

Hintergrundinformation: Sommersmog

1. Ozon in der Atmosphäre	S. 1
2. Entstehung von bodennahem Ozon	S. 3
3. Emissionen der Vorläufersubstanzen	S. 4
4. Gibt es einen Ozontrend?	S. 7
5. Wirkungen auf den Menschen	S. 10
6. Wirkungen auf Pflanzen	S. 14
7. Grenz-, Ziel- und Schwellenwerte	S. 16
8. Maßnahmen	S. 18
9. Zusammenfassung	S. 24

Mit diesem Hintergrundpapier gibt das Umweltbundesamt (UBA) eine zusammenfassende Einführung und Übersicht über die chemischen Grundlagen der Entstehung des Sommersmogs, die Wirkungen des Ozons auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt sowie aus seiner Sicht geeignete Maßnahmen zur Bekämpfung des Sommersmogs.

1. Ozon in der Atmosphäre

Ozon ist eine Verbindung, die aus drei Sauerstoffatomen besteht („normaler“ molekularer Sauerstoff – O_2 – ist zweiatomig). Die chemische Formel lautet: O_3 . Ozon entsteht durch die Reaktion von molekularem Sauerstoff mit atomarem. Es ist chemisch sehr reaktiv, greift also viele andere Stoffe an und kann deshalb Menschen, Pflanzen und Materialien (zum Beispiel Kunststoffe und Gummi) schädigen. Darüber hinaus ist Ozon ein Treibhausgas, trägt also zur Erwärmung der Erdatmosphäre bei.

Ozon spielt in der Erdatmosphäre eine Doppelrolle:

1. **In den Luftschichten oberhalb von etwa zehn Kilometern (der Stratosphäre)** befindet sich mit über 90 Prozent der Hauptanteil dieses Gases. Das Ozon hat dort die lebenswichtige Funktion eines Filters gegen den schädlichen ultravioletten Anteil der Sonnenstrahlung (UV-B). In dieser Luftschicht wird Ozon unter anderem durch die chemischen Verbindungen Chlor und Brom abgebaut. Sie stammen aus Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW), Halonen und anderen halogenhaltigen Stoffen, die überwiegend vom Menschen hergestellt und in die Atmosphäre freigesetzt werden. Im „Montreal Protokoll“ zum Schutz der Ozonschicht von 1987 sowie auf folgenden internationalen Konferenzen sind weltweite Vereinbarungen getroffen worden, um den Ausstoß dieser Stoffe zu verringern. Seit Ende 1995 dürfen weltweit keine FCKW mehr hergestellt und verwendet werden (Ausnahmen gelten für weniger entwickelte Länder). Trotzdem hat sich der Abbau des stratosphärischen Ozons bis zum Ende des 20. Jahrhunderts noch verstärkt, da es auch weiterhin zur Freisetzung langlebiger, ozonabbauender Gase kommt und diese mit einer erheblichen Verzögerung in die Stratosphäre aufsteigen. Der stärkste Ozonabbau wird über der Antarktis im Zeitraum von September bis November, dem antarktischen Frühling, beobachtet (das so genannte Ozonloch). In unseren Breiten findet ein verstärkter Abbau in den Winter- und Frühjahrsmonaten statt.

Während des Zeitraums von 1968 bis 1992 betrug der Ozonrückgang über Europa im Durchschnitt drei Prozent pro Jahrzehnt. Dieser Trend hatte sich seit Ende der siebziger Jahre verschärft. Seit Mitte der 90er Jahre setzt sich dieser abnehmende Trend jedoch nicht mehr fort. Dies machen auch Ergebnisse aus Messungen des Deutschen Wetterdienstes im Süden Deutschlands

(<http://www.dwd.de/de/Funde/Observator/MOHP/hp2/ozon/trend3.htm>) deutlich.

2. **In den unteren Luftschichten der Atmosphäre bis zehn Kilometer Höhe (der Troposphäre)** gibt es einen Sockelanteil natürlich vorhandenen Ozons. Zusätzliches Ozon bildet sich durch komplexe photochemische Reaktionen von Sauerstoff und Luftverunreinigungen – vor allem flüchtigen organischen Verbindungen (englisch: VOC = volatile organic compounds¹) und Stickstoffoxiden (NO_x), aber auch Kohlenmonoxid (CO) und Methan (CH₄) – bei intensiver Sonneneinstrahlung. Diese Luftverunreinigungen überwiegend aus menschlicher Tätigkeit.

Ozon wird nicht direkt emittiert und daher als sekundärer Schadstoff bezeichnet. Ozon kann zu Gesundheits- und Umweltschäden führen (=> [Abschnitte 5](#) und [6](#)).

Zwischen dem „oberen“ (stratosphärischen) und dem „unteren“ (troposphärischen) Ozon gibt es nur einen eingeschränkten Austausch, da ein Gasaustausch zwischen den beiden Luftschichten nur sehr langsam verläuft. Sobald keine Neubildung erfolgen kann – also zum Beispiel nach Sonnenuntergang –, nimmt die Ozon-Konzentration in den bodennahen Luftschichten schnell wieder ab.

2. Entstehung von bodennahem Ozon

¹ Im Folgenden wird immer die Abkürzung NMVOC gewählt, um zu verdeutlichen, dass das Treibhausgas Methan bei den flüchtigen organischen Verbindungen nicht einbezogen wird (NM=Nicht-Methan).

Beim photochemischen Smog (auch Sommersmog genannt) handelt es sich um ein Schadstoffgemisch, das in der unteren Atmosphäre aus einer Vielzahl von Vorläufersubstanzen unter dem Einfluss von Sonnenlicht entsteht: Bei intensiver Sonneneinstrahlung werden durch komplexe photochemische Reaktionen vor allem aus den Vorläufersubstanzen Stickstoffoxide (NO_x) und flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (NMVOC), aber auch aus Kohlenmonoxid (CO) und Methan (CH_4) so genannte photochemische Oxidantien (Photooxidantien) wie Ozon, aber auch Stickstoffdioxid (NO_2), organische Nitrates wie Peroxiacetylnitrat (PAN), Wasserstoffsuperoxid (H_2O_2), Aldehyde und organische Säuren gebildet. Ozon ist die Leitsubstanz des Sommersmogs, da es von der Konzentration und den Wirkungen her dominiert.

Die Europäische Umweltagentur (EUA) kombiniert die Emissionen von NO_x , NMVOC, CO und CH_4 mit Hilfe von Gewichtungsfaktoren zu einer Gesamtzahl, die als Indikator für das Ozonbildungsvermögen dienen kann.

http://themes.eea.eu.int/Environmental_issues/air_quality/indicators/ozone_precursors/index.html

Die Gewichtungsfaktoren spiegeln die relative Bedeutung der verschiedenen Komponenten wieder. Sie betragen, normiert auf NMVOC:

NO_x	1.22
NMVOC	1.00
CO	0.11
CH_4	0.014

Das Ozonbildungspotential von NMVOC und NO_x ist also etwa zehnmal so groß wie das von CO und etwa einhundertmal so groß wie das von Methan. Daher werden im Folgenden im Wesentlichen die beiden Ozon-Vorläufersubstanzen NO_x und NMVOC betrachtet.

Für hohe Ozonkonzentrationen müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein: Das Vorhandensein der beiden Vorläuferstoffe NO_x und NMVOC, eine intensive Sonneneinstrahlung und eine mehrere Tage andauernde stabile Schönwetterperiode, die zu einer Speicherung von Ozon innerhalb der atmosphärischen Mischungsschicht führt.

Voraussetzung für die Bildung des Ozons ist die NO_2 -Photolyse, das heißt: die Aufspaltung eines NO_2 -Moleküls durch kurzwelliges Licht in ein Sauerstoffatom (O) und ein NO-Molekül. Nachfolgend reagiert das abgespaltene Sauerstoffatom mit molekularem Sauerstoff (O_2) zu Ozon. Von entscheidender Bedeutung ist die schnelle Rückbildung des entstandenen Stickstoffmonoxids (NO) zu NO_2 , das dann für eine erneute Ozonbildung zur Verfügung steht. Diese Oxidation geschieht letztlich durch Peroxiradikale – das sind reaktive Sauerstoffverbindungen die beim Abbau organischer Verbindungen entstehen. Gebildet werden diese durch die Reaktion flüchtiger organischer Verbindungen mit OH-Radikalen nach Anlagerung von Luftsauerstoff. Die NO_2 -Photolyse ist also der „Motor“ der Ozonbildung, und flüchtige organische Verbindungen sind der „Treibstoff“, der dafür sorgt, dass NO immer wieder schnell zu NO_2 umgewandelt wird.

Stickstoffmonoxid (NO) reagiert aber auch mit Ozon. Dabei wird Ozon abgebaut. Es bilden sich „normaler“ Sauerstoff und NO₂. Da NO zu großen Teilen durch den Verkehr emittiert wird, kommt es im Sommer regelmäßig – vornehmlich in großen Städten – zu der scheinbar paradoxen Situation, dass die Ozonbelastung an besonders verkehrsreichen Straßen niedriger ist als am Stadtrand und in den angrenzenden ländlichen Gebieten. An verkehrsreichen Straßen kann also der Ozonabbau die Ozonbildung übersteigen. Eine vordergründige Folgerung, deshalb bei hohen Ozon-Konzentrationen vermehrt Auto zu fahren, ist jedoch aus zwei Gründen widersinnig: Obwohl dadurch tatsächlich die Ozonbelastung in den Innenstädten verringert würde, steigt aber gleichzeitig die Belastung durch andere Schadstoffe an. Außerdem wird das zusätzlich gebildete NO₂ großräumig zu einem Anstieg des Ozonniveaus führen. Dies hätte entsprechende Folgen für dort lebende Menschen und die Vegetation.(=> [Abschnitt 6](#)).

Neben dem innerhalb der Troposphäre photochemisch aus NO_x und NMVOC gebildeten Ozon stammt ein geringer Anteil des bodennahen Ozons aus der Stratosphäre, wo der zur Ozonbildung benötigte atomare Sauerstoff (O) durch photolytische Spaltung von molekularem Sauerstoff (O₂) mittels sehr kurzweiliger Strahlung erzeugt wird.

3. Emissionen der Vorläufersubstanzen

Ozon und andere Photooxidantien entstehen aus Stickstoffoxiden (NO_x), flüchtigen organischen Verbindungen (NMVOC), Kohlenmonoxid (CO) und Methan (CH₄) unter dem Einfluss von Sonneneinstrahlung. Diese Ozonvorläufer stammen sowohl aus natürlichen (biogenen) als auch aus anthropogenen (vom Menschen verursachten) Quellen. In Mitteleuropa sind die natürlichen gegenüber den anthropogenen Emissionen im Jahresmittel zwar gering, während sommerlicher Ozonepisoden können sie aber merklich zu den Gesamtemissionen beitragen, vor allem zu den NMVOC-Emissionen. Die Bildung von Sommersmog – also des bodennahen Ozons - erfolgt im Wesentlichen durch Reaktion von NO_x und NMVOC, während die globale troposphärische Ozonbildung vor allem auf den Reaktionen von NO_x mit CO und CH₄ beruht.

Anthropogene NO_x- und NMVOC-Emissionen haben unterschiedliche Verursacherbereiche. Der Verkehr ist bei Stickstoffoxiden der wichtigste und bei NMVOC immer noch ein bedeutender Emissionsbereich. Die folgende Tabelle 1 zeigt die Emissionsentwicklung von NO_x und NMVOC in Deutschland von 1990 bis 2003. **Der Trend ist eindeutig: Der Ausstoß von Stickstoffoxiden ist in Deutschland zwischen 1990 und 2003 um 50 %, der von flüchtigen Kohlenwasserstoffen um 59 % zurückgegangen.**

Tabelle 1: Atmosphärische Emissionen in Deutschland 1990 bis 2003

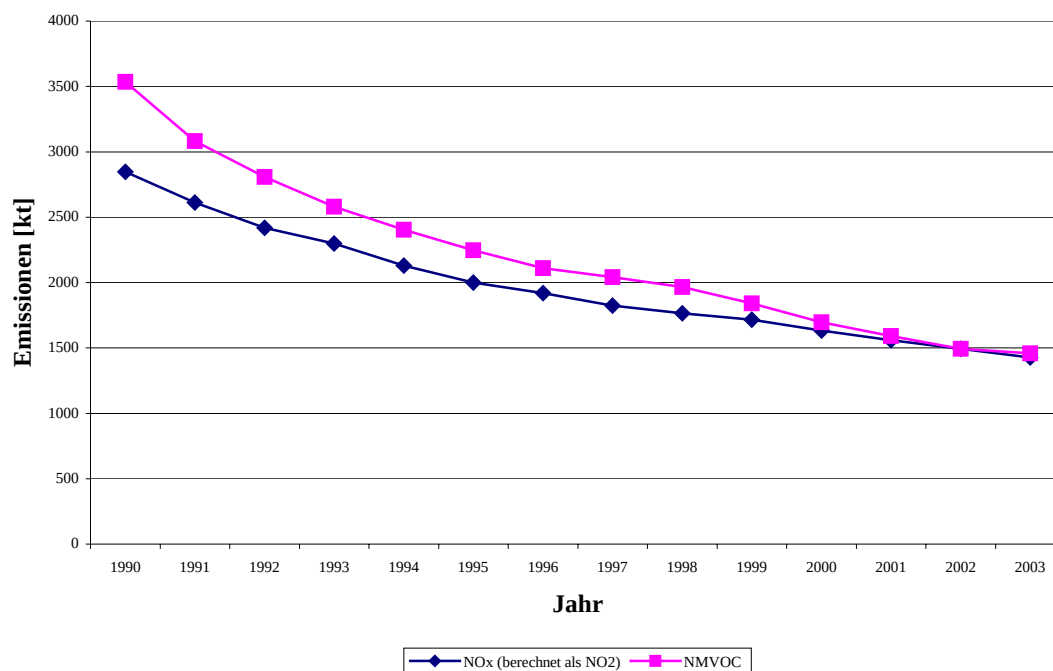
Jahr	kt NO _x (berechnet als NO ₂)	kt NMVOC
1990	2846	3534
1991	2611	3082
1992	2418	2807
1993	2299	2581
1994	2130	2404
1995	2000	2248
1996	1918	2110
1997	1823	2042
1998	1766	1966
1999	1717	1842
2000	1634	1697
2001	1560	1592
2002	1493	1494
2003	1428	1460

Quelle: Umweltbundesamt

Stand: Februar 2005

Graphik 1 verdeutlicht diese Entwicklung

Atmosphärische Emissionen in Deutschland 1990 bis 2003



Quelle: Umweltbundesamt

Stickstoffoxide stammen derzeit zu etwa der Hälfte aus dem Verkehrsbereich, vornehmlich dem Straßenverkehr. Der restliche Anteil der Stickstoffoxid-Emissionen stammt überwiegend aus stationären Feuerungsanlagen. Das sind Anlagen, die fossile Energieträger wie Kohle oder Öl zur Wärmegewinnung oder Stromerzeugung verbrennen (zum Beispiel Kraftwerke). Als eine Folge der in den gesetzlichen Vorschriften geregelten höheren Anforderungen (insbesondere Novellierung der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft – kurz TA Luft – und der Großfeuerungsanlagenverordnung) nahmen bis zum Ende der 90er Jahre diese Emissionen nahezu kontinuierlich ab. Im Verkehrsbereich sind dagegen auch in den vergangenen Jahren die Emissionen weiter zurückgegangen. Zu berücksichtigen ist, dass im Sommer der Wärmeenergiebedarf geringer ist und somit der Beitrag des Verkehrs außerhalb der Heizperiode überwiegt. Im Verkehrsbereich – und hier insbesondere bei den NO_x -Emissionen aus schweren Nutzfahrzeugen – sind aus diesem Grund auch in den nächsten Jahren weitere Schritte zur Emissionsminderung erforderlich.

NMVOC werden zu etwa der Hälfte bei der Verwendung von Lösemitteln freigesetzt. Lösemittel finden sich in vielen Produkten, die in Industrie, Gewerbe und Haushalten Verwendung finden, wie in Farben und Lacken, Klebstoffen, Abbeizern, Reinigungsmitteln usw. Im industriellen Bereich werden Lösemittel in vielen verschiedenen Branchen eingesetzt. Von besonderer Bedeutung für die Entstehung von NMVOC-Emissionen sind insbesondere Lackier-, Druck- und Kaschieranlagen sowie industrielle Reinigungsprozesse. Beim Verkehr (Emissionsanteil mittlerweile unter 15 %) entstehen NMVOC überwiegend durch die Verbrennung von Kraftstoff.

Im Betrachtungszeitraum gab es bemerkenswerte Verschiebungen der Emissionsanteile der einzelnen Quellgruppen: Die Dominanz der verbrennungsbedingten Emissionen von Ottokraftstoff ging durch den Einsatz der Katalysatortechnik in PKW stark zurück, ebenso konnten die Verluste durch die Verdampfung aus dem Tank, dem Kraftstoffsystem und an Tankstellen durch moderne Rückhaltetechniken erheblich reduziert werden. Dagegen gewinnen die NMVOC-Emissionen durch LKW und motorisierte Zweiräder sowie aus mobilen Geräten (Rasenmäher, Kettensägen) zunehmend an Bedeutung und überwiegen die der PKW in den letzten Jahren bereits erheblich. Bei den NMVOC aus verbrennungsmotorbetriebenen Kleingeräten handelt es sich zwar im Einzelnen um relativ geringe Mengen, sie können aber wegen ihrer Vielzahl und konzentriert auf einen kurzen Zeitraum in der warmen Jahreszeit, zu dem die Emissionen obendrein für die Ozonbildung noch besonders relevant sind, vor allem regional zu merklichen Luftverunreinigungen führen.

Auch die biogenen Emissionen von NMVOC und NO_x spielen für die sommerliche Ozonbildung eine nicht unwesentliche Rolle. Biogene NMVOC-Emissionen erfolgen hauptsächlich in Form von Kohlenwasserstoffen wie Terpen und Isopren aus Laub- und Nadelbäumen, während die biogenen NO_x -Emissionen überwiegend aus überdüngten Böden stammen.

Neben dem photochemisch aus NO_x und NMVOC gebildeten Ozon kann auch das nordhemisphärische Hintergrund-Ozon – das sind Ozonkonzentrationen in der Atmosphäre der Nordhalbkugel, die über weite Strecken ferntransportiert werden – durchaus zu den bodennahen Ozon-Konzentrationen in Deutschland beitragen. Der Abstand zwischen den nordhemisphärischen Hintergrundkonzentrationen und den nationalen und europäischen Standards (=> [Kapitel 7](#)) wird zunehmend geringer. Der nordhemisphärische Hintergrund besteht neben einem geringen stratosphärischen Anteil vor allem aus dem photochemisch innerhalb der Troposphäre gebildeten Ozon aus den Emissionen der Ozonvorläuferstoffe in Nordamerika, Asien und Europa. Die Ozonbeiträge aus diesen Kontinenten sowie die Entwicklung der Emis-

sionen der Ozonvorläuferstoffe sind noch mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Möglicherweise wird die Abnahme der Emissionen in Europa und Nordamerika durch die steigenden Emissionen in Asien kompensiert oder sogar überkompensiert.

4. Gibt es einen Ozontrend?

Für die Wahl, welche Maßnahmen zur Emissionsminderung der Ozon-Vorläufersubstanzen zu ergreifenden sind, ist neben den Ozonwetterlagen (Ozonepisoden), die als kurzfristige Einzelereignisse grundsätzlich unabhängig von langfristigen Entwicklungen sind, die Betrachtung des Trend der mittleren sowie der Spitzenkonzentrationen entscheidend.

In Deutschland messen derzeit rund 308 Bodenstationen die Ozonkonzentrationen. Die Stationen gehören zum größten Teil zu den Messnetzen der Bundesländer. Das UBA betreibt zur Zeit 13 Ozon-Messstationen.

Im Zeitraum zwischen 1990 und 2004 haben in Deutschland - in Europa zwischen 1990 und 2000 – die hohen Ozonwerte deutlich abgenommen, eine Ausnahme bildete der Sommer 2003. Im Gegensatz zu der erfreulichen Entwicklung der Spitzenwerte haben die Jahresmittelwerte im gleichen Zeitraum zugenommen. Der generelle Rückgang der Spitzenwerte in Deutschland ist im Wesentlichen auf die drastische Emissionsminderung der Ozonvorläuferstoffe sowohl in Deutschland (zwischen 1990 und 2003 bei NO_x um 50 % und NMVOC um 59 %) als auch in den europäischen Nachbarstaaten zurück zu führen und weniger auf meteorologische Einflüsse.

In den kommenden Jahren wird sich aller Wahrscheinlichkeit nach der Rückgang der Spitzenwerte fortsetzen, während die Jahresmittelwerte ansteigen. Dies zeigen Modellrechnungen für das Jahr 2010, in denen die Ozonbildung auf dem Computer simuliert wurde, ähnlich wie das Wetter in numerischen Wettervorhersagemodellen simuliert wird. Bei diesen Rechnungen wurde angenommen, dass die Emissionen der Ozonvorläuferstoffe wegen der bereits beschlossenen gesetzlichen Maßnahmen auch in den kommenden Jahren zurückgehen werden. Bei mittleren meteorologischen Verhältnissen ist in eher ländlichen Gebieten mit einer geringfügigen Abnahme der Ozonmittelwerte zu rechnen, in eher städtisch geprägten Regionen wird die mittlere Ozonkonzentration vermutlich zunehmen.

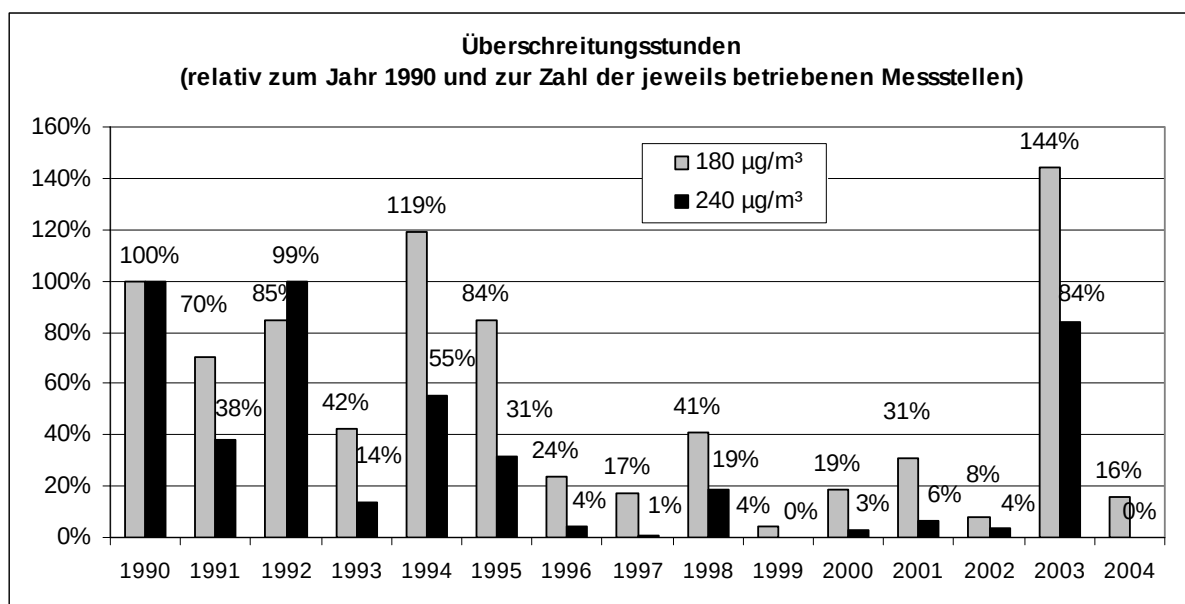
Dem Rückgang der Spitzenwerte sind meteorologisch bedingte Schwankungen überlagert, wie dies in der folgenden Grafik beispielhaft für die Überschreitungsstunden von zwei Schwellenwerten (180 µg/m³ und 240 µg/m³, 1h-Mittelwerte) dargestellt ist. Dabei sind die Überschreitungsstunden über ganz Deutschland summiert und dann durch die Zahl der betriebenen Messstellen geteilt worden (mittlere Anzahl der Überschreitungsstunden pro Messstelle). Diese relative Überschreitungshäufigkeit ist dann auf das Jahr 1990 (entspricht 100 %) normiert.

Im Sommer 2003 herrschten langanhaltend - 2 Wochen - sehr günstige meteorologische Bedingungen, für die Ozonbildung und Ozonanreicherung, so dass sich ein hoher Sockel an Ozon bilden konnte, auf den sich die Spitzen mit Schwellenwertüberschreitungen aufsetzten. **Eine solch außergewöhnliche Wettersituation (siehe [Tabelle 2](#)) wurde seit 1990 nicht beobachtet, so dass der Ozonsommer 2003 diesbezüglich eine Sonderrolle einnimmt.** We-

gen eines, außergewöhnlichen Sommers im Jahr 2003 kann allerdings nicht von einer Trendwende bei den Schwellenwertüberschreitungen gesprochen werden. Dies hat sich im Jahr 2004 bestätigt, das die drittniedrigste Zahl normierter Überschreitungsstunden seit Beginn der Messungen aufwies.

Die Frage, welchen Einfluss meteorologische Bedingungen im Vergleich mit den Emissionsminderungen von Vorläufersubstanzen auf die Ozonkonzentrationen haben, wurde ebenfalls in Modellrechnungen untersucht. Dazu wurden die Ozonkonzentrationen der Jahre 1995 bis 2003 einerseits unter der Annahme berechnet, dass die Emissionen Jahr für Jahr gleich bleiben (Szenario „Nur das Wetter ändert sich von Jahr zu Jahr“), andererseits unter der Annahme, dass das Wetter sich jedes Jahr wiederholt (Szenario „Nur die Emissionen ändern sich von Jahr zu Jahr“). Dabei bestätigte sich, dass im Unterschied zu Schadstoffen wie SO₂ und NO₂, deren Konzentrationen übers Jahr vor allem von den Emissionen abhängen, die Ozonkonzentrationen außerordentlich empfindlich auf die Wetterbedingungen reagieren. Demzufolge sind die hohen Konzentrationen des Jahres 2003 allein durch die außergewöhnliche Meteorologie zu erklären. Das bedeutet auch, dass ein ähnlich heißer Sommer in den Jahren um 2010 trotz der dann weiter geminderten Emissionen zu höheren Ozonkonzentrationen führen würde, als ein gewöhnlicher Sommer bei den gegenwärtigen Emissionen.

Grafik 2: Zahl der Überschreitungsstunden bestimmter Ozonkonzentrationen



Quelle: Umweltbundesamt

Auch die höchsten in Deutschland gemessenen Ozonwerte eines jeden Messjahres weisen im Zeitraum von 1984 bis 2004 einen – wenn auch im Vergleich zur obigen Grafik schwächeren – abnehmenden Trend auf. Obwohl Maximalwerte für eine statistisch gesicherte Bewertung problematisch sind, so ist es doch bemerkenswert, dass diese Spitzenwerte überwiegend an Messstationen beobachtet wurden, die in der Umgebung von petrochemischen Anlagen installiert sind. Dies unterstreicht die Bedeutung der NMVOC-Emissionen für die Ozonbildung.

Der gleichzeitig mit der Verringerung der Ozonspitzenwerte beobachtete Trend zunehmender mittlerer Konzentrationen (zum Beispiel der Jahresmittelwerte, siehe Tabelle 2) ist wahr-

scheinlich auf den wachsenden Beitrag aus dem nordhemisphärischen Hintergrund durch ferntransportiertes Ozon zurückzuführen.

Tabelle 2: Zahl der Sommertage und Ozon-Konzentrationen in Deutschland von 1984 bis 2004

Jahr	Zahl der Sommertage ⁶⁾ Region Küste ¹⁾	Zahl der Sommertage ⁶⁾ Region Nordhälfte ²⁾	Zahl der Sommertage ⁶⁾ Region Südhälfte ³⁾	Jahresmittelwert der Ozon- Konzentration ⁴⁾ µg/m ³	1h-Maximum ⁵⁾ in µg/m ³ (Werte vor 1990 unsicher)
1984	9	18	31	36	290
1985	7	20	44	38	351
1986	10	31	52	38	308
1987	5	15	40	36	278
1988	2	21	46	39	292
1989	17	40	58	41	276
1990	12	32	50	41	323
1991	9	32	61	41	305
1992	12	47	63	43	320
1993	4	26	50	41	301
1994	25	39	57	45	293
1995	30	49	55	44	293
1996	17	22	41	43	271
1997	26	40	57	44	253
1998	6	22	50	45	287
1999	17	47*	58	48	220
2000	8	31	54	44	253
2001	10	32	55	44	299
2002	20	34	51	46	292
2003	25	57	96	53	334
2004	14	30	52	47	254

¹⁾ Station Schleswig

²⁾ Mittel der Stationen Essen, Hannover, Berlin, Kassel

³⁾ Mittel der Stationen Frankfurt/Main, Nürnberg, München, Karlsruhe, Freiburg

⁴⁾ Mittel aller deutschen Stationen

⁵⁾ Höchster Messwert aller deutschen Stationen

⁶⁾ Tage mit Maximaltemperatur über 25 °C

• * ohne Station Essen

Quelle: Umweltbundesamt

Exkurs: Ozon wurde bereits im 19. Jahrhundert gemessen, zum Beispiel in Montsouris bei Paris über einen Zeitraum von drei Jahrzehnten. Langjährige Messungen weisen darauf hin, dass sich der Jahresmittelwert der Ozonkonzentration an ländlichen Messstationen gegenüber der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts mehr als verdoppelt hat. Dies ist wegen der Zunahme der Emissionen von NO_x und NMVOC um ein Vielfaches seit dieser Zeit plausibel, obwohl ein Vergleich dieser historischen mit heutigen Messwerten nur eingeschränkt möglich ist.

Angesichts der erheblichen Zunahme der Emissionen zwischen dem Ende des Zweiten Weltkrieges und den 80er-Jahren sollte man erwarten, dass der stärkste Anstieg der Ozonbelastung während dieser Zeit stattgefunden habe. Leider gibt es nur sehr wenige durchgehende Messungen aus dieser Zeit. Die langjährigen Ballonmessungen am Meteorologischen Observatorium Hohenpeißenberg des Deutschen Wetterdienstes (975 Meter über dem Meeresspiegel) zeigen zwischen 1967 und 1997 insgesamt einen Ozonanstieg in der freien Troposphäre (2 bis 8 km) von etwa 14 % pro Dekade, wobei der Anstieg zwischen 1967 und dem Beginn der 80er-Jahre am stärksten war. Anders als in der freien Troposphäre haben die mittleren bodennahen Ozonkonzentrationen am Hohenpeißenberg von 1971 bis 1997 von ca. 30 ppb² auf ca. 40 ppb² gleichmäßig zugenommen.

Der stärkste Anstieg der mittleren Jahreswerte in Deutschland wurde auf der Zugspitze mit etwa 15 % pro Dekade zwischen 1978 und 1995 beobachtet, wobei auch hier die stärkste Zunahme bis Anfang der 1980er-Jahre auftrat. Die Zugspitze spiegelt weitgehend die Verhältnisse in der unteren freien Troposphäre wider.

5. Wirkungen auf den Menschen

Das für den Sommersmog typische Photooxidantengemisch enthält eine Vielzahl von Reizstoffen, allerdings nicht in konstanter Zusammensetzung. Die starke Reizwirkung des „photochemischen Smogs“ auf die Augen und Schleimhäute der oberen Atemwege (Nasen-Rachen-Raum) kommt nur zu einem geringen Teil durch Ozon zustande, hauptsächlich wird sie durch andere Photooxidantien ausgelöst, die als Nebenprodukt der atmosphärischen Ozonbildung entstehen, zum Beispiel Peroxiacetylnitrat (PAN), Peroxibenzoylnitrat (PBN), Acrolein und Formaldehyd. Diese Substanzen sind – im Gegensatz zu Ozon – gut wasserlöslich. Im Hinblick auf ihre gesundheitlichen Wirkungen sind sie allerdings weniger bedeutend als Ozon, da sie in geringeren Konzentrationen auftreten und weniger toxisch (giftig) sind als Ozon.

Ozon selbst reagiert durch seine hohe Reaktionsbereitschaft fast ausschließlich am Auftreffort, das heißt an den Oberflächen des Atemtraktes. Durch seine geringe Wasserlöslichkeit wird es in viel geringerem Maße als beispielsweise Schwefeldioxid in den oberen Atemwegen zurückgehalten. Folglich dringt Ozon viel weiter in die Lunge ein. In der Lungenperipherie trifft es auf Gewebe, das nicht durch eine Schleimschicht geschützt ist. Hier kann es zur Schä-

² ppb = parts per billion (ein Milliardstel des Volumens oder Gewichtes), 1 ppb Ozon entspricht rund 2 µg/m³ Ozon

Schädigung der Zellmembran und entzündlichen Prozessen kommen. Die dabei entstehenden Substanzen können im Körper transportiert werden und Wirkungen auch an Stellen hervorgerufen, die keinen unmittelbaren Kontakt mit Ozon haben.

Wirkungen an den Atemwegen:

Veränderungen von Lungenfunktionsparametern (zum Beispiel Abnahme des forcierten Ausatemvolumens, Zunahme des Widerstands in den Atemwegen) bei Schulkindern und Erwachsenen wurden ab 160 bis 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nach reger körperlicher Aktivität im Freien; in klinischen Expositionsversuchen ab 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bei sechsstündiger, beziehungsweise ab 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bei ein- bis dreistündiger Exposition mit intermittierender (zwischen Anstrengung und Ruhe wechselnder) körperlicher Aktivität beobachtet. Einige epidemiologische Studien zeigten bereits bei Ozon-Konzentrationen von 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Einschränkungen der Lungenfunktion, wobei aber neben Ozon sehr wahrscheinlich noch andere Schadstoffe eine Rolle spielen. Diese funktionellen Veränderungen und Beeinträchtigungen normalisieren sich im allgemeinen weitgehend im Laufe von ein bis drei Stunden nach Expositionsende. Bei besonders starken Belastungen lassen sich allerdings geringe Abweichungen noch nach 24 bis 48 Stunden feststellen. Bei Expositionen an mehreren Tagen hintereinander werden die Wirkungen immer schwächer.

Entzündliche Reaktionen des Lungengewebes traten ab 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bei 6,6-stündiger Exposition mit intermittierender körperlicher Belastung auf. Diese Veränderungen bildeten sich - im Gegensatz zu den Veränderungen bei den Lungenfunktionswerten - bei Expositionen an aufeinanderfolgenden Tagen nur teilweise zurück.

Ozon selbst ist kein Allergen. Durch von der Reizwirkung im peripheren Lungengewebe ausgelöste entzündliche Prozesse können möglicherweise gleichzeitig anwesende chemische oder biologische Allergene tiefer in das geschädigte Gewebe eindringen, was eine Allergisierung begünstigen könnte.

Bei besonders hoher chronischer Belastung kam es in Tierversuchen zu irreversiblen Veränderungen mit vermehrter Bindegewebsbildung in der Lunge. Ob derartige Veränderungen, die einem „vorzeitigen Altern“ der Lunge entsprechen, auch beim Menschen unter umweltrelevanten Bedingungen auftreten können, ist umstritten. Epidemiologische Studien schienen diese Vermutung zunächst zu bestätigen. Da diese Befunde aber bei Nachuntersuchungen nicht mehr nachweisbar waren, ist keine abschließende Beurteilung möglich.

Mortalität:

Eine Auswertung europäischer Zeitreihen-Studien ergab einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen der Höhe der Ozon-Konzentration (8-Stunden-Mittelwert) und der täglichen Gesamt-Mortalität mit einem Anstieg um 0,3 % und bei der kardiovaskulären – Todesfälle in Folge von Herz-Kreislauferkrankungen - Mortalität um 0,4 % pro 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Ozon. In der größten zur Verfügung stehenden Kohorten-Studie aus den USA (Kohorte der American Cancer Society ACS) wurde aber kein Zusammenhang zwischen Mortalität und Ozon gefunden.

Kanzerogenität:

In Zellkulturen wirkt Ozon sowohl bei Bakterien und Pflanzen als auch bei Säugetierzellen eindeutig gentoxisch – das bedeutet erbgutverändernd. Auch nach der Ozonexposition von Tieren ist ein gentoxisches Potenzial nachweisbar, allerdings nicht so durchgängig wie in der Zellkultur; darüber hinaus kann Ozon infolge seiner starken Reizwirkung kokanzerogen wirken, das heißt, bei Anwesenheit von Kanzerogenen die Krebsentstehung fördern.

Eine Studie im Rahmen des US-amerikanischen „National Toxicology Program“ (NTP) ergab Hinweise auf kanzerogene Wirkungen von Ozon im Tierversuch. In der Studie wurden Ratten und Mäuse in Gruppen zu je 50 Tieren zwei Jahre lang oder über die Lebenszeit der Tiere sechs Stunden täglich an fünf Tagen pro Woche Ozon ausgesetzt. Als Expositionskonzentrationen wurden 0,12 ppm (240 µg/m³), 0,5 ppm (1.000 µg/m³) als mittlere Konzentration und 1,0 ppm (2.000 µg/m³) als höchste Konzentration, bei der Versuchstiere lange genug überleben können, gewählt.

Die Ergebnisse der Zwei-Jahres-Studie bei weiblichen Mäusen belegen eine statistisch signifikant erhöhte Bildung von Lungentumoren bei 1 ppm, aber auch eine Verminderung der Lebertumore, so dass sich bei der Auswertung der Gesamt-Tumorhäufigkeit bei 1 ppm ein signifikanter Rückgang ergab. Bei den männlichen Mäusen wurden bei 0,5 und 1 ppm sowohl in der Zwei-Jahres-Studie als auch in der Lebenszeitstudie eine geringfügige Erhöhung der Lungentumorrate festgestellt, die aber nicht signifikant war. Die Gesamt-Tumorrate war nicht erhöht. Bei den Versuchen mit Ratten trat keine erhöhte Tumorrate unter der gewählten Ozonexposition auf.

Betrachtet man die im NTP-Bericht beschriebenen Ergebnisse aller Versuche mit Mäusen zusammen, so ist eine klare Dosis-Wirkungs-Beziehung nicht zu erkennen. Die Befunde deuten aber darauf hin, dass für die Tumorbildung an der Lunge eine Wirkungsschwelle existiert.

In der oben erwähnten Kohortenstudie der American Cancer Society wurde kein Zusammenhang zwischen Ozonkonzentration und Lungenkrebs gefunden.

Sonstige Wirkungen:

Subjektive Befindlichkeitsstörungen wie Tränenreiz (verursacht durch Begleitstoffe des Ozons), Reizung der Atemwege, Husten, Kopfschmerzen und Atembeschwerden werden ab 200 µg/m³ genannt. Die akuten Reizerscheinungen an Augen und Schleimhäuten sind von der körperlichen Aktivität weitgehend unabhängig. Ihr Ausmaß wird primär durch die Aufenthaltsdauer in der ozonbelasteten Atmosphäre bestimmt.

Empfindliche Gruppen:

Im Gegensatz zum Wintersmog (hier sind insbesondere Asthmakranke betroffen) gibt es bei Ozon keine genau eingrenzbare Risikogruppe. Die individuelle Empfindlichkeit gegenüber Ozon ist sehr unterschiedlich ausgeprägt. Es ist davon auszugehen, dass etwa 10 bis 15 % der Bevölkerung (quer durch alle Bevölkerungsgruppen) besonders empfindlich auf Ozon reagieren. Gesundheitliche Beeinträchtigungen sind umso eher zu erwarten,

- je höher die Ozon-Konzentration der inhalierten Luft ist,
- je länger die Exposition dauert, also je länger man dem Ozon ausgesetzt ist, und
- je höher das Atemminutenvolumen (Luftvolumen, das während einer Minute ein- oder ausgeatmet wird) während der Exposition ist.

Körperliche Aktivität oder Anstrengung steigern das Atemminutenvolumen. Durch Ozon besonders betroffen sind deshalb alle diejenigen Personen, die während Sommersmog-Episoden bei Spiel, Sport oder Arbeit häufig längere, anstrengende körperliche Tätigkeiten im Freien ausüben. Darüber hinaus müssen aus Vorsorgegründen grundsätzlich alle Säuglinge und Kleinkinder als Risikogruppe eingestuft werden, da sie, bezogen auf ihre Körpergröße, ein relativ erhöhtes Atemminutenvolumen haben. Zudem ist ihr Immunsystem noch nicht vollständig ausgereift, eine zusätzliche Reizung durch Ozon könnte deshalb die Anfälligkeit gegenüber Infektionen des Atemtraktes erhöhen.

Nicht abschließend geklärt ist die Frage, ob Asthmatiker als Gruppe empfindlicher auf Ozon reagieren als Nicht-Asthmatiker: Einerseits wird in der Fachliteratur beschrieben, dass Asthmatiker oder Patienten mit chronischen Atemwegserkrankungen nicht grundsätzlich stärker reagieren als andere Personen. Auf der anderen Seite wird teilweise über stärkere Reaktionen von Kindern mit Asthma berichtet.

Empfehlungen:

Um gesundheitliche Beeinträchtigungen durch hohe Ozon-Konzentrationen zu vermeiden, sollte man folgende Regeln beachten:

- **Da hohe Ozon-Konzentrationen üblicherweise bei hohen Temperaturen auftreten, kann als Faustregel gelten: Vernünftiges Verhalten im Hinblick auf hohe Temperaturen ist auch vernünftig im Hinblick auf Ozon.**
- **Längere körperliche Anstrengungen sollten möglichst nicht in die Mittags- und Nachmittagsstunden gelegt werden, falls sie auch zu anderen Tageszeiten möglich sind.**

Bei schönem Wetter gelangt durch verstärktes Lüften mehr Ozon in die Innenräume. Zwar wird das Ozon dort binnen weniger Stunden abgebaut. Doch kann das Ozon mit organischen Verbindungen aus im Raum befindlichen Materialien (zum Beispiel aus Tapeten und Anstrichen) reagieren. Das ist jedoch abhängig von den Bau- und Ausstattungsmaterialien in den Räumen. Messungen des UBA haben gezeigt, dass bei diesen Reaktionen weitere, potenziell gesundheitsschädliche Luftschadstoffe wie zum Beispiel Formaldehyd entstehen.

Bei hohen Ozon-Konzentrationen sollte daher vornehmlich in den Morgen- und Abendstunden stärker gelüftet werden.

6. Wirkungen auf Pflanzen

Ozon hat eine schädigende Wirkung auf Pflanzen und ist ein Stressfaktor. Neben direkten Wirkungen wie Schädigungen von Blättern, Wachstumshemmung und Ertragsverlusten gibt es indirekte Wirkungen, die sich in Änderungen der Zusammensetzung von Pflanzengemeinschaften und sogar in der Veränderung ganzer Ökosysteme äußern können.

Die Reaktionen einer Pflanze auf eine Ozonbelastung beruhen auf einer Folge von biochemischen und physiologischen Prozessen, die schließlich zu einer sichtbaren Schädigung führen können. Entscheidend für die Ozonwirkung und die Ausprägung von Blattschäden ist der Ozonfluss über die Spaltöffnungen in die Pflanze. Die Aufnahme durch die Blattoberfläche ist vernachlässigbar.

Akute Wirkungen

Akute Wirkungen treten während oder meist nach kurzen Belastungszeiten mit hohen Ozonkonzentrationen und mit hohen Aufnahmeraten von Ozon durch die Pflanze auf. Sie äußern sich vor allem in offen sichtbaren Symptomen wie punktförmigen oder flächenhaften Gewebeerstörungen (Nekrosen) oder Verfärbungen (Chlorosen).

Chronische Wirkungen

Länger anhaltende Einwirkungen von vergleichsweise niedrigen Ozonkonzentrationen führen zu chronischen Wirkungen. Hierzu gehören ebenfalls offen sichtbare Symptome, die sich zum Beispiel in Form von Veränderungen des Wuchses (Zwergwuchs, Blattdeformation) jedoch häufiger in Form von Vergilbungen (Chlorosen) einzelner Blatt- oder Nadelbereiche oder ganzer Organe äußern. Der Verlauf dieser Vorgänge entspricht oft natürlichen Alterungsprozessen der Pflanze, so dass man auch von verfrühter und beschleunigter Alterung (Seneszenz) spricht.

Latente Wirkungen

Als dritte Art von Ozonwirkungen werden latente Wirkungen unterschieden. Hierunter werden Veränderungen gezählt, die sich nicht in Form von offen erkennbaren gut charakterisierten Symptomen äußern. Sie umfassen Veränderungen biochemischer und physiologischer Prozesse oder zellulärer und subzellulärer Strukturen (beispielsweise der Störung der Photosynthese, der Bildung von „falschen“ Stoffwechsel(zwischen)produkten sowie Membranveränderungen) und können zu Wachstums- und Ertragsreduktionen führen. Häufig treten die Folgen dieser Reaktionen erst bei zusätzlicher Anwesenheit oder Einwirkung anderer Stressfaktoren auf (Trockenheit, Insektenbefall) und vermindern die Leistung der Pflanze.

Biochemische Grundlagen der Wirkungen

Ozon erzeugt unter pflanzeninternen Bedingungen hochreaktive und aggressive Radikalmoleküle. Diese und das ursprüngliche Ozon können mit den Biomembranen und Enzymen

in den Pflanzenzellen reagieren. Die Folgen dieser Reaktion sind unter anderem veränderte Membraneigenschaften, Störung der räumlichen Teilung in der Zelle, Störungen und Veränderungen von Enzymen sowie Zerstörung von Photosynthesepigmenten.

Nicht jedes Ozonmolekül kann seine zerstörerische Kraft voll entwickeln. Die Pflanzen haben Entgiftungsmechanismen entwickelt, die die Radikale abfangen können. Diese Mechanismen spielen auch unter anderen Stressbedingungen wie Hitze, Trockenheit, Frost, Schädlingsbefall, Schwermetallbelastung oder Belastung durch andere Gase eine große Rolle. Die Schutzmechanismen funktionieren nur bis zu einer gewissen Belastung, danach kommt es zu irreversiblen Schäden. Damit wird leicht verständlich, dass eine Kombination von Stressfaktoren für eine Pflanze eine größere Wirkung hat, als die Wirkung derselben Dosis nur eines Stressfaktors. Das heißt, dass eine Pflanze durch Ozonstress empfindlicher gegenüber anderen Stressoren wird und umgekehrt.

Schutzwert für Pflanzen

Die bisherigen Ausführungen machen deutlich, dass neben der Gesundheit des Menschen auch Pflanzen vor den schädlichen Ozonwirkungen zu schützen sind. Dies gilt sowohl aus ökonomischen (beispielsweise wegen Ertragsverlusten) als auch aus ethischen Gründen (etwa Veränderung der Biodiversität). Zudem sind ungeschädigte Ökosysteme ohne zusätzliche Ozonbelastungen stabiler gegenüber anderen Stressfaktoren wie den Wirkungen durch Stickstoffeinträge oder Klimaänderungen.

Die Bewertungsbasis für das Gefährdungspotenzial der Ozonwirkung auf Pflanzen bilden die so genannten Critical Levels (Kritische Luftschadstoffkonzentrationen), die im Rahmen der UN-ECE-Konvention über weiträumige, grenzüberschreitende Luftverschmutzung festgelegt wurden. Der methodische Ansatz basiert auf Forschungsergebnissen zu Dosis-Wirkungs-Beziehungen: Die Analyse von Begasungsversuchen an unterschiedlichen Pflanzenarten ergab einen hohen Zusammenhang von Schädigungen oder Biomasseverlust sobald die summierten Überschreitung eines Stundenmittelwertes 40 ppb erreichen. Daraus wurde der so genannte AOT40-Wert (accumulated exposure over a threshold of 40 ppb) abgeleitet. AOT40 (ausgedrückt in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -Stunden) bedeutet die Summe der Differenz zwischen Konzentrationen über $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (= 40 ppb) als 1-Stunden-Mittelwert und $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ während einer gegebenen Zeitspanne unter ausschließlicher Verwendung der 1-Stunden-Mittelwerte zwischen 8 Uhr morgens und 20 Uhr abends MEZ an jedem Tag).

7. Grenz-, Ziel- und Schwellenwerte

Da Ozon nicht direkt emittiert wird (=> [Abschnitt 2](#)), sondern aus anderen Schadstoffen unter Einfluss von Sonnenlicht gebildet wird, gibt es für Ozon keine Emissionsgrenzwerte.

Dem gegenüber werden die Emissionen der Vorläufersubstanzen NO_x und NMVOC mit einer Vielzahl von Grenzwerten geregelt (zum Beispiel Grenzwerte für die Zulassung von Pkw und Lkw, Verordnungen über Verdunstungsverluste beim Umfüllen und Lagern oder beim Betanken mit Ottokraftstoffen, Qualitätsanforderungen an Kraftstoffe sowie für genehmigungsbedürftige Industrieanlagen durch die TA Luft, Festlegung von Nationalen Emissionshöchstwerten (EU-National Emissions Ceilings [NEC])).

Am 9. September 2003 wurde die 3. EU-Tochterrichtlinie zur Rahmenrichtlinie Luftqualität³ verabschiedet. Zusammen mit der NEC-Richtlinie 2001/81/EG (=> [Abschnitt 8](#)) wird sie durch die 33. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz⁴ in deutsches Recht umgesetzt. Diese Richtlinie enthält Zielwerte, Langfristziele, eine Informationsschwelle und eine Alarmschwelle für bodennahes Ozon.

Zielwerte:

Unter „Zielwert“ versteht die Richtlinie einen Wert, der mit dem Ziel festgelegt wird, schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und/oder die Umwelt insgesamt langfristig zu vermeiden, und der – so weit wie möglich – in einem bestimmten Zeitraum erreicht werden muss. Die Zielwerte betragen:

Art des Zielwertes	Parameter	Zielwert für 2010
Schutz der menschlichen Gesundheit	Höchster 8-Stunden-Mittelwert eines Tages	120 µg/m ³ ; darf an höchstens 25 Tagen pro Kalenderjahr überschritten werden, gemittelt über 3 Jahre
Schutz der Vegetation	AOT40, berechnet aus 1-Stunden-Mittelwerten von Mai bis Juli	18.000 µg/m ³ .h gemittelt über 5 Jahre

Zur Definition des AOT40 vgl. => [Kapitel 6 Abschnitt „Schutzwert für Pflanzen“](#).

³Richtlinie 2002/3/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Februar 2002 über den Ozongehalt der Luft

⁴Dreiunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Verminderung von Sommersmog, Versauerung und Nährstoffeinträgen - 33. BImSchV)

Langfristziele:

Unter „Langfristziel“ versteht die Richtlinie eine Ozon-Konzentration in der Luft, unterhalb derer direkte schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und/oder die Umwelt insgesamt nach den derzeitigen wissenschaftlichen Erkenntnissen unwahrscheinlich sind. Dieses Ziel ist langfristig zu erreichen, um die menschliche Gesundheit und die Umwelt wirksam zu schützen, es sei denn, dies ist mit Maßnahmen, die in einem angemessenen Verhältnis zum angestrebten Erfolg stehen, nicht erreichbar. Die Langfristziele (Zeithorizont: 2020) betragen:

Art des Zielwertes (langfristig)	Parameter	langfristiges Ziel
Schutz der menschlichen Gesundheit	Höchster 8-Stunden-Mittelwert eines Tages während eines Kalenderjahres	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Schutz der Vegetation	AOT40, berechnet aus 1-Stunden-Mittelwerten von Mai bis Juli	6.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$

Informationsschwelle

Mit „Informationsschwelle“ ist in der Richtlinie ein Wert definiert, bei dessen Überschreitung bei kurzfristiger Exposition ein Risiko für die menschliche Gesundheit für besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen besteht und bei dem aktuelle Informationen erforderlich sind. Der Informationsschwellenwert liegt bei 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1-Stunden-Mittelwert).

Alarmschwelle

„Alarmschwelle“ im Sinn der Richtlinie ist ein Wert, bei dessen Überschreitung bei kurzfristiger Exposition ein Gesundheitsrisiko für die Gesamtbevölkerung besteht und bei dem die Mitgliedstaaten umgehend die Bevölkerung warnen sowie kurzfristige Aktionspläne erarbeiten und in Kraft setzen müssen; die Alarmschwelle ist auf 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1-Stunden-Mittelwert) festgelegt. Eine Überschreitung der Alarmschwelle führt erst zu Maßnahmen, falls sie während drei aufeinander folgender Stunden gemessen oder vorhergesagt ist.

Die kurzfristigen Maßnahmen sind jedoch nur zu ergreifen, falls nach den örtlichen Gegebenheiten ein nennenswertes Potenzial zur Verringerung der Gesundheitsrisiken oder zur Reduzierung der Dauer oder des Ausmaßes einer Überschreitung besteht. Diesbezügliche Pläne können abgestufte kosteneffiziente Maßnahmen zur Kontrolle und, soweit erforderlich, zur Einschränkung oder Aussetzung bestimmter Tätigkeiten die zu Emissionen beitragen, die zur Überschreitung der Alarmschwelle führen, vorsehen. Dies gilt auch für den Kraftfahrzeugverkehr, den Betrieb von Industrieanlagen oder die Verwendung von Erzeugnissen.

In Deutschland besteht kein nennenswertes Emissionsminderungspotenzial für kurzfristige Maßnahmen zur Ozonminderung im Sinne der 3. Tochterrichtlinie (=> [Abschnitt 8](#)).

8. Maßnahmen

Um die Ozon-Konzentrationen spürbar zu reduzieren, ist eine großräumige und dauerhafte Verringerung der Emissionen beider Vorläufersubstanzen Stickstoffoxide (NO_x) und flüchtige organische Verbindungen (NMVOC) erforderlich. Würden nur die Emissionen einer der beiden Stoffgruppen um einige Prozent verringert, ist nicht mit einer entsprechenden Reduzierung der Ozonbelastung zu rechnen. Unter bestimmten Voraussetzungen kann es dann sogar zu einer Erhöhung der lokalen Ozonbelastung kommen (=> [Abschnitt 2](#)).

Zur Verringerung der sommerlichen Ozon-Konzentration bieten sich grundsätzlich zwei Strategien an: Erstens sind großräumig und langfristig - also während des gesamten Jahres und nicht nur während der Ozonepisoden - die Emissionen der Vorläufersubstanzen zu reduzieren. Die Reduktion muss nach Expertenschätzungen bei beiden Stoffgruppen etwa 50 % – bezogen auf die Emissionen der Jahres 2000 in Europa – betragen. Dann sind nach heutigem Kenntnisstand gesundheitsgefährdende Ozon-Konzentrationen in Deutschland weitgehend auszuschließen. Zweitens ist zu prüfen, ob knapp vor oder während der Ozonepisoden geeignete kurzfristig wirkende Maßnahmen ergänzend möglich und wirksam sind.

In der Diskussion über kurzfristige und regional begrenzte Maßnahmen stellt sich die entscheidende Frage: Inwieweit können regional begrenzte Maßnahmen (zum Beispiel regionale Fahrverbote für Pkw ohne Katalysator, regionale Geschwindigkeitsbeschränkungen für Pkw und Lkw auf Autobahnen) überhaupt dazu beitragen, die Belastungsspitzen in dieser Region zu senken? Dieser Beitrag ist grundsätzlich gering, weil die Vorläufersubstanzen – je nach Wetterlage – pro Tag mehrere hundert Kilometer auf dem Luftweg transportiert werden können. Emissionen tragen also weit von ihrem Entstehungsort entfernt zur Ozonbildung bei. Das belegen auch die regelmäßig hohen Ozonwerte in ländlichen Regionen und den Mittelgebirgen im Lee – der windabgewandten Seite – von Ballungsräumen, wo die eigenen anthropogenen Emissionen der Vorläufersubstanzen vor Ort relativ gering sind.

Untersuchungen haben bestätigt, dass kurzfristige Maßnahmen zur Verminderung der Ozonspitzen nicht regional, sondern überregional oder sogar länderübergreifend angelegt werden müssten. In Betracht kommen hierfür überregionale Geschwindigkeitsbeschränkungen und überregionale Fahrverbote.

Modellrechnungen, die Mitte der neunziger Jahre durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass eine bundesweite Geschwindigkeitsbeschränkung (mit intensiver Kontrolle) zu einer deutlichen Verringerung der gesamten NO_x-Emissionen, aber nur zu einer geringen Reduzierung der NMVOC-Emissionen führen würde. Die Wirkung einer Geschwindigkeitsbeschränkung hängt indessen von ihrer Durchsetzbarkeit und dem Grad ihrer Akzeptanz ab.

Eine unterstellte Befolungsrate von 80 % ergibt bei einer bundesweiten Geschwindigkeitsbeschränkung von 80 km/h (Pkw auf Bundesautobahnen) und 60 km/h (Lkw auf Bundesautobahnen, Pkw und Lkw auf sonstigen außerörtlichen Straßen) eine Minderung der Ozon-Spitzenwerte um höchstens fünf Prozent. Überregionale Fahrverbote sind ohne Ausnahmeregelungen für bestimmte Zwecke nicht durchsetzbar. Die Erfahrungen in den Jahren 1995 bis 1999 haben darüber hinaus gezeigt, dass die Überwa-

chung der Einhaltung selektiver Fahrverbote sehr aufwändig ist. Daher dürfte der tatsächliche Minderungseffekt noch deutlich niedriger ausfallen.

Ein nennenswertes Potenzial für kurzfristige Maßnahmen zur Minderung des bodennahen Ozons ist also nicht gegeben, so dass nur langfristig wirkende Maßnahmen Aussicht auf Erfolg haben können.

Ozon-Sofortprogramm

Unter Berücksichtigung dieser Erkenntnisse hat die Bundesregierung ein Sofortprogramm zur Verminderung der Ozonbelastung vorgelegt (Bundestagsdrucksache 14/3609 vom 26.5.2000), das aus einer Vielzahl von mittelfristig bis langfristig wirkenden Maßnahmen besteht. Diese setzen im Wesentlichen auf eine modernisierte und bessere Technik von Anlagen und Fahrzeugen sowie eine veränderte Zusammensetzung von verschiedenen lösemittelhaltigen Produkten.

Das Programm enthält als Maßnahmen im Verkehrsbereich:

- Weitere Spreizung der Kraftfahrzeugsteuer – das heißt Gewährung steuerlicher Anreize für schadstoffärmere Fahrzeuge – mit dem Ziel der schnelleren Erneuerung des Fahrzeugbestandes zur Verringerung der NO_x- und NMVOC-Emissionen durch die Erhöhung des Anteils von Pkw mit moderner Schadstoffminderungstechnik (Euro-Norm III oder IV) und Spreizung der Steuer für Nutzfahrzeuge unter Einbeziehung der Stufen Euro III, IV und V.
- Einführung einer emissionsbezogenen Kraftfahrzeugsteuer für leichte Nutzfahrzeuge (Kombination aus gewichts- und emissionsbezogener Besteuerung).
- Einführung einer emissionsbezogenen Kraftfahrzeugsteuer und einer Abgasuntersuchung für Motorräder.
- Weiterentwicklung der Lkw-Maut für Nutzfahrzeuge (Maut) mit emissionsabhängiger Komponente. Damit wird gleichzeitig die vorzeitige Einführung der Entstickungstechnik bei schweren Nutzfahrzeugen gefördert die zur wirksamen Emissionsminderung von Stickstoffoxiden beiträgt. Nach dem Gesetz zur Einführung von streckenbezogenen Gebühren für die Benutzung von Bundesautobahnen mit schweren Nutzfahrzeugen vom 5. April 2002 (BGBl. I S. 1234) bestimmt sich die geschuldete Maut unter anderem nach der Emissionsklasse gemäß § 48 in Verbindung mit Anlage XIV der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung. Die Lkw-Maut sollte allerdings nicht nur auf Autobahnen beschränkt bleiben und auch Fahrzeuge unter 12 Tonnen zulässigem Gesamtgewicht einbeziehen.
- Initiative zur EU-weiten Einführung des Katalysators zur Entstickung oder einer vergleichbaren Technik für mit Dieselmotoren betriebene Pkw und leichte Nutzfahrzeuge.
- Förderung des Öffentlichen-Personen-Nah-Verkehrs (ÖPNV); unter anderem durch eine Reform der ÖPNV-Finanzierung, moderne Informations- und Kommunikationstechnologien, verbessertes Verkehrsmanagement, Modernisierung der Fahrzeugflotte, transparente und vereinfachte Preissysteme.
- Förderung des Gütertransports mit Schiff und Bahn (unter anderem durch integrierte Bundes-Verkehrswegeplanung, Förderung von Terminals für den kombinierten Verkehr, Straßennutzungsgebühren (s.o.)).

- Weitergehende Minderung der NMVOC-Emissionen beim Umfüllen und Lagern von Ottokraftstoffen, beim Betanken von Kraftfahrzeugen durch verbesserte Lager- und Umfülltechnik sowie einem höheren Wirkungsgrad von Gasrückführungssystemen, den so genannten Saugrüsseln, die bisher nicht so zuverlässig funktioniert haben, wie sie es sollten. Hierzu ist am 6. Mai 2002 (BGBl. I S. 1566) die Verordnung zur Begrenzung der Kohlenwasserstoffemissionen bei der Betankung von Kraftfahrzeugen – 21. BImSchV – geändert worden. Durch die kontinuierliche Einführung von automatischen Überwachungssystemen für die „Saugrüssel“ ab dem 1. April 2003 soll deren einwandfreie Funktion gewährleistet werden.

Grundsätzlich ist darüber hinaus in der Verkehrspolitik eine Verminderung der Fahrleistung sowie eine Verlagerung auf umweltfreundliche Verkehrsträger (Bahn, Bus, Fahrrad, zu Fuß gehen) anzustreben. Dies setzt umfangreiche Maßnahmen voraus, die hier nicht im einzelnen dargestellt werden sollen. Ein zentraler Punkt ist jedoch, dass die heutigen Preise sowohl für den Personen- als auch für den Gütertransport auf der Straße nicht den gesamtwirtschaftlichen Kosten einschließlich der Umwelt- und Gesundheitsbelastung durch den Straßenverkehr entsprechen. Zukünftige Transportpreise müssen auch die verkehrsbedingten ökologischen Belastungen, ein Teil der so genannten externen Kosten, widerspiegeln.

Mit der Richtlinie 2002/88/EG zur Änderung der Richtlinie 97/68/EG zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Maßnahmen zur Bekämpfung der Emission von gasförmigen Schadstoffen und luftverunreinigenden Partikeln aus Verbrennungsmotoren für mobile Maschinen und Geräte gibt es eine europaweit geltende Abgasrichtlinie, mit der die Limitierung der Schadstoffemissionen aus kleinen Benzinmotoren vorgesehen ist. Diese Gesetzgebung, deren Grenzwerte schrittweise eingeführt werden, wird insbesondere Emissionsminderungen im Bereich der Kohlenwasserstoffe zur Folge haben.

Seit Oktober des Jahres 2003 besteht zudem ein gemeinsamer Standpunkt des Europäischen Rates und des Europäischen Parlamentes zur Limitierung der Emissionen der Mobilien Maschinen und Geräte. In die Weiterentwicklung der Richtlinie 97/68/EG sind erstmals die Bereiche Diesellokomotiven, Binnenschiffe und mobile Dieselmotoren aufgenommen worden. Die Grenzwerte wurden mit Ausnahme der Binnenschiffe zweistufig festgelegt.

Da inzwischen weit über die Hälfte der NMVOC-Emissionen aus dem Bereich der Lösemittelverwendung kommt, sind hier besondere Maßnahmen zur Emissionsminderung erforderlich. Durch die nachfolgenden, im Sofortprogramm genannten Maßnahmen sind in diesem Sektor mittel- und langfristig erhebliche Verminderungen möglich:

- Initiative innerhalb der EU zur Kennzeichnung und Begrenzung des Lösemittelgehaltes in Produkten, die zum Beispiel im Handwerk oder in Kleinanlagen (soweit nicht bereits von der Lösemittelrichtlinie erfasst) eingesetzt werden.
- Verbesserung der Aus- und Fortbildung im lösemittelverwendenden Gewerbe (z.B. Maler, Lackierer) zur Förderung der Verwendung lösemittelarmer oder lösemittelfreier Produkte.

Mit in Kraft Treten der 31. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen bei der Verwendung organischer Lösemittel in bestimmten Anlagen (31. BImSchV), die auf der EG-Lösemittelrichtlinie (1999/13/EC vom 11. März 1999) basiert, wurde eine wichtige Maßnahme bereits verwirklicht. Die 31. BImSchV schreibt über die EG-Vorschriften hinaus-

gehende Anforderungen fest. Wesentliches Ziel der Verordnung ist es, den jährlichen VOC-Ausstoß aus den wichtigsten industriellen Anwendungsbereichen von organischen Lösemitteln zu senken. Eine Vielzahl von kleinen, nicht genehmigungsbedürftigen Betrieben fällt in den Geltungsbereich dieser neuen Verordnung. Insbesondere für diese Unternehmen enthält die Verordnung mit dem vereinfachten Reduzierungsplan ein neues Instrument im deutschen Luftreinhaltegesetz. Zur Information der Betriebe und zur Unterstützung bei der Erfüllung der Anforderungen der 31. BImSchV hat das Umweltbundesamt ein Internet-Informationsportal eingerichtet, das unter der Adresse <http://www.umweltbundesamt.de/voc> zu erreichen ist. Über dieses Portal für die Lösemittel verwendenden Unternehmen lassen sich Informationen zu lösemittelarmen Produkten wie Klebstoffen/Verlegewerkstoffen, Lacken und Farben, Reinigungsmitteln sowie über Produkte und Verfahren für Druckereien abrufen.

Nach aktuellen Schätzungen der zukünftigen NMVOC-Emissionen aus dem Bereich der Lösemittelverwendung ist die Einhaltung der vorgeschlagenen Nationalen Emissionshöchstwerten (NEC) jedoch nur mit zusätzlichen weitreichenden Emissionsminderungsmaßnahmen möglich. Um den grenzüberschreitenden Charakter dieser Emissionen zu berücksichtigen und um mit nationalen Regelungen möglicherweise verbundene wettbewerbsrechtliche Probleme nicht auftreten zu lassen, sind europaweite Maßnahmen zur Begrenzung des Lösemittelgehaltes von Produkten dringend erforderlich.

Bisher sind fast ausschließlich anlagenbezogene NMVOC-Emissionen im Hinblick auf emissionsbegrenzende Maßnahmen geregelt. Gerade bei Kleinanlagen, im Handwerk und bei Endverbrauchern sind aber ausschließlich Primärmaßnahmen, das heißt der Einsatz lösemittelarmer oder -freier Produkte und Verfahren, technisch sinnvoll und verhältnismäßig. Entsprechende lösemittelarme oder -freie Produkte und Systeme sind am Markt erhältlich. Verschiedene Studien zeigen, dass ihr Einsatz in vielen Branchen auch ökonomische Vorteile bietet. Die Europäische Kommission hat daher eine erste richtungsweisende produktbezogene Maßnahme beschlossen: Die so genannte „Decopaint-Richtlinie“ (Richtlinie 2004/42/EG vom 21. April 2004 über die Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen aufgrund der Verwendung organischer Lösemittel in bestimmten Farben und Lacken und in Produkten der Fahrzeugreparaturlackierung sowie zur Änderung der Richtlinie 1999/13/EG) regelt ab dem Jahr 2007 den zulässigen Höchstgehalt an Lösemitteln in bestimmten Farben und Lacken „zu dekorativen Zwecken“, im deutschen Sprachgebrauch auch als Bautenanstriche oder Bautenlacke bezeichnet, und Produkten für die Fahrzeugreparaturlackierung. Mit der „Lösemittelhaltige Farben- und Lack-Verordnung“ (Chemikalienrechtliche Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) durch Beschränkung des Inverkehrbringens lösemittelhaltiger Farben und Lacke – ChemVOCFarbV) vom 16. Dezember 2004 ist eine in allen materiellen Anforderungen direkte Umsetzung der EG-Richtlinie in nationales Recht bereits in Kraft getreten - fast ein Jahr vor Ablauf der Umsetzungsfrist. Als besondere Errungenschaft wird mit dieser Richtlinie eine Kennzeichnungspflicht für den tatsächlichen VOC-Gehalt der geregelten Produkte vorgeschrieben, die es dem Verbraucher oder dem gewerblichen Verwender erlauben wird, zwischen Produkten mit verschiedenem Lösemittelgehalt zu wählen. Angesichts dieses Erfolgs wird auf nationaler wie europäischer Ebene die Notwendigkeit gesehen, weitere lösemittelhaltige Produkte und Produktgruppen in Regelungen zur Begrenzung des Lösemittelgehalts einzubeziehen.

Im Bereich der stationären Anlagen ist insbesondere auf die neue und schärfere Großfeuerungsanlagen-Richtlinie 2001/80/EG der Europäischen Union vom 23. Oktober 2001 (ABl. EG L 309 S. 1) hinzuweisen. Diese Richtlinie enthält Emissionsbegrenzungen für NO_x, jedoch nicht für NMVOC.

Ferner ist die Novellierung der Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen - 17. BImSchV vom 14. August 2003 – zu berücksichtigen, durch die die Mitverbrennung von Abfällen zur Einhaltung von schärferen Grenzwerten führt, als sie für den Regelbetrieb vorgesehen sind.

EU-Richtlinie zur Begrenzung Nationaler Emissionshöchstmengen und Nationales Programm gemäß NEC-Richtlinie

Die Richtlinie 2001/81/EG (NEC-Richtlinie) vom 23.10.2001 begrenzt die nationalen Gesamtfrachten der Emissionen für bestimmte Luftschadstoffe. Ab dem Jahr 2010 dürfen die Ozonvorläuferemissionen Stickstoffoxid (NO_x) 1051 kt und flüchtige organische Verbindungen (NMVOC) 995 kt nicht mehr überschreiten. Die Bundesregierung hat ein Programm mit konkreten Maßnahmen zur weiteren Verminderung wichtiger Luftschadstoffe vorgelegt (Nationales Programm

<http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/emissionshoechstmengen.htm>)

mit dem die festgelegten Begrenzungen bis 2010 Einhaltung werden sollen. Die NEC-Richtlinie wurde mit der 33. BImSchV in deutsches Recht umgesetzt.

Zu den langfristigen Maßnahmen zählen insbesondere auch die Bestrebungen der EU und der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN-ECE) zur Festlegung von nationalen Emissionshöchstmengen für vier Schadstoffe, darunter Stickstoffdioxid und leichtflüchtige organische Verbindungen.

In beiden Institutionen sind diese Schadstoffe zusammen mit Ammoniak- und Schwefeldioxidemissionen Gegenstand einer Gesamtstrategie gegen Versauerung, terrestrischer Eutrophierung und bodennahes Ozon.

Maßgebend für die internationale Zusammenarbeit bei der Bekämpfung der Luftverunreinigung durch Ozon ist die Genfer Luftreinhaltekonvention von 1979 (Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution), unter der bereits zwei Protokolle zur Verminderung von Ozonvorläuferstoffen, nämlich zur Minderung von Stickstoffoxidemissionen (Sofia 1985) und zur Minderung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen (Genf 1991), in Kraft gesetzt wurden. Diese Protokolle werden durch das 1999 in Göteborg gezeichnete neue Protokoll zur Verringerung von Versauerung, Eutrophierung und bodennahem Ozon (Multi-Pollutant-Multi-Effektprotokoll) abgelöst. Das Multi-Pollutant-Multi-Effektprotokoll enthält als zentrale Regelung Begrenzungen der nationalen Emissionsfrachten für die vier Luftschadstoffe Schwefeldioxid (SO₂), Stickstoffoxide (NO_x), Ammoniak (NH₃) und flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (NMVOC). Deutschland hat das Protokoll am 03.07.2004 (BGBl. II S. 884) ratifiziert. Das Protokoll ist am 17. 5. 2005 in Kraft getreten, nachdem es von 16 Signatarstaaten ratifiziert worden ist.

Das UN/ECE-Protokoll wird auf der Ebene der Europäischen Union durch die NEC-Richtlinie 2001/81/EG vom 23. Oktober 2001 über nationale Emissionshöchstmengen (national emission ceilings – NEC) für die gleichen Luftschadstoffe flankiert. Die NEC-Richtlinie begrenzt die nationalen Gesamtfrachten der Emissionen für Deutschland auf 520 (550) kt SO₂, 1051 (1081) kt NO_x, 550 kt NH₃ und 995 kt NMVOC (in Klammern die abweichenden Werte des Multieffektprotokolls). Die NEC-Richtlinie verlangt Emissionsminderungen um

etwa drei Viertel gegenüber der Schadstoffmenge des Basisjahres 1990 und somit von heute an gerechnet eine Minderung von ca. 25 % für Stickstoffoxide, von über 30 % für NMVOC, 15 % für Schwefeldioxid und knapp 10 % für Ammoniak . Die NEC-Richtlinie wird gemeinsam mit der Ozon-Richtlinie durch die 33. BImSchV in deutsches Recht umgesetzt (s. o.).

Die Bundesregierung hat ein „Nationales Programm zur Einhaltung von Höchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe nach der Richtlinie 2001/81/EG (NEC-Richtlinie)“ mit konkreten Maßnahmen zur weiteren Verminderung dieser Luftschadstoffe vorgelegt. Das Programm einschließlich der Dokumentation der Emissionsberechnungen und relevanter Rechtsvorschriften ist im Internet unter der Adresse <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/emissionshoechstmengen.htm> zu finden.

Das Maßnahmenprogramm ist ein wichtiger Schritt auf dem Weg, der Einhaltung der kritischen Belastungswerte für bodennahes Ozon, Versauerung und Eutrophierung in Europa näher zu kommen. Ferner sollen die durch Versauerung belasteten Ökosystemflächen halbiert werden und die Ozonbelastung der Pflanzen um ein Drittel zurück gehen. Deutschland wird von diesen gesundheitlichen und ökologischen Verbesserungen wegen seiner hohen Bevölkerungszahl, seiner empfindlichen Ökosysteme und seiner zentralen Lage in Europa sehr stark profitieren.

Die in beiden Aktivitäten gegen Versauerung und Ozon festgelegten Kriterien für die Ableitung nationaler Emissionshöchstmengen sind

- die Orientierung an kritischen Belastungswerten für den Schutz von Ökosystemen und der menschlichen Gesundheit und
- eine ökonomische Optimierung der Maßnahmen im jeweiligen Regelungsgebiet mit dem Ziel, die Maßnahmenkosten insgesamt zu minimieren.

9. Zusammenfassung

Bodennahes Ozon entsteht unter Einfluss von Sonnenstrahlung aus flüchtigen organischen Verbindungen (NMVOC) und Stickstoffoxiden (NO_x) sowie Kohlenmonoxid (CO) und Methan (CH₄), wobei CO und CH₄ – im Gegensatz zur globalen Troposphäre – von geringerer Bedeutung sind. Das bodennahe Ozon kann in Deutschland während sommerlicher Schönwet-

terperioden Konzentrationen erreichen, die die Gesundheit der Menschen gefährden oder zu Vegetationsschäden führen. Zwar ist die individuelle Empfindlichkeit gegenüber Ozon sehr unterschiedlich ausgeprägt, nach allen Erfahrungen ist jedoch davon auszugehen, dass etwa 10-15 % der Bevölkerung (quer durch alle Bevölkerungsgruppen) besonders empfindlich auf Ozon reagieren. Die zunehmende Ozonbelastung zwischen Anfang der 70er-Jahre und Ende der 80er-Jahre wurde in Deutschland wesentlich durch die Zahl der sommerlichen Sonnentage bestimmt. Der Ausstoß der Vorläufersubstanzen hatte sich während dieser Zeit auf hohem Niveau nur wenig verändert.

Seit Ende der 80er-Jahre ist in Deutschland ein abnehmender Trend bei den beobachteten Ozon-Spitzenkonzentrationen erkennbar. Der außergewöhnliche Sommer 2003 mit vermehrter Überschreitung von Schwellenwerte ändert nichts an dieser Aussage. Der Ausstoß der Vorläufersubstanzen ging von 1990 bis 2004 bei NO_x um 50 % und bei NMVOC um 59 % deutlich zurück. Um Gesundheitsgefahren zukünftig ausschließen zu können, wäre eine Verringerung der Emissionen der Vorläufersubstanzen bezogen auf die Emissionen des Jahres 2000 in Europa um etwa 50 % erforderlich, wobei angesichts des im Sommerhalbjahr höheren Sockels biogener NMVOC-Emissionen eine NO_x -Minderung zunehmend wirkungsvoller bei der Bekämpfung der hohen Ozon-Konzentrationen scheint. Bedeutende Emittenten der Vorläufersubstanzen NO_x und NMVOC sind der Verkehr (NO_x , NMVOC) und die Verwendung von Lösemitteln in Industrie, Gewerbe und im Verbraucherbereich (NMVOC). Deshalb müssen die Emissionen insbesondere in diesen Bereichen gemindert werden. Bei den NMVOC gilt dies umso mehr, als die natürlichen VOC-Emissionen nicht gemindert werden können.

Die Maßnahmen gegen den Sommersmog sollen den Ausstoß der Vorläufersubstanzen ganzjährig verringern und damit auch die Wahrscheinlichkeit des kurzfristigen Auftretens überhöhter Ozonspitzenwerte in den Sommermonaten zu senken.

Neben dem in Deutschland überwiegend photochemisch aus NMVOC und NO_x gebildeten Ozon trägt auch das ferntransportierte nordhemisphärische Hintergrund-Ozon in erheblichem Maße zu den bodennahen Konzentrationen in Deutschland bei. Dieses Hintergrund-Ozon wird im Wesentlichen photochemisch aus den Vorläuferemissionen in Nordamerika, Asien und Europa gebildet und im interkontinentalen Maßstab über die Nordhalbkugel transportiert.

Da die Ozon-Spitzenkonzentrationen in Deutschland und in anderen Ländern Mitteleuropas zwischen 1990 und 2002 vor allem als Folge der Minderung der Vorläuferemissionen stark zurückgegangen sind, wird der Abstand zwischen den noch immer steigenden nordhemisphärischen Hintergrundkonzentrationen und den nationalen Ozonwerten zunehmend geringer. Das Jahr 2003 wies demgegenüber wieder deutlich steigende Ozon-Spitzenkonzentrationen auf, die allerdings ausschließlich auf die besonderen meteorologischen Bedingungen dieses Jahres zurück zu führen sind. Die Kenntnis des nordhemisphärischen Hintergrundes und dessen langzeitiger Änderung ist für die Beurteilung der Wirksamkeit von Minderungsmaßnahmen wichtig, da diese Hintergrundkonzentration durch Maßnahmen in Deutschland allein nicht unterschritten werden kann. Die Ozonspitzenwerte werden wegen der für die kommenden Jahre beschlossenen Minderungsmaßnahmen weiter sinken, wenn auch nicht im gleichen Maße wie in den Jahren 1990 bis 2002.

Die noch notwendige europaweite Emissionsminderung der Vorläufersubstanzen in erheblichem Umfang ist allerdings nur mittel- bis langfristig und durch die Kombination einer Vielzahl von Einzelmaßnahmen zu erreichen. Dies schließt auch strukturelle Veränderungen, zum Beispiel in der Verkehrspolitik, ein. Kurzfristige Maßnahmen lassen nur dann deutliche Ver-

ringerungen der Ozonspitzen erwarten, falls der Ausstoß der Vorläufersubstanzen großräumig erheblich vermindert wird. Entscheidend für die Wirksamkeit zeitlich begrenzter Maßnahmen sind ihr räumlicher Umfang, ihr Aufbau und ihre Eingriffstiefe. Zudem müssen sie mit angemessenem Verwaltungsaufwand umsetzbar und kontrollierbar sein sowie Akzeptanz in der Bevölkerung und bei den Betroffenen finden. Dem trägt das Sofortprogramm der Bundesregierung zur Verminderung der Ozonbelastung Rechnung, mit dessen mittel- und langfristig wirkenden Maßnahmen der Ausstoß der Vorläufersubstanzen und damit das Potenzial für die Ozonbildung nachhaltig verringert wird.

Im Gegensatz zu der erfreulichen Entwicklung und Prognose der abnehmenden Ozon-Spitzenkonzentrationen werden die mittleren Konzentrationen in Deutschland in den kommenden Jahren kaum zurückgehen. Das bedeutet, dass die in der neuen 33. BImSchV festgelegten langfristigen Ziele für den Schutz der menschlichen Gesundheit und der Vegetation in den kommenden Jahren noch nicht erreicht werden können.

Bei weiteren Fragen stehen Ihnen die Expertinnen und Experten des Umweltbundesamtes gerne zur Verfügung.