

Ozon in der Schweiz

Die Ozonbelastung ist zweifellos eines der gravierendsten Probleme in Hinsicht auf die Luft-Qualität. Die Naturforschende Gesellschaft in Zürich macht in ihrer Vierteljahrsschrift durch die Autorschaft von Prof. Dr. H.U. Dütsch seit 1962 regelmässig darauf aufmerksam, zuletzt im Heft 1989/2. Es liegt deshalb nahe, dass der 271 Seiten umfassende Bericht «Ozon in der Schweiz» der Eidgenössischen Kommission für Lufthygiene (EKL), herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft als Nr. 101 der Schriftenreihe Umweltschutz (zu beziehen beim Dokumentationsdienst des BUWAL, 3003 Bern), hier angemessen gewürdigt wird. Ich danke Prof. Dr. H.U. Wanner, Präsident der EKL, dass er Hand geboten hat, die Zusammenfassung und zwei repräsentative Bilder in unsere Rubrik «Streiflichter aus der Wissenschaft und Forschung» aufnehmen zu dürfen.

Der Redaktor.

1 Bildung, Verfrachtung und Abbau von Ozon

Ozon und weitere Photooxidantien werden in bodennahen Luftschichten und in der freien Troposphäre durch photochemische Reaktionen aus Vorläuferschadstoffen gebildet. Von Bedeutung sind dabei Stickoxide (NO_x), flüchtige organische Verbindungen (VOC = volatile organic compounds), Kohlenmonoxid (CO) und Methan (CH_4). Die flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) wurden früher in der Lufthygiene vereinfachend als Kohlenwasserstoffe (HC) bezeichnet. Da es sich beim Ozon und den Photooxidantien um sekundäre Luftschadstoffe handelt, die während des Transports verschmutzter Luftmassen entstehen, treten die höchsten Ozonbelastungen in der Regel nicht in den Quellregionen der Primärschadstoffe (Ballungsräume) auf, sondern in deren näheren Umgebung und in ländlichen Gebieten.

Das Auftreten hoher Ozonkonzentrationen in Luftmassen, die sich über Ballungsräume oder stark industrialisierte Regionen hinwegbewegen, ist weitgehend von den meteorologischen Bedingungen abhängig. Die Entstehung hoher Ozonkonzentrationen aus Vorläuferschadstoffen wird begünstigt durch hohe Lufttemperatur, starke Einstrahlung, lange Sonnenscheindauer, niedrige Luftfeuchtigkeit und geringe Windgeschwindigkeit. Solche Bedingungen treten während ausgeprägten Hochdruckwetterlagen im Sommer auf. Die Ozonbelastung weist dann in bodennahen Luftschichten einen ausgeprägten Tagesgang mit üblicherweise höchsten Konzentrationen im Verlauf des Nachmittags auf. In höheren Luftschichten sind die Tagesgänge in der Regel wegen fehlender nächtlicher Abbaureaktionen weniger ausgeprägt.

Ergebnisse von Messflügen weisen darauf hin, dass während Hochdruckwetterlagen grösseräumig erhöhte Ozonbelastungen auftreten. Diesen erhöhten Grundbelastungen überlagern sich mehr oder weniger starke lokale bis regionale Beiträge.

Verschiedene ermittelte Ozon-Vertikalprofile zeigen deutlich, dass die höchsten Ozon-Spitzenbelastungen, aber auch die höchsten mittleren Belastungen in der Regel nicht an den Bodenmessstationen in offenem Gelände oder im Talgrund auftreten, sondern in höheren Luftschichten innerhalb der planetaren Grenzschicht. Von Bedeutung ist dies nicht zuletzt für die Vegetation in Hanglagen, die aufgrund dieser Ozon-Vertikalverteilung einer höheren Gesamtdosis ausgesetzt ist.

