



Bern, Juni 2004

Sommersmog

Fazit:

Trotz erheblichen Reduktionen der Emissionen der Ozon-Vorläuferschadstoffe in den letzten 20 Jahren sind die Emissionen dieser Schadstoffe in der Schweiz und im umliegenden Ausland immer noch zu hoch. Deshalb liegt die Sommersmog-Belastung in der Schweiz heute in den Sommermonaten noch oft und während längerer Dauer über den Immissionsgrenzwerten der Luftreinhalte-Verordnung. Diese Werte wurden zum Schutz der Gesundheit und der Vegetation festgelegt. Das bodennahe Ozon kann während sommerlicher Schönwetterperioden Konzentrationen erreichen, die die Gesundheit der Menschen beeinträchtigen und zu vorzeitigen Todesfällen führen. Auch die Vegetation wird geschädigt. Die Belastung der Luft durch die Schadstoffe Ozon, Stickstoffdioxid (NO₂) und den lungengängigen Feinstaub (PM10) stellt weiterhin ein ernsthaftes Problem für den Menschen und die Umwelt dar.

Um einen wirksamen Schutz zu gewährleisten, sind weitere Massnahmen zur Senkung der Ozon-, Stickoxid- und Feinstaub-Belastung sowohl in der Schweiz als auch in ganz Europa erforderlich. Dabei liegt das Schwergewicht bei den dauerhaft wirksamen Massnahmen. Der im Bericht des Bundesrats über die lufthygienischen Massnahmen des Bundes und der Kantone aufgezeigte Weg ist so rasch wie möglich zu beschreiten. Dazu gehört, die bisher getroffenen Massnahmen auf ihre Wirksamkeit zu überprüfen und gegebenenfalls zu verstärken sowie die noch bestehenden Lücken mit weiteren Massnahmen zu schliessen. Saisonale Massnahmen, welche während des Sommers in einer bestimmten Region über einen längeren Zeitraum zusätzlich zu den dauerhaft wirksamen Massnahmen durchgeführt werden, können kurzfristig und punktuell etwas zur Senkung der Sommersmog-Gesamtbelastung beitragen und sich somit positiv auf die Gesundheit der Bevölkerung auswirken.

Zu Beginn der Ozonsaison und bei Überschreitung der Grenzwerte soll die Bevölkerung in angemessener Weise über die Ozonproblematik, mögliche Auswirkungen und Massnahmen zum Schutz vor zu hohen Belastungen informiert werden.

In den letzten Jahren sind in der Schweiz jeden Sommer übermässige Ozonimmissionen aufgetreten. Im Jahr 2003 waren die Belastungen aufgrund des sonnigen und heissen Wetters besonders ausgeprägt. Die zum Schutz von Mensch und Vegetation festgelegten Grenzwerte wurden jeweils weiträumig und während längerer Zeit überschritten. Wenn aufgrund von sich verändernden klimatischen Bedingungen vermehrt solche sonnigen und trockenen Sommer auftreten sollten, ist davon auszugehen, dass auch vermehrt hohe und lang andauernde Ozonbelastungen registriert werden. Erhöhte Ozonkonzentrationen in der Luft können die Gesundheit der Bevölkerung und die Vegetation schädigen. Zur weiteren Verringerung der Ozonbelastung sind die Emissionen der Ozonvorläuferschadstoffe im Rahmen der bestehenden Luftreinhaltepolitik deshalb weiter zu senken und zusätzliche dauerhaft wirksame Massnahmen baldmöglichst zu treffen.

Erhöhte Ozonbelastungen bilden sich bei sommerlichen Temperaturen und bei starker Sonneneinstrahlung aus den Vorläuferschadstoffen, den Stickoxiden (NO_x) und den flüchtigen organischen Verbindungen (VOC). Ozon ist dabei die Leitsubstanz für den Sommersmog -

eine Mischung aus verschiedenen Schadstoffen - die bei schönem Wetter in erhöhter Konzentration in der Atmosphäre auftreten.

Die vorliegende Stellungnahme der EKL hat zum Ziel, die heutige Ozonsituation und die zeitlichen Trends der letzten Jahre zu beschreiben, die Strategie zur Senkung der Belastung zusammenzufassen und weitere mögliche Massnahmen aufzuzeigen. In einem Anhang werden die Wirkungen der übermässigen Immissionen auf die Gesundheit der Menschen sowie auf die Vegetation und auf Materialien kurz beschrieben, und es wird auf die Bedeutung von Ozon als Treibhausgas hingewiesen. Zudem werden die in der Schweiz rechtlich festgelegten Grenzwerte mit den Zielen der EU verglichen und das Alarmkonzept der EU im Licht der Schweizer Gesetzgebung betrachtet. Abschliessend werden Hinweise zur Information der Bevölkerung und zum Verhalten bei hohen Ozonwerten gegeben.

1. Ozonbelastung und Trends 1989-2003

Ozonbelastung in der Schweiz

Die Belastung durch Ozon ist in der ganzen Schweiz noch immer zu hoch. In den letzten Jahren wurden die beiden gesetzlichen Immissionsgrenzwerte an allen 16 Stationen des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL) überschritten. Der Immissionsgrenzwert der LRV von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1-h Mittelwert) wurde an allen Stationen häufig und während den Sommermonaten auch deutlich und während längerer Zeit überschritten. Das höchste monatliche 98%-Quantil der Halbstundenmittel lag ebenfalls an allen NABEL-Stationen über dem Immissionsgrenzwert von $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Die jährliche Anzahl Überschreitungen des 1h-Immissionsgrenzwertes hat sich in den letzten zehn Jahren kaum verändert (Abbildung 1), mit Ausnahme des Jahres 2003 mit seinem Hitzesommer. Tiefe Lagen der Alpensüdseite weisen meist mehr Grenzwertüberschreitungen auf als tiefe Lagen der Alpennordseite. Noch mehr Grenzwertüberschreitungen sind in mittleren Höhen um 1000 m festzustellen.

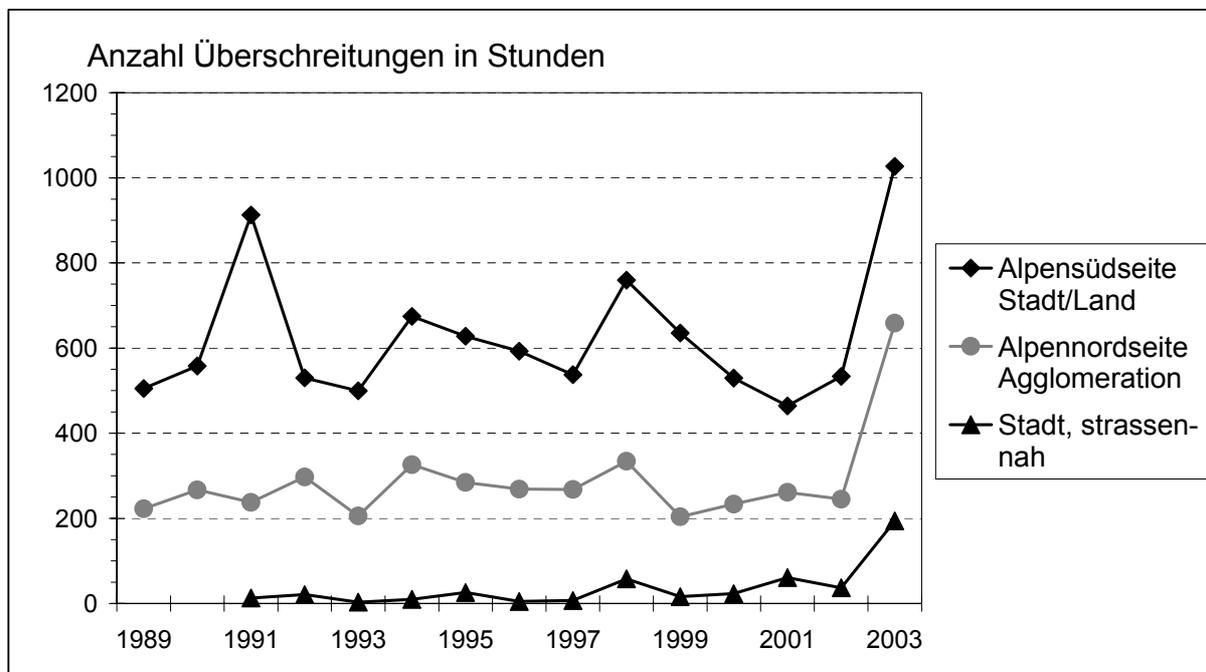
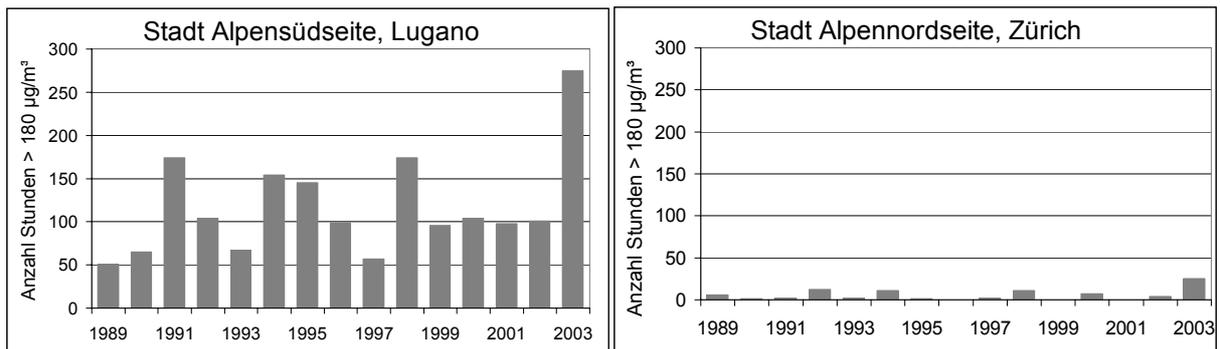


Abbildung 1: Anzahl Überschreitungen des Stundenmittelgrenzwertes von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an verschiedenen Standorttypen des NABEL 1989-2003

Auch an stärker mit Primärschadstoffen belasteten Standorten wie z.B. der Messstation Lausanne wird der Grenzwert überschritten. Die hohen Konzentrationen von Stickoxiden bewirken am Ort ihrer Emission einen Abbau von Ozon, wobei Produkte dieser Reaktion an anderer Stelle wieder zur Ozonbildung beitragen können.

Auf der Alpensüdseite wird der Grenzwert noch deutlicher überschritten, dort werden auch häufiger (bis zu zehn mal mehr) Konzentrationen über $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen (Informationsschwelle der EU, Abbildungen 2 und 3) und die höheren Ozonspitzen erreicht als auf der Alpennordseite (Abbildung 4). In den Tälern der Alpensüdseite wird die Ozonbildung begünstigt durch die Dauer der Sonneneinstrahlung und die Nähe zur Grossagglomeration Mailand (starker Verkehr mit hohen NO_x -Emissionen, viele Industriezentren), deren Abgasfahne insbesondere das südliche Tessin beeinträchtigen kann.



