

Übersichtsbeiträge

Anthropogenes Ozon

– Photochemischer Smog

H. M. Wagner

Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Bundesgesundheitsamt, Corrensplatz 1, W-1000 Berlin 33

Zusammenfassung. Das in bodennahen Schichten über photochemische Prozesse erzeugte „anthropogene“ Ozon nimmt – wegen der steigenden Emission von Vorläuferverbindungen – in den Sommermonaten im Mittel von Jahr zu Jahr um ungefähr 1–2 % zu. Die in der Öffentlichkeit geführte Diskussion zeigt, daß erhebliche Verwirrung über das mit der Ozonbelastung verbundene gesundheitliche Risiko besteht. Der Beitrag will diese Unsicherheit ausräumen, indem er die Begriffe „Grenz-, Richt- und Anhaltswerte“ definiert und die Wirkung von Ozon auf den Menschen zusammenfassend darstellt.

Die derzeitige Ozonbelastung in Deutschland stellt zwar noch nicht eine Gefährdung der Gesundheit dar, wohl aber eine erhebliche Belästigung; unter ungünstigen Bedingungen (d.h. bei langer Exposition und gleichzeitiger körperlicher Belastung) können auch Beeinträchtigungen der Lungenfunktion und der physischen Leistungsfähigkeit eintreten.

1 Einleitung

In den letzten 2 Jahren beanspruchten der photochemische Smog, bekannt als „Sommersmog“ und dessen toxikologisch relevanteste Komponente, das Ozon, in erheblichem Maße das Interesse der Öffentlichkeit. Die Art der Behandlung in den Medien war geeignet, in der Bevölkerung irrationale Ängste zu wecken. Entsprechend emotional wurden die Diskussionen geführt und es entstand, besonders hinsichtlich möglicher Maßnahmen, erhebliche Verwirrung und Unsicherheit. Es wurden immer wieder Zahlen wie 90, 120, 180, 240 und 360 μg Ozon/ m^3 im Zusammenhang mit den Begriffen „Grenzwert, Richtwert, Orientierungswert, Warnschwelle und Wirkungsschwelle“ genannt. Außerdem wurde von „akuter Gefährdung“ gesprochen.

Diese Diskussion hätte bereits viel früher eintreten können: schon in den 70er Jahren waren in der Rheinebene (Köln, Bonn, Mannheim) punktuell hohe Ozonkonzentrationen gemessen worden. Zudem faßte 1983 ein Bericht des Umweltbundesamtes die Dimension des Problems in der ehemaligen Bundesrepublik Deutschland zusammen [1].

Die Diskussion um das anthropogene, **bodennahe Ozon** begann jedoch erst breiten Raum einzunehmen, als man die photochemischen Oxidantien als mögliche Mit-Verursacher der ausgedehnten Vegetationsschäden („Waldster-

ben“) begriff; gleichzeitig führte die Auseinandersetzung um das „Ozonloch“ zu einer Beschäftigung mit diesem Thema.

2 Entstehung und Vorkommen

Ozon kommt in **bodennahen Luftschichten** in sehr geringen Konzentrationen vor. Zurückliegende Messungen um die Jahrhundertwende berichten von Ozonwerten von 20 bis 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, während heute die „Hintergrundkonzentrationen“ bei etwa dem Doppelten, also 40 bis 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ liegen. Dieser Trend wird auch bestätigt, wenn man die Konzentrationsverläufe über kürzere Zeitabschnitte (z.B. von 1971 bis 1987) verfolgt (\rightarrow Abb. 1):

