83

F_Ethylbenzol = 4,41

F_m/p-Xylol = 4,41

F_o-Xylol = 4,41

Jahresübersicht VOC 2010	Zürich		Koordinaten: 682'450 / 247'990 Höhe: 409 m
	Städtisch		

VOC Aromatische Verbindungen			Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Benzol	Mittelwerte	µg/m³	1,93	1,63*	1,09	0,81	0,51	0,51*	0,49	0,63	0,72*	1,20	1,26*	1,77	1,04*
Toluol	Mittelwerte	µg/m³	3,52	3,62*	3,55	3,74	1,95	2,70*	2,62	3,33	3,23*	4,13	3,65*	3,99	3,32*
Ethylbenzol	Mittelwerte	µg/m³	0,58	0,61*	0,52*	0,46	0,32	0,38*	0,40	0,44	0,51*	0,66*	0,57*	0,66	0,51*
m/p-Xylol	Mittelwerte	µg/m³	1,98	2,16*	1,86*	1,61	1,11	1,31*	1,12	1,51	1,76*	2,31*	2,03*	2,30	1,74*
o-Xylol	Mittelwerte	µg/m³	0,65	0,73*	0,61*	0,53	0,42	0,51*	0,44	0,62	0,68*	0,92*	0,77*	0,82	0,64*

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

Umrechnungsfaktoren (F):

[ppb] * F = [µg/m³]


F_Benzol = 3,25

F_Toluol = 3,83

F_Ethylbenzol = 4,41

F_m/p-Xylol = 4,41

F_o-Xylol = 4,41

Jahresübersicht VOC 2010	Rigi-Seebodenalp		Koordinaten: 677'835 / 213'440
	Ländlich, oberhalb 1000 m		Höhe: 1031 m

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

Gesättigte Kohlenwasserstoffe

Ethan	Mittelwerte	µg/m³	3,25	3,54	2,94	2,59	1,84	1,37	1,02	0,98	1,22	1,75	2,04	2,58	2,10
Propan	Mittelwerte	µg/m³	2,39	2,31	1,63	1,22	0,70	0,58	0,48	0,42	0,64	1,08	1,33	1,82	1,23
n-Butan	Mittelwerte	µg/m³	1,21	1,05	0,72	0,54	0,37	0,37	0,34	0,27	0,39	0,59	0,75	0,91	0,63
n-Pentan	Mittelwerte	µg/m³	0,58	0,48	0,37	0,40	0,31	0,41	0,34	0,23	0,46	0,60	0,54	0,44	0,43
n-Hexan	Mittelwerte	µg/m³	0,16	0,12	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,06	0,09	0,10	0,11	0,13	0,10
Isobutan	Mittelwerte	µg/m³	0,70	0,62	0,44	0,31	0,19	0,20	0,17	0,14	0,21	0,37	0,43	0,52	0,36
Isopentan	Mittelwerte	µg/m³	0,87	0,67	0,51	0,56	0,44	0,56	0,58	0,45	0,67	0,75	0,72	0,65	0,62
Σ Isohexane	Mittelwerte	µg/m³	0,82	0,62	0,46	0,47	0,39	0,44	0,40	0,35	0,42	0,62	0,63	0,59	0,52
Σ Isoheptane	Mittelwerte	µg/m³	0,47	0,34	0,25	0,22	0,18	0,19	0,13	0,12	0,23	0,34	0,32	0,30	0,26

Ungesättigte Kohlenwasserstoffe

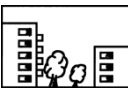
Ethen	Mittelwerte	µg/m³	1,56	1,01	0,60	0,39	0,33	0,25	0,19	0,21	0,27	0,59	0,78	0,97	0,60
Propen	Mittelwerte	µg/m³	0,27	0,15	0,11	0,09	0,09	0,08	0,07	0,09	0,09	0,14	0,17	0,18	0,13
Σ Butene	Mittelwerte	µg/m³	0,21	0,16	0,15	0,15	0,14	0,17	0,19	0,17	0,19	0,22	0,20	0,16	0,18
Σ Pentene	Mittelwerte	µg/m³	0,10	0,08	0,05	0,07	0,07	0,08	0,07	0,06	0,06	0,08	0,07	0,06	0,07
Ethin	Mittelwerte	µg/m³	1,15	0,92	0,60	0,46	0,24	0,19	0,14	0,14	0,22	0,42	0,46	0,59	0,46
Isopren	Mittelwerte	µg/m³	0,03	0,03*	0,03*	0,07	0,10	0,20	0,34	0,22	0,09	0,07*	0,05*	0,03**	0,12*
1,3-Butadien	Mittelwerte	µg/m³	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03

