



Neue medizinische Erkenntnisse über die
gesundheitlichen Auswirkungen von
Sommermog

Berechnung der durch Sommermog verursachten
Todesfälle in der Bundesrepublik Deutschland

Dieter Teufel
Petra Bauer
Sabine Voigt
Thomas Wagner

UPI-Bericht Nr. 47
Juli 1999

Inhalt	Seite
Einführung.....	1
Tierversuche	3
Messungen am Menschen	4
Epidemiologische Untersuchungen unter realistischen Bedingungen.....	5
Mortalität	7
Akute Erkrankungen - Einlieferung von Patienten in Krankenhäuser.....	11
Risikogruppen	13
Immissionsbelastung der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland durch bodennahes Ozon.....	14
Berechnung der Todesfälle durch bodennahes Ozon.....	21
Grenzwerte für Ozon.....	24
Änderung des Meßverfahrens im Sommersmoggesetz	28
Zusammenfassung und Konsequenzen.....	29
Tabellenverzeichnis.....	31

Einführung

Sommer-Smog ist eine Mischung chemisch aggressiver Photooxidantien, von denen Ozon, die dreiatomige Form des Sauerstoffs, das wichtigste ist. Neben Ozon besteht Sommer-Smog aus Wasserstoffperoxid, Salpetersäure, Peroxyacetylnitrat und anderen Peroxynitrat.

Ozon ist chemisch eines der stärksten Oxidationsmittel. Nur elementares Fluor und atomarer Sauerstoff haben höhere Redoxpotentiale. Aufgrund dieser Eigenschaft ist die Toxizität von Ozon vielseitig. Primär betroffen sind beim Menschen das Atemwegsystem und die Augenschleimhäute. Ozon greift u.a. die Zellmembranen an und führt zu einer

Beschleunigung des Alterungsprozesses der Zellen. Über 90 % des eingeatmeten Ozons verbleibt in den Atmungsorganen, weniger als 10 % wird wieder ausgeatmet.¹ Als Folgen einer Ozonbelastung treten u.a. folgende Symptome auf: Beeinträchtigung der Lungenfunktionen, Verringerung des Atemvolumens, Müdigkeit, Beeinträchtigung der physischen Leistungsfähigkeit, Husten, Engegefühl der Brust, Lungenschmerzen, Kopfschmerzen, Nasen-, Rachen- und Augenreizungen, Atemnot, morphologische und biochemische Veränderungen am Lungen- und Flimmerepithel, Auslösung entzündlicher Prozesse, Fibrosierung (Vernarbungen) in der Lunge, Schädigung der für die Abwehr wichtigen Makrophagen, chronisch obstruktive Atemwegserkrankungen, Begünstigung von Allergien und Asthma. Als Folge dieser gesundheitlichen Schäden können durch erhöhte Ozonkonzentrationen Todesfälle ausgelöst werden.

Eine Vielzahl von Untersuchungen (zusammengefaßt z.B. in Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, 1989², VDI-Verein Deutscher Ingenieure, 1987³, McDonnell, Environmental Protection Agency, 1991⁴ und Ostro, 1993⁵) zeigt, daß die gesundheitlichen Beeinträchtigungen beim Menschen ab etwa 90 bis 120 µg Ozon/m³ im Stundenmittel beginnen. Sie nehmen mit der Konzentration und der Atemrate (körperliche Aktivität) zu. Beeinträchtigungen der Lungenfunktionen zeigen sich bei körperlichen Anstrengungen bereits bei Ozonkonzentrationen ab 80 µg/m³.⁶

Ein ausführlicher Review der medizinischen Wirkungen von Ozon kommt zum Ergebnis, daß der zur Zeit gültige Ozongrenzwert der USA (National Air Quality Standard von 240 µg/m³) zu hoch ist und ungeeignet ist, um die Bevölkerung vor den chronischen

-
- ¹ Gerrity, T.R. et al., Extrathoratic and intrathoratic removal of ozone in tidal-breathing humans, *Journal of applied Physiology* 65, p. 393-400, 1988
 - ² Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Ozon in der Schweiz, Schriftreihe "Umweltschutz" Nr. 101, Bern, Februar 1989
 - ³ Verein Deutscher Ingenieure, VDI, Maximale Immissionskonzentrationen für Ozon (und photochemische Oxidantien) zum Schutze des Menschen, VDI 2310, Blatt 15, 1987
 - ⁴ McDonnell, WF. et al, Environmental Protection Agency, Respiratory response of humans exposed to low levels of ozone, *Arch-Environ-Health*, 46(3), p145-50, May-Jun 1991
 - ⁵ Ostro, B. et al, Air Pollution and Respiratory Morbidity among Adults in Southern California, *Americ. Journal of Epidemiology*, Vol. 137, Nr. 7, April 1993, S. 691ff
 - ⁶ Brunekreef, B. et al, Hoek-G; Breugelmans-O; Leentvaar-M, Respiratory effects of low-level photochemical air pollution in amateur cyclists, Department of Epidemiology and Public Health, University of Wageningen, The Netherlands, *Am-J-Respir-Crit-Care-Med.* 1994 Oct; 150(4): 962-6

Auswirkungen von Ozon zu schützen.⁷ Bei empfindlichen Menschen kann der medizinische Schwellenwert auch unter 100 µg Ozon/m³ liegen, z.B.⁸

Schäden an der Vegetation beginnen ab Ozonkonzentrationen von 150 µg/m³ im Stundenmittel bzw. 60 µg/m³ im Tagesmittel.⁹

Aufgrund theoretischer Überlegungen (Bildung freier Sauerstoffradikale durch Ozon) und als Ergebnis von Tierexperimenten muß heute davon ausgegangen werden, daß Ozon kanzerogen und co-kanzerogen ist. Daneben schädigen Photooxidantien die Reinigungsmechanismen (Flimmerepithel, Makrophagen) des Bronchialsystems, wodurch die Verweildauer anderer kanzerogener Luftschadstoffe (z.B. Dieselrußpartikel, Aerosole mit polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen wie Benzpyren u.a.) erhöht wird und deren kanzerogene Wirkung verstärkt wird. Daneben zeigte sich in zahlreichen Mutagenitätstests, daß Ozon an verschiedenen Testsystemen genetische Schäden verursacht. (siehe z.B.¹⁰)

Tierversuche

Tierversuche sind zur Abschätzung der quantitativen Wirkung von Schadstoffen am Menschen kaum geeignet. Sie haben eine Reihe von Nachteilen, von denen die meisten in Richtung einer Unterschätzung des Risikos bei der Übertragung auf den Menschen führen:

So beträgt die Zeitdauer, denen die Versuchstiere einem Schadstoff im Experiment ausgesetzt sind, in der Regel nur einige Wochen bis Monate. Der Mensch hingegen ist dem Schadstoff in der Umwelt meist Jahre bis Jahrzehnte in unterschiedlichen Konzentrationen ausgesetzt.

Um zu eindeutigen Ergebnissen kommen zu können, wird im Tierversuch in den meisten Fällen nur ein Schadstoff, in seltenen Fällen die Kombination von zwei bis drei

⁷ Lippmann, M., Health effects of tropospheric ozone: review of recent research findings and their implications to ambient air quality standards, Nelson Institute of Environmental Medicine, New York University Medical Center, Tuxedo 10987, J-Expo-Anal-Environ-Epidemiol. 1993 Jan-Mar; 3(1): 103-29

⁸ Schwartz-Klapp, P., Das "Trockene Auge" und Ozon, Korrelation zwischen dem Beschwerdebild der Keratoconjunctivitis sicca mit Luftschadstoffen mit Schwerpunkt Ozon. Schwartz-Klapp, P., Mozartstr. 12, 63688 Gedern-Wenings, Tel. 06045 1763, Dezember 1993

⁹ Verein Deutscher Ingenieure, VDI, Maximale Immissionskonzentrationen für Ozon (und photochemische Oxidantien) zum Schutze der Vegetation, VDI 2310, Blatt 6, 1987

¹⁰ Victorin-K, Review of the genotoxicity of Ozone, Institute of Environmental Medicine, Karolinska Institutet, Stockholm, Sweden, Mutat-Res. 1992 Sep; 277(3): 221-38

Schadstoffen untersucht. Auch dies ist eine völlig andere Situation als die Schadstoffbelastung, der der Mensch in der heutigen Umwelt ausgesetzt ist: Der Mensch leidet heute unter der Einwirkung von jeweils Dutzenden von Schadstoffen in der Atemluft, der Nahrung und im Trinkwasser, oft kombiniert mit Schadstoffen aus Arzneimitteln, Genußmitteln, Textilien, Kunststoffen o.ä.. Kombinationswirkungen von mehreren Schadstoffen werden sowohl in Tierexperimenten als auch bei der Festlegung von Grenzwerten jedoch nicht berücksichtigt. Gesetzliche Grenzwerte gelten jeweils nur für den einzelnen Schadstoff in einer ansonsten schadstofffreien Umwelt.

Um mit einer nicht zu großen Zahl von Versuchstieren in der meist kurzen Versuchsdauer zu eindeutigen Ergebnissen kommen zu können, werden bei Tierversuchen meist hohe Konzentrationen eines Schadstoffs eingesetzt. Daraus wird häufig der falsche Schluß gezogen, unterhalb der getesteten Konzentrationen sei der untersuchte Schadstoff wirkungslos.

Seit längerer Zeit schon werden in Tierexperimenten genetisch einheitliche Versuchstierstämme eingesetzt. Dies bringt zwar den Vorteil besserer wissenschaftlicher Reproduzierbarkeit, klammert jedoch die hohe genetische Variabilität beim Menschen und eine genetisch verursachte besondere Empfindlichkeit einzelner Menschen gegenüber bestimmten Schadstoffen aus. Dasselbe gilt für die Tatsache, daß im Tierexperiment in aller Regel nur gesunde Versuchstiere eingesetzt werden, während die Schadstoffe der Umwelt beim Menschen auf eine Gesamtbevölkerung treffen, in der Gesunde genauso vertreten sind wie Kranke, Ältere, Gebrechliche, Säuglinge und Kleinkinder.

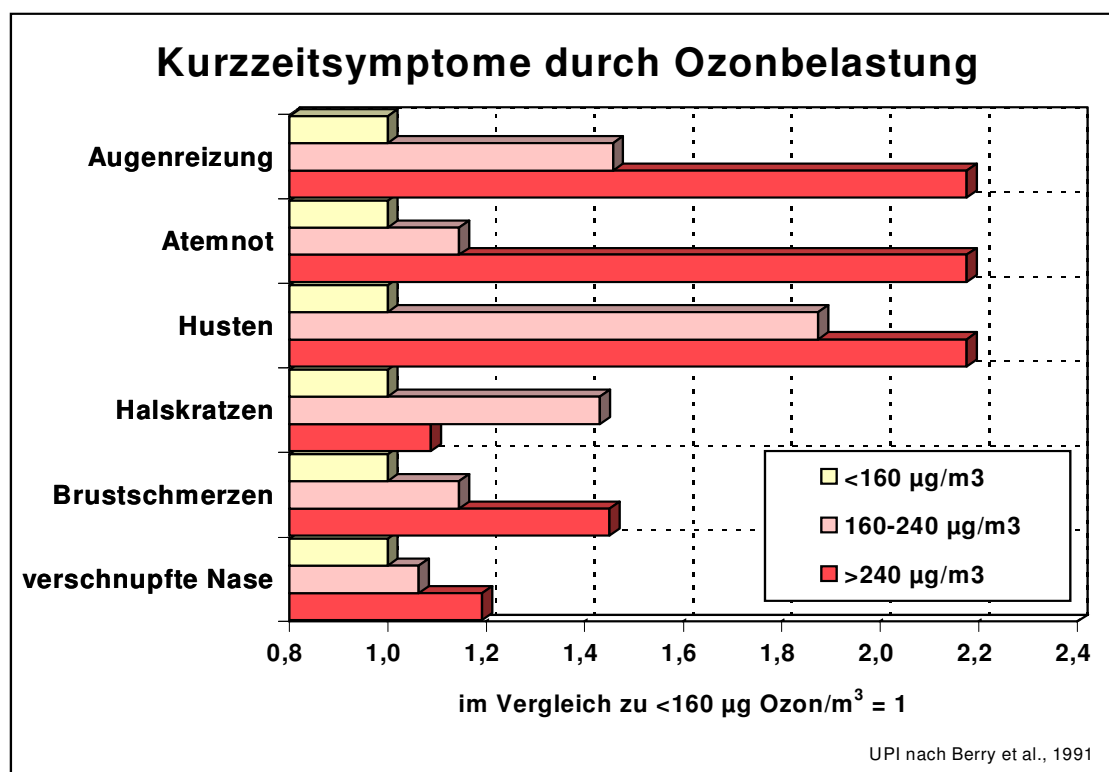
Messungen am Menschen

Ähnliche Probleme ergeben sich bei der Bewertung der Ergebnisse von Klimakammer-Experimenten mit Ozon. Diese wurden in den 70er und 80er Jahren in großer Zahl durchgeführt und ergaben Beeinträchtigungen der Lungenfunktion bei Menschen ab Ozonkonzentrationen von ca. 200-240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Auch diese Experimente werden in aller Regel nur mit einem Schadstoff (in diesem Fall Ozon) durchgeführt. Andere Photooxidantien, die in der Realität immer zusammen mit Ozon auftreten wie z.B. Wasserstoffperoxid, Salpetersäure, Peroxyacetylnitrat und andere Peroxynitrate bleiben ausgeklammert. Das zweite Problem ist, daß Klimakammer-Experimente mit gesunden jungen Erwachsenen durchgeführt werden (meist Studenten einer Hochschule), die kurze Zeit (Minuten bis Stunden) einer definierten Ozonkonzentration ausgesetzt werden. Die Übertragung der Ergebnisse von Klimakammer-Experimenten auf die reale Sommersmogsituation der Bevölkerung führt deshalb zu deutlichen Unterschätzungen des Risikos, da andere Photooxidantien außer Ozon genauso ausgeklammert werden wie