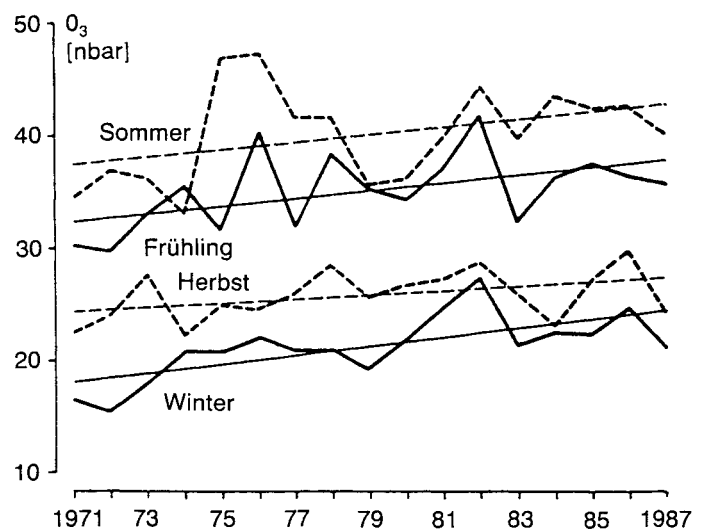


Abb. 1: Tendenzielle Zunahme der mittleren Ozonkonzentrationen, gemessen am Hohenpeißenberg von 1971–1987 [9]

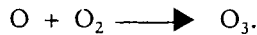
Insgesamt geht man von einer jährlichen Zunahme der mittleren Ozonkonzentration von 1–2 % aus.

Der photochemische Smog wird in der Atmosphäre aus Vorläuferverbindungen (Stickoxide und Kohlenwasserstoffe) gebildet. Hauptquelle dieser Reaktionskomponenten sind Kraftfahrzeuge, die petrochemische Industrie, Kraftwerke etc. Der entscheidende Vorgang ist

1. der von der Intensität des Sonnenlichts abhängige photolytische Zerfall von Stickstoffdioxid (NO₂) zu Stickstoffmonoxid und atomarem Sauerstoff:



2. die darauffolgende Reaktion, in der sich das hochreaktive Sauerstoffatom spontan mit molekularem O₂ zu O₃ verbindet:



Außer dem NO₂ als indirekte Ozon-Quelle sind auch noch reaktive Kohlenwasserstoffe bei der Entstehung photochemischen Smogs beteiligt. Sie wirken über Radikal-Ketten-Reaktionen katalytisch auf die Oxidantienbildung, sodaß die normalerweise langsam verlaufende Oxidation von primär emittiertem Stickstoffmonoxid (NO) beschleunigt abläuft und Peak-Ozonwerte noch während der Stunden höchster Sonneneinstrahlung (früher Nachmittag) entstehen.

Der charakteristische Tagesverlauf der Ozonkonzentration (→ Abb. 2) zeigt einen relativ steilen Anstieg in den Morgenstunden, der aber nicht in einem spitzen Peak, sondern in einem eher abgeflachten Konzentrationsplateau mündet; d.h. hohe Ozonbelastungen dauern über viele Stunden.

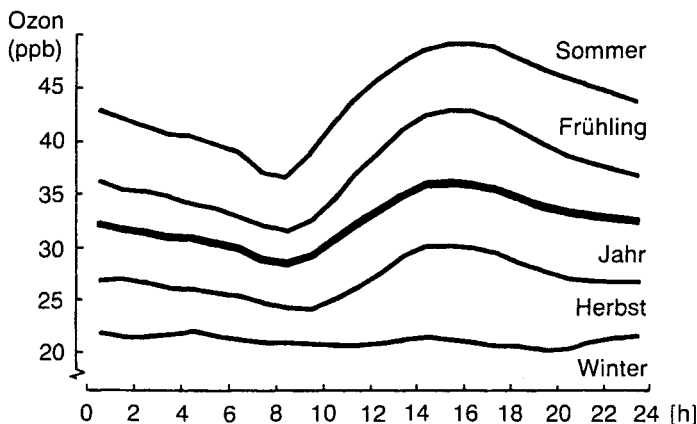


Abb. 2: Tagesverlauf der Ozonkonzentration, gemessen am Hohenpeißenberg (ca. 1 000 m Höhe) während verschiedener Jahreszeiten [10]

Von Norden nach Süden nehmen die Ozonkonzentrationen tendentiell zu. Regional gesehen finden wir zwar die höchsten „Vorläufer“-Werte in den Ballungszentren, nicht aber die höchsten Ozonwerte:

1. Dies ist überwiegend auf die zeitliche Verzögerung zurückzuführen, die für die photochemische Reaktion erforderlich ist.
2. Aber auch die Tatsache, daß die frisch emittierten Vorläufersubstanzen (NO, ungesättigte Kohlenwasserstoffe, Aldehyde etc.) in den Ballungsgebieten selbst primär als ausgesprochene „Ozonfänger“ (scavengers) reagieren, führt zu niedrigen Ozonwerten in den Ballungsräumen.
3. Außerdem kommt es durch stabile Inversionsschichten zur Entstehung regelrechter „Oxidantienpakete“, die re-

lativ „unverdünnt“ über viele hunderte von Kilometern transportiert werden können, wobei ständig weiter Ozon produziert wird.

Abhängig von der meteorologischen Situation kommt es in der ehemaligen Bundesrepublik Deutschland jährlich an 10 bis 50 Tagen zu Überschreitungen des VDI-Richtwertes von 120 µg/m³. An einzelnen, besonders exponierten Stellen, z.B. in Ludwigshafen/Rhein, kann es an 40 Tagen zu Ozonkonzentrationen über 180 µg/m³ kommen [6].

3 Wirkung von Ozon auf den Menschen

Von den Komponenten des photochemischen Smogs ist, gesundheitsbezogen, das Ozon der problematischste Stoff. Nicht nur stellt es mengenmäßig mit etwa 90 % den Hauptanteil der Oxidantien dar, es ist wegen seiner extremen Reaktivität auch das **toxikologisch** relevanteste Agens. Es gibt zwar noch viele Reizstoffe in dem photochemischen Oxidantien-Komplex – so wird z.B. die starke Augenreizwirkung des Smogs nicht durch das Ozon bewirkt, sondern durch Stoffe wie Peroxiacetylnitrat (PAN), Peroxibenzoylnitrat (PBN), Acrolein, Formaldehyd etc. –, doch treten sie insgesamt in ihrer Bedeutung hinter der des Ozons zurück. Es gibt einen weiteren Grund, weshalb man sich auf das Ozon konzentriert: es ist gut nachweisbar und somit als analytische „Leitsubstanz“ für die photochemische Smogbelastung geeignet.

Die **biologische Wirkung** des Ozons wird durch seine extreme Reaktionsbereitschaft geprägt: Anders als Systemgifte (wie Kohlenmonoxid), die überwiegend erst an bestimmten Systemen im Organismus wirken (z.B. Bindung von CO an Hämoglobin), entfaltet es nach Inhalation seine Wirkung fast ausschließlich am Auftreffort selbst, d.h. am Gewebe des Atemtraktes. Durch seine geringe Wasserlöslichkeit wird es in viel geringerem Maße als beispielsweise Schwefeldioxid in den oberen Atemwegen zurückgehalten; d.h., daß Ozon vermehrt bis in die Lungenperipherie dringt und hier auf Gewebe trifft, das nicht durch eine Schleimschicht geschützt ist. Die geringe Wasserlöslichkeit ist im übrigen der Grund für die relativ schwache Reizwirkung von O₃ auf die Konjunktiva.

Im folgenden sind die Wirkungen von Ozon auf den Menschen (und das Versuchstier) aufgeführt; dabei sind die niedrigsten Konzentrationen, bei denen die Wirkungen beobachtet wurden, angegeben:

- subjektive **Befindlichkeitsstörungen** wie Tränenreiz (verursacht durch Begleitstoffe des Ozons), Reizung der Atemwege, Kopfschmerz und Atembeschwerden ab 200 µg/m³;
- Veränderung von **Lungenfunktionsparametern** (z.B. Abnahme des forcierten Ausatemvolumens, Zunahme des Widerstandes in den Atemwegen) bei Schulkindern und Erwachsenen ab 160–300 µg/m³ und in klinischen Expositionsversuchen mit freiwilligen Probanden ab 160 µg/m³ bei 6,6stündiger bzw. ab 240 µg/m³ bei 1- bis 3stündiger Exposition mit intermittierender körperlicher Belastung;