Abbildungen 2 und 3: Überschreitungen des Stundenmittelwertes von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Lugano und Zürich 1989-2003

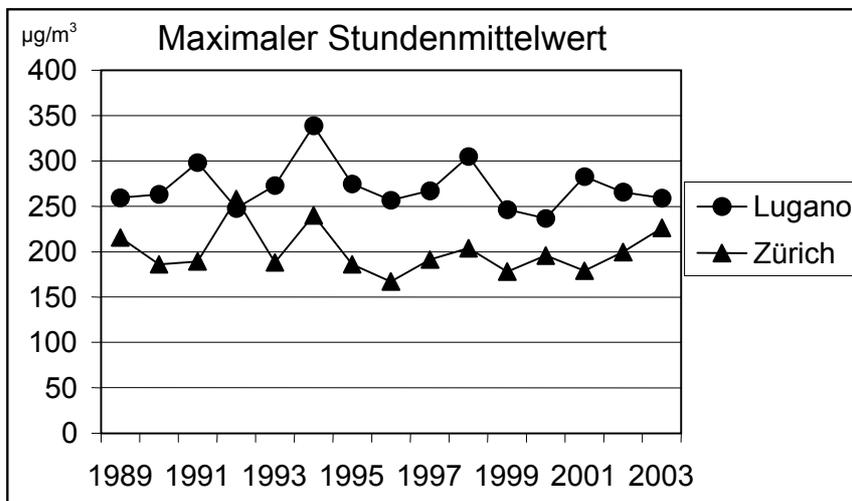


Abbildung 4: Maximaler Stundenmittelwert in Zürich und Lugano 1989-2003

Ozonbelastung 2003

Die lang anhaltende Schön- und Trockenwetterperiode im Sommer 2003 mit starker Sonneneinstrahlung und entsprechend hohen Temperaturen begünstigte die Ozonbildung und liess während fast dreier Monate die Ozonkonzentrationen regelmässig über den Immissionsgrenzwert steigen. Zudem waren auch die Monate April und September durch warme Witterung gekennzeichnet, welche die Ozonbildung begünstigte und zu hohen Ozonwerten führte. Im Jahr 2003 wurde der 1h-Immissionsgrenzwert der LRV deshalb an allen NABEL-Stationen rund doppelt so häufig überschritten wie in den vorangegangenen Jahren (Abbildung 1), ebenso wurde der Stundenmittelwert von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ rund doppelt so häufig überschritten

(Abbildungen 2 und 3). Auf der Südseite der Schweiz wurde der Stundenmittelwert von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aber rund zehnmals häufiger überschritten als auf der Nordseite. Die maximalen Stundenmittelwerte waren auf der Alpennordseite nur wenig höher als in den Vorjahren, auf der Alpensüdseite sogar tiefer (Abbildung 4). Dies zeigt, dass die erreichten Emissionsreduktionen einen Effekt auf die Ozonbildung haben.

Der Wert von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde an den NABEL-Stationen auf der Alpennordseite nie, auf der Alpensüdseite während 19 Stunden überschritten. Einmal, am 9. Juli 2003, wurden in Lugano an drei aufeinander folgenden Stunden Ozonkonzentrationen grösser als $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen (europäische Alarmschwelle überschritten). An der kantonalen Messstation in Chiasso wurden aber noch deutlich höhere Werte gemessen (max. $345 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Wochengang der Schadstoffe Stickoxide, VOC und Ozon

Die lange Schönwetterperiode im Sommer 2003 erlaubt es, mittlere Wochengänge der Schadstoffe Stickoxide, VOC und Ozon unter konstanten meteorologischen Bedingungen zu bestimmen. Der Schadstoffverlauf wird so nicht durch Witterungseinflüsse verfälscht. Messungen an den NABEL-Stationen Zürich und Dübendorf zeigen einen deutlichen Wochengang der Stickoxide und der VOC. Weniger Emissionen an den Wochenenden zeigen sich dann in stark reduzierten Konzentrationen der Stickoxide (-35%) und der flüchtigen organischen Verbindungen (-20%). Trotzdem ist aber praktisch keine Verringerung der Ozonkonzentration an Samstagen oder Sonntagen zu beobachten. Das bedeutet, dass eine nur teilweise Senkung der Emissionen der Vorläuferschadstoffe auch zu einer Reduktion der Vorläufer-Immissionen führt, die Ozonkonzentrationen aber dadurch kaum beeinflusst werden.

Die Temporeduktion im Tessin hat gezeigt, dass durch diese Massnahme die am Rand der Autobahn gemessenen Konzentrationen von Vorläufersubstanzen deutlich (-20%) reduziert werden können. Die Gefährlichkeit des Sommersmogs – als Mischung von verschiedenen Substanzen - kann damit gemildert werden.

Zeitliche Entwicklung der Ozonbelastung

Die Analyse der so genannten Quantile erlaubt eine vertiefte Betrachtung der Messwerte. Unter Quantil ist der Wert zu verstehen, unter dem ein bestimmter Prozentsatz aller Messwerte liegt (so gibt der 95% Wert der 1h-Mittel an, unter welchem Wert 95% aller 1h-Messwerte liegen; 5% der 1h-Messwerte liegen darüber). In Abbildung 5 sind für die Station Zürich verschiedene Quantile sowie der Jahresmittelwert dargestellt. Das Beispiel zeigt zwei gegenläufige Trends: die Spitzenbelastung (maximales 1h-Mittel) ist rückläufig, die tieferen Belastungen (Quantile unter 75% Wert, Median und Jahresmittel) hingegen steigen deutlich an. Der Anstieg der niedrigeren Belastung ist primär Ausdruck der abnehmenden Stickoxidkonzentration in den städtischen Gebieten.

In ländlichen Gebieten besteht eine ähnliche Tendenz, die allerdings durch die grossräumig zunehmenden Konzentrationen von „Hintergrund-Ozon“ bestimmt wird. Werden an schweizerischen Bergstationen nur Tage mit geringen Konzentrationen an Primärschadstoffen betrachtet, also Tage, an denen Luft aus der freien Troposphäre auf Stationshöhe sinkt, so ergibt sich ein noch deutlicherer Anstieg des Ozonmittelwertes in den 90er Jahren (Brönnimann et al. 2000). Für die Ursache des Anstiegs des Hintergrund-Ozons gibt es zurzeit noch keine einheitliche Erklärung. Dazu beitragen kann einerseits die verstärkte Ozonproduktion in der freien Troposphäre durch Eintrag anthropogener Schadstoffe aber auch der verringerte Abbau durch reduzierte Primärschadstoffe in Bodennähe. Dieser grossräumige Anstieg führt dazu, dass auch leichte Überschreitungen des 1h-Grenzwertes vorkommen, wenn die lokale und regionale Ozonbildung relativ gering ist. Dadurch wird plausibel, warum die Abnahme bei den höheren Ozonwerten nicht direkt zu einer Abnahme der Anzahl der Überschreitungen des Grenzwertes führt.

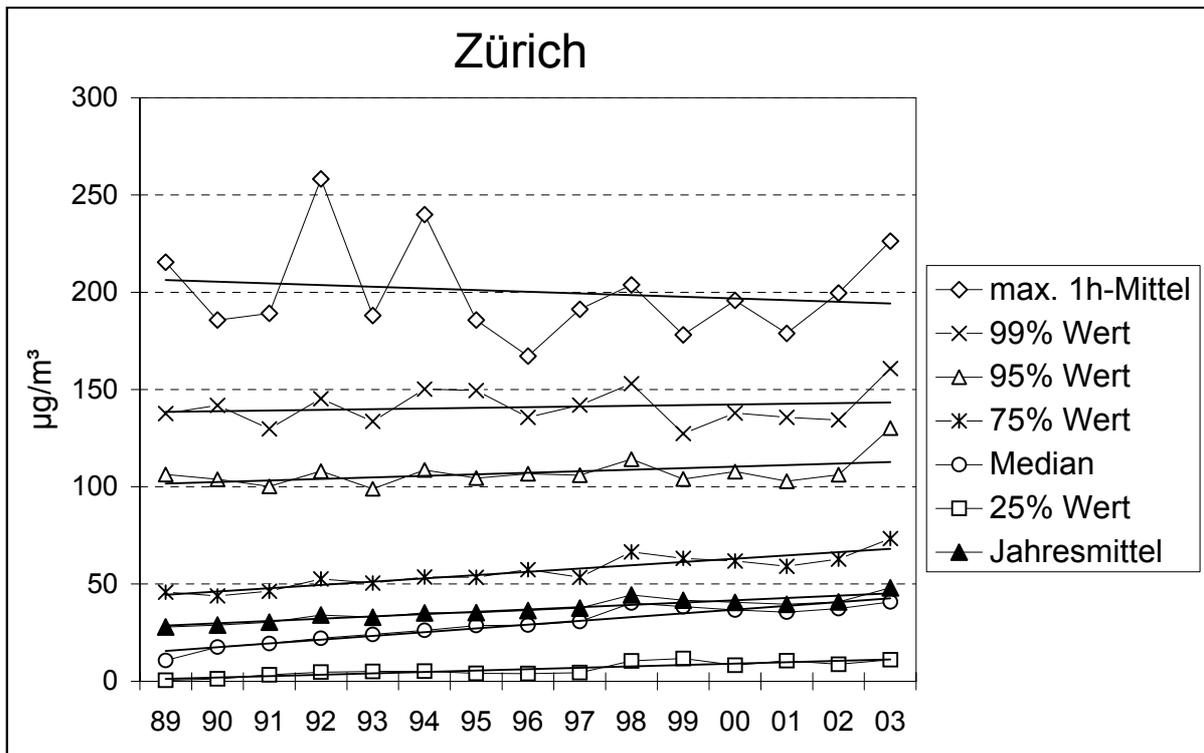


Abbildung 5: Verschiedene Quantile der Stundenmittelwerte in Zürich 1989-2003

Die Hintergrundbelastung widerspiegelt die Ozonkonzentration in der freien Troposphäre. Diese wird durch die grossräumigen (europaweiten bis hemisphärischen) Emissionen von Stickoxiden und flüchtigen organischen Verbindungen, aber auch von den langlebigen Spurengasen Methan (CH_4) und Kohlenmonoxid (CO) beeinflusst. Modellrechnungen zeigen, dass die Ozon Hintergrundbelastung weltweit infolge der gestiegenen NO_x -, CH_4 - und CO -Emissionen um ca. $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pro Jahr zunimmt (Derwent 2003). Weil die Ozonbildung aber auch von der Temperatur und der Sonneneinstrahlung abhängt, sind mögliche Auswirkungen des globalen Temperaturanstiegs durch Klimagasen (CO_2 , CH_4 , O_3 u.a.m.) und der erhöhten UV-Strahlung durch den Abbau der Ozonschicht der Stratosphäre (FCKW) zu beachten. Darüber hinaus ist darauf zu verweisen, dass durch die Emissionen der Flugzeuge die Troposphäre direkt mit Vorläuferschadstoffen belastet wird.

Die Ozonspitzenwerte haben seit 1990 in den Agglomerationen und an ländlichen Standorten beidseits der Alpen um 10 - 20% abgenommen. Diese Abnahme ist deutlich geringer als diejenige der Emissionen der Vorläuferschadstoffe NO_x und VOC, welche in der Schweiz seit 1990 um rund 40% resp. um fast 50% reduziert wurden. Die Ozonkonzentration in bodennahen Luftschichten ist immer das Ergebnis von komplexen Bildungs- und Abbauprozessen während des Tages und der Nacht. Sie verläuft nicht proportional zu den Emissionen und Konzentrationen der Vorläuferschadstoffe. So kann z.B. ein Stickoxidmolekül in einer Art regenerativem Kreisprozess je nach Situation mehrfach an der Ozonbildung teilnehmen.