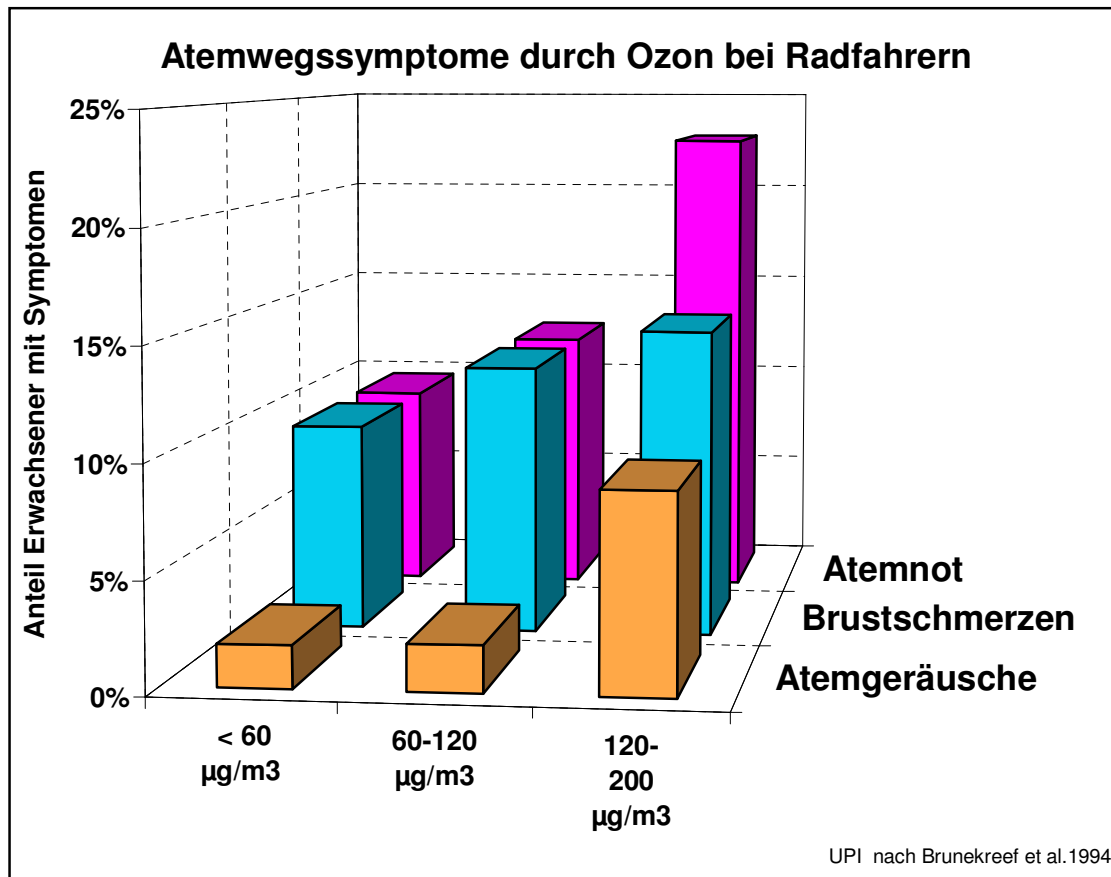
andere Schadstoffe und die große Varianz innerhalb einer Bevölkerung (vielfältige Vorbelastungen, Krankheiten, Altersstufen und genetische Variationen) außer Acht bleiben.

Epidemiologische Untersuchungen unter realistischen Bedingungen

Wesentlich besser als mit Tierversuchen oder Klimakammerexperimenten lassen sich durch epidemiologische Untersuchungen Aussagen über das Risiko beim Menschen treffen. Dabei wird versucht, die unter realen Umweltbedingungen beim Menschen auftretenden Gesundheitsschäden durch Umweltbelastungen oder andere Ursachen quantitativ zu ermitteln und den jeweiligen möglichen Ursachen zuzuordnen. Dabei werden Unterschiede in der zeitlichen oder räumlichen Verteilung von Gesundheitsschäden in Abhängigkeit von der zeitlichen oder räumlichen Verteilung von Ursachen berechnet. Dabei muß ein besonderes Augenmerk auf mögliche andere Ursachen der Gesundheitsschäden wie auf mögliche natürliche Ursachen gelegt werden. Um andere Ursachen möglichst auszuschließen, wird in der Regel eine Untersuchungsgruppe in einem Belastungsgebiet mit einer nach sozialen, beruflichen etc. Kriterien möglichst identischen Untersuchungsgruppe in einem Kontrollgebiet verglichen. Sofern dadurch mögliche andere Ursachen hinreichend herausgefiltert werden, stellen epidemiologische Untersuchungen eine sehr gute Basis zur Beurteilung des Risikos dar.



Kurzzeitige Gesundheitsschäden durch Ozon lassen sich am besten durch zeitlich differenzierte epidemiologische Untersuchungen ermitteln. Beispiele sind die Studie von Berry et al, 1991¹¹, in der Kurzzeitsymptome an Besuchern von Sommercamps in Abhängigkeit vom zeitlichen Verlauf der Ozonbelastung (Stundenmittel) untersucht wurden (siehe Grafik "Kurzzeitsymptome durch Ozonbelastung") und die Studie von Brunekreef et al., 1994¹², in der der Einfluß von Ozon auf die Atmungsorgane bei Fahrradfahrern untersucht wurden (siehe Grafik „Atemwegssymptome durch Ozon bei Radfahrern“).



Während sich bei früheren Klimakammer-Experimenten mit gesunden jungen Erwachsenen bei einer Kurzzeitexposition von wenigen Stunden unter reinem Ozon (also ohne andere Photooxidantien) in der Klimakammer Lungenfunktionsstörungen erst ab 200-220 µg Ozon/m³ einstellten, zeigten die in den letzten Jahren durchgeführten epidemiologischen

¹¹ Berry, M., Liroy, P., Gelperin, K., Buckler, G., Klotz, J.: Accumulated Exposure to Ozone and Measurement of Health Effects in Children and Counselors at two Summer Camps, Environmental Research 54, 135-150, 1991

¹² Brunekreef, B. et al, Hoek-G; Breugelmans-O; Leentvaar-M, Respiratory effects of low-level photochemical air pollution in amateur cyclists, Department of Epidemiology and Public Health, University of Wageningen, The Netherlands, Am-J-Respir-Crit-Care-Med. 1994 Oct; 150(4): 962-6

Untersuchungen unter realistischen Bedingungen (Sommersmog als Gemisch verschiedener Photooxidantien, Langzeitexposition, alle Bevölkerungsgruppen etc.) gesundheitliche Schäden durch Ozon schon ab Konzentrationen von $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Für einen Schwellenwert in einer Größenordnung von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$, wie er noch von der alten Bundesregierung im Sommersmoggesetz zugrunde gelegt wurde, ergaben sich bei epidemiologischen Untersuchungen keinerlei Hinweise.

In den meisten neueren Untersuchungen wurden die in einzelnen Städten Europas, der USA und Australiens in den letzten Jahren aufgetretenen Todesfälle, Einlieferungen von Patienten in Krankenhäusern oder Asthmaanfälle mit den verschiedenen Faktoren der Luftbelastung, des Klimas, der Jahreszeit u.a. korreliert. Dabei zeigte sich, daß unter allen Luftschadstoffen neben Partikel-Immissionen Ozon als Leitsubstanz für Photooxidantien die stärksten Auswirkungen auf Sterblichkeit und Atemwegserkrankungen hatte. Die wirksamen Konzentrationen von Ozon beginnen dabei im Konzentrationsbereich von $90\text{-}150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Damit liegen die medizinischen Schwellenwerte deutlich niedriger als bisher angenommen.

Im folgenden werden die epidemiologischen Studien zusammengefaßt:

Mortalität

Zmirou, D. et al, 1998¹³ werteten alle täglichen Todesfälle über einen Zeitraum von 4-10 Jahren in 10 europäischen Städten aus. Aus den Zahlen der täglichen Todesfälle wurden Faktoren wie Jahreszeit, Grippe-Epidemien und meteorologische Einflüsse herausgerechnet und die so korrigierten Werte mit den jeweiligen Konzentrationen verschiedener Luftschadstoffen korreliert. Ergebnisse: Ein Anstieg der Ozon-Konzentrationen um jeweils $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ führt zu einem statistisch signifikanten Anstieg der Sterblichkeit durch Herz-Kreislauf-Erkrankungen um 2% (Ozonkonzentration als 1-Stunden-Maximum oder 8-Stunden-Mittelwert gemessen) und der Sterblichkeit an Atemwegs-Erkrankungen um 4% (1-Stunden-Maximum) bzw. 5% (Ozon-Konzentration als 8-Stunden-Mittelwert). Ausgewertet wurden nur Tage mit einer maximalen Ozon-Konzentration unter $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Morgan, G. et al, 1998¹⁴ führten eine ähnliche Untersuchung für die australische Hauptstadt Sydney durch. Dabei ergab sich nach Herausrechnung anderer klimatischer und

¹³ Zmirou-D; Schwartz-J; Saez-M; Zanobetti-A; Wojtyniak-B; Touloumi-G; Spix-C; Ponce-de-Leon-A; Le-Moullec-Y; Bacharova-L; Schouten-J; Ponka-A; Katsouyanni-K, Time-series analysis of air pollution and cause-specific mortality, Department of Public Health, Grenoble University Medical School, La Tronche, France, Epidemiology 1998 Sep; 9(5): 495-503

jahreszeitlicher Faktoren, daß an Tagen mit maximalen 1-Stunden-Ozon-Konzentrationen im Bereich des 90% Perzentils ($82 \mu\text{g}/\text{m}^3$) die Gesamtsterblichkeit statistisch signifikant um 2,04% und die Sterblichkeit an Herz-Kreislauf-Erkrankungen um 2,52% höher lag als an Tagen mit einer maximalen 1-Stunden-Ozon-Konzentration im Bereich des 10% Perzentils ($26 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Die maximale Ozon-Konzentration, die im Untersuchungszeitraum in Sydney gemessen wurde, lag bei einem maximalen 1-Stunden-Mittel von $204 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Autoren betonen, daß die in ihrer Studie ermittelte Übersterblichkeit durch Ozon in Übereinstimmung steht mit Studien in Los-Angeles¹⁵, New York¹⁶ und London¹⁷.

In der Londoner Untersuchung analysierten Anderson, R., et al., 1996¹⁷ alle Todesfälle in London im Zeitraum von 1987 bis 1992. Nach Korrektur durch klimatische, saisonale und andere Faktoren (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck, Jahreszeit, Wochentage, Grippe-epidemien, Ferien etc.) zeigte sich, daß Ozonkonzentrationen im Bereich des 90 %-Perzentils im Vergleich zu Konzentrationen im Bereich des 10 %-Perzentils (Differenz $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im 8-h-Mittel) statistisch signifikant zu einem Anstieg der allgemeinen Sterblichkeit um 3,5 %, der Sterblichkeit an Herz-Kreislaufkrankheiten um 3,6 % und der Sterblichkeit an Atemwegserkrankungen um 5,6 % führten.

Hoek, G., et al, 1997¹⁸, führten eine entsprechende Untersuchung über den Zusammenhang von Luftschadstoffen und Sterblichkeit in Rotterdam durch. Auch in dieser Studie ergab sich, daß die in der Umwelt vorhandenen Konzentrationen von Partikeln und Ozon von allen Luftschadstoffen die täglichen Schwankungen der Sterblichkeit am stärksten beeinflussen. Nach Korrektur um saisonale und andere Faktoren ergab sich eine statistisch signifikante Erhöhung der gesamten täglichen Sterblichkeit um 6% pro Erhöhung der Ozon-Konzentration um $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im 8-h-Mittel. Ähnliche Ergebnisse zeigten sich bei einer Auswertung der Todesfälle in Amsterdam im Zeitraum 1986 bis 1992 durch Verheoff, A., et al., 1996¹⁹.

¹⁴ Morgan-G; Corbett-S; Wlodarczyk-J; Lewis-P, Air pollution and daily mortality in Sydney, Australia, 1989 through 1993., New South Wales Health Department, Gladesville, Australia. gmorg@doh.health.nsw.gov.au, Am-J-Public-Health. 1998 May; 88(5): 759-64

¹⁵ Kinney, P., et al., Association of daily mortality and Air pollution in Los Angeles County, Environ. Res. 1991; 54:99-120

¹⁶ Kinney, P., et al., Association between ozone and daily mortality in Los Angeles and New York City, Am Rev Respir Dis, 1992, 145(4, part 2):A95

¹⁷ Anderson, R. et al., Air pollution and daily mortality in London: 1987-92, BMJ, 1996, 312, p.665-669

¹⁸ Hoek-G; Schwartz-JD; Groot-B; Eilers-P, Effects of ambient particulate matter and Ozone on daily mortality in Rotterdam, Department of Environmental Sciences, Wageningen Agricultural University, The Netherlands, Arch-Environ-Health. 1997 Nov-Dec; 52(6): 455-63

¹⁹ Verheoff-AP; Hoek-G; Schwartz-J; van-Wijnen-JH, Air pollution and daily mortality in Amsterdam, Department of Environmental Medicine, Amsterdam Municipal Health Service, The Netherlands, Epidemiology. 1996 May; 7(3): 225-30

Auch bei einer Auswertung der Mortalität in der australischen Stadt Brisbane im Zeitraum von 1987 bis 1993 fanden Simpson, R. et al, 1997²⁰ einen eindeutigen Zusammenhang zwischen der Höhe der Ozon-Konzentration und der täglichen Sterblichkeit. Diese war nach Herausrechnung anderer Faktoren pro 20 µg Ozon/m³ als maximaler 1-Stunden-Wert um 1,6% bzw. als 8-Stunden-Mittelwert statistisch signifikant um 2,4% erhöht. Eine Erhöhung des 8-Stunden-Wertes um 100 µg Ozon/m³ führte zu einer Erhöhung der täglichen Sterblichkeit um 12%. Aus den Daten läßt sich ein **Schwellenwert** ableiten, ab dem Ozon-Konzentrationen zu einer Erhöhung der täglichen Sterblichkeit führen. Dieser Schwellenwert liegt im Bereich von 80-90 µg Ozon/m³ und damit nach Angaben der Autoren „deutlich niedriger als die Schwellenwerte, die traditionell für Ozon-Grenzwerte angenommen werden.“

Kelsall, J., et al., 1997²¹ untersuchten alle Todesfälle in Philadelphia, Pennsylvanien, im Zeitraum 1974 - 1988 und mögliche Zusammenhänge mit den kurzfristigen Änderungen verschiedener Luftschadstoffe (SO₂, NO₂, Partikel, CO und Ozon). Der stärkste Einfluß zeigte sich durch Ozon: Pro Erhöhung der Ozonbelastung um 40 µg Ozon/m³ als Tagesmittel lag die tägliche Mortalitätsrate statistisch signifikant um 2% höher als im Durchschnitt.