Neben dem erwähnten Tagesgang zeigen die Ozonkonzentrationen in bodennahen Luftschichten der stark besiedelten und industrialisierten Länder der nördlichen Hemisphäre als Folge der strahlungs- und temperaturabhängigen photochemischen Ozonproduktion einen deutlichen Jahresgang mit einem breiten Sommermaximum vom Frühling bis zum Herbst. Dagegen werden sogenannte natürliche Jahresgänge mit einem Frühlingmaximum und einem Herbstminimum heute nur noch an Stationen mit ausgeprägtem Reinluftcharakter beobachtet, wie sie in Europa nicht mehr anzutreffen sind. An solchen, sehr weit von anthropogen beeinflussten Gebieten entfernt liegenden Reinluftstationen werden die Ozon-Immissionen überwiegend durch Austauschprozesse zwischen der Stratosphäre und der Troposphäre bestimmt.

Die Ozonkonzentration in bodennahen Luftschichten ist immer das Ergebnis von Bildungs- und Abbauprozessen. Neben dem chemischen Abbau in der Atmosphäre (Reaktion mit Primär-

schadstoffen, z.B. mit Stickoxiden) spielt die trockene Deposition auf die Erdoberfläche eine wesentliche Rolle als Abbaumechanismus.

2 Natürliche und anthropogene Ozonbelastungen

Ergebnisse von Ozonmessungen im vorigen und anfangs dieses Jahrhunderts, statistische Analysen historischer Trends der Ozonkonzentrationen, neuere Ozon-Messungen an Standorten mit geringem anthropogenem Einfluss, Bilanzierungen der Ozonflüsse sowie Berechnungen mit photochemischen Modellen der Troposphäre weisen allesamt deutlich darauf hin, dass die Ozonkonzentrationen in der vorindustriellen Zeit wesentlich tiefer waren als heute Konzentrationszunahmen von 1–2% pro Jahr über längere Zeiträume werden dabei nicht nur in bodennahen Luftschichten, sondern auch in der freien Troposphäre beobachtet. Die mittleren Ozonbelastungen haben sich gemäss diesen Betrachtungen seit dem letzten Jahrhundert an ländlichen Messstationen stark besiedelter und industrialisierter Länder der nördlichen Hemisphäre verdoppelt bis verdreifacht. Während Photosmogeepisoden können maximale 1h-Mittelwerte auftreten, die mehr als 5mal über den natürlichen Spitzenbelastungen liegen. Natürlicherweise dürften an ländlich gelegenen bodennahen Messstationen (< 1000 m ü.M.) der nördlichen Hemisphäre mittlere Ozonbelastungen (Jahresmittelwerte, Monatsmittelwerte) im Bereich von 20–40 $\mu\text{g O}_3/\text{m}^3$ und maximale 1h-Mittelwerte im Bereich von 60–80 $\mu\text{g O}_3/\text{m}^3$ zu erwarten sein.

Bisher durchgeführte Berechnungen mit photochemischen Modellen der Troposphäre zur Abklärung der Frage nach der natürlichen Belastung mit Ozon haben ebenfalls zu Ergebnissen geführt, die in der Grössenordnung der mittels historischer Ozondaten sowie Trendanalysen abgeleiteten natürlichen Ozonkonzentrationen liegen. Auch Ozonbilanzierungen unter Berücksichtigung des Transports aus der Stratosphäre in die Troposphäre sowie der dort ablaufenden Abbauprozesse und der resultierenden Deposition auf Oberflächen haben gezeigt, dass die heutigen hohen Ozonbelastungen in der planetaren Grenzschicht und in der freien Troposphäre nur aufgrund anthropogener Einflüsse erklärt werden können. Die anthropogene photochemische Ozonproduktion ist während Smogperioden im Sommerhalbjahr nach diesen Berechnungen wesentlich grösser als der Eintrag aus der Stratosphäre. Zumindest für die nördliche Hemisphäre bedeutet dies, dass heute ein deutlicher Nettofluss von Ozon aus der planetaren Grenzschicht in die freie Troposphäre stattfindet.