Die Ozonjahresmittelwerte haben in den letzten zehn Jahren leicht zugenommen. Diese Zunahme ist auch an den kaum direkt von schweizerischen Emissionen beeinflussten Bergstationen zu sehen, sodass sie als Anstieg der grossräumigen Hintergrundbelastung gesehen werden muss. Die Analysen von langjährigen Messreihen an ländlichen Stationen in Westeuropa zeigen ebenfalls vorwiegend einen Anstieg der Mittelwerte (Roemer 2001).

2. Strategie zur Reduktion der Sommersmog-Belastung

Die Ozonbelastung kann nur durch eine starke Verminderung der NO_x- und VOC-Emissionen gesenkt werden. Das Ziel der bisherigen Strategie gegen den Sommersmog ist es, den Ausstoss der Vorläufersubstanzen ganzjährig und dauerhaft zu verringern, um das Auftreten von hohen Ozonkonzentrationen in den Sommermonaten möglichst zu verhindern. Dies ist aber nur mittel- bis langfristig und durch eine Kombination einer Vielzahl von dauerhaft wirksamen Einzelmassnahmen möglich. Dauerhaft wirksame Massnahmen stehen zur nachhaltigen Bekämpfung der Sommersmog-Belastung nach wie vor im Vordergrund. Massnahmen, die zu Beginn des Sommers über eine Periode von Monaten zusätzlich zu den dauerhaft wirksamen Massnahmen präventiv ergriffen werden, können die Sommersmog-Belastung lindern. Tageweise Sofortmassnahmen sind kein geeignetes Mittel zur Minderung der Ozonbelastung.

Wirkungsdauer von Massnahmen

Zur Senkung der Sommersmog-Belastung in der Schweiz sind folgende Optionen von Massnahmen denkbar:

| Dauer der Massnahmen | Handlungsebenen |
|----------------------------------|--|
| Ganzjährig – Dauerhaft | International – Länder in Europa, USA, Kanada, Asien National – Bund Regional – Kantone Lokal – Gemeinden |
| Monatsweise – Saisonal im Sommer | Regional - Präventiv zu Beginn der Ozonsaison |
| Tageweise | Lokal oder regional – Sofort bei hohen Ozonwerten |

Dauerhaft wirksame Massnahmen sind auf internationaler, nationaler, regionaler und lokaler Ebene zur Senkung des Hintergrund-, des Reservoir- und des lokalen Ozons unabdingbar und notwendig. Die EKL fordert den Bund (Weiterführung des Luftreinhalte-Konzeptes, Verschärfung und Vollzug LRV) und die Kantone (Vollzug LRV, Weiterführung der Massnahmenpläne, Anträge an den Bundesrat) auf, ihre Luftreinhalte-Politik konsequent und kohärent weiterzuentwickeln und weitere dauerhaft wirksame Massnahmen zur Senkung der Schadstoffbelastung der Luft baldmöglichst umzusetzen, um die notwendigen Emissionsziele zu erreichen. Weiter fordert die EKL den Bund auf, sich im Rahmen der Konvention von Genf (UNECE) über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung und im Rahmen der Luftreinhalte-Strategie der EU (Clean Air for Europe, CAFE) weiterhin für griffige Emissionsbegrenzungen und Massnahmen zur Senkung der Ozonvorläufer NO_x und VOC einzusetzen. Insbesondere soll das auch von der Schweiz unterzeichnete UN/ECE-Protokoll von Göteborg (1999) ratifiziert und weiterentwickelt werden.

Vorsorgliche, saisonal befristete Massnahmen lassen nur dann eine gewisse Verringerung der Ozon-Spitzenwerte erwarten, wenn der Ausstoss der Vorläufersubstanzen grösserräumig erheblich vermindert werden kann. Entscheidend für die Wirksamkeit dieser zeitlich begrenzten Massnahmen sind ihr räumlicher Umfang, ihre Dauer sowie ihre Struktur und Eingriffstiefe. Je höher die Akzeptanz in der Bevölkerung und bei den Betroffenen ist, desto besser ist die Umsetzung der Massnahmen. Im Sommer präventiv auf regionaler Ebene ergriffen, können solche Massnahmen zu einer Senkung der NO_x- und VOC-Belastung sowie zu einer Linderung der Ozonbelastung führen und somit zu einer spürbaren Entlastung der gesundheitlich betroffenen Bevölkerung beitragen. Sie können aber das Problem nicht grundsätzlich lösen. Bedarf für solche Massnahmen sieht die EKL insbesondere in der Region Südtessin/Lombardei, wo die Sommersmog-Belastung die höchsten Werte erreichen kann. Vom 12. bis 17. August 2003 wurde in der Südschweiz (TI, GR) bei einer sehr hohen Belastung als Sofortmassnahme eine Tempobegrenzung auf 80 km/h auf Autobahnen gegen

den Sommersmog durchgeführt. Dabei konnten vor allem die Emissionen und Immissionen der Ozonvorläuferschadstoffe deutlich (-20%) gesenkt werden. Die EKL fordert den Bund auf, den Regionen/Kantonen auf Antrag hin die Kompetenz zu erteilen, Tempobegrenzungen auf Autobahnen über einen Zeitraum von länger als 8 Tagen anordnen zu können. Gemäss dem heutigen Recht haben die Kantone die Kompetenz, Tempobegrenzungen während höchstens 8 Tagen zu verfügen (Art. 107 SSV). Die Regionen werden aufgefordert, nach Überprüfung der Wirksamkeit solche Massnahmen auch umzusetzen.

Tageweise Sofortmassnahmen, die erst bei sehr hohen Ozonbelastungen auslöst und nur auf einem relativ kleinen Gebiet während einer kurzen Zeit durchgeführt werden, sind kein geeignetes Mittel zur Senkung der Ozonbelastung. Messungen während des Sommers 2003 haben gezeigt, dass die Ozonkonzentrationen nicht runtergehen, auch wenn sich kurzfristig (1-2 Tage) ein Drittel weniger Vorläuferschadstoffe in der Luft befindet. Solche Massnahmen können allenfalls dazu beitragen, das Bewusstsein der Bevölkerung für die Schadstoff-Problematik zu erhöhen.

Minderungsbedarf

Die bisherige Strategie, die NO_x- und VOC-Emissionen zu senken, ist richtig und deshalb weiterzuführen. Gegenüber dem Stand von heute müssen die Emissionen der Vorläuferschadstoffe in der Schweiz noch mindestens einmal halbiert werden. Auf internationaler Ebene sind noch Emissionsreduktionen von mehr als 60% notwendig. Darüber hinaus sind Anstrengungen zu treffen, die CH₄- und CO-Emissionen zu senken.

Die bisher in der Schweiz verfolgte Ozon-Strategie gründet auf dem umfassenden Status-Bericht der EKL im Jahre 1989 (EKL 1989, Seite 250): „Aufgrund einer ganzheitlichen und überregionalen Betrachtungsweise sowie unter Berücksichtigung der Vorgänge in der freien Troposphäre ist deshalb eine Reduktion der Emissionen beider Vorläuferschadstoffe (NO_x und VOC) anzustreben, ja sogar auch von Kohlenmonoxid (CO) und Methan (CH₄). Trotz zahlreicher noch bestehender Unsicherheiten in den Modellrechnungen kann festgestellt werden, dass insgesamt erhebliche Reduktionen der Emissionen der Vorläuferschadstoffe NO_x und VOC in der Grössenordnung von 70 – 80% erforderlich sind (bezogen auf die Emissionsmengen der ersten Hälfte der 1980er Jahre), um eine grossräumige Verminderung der Ozonbelastung auf das Niveau heutiger Luftqualitätsrichtlinien (z.B. WHO) bewirken zu können.“

Verschiedene wissenschaftliche Studien, welche sowohl experimentelle Untersuchungen als auch Modellrechnungen umfassen, bestätigen die Zusammenhänge zwischen den Emissionen von Vorläufersubstanzen und der Ozonbelastung (BUWAL 1996, Neftel & Spirig, 2003; Volz-Thomas et al., 2003). Modellrechnungen (Andreani-Aksoyoglu et al. 2001) unterstützen, dass eine Reduktion der Emissionen von NO_x und VOC die wirksamste Strategie zur Minderung der Ozonbelastung in der Schweiz darstellt, insbesondere zur Verminderung der Sommersmog-Lagen und Senkung der Spitzenwerte. Es wurde ebenfalls bestätigt, dass eine Reduktion der Methan- und Kohlenmonoxidemissionen notwendig ist zur Senkung der grossräumigen Hintergrundbelastung der Troposphäre mit Ozon (Fiore et al. 2002).

Die erreichten, beträchtlichen Emissionsminderungen der Vorläuferschadstoffe NO_x, VOC, CH₄ und CO genügen noch nicht, um die Ziele zu erreichen. In seinem „Bericht über die luft-hygienischen Massnahmen des Bundes und der Kantone“ (Luftbericht) vom Juni 1999 hält der Bundesrat fest, dass zur Einhaltung der Immissionsgrenzwerte und der international festgelegten Dosiswerte von Ozon gegenüber dem Stand von 1995 in der Schweiz die NO_x-Emissionen noch um ca. 65% und die VOC-Emissionen um ca. 60% gesenkt werden müssen. Das heisst, gegenüber dem Stand von heute müssen die Emissionen der Vorläuferschadstoffe noch mindestens einmal halbiert werden.

Die steigenden Ozon-Hintergrundbelastungen zeigen, dass auch auf internationaler Ebene weitere Anstrengungen zur Senkung der Belastungen unternommen werden müssen. Die Hintergrundbelastung hat in den letzten Jahren ständig zugenommen und hat sich seit den 1950er Jahren mehr als verdoppelt (Trend ab 1989: Abbildung 5). Kann dieser negative

Trend nicht gestoppt werden, wird es schwierig, in der Zukunft die Ozon-IGW der LRV einzuhalten, auch wenn die Emissionen der Ozonvorläufer auf nationaler Ebene in den kommenden Jahren noch weiter gesenkt werden. Im Rahmen der UN/ECE Konvention von Genf (Europa, USA und Kanada) über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung und im Rahmen einer EU-Direktive zur Emissionsbegrenzung wurden bereits wichtige erste Schritte zur grossräumigen Senkung der Vorläuferschadstoffe unternommen. So haben sich im UN-ECE Protokoll von Göteborg 1999 31 Länder verpflichtet, ihre NO_x - und VOC Emissionen bis 2010 gegenüber dem Stand von 1990 um 40 bis 60% zu senken. Für die Schweiz betragen die Verpflichtungen 52 resp. 51%, für die umliegenden Länder Österreich, Deutschland, Italien und Frankreich, deren Emissionen die Ozonbildung in der Schweiz am meisten beeinflussen, liegen sie in einem ähnlichen Rahmen. Auch auf internationaler Ebene sind jedoch Reduktionen der Emissionen der Vorläuferschadstoffe NO_x und VOC in der Grössenordnung von 70 – 80% notwendig (bezogen auf die Emissionsmengen der ersten Hälfte der 1980er Jahre), um die Ozon Hintergrundbelastungen nicht weiter ansteigen zu lassen.