Diese 7 neuen Studien stehen in Übereinstimmung mit einer älteren Studie von Kinney, P. und Özkaynak, H., 1991²², in der alle Todesfälle im Distrikt Los Angeles County im Zeitraum von 1970-1979 ausgewertet wurden. Dabei ergab sich bereits 1991 ein deutlicher und statistisch signifikanter Einfluß von Ozon auf die Sterblichkeit. Nach Korrektur um Temperatur, saisonale Einflüsse und Luftfeuchtigkeit zeigte Ozon von allen untersuchten Schadstoffen (NO₂, CO, Kohlenwasserstoffe und Ozon) den stärksten Zusammenhang zu den kurzfristigen Schwankungen der Sterblichkeit.

Untersuchung	Erhöhung der allgemeinen Mortalität	kardio-vaskulären Mortalität	respiratorischen Mortalität	Quelle
4 europäische Städte		+2% / 50 µg/m ³ a)	+4% / 50 µg/m ³ a)	Zmirou, D. et al, 1998 ¹³

²⁰ Simpson-RW; Williams-G; Petroeschovsky-A; Morgan-G; Rutherford-S, Associations between outdoor air pollution and daily mortality in Brisbane, Australia, Faculty of Environmental Sciences, Griffith University, Nathan, Queensland, Australia, Arch-Environ-Health. 1997 Nov-Dec; 52(6): 442-54

²¹ Kelsall-JE; Samet-JM; Zeger-SL; Xu-J, Air pollution and mortality in Philadelphia, 1974-1988, Department of Epidemiology, Johns Hopkins University, Baltimore, MD 21205, USA, Am-J-Epidemiol. 1997 Nov 1; 146(9): 750-62

²² Kinney, P. and Özkaynak, H., Associations of daily mortality and air pollution in Los Angeles County, Dep. of Environm. Health, Harvard School of Medicine, Boston, Environmental Research, 54, 99-120, 1991

		+2% / 50 µg/m ³ b)	+5% / 50 µg/m ³ b)	
4 europäische Städte	+2,9% / 50 µg/m ³ a)			Touloumi et al., 1997 ²³
Sydney 1989-1993	+2,04% / 56 µg/m ³ a)			Morgan, G. et al, 1998 ¹⁴
London 1987-1992	+3,5% / 58 µg/m ³ b)	+3,6% / 58 µg/m ³ b)	+5,6% / 58 µg/m ³ b)	Anderson, R., et al., 1996 ¹⁷
Rotterdam 1983-1991	+6% / 67 µg/m ³ b)			Hoek, G., et al, 1997 ¹⁸
Amsterdam 1991	+5% / 100 µg/m ³ a)			Verheoff, A., et al., 1996 ¹⁹
Brisbane 1987- 1993	+1,6% / 20 µg/m ³ a)	+1,2% / 20 µg/m ³ a)	+1,2% / 20 µg/m ³ a)	Simpson, R. et al, 1997 ²⁰
	+12% / 100 µg/m ³ b)	+10% / 100 µg/m ³ b)	+19,5% / 100 µg/m ³ b)	
Philadelphia 1974-1988	+1,92% / 40,2 µg/m ³ c)	+1,13% / 40,2 µg/m ³ c)	+2,51% / 40,2 µg/m ³ c)	Kelsall, J., et al., 1997 ²¹

a)= Ozon maximales 1 h Mittel, b)= Ozon 8 h Mittel, c)= Ozon 24 h Mittel

Tabelle 1: Ergebnisse der epidemiologischen Studien zum Zusammenhang von Mortalität und Sommersmog

Aus diesen 7 epidemiologischen Untersuchungen lassen sich die in Tabelle 2 berechneten Risikofaktoren ermitteln.

:	Erhöhung der		
	allgemeinen Mortalität um	kardio-vaskulären Mortalität um	respiratorischen Mortalität um
pro 50 µg Ozon/m ³ als			
maximales 1 h Mittel	2,8%	2,5%	3,5%
8 h Mittel	4,0%	2,9%	5,7%

Tabelle 2: Risikofaktoren Erhöhung der Mortalität durch Sommersmog pro Erhöhung der Leitsubstanz Ozon um 50 µg Ozon/m³, Zusammenfassung von 7 epidemiologischen Untersuchungen

²³

Touloumi G; Katsouyanni K; Zmirou D; Schwartz J; Spix C; de Leon AP; Tobias A; Quennel P; Rabczenko D; Bacharova L; Bisanti L; Vonk JM; Ponka A; Department of Hygiene and Epidemiology, University of Athens Medical School, Greece: Short-term effects of ambient oxidant exposure on mortality: a combined analysis within the APHEA project. Air Pollution and Health: a European Approach.; Am J Epidemiol 1997 Jul 15;146(2):177-85

Akute Erkrankungen - Einlieferung von Patienten in Krankenhäuser

Burnett, R.T. et al, 1994³³, untersuchten die Einlieferung von Patienten in Krankenhäuser in Ontario im Zeitraum von 1983 bis 1988. Dabei ergaben sich deutliche und statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen der Höhe der Luftverschmutzung und der Einlieferungsrate von Patienten mit schweren Atemwegserkrankungen. Die stärkste statistisch signifikante Korrelation ergab sich zwischen Atemwegserkrankungen und der Ozonkonzentration am Tag der Einlieferung bis drei Tage vor der Einlieferung. Die Zusammenhänge zeigten sich in allen Altersgruppen, allerdings waren Kleinkinder etwa 4-mal so stark betroffen wie ältere Erwachsene. Wichtig ist, daß die Einlieferungsrate von Patienten mit Atemwegserkrankungen kontinuierlich mit den Spitzenkonzentrationen von Ozon anstieg (siehe Grafik. 1 ppb = 2 µg Ozon/m³). Insgesamt traten in dem Einzugsgebiet der Krankenhäuser in Ontario keine sehr hohen Spitzenkonzentrationen von Ozon auf. Statistisch signifikante gesundheitsschädigende Wirkungen zeigten sich bereits ab Konzentrationen von 100-120 µg Ozon/m³.

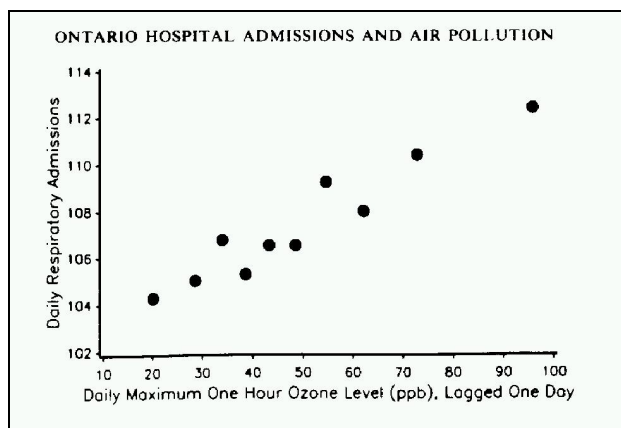


Abb: Zusammenhang zwischen der Zahl eingelieferter Patienten mit schweren Atemwegserkrankungen und der Ozonkonzentration ein Tag vor der Einlieferung, aus Burnett, R.T. et al, 1994

Dies steht in Übereinstimmung mit Untersuchungen an Kindern in Baden-Württemberg, bei denen sich ab Spitzenkonzentrationen von 180 µg Ozon/m³ Entzündungen der oberen Atemwege zeigten.²⁴

Spix, C. et al, 1998²⁵ untersuchten die Einlieferungsraten von Patienten mit Atemwegserkrankungen in Krankenhäuser in 5 europäischen Städten (London, Amsterdam, Rotterdam, Paris und Milano). Von allen untersuchten Luftschadstoffen ergab sich nur bei

²⁴ Frischer-TM; Kuehr-J; Pullwitt-A; Meinert-R; Forster-J; Studnicka-M; Koren-H, Ambient Ozone causes upper airways inflammation in children, University Children's Hospital, Vienna, Austria, Am-Rev-Respir-Dis. 1993 Oct; 148(4 Pt 1): 961

²⁵ Spix-C; Anderson-HR; Schwartz-J; Vigotti-MA; LeTertre-A; Vonk-JM; Touloumi-G; Balducci-F; Piekarski-T; Bacharova-L; Tobias-A; Ponka-A; Katsouyanni-K, Short-term effects of air pollution on hospital admissions of respiratory diseases in Europe: a quantitative summary of APHEA study results. Air Pollution and Health: a European Approach, GSF

Rußpartikeln und Ozon ein signifikanter Zusammenhang zwischen der täglichen Schadstoff-Konzentration und den in Krankenhäusern eingelieferten Notfallpatienten. Pro 50 µg Ozon/m³ Erhöhung im Ein-Stunden-Maximumwert erhöhten sich die Einlieferungsraten von Patienten mit akuten Atemwegssymptomen in Krankenhäuser statistisch signifikant um 1,9% (15-64 Jahre) und um 3,1% bei Patienten über 65 Jahre. Bezogen auf den 8-Stunden-Mittelwert lagen die Erhöhungen der Einlieferungsraten pro 50 µg Ozon/m³ bei 3,1 % (15-64 Jahre) und 3,8% (über 65 Jahre). Drei Tage nach einem Anstieg der Ozonkonzentrationen lagen die Fälle schwerer Atemwegserkrankungen pro 50 µg Ozon/m³ sogar um 7 % höher als normal. (Anderson, H., 1997 ²⁶)

Delfino, R. et al, 1998 ²⁷ und Delfino, R. et al, 1997 ²⁸ untersuchten die Einlieferungsraten von älteren Patienten mit akuten Atemwegserkrankungen in Krankenhäuser in Montreal. Dabei ergab sich nach Herausrechnen anderer relevanter Faktoren eine statistisch signifikante Erhöhung der Zahl der Notfallpatienten um 18,7% pro 88 µg Ozon/m³ im 1-Stunden-Maximum und eine Erhöhung um 21,8% pro 76 µg Ozon/m³ im 8-Stunden-Mittelwert. Diese gefundenen Werte stehen in Übereinstimmung mit zahlreichen anderen epidemiologischen Studien aus früheren Jahren (zusammengefaßt in UPI-Bericht 40, 1996).

Ähnliche Ergebnisse zeigten sich bei Untersuchungen der Patienten von Krankenhäusern in New York, Minneapolis, Birmingham und Detroit. (siehe Tabelle 3)

Krankenhäuser	Risiko- erhöhung	pro x µg O ₃ /m ³		Quelle
New York	10%	100 max h-Wert	alle Atemwegserkrankungen	Thurston et al 1992 ²⁹
Minneapolis	16%	100 24-h mittel	Lungenentzündung	Schwartz, 1994a ³⁰

Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Institut für Epidemiologie, Neuherberg, Germany, Arch-Environ-Health. 1998 Jan-Feb; 53(1): 54-64

²⁶ Anderson-HR; Spix-C; Medina-S; Schouten-JP; Castellsague-J; Rossi-G; Zmirou-D; Touloumi-G; Wojtyniak-B; Ponka-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, Dept of Public Health Sciences, St. George's Hospital Medical School, London, Eur-Respir-J. 1997 May; 10(5): 1064-71

²⁷ Delfino-RJ; Murphy-Moulton-AM; Becklake-MR, Emergency room visits for respiratory illnesses among the elderly in Montreal: association with low level Ozone exposure, Department of Medicine, University of California at Irvine 92717, USA, Environ-Res. 1998 Feb; 76(2): 67-77

²⁸ Delfino-RJ; Murphy-Moulton-AM; Burnett-RT; Brook-JR; Becklake-MR, Effects of air pollution on emergency room visits for respiratory illnesses in Montreal, Quebec, Department of Medicine, University of California, Irvine, USA, Am-J-Respir-Crit-Care-Med. 1997 Feb; 155(2): 568-76

²⁹ Thurston GD, Ito K, Kinney PL, Lippman M. A multiyear study of air pollution and respiratory hospital admissions in three New York State metropolitan areas: results for 1988 and 1989 summers. J Expos Anal Environ Epidemiol 1992; 2:429-50

Birmingham	14%	100 24-h mittel	Lungenentzündung	Schwartz, 1994b ³¹
Birmingham	17%	100 24-h mittel	Chronische Obstruktive Bronchitis	Schwartz, 1994b
Detroit	30%	100 24-h mittel	Lungenentzündung	Schwartz, 1994c ³²
Ontario	13%	200 max h-Wert	alle Atemwegserkrankungen	Burnett et al, 1994 ³³
5 europ.Städte	14%	100 8-h nach 3 d	alle Atemwegserkrankungen	Spix et al., 1998 ²⁵
Montreal	29%	100 8-h	alle Atemwegserkrankungen, ältere Patienten	Delfino et al., 1998 ²⁷ , 1997 ²⁸

Tabelle 3: Einfluß von Ozon auf die Einlieferungsrate von Patienten in Krankenhäuser

Risikogruppen

Besonders betroffen sind Risikogruppen wie z.B. durch andere Krankheiten vorbelastete Menschen. Stieb, D.M. et al, 1996³⁴ untersuchten den Zusammenhang zwischen Ozon und der Einlieferung von Notfallpatienten mit Asthma in Krankenhäuser in Saint John in Kanada, einer Stadt mit 75 000 Einwohnern und einem Umland von 50 000 Einwohnern an Kanadas Atlantikküste. Untersucht wurden die täglichen Einlieferungsraten von Notfallpatienten mit Asthma und der Zusammenhang mit verschiedenen Luftschadstoffen (Ozon, Schwefeldioxid, Stickoxide, Sulfat und Partikel), Wetterbedingungen wie Temperatur, absolute und relative Luftfeuchtigkeit und Tau, Jahreszeiten und langfristige Trends. Zeitlich wurden die Bedingungen am selben Tag der Einlieferung ins Krankenhaus und drei Tage vorher ausgewertet. Insgesamt wurden 1 987 Einlieferungsfälle mit Asthma ausgewertet. Von allen untersuchten Luftschadstoffen zeigte sich nur mit Ozon ein deutlicher Zusammenhang mit der Einlieferungsrate von Asthma-Patienten zwei Tage nach dem Anstieg der Ozon-Konzentrationen.

³⁰ Schwartz J. PM, Ozone and hospital admissions for the elderly in Minneapolis-St.Paul, Minnesota, Archives of Environmental Health, 1994, 49 (5), 366-74

³¹ Schwartz J. Air pollution and hospital admissions for the elderly in Birmingham, Al. Am J Epidemiol 1994;139:589-94

³² Schwartz J. Air pollution and hospital admissions for the elderly in Detroit, Department of Environmental Health, Harvard School of Public Health, Boston, Massachusetts 02115, Am-J-Respir-Crit-Care-Med. 1994 Sep; 150(3): 648-55

³³ Burnett RT, Dales RE, Raizenne ME, Krewski D, Summers PW, Roberts GR, Raad-Young M, Dann T, Brooke T. Effects of low ambient levels of ozone and sulfates on the frequency of respiratory admissions to Ontario hospitals. Environ Research, 1994, 65, 172-194

³⁴ Stieb-DM; Burnett-RT; Beveridge-RC; Brook-JR, Association between Ozone and asthma emergency department visits in Saint John, New Brunswick, Canada, Air Quality Health Effects Research Section, Health Canada, Ottawa, Ontario, Canada, Environ-Health-Perspect. 1996 Dec; 104(12): 1354-60

Die durchschnittliche tägliche maximale 1-Stunden-Konzentration von Ozon während der Studienperiode betrug $83 \mu\text{g}/\text{m}^3$. An den Tagen mit einem maximalen 1-Stunden-Wert über $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lag die Zahl der eingelieferten Asthmapatienten 33% höher als bei Ozonwerten unter $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dieser deutliche und signifikante Effekt wurde von Wetterbedingungen, anderen Schadstoffen oder Mehrfach-Besuchen desselben Patienten nicht signifikant beeinflusst. Die Autoren betonen, daß die Zunahme der Asthmaanfälle durch Ozon bei Ozon-Konzentrationen auftritt, die deutlich unter den US- und kanadischen Grenzwerten für Ozon liegen.

Die Ergebnisse stehen in Übereinstimmung mit Untersuchungen von Asthmaanfällen in Atlanta in den Jahren 1993 bis 1995 durch Mulholland, J. et al, 1998³⁵. Dabei zeigte sich nach Korrektur anderer Faktoren bei Ozonkonzentrationen unterhalb der gesetzlichen Ozonegrenzwerte ein hochsignifikanter Anstieg der Asthmaanfälle um 4% pro $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Ozon/ m^3 .

Asthma ist inzwischen die häufigste chronische Kinderkrankheit in Deutschland: 12 bis 15 Prozent der Kinder leiden an dieser und verwandten Atemwegserkrankungen.

In einer Zusammenfassung beschreiben Lag., M. und Schwarze, P., 1997³⁶ die Folgen von Ozon in der bodennahen Luft. Als medizinische Schwellenwerte, ab denen gesundheitliche Schäden beim Menschen auftreten, geben sie für Klimakammerexperimente $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Ozon/ m^3 und für epidemiologische Studien unter realen Alltagsbedingungen $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an. Die Norwegian Pollution Control Authority schlägt deshalb zum Schutz der Bevölkerung Grenzwerte in Höhe von $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als maximale 1-h-Mittelwerte und $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als maximale 8-h-Mittelwerte vor.

Immissionsbelastung der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland durch bodennahes Ozon

Zur Abschätzung der Immissionsbelastung der Bevölkerung werden die an den Meßstellen der Bundesländer und des Umweltbundesamts gemessenen Immissionskonzentrationen von Ozon der Jahre 1990 bis 1995 verwendet. Die Meßwerte wurden dem UPI-Institut durch

³⁵ Mulholland-JA; Butler-AJ; Wilkinson-JG; Russell-AG; Tolbert-PE, Temporal and spatial distributions of Ozone in Atlanta: regulatory and epidemiologic implications, School of Civil & Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA, : J-Air-Waste-Manag-Assoc. 1998 May; 48(5): 418-26

das Umweltbundesamt auf Datenträger zur Verfügung gestellt. Insgesamt konnten Ozon-Meßwerte von 346 Meßstellen zugrundegelegt werden.

Da die Ozonkonzentrationen ein Land-Stadt-Gefälle aufweisen, wurden die vorliegenden Meßwerte nach der Größe der Gemeinden zusammengefaßt.

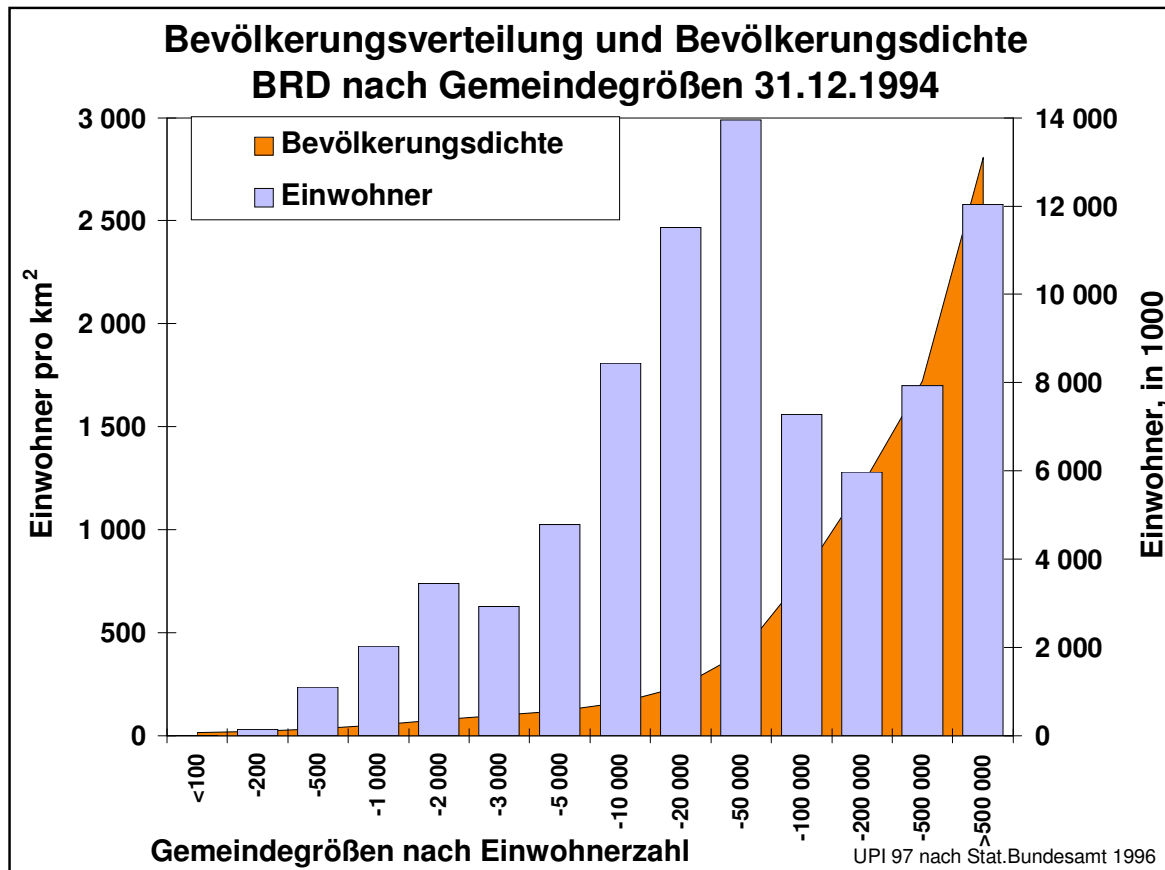
Tabelle 4 zeigt die Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland, aufgeschlüsselt nach Gemeindegrößen.

Gemeinden mit ... Einwohnern		Bevölkerung in 1000	Einwohner je km ²
	<100	17,4	14,9
100	-200	147,1	21,5
200	-500	1 097,2	33,2
500	-1 000	2 023,4	51,5
1 000	-2 000	3 449,9	78,0
2 000	-3 000	2 926,2	98,8
3 000	-5 000	4 775,5	121,2
5 000	-10 000	8 445,0	160,5
10 000	-20 000	11 510,5	239,1
20 000	-50 000	13 943,2	401,4
50 000	-100 000	7 270,3	762,8
100 000	-200 000	5 972,9	1 216,2
200 000	-500 000	7 930,4	1 722,1
	>500 000	12 029,8	2 806,2
		81 538,6	231,4

Tabelle 4:
Einwohner der Bundesrepublik Deutschland nach Gemeindegrößeklassen und Bevölkerungsdichte, Bundesrepublik Deutschland 31.12.1994, Statistisches Bundesamt, 1996³⁷

³⁶ Lag-M; Schwarze-PE, Health effects of ozone in the environment, (Helseeffekter av bakkenaert ozon), Avdeling for miljomedisin Statens institutt for folkehelse, Oslo, Tidsskr-Nor-Laegeforen. 1997 Jan 10; 117(1): 57-60

³⁷ Statistisches Bundesamt, Statistisches Jahrbuch der Bundesrepublik Deutschland, Wiesbaden 1996



Die Gemeindegröße des Standortes der Meßstationen wurde nach 6 Gemeindegröße-
klassen definiert, die in folgender Tabelle enthalten sind:

Gemeindegrößenklasse	bis .. Einwohner
1	-1 000
2	-5 000
3	-20 000
4	-100 000
5	-500 000
6	> 500 000

Tabelle 5: Schlüssel der Gemeindegröße-
klassen in den nachfolgenden Tabellen und
Grafiken.

Bei der Auswertung der ca. 29 Millionen Meßwerte wurde für jede Meßstation für jeden Tag
der Jahre 1990 bis 1995 das maximale 1-h-Mittel der Ozonkonzentration bestimmt. Aus
diesen Werten wurde für die verschiedenen Gemeindegrößenklassen der Durchschnitt der
maximalen 1-h-Mittel für jeden Tag bestimmt.

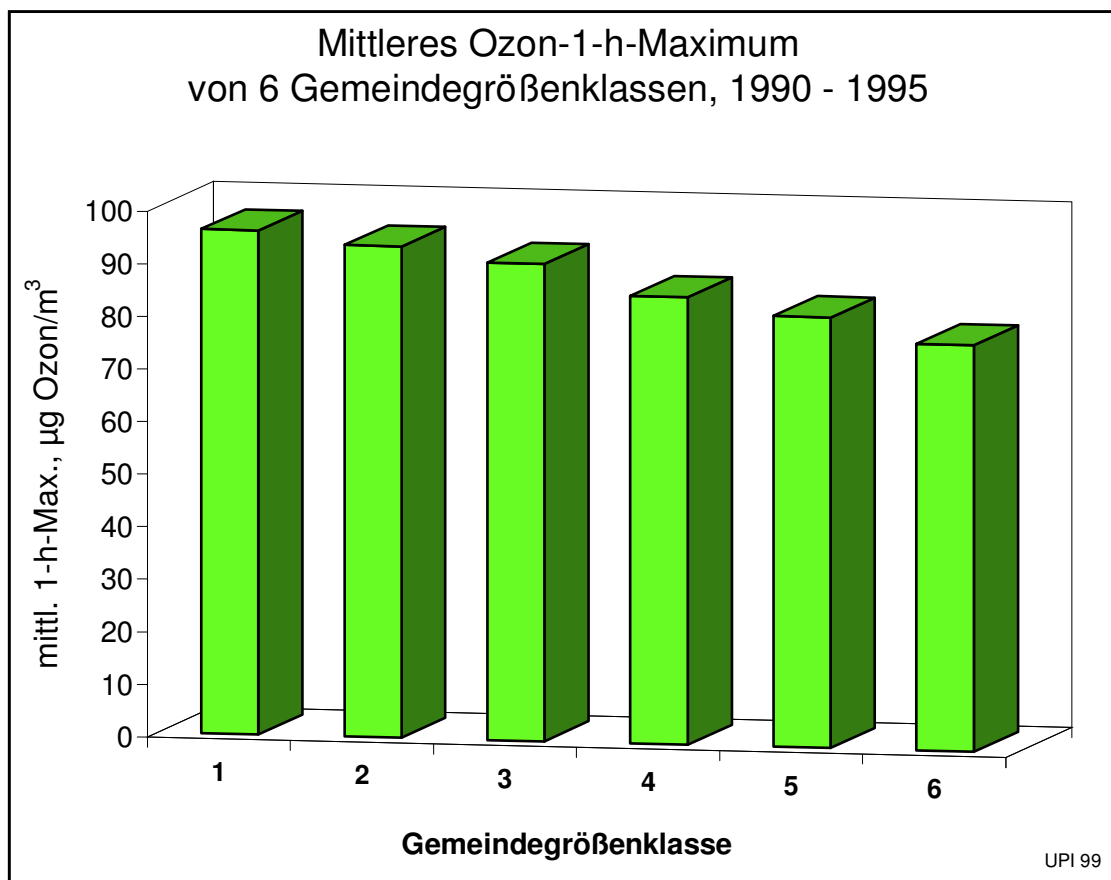
Die Aufschlüsselung der Meßwerte nach Gemeindegrößenklassen ist notwendig, da, wie
Tabelle 6 und die Grafik „Mittleres Ozon-1-h-Maximum von 6 Gemeindegrößenklassen,

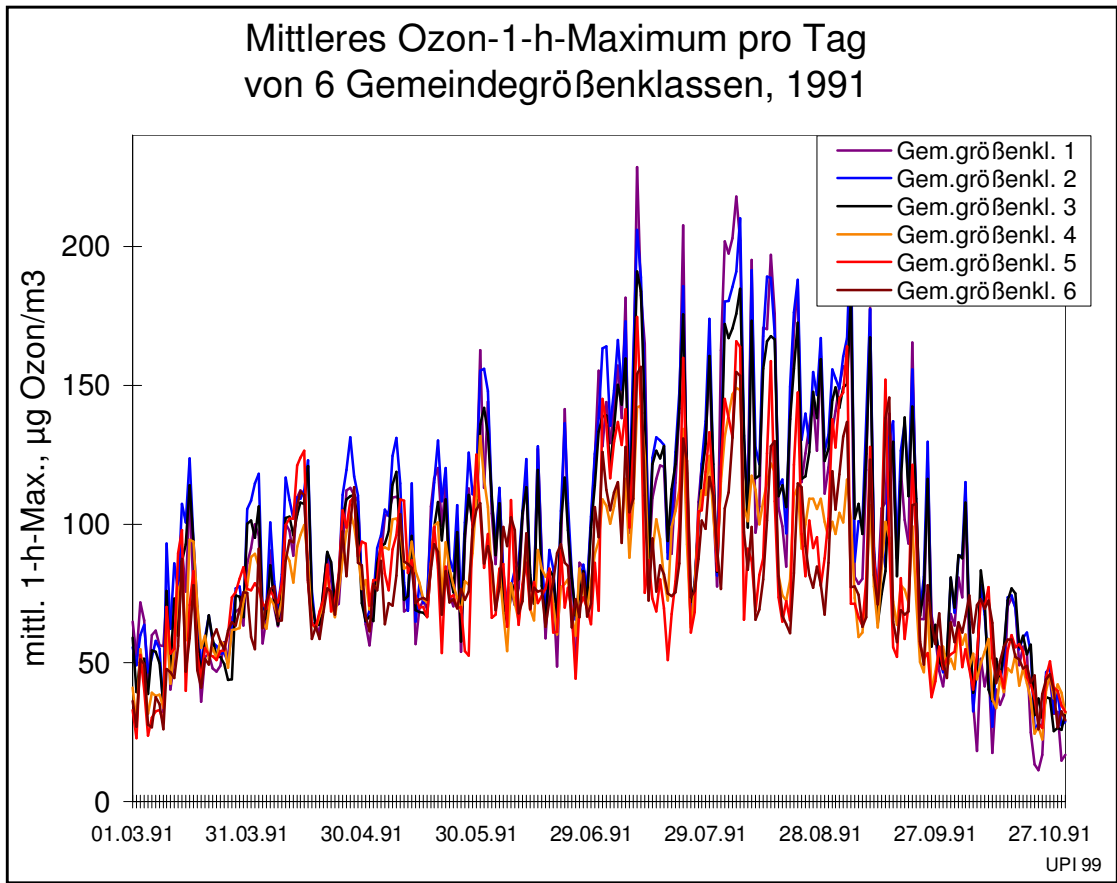
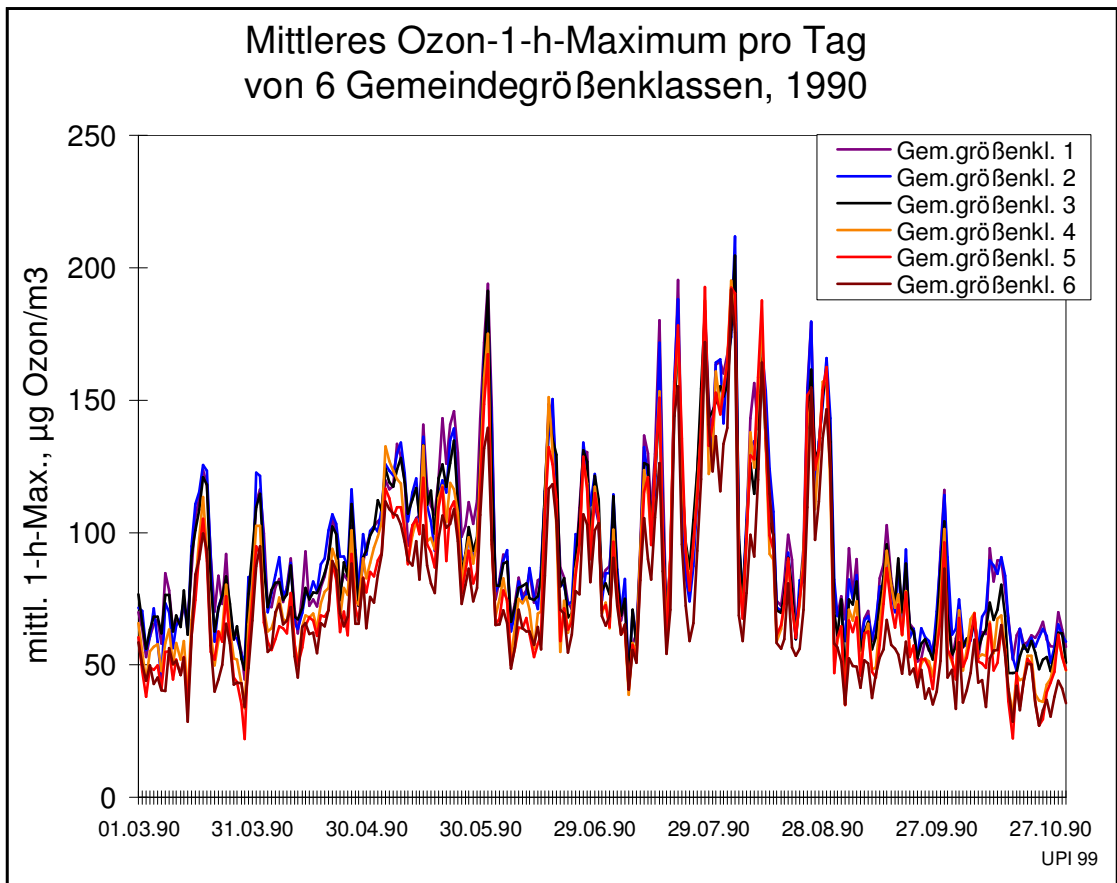
1990 - 1995“ zeigen, die Ozonkonzentrationen in den dünner besiedelten Gebieten höher sind als in Großstädten und Ballungsräumen.

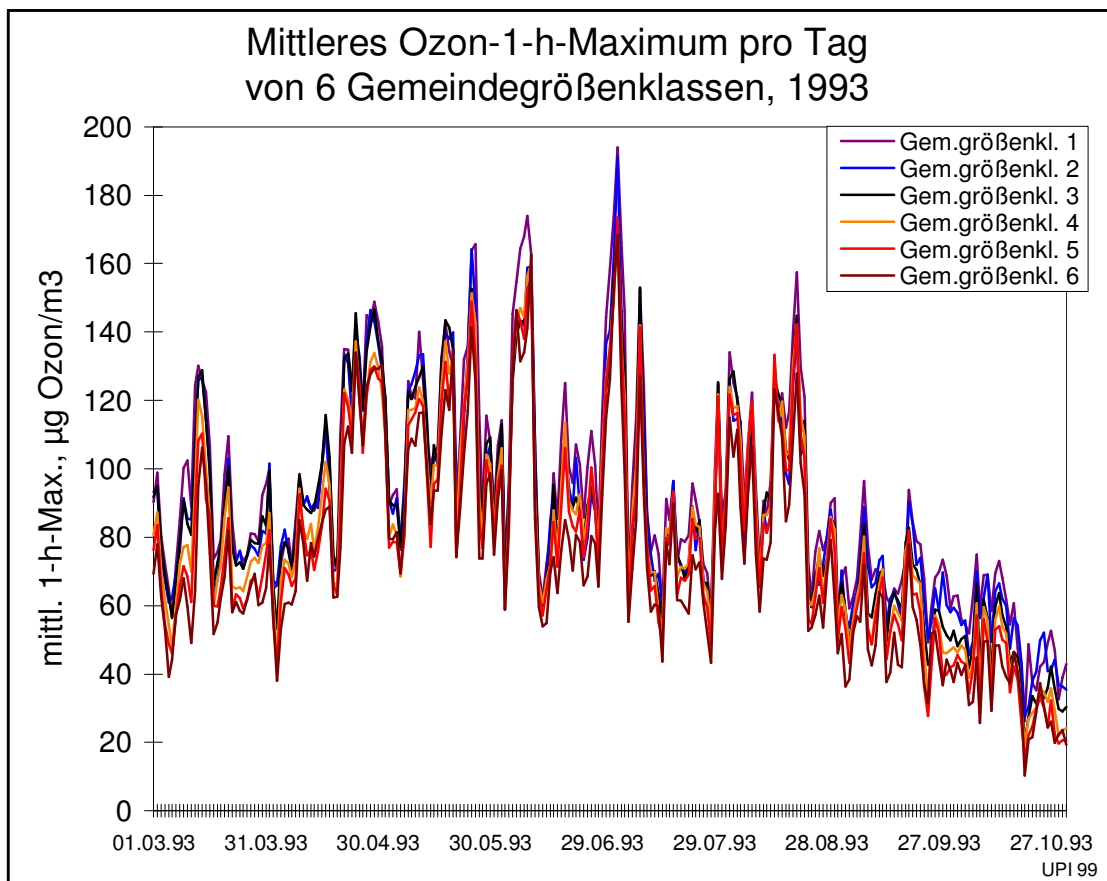
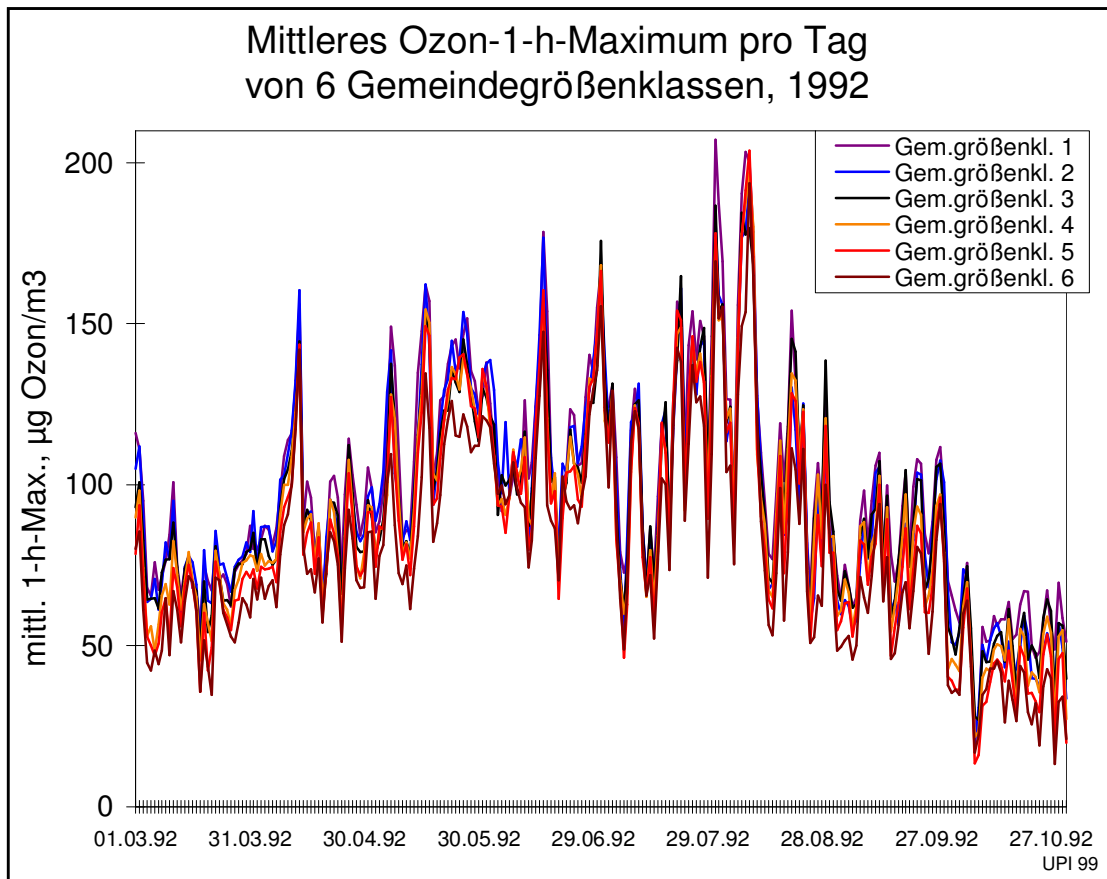
Gesamtdurchschnitt 90-95	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1990-1995
Gem.größenkl. 1	94,2	94,9	99,6	93,2	95,9	97,2	95,8
Gem.größenkl. 2	93,0	101,3	94,6	87,8	93,1	90,7	93,4
Gem.größenkl. 3	91,0	95,1	93,6	86,5	88,1	90,5	90,8
Gem.größenkl. 4	83,6	79,2	90,2	82,6	89,3	85,7	85,1
Gem.größenkl. 5	80,3	80,3	86,6	78,8	82,8	82,6	81,9
Gem.größenkl. 6	73,0	78,3	79,6	73,6	80,3	78,8	77,3

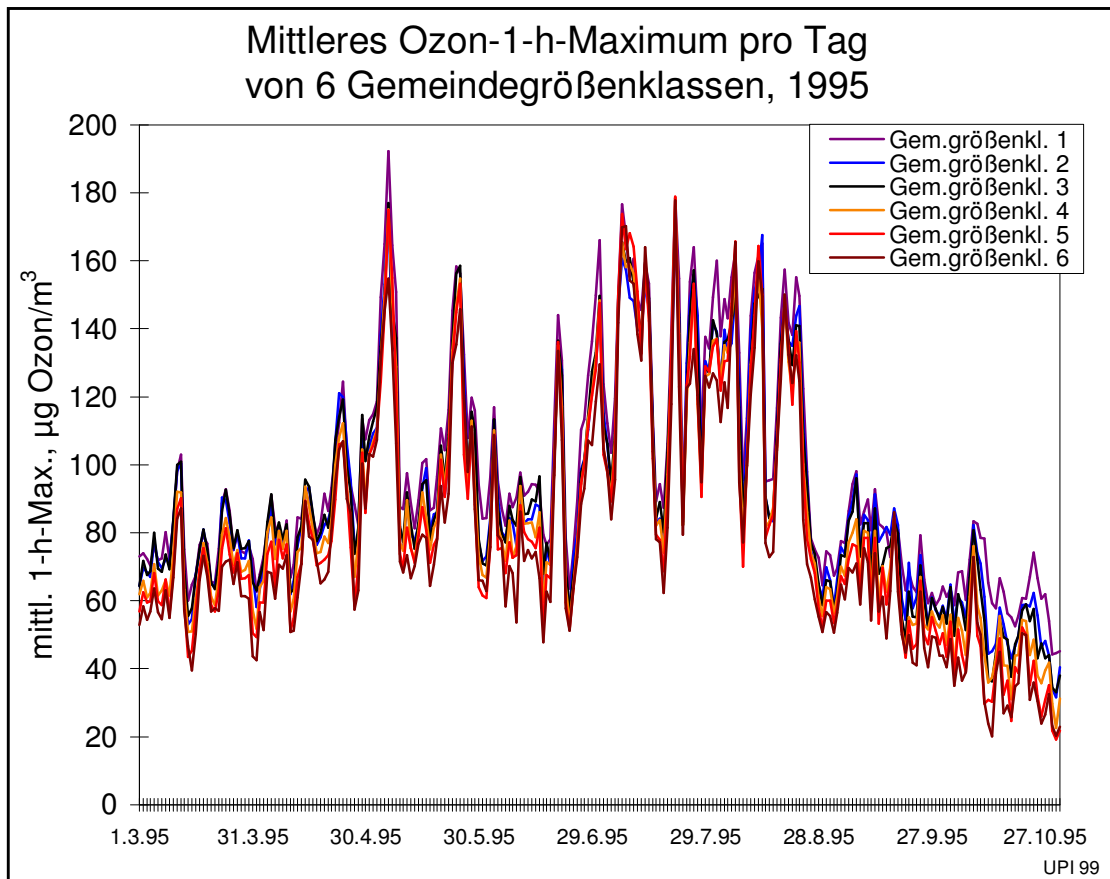
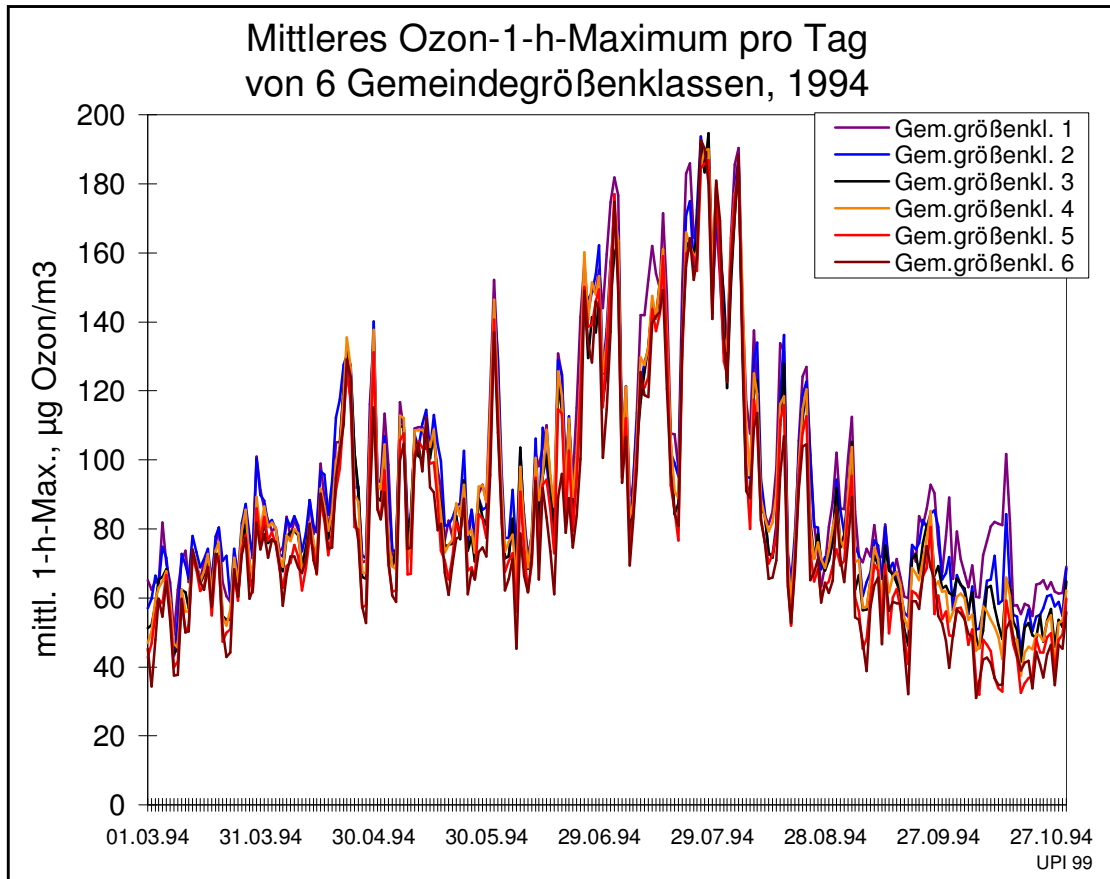
Tabelle 6: Mittleres Ozon-1-h-Maximum von 6 Gemeindegrößenklassen 1990 bis 1995, Bundesrepublik Deutschland

Die Grafiken „Mittleres Ozon-1-h-Maximum pro Tag von 6 Gemeindegrößenklassen, 1990 bis 1995“ zeigen den Verlauf der Ozonbelastung in den Gemeindegrößenklassen in den untersuchten 6 Jahren.









Berechnung der Todesfälle durch bodennahes Ozon

Die Berechnung der Zahl der Todesfälle durch die Ozonbelastung wurde analog den Mortalitätsberechnungen der Studien zur Monetarisierung der verkehrsbedingten externen Gesundheitskosten des Dienstes für Gesamtverkehrsfragen des Eidgenössischen Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartements der Schweiz durchgeführt.^{38 39 40 41 42}, siehe auch für die Bundesrepublik Deutschland⁴³.

Tabelle 7 zeigt die Gesamtzahl der allgemeinen, kardio-vaskulären und respiratorischen Todesfälle pro Jahr nach Gemeindegrößenklassen.

Gemeinde- größenklasse	Todesfälle			Bevölkerungszahl Personen
	allgemein	kardio-vaskulär	respiratorisch	
1	35 639	17 300	2 171	3 285 100
2	120 980	58 728	7 371	11 151 600
3	216 491	105 091	13 191	19 955 500
4	230 138	111 716	14 022	21 213 500
5	150 832	73 219	9 190	13 903 300
6	130 507	63 352	7 952	12 029 800
BRD gesamt	884 588	429 407	53 898	81 538 800

Tabelle 7: Bevölkerungszahl und Todesfälle pro Jahr nach Gemeindegrößenklassen, berechnet aus Statistisches Bundesamt, 1998⁴⁴

-
- ³⁸ Dienst für Gesamtverkehrsfragen des Eidgenössischen Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartements (GVF), Grundlagen zur Kostenwahrheit im Verkehr, Bern, 1993
- ³⁹ Dienst für Gesamtverkehrsfragen des Eidgenössischen Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartements, Monetarisierung der verkehrsbedingten externen Gesundheitskosten, Synthesebericht, Bern, 1996
- ⁴⁰ Ackermann-Liebrich, U., Künsli, N., Kaiser, R., Rapp, R., Institut für Sozial- und Präventivmedizin der Universität Basel, Monetarisierung der verkehrsbedingten externen Gesundheitskosten, Teilbericht Epidemiologie, Basel, Mai 1996
- ⁴¹ Warner, H.-U., Fuchs, A., Karrer, M. und Kogelschatz, D., Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie, Monetarisierung der verkehrsbedingten Gesundheitskosten, Teilbericht Lufthygiene, Zürich, Juni 1996
- ⁴² Institut für Medizin, Informatik und Biostatistik, Monetarisierung der verkehrsbedingten externen Gesundheitskosten - Teilbericht Behandlungskosten, Riehen, Februar 1996
- ⁴³ Teufel, D., Arnold, S., Bauer, P., Humm, L. und Wagner, T., Externe Gesundheitskosten des Verkehrs in der Bundesrepublik Deutschland, UPI-Bericht 43, Juni 1997
- ⁴⁴ Statistisches Bundesamt, Statistisches Jahrbuch der Bundesrepublik Deutschland, Wiesbaden 1998

Zur Berechnung der Zahl der Todesfälle durch die Ozonbelastung in der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1990 bis 1995 wurden die aus 7 epidemiologischen Untersuchungen erhaltenen Risikofaktoren (siehe Tabelle 2 auf Seite 10) und die aus den Meßwerten aller amtlichen Meßstellen der Bundesrepublik aus den maximalen 1-h-Werten ermittelten täglichen Durchschnittswerte für die betrachteten 6 Gemeindegrößenklassen (siehe Grafiken „Mittleres Ozon-1-h-Maximum pro Tag von 6 Gemeindegrößenklassen, 1990 bis 1995“) verwendet. In der Berechnung wurden nach Simson, R. et al, 1997²⁰ nur die Ozonkonzentrationen über 90 µg Ozon/m³ verwendet. Die Berechnung wurde für jeden Tag der Jahre 1990 bis 1995 durchgeführt und die Ergebnisse aggregiert.

Die Ergebnisse der Berechnungen zeigen

Tabelle 8 und die Grafik „Todesfälle durch bodennahes Ozon in der Bundesrepublik Deutschland 1990 - 1995“.

Gemeindegrößen	1990	1991	1992	1993	1994	1995
bis 1000 Einwohner	200	260	240	190	210	220
1000 - 5000 Einwohner	640	1 030	700	500	640	590
5000 - 20 000 Einwohner	1 070	1 450	1 170	890	990	1 060
20 000 - 100 000 Einwohner	950	520	1 140	810	1 140	1 000
100 000 - 500 000 Einwohner	580	480	700	480	630	640
über 500 000 Einwohner	330	280	440	320	490	490
BRD gesamt	3 800	4 000	4 400	3 200	4 100	4 000

Tabelle 8: Todesfälle durch bodennahes Ozon in den Jahren 1990 bis 1995 in der Bundesrepublik Deutschland, UPI 1999

Insgesamt ergeben sich aufgrund der Ozonbelastung der Jahre 1990 bis 1995 in der Bundesrepublik Deutschland rund 23 500 Todesfälle durch bodennahes Ozon.

Die durch Sommersmog verursachten Todesfälle gliedern sich aufgrund der Wirkungsmechanismen von Photooxidantien⁴⁵ vor allem in drei Gruppen:

1. Todesfälle durch Verstärkung der bronchialen Überreaktionsbereitschaft bei Asthmatikern
2. Todesfälle durch Überbeanspruchung des Kreislaufs und durch Verstärkung des Sauerstoffmangels in lebenswichtigen Organen bei kardio-vaskulären Erkrankungen durch Beeinträchtigung der Lungenfunktionen

⁴⁵ gut beschrieben u.a. in Budinger, Markus, Gesundheitsschäden durch bodennahes Ozon, Studienübersicht im Auftrag von Greenpeace, Hamburg, 1996; Supplement 5/1997

3. Todesfälle durch Verstärkung akuter Entzündungsvorgänge und durch Schwächung des Immunsystems bei bakteriellen und viralen Infektionen, u.a. infektiöser Lungenentzündung

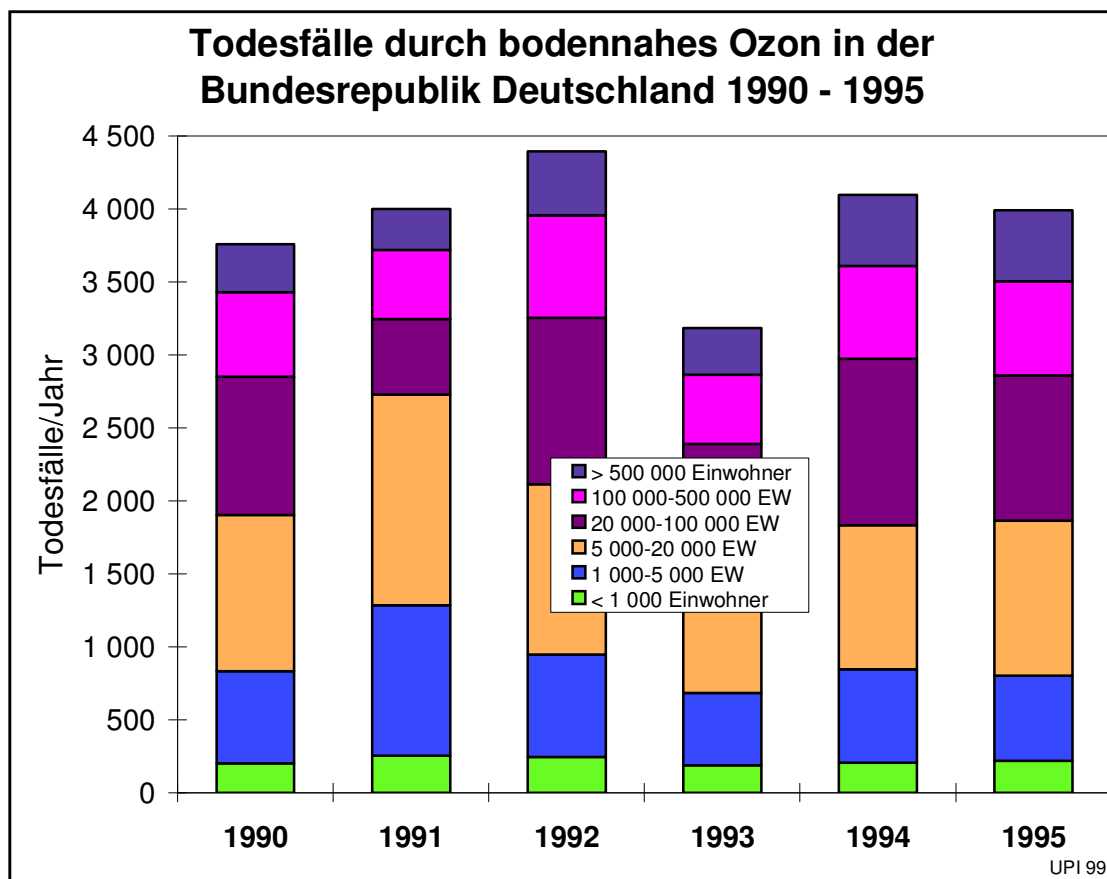
Zu 1: Asthma ist inzwischen die häufigste chronische Kinderkrankheit in Deutschland: 12 bis 15 Prozent der Kinder leiden an dieser und verwandten Atemwegserkrankungen. Heute sterben in der Bundesrepublik Deutschland ca. 5 500 Menschen pro Jahr an Asthma. Wie in Kapitel „Risikogruppen“ beschrieben, führen erhöhte Ozonkonzentrationen zu einem Anstieg der Zahl und der Schwere von Asthmaanfällen.

Zu 2: In zahlreichen Untersuchungen der letzten Jahre ergab sich, daß erhöhte Ozonkonzentrationen zu einer deutlichen Verringerung der Lungenfunktionen (u.a. Atemvolumen, Einatmungs- und Ausatemkapazität) und zu Verengungen und Verkrampfungen des Bronchialsystems führen. Dabei handelt es sich um den Versuch des menschlichen Organismus, die für die Ozonschädigungen empfindlichsten Bereiche (Schleimhäute des Atemsystems) vor dem vollen Ausmaß der Ozonkonzentration zu schützen. Durch diesen Schutzmechanismus wird erreicht, daß insgesamt weniger Ozon, aber damit gleichzeitig auch weniger Sauerstoff in die empfindlichen Lungenbereiche und damit ins Blut gelangt. In der Folge muß das Herz entsprechend mehr leisten. Dies kann zu einer Überbeanspruchung und bei kardio-vaskulären Erkrankungen, z.B. Herzinfarkt, zu einer Verstärkung lebensbedrohlicher Sauerstoffmängel führen, die zum Tode führen kann.

Zu 3: Die durch Ozon hervorgerufenen Entzündungsprozesse im Lungengewebe sind durch zahlreiche Untersuchungen am Menschen belegt und gelten inzwischen als wichtigster pathogener Mechanismus der Gesundheitsgefährdung durch Ozon. In zahlreichen Untersuchungen an Tieren und am Menschen ergab sich, daß erhöhte Ozonkonzentrationen zusätzlich zu einer Suppression von Lymphozyten, Monozyten, T-Zellen und Makrophagen als wichtigen Bestandteilen des Immunsystems führen. Dadurch führt Ozon auch zu einer Verstärkung bakterieller und viraler Infektionen. Wie in Kapitel „Akute Erkrankungen - Einlieferung von Patienten in Krankenhäuser“ beschrieben, führen erhöhte Ozonkonzentrationen u.a. zu einer Zunahme der Einlieferung von Patienten mit Lungenentzündung in Krankenhäuser. Heute sterben in der Bundesrepublik Deutschland ca. 18 000 Menschen pro Jahr an Lungenentzündung und ca. 12 000 Menschen pro Jahr an Bronchitis.

In allen drei Gruppen handelt es sich bei der überwiegenden Zahl der Patienten nicht um bösartige oder irreversibel fortschreitende Erkrankungen, die auch ohne die Einwirkung von Photooxidantien zum Tode geführt hätten, sondern in den meisten Fällen um akute Erkrankungen. Photooxidantien verstärken in diesen Fällen die Auswirkungen der vorbelastenden Krankheiten in einem solchen Maße, daß bei 3 200 bis 4 400 Patienten pro Jahr der Tod eintritt. Bei der Berechnung dieser Zahlen wurde entsprechend den zugrunde

gelegten epidemiologischen Studien nur die durch Sommersmog verursachte Übersterblichkeit gezählt. Ohne die Einwirkungen erhöhter Photooxidantien-Konzentrationen hätten die meisten dieser Patienten überlebt.



Grenzwerte für Ozon

Die EU-Richtlinie 92/72/EWG legt folgende Schwellenwerte fest, die in der 22. Bundes-Immissions-Schutz-Verordnung (BImSchV) in deutsches Recht umgesetzt sind:

Schwellenwert	Definition	Zweck des Schwellenwertes
65 µg/m ³	Tagesmittelwert	Schwellenwert für den Schutz der Vegetation
200 µg/m ³	Einstundenmittelwert	Schwellenwert für den Schutz der Vegetation
110 µg/m ³	Achtstundenmittelwert	Schwellenwert für den Gesundheitsschutz
180 µg/m ³	Einstundenmittelwert	Schwellenwert für die Unterrichtung der Bevölkerung
360 µg/m ³	Einstundenmittelwert	Schwellenwert für die Auslösung des Warnsystems

Tabelle 9: Schwellenwerte für Ozon nach der 22. Bundes-Immissions-Schutz-Verordnung

Die VDI-Richtlinie 2310 nennt einen Richtwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als $\frac{1}{2}$ -Stundenwert. Die Weltgesundheitsorganisation gibt für den Gesundheitsschutz einen 8-Stundenwert von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Leitwert an.

Der Schwellenwert für den Gesundheitsschutz der EU-Richtlinie und der 22. BImSchV in Höhe von $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wird in den letzten Jahren an über 98% aller Meßstellen, der Schwellenwert für den Schutz der Vegetation in Höhe von $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an 100% aller Meßstellen in der Bundesrepublik Deutschland überschritten. Dies führt jedoch zu keinen Konsequenzen der zuständigen Behörden.

Dieser Sachverhalt wird der Öffentlichkeit durch die Bundesregierung bisher nicht mitgeteilt. So veröffentlicht das Umweltbundesamt^{46 47} als zuständige Fachbehörde zwar die wesentlich seltenere Überschreitungshäufigkeit der deutlich höheren Schwellenwerte von 180 und $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Angaben über die Überschreitungshäufigkeit der grundlegenden gesetzlichen Schwellenwerte für den Schutz der menschlichen Gesundheit und der Vegetation fehlen jedoch.

So heißt es z.B. auf der Internetseite des Umweltbundesamtes unter der Überschrift „Umweltdaten Deutschland 1998, Letzte Aktualisierung: 14.05.1999“:

Überschreitungshäufigkeit von Ozon-Schwellenwerten							
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Anzahl der Stationen	170	218	265	300	312	354	380
mit mind. 1 Überschreitung von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ³	61	30	78	20	60	52	13
Anteil der Stationen (%)	35,9	13,8	29,4	6,7	19,2	14,8	3,4
mittlere Anzahl der Überschreitungen pro Station							
über $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ³	31	19	23	10	25	20	6
über $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ³	1,8	0,6	1,4	0,2	0,5	0,5	0,1
Anzahl der Tage mit Überschreitungen							
über $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ³	64	54	82	53	46	54	37
über $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ³	25	20	20	9	17	19	3

Quelle: Umweltbundesamt

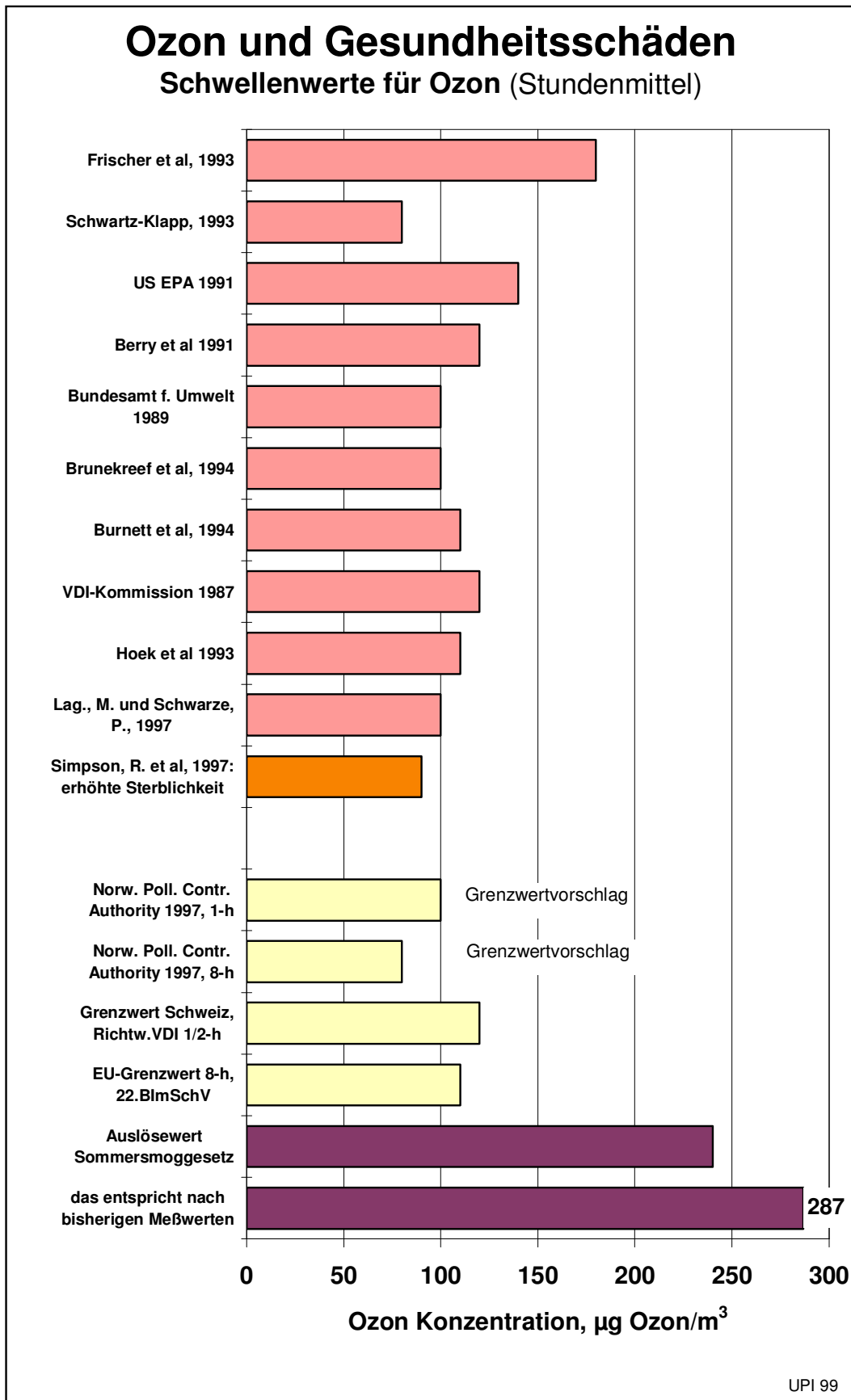
Die Grafik „Ozon und Gesundheitsschäden - Schwellenwerte für Ozon (Stundenmittel)“ zeigt zusammengefaßt die medizinischen Schwellenwerte für Gesundheitsschäden durch Ozon, die Höhe geltender gesetzlicher Schwellenwerte und den Schwellenwert des Sommersmog-Gesetzes 1995.⁴⁸ Es ist ersichtlich, daß der Auslösegrenzwert des

⁴⁶ Umweltbundesamt, Daten zur Umwelt 1997, Berlin 1997

⁴⁷ WebSite des Umweltbundesamtes: <http://www.umweltbundesamt.de/udd/luf/luf12.htm>

⁴⁸ Literatur siehe diese Studie und UPI Bericht 36 „Beantwortung des Fragenkatalogs der Anhörung des Bundestages zum Sommersmoggesetz“, Juni 1995

Ozongesetzes weit über den Werten liegt, ab denen gesundheitliche Schäden durch Ozon verursacht werden.



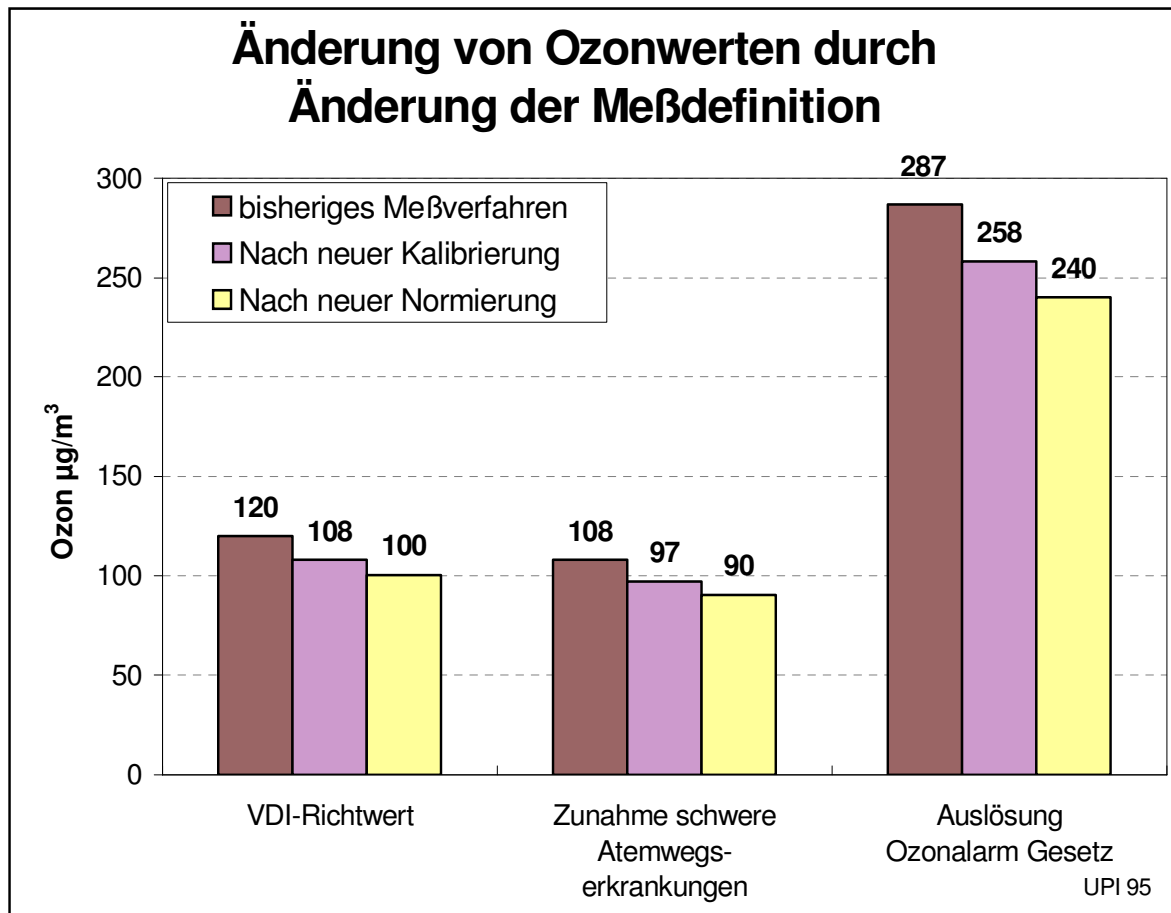
Seit 1958 galt für Beschäftigte ein MAK-Wert ("Maximale Arbeitsplatzkonzentration") von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Aufgrund der Hinweise auf eine krebserregende Wirkung und das genotoxische Potential des Ozons wird derzeit eine Neueinstufung durch die Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft diskutiert. In der neuen MAK-Liste von 1998 stuft die Kommission Ozon in die Kategorie IIIb ein, das heißt "begründet krebverdächtig". Der bisher gültige Grenzwert von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde deshalb zunächst aufgehoben, da keine Konzentration angegeben werden kann, unterhalb derer ein gesundheitliches Risiko ausgeschlossen werden kann.

Änderung des Meßverfahrens im Sommersmoggesetz

Im Sommersmog-Gesetz wurde das Meßverfahren für Ozon so geändert, daß zukünftig gemessene Ozonwerte rechnerisch um 17 % niedriger liegen als die Ergebnisse früherer Ozonmessungen.

Das Meßverfahren für Ozon wurde auf 2 Arten geändert: Durch Umstellung der Kalibrierung (Eichung) der Meßgeräte von früher naßchemische (KJ) auf UV-Spektrometrische Kalibrierung ergeben sich ca. 10 % niedrigere Meßwerte, wie Ringversuche der Landesmeßstellen im Jahr 1994 zeigten. Diese Umstellung der Kalibrierung wurde von den meisten Meßstellen im Laufe des Jahres 1994 vorgenommen. Zusätzlich schreibt das Sommersmoggesetz basierend auf der Ozon-Richtlinie der EU vor, daß die Normierung der gemessenen Ozonwerte auf 20° Grad Celsius erfolgen muß. Dies führt im Vergleich zur bisher üblichen Normierung auf 0° Grad Celsius zu einer weiteren rechnerischen Verringerung der Meßwerte um 7 %. Die nachfolgende Grafik zeigt die Einflüsse der Neu-Kalibrierung und Neu-Normierung auf einzelne Ozonwerte.

Das Hauptproblem ergibt sich daraus, daß praktisch die gesamte Literatur über die medizinischen Folgen von Ozon für Ozonkonzentrationen nach dem naßchemischen Kalibrierungsverfahren normiert auf 0° Grad Celsius gilt. Ein Vergleich des Auslösegrenzwerts für Ozonalarm von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mit der wissenschaftlichen Literatur über die Folgen von Ozon ist nur möglich, wenn eine Umrechnung entsprechend dem neuen Meßverfahren durchgeführt wird. Der Grenzwert von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ entspricht demnach $287 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nach bisherigem Verfahren. Parallel zur Änderung des Meßverfahrens hätte deshalb der Grenzwert im Gesetz von 240 auf 200 Mikrogramm angepaßt werden müssen. Dies ist nicht geschehen.



Zusammenfassung und Konsequenzen

Bei sieben großen epidemiologischen Untersuchungen, die in den letzten Jahren in zehn Ländern durchgeführt wurden, zeigte sich, daß Sommersmog nicht nur Beschwerden wie Atemnot, Brustschmerzen oder Lungenfunktionsstörungen hervorruft, sondern ähnlich wie Wintersmog auch zu Todesfällen und schweren akuten Atemwegserkrankungen führt. In den Studien wurden insgesamt 1,8 Millionen Todesfälle ausgewertet. Die medizinischen Schwellenwerte, ab denen Photooxidantien zu einer signifikanten Erhöhung der täglichen Sterblichkeit führen, liegen, gemessen an der Leitsubstanz Ozon, im Bereich von 90 bis 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und damit deutlich niedriger als die gesetzlichen Grenzwerte für Ozon.

Aus den vorliegenden 7 epidemiologischen Untersuchungen ergeben sich die in Tabelle 10 enthaltenen Risikofaktoren.

:	Erhöhung der		
	allgemeinen	kardio-vaskulären	respiratorischen
pro 50 µg Ozon/m ³ als	Mortalität um	Mortalität um	Mortalität um
maximales 1 h Mittel	2,8%	2,1%	4,0%
8 h Mittel	4,6%	2,6%	4,9%

Tabelle 10: Risikofaktoren Erhöhung der Mortalität durch Sommersmog, bezogen auf die Leitsubstanz Ozon (50 µg Ozon/m³), Zusammenfassung von 7 epidemiologischen Untersuchungen

Durch Auswertung der Meßwerte von ca. 300 Meßstellen aus den Jahren 1990 bis 1995 wurde die Ozonbelastung der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland ermittelt und mit Hilfe der Mortalitätsrisikofaktoren der Einfluß von Sommersmog auf die Mortalität berechnet.

Die Ergebnisse der Berechnungen zeigt Tabelle 11. Insgesamt muß damit gerechnet werden, daß im Zeitraum 1990 bis 1995 in der Bundesrepublik Deutschland ca. 23 500 Menschen durch Sommersmog verstorben sind.

Gemeindegrößen	1990	1991	1992	1993	1994	1995
bis 1000 Einwohner	200	260	240	190	210	220
1000 - 5000 Einwohner	640	1 030	700	500	640	590
5000 - 20 000 Einwohner	1 070	1 450	1 170	890	990	1 060
20 000 - 100 000 Einwohner	950	520	1 140	810	1 140	1 000
100 000 - 500 000 Einwohner	580	480	700	480	630	640
über 500 000 Einwohner	330	280	440	320	490	490
BRD gesamt	3 800	4 000	4 400	3 200	4 100	4 000

Tabelle 11: Todesfälle durch bodennahes Ozon in den Jahren 1990 bis 1995 in der Bundesrepublik Deutschland, UPI 1999

Aus den dargestellten Gründen bedürfen die bislang gültigen Grenzwerte für Ozon dringend einer Revision.

Dies betrifft vor allem den 1995 in dem Sommersmoggesetz festgeschriebenen Auslösegrenzwert für Sommersmogalarm in Höhe von 240 µg Ozon/m³ und den Warngrenzwert für die Bevölkerung von 180 µg Ozon/m³. Das Sommersmoggesetz, welches keinen Schutz vor

gesundheitlichen Schäden durch Ozonspitzenbelastungen bietet ⁴⁹, muß dringend novelliert werden ⁵⁰. Das Sommersmoggesetz kann die Ozonspitzenbelastung der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland nur um 0,01 bis 0,015% reduzieren. Durch geeignete Maßnahmen, insbesondere eine Herabsetzung der Auslösegrenzwerte (siehe z.B. den Greenpeace-Vorschlag für ein neues Sommersmoggesetz in UPI-Bericht 48 ⁵⁰), kann die Ozonspitzenbelastung der Bevölkerung wirksam um 51 bis 72% verringert werden.

Der seit über einem Jahrzehnt gültige EU-Grenzwert in Höhe von 120 µg Ozon/m³ (8-h-Mittel) muß endlich durchgesetzt und auf 90 µg Ozon/m³ reduziert werden.

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 1: Ergebnisse der epidemiologischen Studien zum Zusammenhang von Mortalität und Sommersmog.....	10
Tabelle 2: Risikofaktoren Erhöhung der Mortalität durch Sommersmog pro Erhöhung der Leitsubstanz Ozon um 50 µg Ozon/m ³ , Zusammenfassung von 7 epidemiologischen Untersuchungen.....	10
Tabelle 3: Einfluß von Ozon auf die Einlieferungsrate von Patienten in Krankenhäuser	13
Tabelle 4: Einwohner der Bundesrepublik Deutschland nach Gemeindegrößeklassen und Bevölkerungsdichte, Bundesrepublik Deutschland 31.12.1994, Statistisches Bundesamt, 1996	15
Tabelle 5: Schlüssel der Gemeindegrößeklassen in den nachfolgenden Tabellen und Grafiken.	16
Tabelle 6: Mittleres Ozon-1-h-Maximum von 6 Gemeindegrößeklassen 1990 bis 1995, Bundesrepublik Deutschland	17
Tabelle 7: Bevölkerungszahl und Todesfälle pro Jahr nach Gemeindegrößeklassen, berechnet aus Statistisches Bundesamt, 1998	21
Tabelle 8: Todesfälle durch bodennahes Ozon in den Jahren 1990 bis 1995 in der Bundesrepublik Deutschland, UPI 1999.....	22
Tabelle 9: Schwellenwerte für Ozon nach der 22. Bundes-Immissions-Schutz-Verordnung	24
Tabelle 10: Risikofaktoren Erhöhung der Mortalität durch Sommersmog, bezogen auf die Leitsubstanz Ozon (50 µg Ozon/m ³), Zusammenfassung von 7 epidemiologischen Untersuchungen.....	30
Tabelle 11: Todesfälle durch bodennahes Ozon in den Jahren 1990 bis 1995 in der Bundesrepublik Deutschland, UPI 1999.....	30

Die UPI-Berichte Nr. 47 „Neue medizinische Erkenntnisse über die gesundheitlichen Auswirkungen von Sommersmog, Berechnung der durch Ozon verursachten Todesfälle in der Bundesrepublik Deutschland“ (DM 10,-) und Nr. 48 „Bodennahes Ozon - Vorschläge zu

⁴⁹ siehe dazu: Teufel, D., Arnold, S., Lippolt, K., Bauer, P., Wagner, T., Bodennahes Ozon - Belastungen, Gegenmaßnahmen, UPI-Bericht 40, Mai 1996

⁵⁰ siehe dazu: Teufel, D., Arnold, S., Bauer, P., Wagner, T., Bodennahes Ozon - Vorschläge zu einer Novellierung des Sommer-Smog-Gesetzes, UPI-Bericht 48, Juni 1999

einer Novellierung des Sommer-Smog-Gesetzes“ (DM 15,-) können beim UPI-Institut, Handschuhsheimer Landstr.118a, D-69121 Heidelberg, Tel: 06221/45 50 55, Fax: -56, Internet: www.upi-institut.de/UPIBerichte.htm oder email: upi@upi-institut.de bezogen werden.