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

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

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

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

Jahresübersicht VOC 2010	Zürich		Koordinaten: 682'450 / 247'990 Höhe: 409 m
	Städtisch		

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

Gesättigte Kohlenwasserstoffe

Ethan	Mittelwerte	µg/m ³	4,61	4,56*	3,79	3,23	2,39	1,88*	1,43	1,77	1,92*	3,12	3,52*	4,88	3,08*
Propan	Mittelwerte	µg/m ³	3,71	3,76*	2,63	2,15	1,50	1,49*	0,99	1,96	1,92*	2,73	2,91*	4,46	2,49*
n-Butan	Mittelwerte	µg/m ³	2,87	2,96*	2,30	1,86	1,30	1,53*	1,72	1,76	1,76*	2,56	2,75*	3,59	2,23*
n-Pentan	Mittelwerte	µg/m ³	1,24	1,24*	1,09	1,01	0,79	0,95*	0,93	1,14	1,25*	1,75	1,44*	1,59	1,19*
n-Hexan	Mittelwerte	µg/m ³	0,40	0,35*	0,27	0,27	0,24	0,30*	0,21	0,40	0,41*	0,46	0,43*	0,48	0,35*
Heptan	Mittelwerte	µg/m ³	0,75	0,62*	0,48	0,52	0,38	0,56*	0,57	0,72	0,53*	0,53	0,57*	0,52	0,56*
Isobutan	Mittelwerte	µg/m ³	1,64	1,76*	1,37	1,05	0,72	0,79*	0,76	0,96	1,02*	1,51	1,58*	2,02*	1,25*
Isopentan	Mittelwerte	µg/m ³	2,58	2,76*	2,48	2,49	1,98	2,56*	2,27	2,81	2,91*	3,35*	2,84*	3,03	2,65*
Σ Isohexane	Mittelwerte	µg/m ³	2,36	2,44*	1,61	1,98	1,67	2,06*	1,34	2,46	2,53*	2,97	2,72*	2,85	2,21*
Σ Isoheptane	Mittelwerte	µg/m ³	1,20	1,56*	1,57	1,75	1,27	1,70*	1,43	2,49	1,91*	1,87	1,99*	1,83	1,70*

Ungesättigte Kohlenwasserstoffe

Ethen	Mittelwerte	µg/m ³	3,31	2,49*	1,55	1,09	0,89	0,88*	0,84	0,96	1,17*	1,93	2,17*	3,62	1,73*
Propen	Mittelwerte	µg/m ³	0,84	0,70*	0,48	0,41	0,34	0,35*	0,39	0,51	0,45*	0,61	0,76*	1,01*	0,57*
Σ Butene	Mittelwerte	µg/m ³	0,87	0,81**	0,63	0,54	0,41	0,49*	0,43	0,64	0,62*	0,89	0,80**	0,79*	0,64*
Σ Pentene	Mittelwerte	µg/m ³	0,43	0,49*	0,43*	0,37*	0,32	0,36*	0,29*	0,42	0,47*	0,65*	0,52*	0,52*	0,44*
Ethin	Mittelwerte	µg/m ³	1,68	1,42*	1,07	0,77	0,47	0,46*	0,49	0,52	0,59*	0,92*	1,02*	1,75	0,93*
Isopren	Mittelwerte	µg/m ³	0,18	0,19*	0,17	0,18	0,17	0,27*	0,24	0,34	0,25*	0,25	0,21*	0,21	0,22*
1,3-Butadien	Mittelwerte	µg/m ³	0,16	0,13*	0,08	0,09	0,08	0,08*	0,10	0,11	0,10*	0,12	0,15*	0,19	0,11*

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

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

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

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