3 Ozonbelastungen in der Schweiz

Wie in andern Ländern Europas werden heute auch in der Schweiz wesentlich höhere Ozonkonzentrationen gemessen als dies natürlicherweise der Fall wäre. An den Messstationen des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe NABEL wurden bisher insbesondere in Jahren mit günstigen meteorologischen Bedingungen für die Photooxidantienbildung Jahresmittelwerte bis zu 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Monatsmittelwerte bis zu 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, maximale Tagesmittelwerte bis fast 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 8h-Mittelwerte von mehr als 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (maximale Arbeitsplatzkonzentration, MAK-Wert) und maximale 1h-Mittelwerte gegen 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ beobachtet. Die Ozon-Spitzenkonzentrationen traten dabei während ausgeprägter Episoden im Sommerhalbjahr auf. Die Episoden bildeten sich im wesentlichen landesweit aus und wurden mehr oder weniger gleichzeitig an allen Messstationen festgestellt, allerdings in unterschiedlicher Stärke. Die höchsten Konzentrationen traten dabei im schweizerischen Mittelland auf, während in den Voralpen und Alpen gegenüber dem Mittelland eine höhere mittlere Belastung übers Jahr und die Vegetationsperiode festgestellt wurde (vgl. Bild 1).

Die Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung (LRV), aber auch die nicht wesentlich davon abweichenden Luftqualitätsrichtlinien internationaler Fachorganisationen wie der Weltgesundheitsorganisation (WHO), des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) sowie der ECE-Expertengruppen «Wirkungen von Luftschadstoffen» wurden jeweils im Sommerhalbjahr häufig und teilweise erheblich überschritten.

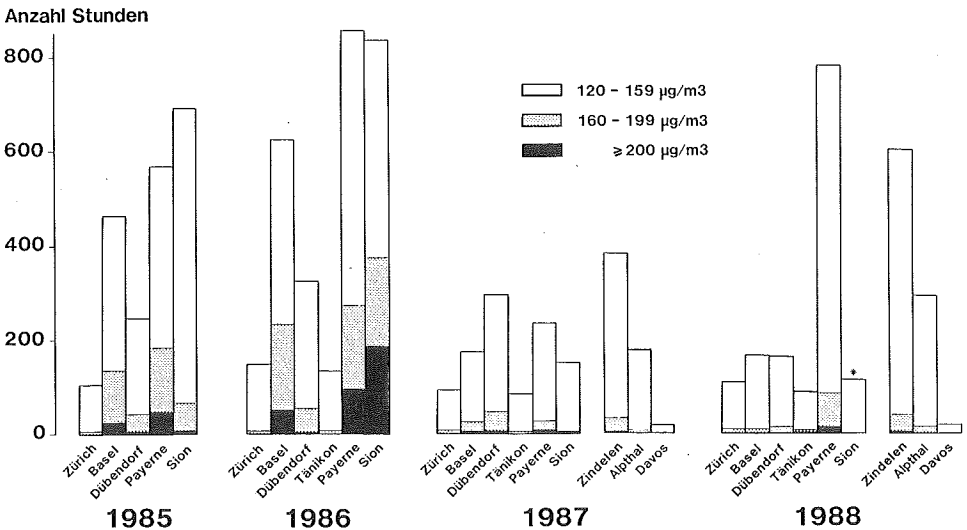


Bild 1 Anzahl Stundenmittelwerte über 120, 160 und 200 µg O₃/m³ an den NABEL-Messstationen Zürich, Basel, Dübendorf, Tänikon, Payerne, Sion sowie an den NFP 14+-Waldstationen Zindelen, Alpthal und Davos für die Monate April bis September der Jahre 1985 bis 1988

*: unvollständige Messreihe

Seit 1985 werden im Rahmen des OXIDATE-Projektes der OECD an 34 ländlichen europäischen Messstationen nördlich der Alpen Ozondaten erhoben. Die in der Schweiz in den Jahren 1985 und 1986 aufgetretenen Ozonspitzenbelastungen gehören zu den höchsten innerhalb des untersuchten Raumes. Von Nordwesten nach Südosten, gegen den Alpenraum hin, war ein deutlicher Anstieg der Ozonkonzentrationen festzustellen. Dieser Gradient dürfte teilweise dadurch zu erklären sein, dass Topographie und Strahlungsbedingungen im Alpenraum die photochemische Umwandlung der Primärschadstoffe begünstigen (vgl. 2).