- Reduzierung der physischen Leistungsfähigkeit ab $240 - 740 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- entzündliche Reaktionen des Gewebes ab $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bei 6,6stündiger Exposition mit intermittierender körperlicher Belastung;
- Zunahme der Häufigkeit von Asthmaanfällen ($240 - 300 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Zu beachten ist, daß die bei diesen niedrigen Schwellenwerten beobachteten Wirkungen am Menschen nur nach mehrstündigen Expositionen bei gleichzeitiger körperlicher Belastung auftraten!

Es stellt sich die Frage, ob die *Höhe der Konzentrationen* oder die *Dosis* der entscheidende Faktor für die Wirkung ist. Neuere Befunde scheinen darauf hinzuweisen, daß die effektive „Gewebstdosis“ („tissue dose“) der relevantere Expositionsparameter ist. Somit spielt neben der Konzentration auch *Expositionsdauer* und *Größe des Atemminutenvolumens* (körperliche Belastung) eine entscheidende Rolle.

Die Frage nach *chronischen Wirkungen* kann anhand neuer Studien [5] dahingehend beantwortet werden, daß bei den extremen Expositionsverhältnissen, wie sie in Los Angeles herrschen (an ca. 70 Tagen im Jahr Werte über $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$), sich nach mehrjährigem Aufenthalt in der Region geringgradige, aber persistente und z.T. vermutlich irreversible Veränderung der Lungenfunktion entwickeln können; außerdem kommt es zu einer statistisch nachweisbaren Zunahme der Häufigkeit chronisch obstruktiver Lungenerkrankungen (chronische Bronchitis). Hierbei spielt jedoch, wie die Autoren berichten, Ozon mit großer Wahrscheinlichkeit nur als *Teilfaktor* neben der Wirkung der erheblichen Schwebstaubbelastung in diesen Gebieten eine Rolle.

Die *Risikogruppen* für Ozon sind, anders als im Fall des „Winter Smog“, wo wir wohldefinierte Risikokollektive (Asthmatiker, chronische Bronchitiker, Herz/Kreislaufkranke) haben, sehr viel schwerer zu charakterisieren:

Die Reagibilität des Atemtraktes gegenüber Ozon ist bei Gesunden und Personen mit respiratorischen Erkrankungen ungefähr gleich verteilt. Man kann zwar davon ausgehen, daß ein Asthmatiker oder Bronchitiker, der zusätzlich noch „hyperreagibel“ gegenüber Ozon ist, besonders gefährdet ist; gleichzeitig ist die Wahrscheinlichkeit, daß er sich bei einer Außentemperatur von $26 - 32 \text{ }^\circ\text{C}$ (stabile Hochwetterlage im Sommer) einer anstrengenden körperlichen Belastung im Freien über mehrere Stunden aussetzt – und nur das führt zur Aufnahme einer relevanten Ozondosis –, äußerst gering.

Man muß folglich bei der *Definition von Risikokollektiven* gegenüber Ozon davon ausgehen, daß alle diejenigen Personen betroffen sind, die sich häufig längeren, anstrengenden körperlichen Tätigkeiten an der Außenluft an heißen Sommertagen aussetzen. Dies sind im wesentlichen Kinder und Erwachsene, die sich in Spiel oder Sport betätigen. Hierzu gehören auch Personen, die eine mehrstündige, mit körperlicher Anstrengung verbundenen beruflichen Tätigkeit im Freien ausüben.

4 Maßnahmen

Grenzwerte

Grenzwerte für Luftschadstoffe sind **rechtsverbindliche Normen**. Wenn sie überschritten werden, sind Maßnahmen zu ihrer Einhaltung erforderlich. Nach dieser Definition gehören hierzu die Immissions- und Emissionswerte der „Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft“ [3]. Die in ihr aufgelisteten Immissionswerte treffen Schadstoffe, die direkt aus genehmigungsbedürftigen Anlagen emittiert werden. Sie schließen somit *nur* Primäremissionen ein. Stoffe, die erst durch **Sekundärreaktionen** in der Atmosphäre entstehen, also „sekundäre“ Luftschadstoffe, wie das Ozon, das aus Vorläuferverbindungen (Primäremissionen: Stickoxide und Kohlenwasserstoffe) in der Atmosphäre entsteht, wurden bisher nicht berücksichtigt.