Ozon ist auch ein wichtiges Treibhausgas. Bei der Bekämpfung der Klimaerwärmung ist von Bedeutung, dass die Ozonbelastungen im globalen Rahmen reduziert werden (vgl. Anhang 3). Das Kyoto-Protokoll ermöglicht erste Schritte betreffend der Reduktion von Methan (CH_4). Bei der Weiterentwicklung des Kyoto-Protokolls sollten künftig auch das Treibhausgas Ozon und seine Vorläufer berücksichtigt werden.

3. Dauerhaft wirksame Massnahmen

Zur Bekämpfung der Sommersmog-Belastung stehen dauerhaft wirksame Massnahmen auf nationaler und internationaler Ebene im Vordergrund. Vorsorgliche saisonale Massnahmen auf regionaler Ebene können sich auch positiv auswirken, insbesondere wenn sie in einer Strategie von dauerhaften Massnahmen integriert sind.

Auf nationaler Ebene

Obwohl Bund, Kantone und Gemeinden den Ausstoss der Ozonvorläuferschadstoffe seit Mitte der 80er Jahre um 40 resp. 50% reduziert haben, ist die Sommersmog-Belastung in der Schweiz immer noch zu hoch. Von 1950 bis 1985 haben die Emissionen der Ozonvorläuferschadstoffe NO_x und VOC in der Schweiz ständig zugenommen. Seither sind sie im Abnehmen begriffen, die Emissionsziele (EKL 1989, Luftbericht 1999) sind allerdings noch nicht erreicht (Abbildung 6).

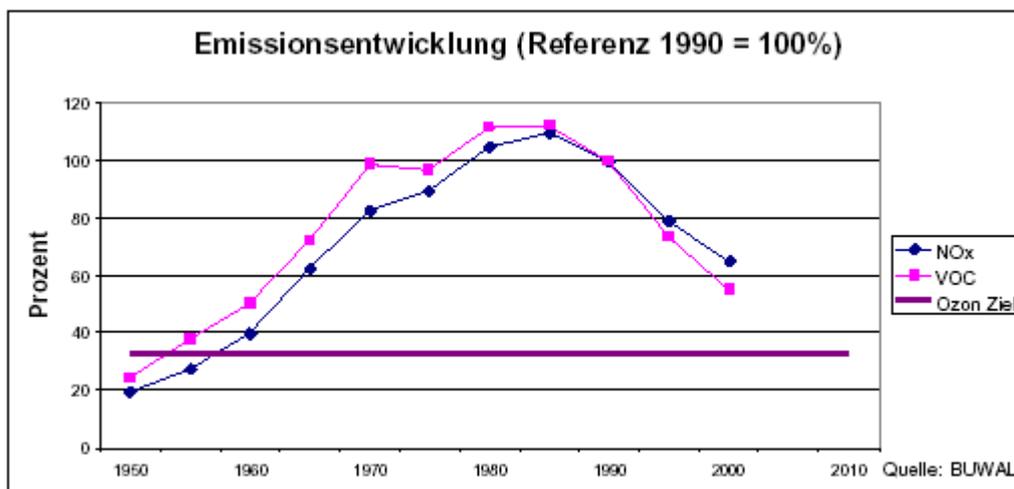


Abbildung 6: Entwicklung der NO_x - und VOC Emissionen seit 1950. Der Balken „Ozon Ziel“ zeigt, wie weit die Emissionen in der Schweiz noch gesenkt werden müssen, um das Ozonproblem weitgehend zu lösen (ca. auf den Stand von 1955).

Stickoxide (NO_x) stammen fast ausschliesslich aus der Verbrennung von Brenn- und Treibstoffen. Insbesondere Dieselmotoren und Flugzeugtriebwerke emittieren grosse Mengen von Stickoxiden. In diesen Bereichen existieren noch ein grosses Emissionsreduktionspotential. Zur Senkung der **NO_x-Emissionen** fordert die EKL prioritär die Durchführung folgender dauerhaft wirksamer Massnahmen:

1. Alle Fahrzeuge mit Dieselmotoren sollen mit DeNO_x-Systemen und mit Partikelfiltern ausgerüstet werden.
 - Bei den Nutzfahrzeugen hat auf dem Gebiet der Entstickung in den vergangenen Jahren eine intensive Entwicklung stattgefunden. Es ist anzunehmen, dass mit der Einführung der EURO4/5-Normen bei Neufahrzeugen DeNO_x-Systeme (SCR - Selektive katalytische Reduktion) zum Einsatz kommen werden. Würden diese Anforderungen auch für die heutige Flotte eingeführt, könnten damit deren NO_x-Emissionen um 70-80% reduziert werden.
 - Für Diesel-PW sollen gleich strenge Emissionsvorschriften gelten, wie für Benzin-PW. Auch für Diesel-PW werden DeNO_x-Systeme entwickelt. Einzelne Autohersteller bieten seit Anfang 2004 Diesel-PW mit Abgasreinigungssystemen zur effizienten Minderung der Partikel- und Stickoxid-Emissionen an.
 - Bei den Baumaschinen und Traktoren sollen gleich strenge Emissionsvorschriften angestrebt werden, wie sie für Strassenfahrzeuge gelten.
2. Zur Beschleunigung der Einführung von Dieselfahrzeuge mit geringen Schadstoffemissionen (Partikelfilter und DeNO_x-Systeme) sollen temporäre finanzielle Anreize eingeführt werden. Dies kann auf Bundesebene z.B. durch die Einteilung schadstoffarmer Lastwagen in die günstigste LSVA-Abgabekategorie, auf Kantonsebene durch die Einführung emissionsabhängiger Motorfahrzeugsteuern für PW und LW geschehen.
3. Bei der nächsten LRV-Revision bzw. im Rahmen der kantonalen Massnahmenpläne ist bei Grossanlagen die Anpassung an den Stand der Technik zur Reduktion der Stickoxid-Emissionen vorzusehen. So gibt es zum Beispiel für Stationärmotoren und Zementöfen bereits gute DeNO_x-Systeme, mit denen die NO_x-Emissionen um mehr als 80% gesenkt werden können.
4. Die Anstrengungen zur Verlagerung des Schwerverkehrs von der Strasse auf die Schiene sind zu verstärken. Auch im Personenverkehr ist eine Verlagerung auf den öffentlichen Verkehr anzustreben, insbesondere in den Agglomerationen. Der öffentliche Verkehr soll von den vorgesehenen Einsparungen ausgenommen werden.
5. Bei allen Verkehrsmitteln mit Verbrennungsmotoren (inklusive Flugverkehr) sollen verstärkt Anstrengungen zur Internalisierung der externen Kosten im Sinne der Kostenwahrheit vorgenommen werden.

Ein grosser Teil (ca. 66%) der flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) aus anthropogenen Quellen stammt aus der Verdunstung von Lösungsmitteln. Weitere bedeutende Quellen sind der Treibstoffumschlag und die Abgase der Zweitaktmotoren. Zur Senkung der **VOC-Emissionen** fordert die EKL prioritär die Durchführung folgender dauerhaft wirksamer Massnahmen:

1. Es gibt immer noch zu viele Benzintankstellen, bei denen die Benzindampf-Rückführung nicht korrekt funktioniert (vgl. EKL 2003) und somit die LRV-Vorgaben nicht eingehalten werden. Die Kantone sind aufgefordert, die Vorschriften in diesem Bereich konsequent zu vollziehen.
2. Konventionelle 2-Takt-Benzinmotoren sollen möglichst durch 4-Takt-Motoren, Elektromotoren oder 2-Takt-Motoren mit Katalysator ersetzt werden. Dies betrifft z. B. Kleinmotorräder und Maschinen in den Bereichen Gartenpflege und Hobby sowie Land- und Forstwirtschaft. Diese Massnahme hat auch positive Auswirkungen auf die Benzolbelastung und den Gesundheitsschutz der Anwender (EKL 2003).

3. Der Abgabesatz für VOC wurde auf den 1.1.03 von Fr. 2.- auf Fr. 3.- erhöht. Es ist zu überprüfen, ob damit die Reduktionsziele für VOC im Bereich Lösungsmittel erreicht werden können. Falls sie nicht erreicht werden, soll der Abgabesatz weiter erhöht werden, sofern damit die Wirkung verstärkt wird (gemäss USG ist ein Höchstsatz von Fr. 5.-/kg möglich).
4. Bei der nächsten LRV-Revision bzw. im Rahmen der kantonalen Massnahmenpläne ist bei Anlagen die Anpassung an den Stand der Technik zur Reduktion der VOC-Emissionen vorzusehen.

Eine Verminderung der Fahrleistung und des Brennstoffverbrauchs, wie sie durch die vorgesehene CO₂-Abgabe auf Treib- und Brennstoffen angestrebt wird, trägt auch zur Senkung der Emissionen der Luftschadstoffe bei.

Auf internationaler Ebene

Die grossräumige Ozon Hintergrundbelastung ist ein internationales Problem und betrifft nicht nur die Schweiz sondern ganz Europa und auch andere Regionen der nördlichen Hemisphäre. Zudem ist der Import von Ozon während ausgeprägten Smog-Episoden im Sommer - z. B. aus der Region Poebene ins Südtessin - ein grenzüberschreitendes Problem. Deshalb sind auch auf internationaler Ebene weitere Anstrengungen zur Senkung der Ozonbelastung notwendig. Das Potential grenzüberschreitender Massnahmen soll genutzt und aufeinander abgestimmt werden. Der Bund soll das unterzeichnete UNECE Protokoll von Göteborg (1999) ratifizieren (für 2004 vorgesehen) und sich für den konsequenten Vollzug der bestehenden Protokolle einzusetzen. Das Protokoll von Göteborg soll verschärft und eine weitergehende Senkung der Emissionen der Ozonvorläuferschadstoffe nach 2010 vereinbart werden. Zudem sollte Ozon stärker im Kyoto-Protokoll eingebunden werden (vgl. Anhang 3).

4. Saisonale Massnahmen auf regionaler Ebene

Neben den dauerhaft wirksamen Massnahmen können auch solche Massnahmen zur Linderung des Sommersmog-Problems und zur gesundheitlichen Entlastung der Bevölkerung beitragen, welche über eine längere Zeit von Monaten oder während der ganzen Sommersaison nicht nur punktuell, sondern in einer grösseren Region durchgeführt werden. Die behördliche Vereinigung der kantonalen und kommunalen Luftreinhalte-Fachleute der Schweiz (CercI'Air) hat in Zusammenarbeit mit dem BUWAL ein Positionspapier zum koordinierten Vorgehen bei ausserordentlichen Sommersmog-Belastungssituationen erstellt (CercI'Air 2004). Darin werden folgende Optionen zur kurzfristigen Reduktion der Ozonbelastung evaluiert und quantifiziert: 1. Temporeduktionen auf Autobahnen, 2. ein Fahrverbot für Mofas und Motorroller mit 2-Taktmotoren, 3. Fahrbeschränkungen für Altfahrzeuge mit hohem Schadstoffausstoss (EURO 0). Modellrechnungen zeigen, dass mit solchen Massnahmen die NO_x- und VOC Emissionen des Strassenverkehrs immerhin um 8-12% gesenkt werden können, indessen aber auch eine Kombination von verschiedenen Massnahmen nur zu einer geringen Verminderung der *Ozonbelastungsspitzen* führt (1-2%). Eine weitere saisonale Massnahme ist die Verbilligung und Förderung von öV-Angeboten.