4 Wirkungen von Ozon

Hohe Oxidantienkonzentrationen verursachen nicht nur Schäden an Pflanzen und bestimmten Materialien, sondern gefährden auch die Gesundheit von Mensch und Tier.

Erste Beobachtungen über Auswirkungen von Ozon und andern Photooxidantien auf die Vegetation stammen aus den 40er Jahren, als in der näheren und weiteren Umgebung von Los Angeles charakteristische Schäden an Kulturen als Oxidantienbeschädigungen erkannt wurden. Mittlerweile wird Ozon nicht nur in den Vereinigten Staaten als wichtigster pflanzentoxischer Luftschadstoff betrachtet, sondern aufgrund der weltweit zunehmenden Konzentrationen auch in Europa als bedeutender Luftschadstoff beurteilt.

Pflanzen reagieren besonders empfindlich auf Ozon und Oxidantien. In Abhängigkeit der Konzentration, der Expositionsdauer, des Expositionsregimes, des Resistenzgrades der Pflanze und der durch Klima, Boden sowie biotische Interferenzen gegebenen Umwelt kommt es an Einzelepflanzen zu latenten, chronischen oder akuten Schädigungen.

Bei den akuten und chronischen Schädigungen handelt es sich um sichtbare Symptome in Form von Nekrosen vornehmlich nach kurzer Einwirkung hoher Konzentrationen, oder Chlorosen vornehmlich nach längerer Einwirkung niedriger Konzentrationen. Die latenten Schädigungen sind als äusserlich nicht feststellbare, unsichtbare Wirkungen im physiologischen und bioche-