In den USA, dem Land mit der größten Erfahrung mit photochemischem Smog (ursprüngliche Bezeichnung: „Los Angeles Type-Smog“), gibt es 2 Typen von rechtsverbindlichen Grenzwerten für Ozon:

1. den lufthygienischen Grenzwert als langfristig einzuatmender *Zielwert* („Standard“). Er liegt bei $240 \mu\text{g}$ Ozon/ m^3 (1 h Mittelwert) und ist von medizinisch/biologischen Kriterien abgeleitet;
2. die für kurzfristige Belastungsspitzen vorgesehene *Warnstufen- und Schwellenwerte* (Smog-Regelung).

Das Instrument zur *langfristigen* und *überregionalen Reduzierung* der Luftbelastung durch die Vorläuferverbindungen, und somit auch durch Ozon, ist der „Standard“. Der Vorteil der Rechtsverbindlichkeit ist, daß Überschreitungshäufigkeiten registriert und gemeldet, Maßnahmen zur Einhaltung der Grenzwerte eingeleitet und Erfolg und Mißerfolg derselben angegeben und begründet werden müssen. Das ganze Problem wird so auf eine rationale, quantifizierbare Basis gestellt.

Sommersmog-Regelungen gibt es bereits seit über zwei Jahrzehnten in Kalifornien. Auch in Japan und Athen bestehen seit einigen Jahren solche Bestimmungen. Der Auslösewert für einen „Verkehrsstop“ für die Region um Los Angeles (South Coast Air Basin) liegt bei $700 - 1\,000 \mu\text{g}$ Ozon/ m^3 . Das sind Werte, wie sie in unseren Breiten bisher nie vorgekommen sind. Vergleichsweise gibt es in Deutschland und Österreich Initiativen, die bereits bei 120 bzw. $180 \mu\text{g}$ Ozon/ m^3 Verkehrssperrungen vornehmen wollen.

Sommersmog-Regelungen sind **Akutmaßnahmen** von ganz beschränkter Anwendungsmöglichkeit. Die damit eintretenden Schließungen von Schulen, öffentlichen Gebäuden, Einkaufszentren und Betrieben von mehr als 100 Beschäftigten und Stilllegung des Lieferverkehrs sind derart einschneidende Maßnahmen, daß sie sich nur durch einen deutlichen Erfolg in der Abwendung akuter Gesundheitsbeeinträchtigungen rechtfertigen lassen. In den meisten Fällen fehlt in Deutschland die Voraussetzung hierzu:

1. die Konzentrationen hier sind im allgemeinen sehr viel niedriger und
2. Reduzierungen der Ozonkonzentrationen sind nur dort

zu erwarten, wo eine Kessel- bzw. Bassinlage (wie in Los Angeles, Athen oder in Fluß- und Gebirgstälern) vorliegt, die einen weitgehenden Verbleib der Emissionen am Ort bedingt.

Eine Sommersmog-Regelung ist kein Instrument für eine wirkungsvolle Luftreinhaltepolitik. Dies kann nur ein rechtsverbindlicher Grenzwert sein, mit allen zu seiner Einhaltung erforderlichen vielschichtigen und langfristig wirksamen Maßnahmen.

Richtwert

Die lufthygienischen Richtwerte der VDI-Kommission Reinhaltung der Luft sind rein medizinisch-biologisch abgeleitete Werte, die als *wünschenswerte Obergrenze* der Belastung aus präventiv-medizinischer Sicht anzusehen sind [8]. Sie berücksichtigen auch Risikokollektive in der Allgemeinbevölkerung und sind mit einem Sicherheitsfaktor versehen. Somit bedeutet eine geringfügige Überschreitung noch keineswegs ein gesundheitliches Risiko [2, 7].