Die Gesamtbelastung durch den Mix der Sommersmog-Schadstoffe kann mit solchen Massnahmen gesenkt werden, was sich aufgrund der Kombinationswirkung dieser Schadstoffe positiv auf die Gesundheit der Bevölkerung auswirkt. Die EKL sieht die Voraussetzung zur Ergreifung solcher Massnahmen vor allem in der Region Südtessin/Lombardei als gegeben, wo die höchsten Sommersmog-Belastungen zu erwarten sind.

5. Massnahmen für jede Einzelne und jeden Einzelnen

Die EKL fordert jede Einwohnerin und jeden Einwohner dazu auf, durch ihr Verhalten persönlich zur Verminderung der NO_x- und VOC-Emissionen beizutragen. Sie können z.B.

- so oft wie möglich zu Fuss gehen, mit dem Velo fahren oder öffentliche Verkehrsmittel benutzen
- kurze Fahrten mit dem PW vermeiden
- lösungsmittelfreie oder -arme Produkte verwenden (Farben, Lacke, Reinigungsmittel, Kleber, Spraydosen und Holzschutzmittel)
- Fahrgemeinschaften bilden, statt allein in einem Auto zu fahren
- Tempo drosseln, Ecodriving
- Skooter und Töffli nur mit 4-Takt- oder Elektro-Motoren verwenden
- in den Bereichen Gartenpflege und Hobby anstelle von Geräten mit 2-Takt-Motoren Elektro-Motoren oder 4-Takt-Motoren mit geregelter Katalysator benutzen. Falls 2-Takt Motoren unvermeidlich sind, so genanntes Gerätebenzin verwenden.
- Ferien in der Nähe planen, Flüge vermeiden
- regionale Produkte mit kurzen Transportwegen berücksichtigen.

Anhang

Inhaltsübersicht:

1. *Wirkungen von Sommersmog/Ozon auf den Menschen*
2. *Wirkungen von Ozon auf die Vegetation*
3. *Wirkungen von Ozon auf das Klima*
4. *Wirkungen von Ozon auf Materialien*
5. *Ökonomische Auswirkungen der Ozonbelastung*
6. *Grenzwerte in der Schweiz und in der EU*
7. *Information der Bevölkerung und Verhalten bei hohen Ozonwerten*

1. Wirkungen von Sommersmog/Ozon auf den Menschen

Ozon ist die Leitsubstanz des Sommersmogs, der sich aus einer Vielzahl von Schadstoffen zusammensetzt. Die Hitze sowie die Schadstoffe NO₂, lungengängiger Feinstaub PM10, PAN und weitere Schadstoffe, welche ebenfalls in der Sommersmog-Mischung vorhanden sind, können die Wirkung von Ozon verstärken und umgekehrt. Ozon ist ein aggressives Reizgas und kann aufgrund seiner geringen Wasserlöslichkeit tief in die Lungen eindringen. Als starkes Oxidationsmittel kann Ozon Zellmembranen und Nervenendigungen im Atemwegsepithel angreifen. Die Folge sind Gewebeschäden und starke Reizwirkungen in diesem Bereich. Ozon ist hauptverantwortlich für die Wirkungen des Sommersmogs auf den Menschen. Seine Wirkungen wurden in zahlreichen experimentellen und epidemiologischen Studien beobachtet und nachgewiesen. Aufgrund der Resultate von verschiedensten Studien kann gesagt werden, dass die übermässigen Ozonbelastungen in der Schweiz ein ernsthaftes Risiko für die Gesundheit der Bevölkerung darstellen. Zu den akuten Wirkungen von Ozon gehören Schleimhautreizungen, Entzündungsreaktionen in den Atemwegen, Einschränkungen der Lungenfunktion, Spitaleintritte wegen respiratorischen Problemen sowie vorzeitige Todesfälle. Die Empfindlichkeit auf Ozon ist von Mensch zu Mensch verschieden. Eine genau abgrenzbare Risikogruppe für die Wirkung des Ozons gibt es nicht. Es gibt aber Hinweise, dass die Ozonbelastung für Kleinkinder, für Kinder mit Asthma, für Personen mit bestehenden Atemwegsproblemen und ältere Personen ein grösseres Problem darstellt als für gesunde Erwachsene.

Wirkungen

Die Wirkung von Ozon ist abhängig von der:

- Konzentration: Je höher die Ozonwerte steigen, desto mehr Personen sind betroffen.
- Expositionsdauer: Je länger sich jemand in ozonreicher Luft aufhält, desto stärker wird die Reaktion.
- Atemvolumen: Je grösser die körperliche Anstrengung ist, desto stärker wird die Reaktion.

Entsprechend nehmen die Wirkungen mit der Expositionszeit und der Konzentration zu. Zu den akuten Wirkungen gehören (WHO 2000, WHO 2003):

- Reizungen der Schleimhäute: Augenbrennen
Brennen / Kratzen im Hals
Druck auf der Brust
Schmerzen beim tiefen Einatmen

- Vorübergehende Einschränkung der Lungenfunktion und der Leistungsfähigkeit
- Entzündungsreaktionen in den Atemwegen bis in die Lunge
- Verstärkung der Reaktion der Luftwege auf andere Reize (weitere Luftschadstoffe wie z.B. Stickstoffdioxid und lungengängiger Feinstaub sowie Allergene wie Pollen, Milben etc.)

Wer ist betroffen?

Die Empfindlichkeit ist von Mensch zu Mensch sehr verschieden. Eine genau abgrenzbare Risikogruppe für die Wirkung des Ozons gibt es nicht. Nach Schätzungen der Weltgesundheitsorganisation WHO reagieren ca. 10 bis 15% der Bevölkerung - quer durch alle Bevölkerungsgruppen – besonders empfindlich auf Ozon (WHO 1992). Allerdings kann die Ozonbelastung für Kleinkinder, Kinder mit Asthma, Personen mit bestehenden Atemwegsproblemen und ältere Personen eine grössere Bedeutung haben als für gesunde Erwachsene. Von den akuten Auswirkungen betroffen sind auch Menschen, die sich viel im Freien aufhalten, körperlich aktiv sind und kräftig durchatmen. Das trifft speziell für Kinder und jüngere Personen aber auch für Sportler und Arbeiter, die körperliche Schwerarbeit verrichten, zu. In unseren klimatischen Verhältnissen wurden Lungenfunktionsverminderungen oder Leistungseinschränkungen in verschiedenen Studien bei verschiedenen Personengruppen konkret beobachtet so z.B. bei Schulkindern im Tessin nach kontrolliertem Velofahren, bei Polizeiangehörigen im Aargau und bei RadfahrerInnen in Holland (WHO 2003).

Ozon und Kinder

Die Lungen der Kinder sind keine Miniaturversionen der Lungen von Erwachsenen. Im Gegensatz zu vielen andern Organen ist die Lunge bei Geburt noch nicht voll ausgebildet. Mehr als 80% der Lungenbläschen werden erst nach Geburt bis etwa zum 5. Altersjahr gebildet. Auch atmen Säuglinge und Kleinkinder wegen ihres relativ grösseren Sauerstoffbedarfs eine Luftmenge pro Minute ein, die – bezogen auf ihre Grösse und Körpergewicht – schon in Ruhe so gross ist wie bei einem sich körperlich betätigenden Erwachsenen. Zudem ist ihr Immunsystem noch nicht vollständig ausgebildet, eine zusätzliche Reizung durch Ozon kann deshalb ihre Anfälligkeit gegenüber Infektionen des Atemtrakts erhöhen. Aus Vorsorgegründen müssen deshalb alle Säuglinge und Kleinkinder als Risikogruppe eingestuft werden.

Ozon und Alter

Über die entzündlichen Folgen von Ozon bei älteren Menschen weiss man wenig. In verschiedenen Studien wurde festgestellt, dass ältere Personen auch bei höheren Ozonkonzentrationen in der Lungenfunktion weniger stark reagieren als jüngere. Ein Grund für diese Beobachtung könnte aber sein, dass sie weniger exponiert sind, sich weniger im Freien aufhalten und körperlich weniger aktiv sind. Studien aus Europa zeigen jedoch, dass über 65-jährige Personen häufiger wegen respiratorischen Beschwerden ins Spital eintreten, wenn die Ozonbelastungen höher sind.

Ozon und Lungenfunktion

Erhöhte Ozonbelastungen können die Lungenfunktion beeinträchtigen. Besonders davon betroffen sind Kinder und empfindlich reagierende Erwachsene. Eine Studie im Tessin hat gezeigt, dass bei einzelnen empfindlich reagierenden Kindern bei moderater Anstrengung Lungenfunktionseinbussen bis zu 30% auftraten, obwohl die Ozonspitzenwerte $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nicht überschritten. Eine Studie aus den USA hat beobachtet, dass sich die Lungenfunktion bei Kindern verbesserte, wenn diese aus einer stärker mit Ozon belasteten Region in Gegenden mit geringerer Belastung zügelten. Gemäss WHO (WHO 1992) ist in etwa mit folgenden Lungenfunktionseinbussen zu rechnen (Tabelle 1):

| Ozonkonzentration $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (max. 1h-Mittelwert) | Durchschnittliche Reduktion der Lungenfunktion bei aktiven Personen (im Freien) | |
|--|---|---------------------------------------|
| | Gesamte Bevölkerung | Empfindlichste 10-15% der Bevölkerung |
| < 100 | Keine | Keine |
| 100 – 200 | 5% | 10% |
| 200 – 300 | 15% | < 30% |
| 300 – 400 und mehr | 25% | > 50% |

Tabelle 1: Lungenfunktionseinbußen bei steigenden Ozonkonzentrationen in der gesamten Bevölkerung und bei empfindlich reagierenden Personen.

Ozon und Asthma

Die ozonbedingte Reaktion der Luftwege ist bei vielen, aber nicht allen AsthmatikerInnen stärker ausgeprägt als bei Gesunden. Die durch Ozon verstärkte Auswirkung anderer Reize (weitere Luftschadstoffe wie lungengängiger Feinstaub sowie Pollen, Milben etc.), kann für AsthmatikerInnen besonders problematisch werden. AsthmatikerInnen, die ohne entzündungshemmende Mittel auskommen, haben mehr Reaktionen auf Ozon und Symptome als AsthmatikerInnen mit Basistherapie.

Ozon und chronische Bronchitis (Rauchen)

Die durch Ozon ausgelöste bronchiale Entzündung tritt auch bei RaucherInnen und NichtraucherInnen auf. Bei RaucherInnen kann die Lungenfunktion schon infolge des Rauchens vermindert sein. Die ozonbedingte Funktionseinbuße ist deshalb manchmal weniger deutlich erkennbar als bei NichtraucherInnen.