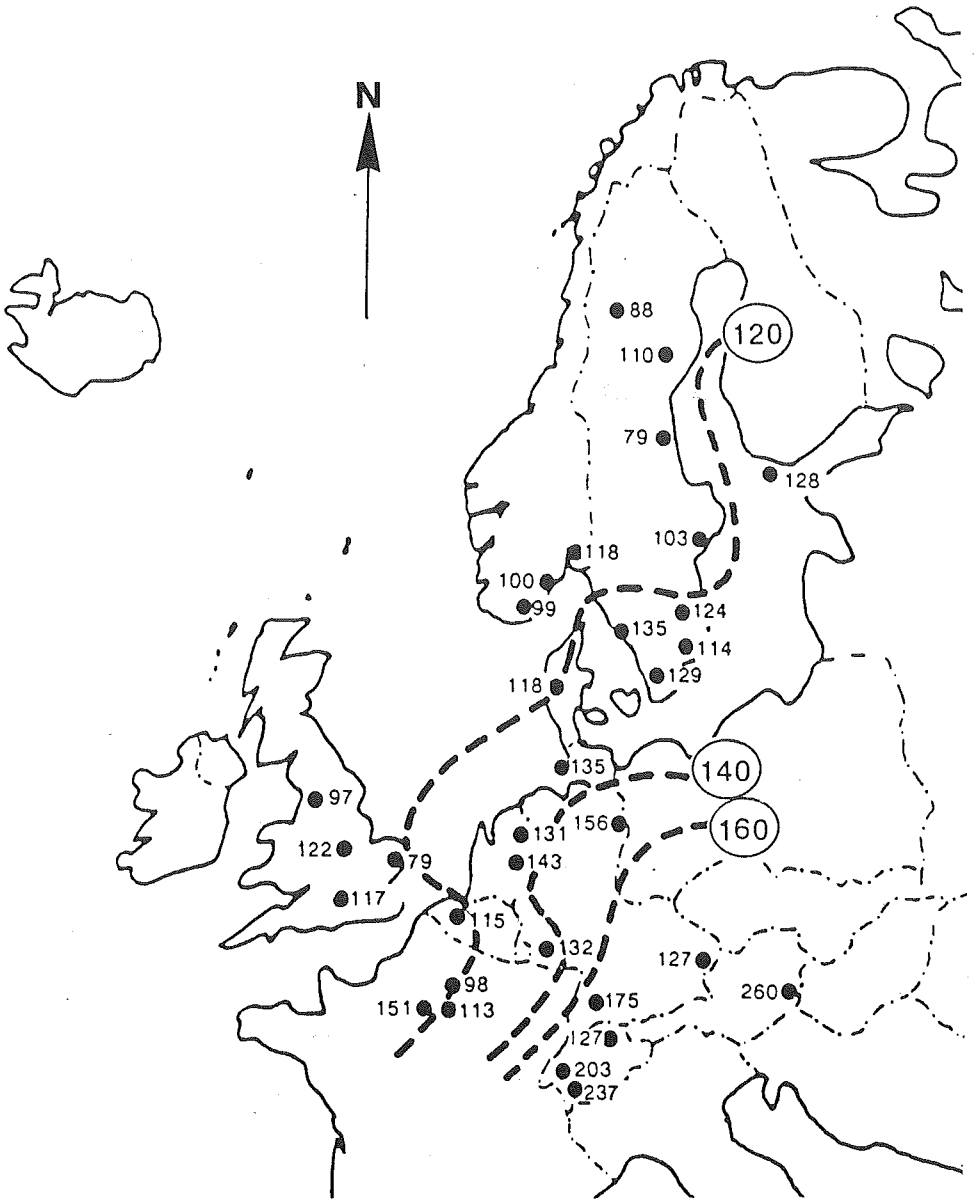


Bild 2 98%-Werte aller Ozon-Stundenmittelwerte in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ von April–September 1986 an den Messstationen des OXIDATE-Projekts der OECD sowie geschätzte Konzentrations-Isoplethen.

mischen Bereich definiert, die mit Wachstums- und Ertragsminderungen, gestörten Symbiosen, veränderter Anfälligkeit gegenüber pilzlichen Krankheitserregern und tierischen Schädlingen, verminderter Resistenz gegenüber Trockenheit und Frost oder einer vorzeitigen Seneszenz verbunden sein können.

Setzt man die in den vergangenen Jahren in der Schweiz gemessenen Ozonkonzentrationen in eine aus einer Vielzahl von experimentellen Befunden hervorgegangene Ozon-Dosis-Wirkungskurve allein nur für die im allgemeinen eher als resistenter geltenden Forstgehölze ein, so lässt sich erkennen, dass in der Schweiz heute Ozonkonzentrationen erreicht werden, die als phyto-wirksam, zumindest im Sinne latenter Schädigungen, bezeichnet werden müssen.

Bei den landwirtschaftlichen Kulturpflanzen stehen vor allem durch Direktwirkung von Luftschadstoffen, das heisst über die oberirdischen Pflanzenorgane verursachte Ertragseinbussen und Qualitätsveränderungen im Vordergrund. Die luftschadstoffbedingten Ertragsausfälle dürften in der Schweiz je nach Kultur, Region und Jahr in der Grössenordnung zwischen 5 und 15% liegen. Ozon wird diesbezüglich als der bedeutendste Luftschadstoff angesehen.

Bei Menschen und Tieren wirkt Ozon als typisches Reizgas. Wegen seiner geringen Wasserlöslichkeit dringt Ozon weit in die Peripherie der Lungen ein. Infolge der stark oxidierenden Eigenschaften kann die Einwirkung von Ozon zu Schädigungen in den Alveolen und Bronchiolen führen. Beim Labortier wurden in Abhängigkeit von der Konzentration und der Expositionsdauer biochemische Veränderungen, morphologische Veränderungen (Alveolarepithel, Flimmerepithel), Auslösung entzündlicher Prozesse, Schädigungen der für die Abwehr wichtigen Makrophagen, eine Beeinträchtigung der Infektionsresistenz sowie Funktionsstörungen der Lungen beobachtet. Letztere sind auch beim Menschen nachgewiesen worden, ebenso biochemische und morphologische Veränderungen, Entzündungsprozesse, Schleimhautreizeffekte und Geruchsbelästigung. Ergebnisse epidemiologischer Untersuchungen weisen darauf hin, dass das Gesamtoxidantienmisch des Photosmog aggressiver ist als Ozon allein. Gut dokumentiert ist die Herabsetzung der physischen Leistungsfähigkeit durch Photooxidantien. Bei den genannten Reaktionen wurden im allgemeinen beträchtliche Unterschiede zwischen den einzelnen untersuchten Personen beobachtet. Nicht nur Patienten mit chronischen Lungenkrankheiten, sondern auch Gesunde (Erwachsene und Kinder) können gegenüber Ozon empfindlich reagieren, insbesondere bei grossen körperlichen Anstrengungen.