Der von der VDI-Kommission festgesetzte MIK-Wert¹ liegt bei 120 µg/m³ und ist bezogen auf eine halbe Stunde. Um dem zuletzt Gesagten Rechnung zu tragen, wurde zusätzlich noch eine weitere Formulierung hinzugefügt: Im Falle von Überschreitungen bis zu 400 µg/m³ für bis zu 1/2 h ist nicht mit einem nennenswerten Risiko zu rechnen, wenn diese nicht häufiger als einmal pro Woche vorkommen.

Wegen des oben erwähnten Plateau-artigen Tagesverlaufs der Ozonkonzentrationen (→ Abb. 2) ist jedoch eine solche kurzfristige Belastung kaum zu erwarten. Wenn eine Sommersmog-Episode herrscht, werden die hohen Immissionswerte über mehrere Stunden anhalten und zwar auf einem Niveau, das ungefähr 80 % der maximalen Halbstundenwerte entspricht. Dies ist der Grund für die Ableitung von 8 h-Grenz- oder Richtwerten, wie sie von der WHO und in den USA und Niederlanden vorgeschlagen bzw. diskutiert werden. In der Tabelle sind einige Grenz-, Richt- und Warnwerte zusammengefaßt und kommentiert, wobei ein „Standard“ einen rechtsverbindlichen Grenzwert darstellt.

Anhaltswert

Als Anhaltswerte kann man Werte verstehen, die der Bevölkerung als *Orientierungshilfe* dienen sollen. Sie können beispielsweise mit Verhaltensempfehlungen gekoppelt sein. Sie können auch direkte Warnfunktionen erfüllen („Warnwerte“), wenn dies in Anbetracht drohender gesundheitlicher Risiken angebracht ist.

Während den *Grenzwerten* konkrete Entscheidungskriterien zugrundeliegen, auch wenn die Festlegung von pragmatischen Gesichtspunkten mitbestimmt wird, und die *Richtwerte* sich im allgemeinen direkt von harten medizinisch-biologischen Daten ableiten, haben die *An-*

Tabelle: Übersicht von Grenzwerten und Beurteilungsmaßstäben anderer Länder und Institutionen [aus 6]

Land	Wert (g/m ³)	Zeitbezug/Bemerkungen
WHO (1987)	150 – 200	1 h
WHO	100 – 120	8 h
Niederlande	240	1 h Grenzwert, darf an 5 Tagen/a überschritten werden
Niederlande (1989)	Empfehlung:	Senkung auf 160 µg/m ³
Japan	120	1 h Grenzwert
Japan	240	1 h Warnschwelle für Smogalarm (nur Warnung)
Kanada	160	1 h max. akzeptable Konz.
USA	240	1 h Grenzwert, darf an 1 Tag/a überschritten werden
Los Angeles	400	1 h Warnschwelle für Smogalarm (nur Warnung)
Schweden	120	1 h max. eine Überschreitung/Monat
Dänemark	240	1 h
Belgien	240	1 h
England	160	1 h
Schweiz	120	1 h Grenzwert, darf an 1 Tag/a überschritten werden
Italien	200	1 h
MIK-Wert	120	1/2 h VDI 2310, kurzfristige Überschreitung möglich
MAK-Wert	200	8 h-Mittel

haltswerte die am wenigsten konkrete Basis. Sie leiten sich aus der *Fürsorgepflicht des Umwelthygienikers* gegenüber der Bevölkerung ab. Solche als Orientierungswerte für die Bevölkerung gedachten Zahlen suggerieren eine Wirkungs- oder Gefahren-Schwelle, für die es aber in vielen Fällen keine schlüssige wissenschaftliche Basis gibt.

Im allgemeinen kann der Laie, der über die Medien mit Expositionswerten aus seiner Umwelt konfrontiert wird, diese Konzentrationsangaben nicht richtig einordnen. Je nach Persönlichkeitsstruktur, Bildungsgrad und kultureller Vorpprägung können die verschiedensten Reaktionen ausgelöst werden. Die problematischste ist sicher die Auslösung akuter Bedrohungsängste bei völlig unbedenklichen Expositionssituationen. Bei einem Teil derart betroffener Personen kann es dann zur Ausprägung von Symptomen im Sinne des von KOFLER [4] geprägten Begriffes „Toxikopie“ kommen; d.h., diese Individuen verspüren bzw. zeigen durch ihr subjektives „Giftbedrohungsempfinden“ die von ihnen „erwarteten“ Wirkungen.

1. Es besteht weitgehend Einigkeit, daß Konzentrationen zwischen 360 – 400 µg Ozon/m³ (bei entsprechend langer Exposition und besonders bei gleichzeitiger körperlich anstrengender Tätigkeit) zu länger anhaltenden gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen können – allerdings bedeutet dies noch *keine unmittelbare Gesundheitsgefahr*. Es ist also angebracht, in diesem Konzentrationsbereich eine „Warnschwelle“ zu legen. Deshalb ist der *Anhaltswert* bei 360 µg/m³ unstrittig.

¹ Maximaler Immissions-Konzentrations-Wert

2. Anders verhält es sich mit dem Wert von $180 \mu\text{g Ozon}/\text{m}^3$, auf den sich im Juli '90 die Umweltminister, d.h. Bund- und Länderbehörden, geeinigt haben. Wenn diese Konzentration überschritten wird, werden **Verhaltensempfehlungen** an die Bevölkerung gegeben in dem Sinne, daß „Personen, die (erfahrungsgemäß) besonders empfindlich gegenüber Ozon (oder Luftschadstoffen) reagieren, sich nicht einer langandauernden körperlich anstrengenden Tätigkeit im Freien am Nachmittag“ unterwerfen sollten.

Die Festlegung auf $180 \mu\text{g}$ bedeutet, daß u.U. an über 40 Tagen (z.B. in Ludwigshafen/Rhein), also an fast allen schönen, heißen Sommertagen, die von der Bevölkerung und z.T. von den Medien selbst als „Smogwarnung“ aufgefaßten Verhaltensempfehlungen über die Medien ausgegeben werden.

Die Erfahrung zeigt, daß der größte Teil der Bevölkerung und nicht nur die etwa 10 % der empfindlich reagierenden Individuen diese Information auf sich bezieht!

Diejenigen, die sich als „Betroffene“ fühlen, können Bedrohungsängste entwickeln. Ein erheblicher Teil reagiert im Sinne der von KOFLER geprägten „Toxikopie“; d.h. sie empfinden die Symptome, die sie aus den Medien als „ozontypisch“ erfahren haben: Augenreizung, Schluckbeschwerden, erschwerte Atmung, Schmerzen beim tiefen Einatmen, Kopfschmerz, Schläffheit, Kreislaufbeschwerden. Das Problem ist, daß sie diese Beschwerden schon bei einer Ozondosis entwickeln, die effektiv nicht ausreicht, um diese Symptome hervorzurufen. Die Betonung liegt auf *Dosis*², da ein Teil dieser Wirkungen bei $180 - 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nur bei mehrstündiger Exposition im Freien bei gleichzeitiger starker körperlicher Belastung auftritt, hierbei aber nicht subjektiv wahrgenommen werden kann. Lediglich mit hochempfindlichen Meßgeräten sind die geringgradigen Funktionseinbußen feststellbar. Tränenreiz und Schluckbeschwerden, die weniger stark von der Dosis abhängen, treten im allgemeinen ebenfalls noch nicht bei diesen Konzentrationen auf.

5 Schlußfolgerungen

Bei den in der (ehemaligen) Bundesrepublik z.Zt. herrschenden Ozonbelastungen während der Sommermonate besteht im allgemeinen *keine akute Gefährdung der Gesundheit*.

Es steht jedoch außer Zweifel, daß unter ungünstigen Umständen erhebliche Belästigungen (Reizung der Schleimhäute der Augen und oberen Atemwege) und Beeinträchtigung der Lungenfunktion auftreten können. Letztere erfolgt allerdings nur bei langem Aufenthalt im Freien bei sehr hohen Ozonkonzentrationen und gleichzeitiger anstrengender körperlicher Tätigkeit. Die Beeinträchtigungen – obwohl

subjektiv meist nicht wahrnehmbar – unter den genannten ungünstigen Bedingungen bei besonders empfindlichen Personen (ca. 10 % der Bevölkerung) liegen im Bereich zwischen 15 bis 20 %, d.h. deutlich über den von der U. S. Environmental Protection Agency (EPA) als noch tolerierbar angesehenen Werten.

Es scheint deshalb zwingend, ergänzend zu dem bisherigen Instrumentarium des *gebietsbezogenen Immissionsschutzes*, einen **Immissionswert für Ozon** festzulegen. Gleichzeitig muß das Problem international, im europäischen Rahmen, angegangen werden. Der überregionale, grenzüberschreitende Transport von „Oxidantien- und Vorläuferpaketen“ im Sommerhalbjahr würde andernfalls selbst umfassende und kostspielige nationale Bemühungen zur Emissionsverminderung zunichte machen.

Da es sich beim „anthropogenen“ Ozon um ein Folgeprodukt von weiträumig emittierten Vorläuferprodukten aus einer Vielzahl von Quellen handelt, bedeutet dies, daß eine Senkung der Vorläufer-Emissionen nur dann wirkungsvoll ist, wenn sie **überregional** durchgeführt wird. Begrenzte lokale Maßnahmen haben kaum Aussicht auf Erfolg. Nur dort, wo ganz spezifische orographische und meteorologische Situationen vorliegen (Los Angeles-Becken, Athen, eventuell Rheinebene, Tallage) und gleichzeitig die Emissionsbedingungen für eine photochemische Reaktion besonders günstig sind (petrochemische Industrie, hohe Kfz-Dichte), könnten umfassende Maßnahmen in begrenztem Umfang Erfolg haben.

6 Literatur

- [1] Umweltbundesamt: Luftqualitätskriterien für photochemische Oxidantien: Berichte 5/83, E. Schmidt Verlag 1983
- [2] VDI-Richtlinie 2310, Blatt 1 (Entwurf): Zielsetzung und Bedeutung der Richtlinien – Maximale Immissions-Werte (Juni 1986)
- [3] Technische Anleitung Luft: Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 27. 02. 1986. Gemeinsames Ministerialblatt 37, Jg. Nr. 7 (Bonn 28. 02. 1986)
- [4] KOFLER: Toxikopie und andere Mechanismen zur Bedrohungs-bewältigung. Sozialmedizinische Werkstattberichte Nr. 6, 3 – 13, August 1988
- [5] M. LIPPMANN: Health effects of ozone – a critical review. J. Air Poll. Contr. Assoc. 39, 672 – 695 (1989)
- [6] LAI (Länderausschuß für Immissionsschutz): Empfehlung zur bundeseinheitlichen Praxis bei erhöhten Ozonkonzentrationen/Min. f. Umwelt, Raumord. u. Landwirtsch. des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf 1989
- [7] H. M. WAGNER: Maximale Immissionswerte für Luftschadstoffe – Definition und Gesichtspunkte der Ableitung. Schr.reihe Verein WaBoLu 76, 117 – 125 (1988)
- [8] VDI-Richtlinie 2310, Blatt 15: Maximale Immission-Konzentrationen für Ozon (und photochemische Oxidantien). VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft, Bd. 1, April 1987
- [9] K. WEGE: Ozonbelastungen am Meteorologischen Observatorium Hohenpeißenberg in der Troposphäre. GSF-Bericht 17, 295 – 304 (1988)
- [10] W. ATTMANNSPACHER: Extrem hohe Konzentrationen natürlichen Ozons auf dem Hohenpeißenberg. VDI-Bericht 270, 71 – 74 (1977)

² Dosis: Konzentration + Expositionsdauer + körperliche Belastung