Ozon und andere vorbestehende Krankheiten

Ozon kann zu einer Störung der Lungenfunktion und zu vermindertem Gasaustausch führen und so indirekt eine negative Auswirkung auf den Zustand von PatientInnen mit anderen Krankheiten (Herzinsuffizienz, koronaren Herzkrankheiten, Anämie) haben.

Spitaleintritte und Sterbefälle an oder nach Tagen mit hohen Ozonwerten

Die Weltgesundheitsorganisation WHO hat kürzlich eine umfassende Übersichtsarbeit zu den Auswirkungen von erhöhten Ozon- und PM-Belastungen auf den Menschen fertig gestellt (WHO 2004). Nach der Bewertung von Studien aus 15 Städten Europas, so auch der Städte Zürich, Basel und Genf, bezüglich der Wirkung von Ozon auf die Mortalität kommen die WHO-Experten zum Schluss, dass die Sterbefälle in den Sommermonaten um ca. 0.3% zunehmen wenn die Ozon 8-h Werte um $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ steigen. Diese Wirkungen werden dem Ozon zugeordnet und sind verschieden von den Wirkungen der Feinpartikel- oder Stickstoffdioxid-Belastung. Eine gleichzeitig erhöhte PM_{10/2.5}- oder NO₂-Belastung kann aber die Wirkungen von Ozon verstärken. Die WHO hat auch die Wirkungen von Ozon auf die Spital-eintritte untersucht. Die Auswertung der Studien aus Europa zeigt, dass die Spital-eintritte wegen respiratorischen Beschwerden bei den 15- bis 64-jährigen Personen um 0.1%, bei den über 65-jährigen um 0.5% zunehmen, wenn die 8-h Mittelwerte von Ozon um $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ höher sind (Tabelle 2).

| Anstieg des 8-h Mittelwertes von Ozon um ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Zunahme der Sterbefälle insgesamt wegen O_3 (%) | Zunahme der Spitaleintritte wegen respiratorischen Beschwerden (%) |
|---|--|--|
| 10 | 0.3% | 0.1 - 0.5% |
| 50 | 1.5% | 0.5 - 2.5% |
| 100 | 3% | 1 - 5% |

Tabelle 2: Zunahme der täglichen Sterbefälle insgesamt (ohne Unfälle) und der Spitaleintritte wegen respiratorischen Beschwerden bei Personen über 15 Jahren bei steigender Ozonbelastung (Bereich 80-240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) in Europa

Reizreaktionen

Bereits 1992 hat die WHO zur Häufigkeit von Reizreaktionen in der Bevölkerung bei verschiedenen Belastungsniveaus Stellung bezogen. Diese Aussagen sind weiterhin gültig (Tabelle 3).

| Max. Stundenmittel von Ozon in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Reizungen/Entzündungen, % der Bevölkerung |
|---|---|
| Bis 100 | Keine |
| 100 – 200 | Empfindliche Personen |
| 200 – 300 | Bis zu 30% |
| 300 – 400 und mehr | Mehr als 50% |

Tabelle 3: Reizungen/Entzündung von Augen, Nase und Hals in der Bevölkerung

Langzeitwirkungen

Die chronischen Wirkungen von Ozon auf die menschliche Gesundheit wurden in Studien weltweit nur wenig untersucht. Es gibt Hinweise, dass chronisch erhöhte Ozonbelastungen einen Einfluss auf die Inzidenz von Asthma bei Kindern und Erwachsenen und das Wachstum der Lunge haben können. Die Resultate dieser Studien sind allerdings nicht sehr konsistent. In der Schweiz wurden mögliche chronische Wirkungen von Ozon bisher nicht untersucht.

Gesundheitliche Wirkungen im Sommer 2003 in der Schweiz

Der Hitzesommer 2003 war durch ausserordentlich viele Überschreitungen des Immissions-Grenzwertes von 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ gekennzeichnet. Obwohl die absoluten Spitzenwerte nicht höher lagen als in den vergangenen Jahren, waren die Menschen während des ganzen Sommers insgesamt deutlich erhöhten Ozondosen ausgesetzt. Damit dürften nicht nur die 10-15% empfindlich reagierenden Personen, sondern grössere Teile der Bevölkerung unter der Ozonbelastung gelitten haben. Im Südtessin z.B. könnte an gewissen stark mit Ozon belasteten Tagen über ein Drittel der Bevölkerung an ozonbedingten Reizungen der Schleimhäute gelitten haben. Werden die Ozonbelastung der Bevölkerung der Schweiz während den Monaten Juni - August 2003 und die erwähnten Expositions-Wirkungsbeziehungen der WHO sowie die entsprechenden Mortalitäts- und Spitaleinweisungs-Zahlen des Bundesamtes für Statistik BFS zueinander in Beziehung gesetzt, zeigt sich, dass während dieser Periode etwa

130-300 vorzeitige Todesfälle und eine ähnliche Zahl von Spitaleintritten wegen respiratorischen Beschwerden der übermässigen Ozonexposition angelastet werden können. Diese Zahlen sind eine erste Abschätzung der Auswirkungen der Sommersmog-Belastung 2003 auf die Gesundheit der Schweizer Bevölkerung. Im Rahmen einer epidemiologischen Studie der EU werden die gesundheitlichen Wirkungen der Hitze und der Schadstoffe Ozon und PM10 während dem Sommer 2003 auch in der Schweiz genauer untersucht. Erste Resultate werden aber nicht vor Ende 2004 vorliegen.

2. Wirkungen von Ozon auf die Vegetation

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.

Da Ozon bei **Bäumen** die Versorgung der Wurzeln mit energiereichen Verbindungen (z.B. Kohlenhydrate) aus den Blättern und Nadeln behindert, werden weniger Feinwurzeln gebildet und die Vitalität von Wurzelpilzen (Mycorrhiza) wird eingeschränkt. Dies hat negative Langzeitfolgen für die Ernährung und den Wasserhaushalt der Bäume. In experimentellen und epidemiologischen Studien wurde festgestellt, dass mit zunehmender Ozonbelastung der Stammzuwachs von Bäumen abnimmt.

Ozon schädigt auch **landwirtschaftliche Kulturen**. Besonders bei Nutzpflanzenarten mit einer hohen Blattdurchlässigkeit wie Klee, Luzerne, Tomate, Soja oder Bohne kann Ozon leicht ins Blattinnere eindringen und Blattzellen angreifen. Dies führt kurzfristig zu sichtbaren Blattschädigungen. Aber auch ohne typische Schadsymptome führt die Dauerbelastung durch Ozon zu Ertragseinbussen bei wichtigen Kulturen, wie Weizen oder Kartoffel. Je nach Kultur und Region, und in Abhängigkeit der herrschenden Umweltbedingungen, sind diese Ernteeinbussen unterschiedlich gross. Experimentell wurde auch festgestellt, dass die anhaltende Ozonbelastung zu einer Veränderung des Artenspektrums von angesäten Wiesen, einer Abnahme der Produktivität von Dauerwiesen, und zu einer erhöhten Empfindlichkeit der Pflanze gegenüber Parasiten und andern Krankheitserregern führt.

Auf internationaler Ebene wurden Werte für die Ozonbelastung festgelegt (Critical Levels), welche zum Schutz der empfindlichsten Pflanzenarten nicht überschritten werden sollten. Dabei wird die über die ganze Vegetationszeit akkumulierte Ozonbelastung oberhalb eines Schwellenwerts von 40 ppb (ungefähr $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) berücksichtigt. In der Schweiz werden diese kritischen Belastungswerte zur Zeit um mindestens das Zwei- bis Dreifache überschritten (Abbildung 7).

Die Wirkung auf Pflanzen kann sich nur entfalten, wenn das Ozon in die Blätter und Nadeln eindringen kann. Die Ozonaufnahme geschieht auf dem Weg durch die Spaltöffnungen, deren Öffnungsweite durch die Umweltbedingungen verändert wird. Besonders Trockenheit führt zu einer Verengung der Spaltöffnungen und damit zu einer Verminderung der Aufnahme. Dadurch nimmt auch die Wirksamkeit des Ozons ab.

Das Jahr 2003 war durch eine längere warme und trockene Periode gekennzeichnet. Während dieser Zeit nahm die Wasserverfügbarkeit für die Vegetation stark ab. Unter diesen Bedingungen nahmen die Pflanzen entsprechend weniger Ozon auf, und demzufolge war die Wirkung geringer, als bei genügender Wasserversorgung aufgrund der hohen Ozonwerte erwartet werden müsste. Andererseits führte die Trockenheit selbst gerade bei vielen landwirtschaftlichen Kulturen zu deutlichen Ernteverlusten, und bei Waldbäumen zum Verdorren der Blätter. Diese Belastung dürfte sich negativ auf den Wiederaustritt der Bäume im Frühjahr 2004 ausgewirkt haben.

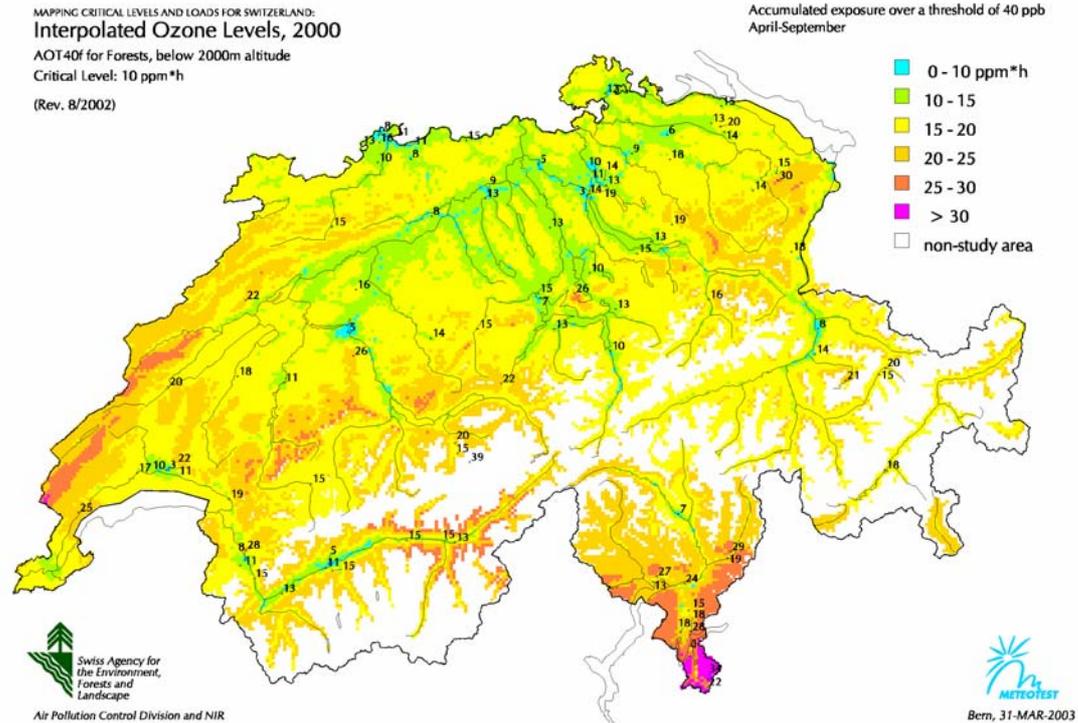


Abbildung 7: Die Karte zeigt, dass die international festgelegten Ozon-Dosiswerte für den Wald (AOT40: 10ppm·h, accumulated exposure over a threshold of 40 ppb, akkumulierte Ozonbelastung oberhalb eines Schwellenwerts von 40 ppb) in der Schweiz deutlich überschritten werden.