Sowohl bezüglich der Auswirkungen auf die Vegetation als auch auf Menschen und Tiere handelt es sich beim Ozon um einen Luftschadstoff, bei welchem die Spanne zwischen der natürlichen Hintergrundbelastung und Konzentrationen, ab welchen unerwünschte Wirkungen auftreten, relativ gering ist. Es besteht deshalb praktisch kein Spielraum für den Einbau eines Sicherheitsfaktors.

Ozon gehört ebenso wie Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Lachgas (N_2O) und die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) zu den klimaaktiven Spurengasen. Angesichts der erheblichen Zunahme der Ozonkonzentrationen in der Troposphäre seit Ende des letzten Jahrhunderts (ca. 1–2% pro Jahr) und des weiterhin zunehmenden Trends ist ohne Gegenmassnahmen zu erwarten, dass troposphärisches Ozon im 21. Jahrhundert eines der wichtigeren klimaaktiven Spurengase (Treibhauseffekt) darstellen wird.

5 Möglichkeiten zur Verminderung der Ozonbelastung

Die hohen Ozon-Konzentrationen im Sommerhalbjahr innerhalb der planetaren Grenzschicht in den stark besiedelten und industrialisierten Gegenden der nördlichen Hemisphäre sowie die ungewohnte Zunahme der Ozonkonzentrationen in der freien Troposphäre verlangen nach einem geeigneten Vorgehen zur Reduktion der Photooxidantienbelastung.

Aufgrund der bekannten Mechanismen der Photooxidantienbildung steht dabei die Reduktion der anthropogenen Emissionen von Stickoxiden (NO_x), flüchtigen organischen Verbindungen (VOC, z.B. Benzin, Lösemittel), Kohlenmonoxid (CO) und Methan (CH_4) im Vordergrund. Dabei stellt sich die Frage, auf welche Art und in welchem Ausmass die Emissionen der Vorläuferschadstoffe zu reduzieren sind, um eine möglichst wirksame Oxidantienverminderung zu errei-

chen. Dass diese Frage nicht einfach zu beantworten ist, zeigen die bisher vorliegenden Ergebnisse von Berechnungen mit Photooxidantienmodellen, die je nach Ansatz die komplexen Vorgänge der Bildung, des Transports und des Abbaus von Oxidantien im lokalen, regionalen und überregional-grossräumigen Bereich innerhalb der planetaren Grenzschicht beschreiben und neuerdings auch die photochemischen Vorgänge in der freien Troposphäre miteinzubeziehen versuchen. Trotz der zahlreichen noch bestehenden Unsicherheiten in den Modellberechnungen kann festgestellt werden, dass aufgrund einer grossräumigen Betrachtungsweise (auch unter Einbezug der freien Troposphäre) die Emissionen aller Vorläuferschadstoffe (NO_x , VOC, CO, CH_4) vermindert werden müssen. Insbesondere sind erhebliche Emissionsreduktionen bei den Vorläuferschadstoffen NO_x und VOC in der Grössenordnung von 70–80% erforderlich (bezogen auf die Emissionsmengen der ersten Hälfte der 80er Jahre), um die Ozonbelastung grösserräumig auf das Niveau heutiger Luftqualitätsrichtlinien (z.B. WHO) vermindern zu können.

Ähnliche Schlussfolgerungen ergeben sich bei der Gegenüberstellung der historischen Entwicklung der Ozonkonzentrationen und jener der Emissionen der Vorläuferschadstoffe NO_x und VOC. In der Schweiz wurden im Jahre 1984 insgesamt rund 7mal mehr NO_x und 4mal mehr VOC emittiert als in den 50er Jahren. Aufgrund der historischen Ozondaten waren damals gegenüber heute eine etwa halb so grosse mittlere Ozonbelastung und ebenfalls deutlich geringere Spitzenbelastungen zu verzeichnen. Diese waren allerdings im Vergleich zu den vorhandenen Daten aus dem letzten Jahrhundert auch schon anthropogen erhöht und entsprachen demnach bereits nicht mehr den natürlicherweise zu erwartenden Belastungen. Eine Verminderung der Ozonkonzentrationen auf eine für den Menschen und die Umwelt erträgliche Belastung kann demzufolge auch aus dieser Sicht nur über die bereits erwähnte erhebliche Reduktion der Emissionen der Vorläuferschadstoffe erreicht werden.

Der Bundesrat hat im Luftreinhalte-Konzept vom 10. September 1986 seine lufthygienischen Ziele festgelegt. Die Schwefeldioxid-Emissionen sollen danach gesamtschweizerisch bis 1995 auf den Stand von 1950 vermindert werden, die Stickoxid- und Kohlenwasserstoff-Emissionen mindestens auf den Stand von 1960. Bei den Stickoxiden (NO_x) bedeutet dies gegenüber dem Jahre 1984 eine Reduktion um rund 66%, bei den Kohlenwasserstoffen bzw. flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) um 56%. Angesichts des erwähnten hohen Reduktionsbedarfs ist offensichtlich, dass die im Luftreinhalte-Konzept des Bundesrates festgelegten Ziele zur Verminderung der NO_x - und VOC-Emissionen in der Tat Minimalziele darstellen, an denen im Hinblick auf die dringend notwendige Lösung des Oxidantienproblems auf jeden Fall festgehalten werden muss.

Es ist klar, dass diese Ziele angesichts des hohen Reduktionsbedarfs bei den Emissionen der Vorläuferschadstoffe nicht kurzfristig, sondern nur mittelfristig erreicht werden können. *Eine zweckmässige Strategie zur Bekämpfung des Oxidantienproblems und insbesondere zur Verminderung der aus heutiger Sicht bedeutsamen chronischen Belastung besteht deshalb nicht aus vorübergehenden Sofortmassnahmen, sondern in erster Linie aus mittelfristigen, aber dauerhaft wirksamen Massnahmen zur Reduktion der Schadstoff-Emissionen.* Vorübergehende Sofortmassnahmen würden die für die Durchführung mittelfristiger Massnahmen (Massnahmenpläne der Kantone) dringend benötigten Kräfte absorbieren. Sie hätten zudem den Nachteil, dass sie in der Regel erst bei sehr hohen Belastungen ausgelöst werden, die beim Ozon oft erst gegen das Ende ausgeprägter Sommersmog-Episoden auftreten. Solche Sofortmassnahmen sind daher bezüglich der Beeinflussung der während einer Episode aufgetretenen Gesamtbelastung (integrale Dosis) eher von geringem Wert und deshalb fragwürdig.

Bei der Lösung des Oxidantienproblems kommt also dem *Vollzug der Luftreinhalte-Verordnung* sowie dem *Erreichen der Ziele des bundesrätlichen Luftreinhalte-Konzepts* eine herausragende Bedeutung zu. Die Kräfte sind vorrangig darauf zu konzentrieren.

Notwendig ist dazu in erster Linie eine enge und konstruktive Zusammenarbeit zwischen Bund, Kantonen, Städten und Gemeinden. Das Minimal-Ziel «Stand 1960» kann bis 1995 offensichtlich nur dann erreicht werden, wenn es nicht nur auf Bundesebene, sondern auch auf Kantons-, Stadt- und Gemeindeebene zum erklärten Ziel der Luftreinhaltepolitik wird.

Das Schwergewicht ist dabei auf Massnahmen in den Siedlungsgebieten, bei industriellen und gewerblichen VOC-Emittenten und beim motorisierten Strassenverkehr zu legen. Ein Vergleich der mittleren flächenbezogenen Emissionen für das Jahr 1984 hat nämlich gezeigt, dass sie im schwei-

zerischen Siedlungsgebiet je nach Luftschadstoff rund 20- bis 350mal grösser sind als diejenigen in nicht besiedelten, vegetationsbedeckten Gebieten. Die flächenbezogenen Emissionen spielen insofern eine wichtige Rolle, als sie für die Entstehung der lokalen Schadstoff-Konzentrationen und damit für die Reaktivität der Atmosphäre im Hinblick auf die Bildung sekundärer Schadstoffe wie Ozon von entscheidender Bedeutung sind.