3. Wirkungen von Ozon auf das Klima

Troposphärisches Ozon ist auch ein Treibhausgas. Seine klimaerwärmende Wirkung im Vergleich mit den „klassischen“ Treibhausgasen wie Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) ist in der folgenden Abbildung 8 dargestellt. Die Reduktion von Ozon ist deshalb auch zum Schutz des globalen Klimas erwünscht. Auch eine Verminderung des CH₄-Ausstosses ist sowohl aus lufthygienischen als auch aus Klimaschutzgründen positiv zu werten.

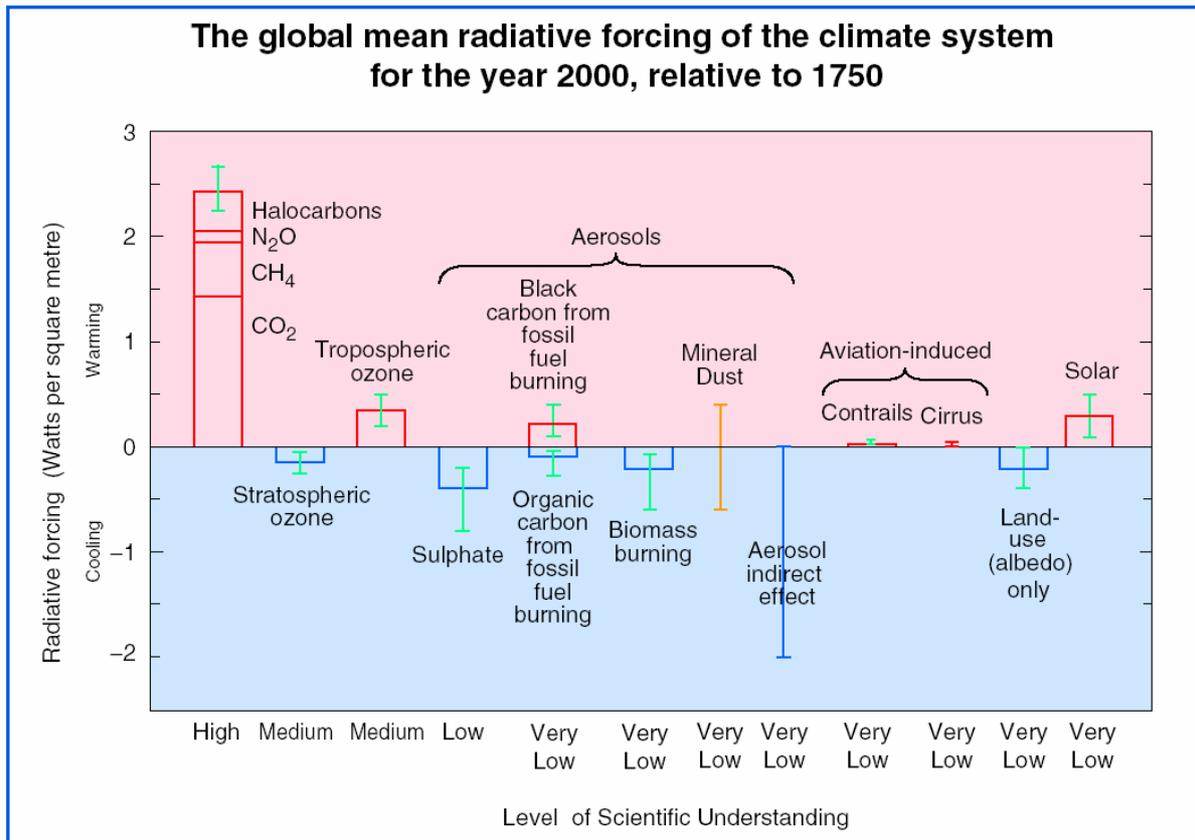


Abbildung 8: Der Beitrag verschiedener Treibhausgase, Aerosole und anderer Komponenten zum globalen Treibhauseffekt im Vergleich. Die klimaaktive Wirkung des troposphärischen Ozons ist etwa mit der Wirkung der chlorierten Kohlenwasserstoffe oder Methan vergleichbar. Sie ist stärker als die Wirkung von Lachgas, aber deutlich schwächer als die Wirkung von CO₂.

4. Wirkungen von Ozon auf Materialien

Organische Materialien wie Kunststoffe, Lacke, Farbstoffe oder Textilfasern werden von Ozon angegriffen. Kunststoffe oder Gummi altern schneller und verlieren dadurch ihre Geschmeidigkeit und Elastizität und damit funktionell wichtige Eigenschaften. Farben verlieren ihren Glanz und bleichen unter Ozoneinwirkung aus.

5. Ökonomische Auswirkungen der Ozonbelastung

Auswirkungen auf die Vegetation: Im Prinzip können die ozonbedingten Schäden auf natürliche Ökosysteme (z.B. Wälder) und landwirtschaftliche Kulturen (z.B. Weizen) quantifiziert und monetarisiert werden. Schäden bei natürlichen Ökosystemen wurden bis jetzt in der Schweiz aber nicht monetarisiert. Eine Studie (Holland et al. 2002), welche im Rahmen des internationalen UN/ECE-Programms „ICP Vegetation“ durchgeführt wurde, hat gezeigt, dass Ozon in der Schweiz bei Ackerkulturen im Jahr 1990 Schäden von ca. 38 Mio. Fr. verursacht hat. Wenn die im Rahmen des Göteborger Protokolls vereinbarten Emissionsreduktionen realisiert werden, nehmen diese Schäden um ca. 14 Mio. Fr. ab und betragen im Jahr 2010 noch ca. 24 Mio. Fr. Eine frühere, umfassendere Betrachtung der ökonomischen Konsequenzen für den Ackerbau im Talgebiet ergab allerdings ozonbedingte Gesamtverluste von rund 200 Mio. (Referenzjahr 1985) (Näf, 1991).

Auswirkungen auf die Gesundheit: Die ozonbedingten Schäden auf die Gesundheit wurden in der Schweiz bis jetzt noch nicht quantifiziert und monetarisiert, hingegen wurde dies für die durch die lungengängigen Feinstäube (PM10) hervorgerufenen Schäden getan. Unter der Voraussetzung einer ähnlichen Vorgehensweise für das Ozon, kann davon ausgegangen werden, dass Ozon im Jahr 2000 gesundheitliche Schäden von ca. 400-600 Mio. Fr. verursacht hat. Diese Zahlen sind eine erste vorsichtige Schätzung.

6. Grenzwerte in der Schweiz und in der EU

Grenzwerte in der Schweiz

In der Schweiz hat der Bundesrat auf der Basis der Schutzkriterien des Umweltschutzgesetzes (Art. 13 und 14 sowie Art. 11 Abs. 2 und 3 USG) in der Luftreinhalte-Verordnung zwei Immissionsgrenzwerte für Ozon festgelegt:

1. 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1-h Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden.
2. 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 98% der $\frac{1}{2}$ -h-Mittelwerte eines Monats $\leq 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Werte in der EU im Vergleich mit der Schweiz

Die EU hat am 12. Februar 2002 die Ozonrichtlinie 2002/3/EG verabschiedet, welche von den Mitgliedsstaaten bis zum September 2003 in national geltendes Recht umgesetzt werden muss. In dieser Richtlinie werden Zielwerte und Langfristziele (120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) sowie eine Informations- (180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) und eine Alarmschwelle (240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) festgelegt.

Als *Zielwert* für den Schutz der menschlichen Gesundheit wurde ein 8-h Mittelwert von 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (berechnet aus stündlich gleitenden 8-h Mittelwerten) festgelegt, der nicht mehr als 25-mal pro Jahr überschritten werden darf. Dieser Wert muss 2010 erstmals eingehalten werden, berechnet als Mittel über 3 Jahre. Als *Langfristziel* zum Schutz der menschlichen Gesundheit gilt ein 8-h Mittelwert von 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ohne erlaubte Überschreitungen. Bei Einhaltung bietet das Langfristziel der EU für die Bevölkerung etwa den gleichen Schutz wie die Grenzwerte der Schweiz. Im Vergleich mit der Schweiz lässt sich die Anzahl Überschreitungen der 8h-Mittelwerte in guter Näherung als ein Zehntel der Überschreitungen des 1h-Mittelwertes berechnen (Abbildung 9). Ein Ort in der Schweiz mit 250 Überschreitungen des IGW von 120 (max. 1-h Mittelwert) würde also im Jahr 2010 die Anforderungen der EU für das Jahr 2010 noch knapp erfüllen, nicht jedoch das Langfristziel. Dies zeigt, dass der Zielwert der EU für 2010 noch weit vom Schutzziel entfernt ist und nur als Zwischenziel angesehen werden muss.

Als Langfristziel zum Schutz der Vegetation (Kulturpflanzen) hat die EU einen AOT 40 (accumulated exposure over a threshold of 40 ppb, kumulative Dosis über einer Schwelle von 40 ppb = 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) Wert von 6000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ festgelegt. Wird die Ozonkonzentration auf der Höhe des Pflanzenbestandes gemessen, so entspricht dies dem Ziel, welches auch im Rahmen der UN/ECE-Konvention von Genf über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung angestrebt wird und damit auch in der Schweiz gültig ist.

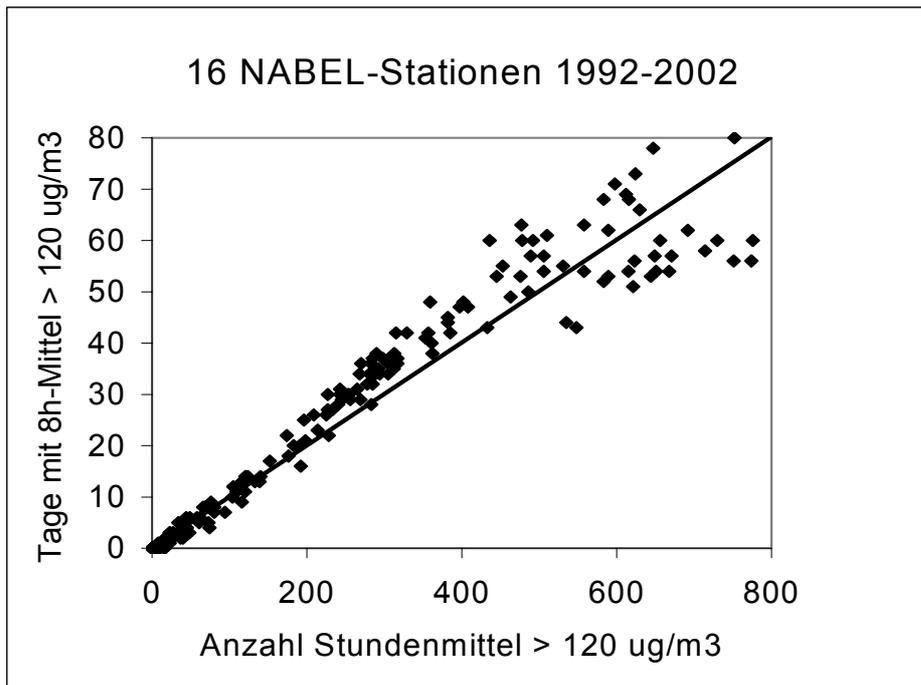


Abbildung 9: Vergleich der Anzahl 1-h Mittel $> 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mit der Anzahl Tage mit einem 8-h Mittel $> 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an 16 NABEL Stationen 1992-2002

Die EU hat in der Richtlinie auch eine *Alarmschwelle* von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1-h Mittelwert) festgelegt. Falls dieser Wert an drei aufeinander folgenden Stunden überschritten wird und die Prognose für den nächsten Tag keine Besserung verspricht, kann ein Aktionsplan mit kurzfristig zu ergreifenden Massnahmen in Kraft gesetzt werden. Dabei können die Mitgliedsstaaten selbst entscheiden, ob im gegebenen Fall ein nennenswertes Potential zur Minderung des Risikos, der Dauer und des Ausmasses einer Überschreitung der Alarmschwelle existiert oder nicht. Wenn nicht, muss auch kein Aktionsplan erstellt werden.

Im Bericht „Ozon in der Schweiz“ von 1989 hat die EKL betont, dass eine zweckmässige Strategie zur Bekämpfung des Oxidantienproblems nicht aus vorübergehenden tageweisen Sofortmassnahmen, sondern in erster Linie aus mittelfristigen aber dauerhaft wirksamen Massnahmen zur Reduktion der Schadstoffemissionen besteht. Diese Sicht wurde von der EKL und auch bei der Untersuchung der Wirksamkeit von Sofortmassnahmen bei Ozonepisoden in der Praxis (z.B. in Deutschland) mehrfach bestätigt und ist auch heute noch gültig. Die EKL empfiehlt deshalb, wegen den chronisch zu hohen Schadstoffbelastungen weitere dauerhaft wirksame Massnahmen möglichst bald zu realisieren. Ebenfalls sinnvoll sind saisonale Massnahmen auf regionaler Ebene - wie z.B. Temporeduktionen im Kanton Tessin -, welche die Schadstoffbelastung insgesamt (v.a. der Ozonvorläuferschadstoffe NO_x und VOC) senken können und so zu einer Verbesserung der Atemluftqualität beitragen. Je länger und intensiver solche Massnahmen durchgeführt werden und je grösser das erfasste Gebiet ist, desto besser ist die Wirksamkeit.

7. Information der Bevölkerung und Verhalten bei hohen Ozonwerten

Die schweizerischen Behörden informieren über Internet (wo auch Karten der Ozonbelastung mit einer eintägigen Prognose verfügbar sind), Teletext oder via SMS permanent über die Luftqualität in der Schweiz. Mit dem Ziel einer Harmonisierung der Information wurde im Sommer 2003 die Internet-Plattform „Ozon ok?“ realisiert (Cercl'Air 2003). Die Plattform soll zur Information und Sensibilisierung der Bevölkerung dienen und den Luftreinhalte-Fach-

stellen aktualisierte Grundlagen liefern. Einige Medien publizieren die Ozonkonzentration während der Sommerzeit.

Die EU hat in der Ozonrichtlinie 2002/3/EG eine *Informationsschwelle* von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1-h Mittelwert) zur Information der Bevölkerung festgelegt. Wirkungen treten aber bei empfindlichen Bevölkerungsgruppen bereits bei Ozonkonzentrationen unter $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf. Die EKL erachtet es deshalb als nicht notwendig, für die Schweiz in der Luftreinhalte-Verordnung eine Informationsschwelle festzulegen, wie sie die EU kennt.

Die Schweizer Bevölkerung soll aber im Sinne des Auftrags von Art. 6 [Abs. 1 und 3] USG während den Sommersmog-Episoden in Abhängigkeit der Überschreitung der Immissionsgrenzwerte der LRV und zu Beginn der Ozonsaison in angemessener Weise informiert werden. Für das Verhalten bei übermässigen Ozonbelastungen und zur Bewertung der Immissionssituation kann folgendes empfohlen werden:

1. Eine generelle Empfehlung, bei hohen Ozonwerten nicht ins Freie zu gehen, ist nicht nötig.
2. Sportanlässe, Ausdauersport und sonstige starke körperliche Anstrengungen im Freien sollten im Sommer so geplant werden, dass Ausdauerleistungen bevorzugt dann erbracht werden, wenn tiefere Ozonwerte zu erwarten sind (meist vormittags oder nach Sonnenuntergang). Auf Menschen, die Beschwerden infolge Ozons verspüren, soll kein Leistungszwang ausgeübt werden.
3. Personen, die wiederholt Beschwerden verspüren, sollten eine ärztliche Behandlung - aufsuchen, um die Ursache der Symptome abklären zu lassen.
4. Zur Kommunikation der unterschiedlichen Schadstoffbelastungen kann folgendes Schema verwendet werden:
 - 1-h Maximum unter $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$: „Vernachlässigbare bis mässige Luftschadstoffbelastung“. Es sind keine oder kaum gesundheitliche Beeinträchtigungen zu erwarten.
 - 1-h Maximum zwischen 120 - $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$: „Deutliche Luftschadstoffbelastung“: Bei empfindliche reagierenden Personen sind Schleimhautreizungen von Augen, Nase und Hals wahrscheinlich. Bei körperlicher Anstrengung im Freien ist bei Kindern, Jugendlichen und empfindlich reagierenden Erwachsenen eine geringe Verminderung der Lungenfunktion zu erwarten.
 - 1-h Maximum zwischen 180 - $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$: „Hohe Luftschadstoffbelastung“. Die Wahrscheinlichkeit für Schleimhautreizungen ist erhöht. Bei körperlicher Anstrengung im Freien ist bei Kindern, Jugendlichen und empfindlich reagierenden Erwachsenen eine Verminderung der Lungenfunktion von 5-10% zu erwarten.
 - 1-h Maximum über $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$: „Sehr hohe Luftschadstoffbelastung“. Die Wahrscheinlichkeit für Schleimhautreizungen ist stark erhöht. Bei starker körperlicher Anstrengung im Freien ist die Lungenfunktion in der gesamten Bevölkerung im Durchschnitt um 15% reduziert. Bei empfindlich reagierenden Personen kann die Lungenfunktion sogar um 30% und mehr vermindert sein.
5. Bei Erreichen der Schwelle von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ können die Behörden die Bevölkerung zusätzlich aktiv informieren.
6. Die Belastung der Luft mit den Schadstoffen NO_x , VOC und PM10 und die Hitze können die Wirkungen verstärken und stellen ein zusätzliches gesundheitliches Gefahrenpotential dar.

Literatur

- Ärztinnen und Ärzte für Umweltschutz. Ozon-Dokumentation 2003. AefU, Basel, 2003
- Anderson HR, Spix C, Medina S, Schouten JP, Castellsague J, Rossi G, Zmirou D, Touloumi G, Wojtyniak B, Pönkä A, Bacharova L, Schwartz J, Katsouyanni K. Air pollution and daily admissions for chronic obstructive pulmonary disease in 6 European cities: results from the APHEA project. *Eur Respir J* 1997; 10: 1064-1071
- Andreani-Aksoyoglu S, Lu CH, Keller J, Prévôt A, Chang J. Variability of indicator values for ozone production sensitivity: a model study in Switzerland and San Joaquin Valley (California) *Atmos. Environ.* 2001; 35: 5593-5604
- Brönnimann S, Schuepbach E, Zanis P, Buchmann B, Wanner H. A climatology of regional background ozone at different elevations in Switzerland (1992-1998). *Atmos. Environ.* 2000; 34: 5191-5198
- BUWAL 1996: POLLUMET Luftverschmutzung und Meteorologie in der Schweiz. *Umweltdaten Nr. 63*
- Cercl'Air 2003: Ozon ok? ..damit uns die Luft nicht wegbleibt! Eine Internet-Plattform der Schweizerischen Gesellschaft der Lufthygiene-Fachleute und des BUWAL, <http://www.ozonok.ch>
- Cercl'Air 2004: Sommersmog. Positionspapier zum koordinierten Vorgehen bei ausserordentlichen Belastungssituationen. Schweizerische Gesellschaft der Lufthygiene-Fachleute in Zusammenarbeit mit dem BUWAL, Februar 2004
- Dervent D. Physical Linkages through Atmospheric Chemistry – Ozone. Workshop of the UNECE Task Force on Integrated Assessment Modelling. Laxenburg 2003
- EKL 2003. Benzol in der Schweiz. Bericht der EKL. SRU Nr. 350, BUWAL 2003
- EKL 1989. Ozon in der Schweiz. Statusbericht der EKL. SRU Nr. 101, BUWAL 1989
- Fiore A, Jacob D, Field B, Streets D, Fernandes S, Jang C. Linking ozone pollution and climate change: The case for controlling for methane. *Geophys. Res. Lett.* 2002; 8. Oct, 10.1029
- Holland M, Mills G, Hayes F, Buse A, Emberson I, Cambridge H, Cinderby S, Terry A, Ashmore M. Economic Assessment of Crop Yield Losses from Ozone Exposure. Contract EPG 1/3/170. Report published 2002 by the Centre for Ecology and Hydrology, Bangor UK under the UNECE ICP Vegetation.
- Luftbericht. Bericht des Bundesrates über die lufthygienischen Massnahmen des Bundes und der Kantone. BBl Nr. 38 S.7735 1999
- Luftreinhalte-Verordnung der Schweiz vom 16. Dezember 1985. Stand an 28. März 2000. SR 814.318.142.1
- Näf, W 1991: Ökonomische Konsequenzen der Luftverschmutzung für die schweizerische Landwirtschaft. Dissertation Universität Fribourg
- Neffel, A, Spirig, C, 2003. EUROTRAC-2 Subproject LOOP, Final Report. EUROTRAC-2, ISS, Munich
- Richtlinie 2002/3/EC des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 9.3.2002
- Roemer M. Trends of ozone and precursors in Europe, status report TOR-2. TNO report R2001/244
- Sommersmog. Das Magazin für saubere Luft. BUWAL 1999
- Touloumi G, Katsouyanni K, Zmirou D, Schwartz J, Spix C, Ponce de Leon A, Tobias A, Quenel P, Rabczenko D, Bacharova L, Bisanti L, Vonk JM, Pönkä A. Short-term effects of

ambient oxidant exposure on mortality: A combined analysis within the APHEA project. Am J Epidemiol 1997; 146/2: 177-185

- Volz-Thomas, A. et al., 2003. Tropospheric Ozone and its Control. In: P.M. Midgley and M. Reuther (Editors), Towards Cleaner Air for Europe - Science, Tools and Applications. Margraf Publishers, Weikersheim, Germany
- WHO 1992: Acute effects on health of smog episodes. WHO Regional Publications, European Series No 43, WHO 1992
- WHO 2000: Air Quality Guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European Series No 91, WHO 2000 oder <http://www.who.dk/eprise/main/WHO/Progs/AIQ/Home>
- WHO 2003: Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide. Report on a WHO Working Group. Bonn, Germany 13-15 January 2003. WHO Regional Office for Europe 2003
- WHO 2004: Meta-analysis of time-series studies of Particulate Matter (PM) and Ozone (O₃). Report of a WHO Task Group. WHO 2004 (to be published)