Die Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG hat in ihrem kürzlich veröffentlichten 2. Teilbericht «Untersuchungen im Zusammenhang mit dem Luftreinhalte-Konzept des Bundesrates und zusätzlichen Massnahmen zur Reduktion der Luftverschmutzung» aufgezeigt, dass es noch erheblicher Anstrengungen seitens des Bundes und der Kantone bedarf, um die im Luftreinhalte-Konzept festgelegten Ziele zu erreichen, dass das Erreichen derselben aber durchaus im Bereich des Möglichen liegt. Eine Voraussetzung ist jedoch, dass alle im Luftreinhalte-Konzept selbst vorgeschlagenen Massnahmen sowie alle von der Elektrowatt in ihrem 2. Teilbericht geprüften zusätzlichen Bundesmassnahmen und die im Rahmen der kantonalen Massnahmenpläne nach Luftreinhalte-Verordnung vorgesehenen kantonalen Massnahmen vollumfänglich realisiert werden. Im weiteren ist gemäss Bericht der Elektrowatt schon jetzt erkennbar, dass die bei den NO_x und den VOC auch dann noch bestehende Lücke zwischen der erreichten Emissionsverminderung und den Zielen durch weitere zusätzliche Massnahmen geschlossen werden muss.

Deutlich geht aus den bisherigen Untersuchungen hervor, dass nicht eine einzelne und spektakuläre Massnahme zum Ziele führt, sondern dass nur eine Vielzahl von Einzelmassnahmen schliesslich die erforderliche Gesamtreduktion der Emissionen erbringen kann. Bei politischen Entscheiden im Zusammenhang mit Einzelmassnahmen ist diesem Umstand in Zukunft vermehrt Rechnung zu tragen.

Der Erfolg der emissionsmindernden Massnahmen ist einerseits durch regelmässige Emissionsbilanzierungen, andererseits durch Immissionsmessungen zu kontrollieren.

Wegen der hohen Quelledichte sowie der klimatisch und topographisch günstigen Voraussetzungen für die Bildung von Photooxidantien (Becken- und Tallagen, häufig geringe Windgeschwindigkeiten) treten in der Schweiz Ozonkonzentrationen auf, die gemäss den bisher vorliegenden Daten im internationalen Vergleich unter den europäischen Ländern nördlich der Alpen zu den höchsten gehörten. Es ist deshalb zu erwarten, dass nationale Anstrengungen zur Verminderung der Primärschadstoffemissionen eine spürbare Entlastung insbesondere bei den Ozon-Spitzenbelastungen bewirken werden, auch wenn die Emissionen der Vorläuferschadstoffe nicht im gesamten europäischen Raum im gleichen Mass reduziert werden.

Neben den nationalen Bemühungen zur Verbesserung der Luftqualität sind aber auch bedeutende *internationale Anstrengungen* erforderlich, um das Oxidantienproblem grösserräumig lösen zu können und insbesondere die Grundbelastung zu verringern. Die Schweiz hat das im Rahmen der ECE/UNO ausgearbeitete Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung im Jahre 1983 ratifiziert. Die bisherigen Anstrengungen im Rahmen dieses Übereinkommens betrafen vor allem den Ausstoss von Schwefeldioxid. Ein Protokoll zur Einfrierung der Stickoxidemissionen bis 1995 und zur quantitativ noch nicht spezifizierten Verminderung ab 1996 wurde im November 1988 von 35 Ländern unterzeichnet. In einer zusätzlichen Deklaration haben sich 12 Länder, darunter auch die Schweiz, verpflichtet, bis in 10 Jahren die Stickoxidemissionen, ausgehend von einem Bezugsjahr zwischen 1980 und 1985, um mindestens 30% zu reduzieren. Ebenso dringend wäre ein analoges Vorgehen und eine baldige Übereinkunft im Bereich der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen.