



BIA-Report
Ozon

10/96

BIA-Fachgespräch
25. und 26. September 1995

OZON
OZON
3



HVBG

Hauptverband der
gewerblichen
Berufsgenossenschaften

BIA-Report 10/96

Ozon

BIA-Fachgespräch
25. und 26. September 1995

2., geänderte Auflage



HVBG
Hauptverband der
gewerblichen
Berufsgenossenschaften

Bearbeitet von: Thomas Smola und Helmut Blome
Berufsgenossenschaftliches Institut für
Arbeitssicherheit — BIA, Sankt Augustin

Herausgeber: Hauptverband der gewerblichen
Berufsgenossenschaften (HVBG)
Alte Heerstraße 111, 53754 Sankt Augustin
Tel.: 0 22 41 / 2 31 - 01
Fax: 0 22 41 / 2 31 - 3 33
2., geänderte Auflage
— September 1996 —

Satz und Layout: HVBG, Abteilung Öffentlichkeitsarbeit

Druck: DCM — Druck Center Meckenheim

ISBN: 3-88383-426-2
ISSN: 0173-0387

Kurzfassung

Neben regelmäßigen Fachgesprächen zu den Themen „Gefahrstoffe“ und „Maschinenschutz“ führt das Berufsgenossenschaftliche Institut für Arbeitssicherheit – BIA auch Fachgespräche zu aktuellen Themen durch. Mit der Bewertung von Ozon als „Stoff mit begründetem Verdacht auf krebserzeugendes Potential“ durch die DFG Anfang dieses Jahres sind große Probleme entstanden, wie diese Erkenntnisse in der Gesetzgebung und Arbeitsschutzpraxis berücksichtigt werden sollen. Besonders schwierig ist die Frage auch deshalb zu beantworten, weil ein Schutz der im Außenbereich beschäftigten Arbeitnehmer (z.B. Dachdecker, Straßenbauer u.a) vor den im Sommer auftretenden hohen Ozonkonzentrationen durch technische Maßnahmen kaum möglich

ist. Bei dem vom BIA in Abstimmung mit dem Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung (BMA) und dem Ausschuß für Gefahrstoffe durchgeführten Fachgespräch „Ozon“ konnten die Teilnehmer der Berufsgenossenschaften, der Bundesländer, des BMA und seiner nachgeschalteten Behörden (BAU, BAfAM) sowie der Sozialpartner die Ozonproblematik von allen Seiten kennenlernen und mit ausgewiesenen Fachleuten erörtern. Die in diesem BIA-Report dargestellten Ergebnisse des Fachgesprächs können ggf. in branchenbezogene Empfehlungen der Berufsgenossenschaften oder der staatlichen Aufsicht sowie in Regeln des BMA zum Schutz der Arbeitnehmer vor Ozon einfließen, welches umweltbedingt bzw. durch Arbeitsprozesse entstanden ist.

Abstract

In addition to regular specialist discussions on the subject of hazardous substances and safety in working with machinery, the Berufsgenossenschaft Institute for Occupational Safety (BIA) also organises specialist discussions on topical issues. Following the German Research Association's classification of ozone as a "substance justifiably suspected of being potentially carcinogenic" at the beginning of this year, major problems arose as to how these findings could be incorporated into legislation and occupational safety in practice. This is a particularly difficult question to answer given that it is scarcely possible to use technical measures to provide employees working outdoors (e.g. roofers, road construction workers) with protection from the high concentration of ozone which occurs in summer. During the specialist discussion on ozone organised by the BIA in association with the Federal Ministry for Labour and

Social Affairs and the Committee for Hazardous Substances, the participants from the Berufsgenossenschaften, the Länder, the Federal Ministry and its component authorities (the Federal Institute for Occupational Safety and Accident Research — BAU — and the Federal Institute for Occupational Medicine — BAfAM) as well as employers and employees were able to learn about all aspects of the ozone problem and to speak to acknowledged experts. The results of the specialist discussion presented in this BIA Report can be incorporated as appropriate into the recommendations specific to individual sectors made by the Berufsgenossenschaften or by the state inspectorate, as well as into the BMA's rules on the protection of employers from ozone, be the presence of ozone the result of environmental conditions or of industrial processes.

Résumé

Outre des colloques organisés régulièrement sur les thèmes des substances dangereuses et de la protection des machines, l'Institut pour la sécurité du travail des Berufsgenossenschaften — le BIA — organise également des colloques consacrés à des thèmes actuels. L'évaluation de l'ozone comme «substance soupçonnée à raison d'abriter un potentiel cancérigène» par l'Association allemande pour la recherche (DFG) au début de cette année a soulevé de gros problèmes quant à la manière de tenir compte de ces connaissances dans la législation et dans la pratique de la protection du travail. Il est en particulier également difficile de répondre à la question parce qu'il n'est guère possible de protéger par le biais de mesures techniques les salariés qui travaillent dehors (par ex. les couvreurs, les personnes employées dans la construction des routes et autres) contre les concentrations élevées d'ozone mesurées l'été. Dans le cadre du colloque sur l'ozone organisé par le BIA

en accord avec le ministère fédéral du Travail et des Affaires Sociales (BMA) et la Commission pour les substances dangereuses, les participants des Berufsgenossenschaften, des Länder, du BMA et des administrations qui dépendent de ce dernier (l'Institut fédéral pour la protection du travail et la recherche sur les accidents — BAU — et l'Institut fédéral de la médecine du travail — BafAM), ainsi que des partenaires sociaux ont pu s'informer sur tous les aspects des problèmes liés à l'ozone et les évoquer avec des spécialistes réputés. Les résultats du colloque présentés dans ce rapport du BIA peuvent le cas échéant être utilisés dans des recommandations adressées aux différentes branches par les Berufsgenossenschaften ou par les organes de tutelle de l'État, ainsi que dans des règles du BMA destinées à assurer la protection des salariés contre l'ozone, qu'elle soit présente dans l'environnement ou générée par des processus de travail.

Resumen

Además de las conferencias regulares sobre los temas «sustancias peligrosas» y «medidas de protección en las máquinas», el Instituto de las Berufsgenossenschaften para la Seguridad Laboral — el BIA — lleva a cabo también conferencias sobre temas de gran actualidad. Con la evaluación del ozono como «materia con fundamentada sospecha de provocar cáncer» por parte de la Sociedad Alemana para la Investigación (DFG) a comienzos del presente año, surgieron grandes dificultades en torno a cómo considerar estos conocimientos en la legislación y en la práctica de la protección laboral. La respuesta a esta cuestión se agrava si consideramos que la protección por medio de medidas técnicas de los trabajadores que ejercen su profesión al aire libre (por ejemplo tejedores, constructores de calles, etc.) de las altas concentraciones de ozono que se dan en el verano es casi imposible. En el marco de la conferencia sobre ozono realizada por el Instituto BIA en coordinación con el Ministerio

Federal del Trabajo y Orden Social y la Comisión para Sustancias Peligrosas, los participantes de las Berufsgenossenschaften, de los estados federados, del Ministerio Federal del Trabajo y Orden Social y de sus entidades anexas (Instituto Federal para la Protección Laboral y la Investigación de Accidentes — BAU — y el Instituto Federal para la Medicina Laboral — BAFAM) así como de los agentes sociales tuvieron la oportunidad de conocer desde todos los puntos de vista y de discutir con especialistas la gran problemática en torno al ozono. Los resultados de la conferencia contenidos en el presente informe del Instituto BIA quizás puedan ser utilizados para recomendaciones específicas de cada ramo de las Berufsgenossenschaften o de la Inspección Estatal, así como en reglamentos del Ministerio del Trabajo y Orden Social tendientes a proteger a los trabajadores de los efectos del ozono surgido a causa del estado del medio ambiente o de los procesos laborales.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Einleitung	11
 Teil 1: Entstehung, Vorkommen, Analyse	
Bodennahes Ozon in der Troposphäre: Entstehungs- und Abbaumechanismen	15
I. Barnes und K.H. Becker, Bergische Universität-GH Wuppertal	
Ozonkonzentration in der Umwelt	25
D. Jost, Umweltbundesamt, Berlin	
Analysenverfahren zur Messung von Ozon in der Luft	37
H. Kleine, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit — BIA, Sankt Augustin	
 Teil 2: Wirkung	
Wirkung von Ozon auf den Menschen	45
H. Kappus, Virchow-Klinikum, Berlin	
Arbeitsmedizinische Aspekte bei der Exposition gegenüber Ozon	73
W.D. Schneider und G. Lotz, Bundesanstalt für Arbeitsmedizin, Berlin	
Der Einfluß erhöhter Ozonkonzentrationen auf die Lungenfunktion ausgewählter Bevölkerungsgruppen	81
P. Höpfe, J. Lindner, G. Rabe und G. Praml, Institut und Poliklinik für Arbeitsmedizin der Universität München	

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Teil 3: Expositionssituation an bestimmten Arbeitsplätzen	
Ozon-Problematik auf Baustellen im Freien R. Rühl, Arbeitsgemeinschaft der Bau-Berufsgenossenschaften, Frankfurt am Main	91
Ozonsenken an Baustellen — erste Ergebnisse einer Untersuchung der Tiefbau-Berufsgenossenschaft G. Zoubek, Tiefbau-Berufsgenossenschaft, München	99
mit Anhang: Ozonkonzentrationen auf Hochbaustellen — Ergebnisse von Messungen der Bau-Berufsgenossenschaften W. Stroh, Bau-Berufsgenossenschaft Hannover	107
Ergebnisse des Fachgespräches „Ozon“ der Tiefbau-Berufsgenossenschaft A. Höptner, Tiefbau-Berufsgenossenschaft, München	109
Ozon-Problematik in der Schweißtechnik V.E. Spiegel-Ciobanu, Norddeutsche Metall-Berufsgenossenschaft, Hannover, Fachausschuß „Eisen und Metall I“ des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften	111
Ozon bei der Laserstrahlmaterialbearbeitung C. Möhlmann, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit — BIA, Sankt Augustin	117
Ozon beim Drucken und Lackieren mit UV-trocknenden Systemen G. Dörner, Berufsgenossenschaft Druck und Papierverarbeitung, Wiesbaden	119
Ozon beim Einsatz von Fotokopiergeräten J. Weidhofer und N. Winker, Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA), Hauptstelle und Sicherheitstechnische Prüfstelle, Wien	125

Teil 4: Vorschriften und Regeln

Vorschriften und Regeln im Bereich „Allgemeine Umwelt“	141
R. Görge, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn	
Vorschriften und Regeln im Bereich „Arbeitsschutz“	147
B. Osterheld, Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung, Bonn	

Teil 5: Schutzmaßnahmen, Arbeitsschutzkonzepte

Überlegungen zum Gesundheitsschutz und zur Arbeitssicherheit beim Umgang mit Ozon in der Bauwirtschaft	155
G. Wischer, IG Bau — Steine — Erden, Berlin	
Atemschutz gegen Ozon	159
T. Götte, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit — BIA, Sankt Augustin	
Ozon und Arbeitsschutz — Zusammenfassung und Vorschläge für die weitere Vorgehensweise	165
H. Blome und T. Smola, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit — BIA, Sankt Augustin	

Anhang**Anlage 1:**

Stoffdatenblatt „Ozon“ der Zentralen Stoff- und Produktdatenbank (ZeSP) beim Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitssicherheit — BIA	195
---	-----

Inhaltsverzeichnis

Seite

Anlage 2:

Neue Entwicklungen

Aus dem Merkblatt: Ozon auf Baustellen	219
Arbeitsschutzmaßnahmen für Arbeiten im Freien bei witterungsbedingter erhöhter Ozonkonzentration in der Außenluft — Orientierungshilfe — Bek. des BMA vom 2. Mai 1996 — III b 2 — 34505-12 —	222
Arbeitsschutzmaßnahmen bei Ozonbelastung am Arbeitsplatz Broschüre LV 5 des Länderausschusses für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI)	226

Neben regelmäßigen Fachgesprächen zu den Themen „Gefahrstoffe“ und „Maschinenschutz“ führt das Berufsgenossenschaftliche Institut für Arbeitssicherheit — BIA auch Fachgespräche zu aktuellen Themen durch. Mit der Bewertung von Ozon als „Stoff mit begründetem Verdacht auf krebserzeugendes Potential“ durch die DFG Anfang 1995 sind große Probleme entstanden, wie diese Erkenntnisse in der Gesetzgebung und Arbeitsschutzpraxis berücksichtigt werden sollen. Besonders schwierig ist die Frage auch deshalb zu beantworten, weil ein Schutz der im Außenbereich beschäftigten Arbeitnehmer (z.B. Dachdecker, Straßenbauer u.a.) vor den im Sommer auftretenden hohen Ozonkonzentrationen durch technische Maßnahmen kaum möglich ist. Bei dem vom BIA in Abstimmung mit dem Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung (BMA) und dem Ausschuß für Gefahrstoffe durchgeführten Fachgespräch „Ozon“ konnten die Teilnehmer der Berufsgenossenschaften, der Bundesländer, des BMA und seiner nachgeschalteten Behörden (BAU, BAfAM) sowie der Sozialpartner die Ozonproblematik von allen Seiten kennenlernen und mit ausgewiesenen Fachleuten erörtern.

Der Leiter des Bereichs Prävention des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Herr Coenen,

wies in seinem einleitenden Vortrag auf folgende Gesichtspunkte hin:

1. Manche Sachverhalte sind so komplex oder sie erfordern grundsätzlich neue Lösungsansätze, daß sie eine spezielle Behandlung erfordern. Dies scheint beim Stoff Ozon zumindest in der Bundesrepublik Deutschland der Fall zu sein. Die uns allen bekannte Fahrverbotsdiskussion der letzten Jahre weist außerdem darauf hin, daß hier Umwelt- und Arbeitsschutz-Aspekte in wechselseitiger Beziehung stehen und im besonderen Maße zu berücksichtigen sind.

2. Ozon als Gefahrstoff ist den Arbeitsschützern seit Jahrzehnten bekannt. Arbeitsverfahren und Technologien, bei denen Ozon entsteht, können benannt und die Exposition kann abgeschätzt werden. Auch Schutzmaßnahmen sind bekannt. Die besondere Schwierigkeit, vor der wir stehen, läßt sich wohl in drei Punkten zusammenfassen:

Wie ist eine Ozonexposition zuverlässig mit dem Ziel eines vorbeugenden Gesundheitsschutzes zu bewerten?

Wie kann eine sinnvolle fachliche Verknüpfung von Arbeits- und Umweltschutzaspekten erreicht werden?

Wie läßt sich eine Sachposition formulieren, die dem Gesundheitsschutz der Beschäftigten gerecht wird und da-

bei das gebotene Augenmaß für das Machbare, Leistbare und Vertretbare wahr?

3. Aufgabe dieses Fachgesprächs ist es, eine Problem- und Faktensammlung durchzuführen und in fachlicher Hinsicht eine Positionsbestimmung zu erarbeiten. Dazu hat das BMA die Initiative ergriffen und das BIA um die Vorbereitung und Ausrichtung dieser Veranstaltung gebeten. Die in diesem Kreise Beteiligten,

- die Selbstverwaltung und die Experten der Unfallversicherungsträger,
- das BMA und die Bundesländer,
- die Vertreter der Wissenschaft,

bieten Gewähr dafür, daß das formulierte Ziel erreicht werden kann. Insofern bietet dieses Gespräch die Chance, eine gemeinsame fachliche Arbeitschutzposition zu entwickeln, die in der sozialpolitischen Diskussion hilfreich und vielleicht sogar tragfähig werden könnte.

4. Die sozialpolitische Bewertung sollte nicht Gegenstand dieses Fachgesprächs sein.

Der vorliegende BIA-Report enthält die beim Fachgespräch „Ozon“ gehaltenen Vorträge sowie weitere relevante Beiträge zur Ozonproblematik. In dem abschließenden Beitrag „Ozon und Arbeitsschutz“ werden die Kernaussagen der einzelnen Vorträge unter Berücksichtigung der in der Diskussion angesprochenen Aspekte zusammengefaßt und die während des Fachgesprächs erarbeiteten Konzepte für mögliche Arbeitsschutzregelungen dargestellt.

Sankt Augustin, im Oktober 1995

Anmerkung zur zweiten Auflage:

Die erste Auflage des BIA-Reports „Ozon“ in Höhe von 10 000 Exemplaren war sehr schnell vergriffen. Aufgrund des unverändert großen Interesses an diesem BIA-Report haben wir uns zum Druck einer zweiten Auflage entschlossen. Diese zweite Auflage bietet uns die Möglichkeit, in der Anlage 2 einige Veröffentlichungen vorzustellen, die nach Fertigstellung der ersten Auflage dieses BIA-Reports erschienen waren.

Teil 1:
Entstehung, Vorkommen, Analyse

Bodennahes Ozon in der Troposphäre: Entstehungs- und Abbaumechanismen

I. Barnes und K.H. Becker
Bergische Universität-GH Wuppertal

1 Einleitung

Bodennahes Ozon (O_3) ist Ozon in der untersten Schicht der Atmosphäre, dessen Konzentration durch Emissionen, Sonneneinstrahlung und meteorologische Effekte starken tageszeitlichen Schwankungen unterworfen ist (Kames und Schmidt, 1993).

Der Mensch hat die Erdatmosphäre in den letzten hundert Jahren durch Emissionen aus Industrieanlagen, Kraftwerken, Pkws usw. in ihrer Spurengaszusammensetzung meßbar beeinflußt. In Ballungsräumen entsteht im Sommer in Bodennähe eine erhöhte Ozonproduktion und im Winter ein erhöhter Ozonabbau. Die bei Sonneneinstrahlung infolge photochemischer Vorgänge erhöhte Ozonbildung geht auf die vermehrte Emission der Vorläufer VOC¹⁾ und NO_x ($NO_x = NO + NO_2$) zurück. Der erhöhte Abbau im Winter und während der Nachtstunden wird dagegen hauptsächlich von den NO_x -Emissionen beeinflußt, da dann die photochemische Ozonproduktion fehlt, die bei ausrei-

chender Sonneneinstrahlung den Ozonabbau weit übertrifft. Modellmessungen sowie Trendmessungen einiger europäischer und amerikanischer Observatorien deuten darauf hin, daß vor etwa 100 Jahren die mittlere Ozonjahreskonzentration in Bodennähe unter $30 \mu g/m^3$ (15 ppbv) lag; heute liegt die Konzentration in der freien Troposphäre auf der Nordhemisphäre bei ca. $80 \mu g/m^3$ (40 ppbv), in Bodennähe zwischen 30 und $70 \mu g/m^3$ (35 ppbv). Das führt zu dem Schluß, daß sich infolge der NO_x -Emissionen die Ozonhintergrundkonzentration während der letzten 100 Jahre mehr als verdoppelt haben kann.

Inzwischen wird das Phänomen des Photo-smogs²⁾ in allen Ballungsgebieten beobachtet, auch in West- und Nordeuropa, wo nach landläufiger Meinung die Sonneneinstrahlung geringer ist. Nach dem heutigen Wissensstand ist

¹⁾ VOC ist die englische Abkürzung für „Volatile Organic Compounds“ (leichtflüchtige organische Verbindungen). Die VOC-Emissionen bestehen aus zahlreichen sehr verschiedenen, kohlenstoffhaltigen Substanzen wie Alkane, Alkene, Aldehyde, Alkohole, Aromaten, Terpene usw. mit unterschiedlichem chemischem Verhalten.

²⁾ Photochemischer Smog oder Photosmog wurde in den vierziger Jahren zuerst in Los Angeles beobachtet. Augenreizungen, Kopfschmerzen, Ernteschäden und vorzeitiges Brüchigwerden von Produkten aus Naturgummi waren die direkten Folgen. Äußeres Zeichen für Photo-smog ist die Ausbildung von Oxidantien. Als Leitsubstanz des Photo-smogs wird Ozon angesehen. Da die Atmosphäre unter dem Einfluß des Sonnenlichtes aktiviert wird und dabei ein oxidativer Abbau der Spurengase auftritt, wird der Vorgang auch als Photooxidation bezeichnet.

Bodennahe Ozon in der Troposphäre: Entstehungs- und Abbaumechanismen

auch unter Reinluftbedingungen der stratosphärische Anteil an der troposphärischen Ozonkonzentration mit ca. 20 % vergleichsweise gering. Es gibt eine durch „natürliche“ und „anthropogene“ Vorläuferemissionen bedingte Ozonbildung in der Troposphäre, durch die die Ozonhintergrundkonzentration entscheidend mitbestimmt wird.

Auch in Reinluftgebieten wird eine erhöhte Ozonbildung beobachtet. Dort sind an den VOC-Vorläufersubstanzen auch natürliche Emissionen von Pflanzen (Isopren und Terpene) beteiligt, während NO_x aus den Ballungszentren über Transport herangeführt wird. In Europa wurden kurzzeitige Ozonspitzenkonzentrationen von über $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (300 ppbv) beobachtet. Bei intensiver Sonneneinstrahlung und schwacher Luftbewegung werden vor allem im Südwesten von Deutschland und östlich von Wien häufig 1/2-h-Konzentrationsspitzen von 300 bis $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (150-200 ppbv) gegen Mittag registriert. Auf dem Lande, insbesondere in Höhe der Mittelgebirge, beobachtet man vor allem mittelhohe Konzentrationen zwischen 200 und $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ über längere Zeiten. Hohe Ozonkonzentrationen sind meistens mit Großwetterlagen verbunden, bei denen die mittäglichen Ozonwerte im Sommer von der Nordsee bis zum Alpenrand überall ansteigen. Die Kenngrößen der Ozonmessungen, max. 1/2-h-Konzen-

trationen — Monats- und Jahresmittelwerte, werden regelmäßig in Berichten der Landesanstalten und des Umweltbundesamtes veröffentlicht.

2 Ozonchemie in der Troposphäre

Ozonbildung

Die Reaktionsabläufe in Photosmoggemischen, die zur Ozonbildung führen, sind sehr komplex und sollen hier auf vereinfachte Weise beschrieben werden. Die einzige Photoreaktion, die direkt zur Ozonbildung führt, ist die NO_2 -Photolyse, die bereits bei Sonnenlicht knapp oberhalb von 400 nm einsetzt:



Die Photolysefrequenz, ein Maß für die Wahrscheinlichkeit der NO_2 -Photolyse, beträgt im Sommer während der Mittagszeit in Deutschland etwa:

$$J_{\text{NO}_2} = 7 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$$

$$d[\text{O}_3]/dt = J_{\text{NO}_2}[\text{NO}_2]$$

Daraus ergibt sich bei $[\text{NO}_2] = 10 \text{ ppb}$ eine Ozonbildungsrate von 250 ppb/h. Es kann sich dabei aber kein „Überschußozon“ bilden, da O_3 durch die

schnelle Rückreaktion mit NO immer wieder verbraucht wird:



Im photostationären Gleichgewicht, wenn Ozonbildung und Ozonvernichtung mit gleicher Geschwindigkeit ablaufen, ergibt sich für die Ozonkonzentration:

$$[\text{O}_3]_s = \frac{J_{\text{NO}_2}[\text{NO}_2]}{k_{\text{NO}+\text{O}_3}[\text{NO}]}$$

mit $J_{\text{NO}_2}/k_{\text{NO}+\text{O}_3} = 16$ (ppb) im Sommer mittags

In einem solchen System läuft während eines Tages der Zyklus $\text{NO}_2 \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{NO}_2$ viele Male ab, bestimmt durch die dimensionslose Größe P_d :

$$\int_{\text{Tag}} J_{\text{NO}_2}[\text{NO}_2] dt = P_d$$

Im Winter beträgt P_d etwa 50 und steigt im Sommer auf 250 an.

Bildung von „Überschußozon“

Überschüsse an troposphärischem Ozon entstehen

□ durch Transport aus Ozonkonzentrationsfeldern, die sich an Vortagen in höheren Bereichen der Mischungsschicht gebildet haben.

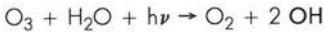
□ durch effiziente VOC-Oxidation über eine OH-Radikalkette, die sich in Gegenwart von NO_x ausbildet, wobei NO durch RO_2 - bzw. HO_2 -Radikale und nicht durch O_3 zu NO_2 oxidiert wird, wie Tabelle 1 zeigt.

Tabelle 1:
Reaktionen, die an der O_3 - bzw. Photosmogbildung beteiligt sind

Initialschritt
$\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} + h\nu \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{OH}$
Kettenfortpflanzung (Radikalumwandlung und Radikalrückführung)
$\text{VOC} + \text{OH} + \text{O}_2 \rightarrow \text{RO}_2 + \dots$ $\text{RO}_2\text{NO}_2 \rightarrow \text{RO}_2 + \text{NO}_2$ $\text{RO}_2 + \text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{R}'\text{CHO} + \text{NO}_2 + \text{HO}_2$ $\text{HO}_2 + \text{NO} \rightarrow \text{OH} + \text{NO}_2$
Kettenverzweigung
$\text{R}'\text{CHO} + \text{O}_2 + h\nu \rightarrow 2 \text{HO}_2 + \dots$
Kettenabbruch (Radikalverluste)
$\text{HO}_2 + \text{HO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_2$ $\text{HO}_2 + \text{RO}_2 \rightarrow \text{ROOH} + \text{O}_2$ $\text{RO}_2 + \text{R}'\text{O}_2 \rightarrow \text{Alkohole, Aldehyde etc.}$ $\text{RO}_2 + \text{NO}_2 \rightarrow \text{RO}_2\text{NO}_2$
Ozonbildung
$\text{NO}_2 + \text{O}_2 + h\nu \rightarrow \text{NO} + \text{O}_3$ direkte O_3 -Bildung $\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$ „Titrationsreaktion“

Bodennahe Ozon in der Troposphäre: Entstehungs- und Abbaumechanismen

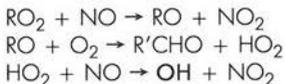
Initialreaktion:



Kettenfortpflanzung:



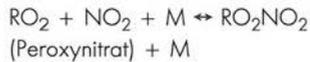
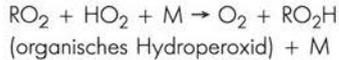
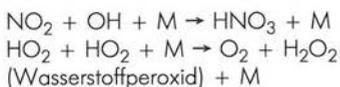
Das Schema in Tabelle 1 macht deutlich, daß während des stufenweisen Abbaus von VOC die Kettenfortpflanzungs- und Verzweigungsschritte gegenüber den Abbruchschritten überwiegen müssen. Jeder Fortpflanzungsschritt in der Radikalkette ist mit einer erneuten Oxidation von NO zu NO₂ verbunden:



Diese Schritte führen im Sonnenlicht über NO₂-Photolyse zur Überschußozonbildung, wenn die Raten der Reaktionen die Rate der Reaktion NO + O₃ übertreffen.

Wenn NO weitgehend in NO₂ umgewandelt ist, erreicht die Ozonkonzentration ihr Maximum. Danach überwiegen Kettenabbruch-Reaktionen.

Kettenabbruch:



Die wichtigste Kettenabbruch-Reaktion ist dabei die Reaktion der OH-Radikale mit NO₂, die zur Bildung von Salpetersäure führt. Wenn die Konzentration an NO₂ und NO durch Umwandlung in Nitrat und HNO₃ abgenommen hat, treten andere Radikalreaktionen als Kettenabbruchreaktionen in den Vordergrund. Gleichzeitig nimmt die Bildung von Photooxidantien¹⁾ ab. Die Radikalreaktionen, die zu Peroxyverbindungen und organischen Säuren führen, gewinnen an Bedeutung. Laboruntersuchungen

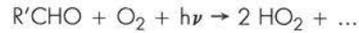
1) Photooxidantien sind sekundäre Luftverunreinigungen, die während der Ausbreitung eines komplexen Vorläufergemisches durch photochemische Reaktionen erst Stunden bis Tage nach der Emission der Vorläufer entstehen. Unter Oxidantien und photochemischen Luftverunreinigungen im weiteren Sinne kann man die unter dem Einfluß des Sonnenlichts gebildeten Reaktionsprodukte der Spurengase Stickstoffoxide und Kohlenwasserstoffe verstehen. Im allgemeinen müssen zu den Photooxidantien neben Ozon (O₃) die Radikale OH, HO₂ und RO₂ (R bedeutet organischer Rest), NO₂, NO₃, N₂O₅, HNO₃, Aldehyde und andere Carbonylverbindungen, organische Säuren, Peroxoverbindungen wie Wasserstoffperoxid, Methylhydroperoxid, Peroxyessigsäure, Peroxysalpetersäure, organische Nitrate, Peroxyacetylnitrat (PAN) und andere Peroxynitrate gerechnet werden. Als Leitsubstanz der Photooxidantien kann Ozon angesehen werden, da diese Komponente mengenmäßig bei weitem überwiegt.

zeigen, daß sich dieser Kettenabbruch vor allem bei Peroxyacetylradikalen, $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{O}_2$, auswirkt. Neben Peroxyacetylnitrat (PAN; $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{O}_2\text{NO}_2$) werden auch Peroxypropionylnitrat (PPN) und Peroxybenzoylnitrat (PBzN) in der Luft gefunden, allerdings in viel kleineren Konzentrationen als PAN. PAN ist eine wichtige Kenngröße für das Photooxidantien-system.

Mit deutlich abfallenden NO_x -Konzentrationen in Reinalftgebieten gewinnen auch $\text{RO}_2 + \text{HO}_2$ - sowie $\text{RO}_2 + \text{RO}_2'$ -Reaktionen als Kettenabbruchschritte an Bedeutung.

Die Ozonbildung verstärkende Schritte im Schema der Tabelle 1 stellen die Kettenverzweigungen über Photolyse von Ketonen und Aldehyden dar, die beim oxidativen Abbau höherer VOC-Komponenten entstehen.

Kettenverzweigung:



Der zeitliche Verlauf der photochemischen Smog-Bildung wird im Labor-experiment für ein Gemisch aus Luft, Propen ($\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$) und NO in Abbildung 1 dargestellt und spiegelt in etwa die Chemie der verschmutzten Außenluft wider.

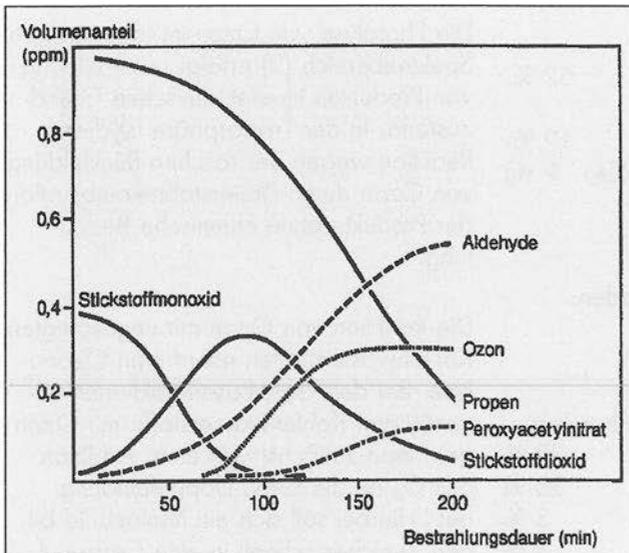


Abbildung 1: Photooxidantienbildung bei der Bestrahlung eines NO /Propen-Gemisches in Luft

Bodennahes Ozon in der Troposphäre: Entstehungs- und Abbaumechanismen

Zusammenfassung der Quellen und Senken des troposphärischen Ozons

Ozonquellen

(Die Zahlen sind nur grobe Abschätzungen)

— Transport aus der Stratosphäre

(Ein geringer Teil des troposphärischen Ozons stammt aus der Stratosphäre: 20 %.)

— Photochemische Prozesse in der Troposphäre

(Entgegen früheren Annahmen wird mehr Ozon durch photochemische Vorgänge in der Troposphäre selbst erzeugt. Oxidation von CO und VOC in der Troposphäre:

- a) Oxidation von NO durch HO₂: 52 %
- b) Oxidation von NO durch CH₃O₂: 19 %
- c) Oxidation von NO durch RO₂: 9 %)

Ozonsenken

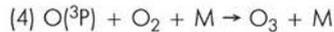
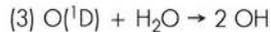
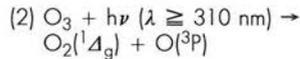
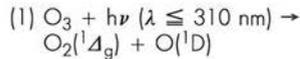
— Trockene Deposition am Boden:

22 %

— Chemische Reaktionen:

- a) O(¹D) + H₂O, O(¹D) aus Photolyse von Ozon bei 300 nm 33 %
- b) Reaktion O₃ + OH/HO₂ 38 %
- c) Reaktion O₃ + Alkene 3 %
- d) andere 4 %

Unter den Photodissoziationsprozessen in der Troposphäre ist die Bildung von angeregten Sauerstoffatomen durch die Photolyse von Ozon unterhalb 310 nm (1) der bei weitem wichtigste Schritt, da O(¹D) in einer schnellen Folgereaktion mit H₂O OH-Radikale bildet:



Die Photolyse von Ozon im langwelligen Spektralbereich (2) erfolgt unter Bildung von Produkten im elektronischen Grundzustand. In der Troposphäre ist diese Reaktion wegen der raschen Rückbildung von Ozon durch Dreierstoßrekombination der Produkte ohne chemische Bedeutung.

Die Reaktion von Ozon mit ungesättigten Kohlenwasserstoffen nennt man Ozonolyse. Bei den Gasphasenreaktionen ungesättigter Kohlenwasserstoffe mit Ozon geht man zunächst von einer Addition des O₃ an die C=C-Doppelbindung aus. Hierbei soll sich ein Molozonid bilden, welches schnell in eine Carbonyl-

verbindung und ein energiereiches, sogenanntes Criegee-Biradikal (-CHOO) zerfällt. Das angeregte Criegee-Biradikal soll dabei unter Bildung stabiler Produkte und Radikale zerfallen oder teilweise stabilisiert werden.

Die Geschwindigkeitskonstanten der Alken-Ozonreaktionen sind klein im Vergleich zu entsprechenden OH-Reaktionen. Wegen der höheren Ozonkonzentrationen können allerdings die Ozonreaktionen höherer Alkene mit OH-Radikalreaktionen konkurrieren. Ozon reagiert relativ schnell mit biogenen Alkenen, die über Waldgebieten emittiert werden. Dabei entstehen als Produkte neben Carbonsäuren auch Wasserstoffperoxid und organische Hydroperoxide.

Zur Vollständigkeit sei auch noch erwähnt, daß Ozon mit Stickstoffdioxid zu NO_3 -Radikalen reagiert, die ihrerseits schneller mit VOC-Komponenten reagieren als O_3 selbst. Mit diesem Mechanismus wird auch während der Nacht eine begrenzte VOC-Oxidation weiterlaufen.

Ozon, aber auch andere Photooxidantien, beschleunigen die Oxidationsvorgänge in Regen- und Nebeltröpfchen, z.B. die Bildung von Schwefelsäure aus der SO_2 -Oxidation (Saurer Regen).

3 Kontrollstrategien zur Minderung der Ozon-/Photooxidantienbildung

Heute ergibt sich die Frage nach einer optimalen Kontrollstrategie zur Verhinderung der Oxidantienbildung im Photo-smog. Die Entwicklung geeigneter Maßnahmen setzt allerdings voraus, daß die Ozon-Vorläuferbeziehungen verläßlich beschrieben werden können. Alle organischen Gase, aber auch CO sowie die Stickoxide wirken als Vorläufer an der troposphärischen Ozonbildung mit. Liegen die organischen Gase und CO gegenüber NO_x weit im Überschuß vor, wird die Ozonbildungsgeschwindigkeit hauptsächlich durch die Verfügbarkeit von NO_x bestimmt, im umgekehrten Fall von VOC. Aus empirischen Daten hat sich für US-Ballungszentren ergeben, daß sich nahe den Emissionsquellgebieten vormittags für ein Konzentrationsverhältnis von $[\text{VOC}] / [\text{NO}_x] \sim 10$ sehr schnell hohe Ozonkonzentrationen aufbauen; hierbei wird [VOC] in ppbC und $[\text{NO}_x]$ in ppb angegeben (Ozon-Isooplethen). In Zukunft kann damit gerechnet werden, daß wegen weiterhin ansteigender Methanemissionen einerseits und Begrenzung der NO_x -Emissionen in hochentwickelten Industrieländern andererseits die troposphärische Ozonbildung global gesehen eher langsamer wird, die großräumige Ozonhintergrundkonzentration also wieder abnimmt.

Bodennahes Ozon in der Troposphäre: Entstehungs- und Abbaumechanismen

Systematische Smogkammer-Experimente haben zur Festlegung eines Isoplethenschemas geführt, demzufolge je nach (VOC)/(NO_x)-Mischungsverhältnis während des Vormittags von 6 bis 9 Uhr eine notwendige VOC-Emissionsreduzierung zur Einhaltung eines 1-h-O₃-Grenzwertes in der US-Luftreinhaltestrategie festgelegt wurde. Diese Strategie der US-EPA wird jedoch infolge der VOC-Mischungen und eines größeren Anteils biogener VOC-Emissionen an der Oxidantienbildung z.Z. kritisch überprüft. Nach dem US-EPA-Ansatz und nach empirischen Erfahrungen aus Los Angeles gilt allerdings immer noch die folgende Abschätzung:

$(\text{VOC})/(\text{NO}_x)$ (in ppbC/ppb) > 10

zwischen 6.00 bis 9.00 Uhr

NO_x-Reduzierung drückt die O₃-Spitzenkonzentration gegen Mittag in der städtischen Abgasfahne herunter.

$(\text{VOC})/(\text{NO}_x)$ (in ppbC/ppb) < 10

zwischen 6.00 bis 9.00 Uhr

VOC-Reduzierung drückt die O₃-Spitzenkonzentration gegen Mittag in der städtischen Abgasfahne herunter.

Schrifttum

Ozon und Begleitsubstanzen im photochemischen Smog. VDI-Berichte 270, VDI-Verlag, Düsseldorf 1977

Air Pollution by Photochemical Oxidants. Hrsg.: R. Guderian, Springer-Verlag, Heidelberg 1985

Atmosphärische Spurenstoffe und ihr physikalisch-chemisches Verhalten. Hrsg.: K.H. Becker und J. Löbel, Springer-Verlag, Heidelberg 1985

P. Fabian: Atmosphäre und Umwelt. 2. Aufl., Springer-Verlag, Heidelberg 1987

B.J. Finlayson-Pitts and J.N. Pitts Jr.: Atmospheric Chemistry. John Wiley & Sons, New York 1986

J.H. Seinfeld: Urban Air Pollution: State of the Science. Science 243, S. 745 (1989)

Ozon-Symposium in München, Juli 1991, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, TÜV Akademie Bayern / Hessen, München 1991

J. Kames und R.W.H. Schmidt: Ozon-Meßinstrumente für die Stratosphäre und die Troposphäre. Labor 2000, 6 (1993)

VDI-Lexikon Umwelttechnik. Hrsg.: F.J. Dreyhaupt, VDI Verlag, Düsseldorf 1994

Anhang

Verwendete Einheiten bei der Messung des Ozons

Die Konzentrationen werden vorzugsweise in Masse/Volumen, z.B. $\mu\text{g}/\text{m}^3$, angegeben.

Ozonpartialdichte ρ

Angabe der Ozonkonzentration in mg Ozon/ m^3 Luft; gebräuchlich in der Messung des bodennahen Ozons;

$$\rho [\mu\text{g}/\text{m}^3] = 1,96 \cdot \text{Volumenmischungsverhältnis [ppb]} \text{ für } p = 1013 \text{ mbar und } T = 25^\circ\text{C}$$

In der Luftchemie ist es dagegen üblich, die Konzentration in Volumenmischungsverhältnissen anzugeben

Volumenmischungsverhältnis

Verhältnis aus dem Volumenanteil der Ozonteilchen zum betrachteten Luftvolumen = molares Mischungsverhältnis

1 ppmv	=	parts per million;	Volumenmischungsverhältnis	$1:10^6$
1 ppbv	=	parts per billion;	Volumenmischungsverhältnis	$1:10^9$
1 pptv	=	parts per trillion;	Volumenmischungsverhältnis	$1:10^{12}$

Zwischen der Massenkonzentration und dem Volumenmischungsverhältnis besteht die Beziehung:

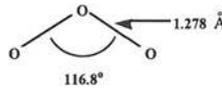
$$(\mu\text{g}/\text{m}^3) = 8,32 \cdot 10^{-2} \cdot (273 + t) \cdot M^{-1} \cdot p^{-1} \text{ (ppmv)}$$

M: relative molare Masse des Ozons, t: Temperatur in $^\circ\text{C}$, p: Luftdruck in bar

$$90 \text{ ppbv} \sim 180 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

Chemisch-physikalische Eigenschaften des Ozons

Ozon (griech.: Ozein = nach etwas riechen) ist ein farbloses, äußerst giftiges Gas, das in Form des Sauerstoffs mit drei Sauerstoffatomen im Molekül vorhanden ist.



Ozon ist ein Reizgas für Mensch und Tier und hat eine schädigende Wirkung auf die Vegetation. Beim Menschen reizt O₃ u.a. Augen und Schleimhäute, schädigt die Atemwege und führt zu Nasenbluten, Bronchitis und Lungenödemen. Verwendet wird O₃ u.a. zum Bleichen von Fetten, Ölen, Wachsen, Papier, Zellstoff und Textilien, zum Entkeimen von Schwimmbädern und zum Sterilisieren von Trinkwasser usw.

Ozonkonzentration in der Umwelt

D. Jost

Umweltbundesamt, Berlin

Ozon spielt in der Erdatmosphäre eine Doppelrolle.

In den Luftschichten oberhalb 10 km, der Stratosphäre, befindet sich der Hauptanteil dieses Gases (über 90 %). Dort übt Ozon die lebenswichtige Funktion eines Filters gegen den schädlichen ultravioletten Anteil der Sonnenstrahlung (UV-B) aus. In dieser Luftschicht wird Ozon durch Chlor und Brom aus Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW), Halonen und anderen halogenhaltigen Stoffen abgebaut. Inzwischen sind im Rahmen des Montrealer Protokolls weltweit Vereinbarungen getroffen worden, um die Emissionen dieser Stoffe zu verringern. Herstellung und Verwendung von FCKW werden weltweit bis Ende 1995 beendet (Ausnahmen für Entwicklungsländer). Trotzdem wird sich der Abbau des stratosphärischen Ozons in den nächsten zehn Jahren voraussichtlich eher noch verstärken, da FCKW so lange brauchen, um in die Stratosphäre zu gelangen und dort eine lange Lebensdauer aufweisen. Der größte Ozonabbau (über 50 %) wird über dem Südpol im Oktober/November beobachtet (das sogenannte Ozonloch). In unseren Breiten findet ein verstärkter Abbau im Februar/März statt. So wurden 1993 zeitweise bis zu 20 % des Ozons über Europa abgebaut. Diese Ozonverluste regenerieren sich nach einigen Wochen wieder weitgehend. Der bleibende Ver-

lust an stratosphärischem Ozon über Europa beträgt derzeit etwa 5 % pro Dekade (zehn Jahre).

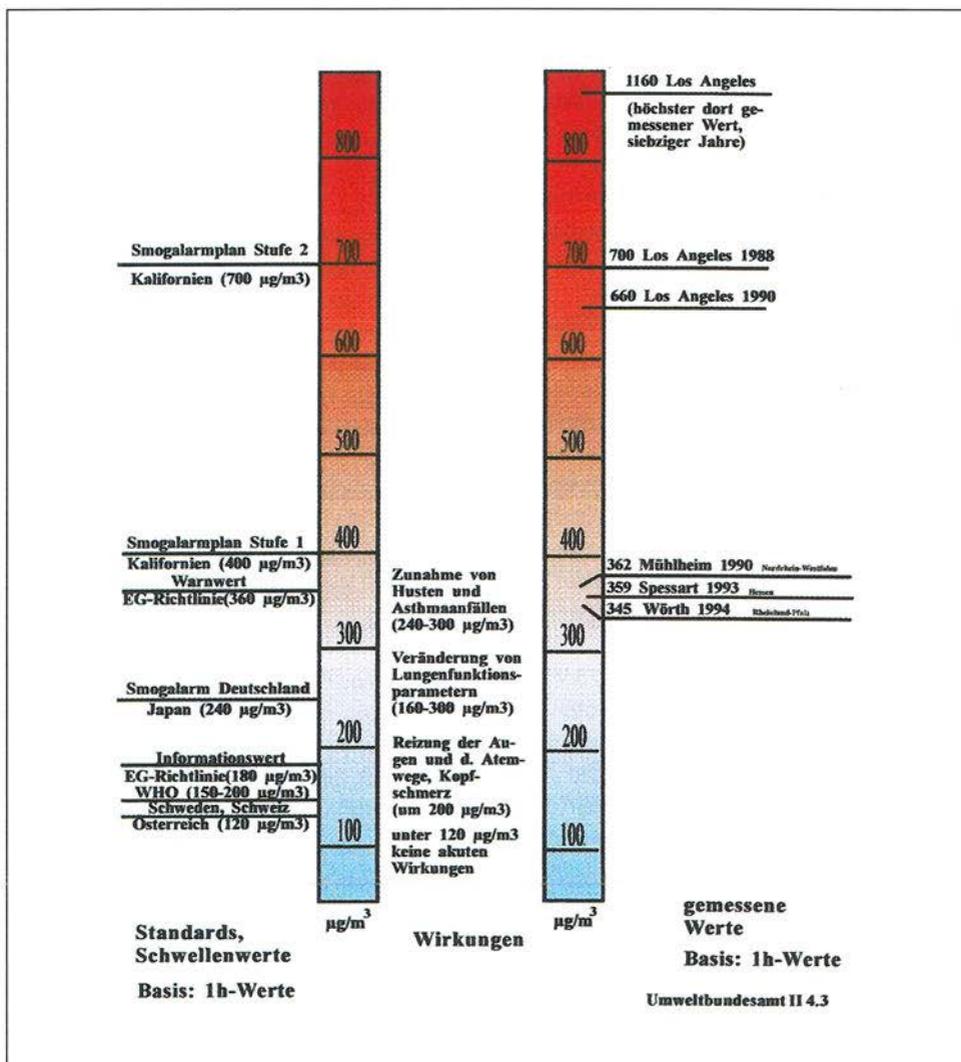
In den unteren Luftschichten und insbesondere in der bodennahen Luft tritt Ozon sowohl natürlich — aus der Höhe heruntergemischt — als auch als Luftverunreinigung — photochemisch gebildet aus Stickstoffoxiden, flüchtigen organischen Luftverunreinigungen und Luft-sauerstoff bei intensiver Sonneneinstrahlung — im sogenannten Sommersmog auf. Zu diesen Photooxidantien gehören neben dem Ozon weitere Luftverunreinigungen mit freilich geringerer Konzentration: Peroxyacetylnitrat, Salpetersäure, Formaldehyd, Peroxide u.a.m. Ozon ist die Leitkomponente des Sommersmogs, da sein Anteil an diesem Gemisch von Chemikalien etwa 90 % ausmacht.

Wichtig ist: Für hohe Ozonkonzentrationen müssen alle drei Voraussetzungen erfüllt sein (Vorhandensein der Schadstoffe NO_x und VOC sowie intensive Sonnenstrahlung). Fehlt einer dieser drei Faktoren, bildet sich Ozon nur in geringem Ausmaß.

Die längsten, durchaus leidvollen Erfahrungen mit Sommersmog sammelten vor allem die Bewohner der Bucht von Los Angeles. Abbildung 1 (siehe Seite 26) faßt die wichtigsten Schwellenwerte der

Ozonkonzentration in der Umwelt

Abbildung 1:
Maximale Ozon-Meßwerte, Schwellenwerte und Wirkungen auf den Menschen



Ozonkonzentration und hervorragende Meßwerte der Ozonkonzentration zusammen.

In Tabelle 1 ist grob die Entwicklung der Emissionen für die Ozonvorläufersubstanzen NO_x (NO plus NO_2) und VOC (flüchtige organische Luftverunreinigungen) mit denen für SO_2 und CO_2 als Vergleich zusammengefaßt. Hinter der Summenbezeichnung VOC ist eine Vielzahl organischer Verbindungen versteckt, die in unterschiedlichem Ausmaß und vor allem mit unterschiedlichen Reaktionsgeschwindigkeiten zur Bildung von Photooxidantien beitragen. Zur Orientierung sind in Tabelle 2 (siehe Seite 28) Gruppierungen von Chemikalien zusammen mit ihrem relativen Ozonbildungspotential zusammengestellt.

NM-VOC (NM = no methane) werden zu etwa 41 % bei der Verwendung von Lösemitteln freigesetzt. Die Anwendungen reichen von Farben und Lacken, Abbeizern, Reinigungsmitteln bis zu großen Druck- und Lackieranlagen. Beim Verkehr (Anteil 43 %) emittieren NM-VOC überwiegend aus dem Auspuff von Pkw mit Ottomotoren (unverbrannter Kraftstoff) und durch die Verdampfung von Kraftstoffen aus dem Tank, dem Kraftstoffsystem und an Tankstellen.

Die Ozonkonzentrationen werden heute an ca. 325 Bodenstationen in Deutschland gemessen. Die Stationen gehören größtenteils zu den Meßnetzen der Bundesländer; mehr als 30 Ozon-Meßstationen betreibt das Umweltbundesamt.

Tabelle 1:
Entwicklung der Emissionen in Deutschland

Luftverunreinigung		1975	1985	1992 ²⁾	(2005) ³⁾
CO_2	Mt	1 000 (10) ¹⁾	1 100 (10)	900 (15)	800
NO_x (NO_2)	kt	3 000 (30)	3 500 (40)	2 900 (60)	2 300
NM-VOC	kt	3 300 (40)	3 300 (40)	2 800 (60)	2 400
SO_2	kt	7 800 (1)	7 800 (1)	3 900 (2)	1 000

1) Anteil des Verkehrs in Prozent

2) Schätzung

3) grobe Schätzung

Ozonkonzentration in der Umwelt

Tabelle 2:
Potential zur Bildung von Ozon

VOC	rel. Einheiten ¹⁾
Alkane z.B. n-Hexan	bis ca. 25 22,5
Aromate z.B. o-Xylol	bis ca. 50 48,3
Olefine z.B. 2-Buten	bis ca. 400 371
zum Vergleich Ethylen	100
Kfz-Abgase (Otto-Motor, Diesel)	ca. 60
Lösemittel	ca. 40

¹⁾ Reaktivität mit OH-Radikalen

Der aktuelle Ozongehalt in der bodennahen Luft wird im wesentlichen durch die jeweiligen meteorologischen Gegebenheiten bestimmt, das heißt, durch Dauer und Intensität der Sonneneinstrahlung. Die emissionsseitigen Voraussetzungen für die Ozonbildung sind durch hohe Emissionen von Stickoxiden (NO_x) und flüchtigen organischen Verbindungen (NM-VOC) praktisch stets erfüllt.

Mitte der achtziger Jahre, während der Zeit der höchsten Emissionen, waren die Ozonwerte wegen mehr oder weniger verregneter Sommer relativ niedrig. Seit 1989 herrschte meist während des Sommers sonniges Wetter, weshalb auch entsprechend höhere Ozonwerte zu verzeichnen sind. Im Zeitraum 1990 bis

1994 wurden die höchsten Konzentrationen mit knapp über $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen.

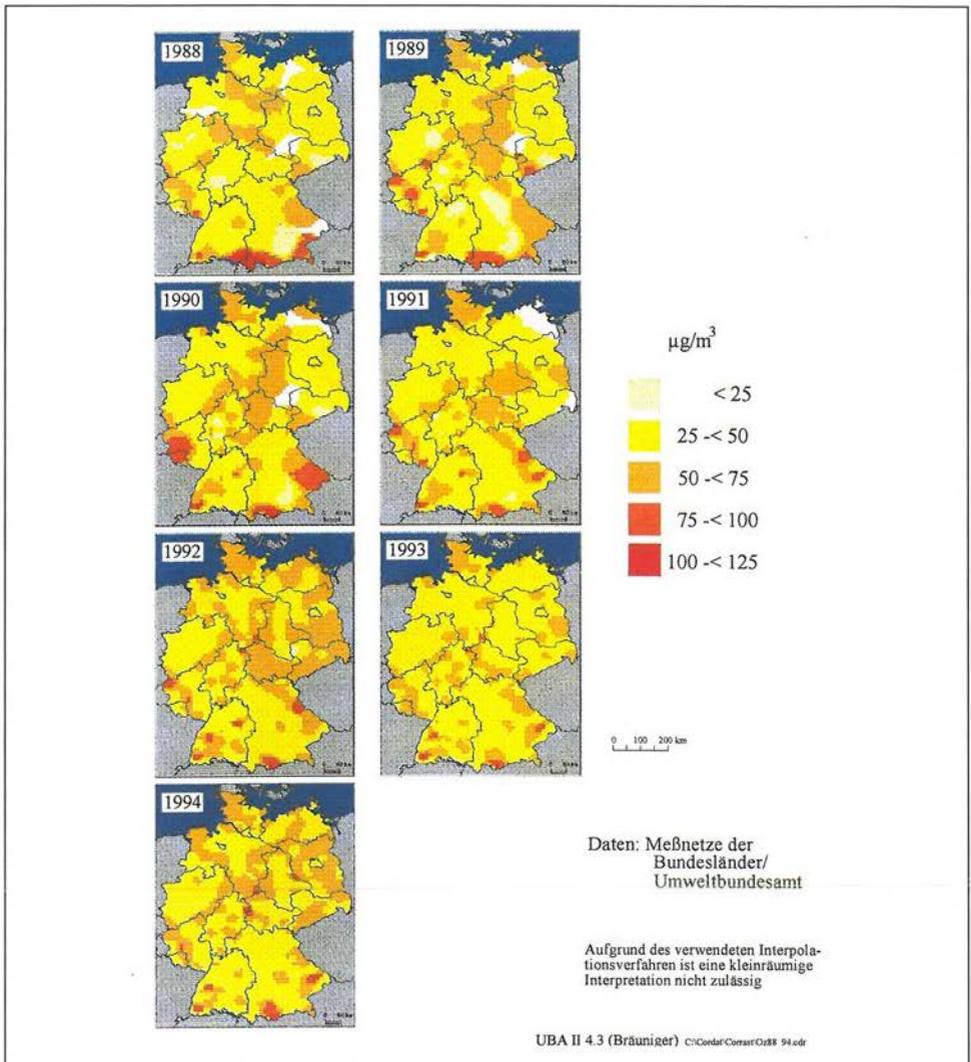
Diese Entwicklung läßt sich auch in der Darstellung der Jahresmittelwerte der Ozonkonzentrationen (Abbildung 2) erkennen, obwohl diese Langzeitwerte dem wichtigsten Charakteristikum, den kurzzeitigen, wetterabhängigen Episoden hoher Konzentration, nicht Rechnung tragen.

Hohe Ozonkonzentrationen treten in Europa weiträumig und episodenhaft über mehrere Tage auf. Die Abbildungen 3 und 4 (siehe Seite 30 f.) vermitteln hiervon einen Eindruck:

Die höchsten Konzentrationen treten nachmittags und am Rande von Ballungsgebieten auf; Episoden hoher Ozonkonzentration bilden sich weiträumig, grenzüberschreitend und über mehrere Tage.

Auswertungen langjähriger Ozonmeßreihen lassen seit Ende des vorigen Jahrhunderts eine langfristige Zunahme der mittleren Ozonkonzentration erkennen. Wenn in den 80er und 90er Jahren dieses Jahrhunderts Situationen mit etwa $240 \mu\text{g}$ Ozon/ m^3 in Europa auftreten, so sind hierfür — sehr grob — Anteile von jeweils $\frac{1}{4}$ für natürliches Ozon, globaler anthropogener Hintergrund, weiträumig

Abbildung 2:
Ozon-Jahresmittelwerte 1988 bis 1994



Ozonkonzentration in der Umwelt

Abbildung 3:
Anzahl der Überschreitungen von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 1994

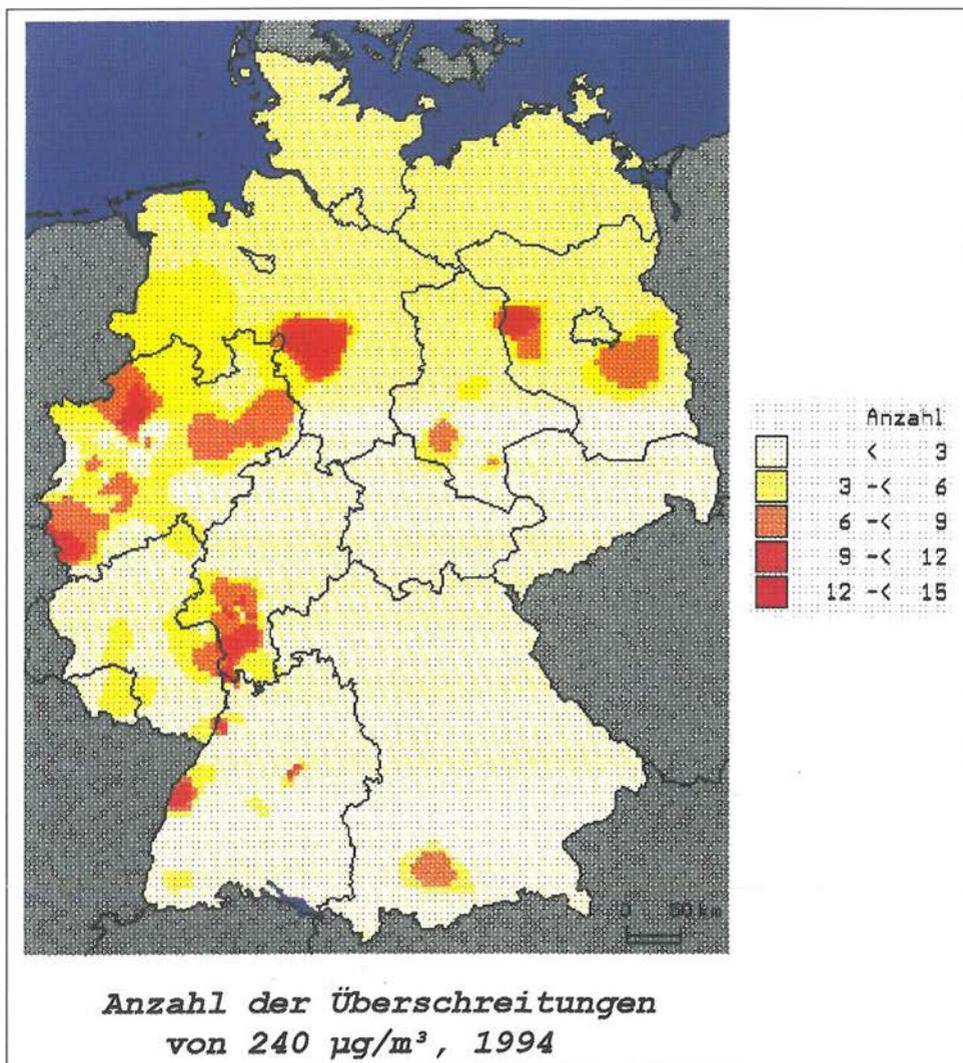
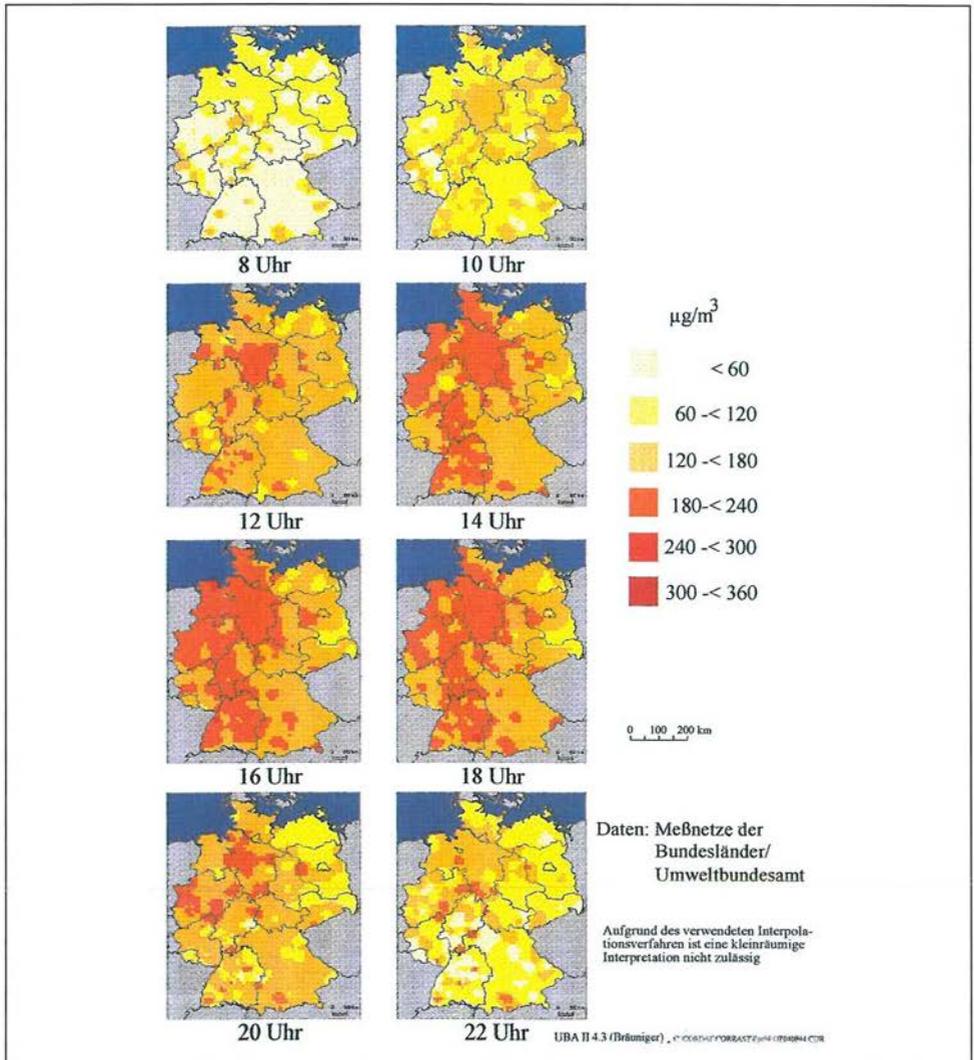


Abbildung 4:
Ozon-Episode – 4. August 1994



ges, überregionales, anthropogenes Reservoir in der unteren bis mittleren Luftschicht und schließlich $\frac{1}{4}$, das auf jeweils regionale Quellen für Vorläufersubstanzen zurückgeführt werden kann, anzusetzen. Nur dieser letzte Anteil kann mit regional begrenzten Maßnahmen bekämpft werden. Vor diesem Hintergrund sind Untersuchungen zu sehen, inwieweit regional begrenzte, vorübergehend wirkende Maßnahmen die Immissionsbelastung durch Ozon während Episoden mit ozonbildungsfreundlichem Wetter — andauernde sommerliche Wetterlage mit hohen Temperaturen — begrenzen oder vermindern können.

Die bisherigen Großversuche haben, soweit sie ausgewertet sind, noch keine befriedigende Antwort geben können. Auch die Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes, die die Frage mit Szenariorechnungen angehen, zeigen zwar nur geringe Auswirkungen trotz durchaus drastischer Eingriffe in das Verkehrsgeschehen mit realistisch allenfalls um 15 % verringerter Ozonkonzentration gegenüber der Belastung ohne Maßnahme. Jedoch ist zu berücksichtigen, daß kleinräumige Untersuchungen durchaus auch einen größeren Erfolg der Maßnahmen erwarten lassen könnten und zudem, daß 15 % von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{O}_3$ immerhin $36 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{O}_3$, also eine nicht zu vernachlässigende Minderung der

potentiellen Belastung darstellen. Hinzu kommt, daß in der Diskussion VOC- und/oder NO_x -Minderung sich eher in einer Entlastung bei PAN als bei O_3 zeigt. Außer acht bleibt auch, daß die verschiedenen Stoffe des Gemisches VOC in höchst unterschiedlichem Ausmaß zur Ozonbildung beitragen.

Solange die Auswertungen für 1995 noch nicht abgeschlossen sind — in 162 Fällen wurde der Wert von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ überschritten, hiervon einmal an zumindest zwei aufeinanderfolgenden Tagen im jeweils gleichen Gebiet —, seien kurz die Ereignisse des Jahrhundertsssommers 1994 bewertet.

Der Wert von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde an mehreren Meßstationen im Jahr 1994 für einige Stunden überschritten, wie die folgende Aufstellung zeigt:

14 Überschreitungen:

Sickingmühle, Hannover und Ffm-Sindlingen

13 Überschreitungen:

Ffm-Bockenheim und Esslingen

12 Überschreitungen:

Mannheim-Nord und Premnitz

11 Überschreitungen:

Darmstadt, Kehl-Süd und Eggenstein

10 Überschreitungen:

Biebesheim und Friedrichshagen (Berlin)

9 Überschreitungen:
Eifel (Nordrhein-Westfalen), Viernheim
und Offenbach

8 Überschreitungen:
Borken, Eggegebirge und Mainz-Kastel

7 Überschreitungen:
Lindenberg, Niederzier, Hilden, Hertel,
Unna, Raunheim, Maintal, Ffm-Ost, Kehl

6 Überschreitungen:
mehrere Stationen in Nordrhein-West-
falen, Brandenburg, Königs-Wuster-
hausen, Worms, Wiesbaden, König-
stein, Hettstedt, Merseburg

Mit einer bis fünf Überschreitungen fol-
gen weitere Stationen in Nordrhein-
Westfalen, Baden-Württemberg und
Hessen und einige in anderen Bundes-
ländern.

$240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurden an 26 Tagen im Jahr
1994 an mindestens einer Meßstation in
der Bundesrepublik Deutschland über-
schritten. Diese Tage lagen ausnahmslos
in den Monaten Juni, Juli und August.
Im Juni ist der Zeitraum vom 24. bis 29.
mit zunächst nur vereinzelt, am 28.
und 29. mit mehreren Überschreitungen
festzustellen. Am 28. Juni 1994 waren
diese vorwiegend auf Meßstationen in
Nordrhein-Westfalen beschränkt, wäh-
rend sie am 29. Juni 1994 aus dem
Nordosten Nordrhein-Westfalens und
aus Niedersachsen gemeldet wurden.

Häufige Überschreitungen des Ozon-
wertes von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurden im Juli
festgestellt. In diesem Monat zeichneten
sich mehrere Episoden ab.

2. bis 4. Juli 1994
mit mehreren Überschreitungen in
Baden-Württemberg, Hessen, Nord-
rhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz sowie
in Sachsen-Anhalt und Brandenburg

13. bis 16. Juli 1994
(nicht am 14. Juli) mit vereinzelt
Überschreitungen in Hessen und Baden-
Württemberg

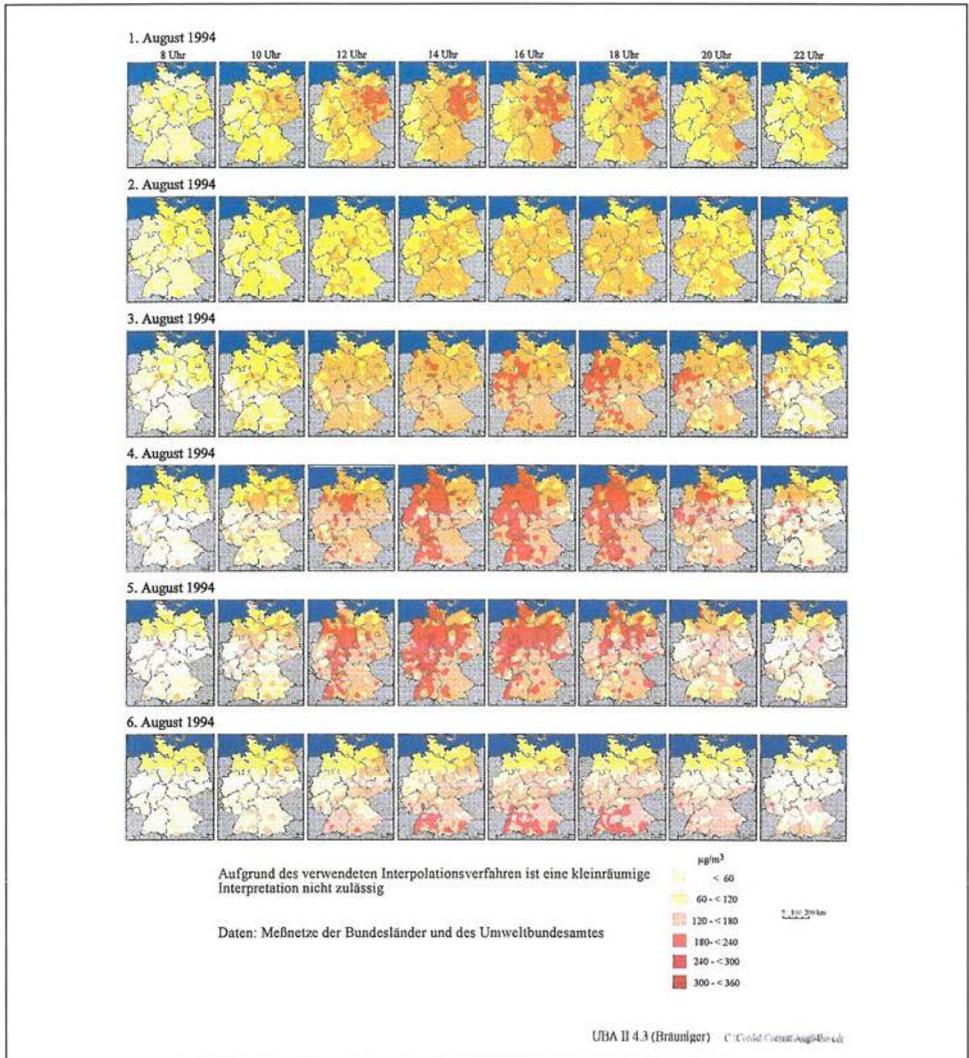
22. bis 31. Juli 1994
(nicht am 25. Juli) mit zahlreichen Über-
schreitungen nahezu im gesamten Bun-
desgebiet

Im August 1994 wurden im Zeitraum
vom 1. bis 6. mit Ausnahme des 2. Au-
gust 1994 (keine Überschreitungen) nur
vereinzelt Überschreitungen festgestellt.
Nur am 5. August 1994 wurde erneut
eine größere Anzahl von Überschreitun-
gen insbesondere in Südwestdeutsch-
land gemeldet. Abbildung 5 (siehe Sei-
te 34) faßt dies zusammen.

Bodennahes Ozon, das unter Einfluß von
Sonnenstrahlung aus flüchtigen organi-
schen Verbindungen und Stickoxiden ge-
bildet wird, kann auch in Deutschland
während sommerlicher Schönwetter-
perioden Konzentrationen erreichen, die

Ozonkonzentration in der Umwelt

Abbildung 5:
Ozonepisode August 1994



die Gesundheit der Menschen gefährden und zu Vegetationsschäden führen. Die während der letzten 20 Jahre (seitdem Ozon kontinuierlich gemessen wird) beobachtete Ozonbelastung ist im wesentlichen durch die Zahl sommerlicher Sonnentage beeinflusst worden, während die NO_x - und NM-VOC-Emissionen weitergehend unverändert blieben. Um Gesundheitsgefahren zukünftig ausschließen zu können, ist eine Verringerung der Emissionen dieser Vorläufersubstanzen um 70 bis 80 % erforderlich. Hauptemittent der Vor-

läufersubstanzen NO_x und NM-VOC ist der Verkehr, weshalb Minderungsmaßnahmen bevorzugt dort ansetzen sollten. Die genannte 70- bis 80%ige Minderung ist allerdings nur mittelfristig und durch eine Kombination einer Vielzahl von Einzelmaßnahmen zu erreichen, die auch strukturelle Veränderungen einschließen. Kurzfristige Maßnahmen lassen nur dann deutliche Verringerungen der Ozonspitzen erwarten, wenn sie zu einer erheblichen Verringerung der Emissionen der Vorläufersubstanzen führen.

Analysenverfahren zur Messung von Ozon in der Luft

H. Kleine

Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit — BIA,
Sankt Augustin

Meßverfahren, die zur Bestimmung von Ozonkonzentrationen in der Luft an Arbeitsplätzen eingesetzt werden sollen, müssen den in den Technischen Regeln für Gefahrstoffe [1] bzw. den Europäischen Normen [2] niedergelegten Anforderungen genügen. Die wesentlichen Anforderungen betreffen die

- Anpassung des Meßbereiches an den Grenzwert
- Meßunsicherheit
- Querempfindlichkeit
- Praxis eignung

Das Prinzip praktisch aller Gefahrstoffmessungen in der Luft besteht darin, eine charakteristische Eigenschaft des jeweils interessierenden Meßobjektes zur Unterscheidung von den anderen Gefahrstoffen bzw. den Bestandteilen der Luft selbst auszunutzen. Im Falle des Ozons werden folgende Eigenschaften meßtechnisch ausgenutzt:

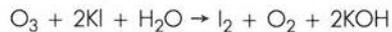
- das hohe Reaktionsvermögen
- die Absorption ultravioletten Lichtes

Die wesentlichen Verfahren zur Bestimmung von Ozon werden im folgenden kurz vorgestellt.

1. Kaliumiodid-Methode [3]

Prinzip:

Umsetzung mit Kaliumiodid-Lösung in Gasabsorptionsflasche (Waschflasche) direkt bei der Probenahme:



danach photometrische Bestimmung bei $\lambda = 350 \text{ nm}$

Anwendung:

Nachweisgrenze: $0,01 \text{ ml/m}^3$
($20 \mu\text{g/m}^3$)

Querempfindlichkeit: starke Beeinflussung durch oxidierende und reduzierende Substanzen

Labormethode, vorzugsweise zur Einstellung von Kalibriergasen

Expositionsmessungen an der Person schwierig

2. Indigosulfonsäure-Verfahren [4]

Prinzip:

Umsetzung mit 5,5'-Indigosulfonsäure in Gasabsorptionsflasche (Waschflasche) direkt bei der Probenahme:

→ Entfärbung der blauen Reaktionslösung

Analysenverfahren zur Messung von Ozon in der Luft

- photometrische Bestimmung bei $\lambda = 600-630 \text{ nm}$

Anwendung:

- Nachweisgrenze: $0,005 \text{ ml/m}^3$ ($10 \mu\text{g/m}^3$)
- Querempfindlichkeit: keine durch SO_2 , NO_2 , Peroxyacetylnitrat bei „üblichen“ Luftkonzentrationen
- Labormethode
- Expositionsmessungen an der Person schwierig

3. Prüfröhrchen-Verfahren [5]

Prinzip:

- Gas-/Festkörperreaktion in Glasröhrchen, Beaufschlagung mittels Balgpumpe:

$\text{O}_3 + \text{Indigo} \rightarrow \text{Isatin}$
Farbumschlag hellblau \rightarrow weiß

Anwendung:

- Meßbereich: $0,05$ bis $0,7 \text{ ml/m}^3$ (zehn Hübe)
 $0,005$ bis $0,07 \text{ ml/m}^3$ (100 Hübe)
- Querempfindlichkeit: nicht festgestellt bei jeweils 1 ml/m^3 SO_2 , Cl_2 , NO_2 , bei

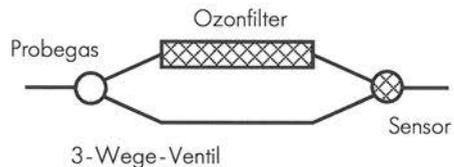
höheren Konzentrationen Graufärbung möglich (Herstellerangabe)

- Expositionsmessungen im Atembereich grundsätzlich möglich

4. Halbleitersensor-Verfahren

Prinzip:

- reversible Leitwertänderung eines Halbleiters
- wechselweise Beaufschlagung mit Probegas und Nullgas (katalytisches Ozonfilter)



Anwendung:

- Meßbereich: 0 bis 1 ml/m^3
- Querempfindlichkeit: keine (Herstellerangabe)
- vorzugsweise stationärer Einsatz (Netzabhängigkeit, Gewicht)
- Expositionsmessungen im Atembereich mittels nachgeführter Schlauchleitungen

5. UV-photometrisches Verfahren [6]

Prinzip:

- Probegas wird kontinuierlich durch Meßküvette geleitet
- UV-Photometrie bei 253,7 nm (Hg-Resonanzlinie)



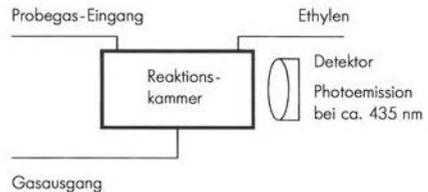
Anwendung:

- Nachweisgrenze: 0,01 ml/m³ (20 µg/m³)
- Querempfindlichkeit: durch Stoffe mit Absorption bei 253,7 nm (z.B. aromatische Kohlenwasserstoffe, Aerosole)
- vorzugsweise stationärer Einsatz (Netzabhängigkeit, Gewicht)
- Expositionsmessungen im Atembereich mittels nachgeführter Schlauchleitungen

6. Chemilumineszenz-Verfahren [7]

Prinzip:

- Gasphasenreaktion zwischen Ozon und Ethylen
- instabiles Reaktionsprodukt zerfällt unter Lichtemission (Chemilumineszenz)



Anwendung:

- Nachweisgrenze: 0,0015 ml/m³ (3 µg/m³)
- Querempfindlichkeit: nicht festgestellt
- vorzugsweise stationärer Einsatz (Netzabhängigkeit, Gewicht)
- Expositionsmessungen im Atembereich mittels nachgeführter Schlauchleitungen
- bei mobilem Einsatz Vorschriften bezüglich Druckgasflaschen (Ethylen) beachten

Analysenverfahren zur Messung von Ozon in der Luft

Zusammenfassung

Die Tabelle zeigt eine Übersicht der vorgestellten Verfahren, wobei anhand der Zeichen „+“ und „-“ eine halbquantitative Bewertung der Verfahren im Hinblick auf ihre Einsatzmöglichkeiten für Emissionsmessungen vorgenommen wird.

Für alle Meßverfahren ist in der Praxis zu beachten, daß Probleme durch Ozonverluste bereits während der Probenahme eintreten können. Als Ursache sind Wandreaktionen in Schlauchleitungen oder Partikelfiltern zu nennen. Günstige Eigenschaften für Probenahmesysteme weisen Glas und PTFE auf. Probegasleitungen sind möglichst kurz zu wählen.

Meßverfahren	Selektivität	Meßbereich	Zeitverhalten	Gewicht	Anwendung		
					stat.	mob.	pers.
Kaliumiodid	--	+	--	±	++	±	-
Indigosulfonsäure	+	+	--	±	++	±	-
Prüfröhrchen	±	±	±	++	++	++	±
Halbleitersensor	?	++	+	+	++	+	-
UV-Photometrie	+	+	++	±	++	+	--
Chemilumineszenz	++	++	++	±	++	+	--

Schrifttum

- [1] TRGS 402: Ermittlung und Beurteilung der Konzentrationen gefährlicher Stoffe in der Luft in Arbeitsbereichen. Carl Heymanns Verlag, November 1986
- [2] EN 482: Arbeitsplatzatmosphäre – Allgemeine Anforderungen an Verfahren für Messungen von chemischen Arbeitsstoffen. Beuth-Verlag 1994
- [3] VDI 2468 Blatt 1: Messen der Ozon- und Peroxid-Konzentration, Manuelles photometrisches Verfahren, Kaliumiodid-Methode (Basisverfahren). (Mai 1978)
- [4] VDI 2468 Blatt 5: Messen der Ozon-Konzentration. Manuelles photometrisches Verfahren. Indigosulfonsäure-Verfahren. (Oktober 1978)
- [5] O. Schirk: Messen von Ozonkonzentrationen. Drägerheft 359 (1995), S. 2 - 4
- [6] VDI 2468 Blatt 6: Messen der Ozon-Konzentration. Direktes UV-photometrisches Verfahren (Basisverfahren). (Juli 1979)
- [7] VDI 2468 Blatt 4: Messen der Ozon-Konzentration. Chemilumineszenz-Verfahren. (Mai 1978)

Teil 2: Wirkung

Wirkung von Ozon auf den Menschen

H. Kappus
Virchow-Klinikum, Berlin

Einleitung

Ozon ist ein oxidatives Reizgas, das schon in niedrigen Konzentrationen auf Augen, Nase, Rachenraum und Lunge einwirkt. Aufgrund seiner relativ geringen Wasserlöslichkeit dringt es in tiefere Abschnitte der Lunge ein als andere Reizgase. Lange Zeit wurde Ozon nur aufgrund dieser Reizeffekte beurteilt, obwohl bereits 1973 die „MAK-Kommission“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft funktionelle und strukturelle Lungenveränderungen bei Tieren als Basis für die Begründung des MAK-Wertes herausgestellt hat [1]. Die Wirkungsschwelle für die Reizeffekte von Ozon liegt ungefähr bei 100 ppb ($0,2 \text{ mg/m}^3$), dem bisher gültigen MAK-Wert. Effekte auf die Lungenfunktion wurden früher erst bei höheren Konzentrationen beobachtet. Allerdings wurden bei diesen alten Untersuchungen nur relativ kurze Expositionszeiten gewählt (bis zu zwei Stunden). Im folgenden werden neuere Untersuchungen am Menschen dargestellt, bei denen zum Teil niedrigere Ozonkonzentrationen, dafür aber eine längere Expositionszeit, gewählt wurden. Außerdem wird auf die Toxikokinetik, die Gentoxizität und eine mögliche Kanzerogenität von Ozon eingegangen. Auch der Mechanismus der Ozonwirkungen wird ausführlich dargestellt. Diese Zusammenfassung beschränkt sich im wesentlichen auf Untersuchungen am

Menschen bzw. auf solche Studien, die von unmittelbarer Relevanz für den Menschen sind. Für das Studium von weiteren Ozonwirkungen, vor allem Tierversuche dazu, sei auf die soeben veröffentlichte „MAK-Begründung“ verwiesen [2].

Toxikokinetik

Die Aufnahme von Ozon in die Lunge hängt von der angebotenen Konzentration ab. Bei normaler Atmung liegt die Absorption bei etwa 40 bis 50 % [3]. Wenn Ozon direkt am Ort der Wirkung (Übergang zwischen Bronchiolen und Alveolen) appliziert wird, werden bis über 90 % absorbiert [4, 5]. Die „effektive Dosis“ für diesen Lungenabschnitt ist sehr stark abhängig vom Atemvolumen [6]. Auch in der Nasenschleimhaut wird Ozon sehr stark absorbiert [7]. Im Gegensatz dazu wird Sauerstoff, der aus $^{18}\text{O}_3$ stammte, im Blut nur in äußerst geringen Konzentrationen gefunden. Dies beruht auf der hohen Reaktivität von Ozon mit dem Lungengewebe (siehe Wirkungsmechanismus). Sauerstoff, der aus $^{18}\text{O}_3$ stammte, akkumulierte in der Lunge und hatte dort eine Halbwertszeit von ungefähr sechs Stunden (Mäuse) [8]. Ratten, die in Ruhe ozon-exponiert waren, zeigten nur etwa 1/5 der ^{18}O -Konzentration in der Lungenspül-

Wirkung von Ozon auf den Menschen

flüssigkeit im Vergleich zu körperlich aktiven männlichen Probanden [7]. Dies zeigt eindeutig, daß das Atemvolumen die „effektive Dosis“ in der Lunge bestimmt. Daneben sind für diese Unterschiede möglicherweise auch Unterschiede in der Atemphysiologie verantwortlich.

Die Toxizität von Ozon wurde bisher allgemein durch die Haber'sche Regel (Effekt = Konzentration · Zeit) ausreichend beschrieben. In letzter Zeit wurde dieser Zusammenhang jedoch in Frage gestellt [9 - 11]. Neben dem Atemvolumen (in vielen Versuchen konstant) hängt die Toxizität von Ozon auch ganz entscheidend von der Aufnahmeeffizienz des einzelnen Abschnittes im Atemtrakt ab [12 - 14]. Diese wird wiederum durch den toxischen Effekt selbst beeinflußt [15], der einer Adaptation unterliegt [16, 17]. Neuere mathematische Modelle versuchen, die bekannten Daten zu verarbeiten und die „effektive Dosis“ am Wirkort mit der tatsächlich beobachteten Wirkung zu korrelieren. Diese Modelle sind bisher aber nicht entsprechend validiert [18, 19].

Die Problematik von Dosis-Wirkungs-Beziehungen ist nicht nur dadurch erschwert, daß die „effektive Dosis“ nicht mit letzter Sicherheit kalkulierbar ist, sondern auch deshalb, weil die einzelnen beobachteten toxischen Effekte nicht alle

auf identischen Mechanismen beruhen. Es gibt z.B. Hinweise darauf, daß die akuten Effekte in der Lunge durch die direkte Reaktion von Ozon zustande kommen, während subakute, subchronische und chronische Effekte durch Sekundärreaktionen wie z.B. Entzündungsphänomene verursacht werden. Dies ist auch der Grund, warum bisher keine eindeutige Aussage bezüglich eines „no-effect-levels“ für Ozon möglich ist.

Wirkungen auf die Nase

Bei Exposition von gesunden Probanden gegenüber Ozonkonzentrationen im Bereich von 400 bis 500 ppb können in der Nasenspülflüssigkeit schon nach zwei Stunden Proteine, Entzündungszellen und Entzündungsmediatoren nachgewiesen werden. Auch 18 Stunden nach Exposition waren diese Effekte noch nicht auf die Ausgangswerte zurückgegangen [20, 21]. Die Zusammensetzung der Nasenspülflüssigkeit unterschied sich im Prinzip nicht von der der Lungenspülflüssigkeit (siehe Seite 47) [22, 23]. Im unteren Konzentrationsbereich von 120 bis 240 ppb waren solche Effekte nur noch bei Asthmapatienten zu beobachten [24]. Bei diesen Probanden zeigte sich jedoch kein Anstieg von Entzündungszellen bzw. -Mediatoren in der Lungenspülflüssigkeit.

Wirkungen auf die Lunge

Erst in den letzten Jahren wurden akute Expositionsstudien mit gesunden Probanden durchgeführt, bei denen die Expositionszeit länger als zwei Stunden dauerte. In Kammerversuchen, entweder mit oder ohne körperliche Aktivität, wurden konzentrationsabhängig Veränderungen der Atemfunktionen beobachtet, die bis herunter in einen Konzentrationsbereich von 80 ppb noch signifikant waren. Bei 6,6-Stunden-Exposition mit mäßiger körperlicher Aktivität waren noch bei 80 ppb das forcierte expiratorische Volumen, gemessen in einer Sekunde (FEV_1), die forcierte Vitalkapazität (FVC) und die expiratorische „flow rate“ (FEF) vermindert (siehe Tabelle 1 auf Seite 56).

Bis herunter auf 120 ppb war auch die sportliche Leistung verringert. Die Reaktivität gegenüber Substanzen mit bronchokonstriktorischer Wirkung nahm zu bis hinunter zu einer Konzentration von 80 ppb Ozon. Im Gegensatz dazu wurde ein Anstieg der Atemwegsperrmeabilität erst bei höheren Konzentrationen beobachtet (siehe Tabelle 1). Die Freisetzung von Entzündungsmediatoren und Entzündungszellen in die bronchioalveoläre Flüssigkeit („lavage“) konnte ebenfalls bis in einen Konzentrationsbereich von 80 ppb Ozon bei 6,6-Stunden-Exposition signifikant erhöht gemessen

werden (siehe Tabelle 1). Eine verstärkte tracheobronchiale Clearance von Partikeln aus der Lunge wurde bis hinunter auf 200 ppb Ozon gemessen. Niedrigere Konzentrationen wurden nicht eingesetzt (siehe Tabelle 1).

Es gibt praktisch keine Präferenz der Effekte auf die Lunge für Raucher, ältere Erwachsene, Asthmapatienten und Patienten mit Lungenerkrankungen. Die einzige Ausnahme sind Patienten mit allergischer Rhinitis, die eine höhere Empfindlichkeit gegenüber Ozon bezüglich der Lungenfunktionsänderungen haben. Raucher, die sechs Monate das Rauchen eingestellt hatten, waren weniger empfindlich gegenüber den Lungenfunktionsänderungen von Ozon. Frauen scheinen etwas empfindlicher gegenüber den ozonbedingten Lungenfunktionsänderungen zu sein [25 - 28].

Die Lungenfunktionsänderungen werden allgemein als reversibel angesehen [25, 29].

Die in der Lungenspülflüssigkeit gemessenen Cyclooxygenase-Produkte stammen nicht aus Entzündungszellen (untersucht wurden Neutrophile), sondern wahrscheinlich aus den Lungenepithelzellen. Dies konnte in vitro an Epithelzellen aus Rindertrachea und humanen Epithelzellen aus der Lunge simuliert werden [25]. Ausgeschlossen werden konnte auch,

Wirkung von Ozon auf den Menschen

daß Thromboxan für die ozoninduzierten Lungenfunktionsänderungen verantwortlich ist, obwohl Thromboxan B2 nach Ozonexposition in der Lungenspülflüssigkeit nachgewiesen werden konnte. Außerdem wurden noch Anstiege von Proteinen, z.B. Albumin, IgE, Fibronectin, Gerinnungsfaktoren, Plasminogenaktivator, Leukotriene, Interleukine, Substanz P und Complement, signifikant erhöht nachgewiesen, die z.T. auch noch 18 Stunden nach Exposition erhöht waren [25, 30, 31].

Der Mechanismus der Lungenfunktionsänderungen durch Ozon ist nicht geklärt. Es zeigte sich, daß kein Zusammenhang zwischen Bronchokonstriktion und Ozon-effekten auf die Lunge besteht. Bestimmte Parameter, wie z.B. die Abnahme des Atemwegswiderstands, sprechen für einen parasympathomimetischen Mechanismus, während andere, wie z.B. die forcierte Vitalkapazität, nicht damit korrelieren. Ebenfalls besteht kein Zusammenhang zwischen der Veränderung der Lungenfunktionen und β -adrenergen Mechanismen. Andererseits konnten einige der Lungenfunktionsänderungen beim Menschen mit Indometacin gehemmt werden. Dies spricht für eine Beteiligung von Cyclooxygenase-Produkten. Ein Anstieg von Prostaglandin E_2 , F_{2A} , 6-Keto- F_{1A} wurde nach Exposition von Probanden in der Lungenspülflüssigkeit gefunden. Von einigen dieser Cyclo-

oxygenase-Metaboliten ist bekannt, daß sie afferente Neuronen in der Lunge stimulieren [25, 31].

Über strukturelle und morphologische Veränderungen bei akuter Exposition gegenüber Ozon in der Lunge ist beim Menschen im Gegensatz zum Tier nichts bekannt.

Die Adaptation funktioneller Veränderungen ist gut belegt [25]. Bei wiederholter täglicher Exposition gegenüber niedrigen Ozonkonzentrationen ist die Wirkung am zweiten Tag am stärksten, nimmt dann ab bis zum fünften Tag, an dem praktisch keine Effekte mehr meßbar sind. Ob auch die anderen Veränderungen in der Lunge beim Menschen dieser Adaptation unterliegen, ist bisher nicht eindeutig geklärt.

Wirkungen auf andere Organe

Hierzu liegen keine Untersuchungen am Menschen vor. Lediglich Effekte auf das Immunsystem sind beim Menschen bekannt: Zum Beispiel war die Aktivität von T-Zellen *in vitro* nach *in-vivo*-Exposition gegenüber Ozon vermindert [32]. Nach Exposition von gesunden Probanden gegenüber 80 ppb Ozon über 6,6 Stunden war u.a. auch die Phagozytose-Aktivität der alveolären Makrophagen in der Lungenspülflüssigkeit bei *in-vitro*-Unter-

suchungen signifikant vermindert [33]. Bezüglich der Tierversuch- und der *In-vitro*-Ergebnisse zur Immuntoxizität siehe [2, 35, 36].

Tierversuche zeigten, daß erst bei relativ hohen Konzentrationen (> 500 ppb) Effekte auf andere Organe als Augen und Atemwege auftreten. Es wird allgemein angenommen, daß diese auf Sekundärreaktionen beruhen, z.B. durch Freisetzung von Mediatoren aus der Lunge in den Blutkreislauf [2]. Deshalb kann man davon ausgehen, daß bei den sehr viel niedrigeren Konzentrationen, denen Arbeiter ausgesetzt sind, Effekte auf andere Organe nicht auftreten. Dies kann auch aus den kinetischen Daten, die beim Menschen gewonnen wurden, abgeleitet werden (siehe „Toxikokinetik“ und „Wirkungsmechanismus“).

Gentoxizität

Ozon hat eindeutig ein gentoxisches Potential. Die Reaktion mit isolierter DNS und RNS ist lange bekannt. Angriffspunkte sind vor allem die Basen Thymin und Guanin. Sowohl Einzel- als auch Doppelstrangbrüche treten auf. Die entsprechenden Reaktionsprodukte sind bisher nicht identifiziert worden. Ozon ist in fast allen bekannten *in-vitro*-Testsystemen mutagen (siehe Tabelle 2 auf Seite 58 f.). Negative Ergebnisse beruhen

entweder auf der Verwendung eines unempfindlichen Stammes oder zu niedriger Ozonkonzentrationen bzw. Mißachtung der hohen Reaktivität von Ozon (z.B. Begasung von Puffer). Auch in Pflanzenzellen (nicht in Tabelle 2 aufgeführt) hat Ozon gentoxische Eigenschaften [37]. In verschiedenen Säugerzellsystemen, einschließlich menschlicher Zellen, zeigte Ozon gentoxische Eigenschaften, wenn die Exposition der Zellen *in vitro* stattfand (siehe Tabelle 2). Einzelne negative Ergebnisse sind nicht interpretierbar und beruhen wahrscheinlich auf experimentellen Unzulänglichkeiten und nicht auf einer besonderen Resistenz der untersuchten Zellen gegenüber Ozon.

Auch nach Exposition von Tieren *in vivo* ist ein gentoxisches Potential von Ozon nachweisbar (siehe Tabelle 3 auf Seite 60 f.). Allerdings überwiegen hier die negativen Befunde, obwohl zum Teil sehr hohe Konzentrationen eingesetzt wurden. Bemerkenswert ist vor allem der negative Befund bei Knochenmarkszellen. Die positiven Befunde bei Chromosomen- und Chromatid-Veränderungen in peripheren Lymphozyten und in Alveolar-Makrophagen müssen in Zukunft noch in Abhängigkeit von der Ozonkonzentration untersucht werden.

Die *in-vivo*-Befunde beim Menschen (Tabelle 3) sind bisher nicht zu inter-

Wirkung von Ozon auf den Menschen

pretieren, da nach Exposition gegenüber Ozon in Lymphozyten sowohl negative als auch positive Ergebnisse erhoben wurden.

Die *in-vitro*-Gentoxizität von Ozon läßt sich nicht ohne weiteres auf die *in-vivo*-Situation übertragen, da Ozon selbst die entsprechenden „Targets“ nicht erreicht. Vor allem fehlen *in-vivo*-Studien mit klarer Konzentrations-Wirkungs-Beziehung. Für die gentoxischen Wirkungen von Ozon kommen jedoch als auslösende Agentien auch seine Reaktionsprodukte mit Zellbestandteilen wie z.B. Aldehyde in Frage [37].

Kanzerogenität

Naturgemäß liegen hierzu nur Tierversuche vor.

Neben den gentoxischen Wirkungen (siehe oben) hat Ozon auch eindeutig transformierende Eigenschaften. Dies wurde *in vitro* sowohl in primären Hamsterembryozellen als auch in Mäusefibroblasten und in primären Epithelzellen aus Rattentrachea nachgewiesen [38 - 40]. Nach Inhalation von bis zu 1200 ppb, 6 h/d, 5 d/w, bis zu vier Wochen konnten die transformierenden Eigenschaften von Ozon *in vivo* an Epithelzellen der Rattentrachea aber nicht reproduziert werden [40].

Es liegen mehrere Studien zur Frage einer kanzerogenen Wirkung von Ozon vor [25, 37, 41, 42]. Die älteren Studien, die alle mit Ozonkonzentrationen über 1000 ppm durchgeführt wurden, sind nach Ansicht der Experten nicht „lege artis“ vorgenommen worden.

Bei sechsmonatiger Exposition gegenüber über 310 ppb bzw. 500 ppb Ozon von Mäusen (A/J-Stamm) wurden vermehrt Lungenadenome beobachtet [43]. Diese Untersuchungen wurden von Last et al. [44] bei Exposition gegenüber 800 ppb, aber nicht gegenüber 400 ppb, über 18 Wochen bestätigt. In dem Mäusestamm Swiss-Webster ergab sich keine erhöhte Inzidenz von Lungenadenomen.

Andererseits wurde gezeigt, daß Ozon eine co-kanzerogene Wirkung hat, die abhängig ist vom Dosierungsschema [42]: Die Tatsache, daß Ozon einmal die Tumorausbeute von bekannten Kanzerogenen steigert, ein anderes Mal senkt, wurde damit erklärt, daß Ozon u.a. proliferationsfördernde Eigenschaften hat, in höheren Konzentrationen aber zytotoxisch ist.

In einer neueren Studie an Ratten, die sechs Monate lang gegenüber 200 ppb Ozon exponiert waren (6h/d; 5d/w), wurde ein Anstieg der Tumorzinzidenz in der Lunge von 0,9 % (historische Kontrolle) auf 6 % beschrieben [45]. Diese

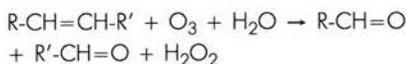
Studie ist jedoch nicht bewertbar, da keine Kontrollgruppe parallel mitgeführt wurde.

In der vor kurzem durchgeführten NTP-Studie ergaben sich bei Mäusen eindeutig erhöhte Zahlen von Adenomen und Karzinomen in der Lunge (Tabelle 4, siehe Seite 62). Bei Ratten war die Tumorzinidenz nicht erhöht, es traten jedoch wie bei den Mäusen Metaplasien der Atemwege auf (Tabelle 4). Unter 500 ppb Ozon (120 ppb untersucht) war auch bei Mäusen die Tumorraten nicht erhöht (Tabelle 4).

Bei einem parallel laufenden Versuch auf co-kanzerogene Effekte mit dem Lungenkanzerogen NNK zeigte sich bei Ratten keine Zunahme der NNK-induzierten Tumoren in der Lunge [46, 47].

Wirkungsmechanismus

Ozon ist ein sehr reaktionsfreudiges Molekül, das zahlreiche Biomoleküle oxidieren kann. Der Angriff an olefinischen Strukturen verläuft nach folgender Summenreaktion [48]:



Bei der Reaktion von Ozon mit Elektronen-Donatoren wie z.B. Gluta-

thion läuft folgende Summenreaktion ab:



Bei beiden Reaktionen entstehen also reaktive Sauerstoff- und Aldehyd-Verbindungen, die für eine Toxizität in Frage kommen. Das gebildete Wasserstoffperoxid wird für die Lipidperoxidation verantwortlich gemacht. Das Hydroxyl-Radikal könnte z.B. mit DNS reagieren, wobei Strangbrüche und Basen-Oxidationsprodukte auftreten [49]. In vitro wurden nach Ozon-Inkubation von DNS Thymin-Glykol, 8-Hydroxy-Desoxyguanosin und Hydroxymethyluracil identifiziert [50]. Auch in vivo wurden Radikale nachgewiesen [51], die aber noch nicht identifiziert werden konnten. Welche der genannten reaktiven Spezies für die Proteinveränderungen verantwortlich ist, ist noch nicht ganz geklärt. In Lösungen reagieren vor allem die Aminosäuren Cystein, Methionin, Tyrosin, Tryptophan und Histidin mit Ozon [48, 52].

Daß Ozon in Zellen über einen „oxidativen Stress“ wirkt [53], kann aus der Tatsache abgeleitet werden, daß viele toxische Effekte von Ozon durch Antioxidantien wie z.B. Vitamin E und durch Desferal, ein Eisenchelator, der auch die Lipidperoxidation in vivo hemmt, aufgehoben werden können [54 - 56]. Darüber hinaus werden

Wirkung von Ozon auf den Menschen

in vitro und in vivo zahlreiche Enzyme durch Ozonexposition induziert, die zu den sogenannten Schutzmechanismen gegen „oxidativen Stress“ gehören wie z.B. Superoxid-Dismutase, Glutathionperoxidase, Glutathionreductase, Katalase sowie Glutathion [57, 58]. Daneben werden auch Phospholipasen und andere Faktoren, die bei einer Lipidperoxidation induziert werden, aktiviert [59]. Entscheidend für eine Enzyminduktion durch Ozon ist immer die eingesetzte Konzentration, da bei höheren Konzentrationen die Toxizität im Vordergrund steht.

Aufgrund der Vielzahl der Zwischenprodukte bei der Reaktion von Ozon mit Zellen ist es praktisch unmöglich, den jeweiligen toxischen Mechanismus einem bestimmten Reaktionsweg zuzuordnen. Man muß davon ausgehen, daß die einzelnen Reaktionswege sehr stark abhängig sind von der angebotenen Ozonkonzentration und von der Art der Exposition (kontinuierlich gegenüber intermittierend). Viele allgemein übliche Meßparameter für eine Ozontoxizität sind die Folge von Sekundärreaktionen wie z.B. der Übertritt von Plasmabestandteilen in die Lunge nach Zerstörung der entsprechenden Membranabschnitte. Man muß auch davon ausgehen, daß Ozon selbst die Zellmembran nicht passieren kann, sondern daß es bereits auf der Zelloberfläche abreagiert. Welches

der entstehenden Reaktionsprodukte in der Lage ist, in die Zelle einzudringen und eventuell bis zum Zellkern zu wandern, ist unklar.

Der stöchiometrische Anfall von Wasserstoffperoxid und die Bildung von reaktiven Aldehyden und Ketonen können jedoch verschiedene intrazelluläre Effekte, einschließlich der Gentoxizität, erklären.

Risikoabschätzung

Die Untersuchungen am Menschen alleine reichen für eine Risikoabschätzung nicht aus, da wie oben dargestellt, ausschließlich Expositionen mit kurzer Zeitdauer durchgeführt wurden. Obwohl einige Untersuchungen fast ideal den Bedingungen am Arbeitsplatz entsprechen, kann aufgrund des komplexen Wirkungsmechanismus von Ozon nicht unmittelbar auf Langzeitexposition extrapoliert werden. Zumindest zeigen die Kurzzeitversuche, daß eine Exposition gegenüber 80 ppb Ozon über 6,6 Stunden objektivierbare Effekte auf die Lunge hat. In der Regel werden Lungenfunktionsänderungen in der Größenordnung von 10 bis 15 Prozent als nicht gravierend angesehen, die Permeabilitätsänderung mit Freisetzung von Entzündungszellen und Entzündungsmediatoren können aber nicht nach diesem Prinzip be-

wertet werden. Dies gilt vor allem im Zusammenhang mit einer Langzeitexposition, wobei nicht klar ist, ob die Lunge sich mit der Zeit komplett adaptiert. Aufgrund des Wirkungsmechanismus und vieler Tierversuche kann man jedoch davon ausgehen, daß mit zunehmender Expositionszeit eine zunehmende Adaptation stattfindet, z.B. durch Induktion von Schutzmechanismen (siehe „Wirkungsmechanismus“ und [60]). Dies gilt allerdings nur im unteren Konzentrationsbereich.

Im Tierversuch werden bei Langzeitexposition bei höheren Konzentrationen im Atemtrakt Degeneration, Hyperplasie, Metaplasie, fibröse Veränderungen u.a. beobachtet [2, 61]. Bei diesen Effekten gibt es bisher auch im Tierversuch keinen vernünftig begründbaren „No-effect-level“ (NOEL). Neuere Untersuchungen haben sich bei der Ableitung eines NOEL auf einen sehr empfindlichen Parameter, den „cumulative labeling index“ konzentriert. Dieser Parameter wurde sowohl im Nasenepithel [62] als auch im Lungengewebe [63] eingesetzt. Nach Ozonexpositionen ergab sich, daß dieser Parameter sowohl von der Ozonkonzentration als auch von der Expositionszeit abhing. Für die Nase ergab sich ein NOEL von 1440 ppb · Stunde, während für einzelne Abschnitte der Lunge bei diesem Wert noch ein signifikanter Effekt zu beobachten war. Unter

der Voraussetzung, daß der Mensch ähnlich empfindlich ist wie die hier untersuchte Ratte, zeigen diese Versuche, daß bei acht Stunden Exposition bei 180 ppb noch mit Effekten auf die Lunge, aber nicht auf die Nase zu rechnen ist. Allerdings fehlen bisher Untersuchungen mit niedrigeren Konzentrationen. Außerdem sind alle diese Ergebnisse nur in Kurzzeitversuchen (bis zu 24 Stunden) gewonnen worden.

Aus den Kurzzeitversuchen am Menschen (siehe oben) ergibt sich auf der Basis einer kumulativen Dosis (Konzentration · Zeit), daß beim Menschen 80 ppb Ozon, über 6,6 Stunden inhaliert, noch zu unerwünschten Wirkungen führen können. Dies entspricht einer kumulativen Dosis von 528 ppb. Unter der Voraussetzung, daß niedrigere Konzentrationen keine Effekte mehr haben (diese wurden aber nicht untersucht), müßte die kumulative Dosis für einen Arbeitstag unter 528 ppb angesetzt werden. Bei einem Acht-Stunden-Tag würde diese Bedingung bei einer Ozonkonzentration von 50 ppb (kumulative Dosis = 400 ppb) erfüllt. Bei 100 ppb Ozon wäre die kumulative Dosis von 400 ppb schon bei einer Expositionszeit von vier Stunden erreicht. Wegen der Unsicherheit dieser Ableitung sei auf die eben erschienene „MAK-Begründung“ verwiesen [2]. Wenn es tatsächlich zu einer Adaptation im Verlauf von mehreren

Wirkung von Ozon auf den Menschen

Tagen kommt, könnte dieser Wert auch höher liegen. Man darf jedoch nicht davon ausgehen, daß bei kürzerer Expositionszeit (z.B. eine Stunde) diese kumulative Dosis voll „ausgeschöpft“ werden kann, da bei Ozonkonzentrationen von über 100 ppb Reizwirkungen im Vordergrund stehen. Bei einer Grenzwertfestlegung muß es deshalb einen sogenannten „Ceiling-Wert“ geben, der überhaupt nicht überschritten werden sollte.

Da Ozon bei der NTP-Studie *in vivo* die Tumorzinzidenz bei weiblichen Tieren signifikant erhöht hat [47], ist nicht auszuschließen, daß Ozon ein kanzerogenes Potential besitzt. Dieser Verdacht wird durch weitere Tierstudien gestützt. Deshalb wurde Ozon in Gruppe III B der MAK- und BAT-Werte-Liste eingestuft [34]. Die Tatsache, daß bei der NTP-Studie nur die beiden höheren Dosierungen zu diesem Effekt führten, spricht für eine Schwellenkonzentration. Die Tumoren könnten durch die anhaltenden Entzündungsreaktionen in der Lunge bei den sehr hohen Ozonkonzentrationen, die eingesetzt wurden, verursacht sein. Dieser Mechanismus würde auf jeden Fall einer Dosis-Wirkungs-Beziehung mit Schwellenkonzentrationen unterliegen. In gleicher Richtung könnten die negativen Tumor-Befunde bei den Ratten und die fraglichen bei

den männlichen Mäusen interpretiert werden.

Andererseits ist Ozon eindeutig genotoxisch. Aufgrund des wahrscheinlichen Wirkungsmechanismus für die Genotoxizität (entweder oxidative DNS-Schäden oder Bildung von genotoxischen Reaktionsprodukten bei oxidativem Stress) kann aber auch dafür ein Schwellenwert postuliert werden, da die Zellen mit entsprechenden Schutzmechanismen gut ausgestattet sind (siehe „Wirkungsmechanismus“). Die Überlastung dieser Mechanismen könnte auch für die erhöhte Tumorausbeute in der Lunge von Mäusen verantwortlich sein, die bei hohen, nicht aber bei niedrigen Ozonkonzentrationen auftraten. Eine unterschiedliche Ausstattung bzw. Induzierbarkeit dieser Schutzmechanismen könnte auch Speziesunterschiede erklären.

Alle Untersuchungen am Menschen mit Ozon, vor allem die beobachteten Adaptationsphänomene, sprechen dafür, daß diese Schutzmechanismen auch beim Menschen vorliegen und induzierbar sind. Deshalb ist davon auszugehen, daß auch beim Menschen für eine eventuelle Genotoxizität und/bzw. Kanzerogenität von Ozon eine Schwellenkonzentration abgeleitet werden kann. Wie hoch diese ist, kann aber bisher nicht beantwortet werden. Dies war auch der Grund dafür, daß die „MAK-Kommis-

sion“ den MAK-Wert für Ozon ausgesetzt hat [2, 34]. Erst wenn der Wirkungsmechanismus aufgeklärt ist und entsprechende Dosis-Wirkungs-Beziehungen im unteren Konzentrationsbereich für Ozon vorliegen, kann ein Grenzwert für den Arbeitsplatz wissenschaftlich begründet werden.

In der Diskussion wurden folgende Punkte angesprochen:

1. Bezüglich der Wirkung von Ozon als Reizgas ist es erforderlich, die aufgenommene Ozondosis (Konzentration · Zeit) zu begrenzen.
2. In die Beurteilung von Ozon durch die MAK-Kommission sind keine epidemiologischen Studien mit eingeflossen, da nur Studien mit Monoexposition verwendet werden können. Beispielsweise gibt es Hinweise auf Lungenschädigungen durch hohe Ozonkonzentrationen in Mexico-City, jedoch liegen auch hier keine Monoexpositionen vor. Langzeitstudien an Personen mit Monoexposition sind erforderlich.
3. Die Schutzmechanismen des menschlichen Körpers könnten bei der Grenzwertfestsetzung berücksichtigt werden, jedoch liegen hierzu nicht genügend Untersuchungen vor.

Wirkung von Ozon auf den Menschen

Tabelle 1:
Wirkungen von Einzelexpositionen auf die Lunge von Probanden (O₃ in gereinigter Luft)*)

Wirkungen	Probanden	Expositionsbedingungen	Literatur
5 bis 10 % mittlere Abnahme des FEV ₁	gesunde junge Männer	180 ppb; 2 h; intermittierend starke körperliche Aktivität	McDonnell et al., 1983 [26]
5 bis 10 % mittlere Abnahme des FEV ₁	gesunde junge Männer	120 ppb; 8 h; intermittierend 4 h körperliche Aktivität	Hazucha et al., 1992 [64]
5 bis 10 % mittlere Abnahme des FEV ₁	gesunde junge Männer	100 ppb; 6,6 h; intermittierend 5 h mäßige körperliche Aktivität	Horstman et al., 1990 [65]
5 bis 10 % mittlere Abnahme des FEV ₁	gesunde junge Männer	80 ppb; 6,6 h; intermittierend 5 h körperliche Aktivität	McDonnell et al., 1991 [66]
Abnahme des FVC und der mittleren FEF	gesunde junge Männer	80 ppb; 6,6 h; intermittierend 5 h körperliche Aktivität	McDonnell et al., 1991 [66]
Verstärkter Hustenreiz	gesunde junge Männer und Frauen	120 bis 130 ppb; 16 bis 28 min; starke körperliche Aktivität	Linder et al., 1988 [67]
Verstärkter Hustenreiz	gesunde junge Männer	120 ppb; 2 h; intermittierend starke körperliche Aktivität	McDonnell et al., 1983 [68]
Verstärkter Hustenreiz	Gesunde junge Männer und Frauen	80 ppb; 6,6 h; intermittierend 5 h mäßige körperliche Aktivität	Horstman et al., 1990 [65]
verminderte sportliche Leistung	gesunde junge Männer	180 ppb; körperliche Aktivität 30 min bei 54 l/min und 30 min bei 120 l/min Atemvolumen	Schelegle und Adams, 1986 [69]

Tabelle 1:
(Fortsetzung)

Wirkungen	Probanden	Expositionsbedingungen	Literatur
verminderte sportliche Leistung	gesunde junge Männer und Frauen	120 bis 130 ppb; 16 bis 28 min; körperliche Aktivität bei 30 bis 120 l/min Atemvolumen	Linder et al., 1988 [67]
Zunahme der Atemwegs-Reaktivität	junge Männer mit allergischer Rhinitis	180 ppb; 2 h; starke körperliche Aktivität	McDonnell et al., 1987 [70]
Zunahme der Atemwegs-Reaktivität	gesunde junge Männer	80 ppb; 6,6 h; intermittierend 5 h mäßige körperliche Aktivität	Horstman et al., 1990 [65], McDonnell et al., 1991 [66]
Zunahme der Atemwegs-Permeabilität	gesunde junge Männer	400 ppb; 2 h; intermittierend starke körperliche Aktivität	Kehrl et al., 1987 [71]
Zunahme des spezifischen Atemwegs-Widerstandes	gesunde junge Männer	80 ppb; 6,6 h; intermittierend 5 h körperliche Aktivität	McDonnell et al., 1991 [66]
Zunahme von Atemwegs-Entzündungen	gesunde junge Männer	80 ppb; 6,6 h; intermittierend 5 h körperliche Aktivität	Koren et al., 1989 [72]; Devlin et al., 1991 [33]
Partikel-Retention unverändert trotz Änderungen der Lungenfunktion	gesunde junge Männer	400 ppb; 1 h; kontinuierlich leichte körperliche Aktivität	Gerrity et al., 1993 [73]
verstärkte tracheobronchioläre Partikel-Clearance	gesunde junge Männer	330 ppb, 200 ppb; 2 h; intermittierend leichte körperliche Aktivität	Foster et al., 1987, 1993 [74, 75]

FEV₁: Forciertes expiratorisches Volumen (1 Sekunde)

FVC: Forcierte Vitalkapazität

FEF: Expiratorische „Flow Rate“

*) Modifiziert nach Lippmann [25] und ergänzt bzw. gekürzt

Wirkung von Ozon auf den Menschen

Tabelle 2 a:
Gentoxische Wirkungen *in vitro* (ohne humane Zellen)*)

Testsysteme	Ergebnisse	Literatur
E. coli K12 (verschiedene Stämme)	„Reverse“ and „forward“ Mutationen; DNS-Strangbrüche; Toxizität in DNS-Reparatur-defizienten Stämmen	Hamelin et al., 1984 [76]; L'Herault und Chung, 1984 [77, 78]; Hamelin, 1985 [79]; Nover und Botzenhart, 1985 [80]; Parduez und Chung, 1988 [81]; Hamelin und Chung, 1989 [82]
B. subtilis	Toxizität in DNS-Reparatur-defizienten Stämmen	Song und Chung, 1983 [83]
Salmonella TA98, TA 100, TA 104, TA 1535	mit und ohne metabolische Aktivierung negativ	Victorin und Stahlberg, 1988 [84]; Dillon et al., 1992 [85]
Salmonella TA102	„Reverse“ Mutation	Dillon et al., 1992 [85]
S. cerevisiae (verschiedene Stämme)	„Reverse“ und „forward“ Mutationen, Gen-Konversion, mitotisches „crossing-over“	Dubeau und Chung, 1979, 1982 [86, 87]
Chinesische Hamsterzellen (V79)	Hemmung der DNS-Synthese; Induktion von Schwesterchromatid-Austausch (SCE) schwach bzw. negativ	Rasmussen und Crocker, 1982 [88]; Rasmussen, 1986 [89]; Shiraiishi und Bandow, 1985 [90]
Mäuse-Fibroblasten (L929)	DNS-Strangbrüche; DNS-„cross-links“	Van der Zee et al., 1987 [91]

*) Modifiziert nach Victorin, 1992 [37], und ergänzt bzw. gekürzt

Tabelle 2 b:
Gentoxische Wirkungen *in vitro* (humane Zellen)*)

Testsysteme	Ergebnisse	Literatur
Periphere Lymphozyten in Kultur	Chromatiden-Deletionen; Schwesterchromatiden- Austausch (SCE); keine Chromosomentyp-Aberrationen	Gooch et al., 1976 [92]; Hsueh und Xiang, 1984 [93]
Fetale Lungenzellen (WI-38)	Chromatiden-Deletionen; Schwesterchromatiden- Austausch (SCE); keine Chromosomentyp-Aberrationen	Guerrero et al., 1979 [94]
Epidermis-Zellen (RHEK)	keine DNS-Strangbrüche	Borek et al., 1988 [95]
Lungen-Epithelzellen (A549)	keine DNS-Strangbrüche	Kozumbo und Agarwal, 1990 [96]
Lungen-Fibroblasten (CCD-18Lu)	keine DNS-Strangbrüche	Kozumbo und Agarwal, 1990 [96]

*) Modifiziert nach Victorin, 1992 [37], und ergänzt bzw. gekürzt

Wirkung von Ozon auf den Menschen

Tabelle 3 a:
Gentoxische Wirkungen in vivo (Tier)*

Spezies	Ergebnisse	Literatur
Chinesische Hamster	In peripheren Lymphozyten: Chromatiden-Deletionen; Chromosomentyp-Aberrationen widersprüchlich; Schwesterchromatiden-Austausch (SCE) negativ; in Knochenmarkszellen: Strukturelle Chromosomen-Aberrationen negativ	Zelac et al., 1971 [97, 98]; Tice et al., 1978 [99]
Mäuse	In peripheren Lymphozyten: Strukturelle Chromosomen-Aberrationen und Schwesterchromatiden-Austausch (SCE) negativ; in Knochenmarkszellen: dto.	Gooch et al., 1976 [92]; Tice et al., 1978 [99]
Ratten	In Lungen-Makrophagen: Chromatiden-Deletionen; keine Chromosomentyp-Aberrationen; in Knochenmarkszellen: Chromosomen-Aberrationen negativ	Zhurkov et al., 1979 [100]; Rithidech et al., 1990 [101]
Drosophila	Dominante Letalmutationen	Erdman und Hernandez, 1982 [102]

*) Modifiziert nach Victorin, 1992 [37], und ergänzt bzw. gekürzt

Tabelle 3 b:
 Genotoxische Wirkungen *in vivo* (humane periphere Lymphozyten)*)

Exposition	Ergebnisse	Literatur
500 ppb, 6 h bzw. 10 h (sechs gesunde Probanden) (Geschlecht?)	Nur achromatische Läsionen (Gaps); strukturelle Chromo- somen-Aberrationen negativ	Merz et al., 1975 [103]
400 ppb, 4 h (30 gesunde Probanden) (männlich)	Strukturelle Chromosomen- Aberrationen negativ	McKenzie et al., 1977 [104]
500 ppb, 2 h (31 gesunde Probanden) (männlich und weiblich)	Schwesterchromatiden- Austausch (SCE) negativ	Guerrero et al., 1979 [94]

*) Modifiziert nach Victorin, 1992 [37], und ergänzt bzw. gekürzt

Wirkung von Ozon auf den Menschen

Tabelle 4:
Ergebnis des NTP-Reports zur kanzerogenen Wirkung an Ratten und Mäusen*)

Spezies	Exposition	Ergebnisse
Ratten F344/N (männlich und weiblich)	120 ppb, 500 ppb, 1000 ppb; 6 h/d, 5 d/w, 104 w	Metaplasien in Epiglottis, Nase und Lunge bei 500 ppb und 1000 ppb; keine Zunahme von alveolären/bronchiolären Adenomen und Karzinomen
Ratten F344/N (männlich und weiblich)	500 ppb, 1000 ppb; 6 h/d, 5 d/w, 124 w (Lebenszeit-Exposition)	Metaplasien in Nase, Kehlkopf und Lunge (u.a. auch Fibrosen); keine Zunahme von Tumoren
Mäuse B6C3F ₁ (männlich und weiblich)	120 ppb, 500 ppb, 1000 ppb, 6 h/d, 5 d/w, 105 w	Metaplasien in Nase und Lunge bei 500 ppb und 1000 ppb; Hyperplasien in Nase und Epiglottis; Zunahme der alveolären/bronchiolären Adenome und Karzinome bei 500 ppb und 1000 ppb (männliche Tiere: 18/50 bzw. 19/50, Kontrolle 14/50; weibliche Tiere: 9/49 bzw. 16/50, Kontrolle 6/50)
Mäuse B6C3F ₁	500 ppb, 1000 ppb; 6 h/d, 5 d/w, 130 w (Lebenszeit-Exposition)	Metaplasien in Nase, Kehlkopf und Lunge; Hyperplasien in Nase und Kehlkopf; Zunahme der alveolären/bronchiolären Adenome und Karzinome (männliche Tiere: 22/49 bzw. 21/50, Kontrolle 16/49; weibliche Tiere: 8/49 bzw. 12/50, Kontrolle 6/50)

*) Modifiziert nach NTP, 1994 [47] (Bewertung des „Scientific Committees“ bzgl. Kanzerogenität:
Ratten negativ, männliche Mäuse widersprüchlich, weibliche Mäuse signifikant bei 500 ppb und 1000 ppb)

Wirkung von Ozon auf den Menschen

Schrifttum

[1] DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft): „Ozon“. In: Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe — Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründungen von MAK-Werten. 2. Lieferung, VCH-Verlag, Weinheim, Ozon 1 — Ozon 9, 1973

[2] DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft): „Ozon-Nachtrag 1995“. In: Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe — Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründungen von MAK-Werten. 21. Lieferung, VCH-Verlag, Weinheim, Ozon 1 — Ozon 26, 1995b

[3] Wiester, M.J., Tepper, J.S., King, M.E., Ménache, M.G., and Costa, D.L.: Comparative study of ozone (O₃) uptake in three strains of rats and in the Guinea pig. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 96 (1988), S. 140 - 146

[4] Hu, S.C., Ben-Jebria, A., and Ultman, J.S.: Longitudinal distribution of ozone absorption in the lung: Quiet respiration in healthy subjects. *J. Appl. Physiol.* 73 (1992), S. 1655 - 1661

[5] Hu, S.-C., Ben-Jebria, A., and Ultman, J.S.: Longitudinal distribution of ozone absorption in the lung: Effects of respiratory flow. *J. Appl. Physiol.* 77 (2) (1994), S. 574 - 583

[6] Postlethwait, E.M., Langford, S.D., and Bidani, A.: Determinants of inhaled ozone absorption in isolated rat lungs. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 125 (1994), S. 77 - 89

[7] Hatch, G.E., Slade, R., Harris, L.P., McDonnell, W.F., Devlin, R.B., Koren, H.S., Costa, D.L., and McKee, J.: Ozone dose and effect in humans and rats. A comparison using oxygen-18 labeling and bronchoalveolar lavage. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 150 (1994), S. 676 - 683

[8] Sanrock, J., Hatch, G.E., Slade, R., and Hayes, J.M.: Incorporation and disappearance of oxygen-18 in lung from mice exposed to 1 ppm ¹⁸O₃. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 98 (1989), S. 75 - 80

[9] Rajini, P., Gelzleichter, T.R., Last, J., and Witschi, H.: Alveolar and airway cell kinetics in the lungs of rats exposed to nitrogen dioxide, ozone, and a combination of the two gases. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 121 (1993), S. 186 - 192

[10] Rajini, P., Gelzleichter, T.R., Last, J.A., and Witschi, H.: Airway epithelial labeling index as an indicator of ozone induced lung injury. *Toxicology* 83 (1993), S. 159 - 168

Wirkung von Ozon auf den Menschen

- [11] Gelzleichter, T.R., Witschi, H., and Last, J.A.: Concentration-response relationships of rat lungs to exposure to oxidant air pollutants: A critical test of Haber's Law for ozone and nitrogen dioxide. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 112 (1992), S. 73 - 80
- [12] Pinkerton, K.E., Mercer, R.R., Plopper, C.G., and Crapo, J.D.: Distribution of injury and microdosimetry of ozone in the ventilatory unit of the rat. *J. Appl. Physiol.* 73 (1992), S. 817 - 824
- [13] Gerrity, T.R., McDonnell, W.F., and House, D.E.: The relationship between delivered ozone dose and functional responses in humans. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 124 (1994), S. 275 - 283
- [14] Kabel, J.R., Ben-Jebria, A., and Ultman, J.S.: Longitudinal distribution of ozone absorption in the lung: Comparison of nasal and oral quiet breathing. *J. Appl. Physiol.* 77 (6) (1994), S. 2584 - 2592
- [15] Chang, L., Miller, F.J., Ultman, J., Huang, Y., Stockstill, B.L., Grose, E., Graham, J.A., Ospital, J.J., and Crapo, J.D.: Alveolar epithelial cell injuries by subchronic exposure to low concentrations of ozone correlate with cumulative exposure. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 109 (1991), S. 219 - 234
- [16] Oosting, R.S., van Golde, L.M.G., Verhef, J., and van Bree, L.: Species differences in impairment and recovery of alveolar macrophage functions following single and repeated ozone exposures. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 110 (1991), S. 170 - 178
- [17] Tepper, J.S., Costa, D.L., and Lehmann, J.R.: Extrapolation of animal data to humans: Homology of pulmonary physiological responses with ozone exposure. In: *Toxicology of the Lung*. S. 217 - 251, Hrsg.: D.E. Gardner et al., Raven Press Ltd., New York, 1993
- [18] Kriebel, D., and Smith, T.J.: A non-linear pharmacologic model of the acute effects of ozone on the human lungs. *Environ. Res.* 51 (1990), S. 120 - 146
- [19] McDonnell, W.F., and Smith, M.V.: Description of acute ozone response as a function of exposure rate and total inhaled dose. *J. Appl. Physiol.* 76 (1994), S. 2776 - 2784
- [20] Graham, D.E., Henderson, F., and House, D.: Neutrophil influx measured in nasal lavages of humans exposed to ozone. *Arch. Environ. Health* 43 (1988), S. 228 - 233
- [21] Koren, H.S., Hatch, G.E., and Graham, D.E.: Nasal lavage as a tool in assessing acute inflammation in response

to inhaled pollutants. *Toxicology* 60 (1990), S. 15 - 25

[22] *Graham, D.E., and Koren, H.S.*: Biomarkers of inflammation in ozone-exposed human. Comparison of the nasal and bronchoalveolar lavage. *Am. Rev. Respir. Dis.* 142 (1990), S. 152 - 156

[23] *Bascom, R., Naclerio, R.M., Fitzgerald, T.K., Kagey-Sobotka, A., and Proud, D.*: Effect of ozone inhalation on the response to nasal challenge with antigen of allergic subjects. *Am. Rev. Respir. Dis.* 142 (1990), S. 594 - 601

[24] *McBride, D.E., Koenig, J.Q., Luchtel, D.L., Williams, P.V., and Henderson, W.R.*: Inflammatory effects of ozone in the upper airways of subjects with asthma. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 149 (1994), S. 1192 - 1197

[25] *Lippmann, M.*: Human exposures and their health Effects. In: *Environmental Toxicants*. Hrsg.: Lippmann, M., Van Nostrand Reinhold, New York, 1992, S. 465 - 519

[26] *McDonnell, W.F., Muller, K.E., Bromberg, P.A., and Shy, C.M.*: Predictors of individual differences in acute response to ozone exposure. *Am. Rev. Respir. Dis.* 147 (1993), S. 818 - 825

[27] *Seal, E., Jr., McDonnell, W.F., House, D.E., Salaam, S.A., Dewitt, P.J., Butler, S.O., Green, J., and Raggio, L.*: The pulmonary response of white and black adults to six concentrations of ozone. *Am. Rev. Respir. Dis.* 147 (1993), S. 804 - 810

[28] *Weymer, A.R., Gong, H., Jr., Lyness, A., and Linn, W.S.*: Pre-exposure to ozone does not enhance or produce exercise-induced asthma. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 149 (1994), S. 1413 - 1419

[29] *Folinsbee, L.J., Horstman, D.H., Kehrl, H.R., Harder, S., Abul-Salaam, S., and Ives, P.J.*: Respiratory responses to repeated prolonged exposure to 0.12 ppm ozone. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 149 (1994), S. 98 - 105

[30] *Aris, R.M., Christian, D., Hearne, P.Q., Kerr, K., Finkbeiner, W.E., and Balmes, J.R.*: Ozone-induced airway inflammation in human subjects as determined by airway lavage and biopsy. *Am. Rev. Respir. Dis.* 148 (1993), S. 1363 - 1372

[31] *Hazbun, M.E., Hamilton, R., Holian, A., and Eschenbacher, W.L.*: Ozone-induced increases in substance P and 8-epi-prostaglandin F2A in the airways of human subjects. *Am. J. Respir. Cell Mol. Biol.* 9 (1993), S. 568 - 572

Wirkung von Ozon auf den Menschen

- [32] *Orlando, G.S., House, D., Daniel, E.G., Koren, H.S., and Becker, S.*: Effect of ozone on T-cell proliferation and serum levels of cortisol and beta-endorphin in exercising males. *Inhalat. Toxicol.* 1 (1988), S. 53 - 63
- [33] *Devlin, R.B., McDonnell, W.F., Mann, R., Becker, S., House, D.E., Schreinemachers, D., and Koren, H.S.*: Exposure of human to ambient levels of ozone for 6.6 hours causes cellular and biochemical changes in the lung. *Am. J. Respir. Cell Mol. Biol.* 4 (1991), S. 72 - 81
- [34] DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft): „MAK-und BAT-Werte-Liste 1995“ — Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe. Mitteilung 31, VCH-Verlag, Weinheim, 1995a
- [35] *Wright, E.S., Dziedzic, D., and Wheeler, C.S.*: Cellular, biochemical and functional effects of ozone: New research and perspectives on ozone health effects. *Toxicol. Lett.* 51 (1990), S. 125 - 145
- [36] *Selgrade, M.J., Cooper, K.D., Devlin, R.B., van Loveren, H., Biagini, R.E., and Luster, M.I.*: Immunotoxicity — bridging the gap between animal research and human health effects. *Fund. Appl. Toxicol.* 24 (1995), S. 13 - 21
- [37] *Victorin, K.*: Review of the genotoxicity of ozone. *Mutat. Res.* 277 (1992), S. 221 - 238
- [38] *Borek, C., Zaider, M., Augustinus, O., Mason, H., and Witz, G.*: Ozone acts alone and synergistically with ionizing radiation to induce in vitro neoplastic transformation. *Carcinogenesis* 7 (1986), S. 1611 - 1613
- [39] *Borek, C., Ong, A., and Zaider, M.*: Ozone activates transforming genes in vitro and acts as a synergistic co-carcinogen with x-rays only if delivered after radiation. *Carcinogenesis* 10 (1989), S. 1549 - 1551
- [40] *Thomassen, D.G., Harkema, J.R., Stephens, N.D., and Griffith, W.C.*: Preneoplastic transformation of rat tracheal epithelial cells by ozone. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 109 (1991), S. 137 - 148
- [41] *Witschi, H.*: Ozone, nitrogen dioxide and lung cancer: A review of some recent issues and problems. *Toxicology* 48 (1988), S. 1 - 20
- [42] *Witschi, H.*: Effects of oxygen and ozone on mouse lung tumorigenesis. *Exptl. Lung Res.* 17 (1991), S. 473 - 483
- [43] *Hassett, C., Mustafa, M.G., Coulson, W.F., and Elashoff, R.M.*: Murine lung carcinogenesis following exposure

to ambient ozone concentrations. *J. Natl. Cancer Inst.* 75 (1985), S. 771 - 777

[44] *Last, J.A., Warren, D.L., Pecquet-Goad, E., and Witschi, H.*: Modification by ozone of lung tumor development in mice. *J. Natl. Cancer Inst.* 78 (1987), S. 149 - 154

[45] *Monchaux, G., Morlier, J.-P., Morin, M., Fritsch, P., Tredaniel, J., and Masse, R.*: Carcinogenic and cocarcinogenic effects of ozone in rats: Preliminary results. *Pollut. Atmos.* 142 (1994), S. 84-88

[46] *Boorman, G.A., Hailey, R., Grumbain, S., Chou, B.J., Herbert, R.A., Goehl, T., Mellick, P.W., Roycroft, J.H., Haseman, J.K., and Sills, R.*: Toxicology and carcinogenesis studies of ozone and ozone 4-(N-nitrosoethylamino)-1-(3-pyridyl)-1-butanone in Fischer-344/N rats. *Toxicol. Pathol.* 22 (1994), S. 545 - 554

[47] NTP (National Toxicology Program): Toxicology and Carcinogenesis — Studies of Ozone (CAS No. 10028-15-6) and Ozone/NNK (CAS No. 10028-15-6/64091-91-4) in F344/N Rats and B6C3F1 Mice (Inhalation Studies). U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, National Institutes of Health, Technical Report Series 440, 1994

[48] *Pryor, W.A.*: Mechanisms of radical formation from reactions of ozone with target molecules in the lung. *Free Rad. Biol. Med.* 17 (1994), S. 451 - 465

[49] *Steinberg, J.J., Gleeson, J.L., and Gil, D.*: The pathobiology of ozone-induced damage. *Arch. Environ. Health* 45 (1990), S. 80 - 87

[50] *Cajigas, A., Gayer, M., Beam, C., and Steinberg, J.J.*: Ozonation of DNA forms adducts: A 32P-DNA labeling and thin-layer chromatography technique to measure DNA environmental biomarkers. *Arch. Environ. Health* 49 (1994), S. 25 - 36

[51] *Kennedy, C.H., Hatch, G., Slade, R., and Mason, R.P.*: Application of the EPR spin-trapping technique to the detection of radicals produced in vivo during inhalation exposure of rats to ozone. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 114 (1992), S. 41 - 46

[52] *Pryor, W.A., Das, B., and Church, D.F.*: The ozonation of unsaturated fatty acids: Aldehydes and hydrogen as products and possible mediators of ozone toxicity. *Chem. Res. Toxicol.* 4 (1991), S. 341 - 348

[53] *Menzel, D.B.*: The toxicity of air pollution in experimental animals and humans: The role of oxidative stress. *Toxicol. Lett.* 72 (1994), S. 269 - 277

Wirkung von Ozon auf den Menschen

[54] *Matsui, S., Jones, G.L., Woolley, M.J., Lane, C.G., Gontovnick, L.S., and O'Byrne, P.M.*: The effect of antioxidants on ozone-induced airway hyperresponsiveness in dogs. *Am. Rev. Respir. Dis.* 144 (1991), S. 1287 - 1290

[55] *Louie, S., Arata, M.A., Offerdahl, S.D., and Halliwell, B.*: Effect of tracheal insufflation of deferroxamine on acute ozone toxicity in rats. *J. Lab. Clin. Med.* 121 (1993), S. 502 - 509

[56] *Pryor, W.A.*: The role of vitamin E in the protection of in vitro systems and animals against the effects of ozone. In: *Vitamin E in Health and Disease*. Hrsg.: L. Packer und J. Fuchs, M. Dekker, New York (1993), S. 715 - 736

[57] *Rahman, I.-U., Clerch, L.B., and Massaro, D.*: Rat lung antioxidant enzyme induction by ozone. *Am. J. Physiol.* 260, L412-L418, 1991

[58] *Boehme, D.S., Hotchkiss, J.A., and Henderson, R.F.*: Glutathione and GSH-dependent enzymes in bronchoalveolar lavage fluid cells in response to ozone. *Exptl. Mol. Pathol.* 56 (1992), S. 37 - 48

[59] *Wright, D.T., Adler, K.B., Akley, N.J., Dailey, L.A., and Friedman, M.*: Ozone stimulates release of platelet activating factor and activates phospholipases in Guinea pig tracheal

epithelial cells in primary culture. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 127 (1994), S. 27 - 36

[60] *Wiester, M.J., Tepper, J.S., Doerfler, D.L., and Costa, D.L.*: Ozone adaptation in rats after chronic exposure to a simulated urban profile of ozone. *Fund. Appl. Toxicol.* 24 (1995), S. 42 - 51

[61] *Stockstill, B.L., Chang, L.Y., Menache, M.G., Mellick, P.W., Mercer, R.R., and Crapo, J.D.*: Bronchiolarized metaplasia and interstitial fibrosis in rat lungs chronically exposed to high ambient levels of ozone. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 134 (1995), S. 251 - 263

[62] *Henderson, R.F., Hotchkiss, J.A., Chang, I.Y., Scott, B.R., and Harrema, J.R.*: Effect of cumulative exposure on nasal response to ozone. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 119 (1993), S. 59 - 65

[63] *Rajini, P., and Witschi, H.*: Cumulative labeling indices in epithelial cell populations of the respiratory tract after exposure to ozone at low concentrations. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 130 (1995), S. 32 - 40

[64] *Hazucha, M.J., Folinsbee, J., and Seal, E., Jr.*: Effects of steady-state and variable ozone concentration profiles on pulmonary function. *Am. Rev. Respir. Dis.* 146 (1992), S. 1487 - 1493

- [65] Horstman, D.H., Folinsbee, L.J., Ives, P.J., Abdul-Salaam, S., and McDonnell, W.F.: Ozone concentration and pulmonary response relationships for 6.6-hour exposures with five hours of moderate exercise to 0.08, 0.10, and 0.12 ppm. *Ann. Rev. Respir. Dis.* 142 (1990), S. 1158 - 1163
- [66] McDonnell, W.F., Kehrl, H.R., and Abdul-Salaam, S.: Respiratory response of humans exposed to low levels of ozone for 6.6 hours. *Arch. Environ. Health* 46 (1991), S. 145 - 150
- [67] Linder, J., Herren, D., Monn, C., and Wanner, H.U.: Die Wirkung von Ozon auf die körperliche Leistungsfähigkeit/The effect of ozone on physical activity. *Schweiz. Z. Sportmed.* 36 (1988), S. 5 - 10
- [68] McDonnell, W.F., Horstman, D.H., Hazucha, M.J., Seal, E., Haak, E.D., Abdul-Salaam, S., and House, D.E.: Pulmonary effects of ozone exposure during exercise: Dose-response characteristics. *J. Appl. Physiol.* 54 (1983), S. 1345 - 1352
- [69] Schelegle, E.S., and Adams, W.C.: Reduced exercise time in competitive simulations consequent to low level ozone exposure. *Med. Sci. Sports Exercise* 18 (1986), S. 408 - 414
- [70] McDonnell, W.F., Horstman, D.H., Abdul-Salaam, S., Raggio, L.J., and Green, J.A.: The respiratory responses of subjects with allergic rhinitis to ozone exposure and their relationship to nonspecific airway reactivity. *Toxicol. Indust. Health* 3 (1987), S. 507 - 517
- [71] Kehrl, H.R., Vincent, L.W., Kowalsky, R.J., Horstman, D.H., O'Neil, J.J., McCartney, W.H., and Bromberg, P.A.: Ozone exposure increases respiratory epithelial permeability in humans. *Am. Rev. Respir. Dis.* 135 (1987), S. 1174 - 1178
- [72] Koren, H.S., Devlin, R.B., Graham, D.E., Mann, R., McGee, M.P., Horstman, D.E., Kozumbo, W.J., Becker, S., House, D.E., McDonnell, W.F., and Bromberg, P.A.: Ozone-induced inflammation in the lower airways of human subjects. *Am. Rev. Respir. Dis.* 139 (1989), S. 407 - 415
- [73] Gerrity, T.R., Bennett, W.D., Kehrl, H., and DeWitt, P.J.: Mucociliary clearance of inhaled particles measured at 2 h after ozone exposure in humans. *J. Appl. Physiol.* 74 (1993), S. 2984 - 2989
- [74] Foster, W.M., Costa, D.L., and Langenback, E.G.: Ozone exposure alters tracheobronchial mucociliary

Wirkung von Ozon auf den Menschen

functions in humans. *J. Appl. Physiol.* 63 (1987), S. 996 - 1002

[75] *Foster, W.M., Silver, J.A., and Groth, M.L.*: Exposure to ozone alters regional function and particle dosimetry in the human lung. *J. Appl. Physiol.* 75 (1993), S. 1938 - 1945

[76] *Hamelin, C., Poliquin, L., and Chung, Y.S.*: Mutagenicity of ozone relative to other chemical and physical agents in *Escherichia coli* K12. *Rev. Can. Biol.* 40 (1981), S. 305 - 307

[77] *L'Herault, P., and Chung, Y.S.*: Mutagenicity of ozone in different repair-deficient strains of *Escherichia coli*. *Mol. Gen. Genet.* 197 (1984a), S. 472 - 477

[78] *L'Herault, P., and Chung, Y.S.*: Effect of ozone on prophage induction in different strains of *Escherichia coli* K-12 lysogenic for lambda. *Can. J. Genet. Cytol.* 26 (1984b), S. 706 - 709

[79] *Hamelin, C.*: Production of single- and double-strand breaks in plasmid DNA by ozone. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 11 (1985), S. 253 - 257

[80] *Nover, H., and Botzenhart, K.*: Bactericidal effects of photochemical smog constituents produced by a flow reactor III. Communication: Determination of mutagenic effects of photochemi-

cal smog on *E. coli* K 12 343/113. *Zbl. Bakt. Hyg., I. Abt. Orig. B*, 181 (1985), S. 71 - 80

[81] *Parduez, S.N.-G., and Chung, Y.S.*: Sensitivity of *polA* mutants of *Escherichia coli* K-12 to ozone and radiations. *Mutagenesis* 3 (1988), S. 257 - 261

[82] *Hamelin, C., and Chung, Y.S.*: Repair of ozone-induced DNA lesions in *Escherichia coli* B cells. *Mutat. Res.* 214 (1989), S. 253 - 255

[83] *Song, J.M., and Chung, Y.S.*: Effect of ozone on DNA-repair deficient mutants of *Bacillus subtilis*. *Rev. Can. Exptl.* 42 (1983), S. 83 - 86

[84] *Victorin, K., and Stahlberg, M.*: A method for studying the mutagenicity of some gaseous compounds in *Salmonella typhimurium*. *Environ. Mol. Mutagen.* 11 (1988), S. 65 - 77

[85] *Dillon, D., Combes, R., McConville, M., and Zeiger, E.*: Ozone is mutagenic in salmonella. *Environ. Mol. Mutagen.* 19 (1992), S. 331 - 337

[86] *Dubeau, H., and Chung, Y.S.*: Ozone response in wild type and radiation-sensitive mutants of *Saccharomyces cerevisiae*. *Mol. Gen. Genet.* 176 (1979), S. 393 - 398

- [87] Dubeau, H., and Chung, Y.S.: Genetic effects of ozone. Induction of point mutation and genetic recombination in *Saccharomyces cerevisiae*. *Mutat. Res.* 102 (1982), S. 249 - 259
- [88] Rasmussen, R.E., and Crocker, T.T.: Lung cells grown on cellulose membrane filters as an in vitro model of the respiratory epithelium. *Environ. Sci. Res.* 25 (1982), S. 105 - 120
- [89] Rasmussen R.E.: Inhibition of DNA replication by ozone in Chinese hamster V79 cells. *J. Toxicol. Environ. Health* 17 (1986), S. 119 - 128
- [90] Shiraishi, F., and Bandow, H.: The genetic effects of the photochemical reaction products of propylene plus NO₂ on cultured Chinese hamster cells exposed in vitro. *J. Toxicol. Environ. Health* 15 (1985), S. 531 - 538
- [91] Van der Zee, J., Van Beek, E., Dubbelman, T.M.A.R., and van Steveninck, J.: Toxic effects of ozone on murine L929 fibroblasts. Damage to DNA. *Biochem. J.* 247 (1987), S. 69 - 72
- [92] Gooch, P.C., Creasia, D.A., and Brewen, J.G.: The cytogenetic effects of ozone: Inhalation and in vitro exposures. *Environ. Res.* 12 (1976), S. 188 - 195
- [93] Hsueh, J.L., and Xiang, W.: Environmental mutagenesis research at Fudan University. *Environ. Sci. Res.* 31 (1984), S. 755 - 769
- [94] Guerrero, R.R., Rounds, D.E., Olson, R.S., and Hackney, J.D.: Mutagenic effects of ozone on human cells exposed in vivo and in vitro based on sister chromatid exchange analysis. *Environ. Res.* 18 (1979), S. 336 - 346
- [95] Borek, C., Ong, A., and Cleaver, J.E.: DNA damage from ozone and radiation in human epithelial cells. *Toxicol. Indust. Health* 4 (1988), S. 547 - 553
- [96] Kozumbo, W.J., and Agarwal, S.: Induction of DNA damage in cultured human lung cells by tobacco smoke arylamines exposed to ambient level of ozone. *Am. J. Respir. Cell Mol. Biol.* 3 (1990), S. 611 - 618
- [97] Zelac, R.E., Cromroy, H.L., Bolch, W.E., Jr., Dunavant, B.G., and Bevis, H.A.: Inhaled ozone as a mutagen. I. Chromosome aberrations induced in Chinese hamster lymphocytes. *Environ. Res.* 4 (1971a), S. 262 - 282
- [98] Zelac, R.E., Cromroy, H.L., Bolch, W.E., Dunavant, B.G., and Bevis, H.A.: Inhaled Ozone as a mutagen. II. Effect on the frequency of chromosome aberrations observed in irradiated Chinese hamsters. *Environ. Res.* 4 (1971b), S. 325 - 342

Wirkung von Ozon auf den Menschen

[99] Tice, R.R., Bender, M.A., Ivett, J.L., and Drew, R.T.: Cytogenetic effects of inhaled ozone. *Mutat. Res.* 58 (1978), S. 293 - 304

[100] Zhurkov, V.S., Pechennikova, E.V., Feldt, E.G., Garibian, L.K., and Tkhiem, T.K.: Analysis of chromosome aberrations in bone marrow cells of rats after inhalation exposure to ozone. *Gig. Sanit.* 9 (1979), S. 12 - 14

[101] Rithidech, K., Hotchkiss, J.A., Griffith, W.C., Henderson, R.F., and Brooks, A.L.: Chromosome damage in rat pulmonary alveolar macrophages following ozone inhalation. *Mutat. Res.* 241 (1990), S. 67 - 73

[102] Erdman, H.E., and Hernandez, T.: Adult toxicity and dominant lethals induced by ozone at specific stages in spermatogenesis in *Drosophila virilis*. *Environ. Mutagen.* 4 (1982), S. 657 - 666

[103] Merz, T., Bender, M.A., Kerr, H.D., and Kulle, T.J.: Observation of aberrations in chromosomes of lymphocytes from human subjects exposed to ozone at a concentration of 0.5 ppm for 6 and 10 hours. *Mutat. Res.* 31 (1975), S. 299 - 302

[104] McKenzie, W.H., Knelson, J.H., Rummo, N.J., and House, D.E.: Cytogenetic effects of inhaled ozone in man. *Mutat. Res.* 48 (1977), S. 95 - 102

Arbeitsmedizinische Aspekte bei der Exposition gegenüber Ozon

W.D. Schneider und G. Lotz
Bundesanstalt für Arbeitsmedizin, Berlin

Ozon, in der Öffentlichkeit bis vor gar nicht langer Zeit als gesundheitsfördernd gerühmt, ist der Arbeitsmedizin schon lange als Reizgas bekannt. In den 50er Jahren finden sich Veröffentlichungen über klinisch schwer verlaufende toxische Lungenödeme nach Ozonbelastung z.B. bei Schweißarbeiten [1]. Die Wirkungen von Ozon auf den Organismus sind in der Folge gut untersucht worden mit der Konsequenz, daß in der modernen Technologie Ozonquellen gut beherrscht werden und akut gefährliche Belastungen nicht mehr aufgetreten sind. Über die Lösungswege wird in weiteren Beiträgen, etwa zum Schweißen oder zum Drucken und Kopieren, noch berichtet werden.

Problematisch sind bis heute, und das insbesondere für Arbeitsplätze im Freien, die chronischen Wirkungen niedriger Konzentrationen bzw. die Wirkungen wiederholter kurzzeitiger Belastungen mittlerer Intensität. Bereits in der Begründung des bisherigen MAK-Wertes ist nachlesbar, daß der Kenntnisstand hierzu defizitär ist. Daran hat sich trotz einer Vielzahl von vorwiegend experimentellen Studien bis heute wenig geändert. Hauptursachen hierfür sind vermutlich zum einen die Einschätzung, daß diese chronischen irritativen Wirkungen vergleichsweise harmlos, also akzeptabel seien, zum anderen die Schwierigkeiten der Durchführung von Langzeitversuchen

bzw. von epidemiologischen Analysen im Falle von Langzeiteinwirkungen niedriger Konzentrationen.

Um welche Wirkungen handelt es sich konkret? Subjektiv werden die irritativ-toxischen Wirkungen von Ozon wahrgenommen in Form von:

1. Reizempfindungen an Augen, Schleimhäuten und im Nasen-Rachen-Raum
2. Heiserkeit
3. Husten
4. Beklemmungen hinter dem Brustbein
5. Verminderung der körperlichen Leistungsfähigkeit

Objektiv werden als Korrelate dieser irritativ-toxischen Effekte gefunden:

1. Membranschädigungen der die Atemwege auskleidenden Zellen (einschließlich konsekutiver Freisetzung von Mediatoren wie Leukotrienen und Prostaglandinen)
2. die entzündliche Infiltration der Nasen- und Bronchialschleimhäute sowie Alveolarwände
3. die Steigerung der bronchialen Reaktivität
4. die Erhöhung des bronchialen Widerstandes mit Senkung der Atem-

Arbeitsmedizinische Aspekte bei der Exposition gegenüber Ozon

flußgeschwindigkeiten und Atemvolumina

5. die in Form der Wattleistung meßbare Minderung der körperlichen Leistungsfähigkeit

6. Senkung der Schwelle für allergische Reaktionen

Die Betrachtung der einzelnen Positionen dieser Liste subjektiv bzw. objektiv feststellbarer irritativ-toxischer Wirkungen führt unmittelbar zu der Frage, welche dieser Effekte im Sinne der MAK-Wert-Definition zu vermeiden sind. Oder anders formuliert: Können einzelne dieser Wirkungen bis zu einem gewissen Grade hingenommen werden? In zweiter Linie ist dann zu beantworten, bei welchen Konzentrationen, bei welcher Expositionsdauer und bei welcher Gesamtdosis, die vom Atemminutenvolumen mitbestimmt wird, diese Effekte auftreten.

Zum ersten: Inwieweit reversible subjektive Mißempfindungen wie Tränenfluß und Hustenreiz hinnehmbar sind, ist keine Frage der medizinischen Kompetenz und Entscheidung. Unverzichtbar ist jedoch die ärztliche Erfahrung, wenn objektiv meßbare Veränderungen im Hinblick auf ihre langfristige Gesundheitsgefährdung debattiert werden.

Bei den Ozonwirkungen bietet sich mit der einfachen Lungenfunktionsprüfung ein

hervorragender Gradmesser an, wobei inzwischen auch jahrzehntelange Erfahrungen bezüglich der langfristigen gesundheitlichen Konsequenzen von Einschränkungen der Lungenfunktion vorliegen. So ist z.B. für die Lungenvolumina FEV₁ und FVC allgemein akzeptiert, daß bei einer intraindividuellen Variabilität von $\pm 3\%$ eine Verminderung um 10% als klinisch relevant anzusehen ist (siehe auch Stellungnahme der EPA, zit. nach Wagner [2]). Dies ist für den Betroffenen in der Regel noch nicht subjektiv merkbar. Die Schwelle der Empfindung von Atemnot liegt bei Minderung dieser Volumina um 15 bis 20% im akuten Versuch. Bei langsamer chronischer Einschränkung der Lungenfunktion wird selbst diese Minderung oft nicht wahrgenommen. Trotzdem besteht kein Zweifel, daß eine andauernde und zunehmende Verminderung der Volumina um diesen Betrag eine Behinderung des Gasaustausches, eine Belastung des rechten Herzens, der gesamten körperlichen Leistungsfähigkeit und bei jahrzehntelangem Verlauf auch eine Verkürzung der Lebenserwartung bedeutet. Umgekehrt ist erst kürzlich wieder belegt worden, daß die Verbesserung des FEV₁ um 9% bei Asthmapatienten eine „klinisch signifikante“ Verbesserung des Gesundheitszustandes darstellt [3, 4].

Kein Zweifel besteht auch daran, daß eine Minderung der Schwelle für die

Auslösung allergischer Reaktionen im Sinne von Asthmaanfällen für die Betroffenen eine erhebliche Beeinträchtigung des Befindens und der Leistungsfähigkeit darstellt. Die zuerst genannten Effekte wie Zellmembranschädigung, Freisetzung von Mediatoren und entzündliche Infiltrationen der Schleimhäute sind im arbeitsmedizinischen Alltag noch nicht meßbar (sie erfordern z.B. bronchoalveoläre Lavage oder ähnlich eingreifende Untersuchungsmethoden). Sollte dies irgendwann möglich sein, bliebe festzustellen, daß diese Prozesse die ersten Schritte für die mit physiologisch meßbaren Verfahren feststellbaren Funktionsminderungen darstellen und unseres Erachtens deshalb bereits unter die nicht akzeptablen Phänomene einzuordnen sind.

Unsere nächste Frage ist, bei welchen Konzentrationen diese nicht akzeptablen chronisch-irritativen Wirkungen von Ozon feststellbar sind. Epidemiologische Langzeitstudien aus der Arbeitsmedizin liegen dazu nicht vor. Sie scheinen auch unrealistisch, weil an derartigen Arbeitsplätzen meist Mischexpositionen mit anderen irritativ-toxisch wirkenden Stoffen wie Metalloxide, nitrose Gase oder Stäube unterschiedlicher Art vorliegen.

Diese Problematik der Mischexposition ist auch bei den Studien in der allgemeinen Epidemiologie zum Sommersmog

gegeben. Multivariate Auswertungen solcher Studien an Bewohnern von Regionen mit häufigen Sommersmog-situationen sprechen jedoch für eine Korrelation zwischen der Ozonbelastung und z.B. der allgemeinen Mortalität oder der Asthmaanfallshäufigkeit. So soll bei einer mittleren Ozonkonzentration um $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ der Anstieg der Ozonkonzentration um 1 % zu einem Anstieg der Mortalität um 0,02 % führen, was etwa 10 % der Variation der Gesamtmortalität dieser Bevölkerung erklären würde [5, 6]. Die Häufigkeit von Asthmaanfällen soll um etwa 5 % steigen, wenn die Ozonkonzentration um $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ansteigt [7]. Die Minderung der Lungenfunktion liegt wiederholt nachgewiesen bei etwa $100 \text{ ml}/100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Ozon [8, 9].

Neuere experimentelle Untersuchungen mit niedrigen Konzentrationen von Ozon über etwa eine Schichtdauer bei gleichzeitiger körperlicher Belastung stehen mit diesen epidemiologischen Daten in relativ guter Übereinstimmung. So wurden Minderungen des forcierten Expirationsvolumens um 7 % bei $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [10] und eine Minderung der Wattleistung in der Ergometrie bei $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [11] gefunden. Dabei scheinen in diesem Niedrigdosisbereich quasi lineare Beziehungen vorzuliegen. Ein sicherer No-effect-level ist aus dem vorhandenen Datenmaterial wegen des Fehlens von

Arbeitsmedizinische Aspekte bei der Exposition gegenüber Ozon

Langzeitversuchen mit sehr niedrigen Belastungen noch nicht ablesbar. Akzeptiert man das oben vorgeschlagene Kriterium von minus 10 % FEV₁ zur Ableitung eines vorzuschlagenden Grenzwertes, dann würden sich aus den Untersuchungen von McDonnell [12] z.B. 6,6 Stunden · 240 mg/m³ als die dieser Schwelle entsprechende Dosis ergeben, die unterschritten werden müßte. Da Acht-Stunden-Versuche fehlen, ist mit den Ergebnissen dieser Studie jedoch nicht auszuschließen, daß bei den niedrigeren Konzentrationen von 200 bzw. 160 µg/m³ nicht auch die Schwelle von minus 10 % FEV₁ erreicht würde.

Eine solche Ableitung wird außerdem dadurch kompliziert, daß es sich hier um Mittelwertsbetrachtungen handelt und wir andererseits wissen, daß eine erhebliche individuelle Varianz der Reaktion auf Ozon gegeben ist. So beschreibt McDonnell [13] bei Expositionsversuchen mit 360 µg/m³ Ozon, die zu einer mittleren FEV₁-Minderung von 10,3 % führten, im Einzelfall Reaktionen bis zu minus 50 %. Diese besondere Reaktionsfähigkeit gegenüber Ozon ist nicht durch Vorkrankheiten bestimmt, ohne Testung nicht vorhersagbar, aber gut reproduzierbar. Sie betrifft 10 bis maximal 20 % der Bevölkerung. Dabei ist bislang nicht geklärt, ob tatsächlich eine Zweiteilung der Bevölkerung in sogenannte Responder und Non-Responder vorliegt oder ob ein

breites Kontinuum unterschiedlicher Reaktionsbereitschaft dies nur vortäuscht. Hierzu sind noch vergleichsweise umfangreiche Studien notwendig [14].

Ein weiteres Problem sind im Mechanismus bisher ungeklärte Adaptationsphänomene. So kommt es in der Regel am dritten Tag zu einer Wirkungsschwächung der obstruktiven Veränderung der Lungenfunktion nach Ozonbelastung und zu einer völligen Aufhebung bei Fortsetzung der Belastung mit niedrigen Konzentrationen. Bei Karenz stellt sich aber die ursprüngliche Reaktionsfähigkeit innerhalb von 14 Tagen wieder her. Dies macht eine Festlegung auf einen bestimmten Grenzwert zur Auslösung von Maßnahmen oder Verhaltensweisen in Anbetracht der im Freien fehlenden Steuerbarkeit der wetterabhängigen Konzentrationsveränderungen sehr schwer. Außerdem bleiben entzündliche Reaktionen und die Steigerung der bronchialen Reaktivität offenbar auch nach Abschwächung der direkten obstruktiven Wirkung erhalten [15], so daß aus ärztlicher Sicht diese Anpassung an die Ozonbelastung als nur scheinbar günstig und über pathologische Vorgänge in der Schleimhaut hinwegtäuschend interpretiert werden muß und deshalb nicht im Sinne einer Entwarnung bezüglich möglicher Schädigung verstanden werden sollte.

Ein weiterer Aspekt ist mit dem Vorschlag der MAK-Kommission in die Diskussion gekommen, Ozon auf der Basis neuer Tierversuche als möglicherweise kanzerogen einzustufen. Dieser Vorschlag ist in dem vorangehenden Beitrag erläutert. Aus der Humanepidemiologie liegen dazu bisher keine Daten vor.

Für Schweißer ist in zahlreichen Untersuchungen ein leicht erhöhtes Lungenkrebsrisiko von 1 : 1,2 bis 1,4 nachgewiesen. Dieses wurde bislang vorwiegend auf kanzerogene Metalloxide (wie Chrom- und Nickeloxid) oder Nebenexpositionen gegenüber Asbest (z.B. im Schiffbau) bezogen. Allerdings konnte nicht nachgewiesen werden, daß Chrom-Nickelstahl-Schweißer ein höheres Lungenkrebsrisiko hätten als Schweißer auf Baustahl. Ein Zusammenhang mit der Ozonbelastung der Schweißer ist bislang aber auch nicht belegbar, so daß eine Verursachung der geringen Erhöhung der Risikorate durch Confounder nicht ausgeschlossen ist. Mortalitätsstudien in Relation zur Luftverunreinigung haben in den am meisten verschmutzten Gebieten ein minimal, nicht signifikant erhöhtes Lungenkrebsrisiko von 1 : 1,37 (0,81 bis 2,31) bei signifikant erhöhtem Risiko für alle Todesursachen von 1 : 1,26 (1,08 bis 1,47) gezeigt [16]. Von den Teilkomponenten der Luftverunreinigungen erwiesen sich aber nicht Ozon, sondern die feinen Partikel und

Sulfate am stärksten mit der Mortalität assoziiert. Der tierexperimentell begründete Verdacht einer kanzerogenen Ozonwirkung findet in den Trends der genannten humanepidemiologischen Studien zwar eine gewisse Entsprechung, aber noch keinen überzeugenden Beleg.

Wenngleich Risikorate von 1,2 bis 1,4 im Vergleich zu dem durch das Zigarettenrauchen verursachten Lungenkrebsrisiko verschwindend gering sind, ergibt sich hier doch weiterer Forschungsbedarf. Die Analyse arbeitsplatzbezogener Risikofaktoren für Krebserkrankungen im Krebsregister der neuen Bundesländer [17] bekräftigt zunächst den Verdacht nicht, wenn auch Metalloberflächenbediener und Traktoristen als möglicherweise ozonbelastete Tätigkeitskohorten mit einer (allerdings nicht signifikanten) Risikorate von 1,2 aufgefallen sind. Erforderlich sind sicherlich gezielte Analysen, die eine Kohorte mit belegbarer und quantifizierbarer Ozonbelastung betrachten, was in dieser Auswertung wegen Fehlens dieser Angaben in den benutzten Dokumentationen nicht möglich war.

Abschließend sollen aus der Sicht der Arbeitsmedizin in dieser Situation mögliche Empfehlungen formuliert werden. Der bisher gültige Grenzwert von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ verhindert nicht alle relevanten klinischen Effekte im Hinblick auf

Arbeitsmedizinische Aspekte bei der Exposition gegenüber Ozon

chronische Wirkungen niedriger Konzentrationen über Schichtdauer und das gesamte Arbeitsleben. Unter Berücksichtigung neuer experimenteller und epidemiologischer Daten müßte ein solcher Grenzwert, der jegliche Gesundheitsbeeinträchtigung sicher verhütet, wahrscheinlich bei etwa $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Acht-Stunden-Wert liegen.

Da derartige Konzentrationen in Deutschland an Arbeitsplätzen im Freien durchaus erreicht werden (über Häufigkeit und Höhe wird in anderen Beiträgen berichtet), sind Maßnahmen des Arbeitsschutzes erforderlich. Das Gesetz zur Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes vom 19. Juli 1995 legt als Handlungsindikationen Ozonkonzentrationen von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Mittelwert über eine Stunde fest. Da Messungen an sämtlichen Arbeitsplätzen im Freien im Hinblick auf eine sichere Einhaltung eines eventuellen Grenzwertes unrealistisch sind, bleibt zu fragen, ob diese Konzentrationsschwellen bezüglich Verkehrsverbote auch als Handlungsindikationen für Maßnahmen im Arbeitsschutz gelten können. Aus den Gesetzmäßigkeiten des Tagesverlaufes der Ozonkonzentration in Abhängigkeit von der Schadstoffbereitstellung und Sonneneinstrahlung ergibt sich, daß die Schichtmittelwerte bei Annahme dieser Ein-Stunden-Werte noch deutlich darunter

liegen dürften. Für die Mehrheit der Bevölkerung resultiert daraus, daß bei Einhaltung dieser Grenzen auch bei körperlicher Arbeit kein klinisch relevantes Risiko besteht. Nach den Daten von McDonnell und Smith [12], die Ergebnisse verschiedener experimenteller Studien zusammenführen, ist bei $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nach sechs bis sieben Stunden mit einem Lungenfunktionsverlust um 8 % zu rechnen. Da dies aber Mittelwerte sind, ist offensichtlich, daß für einzelne Arbeitnehmer die Schwelle des klinisch Relevanten überschritten wird. Für solche Menschen können zusätzliche Maßnahmen erforderlich werden.

Allgemein gilt, daß zur Konzentrationsminderung an smoggefährdeten Tagen alle Tätigkeiten zu vermeiden sind, die zusätzliche Quellen von Ozon mit sich bringen (z.B. Schweißen etc.), soweit dies arbeitsorganisatorisch möglich ist. Sinnvoll ist sicher auch die Verlagerung der Arbeitszeit in die frühen Tagesphasen, da die Ozonbildung erst mit einer Latenz von mehreren Stunden ihr Maximum erreicht. Kurzfristige Pausen scheinen dagegen, abgesehen von der dadurch erreichbaren Minderung der Gesamtdosis, unter Berücksichtigung des Mechanismus der akuten bis chronischen Entzündung in den Schleimhäuten wenig Schutzwirkung mit sich zu bringen. Atemmasken können zwar effektiv schützen, dürften aber sicherlich an warmen

Smogtagen nicht akzeptiert werden, so daß nach anderen Lösungen für persönliche Schutzmittel gesucht werden sollte.

Schrifttum

- [1] Kleinfeld, M., Giel, C., Tabershaw, I.R.: Health hazards associated with inert-gas-shielded metal arc welding. Arch. Ind. Health 15 (1957), S. 27 - 31
- [2] Wagner, H.M.: VI-1 Anorganische Gase/Ozon. In: Handbuch der Umweltmedizin. Hrsg.: Wichmann, H.-E., Schlipköter, H.-W., Füllgraff, G. Landsberg/Lech: ecomed, 3. Erg.lfg. 1994, S. 1 - 32
- [3] Rutten-van Mülken, M.P.M.H., Custers, F., Van Doorslaer, E.K.A., Jansen, C.C.M., Heurman, L., Maesen, F.P.V., et al: Comparison of performance of four instruments in evaluating the effects of salmeterol on asthma quality of life. Eur. Respir. J. 8 (1995), S. 888 - 898
- [4] Jones, P.W.: Quality of life measurement in asthma. Eur. Respir. J. 8 (1995), S. 885 - 887
- [5] Kinney, P.L., Ozkaynak, H.: Associations of daily mortality and air pollution in Los Angeles County. Environ. Res. 54 (1991), S. 99 - 120
- [6] Kinney, P.L., Ozkaynak, H.: Associations between ozone and daily mortality in Los Angeles and New York City. Am. Rev. Respir. Dis. 145 (1992) (4:2), S. A95
- [7] Whittemore, A.S., Korn, E.L.: Asthma and air pollution in the Los Angeles area. Am. J. Publ. Health 70 (1980), S. 687 - 696 (Zit. nach: Wagner, H.M.: VI-1 Anorganische Gase/Ozon. In: Handbuch der Umweltmedizin...)
- [8] Spektor, D.M., Lippmann, M., Thurston, G.D., Liou, P.J., Stecko, J., O'Connor, G., Garshick, E., Speizer, F.E., Hayes, C.: Effects of ambient ozone on respiratory function in healthy adults exercising outdoors. Am. Rev. Respir. Dis. 138 (1988), S. 821 - 828
- [9] Höppe, P.: Der Einfluß erhöhter Ozonkonzentrationen auf die Lungenfunktion ausgewählter Bevölkerungsgruppen (Abschlußbericht). Hrsg.: Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU), Rosenkavalierplatz 2, 81925 München, 1995
- [10] Horstman, D.H., Lawrence, J.F., Ives, P.J., Abdul-Salaam, S., McDonnell, W.F.: Ozone concentration and pulmonary response relationships for 6,6-hour exposures with five hours of

Arbeitsmedizinische Aspekte bei der Exposition gegenüber Ozon

moderate exercise to 0,08, 0,10, and 0,12 ppm¹⁻³. *Am. Rev. Respir. Dis.* 142 (1990), S. 1158 - 1163

[11] Linder, J., Herren, D., Monn, C., Wanner, H.-U.: Die Wirkung von Ozon auf die körperliche Leistungsfähigkeit. *Schweiz. Zschr. Sportmed.* 36 (1988), S. 5 - 10

[12] McDonnell, W.F., Smith, M.V.: Description of acute ozone response as a function of exposure rate and total inhaled dose. *J. Appl. Physiol.* 76 (1994) Nr. 6, S. 2776 - 1784

[13] McDonnell, W.F.: Individual variability in the magnitude of acute respiratory responses to ozone exposure. In: Utell, M.J., and Frank, R. (Hrsg.): Susceptibility to inhaled pollutants. Philadelphia: ASTM 1989, S. 75 - 88

[14] Sandström, T.: Respiratory effects of air pollutants: experimental studies in humans. *Eur. Respir. J.* 8 (1995), S. 976 - 995

[15] Jörres, R., Gercken, G., Böttcher, M., Zachgo, W., Magnussen, H.: Cellular events associated with tolerance after repeated exposures to ozone in human subjects. In: ERS Annual Congress, Barcelona, September 16 - 20, 1995, Abstracts / European Respiratory Society, ERS. Copenhagen, Munksgaard, 1995, S. 350s (*European respiratory journal: Suppl.*, 8, 19)

[16] Dockery, D.W., Pope III, C.A., Xu, X., Spengler, J.D., Ware, J.H., Fay, M.E., Ferris, B.G., Speizer, F.E.: An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *New Engl. J. Med.* 329 (1993), S. 1753 - 1759

[17] Enderlein, G., Martin, K., Heuchert, G., Stark, H.: Registerabgleich und Analyse arbeitsplatzbezogener Krebsrisiken mittels Kohortenstudien. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsmedizin, FB 01 HK 520. Bremerhaven, Wirtschaftsverl. NW, 1995, S. 207

Der Einfluß erhöhter Ozonkonzentrationen auf die Lungenfunktion ausgewählter Bevölkerungsgruppen¹⁾

P. Höppe, J. Lindner, G. Rabe und G. Praml
Institut und Poliklinik für Arbeitsmedizin der Universität München

Einleitung

Das Ziel der vorliegenden Studie war die wissenschaftliche Klärung der Frage, ob an Tagen mit erhöhten Ozonkonzentrationen in der Umwelt meßbare Veränderungen der Lungenfunktion oder der bronchialen Reagibilität sowie von allgemeinen Reizerscheinungen an Augen und Atemwegen auftreten. Daneben sollte geklärt werden, ob es besonders betroffene Bevölkerungsgruppen gibt. Um die umweltbedingte Exposition der Probanden gegenüber Ozon nicht durch Ortswechsel zu verändern und um zeitliche Verzögerungen zwischen der Umweltexposition und der Messung zu vermeiden, sollten die Lungenfunktionsprüfungen vor Ort erfolgen. Deshalb wurde ein mobiler Meßcaravan mit einem komplett ausgestatteten Lungenfunktionslabor (Bodyplethysmograph und Diffusionseinheit) konstruiert und eingesetzt.

Im Rahmen der Studie erfolgten Messungen der Lungenfunktion mit jeweils mehr als 20 relevanten Einzelwerten an Tagen mit im Vergleich zur Hintergrundbelastung erhöhten ($> 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) und an Tagen mit niedrigen Ozonkonzentrationen ($< 80 \mu\text{g}/\text{m}^3$), jeweils vormittags und nachmittags an insgesamt 206 Probanden mit durchschnittlich acht Meßtagen je Proband. Zu jedem Meßtermin gehörte eine Befragung mit einem standardisierten Fragebogen zu subjektivem Befinden, Reizerscheinungen an den Augen oder Atemwegen, Einnahme von Medikamenten und Konsum von Tabak, Kaffee oder Alkohol.

Mitarbeiter des Lehrstuhls für Bioklimatologie und Immissionsforschung der LMU (Prof. Fabian) nahmen vor Ort kontinuierliche Messungen von O_3 , Peroxyacetylnitrat, Kohlenwasserstoffen, NO_x und der wesentlichen Klimakenngrößen vor. In enger Zusammenarbeit mit dem Institut für Epidemiologie der GSF (Prof. Wichmann) und der Harvard School of Public Health (Boston) wurden die Konzentrationen von „Sauren Aerosolen“ bestimmt.

Als Probandenkollektive dienten vier vermutete Risikogruppen und eine Vergleichsgruppe mit jeweils mindestens 40 Probanden. Dies waren Senioren, jugendliche Asthmatiker, Waldarbeiter, Sportler und Büroangestellte. Wald-

¹⁾ Das Forschungsvorhaben „Der Einfluß erhöhter Ozonkonzentrationen auf die Lungenfunktion ausgewählter Bevölkerungsgruppen“ wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen gefördert. Der Abschlußbericht von P. Höppe, J. Lindner, G. Rabe und G. Praml, Institut und Poliklinik für Arbeitsmedizin der Universität München, ist erschienen in „Umwelt & Entwicklung Bayern, Materialien 111“ (1995), Herausgeber: Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen. Vorliegende Ausführungen sind ein Auszug aus dem Abschlußbericht.

Der Einfluß erhöhter Ozonkonzentrationen auf die Lungenfunktion ausgewählter Bevölkerungsgruppen

arbeiter und Sportler sind aufgrund der körperlichen Belastung und der damit verbundenen hohen Atemminutenvolumina besonders stark exponiert.

Untersuchungsergebnisse

Senioren

Untersucht und befragt wurden 41 Bewohner des Wohnstifts „Augustinum München-Nord“ im Alter von 69 bis 95 Jahren (mittleres Alter 81 Jahre). Der Mittelwert der maximalen Ozonkonzentration (13 bis 16 Uhr) lag an den Ozontagen bei $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Maximum $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$), an den Kontrolltagen bei $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Lungenfunktionsprüfungen ergaben für das Gesamtkollektiv keine Verschlechterungen an den Ozontagen. Zehn der Senioren wiesen im Mittel an den Ozontagen um mindestens 20 % niedrigere spezifische Atemwegswiderstände im Vergleich zu den Kontrolltagen auf, während bei sieben eine Erhöhung um über 20 % auftrat. Bei der Messung der forcierten Vitalkapazität fanden sich bei sieben Probanden um mindestens 10 % höhere Werte, nur bei vier um mindestens 10 % geringere. Die mit dem reziproken Wert des Standardfehlers gewichteten mittleren Regressionskoeffizienten zwischen den Lungenfunktionsparametern und der Ozonkonzentration zeigten sowohl bei den Atem-

wegswiderständen als auch bei der Vitalkapazität, dem Atemspitzenfluß und der Ein-Sekunden-Kapazität Verbesserungen der Lungenfunktion mit steigenden Ozonkonzentrationen. Die Erfragung von Reizempfindungen an Augen und Atemwegen erbrachte keine relevanten Unterschiede zwischen den Ozon- und Kontrolltagen.

Jugendliche Asthmatiker

43 jugendliche Asthmatiker (mittleres Alter 15 Jahre) aus dem „Asthmazentrum Buchenhöhe“ bei Berchtesgaden (Ärztlicher Direktor Dr. Lecheler) nahmen an der Studie teil. Der Mittelwert der Ozonkonzentration an den Ozontagen betrug $147 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Maximum $182 \mu\text{g}/\text{m}^3$), an den Kontrolltagen $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Andeutungsweise fanden sich für das Gesamtkollektiv etwas höhere Atemwegswiderstände und geringfügig niedrigere Atemspitzenflüsse (statistisch nicht signifikant) an Ozontagen. Auch die Vitalkapazität war an den Ozontagen etwas geringer als an den Kontrolltagen. Sieben der jugendlichen Asthmatiker wiesen im Mittel um mindestens 20 % niedrigere spezifische Atemwegswiderstände an den Ozontagen im Vergleich zu den Kontrolltagen auf, während bei 16 eine Erhöhung um über 20 % auftrat. Bei der forcierten Vital-

kapazität ergaben sich bei drei Probanden um mindestens 10 % höhere Werte, bei zwölf dagegen um mindestens 10 % geringere. Die mit dem reziproken Wert des Standardfehlers gewichteten mittleren Regressionskoeffizienten zwischen den Lungenfunktionsparametern und der Ozonkonzentration zeigten sowohl bei den Atemwegswiderständen als auch bei der Vitalkapazität, dem Atemspitzenfluß und der Ein-Sekunden-Kapazität Verschlechterungen der Lungenfunktion mit steigenden Ozonkonzentrationen. Aus den Regressionskoeffizienten ergab sich die höchste relative Veränderung von + 10 % pro 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ für den spezifischen Atemwegswiderstand. Eine Verschlechterung des körperlichen Wohlbefindens, insbesondere der asthmatischen Beschwerden, an Ozontagen war aus den Befragungsergebnissen nicht abzuleiten.

Waldarbeiter

An 41 Waldarbeitern (mittleres Alter 38 Jahre) im Ebersberger Forst wurden Messungen vorgenommen. Um spezielle Einflüsse der Waldarbeit berücksichtigen zu können, enthielt der Fragebogen zusätzlich Fragen u.a. zum Gebrauch von Motorsägen und zur Art der körperlichen Belastung. Die mittlere Ozonkonzentration lag an den Ozontagen bei

128 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Maximum 154 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), an den Kontrolltagen bei 63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Das Gesamtkollektiv zeigt signifikant höhere Atemwegswiderstände an den Nachmittagen der Ozontage im Vergleich zu den Kontrolltagen, die anderen Lungenfunktionsparameter unterschieden sich nicht relevant. Keiner der Waldarbeiter hatte an den Ozontagen im Vergleich zu den Kontrolltagen einen im Mittel um mindestens 20 % niedrigeren spezifischen Atemwegswiderstand, dagegen 20 eine Erhöhung um über 20 %.

Bei der Bestimmung der forcierten Vitalkapazität ergaben sich nur bei einem Waldarbeiter Unterschiede von über 10 % in Form einer Verminderung an den Ozontagen. Die mit dem reziproken Wert des Standardfehlers gewichteten mittleren Regressionskoeffizienten zwischen den Lungenfunktionsparametern und der Ozonkonzentration ergaben sowohl bei den Atemwegswiderständen als auch bei der Vitalkapazität, dem Atemspitzenfluß und der Ein-Sekunden-Kapazität Verschlechterungen der Lungenfunktion mit steigenden Ozonkonzentrationen. Die daraus resultierenden relativen Änderungen betragen beim spezifischen Atemwegswiderstand + 31 % pro 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bei den Kenngrößen für die Atemflüsse und Volumina dagegen nur maximal - 2 % pro 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Verschlechterungen der Lungenfunktion an den Nachmittagen

Der Einfluß erhöhter Ozonkonzentrationen auf die Lungenfunktion ausgewählter Bevölkerungsgruppen

der Ozontage war besonders stark ausgeprägt nach Arbeiten mit Motorgeräten wie Sägen und Pflanzgeräten. Die Befragungsergebnisse zeigen, daß eine an Kontrolltagen bestehende Tendenz zum Rückgang von nicht ozonverursachten Reizempfindungen an den Augen oder Atemwegen im Tagesverlauf an den Ozontagen geringer war. Verschlechterungen der Reizempfindungen hingegen waren an den Ozontagen nicht häufiger als an den Kontrolltagen.

Sportler

43 Leistungssportler aus den Leistungszentren für Langläufer und Alpine Schifahrer in Berchtesgaden (Dürreck), für Eisschnellläufer in Inzell und Biathleten in Ruhpolding wurden untersucht (mittleres Alter 18 Jahre). Die mittlere Ozonkonzentration lag an den Ozontagen bei $142 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Maximum $172 \mu\text{g}/\text{m}^3$), an den Kontrolltagen bei $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Das Gesamtkollektiv weist einen Trend zu einer leichten Verbesserung der Lungenfunktion (niedrigere R_{tot}) an den Nachmittagen der Ozontage im Vergleich zu den Kontrolltagen auf, jedoch bei etwas angehobener bronchialer Reagibilität. Acht Sportler hatten nach dem Training an den Ozontagen im Vergleich zu den Kontrolltagen einen im Mittel um mindestens 20 % niedrigeren spezifischen

Atemwegswiderstand, vier eine Erhöhung um über 20 %. Bei der forcierten Vitalkapazität ergaben sich nur bei einem Sportler Unterschiede von über 10 % in Form einer Verminderung an den Ozontagen. Die mit dem reziproken Wert des Standardfehlers gewichteten mittleren Regressionskoeffizienten zwischen den Lungenfunktionsparametern und der Ozonkonzentration ergaben bei den Atemwegswiderständen leichte Verbesserungen, dagegen bei der Vitalkapazität, dem Atemspitzenfluß und der Ein-Sekunden-Kapazität leichte Verschlechterungen mit steigenden Ozonkonzentrationen. Die daraus resultierenden relativen Änderungen betragen beim Atemwegswiderstand — 8 % pro $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, bei den Kenngrößen für die Atemflüsse und Volumina dagegen nur bis zu — 3 % pro $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bei PEF. Die Befragungsergebnisse zeigen keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Ozontagen und den Kontrolltagen.

Büroangestellte

An 40 Angestellten des Umweltschutzreferates der Stadt München (mittleres Alter 36 Jahre) wurden Messungen vorgenommen. Die mittlere Ozonkonzentration in der Außenluft erreichte an den Ozontagen $136 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Maximum $224 \mu\text{g}/\text{m}^3$), an den Kontrolltagen

30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Ozonkonzentration in den Büros der Probanden lag im Mittel um 50 bis 65 % niedriger als in der Außenluft. Das Gesamtkollektiv weist signifikant höhere spezifische Atemwegswiderstände an den Nachmittagen der Ozontage im Vergleich zu den Kontrolltagen auf. Auch die anderen Lungenfunktionsparameter zeigen im Mittel Verschlechterungen der Lungenfunktion an den Ozontagen. Nur drei Büroangestellte hatten an den Ozontagen im Vergleich zu den Kontrolltagen einen im Mittel um mindestens 20 % niedrigeren spezifischen Atemwegswiderstand, während 19 eine Erhöhung um über 20 % aufwiesen.

Bei der forcierten Vitalkapazität ergaben sich dagegen bei keinem Büroangestellten Veränderungen über 10 %. Die mit dem reziproken Wert des Standardfehlers gewichteten mittleren Regressionskoeffizienten zwischen den Lungenfunktionsparametern und der Ozonkonzentration weisen bei den Atemwegswiderständen, der Vitalkapazität, dem Atemspitzenfluß und der Ein-Sekunden-Kapazität Verschlechterungen der Lungenfunktion mit steigenden Ozonkonzentrationen auf. Die daraus resultierenden relativen Änderungen betragen beim spezifischen Atemwegswiderstand + 12 % pro 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bei den Kenngrößen für die Atemflüsse und Volumina dagegen nur bis zu - 2 % pro 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Befragungsergebnisse zeigen etwas mehr

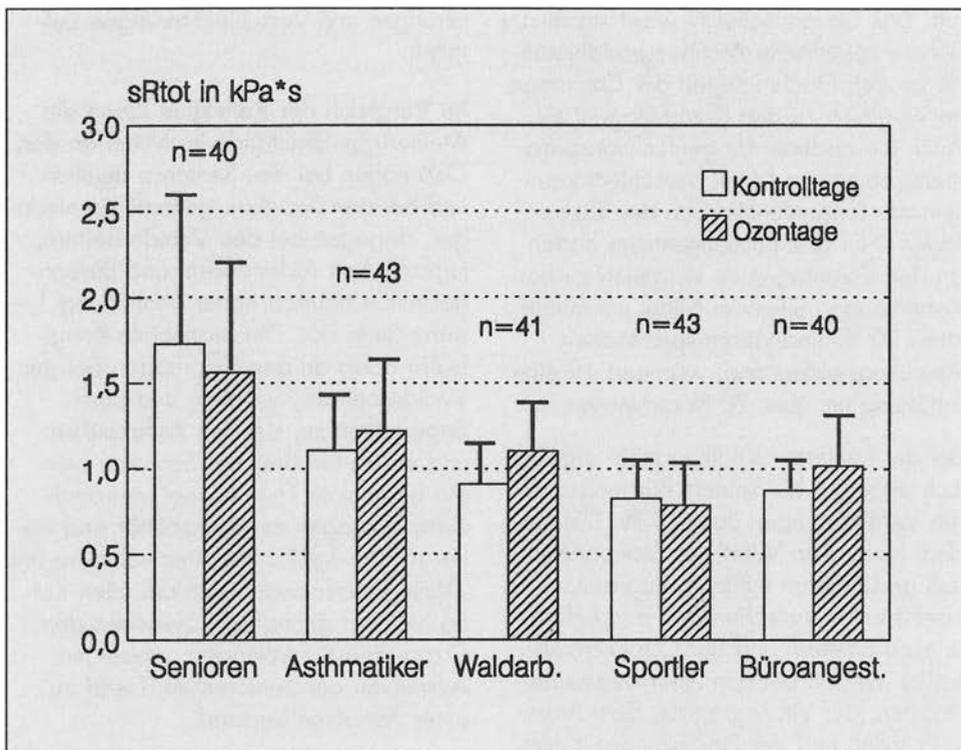
Veränderungen der Reizempfindungen im Tagesverlauf an den Ozontagen, wobei sich diese annähernd gleich auf Verbesserungen und Verschlechterungen aufteilen.

Im Vergleich der Kollektive lagen die Atemwegswiderstände im Mittel an den Ozontagen bei den Senioren deutlich und bei den Sportlern geringfügig niedriger, dagegen bei den Waldarbeitern, jugendlichen Asthmatikern und Büroangestellten deutlich höher (Abbildung 1, siehe Seite 86). Die bronchiale Reagibilität nahm an den Ozontagen bei den Waldarbeitern, Sportlern und Büroangestellten zu; bei den Asthmatikern und einem Großteil der Senioren war die bronchiale Provokation kontraindiziert, Aussagen zur Reagibilität sind daher nicht möglich. Die Atemvolumina und -flüsse unterschieden sich bei allen Kollektiven nur geringfügig zwischen den Ozon- und Kontrolltagen, wobei mit Ausnahme der Senioren ein Trend zu einer Abnahme bestand.

Bei der Betrachtung der individuellen Reaktionen in den unterschiedlichen Kollektiven zeigen bezüglich des Atemwegswiderstands etwa die Hälfte und bezüglich der Vitalkapazität mehr als drei Viertel der Probanden keine relevanten Verschlechterungen. Für den spezifischen Atemwegswiderstand ergaben sich die geringsten Fallzahlen von Ver-

Der Einfluß erhöhter Ozonkonzentrationen auf die Lungenfunktion ausgewählter Bevölkerungsgruppen

Abbildung 1:
Mittelwerte des spezifischen Atemwegwiderstand sR_{tot} der verschiedenen Probandenkollektive an Kontrolltagen und Ozontagen



schlechterungen an den Ozontagen bei den Sportlern, gefolgt von den Senioren und den jugendlichen Asthmatikern. Die Waldarbeiter und Büroangestellten wiesen fast zur Hälfte Verschlechterungen um mehr als 20 % im Vergleich zu den

Werten der Kontrolltage auf. Bei der Vitalkapazität waren Verminderungen bei den Asthmatikern am häufigsten, bei den anderen Kollektiven dagegen mit maximal vier Probanden (Senioren) selten.

Schlußfolgerungen

Die Ergebnisse deuten darauf hin, daß Senioren und gesunde Sportler bei den aufgetretenen Ozonkonzentrationen nicht als spezielle Risikogruppe bezüglich Lungenfunktionsverminderungen und ozonbedingter Reizerscheinungen anzusehen sind.

Die nahezu ausschließlich bronchial-obstruktiven Reaktionen der Waldarbeiter und Büroangestellten sprechen gegen einen reinen Ozoneffekt, da dieser, wie aus der Literatur bekannt ist, in der Regel auch zu einer restriktiven Ventilationsstörung führt. Ein weiteres Argument gegen eine reine Ozonwirkung ist die Tatsache, daß die Waldarbeiter und vor allem die Büroangestellten von allen Kollektiven den geringsten Ozonkonzentrationen ausgesetzt waren. Bei den Büroangestellten lag die Ozonexposition weit unterhalb der aus der Literatur bekannten Schwellen für Ozonwirkungen. Im Falle der Waldarbeiter könnten waldspezifische Reaktionen von Terpenen mit Ozon und anderen Luftschadstoffen

(auch Motorsägenabgase) zu den Reaktionen geführt haben. Bei den Büroangestellten könnten Ausgasungen von Einrichtungsgegenständen oder beim Ozonabbau in Innenräumen entstehende Reaktionsprodukte die Ursache für die obstruktiven Bronchialreaktionen sein.

Die Art der gemessenen Reaktionen der jugendlichen Asthmatiker, die sowohl in Richtung einer leichten restriktiven als auch obstruktiven Ventilationsstörung wiesen, entsprechen dem aus der Literatur bekannten Muster von Ozonwirkungen. Das Ausmaß der Reaktionen war jedoch sehr gering, so daß nicht von einer klinischen Relevanz gesprochen werden kann.

In allen Kollektiven, auch in jenen mit im Mittel stark reagierenden Personen, gab es Probanden, deren Lungenfunktion an den Ozontagen besser war als an den Kontrolltagen. Die Ozonproblematik ist daher nicht als Problematik von „betroffenen Bevölkerungsgruppen“, sondern, wenn überhaupt, von Individuen zu sehen.

Teil 3:
Expositionssituation
an bestimmten Arbeitsplätzen

Ozon-Problematik auf Baustellen im Freien

R. Rühl

Arbeitsgemeinschaft der Bau-Berufsgenossenschaften,
Frankfurt am Main

Einleitung

Im Baugewerbe gibt es zahlreiche Arbeitsplätze im Freien, sei es bei Maurer-, Zimmerer-, Dachdecker- oder Straßenarbeiten. Weitgehend im Freien sind aber auch die Arbeitsplätze im Grabenbau, viele Arbeiten im Rohbau sowie Arbeitsplätze in oder auf Baumaschinen. Es ist zu klären,

- wie hoch die Belastung durch Ozon an diesen Arbeitsplätzen ist,
- wie diese Belastung zu beurteilen ist,
- wann Maßnahmen zu ergreifen sind und
- welche Maßnahmen dies sind.

Bei der Diskussion der Ozonbelastung darf nicht vergessen werden, daß Ozon nur einer von vielen Belastungsfaktoren ist. Die Beschäftigten auf Baustellen sind auch Dieselabgasen, Benzol und anderen Kraftstoffbestandteilen, Staub sowie weiteren gesundheitsschädlichen Stoffen ausgesetzt. Wenn die Ozonkonzentration hoch ist, sind zudem die Temperaturen hoch, der Körper ist an solchen Tagen deshalb noch stärker belastet als sonst.

Als Technischer Aufsichtsbeamter — der mit allen geeigneten Mitteln dafür zu sorgen hat, daß Arbeitsunfälle verhütet

werden — fühle ich mich, unabhängig von rechtlichen Betrachtungen, dazu verpflichtet festzustellen, ob eine Gefährdung besteht, wie hoch diese Gefährdung ist und welche Schutzmaßnahmen getroffen werden können. Vor Ort auf den Baustellen wirken wir wenig überzeugend mit dem Hinweis „Wir sind nicht zuständig“. Ein Verweis auf Vorschriften, die uns aus der Verantwortung nehmen, dient nicht der Akzeptanz unserer Ziele.

Zudem können die Berufsgenossenschaften nach § 45 der UVV „Allgemeine Vorschriften“ Maßnahmen fordern: „Sind Versicherte gesundheitsgefährlichen Stoffen, ... oder anderen gesundheitsgefährlichen Einwirkungen ausgesetzt, so hat der Unternehmer unbeschadet anderer Rechtsvorschriften das Ausmaß der Gefährdung zu ermitteln.“

Ozon-Grenzwert im Freien

Es steht wohl außer Frage, daß auch bei einer Ozon-Belastung im Freien der derzeit gültige MAK-Wert heranzuziehen ist (TRGS 900). Für diesen Wert von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gilt, daß die Gesundheit der Arbeitnehmer nicht beeinträchtigt wird, wenn die schichtbezogene Konzentration darunter liegt. Daher ist es unverständlich, wenn derzeit die Anwendung des MAK-Wertes auf Arbeiten im Freien

in Zweifel gezogen wird mit dem Hinweis, die Gefahrstoffverordnung – und damit auch die Grenzwerte der Technischen Regel für Gefahrstoffe TRGS 900 – sei nicht anwendbar. Zu beachten ist weiterhin, daß der Grenzwert von Ozon unter die Kurzzeitwertkategorie I fällt. Damit kann bis zu achtmal pro Schicht jeweils maximal fünf Minuten der zweifache Grenzwert erreicht werden, also $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ohne daß Maßnahmen notwendig werden.

Anwendung des Ozon-Grenzwertes auf Baustellen

Wie ist dieser Grenzwert auf Baustellen anzuwenden? Die Ozonkonzentration ist von sehr vielen Faktoren abhängig:

- der Temperatur
- der Sonneneinstrahlung
- der Luftverunreinigung
- der Jahres- und Tageszeit
- den Wind- bzw. Wetterverhältnissen
- der unmittelbaren Umgebung

Diese Aufzählung macht deutlich, daß es sehr schwierig ist, für eine Baustelle konkret die Ozonkonzentration vorherzusagen. Trotzdem halten wir Messungen vor Ort weder für sinnvoll noch für notwendig. Es gibt auch andere Möglichkeiten, Ozon-Belastungen über dem MAK-Wert zu ermitteln.

Mit dem Ozon-Gesetz vom Juli 1995 wurde eine Möglichkeit geschaffen, die genutzt werden kann. Nach diesem Gesetz muß die oberste Verkehrsbehörde jedes betroffenen Bundeslandes in den Medien auf Verkehrsverbote aufmerksam machen, wenn

- an mindestens drei Meßstationen im Bundesgebiet,
- die nicht weniger als 50 km und nicht mehr als 250 km voneinander entfernt sind,
- eine Ozon-Konzentration von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ über eine Stunde erreicht wird und
- dies für den nächsten Tag ebenfalls zu erwarten ist.

Wichtig ist für die folgende Betrachtung, daß Ozonalarm erfolgt, wenn eine Stunde lang $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erreicht wird. Der MAK-Wert von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bezieht sich aber auf eine **Acht-Stunden-Schicht**. Es wird somit kein neuer Grenzwert vorgeschlagen, sondern ein Verfahren, das es erlaubt, die Ermittlung der Ozonkonzentrationen auf Baustellen anhand der Werte der Meßstellen der Länder vorzunehmen.

Diese Vorgehensweise hat auch den Vorteil, daß der Startpunkt von Maßnahmen für alle klar ist und nicht auf Bau-

stellen über die Interpretation von Meßergebnissen diskutiert werden muß.

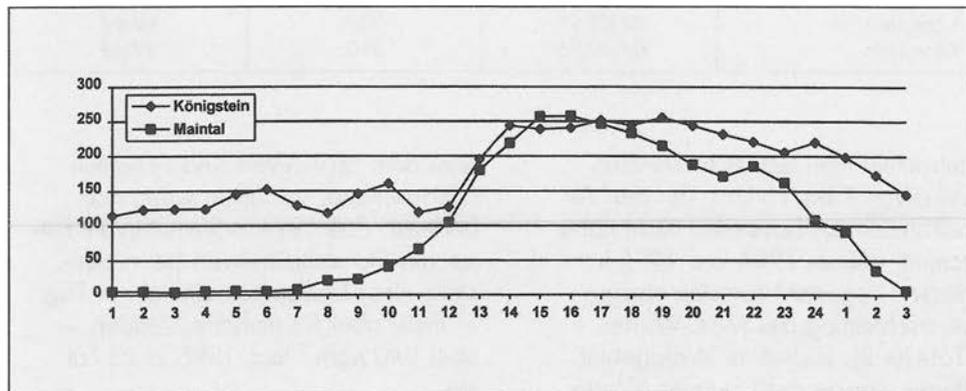
Was bedeutet aber die vorgeschlagene Vorgehensweise? Für den Fall, daß für ein bestimmtes Gebiet Ozonalarm gegeben wird, ist die Situation klar — es sind Maßnahmen (auf die später noch eingegangen wird) zu ergreifen. Wie hoch kann aber die Ozonbelastung auf einer Baustelle sein, wenn nicht Ozonalarm gegeben wurde?

Ozonalarm erfolgt nur, wenn an mehreren Meßstellen in einem bestimmten Abstand und bei bestimmter Wetterlage jeweils mindestens $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erreicht werden. Es können also durchaus an einer oder auch mehreren Meßstellen

— und damit auch in deren jeweiliger Umgebung — $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erreicht und auch überschritten werden, ohne Ozonalarm auszulösen!

Wie hoch wäre an solchen Tagen die Acht-Stunden-Belastung? Da die Ozonkonzentration im Laufe eines Tages ansteigt und gegen Nachmittag ein Maximum erreicht, liegt der Acht-Stunden-Wert an solchen Tagen mit Sicherheit deutlich unter $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Liegt der Acht-Stunden-Wert aber auch unter $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$? Die Abbildung verdeutlicht den typischen Tagesverlauf der Ozonkonzentration eines Tages. Da im Wald weniger Schadstoffe vorhanden sind, die zur Zersetzung des Ozons beitragen können, fällt hier die Ozonkonzentration

Tagesverlauf (6. Mai 1995) der Ozon-Konzentration im Stadtgebiet (Maintal) und Waldgebiet (Königstein)



Ozon-Problematik auf Baustellen im Freien

nachts nicht so stark ab wie im Stadtbereich. Der Acht-Stunden-Wert für Königstein beträgt bei einer Arbeitszeit von 9 bis 17 Uhr $197 \mu\text{g}/\text{m}^3$, von 7 bis 15 Uhr $169 \mu\text{g}/\text{m}^3$, die Acht-Stunden-Werte für Maintal liegen noch deutlicher unter $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Dies ist ein Beispiel, aber ist das auch allgemein gültig? In Hessen gibt es

33 Ozonmeßstationen, davon fünf Waldmeßstellen. An den 33 hessischen Ozonmeßstationen war 1994 der Acht-Stunden-Wert von 9 bis 17 Uhr nur insgesamt viermal (1995 nur fünfmal) an jeweils einer Meßstelle über $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tabelle 1). Diese Überschreitungen des MAK-Wertes lagen vor allem 1995 überwiegend in Waldgebieten, in denen nur wenig Baustellen vorkommen.

Tabelle 1:
Acht-Stunden-Mittelwerte (9 bis 17 Uhr) über $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aller 33 hessischen Ozonmeßstationen 1994 und 1995

Meßstelle	Datum	Acht-Stunden-Wert	Gebiet
Viernheim	26.07.94	202	Stadt
Darmstadt	26.07.94	224	Stadt
Ffm.-Bockenheim	16.07.94	210	Stadt
Königstein	05.08.94	212	Wald
Viernheim	07.05.95	201	Stadt
Maintal	07.05.95	202	Stadt
Königstein	06.05.95	205	Wald
Königstein	07.05.95	217	Wald
Königstein	07.07.95	210	Wald

Betrachtet man den Acht-Stunden-Wert von 7 bis 15 Uhr, der den Arbeitszeiten auf Baustellen wohl näher kommt, gab es 1994 und 1995 in Hessen insgesamt nur eine einzige Überschreitung des MAK-Wertes (Tabelle 2), zudem im Waldgebiet. Derart wenige Acht-Stunden-Werte

über dem MAK-Wert sind sicherlich überraschend, vor allem wenn man bedenkt, daß 1994 in immerhin 29 Fällen der Stundenmittelwert bei mindestens einer Meßstation einmal am Tag — meist aber für mehrere Stunden — über $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lag, 1995 in 23 Fällen.

Tabelle 2:

Acht-Stunden-Mittelwerte (7 bis 15 Uhr) über $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aller 33 hessischen Ozonmeßstellen 1994 und 1995

Meßstelle	Datum	Acht-Stunden-Wert	Gebiet
Königstein	07.05.95	201	Wald

Diese Feststellung gilt für Arbeitszeiten, bei denen die Schicht nachmittags beendet ist. Sollte auf Baustellen mehrschichtig gearbeitet werden, sind für die Nachmittags- bzw. Abendschicht vermehrt Acht-Stunden-Werte über $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zu erwarten, entsprechend den zu dieser Tageszeit höheren Ozonkonzentrationen.

Insgesamt kann nach dieser Betrachtung vorläufig festgestellt werden, daß mit dem Heranziehen des Ozonalarms als Startpunkt für Maßnahmen auf Baustellen für Arbeitszeiten bis etwa 17 Uhr nur in wenigen Fällen zu spät reagiert wird, selbst bei Ozonalarm kann der Acht-Stunden-Wert unter $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegen.

Allerdings wird der Kurzzeitwert insofern überschritten, als zwar der zweifache MAK-Wert längst nicht erreicht wird (maximale Ein-Stunden-Werte in Hessen 1994 $277 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 1995 $268 \mu\text{g}/\text{m}^3$) der MAK-Wert aber um mehr als 40 Minuten überschritten wird (wie erläutert, ist nach der TRGS 900 achtmal fünf Minuten eine Überschreitung zulässig). Es

wird aber zu diskutieren sein, inwieweit das Kurzzeitwertkonzept hier anwendbar ist.

Ozon-Konzentrationen auf Baustellen

Die von den amtlichen Meßstellen der Länder zu erhaltenden Werte zu Ozonkonzentrationen beziehen sich auf die unmittelbare Umgebung der jeweiligen Meßstationen. Wie allgemein bekannt, nimmt die Ozonkonzentration ab, wenn sich das Ozon an Staubteilchen, an Oberflächen oder durch Reaktion mit gasförmigen Luftschadstoffen zersetzen kann.

Auf Baustellen gibt es bei Arbeiten in Gruben oder in Räumen — auch wenn sie nicht allseitig umschlossen sind — große Oberflächen, an denen Ozon zerfallen kann. Zudem sind viele andere Schadstoffe vorhanden (Abgase von Baustellenfahrzeugen, Baumaschinen oder Straßenverkehr, Baustellenstaub,

Lösemittel usw.), die zum Ozonabbau führen können. Es ist daher nicht verwunderlich, wenn an vielen Arbeitsplätzen auf Baustellen die Ozonkonzentrationen z.T. deutlich unter den in der Umgebung herrschenden Konzentrationen liegen.

Der Bericht von Dr. Zoubek über ein Meßprogramm der Berufsgenossenschaften der Bauwirtschaft belegt, daß an vielen Arbeitsplätzen auf Baustellen Ozonkonzentrationen vorliegen, die deutlich unter den Werten der amtlichen Meßstellen liegen. Für diese Arbeitsplätze — genannt seien hier vor allem der Innenausbau in offenen oder geschlossenen Räumen, Arbeiten in Gruben, Gräben und Fahrzeugen, Krankabinen u.ä. — liegen wir, wird der skizzierten Vorgehensweise gefolgt und orientiert man sich beim Ergreifen von Maßnahmen an den Werten der Ozonmeßstellen der Länder, auf jeden Fall auf der sicheren Seite. Wir hoffen, diese Unterschiede zwischen den Ozonkonzentrationen der Ländermeßstellen und den auf den Baustellen herrschenden Konzentrationen in einer BIA/BG-Empfehlung dokumentieren zu können.

Die Arbeitsplätze, die Ozonkonzentrationen ausgesetzt sind, die den Werten der amtlichen Meßstellen entsprechen, verringern sich damit deutlich. Die Arbeitsplätze der im Freien arbeitenden

Maurer, Zimmerleute und Dachdecker gehören hierzu. Vermutlich können nur an diesen Arbeitsplätzen im Freien Ozonkonzentrationen über dem MAK-Wert auftreten; nur für diese Arbeitsplätze sind Maßnahmen zu diskutieren, die die Beschäftigten vor einer erhöhten Ozonbelastung schützen.

Es könnte allerdings problematisch sein, sich an dem Wert von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zu orientieren. Dies auch, da es nicht leicht sein wird, den Eindruck zu vermeiden, hier werde ein neuer — und höherer — Grenzwert herangezogen. Es sollte daher diskutiert werden, ob nicht die Meßstellen der Länder bewogen werden können, die Acht-Stunden-Mittelwerte zu berechnen und bekanntzugeben — etwa über Videotext, wo bereits jetzt die aktuellen Ein-Stunden-Werte sowie Prognosen für den Tag angezeigt werden (BMU, 1995).

Maßnahmen auf Baustellen bei Ozonschichtwerten über 200 Mikrogramm/Kubikmeter

An dieser Stelle kann nur auf Maßnahmen verwiesen werden, die von verschiedenen Stellen vorgeschlagen werden. Grundsätzlich wird begrüßt, daß nicht eine Maßnahme gefordert werden soll, sondern viele Möglichkeiten diskutiert werden. Wichtig ist dabei immer,

daß man sich nicht auf die Belastung durch Ozon beschränkt, sondern beachtet wird, daß eine hohe Ozon-Belastung mit anderen Belastungen einhergeht.

So herrschen bei hohen Ozonbelastungen immer relativ hohe Temperaturen. Die dadurch steigende körperliche Belastung läßt die Atemfrequenz ansteigen und erhöht somit die aufgenommene Ozonmenge. Es sollten die in Betracht gezogenen Maßnahmen auch die anderen Belastungen (Dieselabgase, Staub, Benzol usw.) reduzieren.

Auf Baustellen können bei erhöhter Ozonkonzentration u.a. folgende Maßnahmen ergriffen werden (Beschäftigte, die selbst bei geringer Ozonkonzentration über Atemprobleme klagen, sollten ärztlich untersucht werden):

- Verzicht auf Ozon erzeugende Schweißarbeiten
- schwere körperliche Arbeit bevorzugt am Vormittag durchführen
- nachmittags körperlich leichtere Arbeiten durchführen (z.B. Aufräum- und Wartungsarbeiten)
- im Schatten arbeiten, evtl. unter einem Sonnendach, um die Hitzebelastung zu verringern
- soweit möglich Arbeiten ins Innere von Gebäuden verlagern

Pausen möglichst in Räumen durchführen, zumindest aber in den Schatten gehen

früher mit der Arbeit beginnen, um hohen Ozonbelastungen am Nachmittag auszuweichen

Grundsätzlich sollten die Beschäftigten durch Unternehmer, Betriebsarzt oder Fachkraft für Arbeitssicherheit über die gesundheitlichen Risiken durch erhöhte Ozonkonzentrationen aufgeklärt werden. Für diese Aufklärung könnte von den Fachleuten eine allgemeinverständliche Grundlage in Form einer Betriebsanleitung nach TRGS 555 erstellt werden.

Diese Maßnahmen sind natürlich nur ausreichend, solange Ozon nicht als krebserzeugend eingestuft ist. Für krebserzeugende Stoffe gilt grundsätzlich das Minimierungsgebot, d.h., der Unternehmer darf sich nicht mit der Einhaltung eines Grenzwertes zufriedengeben. Wie aber dargelegt wurde, liegen wir mit der vorgeschlagenen Vorgehensweise — Orientierung an den Meßwerten der Länder und den auf Baustellen meist deutlich niedrigeren Ozonkonzentrationen — mit dem Startpunkt zu den Maßnahmen oft deutlich unter dem Grenzwert von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, d.h., die Maßnahmen werden nicht zu spät ergriffen, sondern im Vergleich zum Grenzwert eher zu früh.

Zusammenfassung

Es wird deutlich gemacht, daß zur Ermittlung der Ozonkonzentrationen auf Baustellen Messungen vor Ort nicht notwendig sind. Man kann sich an den von den Meßstellen der Länder ermittelten Ozonkonzentrationen orientieren, um eine Überschreitung des MAK-Wertes von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zu ermitteln. Es wäre wünschenswert, wenn die in einer vorläufigen Auswertung des Meßprogrammes der Berufsgenossenschaften der Bauwirtschaft festgestellten Unterschiede zwischen den Ozonkonzentrationen der Ländermeßstellen und den auf den Baustellen herrschenden niedrigeren Konzentrationen in einer BIA/BG-Empfehlung dokumentiert werden könnten. Wichtig ist aber vor allem, daß die Ozonbelastung nicht isoliert gesehen wird, sondern Maßnahmen gegen die vielfältigen Belastungen ergriffen werden. Am sinnvollsten sind hier selbstverständlich die Maßnahmen, die bereits die Ozonentstehung verhindern.

Danksagung

Der Hessischen Landesanstalt für Umweltschutz, insbesondere Herrn Koch, danke ich für die geduldige Beratung und Auswertung der Meßdaten der hessischen Meßstationen.

Literatur

- [1] Aktuell: Handeln gegen den Sommersmog. BMU-Broschüre, Juli 1995
- [2] Gesetz zur Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. 19. Juli 1995, Bundesgesetzblatt Teil I (1995) Nr. 37, S. 930 - 932
- [3] Hö/v.B.: Fachgespräch Ozon. Tiefbau (1995) Nr. 8, S. 576 - 577
- [4] N.N.: Einheitliche Grenzwerte für drinnen und draußen. Arbeit & Ökologie Briefe, 15 (1995), S. 14 - 15
- [5] TRGS 555: Betriebsanweisung und Unterweisung. BArbBl. (1989) Nr. 3, S. 85, und (1989) Nr. 10, S. 62
- [6] TRGS 900: Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz. BArbBl. (1995) Nr. 4, S. 47

Ozonsenken an Baustellen — erste Ergebnisse einer Untersuchung der Tiefbau-Berufsgenossenschaft

G. Zoubek
Tiefbau-Berufsgenossenschaft, München

Einleitung

Bodennahes Ozon, das als Bestandteil des sog. Sommersmogs auftritt, ist ein sehr reaktionsfähiges Gas. Es reagiert unter Abbau mit einer Vielzahl von Verbindungen, zersetzt sich aber auch rasch an großen inerten Oberflächen wie Staub, Textilien etc. Diese Reaktionsfreudigkeit hat z.B. zur Folge, daß die Ozonkonzentration in Innenräumen vor allem bei „Sommersmog“ wesentlich unterhalb der Konzentration im Freien liegt. Mit dem Vorkommen derartiger Ozonsenken ist immer dann zu rechnen, wenn

$$V_{\text{Ozonabbau}} > \sum V_{\text{Ozonbildung}} + V_{\text{Ozonzufuhr(Diffusion)}} + V_{\text{Ozonzufuhr(Konvektion)}}$$

die Geschwindigkeit des Ozonabbaus größer ist als die der Ozonbildung und der Ozonzufuhr durch Diffusion und Konvektion aus Bereichen mit hohen Ozonkonzentrationen.

Bislang wurde noch nicht untersucht, ob diese Ozonsenken nicht nur in Innenräumen, sondern durch den Ozonabbau am Staub in der Luft, an festen Oberflächen (trockener Disposition) oder durch sonstige Abbaumechanismen auch an Arbeitsplätzen des Baugewerbes im Freien auftreten.

Kenntnisse über das Ausmaß der Ozonminderung stellen eine wesentliche Vor-

aussetzung für die Beurteilung von Arbeitsplätzen im Freien während Sommersmogwetterlagen dar. Die Gefahrstoffmeßstelle der Tiefbau-Berufsgenossenschaft hat nun erstmalig das Auftreten der Ozonsenken in bauspezifischen Arbeitsbereichen untersucht.

Geräte

Im Rahmen des Ozonmeßprogrammes wurden folgende Geräte eingesetzt, die z.T. vom Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitssicherheit — BIA entliehen werden konnten:

Ozonalysator DASIBI 1008 AH
(UV-Absorption)

Ozonalysator HORIBA APOA
(UV-Absorption)

Ozonalysator UPK 8002
(Chemilumineszenz)

Dräger-Prüfröhrchen 67 33 181
OZON 0,05/b

Dräger-Probenahmepumpe Quantimeter

Laumann-Schreiber

Datenlogger ALMEMO 2290-8

Stromgenerator HONDA

Teflon-Schlauch 4 mm Ø innen

Ozonsenken an Baustellen — erste Ergebnisse einer Untersuchung der Tiefbau-Berufsgenossenschaft

Die UV-Analysatoren, Schreiber und Datenlogger wurden auf der Ladefläche eines Kombi-PKW installiert. Damit konnten Baustellen mit der Meßeinrichtung angefahren und Messungen in Baubereichen durchgeführt werden, bei denen kein Stromanschluß und keine Möglichkeit bestand, die Meßgeräte in Baucontainern fest zu installieren. Weiterhin war diese Anordnung notwendig, um beispielsweise Schwarzdeckenfertigern während der Arbeit mit der Meßeinrichtung zu folgen.

Die Entfernung zwischen dem nächstmöglichen Standort des Meßfahrzeuges und dem Meßort mußte durch Schlauchleitungen mit Längen bis zu 20 m überbrückt werden. Nach Information der LFU München, von der uns entsprechende Untersuchungen vorlagen, sind dafür Schlauchleitungen aus Teflon am besten geeignet, in denen, verglichen mit anderen Materialien wie Edelstahl, PVC etc., nach entsprechender Konditionierung die geringsten Ozonverluste innerhalb der Leitung auftreten.

Bei allen Ozonanalysatoren wurden Leitungen aus gleichem Material, mit gleicher Länge und gleichem Alterungszustand verwendet. Damit war sichergestellt, daß dieselben leitungsbedingten Ozonabbauraten für sämtliche Ozonanalysatoren vorlagen. Durch die gleichen Leitungsdimensionen ergaben sich

auch übereinstimmende Totzeiten in der Größenordnung von ca. 15 Sekunden bei den gleichzeitig eingesetzten Analysatoren. Das Innere der Leitungen wurde durch Teflonfilter vor Verschmutzung geschützt.

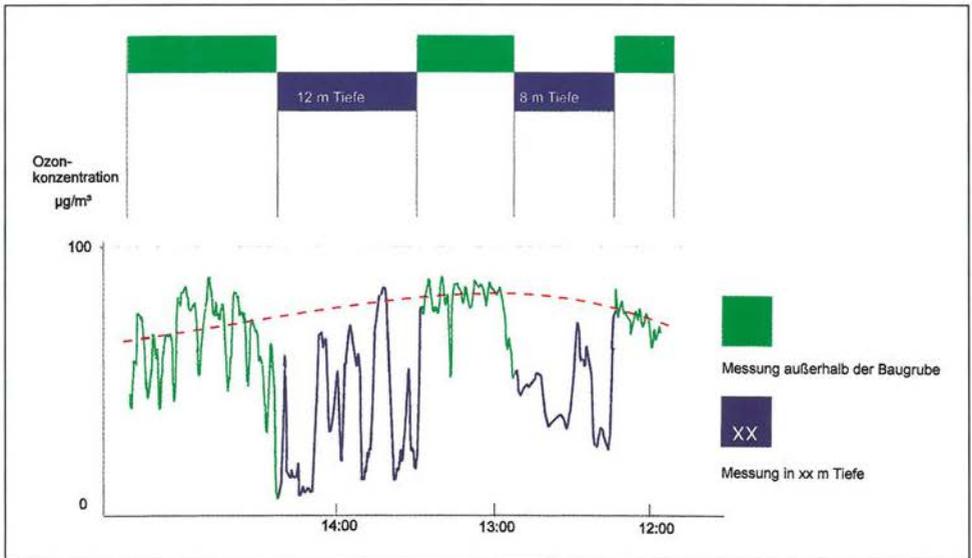
Ziel der Untersuchung

Ziel der Untersuchung war es nicht, die absolute Höhe der Ozonkonzentration im Baustellenbereich zu messen. Vielmehr sollte das prozentuale Verhältnis zwischen der Ozonkonzentration im Baustellenbereich und in der Umgebung, die frei von baustellenspezifischen Einflüssen ist, also die dortige Minderung der Ozonkonzentration — die Ozonsenke —, bestimmt werden.

Meßstrategie

Die Bestimmung des Ozonverhältnisses im Außen- und Arbeitsbereich erfolgte zum einen zeitversetzt. Mit einem Ozonanalysator wurden nacheinander Messungen im Außen- und im Arbeitsbereich vorgenommen. Zur Schlußkontrolle wurde jeweils nach einer Messung im Arbeitsbereich eine weitere Messung im Außenbereich durchgeführt (Abbildung 1).

Abbildung 1:
 Zeitversetzte Messung in Baugruben
 grün: Kontrollmessung im Außenbereich; blau: Messung in der Baugrube; rot: gemittelter Verlauf der Ozonkonzentration im Außenbereich; Zeitablauf von rechts nach links



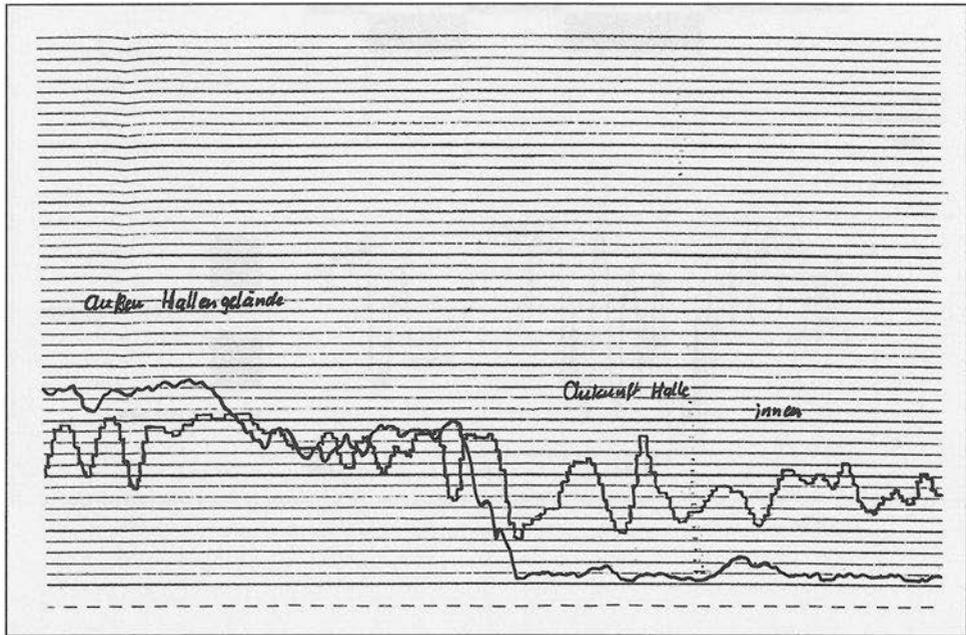
Bei der synchronen Messung wurde mit zwei Analysatoren gleichzeitig im Außen- und Arbeitsbereich gemessen. Im allgemeinen wurde auch bei der Synchronmessung eine zeitversetzte Messung angeschlossen, um etwaige Abweichungen der Analysatorencharakteristik zu erkennen (Abbildung 2, siehe Seite 102).

Baugruben

Messungen in Baugruben ergaben eine deutliche Abnahme der Ozonkonzentration mit zunehmender Tiefe. Grund ist der vermehrte Ozonabbau an den Wänden und der behinderte Luftaustausch mit der ozonreicheren Außenluft. Windböen verursachten einen intensive-

Ozonsenken an Baustellen — erste Ergebnisse einer Untersuchung der Tiefbau-Berufsgenossenschaft

Abbildung 2 (Kopie der Aufzeichnung):
Ozonsmessung während der LKW-Fahrt
dicke terrassenförmige Linie: Außenluft; dünne Kurve: Kabinenluft
linke Hälfte der Abbildung: Kontrollmessung
dicke terrassenförmige Linie: Außenluft; dünne Kurve: Außenluft
Zeitablauf von rechts nach links



ren Luftwechsel im Grubenbereich und führten zu Ozonspitzen, die jedoch rasch wieder abgebaut wurden (Abbildung 1). Bei großflächigen Baugruben war die Ozonsenke am Rand ausgeprägter als in der Mitte der Grube (Tabelle. 1).

Straßenbau

Im allseitig offenen Platz des Maschinenführers von Schwarzdeckenfertigern wurden die Ozonkonzentrationen im Verhältnis zur Umgebung bestimmt. Die gefundenen Werte lagen zwischen

Tabelle 1:
Ozonkonzentration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] in Baugruben

Baustelle	A	B		C	
		Mitte	Rand	Mitte	Rand
Erdgleiche	28,4	70,0	80,0	70,0	80,0
5,5 m uEG	15,9				
8,0 m uEG		60,0	27,0	12,0	
11,0 m uEG	3,0				
12,0 m uEG				2,0	4,6
16,0 m uEG	3,0				
22,0 m uEG	5,4				

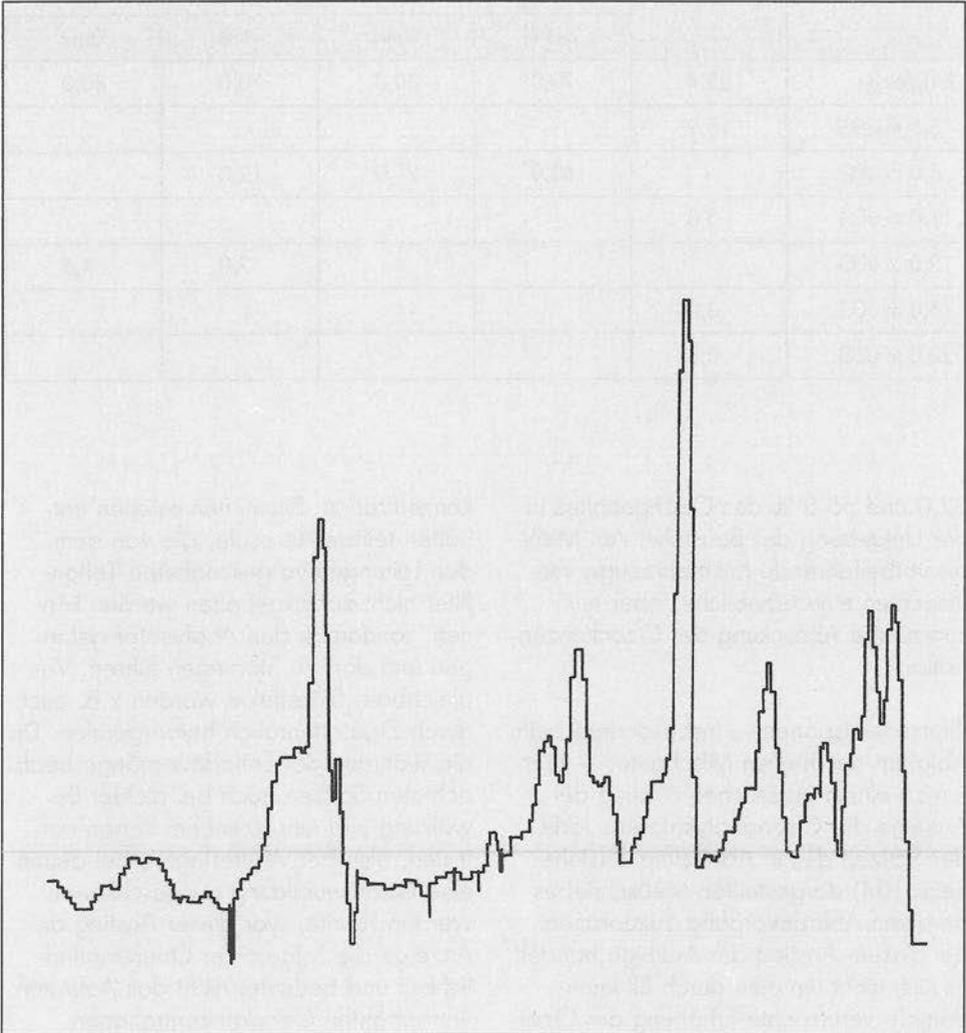
32,0 und 55,8 % des Ozongehaltes in der Umgebung der Baustelle. Am Meßort vorbeifahrende Kraftfahrzeuge verursachten eine erhebliche, aber nur kurzzeitige Absenkung der Ozonkonzentration.

Bitumenemissionen — insbesondere beim Abladen des heißen Mischgutes — führten zu einem drastischen Anstieg der Anzeige der Ozonanalysatoren. Jede der Spitzen des in Abbildung 3 (siehe Seite 104) dargestellten Meßschriebes ist einem Abladevorgang zuzuordnen. Bei diesem Anstieg der Anzeige handelt es sich nicht um eine durch Bitumendämpfe verursachte Erhöhung der Ozon-

konzentration. Bitumenemissionen enthalten feinste Aerosole, die von dem den Leitungen vorgeschalteten Teflonfilter nicht zurückgehalten werden können, sondern in den Analysator gelangen und dort zu Störungen führen. Vergleichbare Störeffekte werden z.B. auch durch Zigarettenrauch hervorgerufen. Da die während der Entladevorgänge beobachteten Spitzen auch bei dichter Bewölkung und einsetzendem Regen auftraten, also bei Wetterlagen, bei denen eine Ozonneubildung ausgeschlossen werden konnte, war dieser Anstieg der Anzeige die Folge einer Querempfindlichkeit und bedeutet nicht das Auftreten von erhöhten Ozonkonzentrationen.

Ozonsenken an Baustellen — erste Ergebnisse einer Untersuchung der Tiefbau-Berufsgenossenschaft

Abbildung 3 (Kopie der Aufzeichnung):
Störung durch Bitumenemissionen
Zeitablauf von rechts nach links



Lastkraftwagen

Einen erheblichen Anteil der Tiefbauarbeiten bilden LKW-Transporte. Aus diesem Grund wurden auch Ozonmessungen im Führerhaus während einer Autobahnfahrt über 200 km bei Geschwindigkeiten von 50 bis 80 km/h durchgeführt. Die simultane Außenluftmessung erfolgte in Höhe des Kabinenfensters auf der Beifahrerseite. Bemerkenswert ist, daß bei Fahrten in einer LKW-Kolonnie die Ozonkonzentration in der Außenluft im Vergleich zur Fahrt auf der freien Autobahn sank.

Bei Ozonkonzentrationen in der Außenluft von 20 bis über $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ stieg die Konzentration im Inneren nicht über 2 bis $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Auch das Einschalten der Fahrzeuglüftung auf maximaler Stufe und der Klimaanlage sowie das teilweise Öffnen der Seitenfenster ließen die Ozonkonzentration im Innenraum nicht ansteigen. Nur das Öffnen der Türen, z.B. beim Ein- oder Aussteigen, führte zu einem kurzzeitigen Anstieg der Ozonkonzentration. In der Abbildung 3 stellt die dicke terrassenförmige Linie die Außenkonzentration, die dünne Kurve die Konzentration des Ozons innerhalb der Fahrerkabine dar. Zum Abschluß der Meßfahrt wurde — wie eingangs beschrieben — zur Kontrolle eine zeitversetzte Messung vorgenommen, d.h., mit beiden Ozonanaly-

toren wurde die Ozonkonzentration in der Außenluft gemessen (linke Hälfte der Abbildung 2).

Einfache Meßverfahren

Die routinemäßige Ozonmessung auf Baustellen mit teuren und wenig robusten Ozonanalytoren, die für den Betrieb in stationären Meßstellen oder Laborkontrollen ausgelegt sind, ist während des Baubetriebes nicht durchführbar.

Prüfröhrchen sind ein einfaches und auch während des Baubetriebes schnell und einfach anzuwendendes Meßverfahren zur Bestimmung der Ozonkonzentration vor Ort.

Die parallel zu den Ozonanalytoren verwendeten Prüfröhrchen der Fa. Dräger „Ozon 0,05 /b“ zeigen neben einer zufriedenstellenden Nachweisgrenze auch eine gute Übereinstimmung mit den Analytorenwerten. Da aufgrund der niedrigen Ozonkonzentrationen des Umgebungsozons 100 Hübe mit der Prüfröhrchenpumpe erforderlich waren, wurde die automatische Gasspürpumpe Quantimeter 1000 der Fa. Dräger eingesetzt. Die Ablesegenauigkeit bei diesen Prüfröhrchen ist insbesondere bei höheren Umgebungsozonkonzentrationen gut.

Ozonsenken an Baustellen — erste Ergebnisse einer Untersuchung der Tiefbau-Berufsgenossenschaft

Zusammenfassung

In den Arbeitsbereichen Baugruben, Schwarzdeckenfertigung und Lkw-Transporte, die in die Untersuchung über die Ozonbelastung bei Tiefbauarbeiten einbezogen waren, zeigte

sich eine zum Teil erhebliche Minderung der Ozonkonzentration im Arbeitsbereich. Meßwerte von Umweltmeßstellen sind daher als Maximalwerte zu betrachten, die auch bei Arbeiten im Freien unterschritten werden.

Ozonkonzentrationen auf Hochbaustellen — Ergebnisse von Messungen der Bau-Berufsgenossenschaften

W. Stroh, Bau-Berufsgenossenschaft Hannover

Nach dem BIA-Fachgespräch erhielten wir folgende briefliche Mitteilung:

Die von den Bau-Berufsgenossenschaften durchgeführten Ozonmessungen auf Baustellen brachten folgende Ergebnisse:

- Die auf den Hochbaustellen gemessenen Ozonkonzentrationen weichen maximal um 10 % von den vom zuständigen Landesamt veröffentlichten Konzentrationen ab, wobei die Meßstellen ca. zehn Kilometer voneinander entfernt liegen.
- Die Ozonkonzentration auf der obersten Geschoßdecke (zweites bis viertes

Obergeschoß) ist praktisch identisch zu der im bodennahen Bereich am Gebäude.

- Im offenen Rohbau — Türen und Fenster sind noch nicht eingesetzt — beträgt die Ozonkonzentration 50 bis 75 % des Außenwertes.
- Bei Arbeiten mit Staubemissionen, z.B. Kreissägearbeiten, sinkt die Ozonkonzentration innerhalb weniger Minuten um ca. 30 % ab.
- In geschlossenen Innenräumen sinkt die Ozonkonzentration nach Schließen der Fenster innerhalb einer Stunde auf weniger als 1/10 des Ausgangswertes ab.

Ergebnisse des Fachgespräches „Ozon“ der Tiefbau-Berufsgenossenschaft

A. Höptner
Tiefbau-Berufsgenossenschaft, München

Einführung

Die Tiefbau-Berufsgenossenschaft veranstaltete am 13. Juni 1995 in München ein Fachgespräch zum Thema „Ozon“ mit knapp 60 Teilnehmern aus dem Kreise der IG Bau — Steine — Erden, der Bauverbände und der Bau-Berufsgenossenschaften. Ziel des Fachgespräches war es, die Ozonproblematik und ihren möglichen Einfluß auf den Baustellenbetrieb in der Praxis aus Sicht verschiedener wissenschaftlicher Disziplinen aufzuzeigen, um so im Gedankenaustausch zu einer breiteren Meinungsbildung und zur Aktualisierung des Wissensstandes beizutragen.

Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefaßt werden:

Komplexe Immissionssituation

Aufgrund der Sondersituation am Bau ist es nicht ausreichend, Werte von benachbarten Meßstationen zur Beurteilung der Ozonbelastung auf einer bestimmten Baustelle heranzuziehen.

Die Ozonkonzentration ist räumlich und zeitlich erheblichen Schwankungen unterworfen. Darüber hinaus wird im Bereich von Baustellen der Ozongehalt in der Luft durch die Lage, die Staubentwicklung usw. beeinflusst. So ergaben sich bei ersten Messungen der TBG Hin-

weise auf eine im Vergleich zur Umgebung verringerte Ozonkonzentration im Bereich von Baustellen des Tiefbaues, z.B. in einer Baugrube in acht oder zwölf Meter Tiefe. Die momentane Ozonkonzentration läßt sich exakt also nur durch Messungen vor Ort bestimmen.

Ungeklärte Belastungssituation

Ozon ist nur ein Belastungsfaktor bei Sommersmog, der individuell sehr unterschiedlich wirken kann. Die auf der Baustelle Tätigen atmen neben dem Reizgas Ozon auch viele andere „Fremdstoffe“ ein. Beispielhaft seien folgende Faktoren erwähnt:

- Stäube
- Fahrzeugemissionen
- im Straßenbau Bitumendämpfe und -aerosole beim Schwarzdeckeneinbau
- bei der Betonsanierung oder bei Abdichtarbeiten Lösemittel
- bei der Altlastensanierung komplexe Gefahrstoffgemische
- Zigarettenrauchen als individueller Belastungsfaktor

Bei der Beurteilung der Wirkung von Ozon sind außerdem weitere Kompo-

Ergebnisse des Fachgespräches „Ozon“ der Tiefbau-Berufsgenossenschaft

nenen wie vor allem die Hitzewirkung zu berücksichtigen. Befindlichkeits- und Gesundheitsstörungen sind daher nur schwer auf die Wirkung eines einzelnen Parameters — wie z.B. Ozon — zurückführbar.

Keine bauspezifischen Studien

Bislang existieren keine bauspezifischen Untersuchungen über die Ozon-Belastungssituation.

Eine Übertragbarkeit der Ergebnisse bisheriger Studien wie z.B. über die Waldarbeiter oder Sportler auf Bauarbeiter ist aufgrund der unterschiedlichen Expositionsbedingungen gegenüber anderen, am Bau typischen Luftschadstoffen auszuschließen.

Allerdings scheint sich herauszukristallisieren, daß akute Ozonwirkungen nicht als Problematik ganzer Bevölkerungsgruppen zu sehen sind, sondern individuell sehr unterschiedlich auftreten.

Situation am Bau

Schutzmaßnahmen müssen sich auch an der Praxis im Baubetrieb orientieren. Forderungen nach Baustelleneinhausungen oder Nachmittags-Arbeitsverbot erscheinen realitätsfern.

Gemeinsame wissenschaftliche Aufarbeitung

Am Ende der Veranstaltung stand die Erkenntnis, daß wir noch zu wenig über das Ozon und seine Wirkungen auf die Beschäftigten im Baustellenbetrieb wissen. Zwischen allen Beteiligten bestand Einverständnis, daß eine wissenschaftliche Aufarbeitung dringend notwendig ist und hierbei alle Kreise zusammenwirken müssen. Die anwesenden Vertreter von Wissenschaft und Forschung, Sozialpartner, Vertreter der Gewerkschaften und Arbeitgeberverbände sowie Behörden erklärten dazu ihre Bereitschaft.

Aktuelle Entwicklungen

Die Tiefbau-Berufsgenossenschaft hat inzwischen weitere Ozon-Messungen auf Baustellen im Großraum München durchgeführt, über deren Ergebnisse Dr. Zoubek beim BIA-Fachgespräch „Ozon“ berichtete.

Darüber hinaus wurde inzwischen ein kleiner Arbeitskreis der Sozialpartner und Berufsgenossenschaften gebildet, in dem die Frage des möglicherweise notwendigen Forschungsbedarfes und das weitere Vorgehen diskutiert werden. Damit ist ein abgestimmtes und zügiges Vorgehen gesichert, um im Sommer 1996 mit gemeinsamen Präventionsstrategien aufwarten zu können.

Ozon-Problematik in der Schweißtechnik

V.E. Spiegel-Ciobanu

Norddeutsche Metall-Berufsgenossenschaft, Hannover
Fachausschuß „Eisen und Metall I“ des Hauptverbandes
der gewerblichen Berufsgenossenschaften

Bei der schweißtechnischen Be- und Verarbeitung von metallischen Werkstoffen entstehen gas- und partikelförmige Schadstoffe. Unter den gasförmigen Schadstoffen ist auch Ozon von Interesse.

Ozon (O_3) entsteht hier durch ultraviolette Strahlung aus dem Sauerstoff der Luft. Bei Lichtbogenverfahren erzeugt der Lichtbogen UV-Strahlung. Deren Intensität hängt von der Stromstärke ab. Überall, wo UV-Strahlung ausreichend intensiv vorhanden ist, entsteht Ozon.

Ozon ist bei hohen Temperaturen gegenüber anderen Stoffen instabil. Die Anwesenheit von anderen Gasen, Rauchen oder Stäuben in der Luft beschleunigt den Zerfall von Ozon zu Sauerstoff.

Wegen der Instabilität des Ozons ist gerade hier der Unterschied zwischen Emission und Immission (Konzentration am Arbeitsplatz) zu beachten.

Emission

Die Ozonentstehung (Emission) beim Schweißen ist von den folgenden Einflußfaktoren abhängig:

Verfahren (z.B. MAG-/MIG-/WIG-Schweißen)

Werkstoffe (z.B. Aluminium/Aluminium-Magnesium/Aluminium-Silicium/Chrom-Nickel-Stahl...)

Schutzgase (z.B. Argon, Helium...)

Meßergebnisse zum Thema stammen aus verschiedenen Quellen. Sie basieren auf unterschiedlichen Meßmethoden:

„Fumebox-Methode“, die die Menge pro Zeiteinheit (mg/s) bestimmt, und

„Radiation Chamber“-Methode, die die Ozonkonzentration (mg/m^3) bei unterschiedlichen Entfernungen vom Lichtbogen bestimmt.

Ergebnisse von Ozonemissionsmessungen mit der Fumebox-Methode zeigt Tabelle 1 (siehe Seite 112).

Es ist erkennbar, daß

die höchsten Emissionen beim Metall-Inertgasschweißen (MIG) zu beobachten sind,

beim Wolfram-Inertgasschweißen (WIG) — verglichen mit MIG-Schweißen — die gemessenen Emissionswerte um eine Zehnerpotenz niedriger liegen,

bei der Bearbeitung von AlSi-Werkstoffen wesentlich höhere Emissionen als bei der Bearbeitung von AlMg4-Werkstoffen entstehen.

Ozon-Problematik in der Schweißtechnik

Tabelle 1:
Ozonemission bei Schutzgasverfahren (Beispiele)
(Messungen mit der Fumebox-Methode)

Verfahren/Werkstoff	Ozonemissionsrate	
	[m/min]	[mg/s]
MAG-Schweißen unlegierter Stahl Chrom-Nickel-Stahl	~ 4 - 5 ~ 8	~ 0,13 - 0,17 ~ 0,27
MAG-Schweißen (Impulstechnik) Chrom-Nickel-Stahl	~ 10 - 15	~ 0,33 - 0,5
MIG-Schweißen AlMg4-Legierungen AlSi-Legierungen	~ 15 bis 50	~ 0,5 bis 1,7
WIG-Schweißen Al-Werkstoffe unlegierter Stahl	~ 1 - 2 ~ 3	~ 0,03 - 0,07 ~ 0,1

Immission (Konzentration) am Arbeitsplatz

Die Konzentration von Ozon am Arbeitsplatz wird von den folgenden Faktoren beeinflusst:

- Emission
- Entfernung vom Lichtbogen
- vorhandene andere Stoffe (Gase, Partikeln)
- vorhandene Schutzeinrichtungen

Da die UV-Strahlung weiterreicht als die unmittelbare Schweißzone, wird Ozon auch außerhalb des Bereiches des Lichtbogens und der Schutzgase produziert.

Immissionsmessungen sollen die reale Belastung des Schweißers zeigen. Die Probenahme (bei personenbezogenen Messungen) erfolgt im Atembereich des Schweißers.

Typische Meßergebnisse von Ozonkonzentrationsmessungen zeigt Tabelle 2.

Tabelle 2:
Ozonimmission bei Schutzgasverfahren (Beispiele)
(Personenbezogene Konzentrationsmessungen)

Verfahren/Werkstoff	Ozonkonzentration [ml/m ³]	
	in der Rauchsäule	im Atembereich des Schweißers
MAG-Schweißen un- und niedriglegierter Stahl	0,4 - 0,85	0,025 - 0,1
MIG-Schweißen AlMg4,5 Mn AlSi 5	~ 3 ~ 10	~ 0,2 ~ 0,4
WIG-Schweißen Chrom-Nickel-Stahl AlMg4,5 Mn	~ 0,25 - 0,4 ~ 0,4	~ 0,04 ~ 0,02

Metall-Aktivgasschweißen (MAG)

Beim Metall-Aktivgasschweißen ist wegen der starken Rauchentwicklung allgemein mit niedrigeren Ozonkonzentrationen zu rechnen. Eine besondere Ozongefährdung ist für den Schweißer allgemein hier nicht gegeben.

Metall-Inertgasschweißen (MIG)

Beim Metall-Inertgasschweißen von Aluminium-Werkstoffen muß zusätzlich zum Gesamtstaub (Aluminiumoxid) die Ozonbildung (durch die UV-Strahlung und die stark reflektierenden Werkstoffe) berücksichtigt werden.

a) Einfluß des Werkstoffes auf die Ozonkonzentration

Ähnlich wie bei Emissionsmessungen wurden die höchsten Ozonkonzentrationen beim MIG-Schweißen von AlSi-Werkstoffen (z.B. AlMgSi1 als Grundwerkstoff mit AlSi5 als Zusatzwerkstoff) gemessen.

Tabelle 3 (siehe Seite 114) zeigt neben dem Einfluß des Werkstoffes auch den Einfluß von Stromstärke und Lichtbogenlänge auf die Ozonkonzentration. Mit steigender Stromstärke und Lichtbogenlänge nimmt die Ozonkonzentration zu.

Ozon-Problematik in der Schweißtechnik

Tabelle 3:
Ozonimmission beim MIG-Schweißen mit Rein-Argon (20 l/min) (Beispiele)

Grundwerkstoff	Zusatzwerkstoff	Ozonkonzentration (ml/m ³)	
		250 A 27 V 3 ÷ 6 mm Lichtbogenlänge	200 A 25 V 5 ÷ 7 mm
AlMg _{4,5} Mn	S-AlMg ₅	3	0,5
AlMn	S-Al _{99,5}	15	9
AlMgSi1	S-AlSi ₅	> 15	7

b) Einfluß der Schutzgaszusammensetzung auf die Ozonkonzentration

Die Verwendung eines Argon/Helium-Schutzgasgemisches beim MIG-Schweißen von Aluminiumwerkstoffen führt zu niedrigeren Ozonkonzentrationen als bei der Verwendung von Rein-Argon als Schutzgas, gemessen unter gleichen Bedingungen.

Hier zeigen die Meßergebnisse (siehe Tabelle 4), daß mit zunehmendem Abstand vom Lichtbogen bei konstanten Parametern wie z.B. Werkstoff, Schutzgas, Stromstärke die Ozonkonzentration stark abnimmt.

Tabelle 4:
Ozonimmission beim MIG-Schweißen (Beispiele)
(Messungen in unterschiedlicher Entfernung zum Lichtbogen)

Werkstoff	Ozonkonzentration [ml/m ³]				
	64	150	254	300	450
Aluminium Schutzgas: 80 % He + 20 % Ar Stromstärke: 195 A	4,3		1,1		
Aluminium Schutzgas: Rein-Ar 14 l/min Stromstärke: 200 A		5,1		2,3	1,7

Wolfram-Inertgasschweißen (WIG)

Wegen niedrigerer Stromstärken entstehen beim Wolfram-Inertgasschweißen niedrigere Ozonkonzentrationen als beim Metall-Inertgasschweißen. Auch hier sind wie beim MIG-Schweißen die Ozonwerte ansteigend von Aluminium-Magnesium-Legierungen über Rein-Aluminium zu Aluminium-Silicium-Legierungen.

Auch beim WIG-Schweißen ist die Ozonkonzentration in erster Linie vom verwendeten Werkstoff abhängig; danach haben die Art des gewählten Schutzgases sowie die Entfernung vom Lichtbogen einen merklichen Einfluß auf die gemessene Ozonkonzentration.

Ergebnisse von Konzentrationsmessungen beim WIG-Schweißen von Aluminiumwerkstoffen sind in Tabelle 5 beispielhaft dargestellt.

Allgemein liegen die gemessenen Ozonkonzentrationen beim WIG-Schweißen von Aluminium-Werkstoffen zwischen 0,02 und 3,5 ml/m³ je nach Werkstoff, Schutzgas und Entfernung vom Lichtbogen.

Beim WIG-Schweißen von CrNi-Stahl sind die Ozonkonzentrationen niedriger als beim WIG-Schweißen von Aluminiumwerkstoffen. Hier besteht also keine Ozongefährdung für den Schweißer.

Tabelle 5:
Ozonimmission (Konzentration) beim
Wolfram-Inertgasschweißen (Beispiele)

Werkstoff/Schutzgas	Ozonkonzentration [ml/m ³] Entfernung vom Lichtbogen (mm)		
	150	250	400
Rein-Aluminium Schutzgas: Argon 7 l/min Stromstärke: 150 A	0,15	0,08	0,02
AlMg _{4,5} Mn mit S-AlMg ₅ Schutzgas: Helium 20 l/min	0,6		
AlMn mit S-Al _{99,5} Schutzgas: Helium 20 l/min	3,5		
AlMgSi ₁ mit S-AlSi ₅ Schutzgas: Helium 20 l/min	2,2		

Schlußbemerkung

Bei den meisten Verfahrens-/Werkstoff-Kombinationen der Schweißtechnik liegen die (gemessenen) Ozonkonzentrationen im Atembereich des Schweißers unter 0,1 ml/m³, dem derzeitigen MAK-Wert.

Ozon-Problematik in der Schweißtechnik

Grenzwertüberschreitungen ergeben sich aber beim MIG-Schweißen von Aluminiumwerkstoffen und hier besonders bei AlSi.

Besonders bei den letztgenannten Verfahrens-/Werkstoff-Kombinationen ist der Einsatz wirksamer Absaugeinrichtungen geboten. Die Absaugeinrichtung ist

so auszulegen, daß nicht nur der lichtbogennahe Bereich abgedeckt, sondern der Atembereich des Schweißers voll mit erfaßt wird.

Bei vollmechanisierten Verfahren wird eine Strahlungsabschirmung empfohlen, die die Ozonbildung im Atembereich der Bedienungsperson verhindert.

Ozon bei der Laserstrahlmaterialbearbeitung

C. Möhlmann

Berufsgenossenschaftliches Institut für
Arbeitssicherheit — BIA, Sankt Augustin

Leistungsstarke Laser werden seit den achtziger Jahren verstärkt zur Materialbearbeitung eingesetzt. Laserstrahlung eignet sich dabei zum Schneiden, Schweißen, Oberflächenbehandeln, Beschichten und Mikrobearbeiten einer Vielzahl von Werkstoffen, die in ebener und räumlicher Form vorliegen können. Nicht nur Metalle, Kunststoffe und Naturmaterialien, auch thermisch resistente Keramiken sind mit diesem flexiblen Werkzeug einer Bearbeitung zugänglich. Im Vergleich zu konventionellen Bearbeitungsverfahren wird durch den fokussierten Laserstrahl nur eine sehr schmale Zone thermisch verändert. Hier entstehen Leistungsdichten bis zu 10^7 Watt/cm², die Gefügeumwandlungen, Schmelzprozesse, Verdampfung, Sublimation und Plasmabildung zur Folge haben. Im industriellen Einsatz finden im wesentlichen Festkörper- (Wellenlänge $1,06 \mu\text{m}$) und CO₂-Gaslaser (Wellenlänge $10,6 \mu\text{m}$) mit Ausgangsleistungen bis über 20 kW Verwendung.

Bei den Bearbeitungsprozessen werden neben Partikeln mit aerodynamischen Durchmessern unterhalb von einem Mikrometer auch Gase freigesetzt. Betrachtet man nur die Bearbeitung von Metallen, so kommen hier im wesentlichen Stickoxide und Ozon in Frage. Die Emissionen und Arbeitsplatzkonzentrationen wurden im Rahmen des

EUREKA-643-Forschungsverbands zum Thema Lasersicherheit ermittelt. In bezug auf die Freisetzung von Ozon sind vor allem die Schweißverfahren von Bedeutung. Beim Schneiden werden die Prozeßtemperaturen eher niedriger sein, da das Material in der Schnittfuge nur geschmolzen werden muß und durch zusätzliche Druckluft ausgetrieben wird. Beim Schweißen wird dagegen ein zylinderförmiger Bereich um den Laserstrahl herum zum Schmelzen und teilweisen Verdampfen gebracht. Der innere dampfförmige Kanal, bestehend aus Metalldampf, wird durch die eingestrahelte Laserlichtleistung, insbesondere bei infraroten Wellenlängen, noch weiter aufgeheizt, so daß ein Plasma zündet. Durch optische Übergänge in ionisierten Atomen und durch Rekombinationsprozesse entsteht ultraviolette Strahlung, die wiederum Sauerstoffmoleküle dissoziiert und so zur Bildung von Ozon führt. Besonders beim Schweißen verzinkter Stahlbleche ist mit starker UV-Strahlung und somit Ozonbildung zu rechnen, da Zink relativ niedrige Ionisierungsenergien besitzt.

Messungen der gesamten Emissionen beim CO₂-Laserstrahlschweißen von 1 mm dicken Blechen mit 2900 W Leistung und Argon als Bearbeitungsgas ergaben Ozonemissionsraten von $53 \mu\text{g/s}$ bei Baustahl, $19 \mu\text{g/s}$ bei Chrom-Nickel-Stahl und Werte unter

Ozon bei der Laserstrahlmaterialbearbeitung

5 $\mu\text{g/s}$ bei verzinktem Stahlblech und Titanblech [1].

Messungen in der Arbeitsplatzluft mit definierten Absaug- und Lüftungsbedingungen ergaben beim Schweißen verzinkter Bleche von 1 mm Dicke mit dem Nd:YAG-Festkörperlaser bei ca. 300 W Leistung äußerst geringe Ozonkonzentrationen bis $0,006 \text{ ml/m}^3$, die in die Nähe der Bestimmungsgrenze der direktanzeigenden Meßgeräte kommen. Wurden dagegen Schweißungen mit dem CO_2 -Laser bei 4000 W und gleicher Blechdicke vorgenommen, stiegen die Ozonkonzentrationen auf $0,035 \text{ ml/m}^3$ im Laufe des Tages an. Die Mittelwerte für eine ganze Schicht liegen ca. um den Faktor 2 niedriger. Wurden stattdessen Chrom-Nickel-Bleche allerdings mit einer Dicke von 6 mm als Vergleich direkt im Anschluß geschweißt, so stieg die Ozonkonzentration durch den Prozeß bedingt noch auf $0,05 \text{ ml/m}^3$. Teilweise

ist ein gegensätzliches Verhalten der Ozon- und NO_x -Konzentrationen festzustellen.

Während also die Bearbeitung mit dem Festkörperlaser mit Leistungen von wenigen hundert Watt keine nennenswerten Ozonkonzentrationen verursacht, ist bei der Bearbeitung mit Hochleistungs- CO_2 -Lasern und Verwendung dickerer Werkstücke mit deutlich bestimmbar Konzentrationen im Bereich bis zum halben Grenzwert (MAK: $0,1 \text{ ml/m}^3$) zu rechnen. Bei diesen Verfahren ist auf ausreichende Absaugung und Lüftung zu achten.

Schrifttum

[1] J.-S. Wittbecker: Gefahrstoffermittlung bei der CO_2 -Laserstrahlbearbeitung. Fortschrittberichte VDI-Reihe 2: Nr. 298, VDI-Verlag, Düsseldorf 1993

Ozon beim Drucken und Lackieren mit UV-trocknenden Systemen

G. Dörner

Berufsgenossenschaft Druck und Papierverarbeitung, Wiesbaden

Der Drucker träumt von einer Farbe, die im Farbwerk nicht, aber auf dem Bedruckstoff sofort trocken ist und er somit keine weiteren Probleme wie Ablegen, Abschmieren, Aneinanderkleben hat. Diese Farbe gibt es aber nicht. Die UV-trocknende Farbe kommt dieser Wunschvorstellung ziemlich nahe.

Abbildung 1 enthält eine kurze Gegenüberstellung der herkömmlichen Offset-Druckfarben und der UV-trocknenden Druckfarbe.

Abbildung 1:
Druckfarben (Lacke)

Herkömmliche Offset-Druckfarben:	UV-trocknende Offset-Druckfarben:
Farbmittel: Pigmente	Farbmittel: Pigmente
Bindemittel: Harze trocknende Öle Mineralölprodukte Trockenstoff	Bindemittel: vorpolymerisierte Kunststoffe Photoinitiatoren
Trocknung: physikalische Trocknung (Wegschlagen, Verdunsten, Verdampfen) chemische Trocknung (Polymerisation, Oxidation)	Trocknung: Photopolymerisation, ausgelöst durch UV-Strahlung

Die Bindemittel der UV-Farben bestehen aus flüssigen bis zähflüssigen vorpolymerisierten Kunststoffen. Die Moleküle der vorpolymerisierten Kunststoffe haben noch keinen chemisch stabilen Zustand erreicht, sie sind noch reaktionsfähig.

Der Photoinitiator absorbiert die energiereiche UV-Strahlung. Durch die Energieaufnahme zerfällt das Molekül des Photoinitiators in verschiedene Bestandteile. Diese wiederum aktivieren die reaktionsfähigen Moleküle des Bindemittels. Der in seine Bestandteile zerfallende Photoinitiator löst die chemische Reaktion aus. Die bereits großen Moleküle der Bindemittel verbinden sich schlagartig zu Riesenmolekülen; d.h., der flüssige Kunststoff wird zum festen Kunststoff bzw. die flüssige Druckfarbe wird zur festen bzw. trockenen Druckfarbe.

Der Ausdruck „Trocknung“, den die Drucker benutzen, ist eigentlich nicht ganz korrekt. Der richtige Ausdruck, den wir aus der Kunststofftechnik gewohnt sind, ist Härtung.

Die schnelle Trocknung hat für den Drucker eine Vielzahl von produktionstechnischen Vorteilen, z.B. direkte Weiterverarbeitung, hoher Glanz, hohe Scheuerfestigkeit.

Ozon beim Drucken und Lackieren mit UV-trocknenden Systemen

Ein weiterer Vorteil dieses Farbsystems besteht darin, daß es sich hier um ein lösemittelfreies System handelt. Somit ist dies auch ein Beitrag zur allgemeinen Reduzierung der Lösemittel.

Abbildung 2 zeigt das Schema eines UV-Strahlers. Die verwendeten Quecksilberdampflampen erzeugen nicht nur UV-Strahlen, sondern auch sichtbares Licht und IR-Strahlung. Die Außentemperatur der Lampe beträgt ca. 700 bis 900 °C. Schon aufgrund der starken Wärmeentwicklung ist von Anfang an

stets abgesaugt worden — Wärme und somit auch Ozon.

UV-Trocknung wird heute aber nicht nur im Bogenoffset beim Drucken hochwertiger Verpackungen (z.B. Faltschachteln für die Kosmetik), sondern auch zum Bedrucken von Folien stark eingesetzt. Andere Anwendungsbereiche sind: Etiketten, Becher, CDs, technische Teile u.a.

Für die Photopolymerisation bei der UV-Trocknung ist besonders der Anteil des Lichts mit Wellenlängen unter

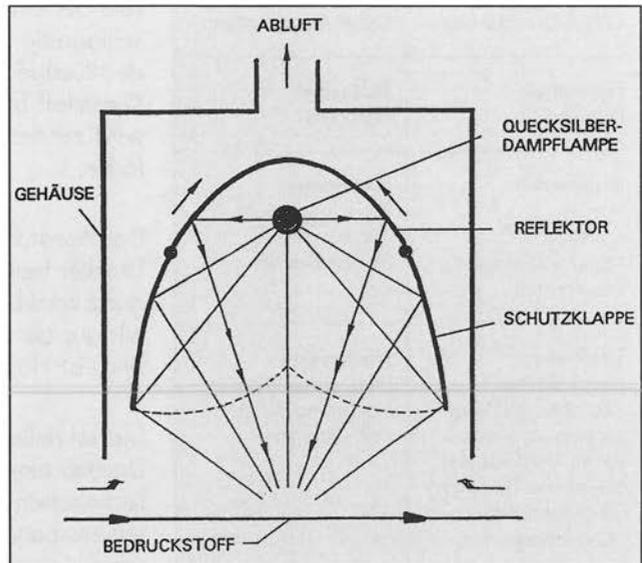


Abbildung 2:
Schema eines UV-Strahlers

300 nm wirksam, also UV-B- und UV-C-Strahlung.

Bei Einwirkung energiereicher ultravioletter Strahlen bildet sich aus normalem Sauerstoff der Luft Ozon, der gleiche Vorgang, wie er auch in der äußeren Atmosphäre unserer Erde stattfindet, wo besonders intensive UV-Strahlung der Sonne auf die Luftschicht trifft.

Ozon hat einen charakteristischen, sehr intensiven Geruch, der vom Menschen in der Regel bereits dann wahrgenommen wird, wenn die Konzentration noch im ungefährlichen Bereich liegt (Geruchsschwelle $0,01 \text{ ml/m}^3$; MAK-Wert $0,1 \text{ ml/m}^3$).

Ende der 70er Jahre sah man in der UV-Trocknung die Möglichkeit, ohne Druckbestäubungspuder die Maschinengeschwindigkeit zu steigern und somit die Leistung bei gleichem Personalstand enorm zu erhöhen; die UV-Trocknung hatte den Anschein eines Jobkillers.

In einem längeren Artikel des Mitteilungsblattes der IG Druck und Papier (Nr. 17/1979) wurde auf die erheblichen gesundheitlichen Bedenken beim Einsatz von UV-Farben hingewiesen. Zu Ozon wurde u.a. folgendes gesagt:

„Ozon ist auch bei kleinen Konzentrationen stark giftig und kann Krebs erzeugen.“

Aufgrund dieses Artikels wurde in vielen Betrieben ausführlich diskutiert. Auch von unserer Seite konnten viele Fragen nicht zufriedenstellend beantwortet werden. Im Rahmen dieser Diskussionen wurde dann die heute noch vorliegende Informationsbroschüre „UV-Trocknung“ erarbeitet. Ferner entstanden die „Sicherheitsregeln für UV-Trocknungsanlagen“, die später in die „Sicherheitsregeln für Durchlauftrockner von Druck- und Papierverarbeitungsmaschinen“ (ZH 1/19) eingearbeitet wurden.

Da wir zu dieser Zeit keine exakteren Möglichkeiten zur Messung von Ozonkonzentrationen besaßen, haben wir mit Unterstützung des BIA verschiedene Messungen (Chemilumineszenz-Methode) durchgeführt. Umfangreiche Messungen in einer Münchner Druckerei (Dezember 1981) zeigten, daß die Schadstoffkonzentration für Ozon im Arbeits- und Verkehrsbereich kleiner $0,06 \text{ mg/m}^3$ war; im Emissionsstrom wurden $0,6 \text{ mg/m}^3$ (Absaugleistung $4200 \text{ m}^3/\text{h}$) gemessen.

Im Rahmen unserer Beratung bzw. Prüfung der Arbeitssicherheit von UV-Trocknern messen wir mit dem Dräger-Prüfröhrchen Ozon $0,05/\text{b}$ im Arbeits- und Verkehrsbereich und an den Stellen, an denen die Bedienungsperson meint, es könnte Ozon verstärkt auf- oder austreten. Zur Demonstration des

Ozon beim Drucken und Lackieren mit UV-trocknenden Systemen

Meßverfahrens wird ebenfalls in der Abluft gemessen.

Stellen wir bei diesen Messungen Ozon fest, so werden weitere Messungen durch unseren Meßtechnischen Dienst mit dem Ozonanalysator Modell 8002 (UBK, Bad Nauheim) durchgeführt.

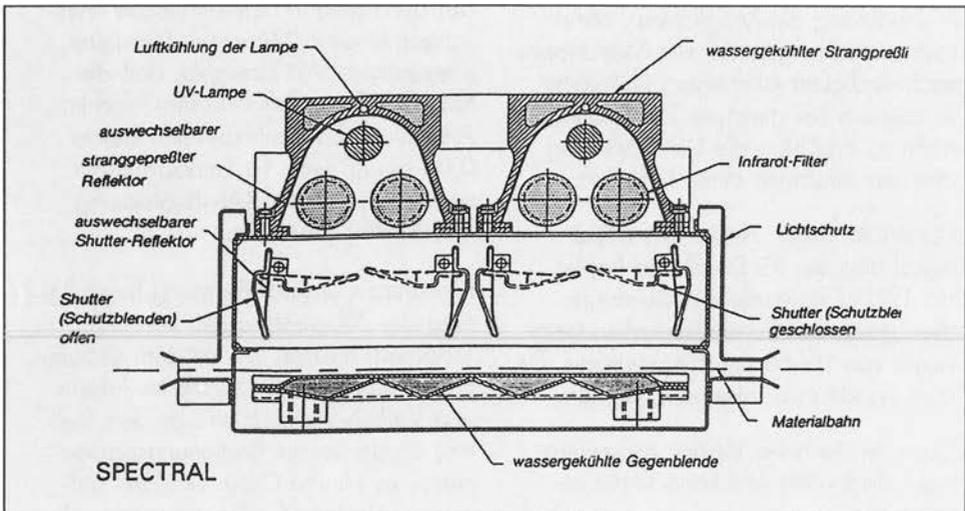
Seit einiger Zeit messen wir auch die Ozonkonzentration im Raum und im Freien; je nach Wetterlage treffen wir hier auf Schwierigkeiten.

Seit Jahren sind zwei unterschiedliche Strahlungssysteme auf dem Markt. Das eine System kühlt und saugt ab – Wärme und Ozon; das andere System kühlt und trennt den Bedruckstoff und den UV-Strahler durch spezielle gekühlte Quarzrohre (Abbildung 3).

Folgende Forderungen werden von uns an UV-Trockner gestellt:

- Das unter Einwirkung der energiereichen Strahlung entstehende Ozon

Abbildung 3:
Beispiel eines Strahlungssystems



muß an der Entstehungsstelle abgesaugt werden können, oder die Anlage muß so konzipiert sein, daß kein Ozon in gesundheitsgefährdendem Maße austreten kann.

□ Die Absaugung für Ozon muß so beschaffen sein, daß ein Betreiben des Strahlers nur bei laufender Absaugung möglich ist. Nach Abschalten des Strahlers bzw. bei Ausfall muß die Absaugung einen ausreichenden Nachlauf haben. Der Ausfall der elektrischen Energie braucht hier nicht berücksichtigt zu werden.

□ Bei Ausfall der Absaugung für Ozon muß der Polymerisationsdurchlaufrockner so lange weiterlaufen, bis das in der Maschine befindliche bedruckte bzw. beschichtete Material getrocknet ist. Zusätzlich müssen folgende technische Maßnahmen zwangsläufig erfolgen:

— An Bogenmaschinen muß der Anleger sofort abgestellt werden.

— An Rollenmaschinen müssen die Farb- und Beschichtungswerke sofort und der Polymerisationsdurchlaufrockner dann abgestellt werden, wenn das bedruckte bzw. beschichtete Material den Polymerisationsdurchlaufrockner verlassen hat.

Im Arbeits- und Verkehrsbereich stellen wir bei bestimmungsgemäßem Betreiben der Anlagen keine gesundheitsgefähr-

denden Konzentrationen für die Beschäftigten fest.

Im Laufe der Zeit haben die namhaften Hersteller dafür gesorgt, daß eine Strahlung möglichst unterhalb 200 nm nicht auftritt; das Maximum für die Entstehung des Ozons liegt bei ca. 187 nm.

Gemäß ZH 1/19 hat der Unternehmer dafür zu sorgen, daß Polymerisationsdurchlaufrockner vor der ersten Inbetriebnahme auf ihren sicheren Zustand durch einen Sachkundigen geprüft werden (z.B. Abnahmeprotokoll durch Hersteller); ferner hat er dafür zu sorgen, daß über die Prüfung bzw. regelmäßige Nachprüfung ein schriftlicher Nachweis in Form eines Prüfbuches geführt wird.

Ich persönlich habe seit 1979 viele Anlagen sicherheitstechnisch beurteilt und gegebenenfalls Nachrüstungen und Nachprüfung gefordert. An Anlagen, die unseren Anforderungen entsprechen, haben wir keine besonderen Probleme gehabt.

Nicht klar kann von mir beantwortet werden, ob das Ozon, das aus der Absaugung heraustritt, im Rahmen einer gesundheitsbewußten Umweltbilanz heute noch so verantwortet werden kann. Günstiger betrachten wir die Anlagen, die heute das Ozon nicht nur absaugen, sondern auch zurückgewinnen (z.B. mittels Aktivkohlefilter).

Ozon beim Einsatz von Fotokopiergeräten

z.B. Augenreizungen oder Augenentzündungen durch die Abluft von Fotokopiergeräten hervorgerufen werden, während durch die tatsächlich gemessene Ozonkonzentration die aufgetretenen Beschwerden nicht erklärt werden können. Aufgrund der schweren Wasserlöslichkeit von Ozon soll das Auge erst bei Konzentrationen ab 100 ppb ansprechen. Eine Erklärung für diese Beschwerden könnten die mit Ozon emittierten Dämpfe, wie die Monomeren des Harzes im Toner, der bei ca. 200 °C fixiert wird, sowie zum Teil sehr reaktive Substanzen in Spurenkonzentrationen sein: Ozonide, Diperoxide und Epoxide sowie oxidierte Kohlenwasserstoffe in Form von niederen Aldehyden, Ketonen und Carbonsäuren [5].

□ Besondere Bedeutung und Aktualität kommt der Einstufung in Deutschland in die Gruppe III B zu (Stoffe mit begründetem Verdacht auf krebserzeugendes Potential) [6].

Messen

Im Zusammenhang mit dem Messen von Ozon bei Fotokopiergeräten sind grundsätzlich drei Meßmöglichkeiten zu unterscheiden.

1. Arbeitsplatzkonzentration:

Die Bestimmung der Arbeitsplatzkonzentration erfolgt in Atemhöhe und in unmittelbarer Nähe des Beschäftigten mit einer kontinuierlichen Probenahme während der gesamten Arbeitszeit oder durch repräsentative Stichproben. Bei unseren Messungen an Fotokopiergeräten konnten wir bisher keine Überschreitung der Maximalen Arbeitsplatzkonzentration feststellen. Typische Arbeitsplatzkonzentrationen lagen in Österreich zwischen 10 und 40 ppb, wobei diese Werte stark durch die Ozonkonzentration in der Umwelt und die Materialien im Raum bedingt sind [7]. In der Studie von Hansen und Andersen wurden im Atembereich des Bedienungspersonals Konzentrationen bis zu 150 ppb gefunden [5].

2. Emissionskonzentration:

Die Emissionskonzentration wird bei Fotokopiergeräten beim Kopiervorgang an den Lüftungsschlitzen gemessen und stellt auch eine Durchschnittskonzentration dar, die von der Betriebsweise abhängt (Dauerbetrieb oder intermittierend), wobei es beim ersten Kopiervorgang zu einer Konzentrationsspitze kommen kann. In Stellung „Standby“ entsteht kein Ozon. Zu Vergleichszwecken empfiehlt es sich, die Emissionskonzentration im Dauerbetrieb zu ermitteln; der Meßwert erreicht dann meist ein stabiles

les Plateau. Die Ozonemission kann auch über mehrere Luftauslässe oder die Kopienausgabe erfolgen bzw. überhaupt nicht eindeutig lokalisierbar sein, wobei zum Aufspüren dieser Stellen die niedrige Geruchsschwelle von Ozon sehr hilfreich ist; sie beträgt bei empfindlichen Personen etwa ein Zehntel des MAK-Wertes. Die von uns gemessenen Emissionskonzentrationen verschiedener Laserdrucker verhalten sich wie 1 : 50 — die Meßwerte liegen zwischen 8 und 400 ppb (andere Laboratorien haben Werte bis zu 500 ppb gefunden) —, und bei den Fotokopiergeräten beträgt dieses Verhältnis 1 : 100 mit Meßwerten von 10 bis 1000 ppb.

Die Unterschiede in der Technologie sind beträchtlich, und die hohen Werte wurden nicht nur bei älteren Geräten festgestellt, sondern auch bei neuen, mit 1000 ppb sogar bei vorhandenem Originalozonfilter, das allerdings nur eine Wirkung von 15 % aufwies.

Konzentrationen von 10 ppb sind bereits Mittelwerte der natürlichen Hintergrundkonzentration in der Atmosphäre, wie sie vor Industrialisierung und Motorisierung geherrscht haben.

Eine Grenzziehung den Stand der Technik betreffend ist schwierig, denn es ist keine maximale Grenzkonzentration festgelegt: Gute moderne Geräte liegen

jedoch mit ihren Emissionskonzentrationen weit unterhalb von 100 ppb.

Die Arbeitsplatzkonzentration kann sich je nach Aufstellungsort zwischen Hintergrund- und Emissionskonzentration bewegen. In bezug auf die Hintergrundkonzentration an Ozon sind vollklimatisierte Räume ausnahmsweise einmal etwas besser gestellt als natürlich belüftete.

All dies kann einerseits zu der paradoxen Situation führen, daß während des Kopiervorganges beim offenen Fenster beispielsweise Luft mit der zehnfachen Konzentration an Ozon hereinkommt als beim Fotokopiergerät maximal austritt. Andererseits gibt es „Technologiesaurier“, die das Zehnfache des Wertes der Vorwarnstufe von 100 ppb emittieren.

Vor allem bei orientierenden Messungen von Ozon mittels Prüfröhrchen sollte aus folgenden Gründen die Emissionskonzentration bestimmt werden:

Es wird in kürzerer Zeit ein eindeutiger, ablesbarer Meßwert erhalten (erst bei 100 Hüben liegt die Nachweisgrenze bei 5 ppb).

Sollte der Meßwert im Vergleich zu anderen Geräten desselben Typs höher sein, kann der Techniker erkennen, daß beim konkreten Gerät eine Störung vor-

Ozon beim Einsatz von Fotokopiergeräten

liegt (Spannung, Filter...). Diese Information würde bei der Messung in Atemhöhe sicher verlorengehen, da moderne Geräte mit ihren Emissionskonzentrationen meist unterhalb der Maximalen Arbeitsplatzkonzentration liegen.

□ Die Emissionskonzentrationen erlauben nur eine Abschätzung des Einflusses auf die tatsächliche Arbeitsplatzkonzentration und ermöglichen einen groben Vergleich der Ozonemissionen verschiedener Geräte untereinander. Um verschiedene Maschinen hinsichtlich des Ozonausstoßes objektiv miteinander vergleichen zu können, muß die Emissionsrate bestimmt werden.

3. Emissionsrate:

Die Emissionsrate (Ozonemissionsmassenstrom) gibt die abgegebene Ozonmasse pro Kopie oder pro Zeiteinheit (Minute) des jeweiligen Gerätes wieder und kann aus der Emissionskonzentration und der Förderleistung des Absaugventilators bestimmt werden.

Die von Fotokopiergeräten in den Arbeitsraum abgegebenen Absolutmengen Ozon pro Kopie reichen von weniger als 1 μg bis zu einigen hundert. Unseres Wissens haben bisher nur wenige Kopiergerät-Importeure die Emissionsrate in ihren Datenblättern als $\mu\text{g}/\text{min}$ aufgenommen; mit der Kopiergeschwin-

digkeit kann auf Ozonmasse pro Kopie umgerechnet werden.

Halbwertszeit

Als eines der stärksten Oxidationsmittel ist Ozon sehr reaktionsfähig und nicht beständig, weil es zu Sauerstoff zerfällt. Die Zerfallsgeschwindigkeit hängt ab von Konzentration, Temperatur und katalytisch wirkenden Stoffen.

Die Halbwertszeit für Ozon wird in Büroräumen mit elf Minuten und für Wohnräume mit nur zwei bis sechs Minuten angegeben. Eigene Messungen ergaben für Büroräume eine Halbwertszeit bis ca. 30 Minuten.

Diese Eigenschaft des Ozons ist auch der Grund, warum man sich in Innenräumen vor der Ozonbelastung im Freien schützen kann, um so mehr muß jede leicht zu vermeidende Ozonbelastung auch im Büro eliminiert werden. Aufgrund dieser spezifischen Stoffeigenschaft ist eine einfache Abschätzung der Konzentration in Arbeitsräumen mittels Luftwechselzahl und Quellenstärke nicht möglich.

Mit Hilfe folgender Differentialgleichung kann der zeitliche Verlauf der tatsächlichen Ozonmenge aus Emissionsrate

und Zerfallskurve von Ozon berechnet werden (Abbildung 1):

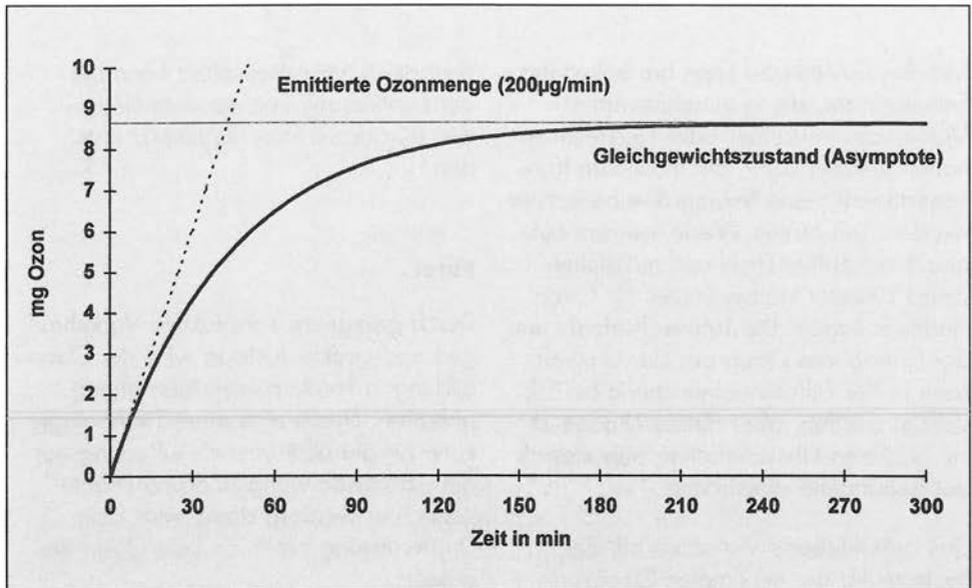
$$c(t) = \frac{E}{K} (1 - e^{-Kt}) \quad K = \frac{\ln(2)}{30}$$

$c(t)$: Konzentration zur Zeit t
 E : Emissionsrate in μg Ozon/min
 K : Zerfallskonstante
 Halbwertszeit = 30 min

Ein unterdurchschnittliches Fotokopiergerät emittiert beispielsweise im Dauerbetrieb 200 μg Ozon/min und ist in

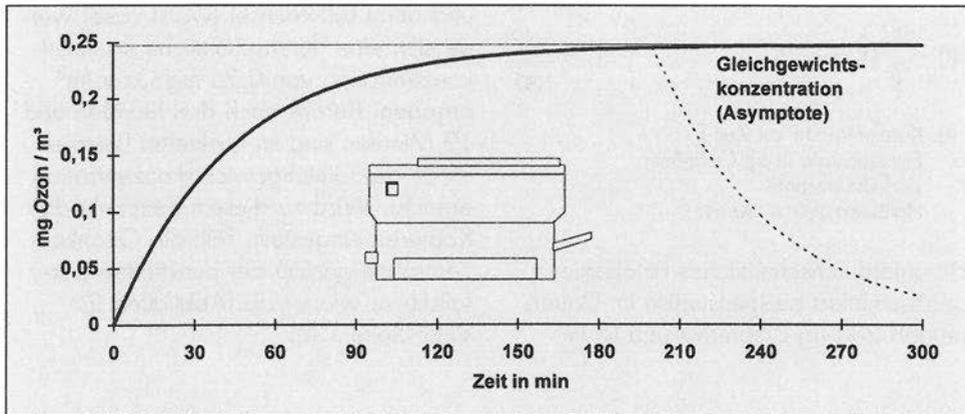
einem Raum mit 35 m^3 Volumen aufgestellt. Nach acht Stunden Dauerbetrieb und ohne Luftwechsel (worst case) würde sich eine durchschnittliche Raumluftkonzentration von 0,25 mg Ozon/ m^3 ergeben. Bereits nach drei Stunden und 19 Minuten sind im konkreten Beispiel 99 % der Gleichgewichtskonzentration erreicht. Wird zu diesem Zeitpunkt das Kopieren eingestellt, fällt die Ozonkonzentration gemäß der punktierten Zerfallskurve wieder ab (Abbildung 2, siehe Seite 130).

Abbildung 1:
 Zeitlicher Verlauf der tatsächlichen Ozonmenge



Ozon beim Einsatz von Fotokopiergeräten

Abbildung 2:
Konzentrationsverlauf bei einer Raumgröße von 35 m^3



Mit dieser Methode kann bei bekannter Emissionsrate, die in zunehmendem Maße vom Verreiber oder Hersteller erhalten werden kann, die maximale Konzentration für jede Raumgröße berechnet werden. Die realen Werte werden aufgrund von Luftwechsel und möglicherweise kürzerer Halbwertszeit für Ozon niedriger liegen. Die Luftwechselzahl und der Eintrag von Ozon aus der Umwelt kann in der Differentialgleichung berücksichtigt werden, aber dieses Modell ist mit größeren Unsicherheiten behaftet als der behandelte worst case.

Das beschriebene Verfahren mit der Bestimmung der maximalen Ozonkon-

zentration am Arbeitsplatz kann bei der Evaluierung von ozonemittierenden Büromaschinen eingesetzt werden.

Filter

Durch geeignete konstruktive Vorkehrungen und exakte Justage wird die Ozonbildung in Fotokopiergeräten gering gehalten. Durch eine neue Technologie kann für die Bildtrommel-Aufladung auf die „Hochspannungs-Corona-Drähte“ verzichtet werden; damit wird beim Druckvorgang praktisch kein Ozon freigesetzt.

Es ist aber auch Stand der Technik, daß die Ozonemission durch den Einsatz sogenannter „Ozonfilter“ auf ein tolerierbares Ausmaß reduziert werden kann, und zwar beispielsweise bei folgenden Herstellern: Rank Xerox (seit 1974), Canon und Minolta (seit 1979), Sharp (seit 1980) und Ricoh (seit 1986). Die in Verwendung stehenden Geräte arbeiten überwiegend mit Filtern.

Große Unterschiede gibt es in der Wirksamkeit der verschiedenen Filtertypen. Mit unseren Messungen haben wir eine Reduktion der Ozonkonzentration von 6 % bis hinauf zu 98 % bei Aktivkohlefiltern festgestellt.

Eine andere Möglichkeit, die sich auch für Nachrüstungen anbietet, stellen die „Ozonkatalysatoren“ dar, die in ihrer Effizienz — eine eigene Messung ergab ca. 70 % — an die der Aktivkohlefilter heranreichen.

Für die gewollte Ozonerzeugung wie auch für die uns interessierende ungewollte gilt: Je trockener die Luft, um so höher ist die Ausbeute an Ozon.

Prüfmethode

Die bisherigen Prüfmethode (amerikanischer und europäischer Standard) bei Fotokopiergeräten stellen Immissionsmes-

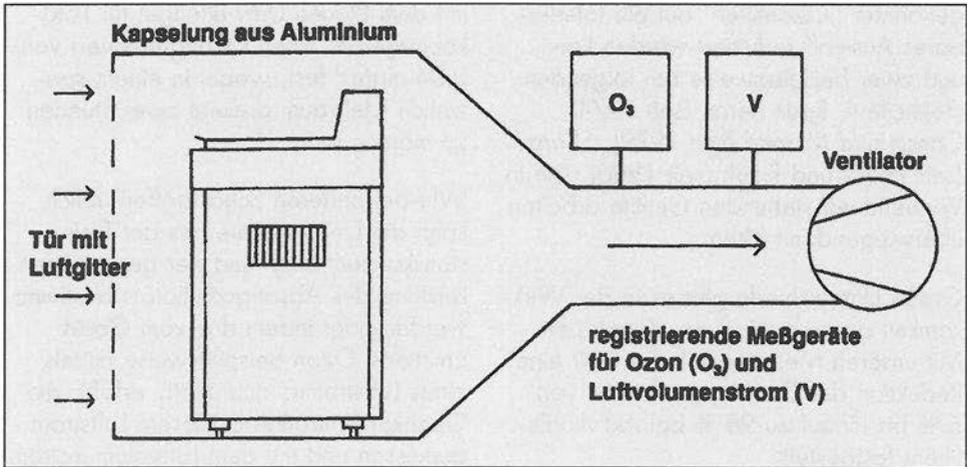
sungen dar. Auch das deutsche Umweltbundesamt legte für das Zeichen mit dem Blauen Umweltengel für Fotokopiergeräte einen Ozongrenzwert von $0,04 \text{ mg/m}^3$ fest, wobei in einem speziellen Meßraum dreimal zwei Stunden zu messen war.

Wie bei anderen Schadstoffen üblich, kann die Emissionsrate aus der Emissionskonzentration und der gemessenen Leistung des Absaugventilators bestimmt werden oder indem das vom Gerät emittierte Ozon beispielsweise mittels eines Luftstromes quantitativ erfaßt, die Ozonkonzentration in diesem Luftstrom gemessen und mit dem Luftvolumenstrom multipliziert wird (schematische Darstellung siehe Abbildung 3 auf Seite 132).

Auch diese Methode führt zu einer Verdünnung der ozonhaltigen Abluft von Büromaschinen und ist für kleinere Emissionsraten sowie für den mobilen Einsatz nicht geeignet. Um verschiedene Geräte hinsichtlich des Ozonausstoßes objektiv miteinander vergleichen und beurteilen zu können, mußte die Methode verfeinert werden. Die Gründe waren einerseits, daß Hersteller durch die Erhöhung der Ventilatorleistung zwar die Emissionskonzentration senkten, während die abgegebene Ozonmasse unverändert blieb, und andererseits, daß eine neue Technologie, praktisch ohne Ozonausstoß, auf den Markt gekommen war.

Ozon beim Einsatz von Fotokopiergeräten

Abbildung 3:
Schematische Darstellung der Bestimmung der Emissionsrate von Fotokopiergeräten



Mit der von uns entwickelten, einfachen Prüfmethode wird nur der Abluftstrom gemessen, und die Emissionsrate (der Emissionsmassenstrom) kann sehr genau bestimmt werden. Dieser Absolutwert gibt die abgegebene Ozonmasse pro Minute oder pro gedruckter DIN-A4-Seite der jeweiligen Maschine wieder:

Die Ozonmessung besteht aus drei Einzelmessungen à drei Minuten, wobei die höchste Konzentration jeder Einzelmessung für die Mittelwertbildung herangezogen wird. Diese Art der Einzelmessung und Mittelwertbildung wurde gewählt, um auftretende Konzentrations-

spitzen beim Aktivieren des Druckvorganges zu berücksichtigen. Manche Geräte besitzen bei intermittierender Betriebsweise, die in der Praxis häufig vorkommt und zudem den ungünstigsten Fall darstellt, eine wesentlich höhere Ozonemission als im Dauerbetrieb. Solche Phänomene sind mit den bisherigen Immissionsmessungen überhaupt nicht erfassbar.

Die ozonhaltige Abluft wird von der Ausblasöffnung mit einem kurzen Schlauch aus Polyethylen verlust- und widerstandsfrei in das Flügelradanemometer geleitet, die Meßsonde für Ozon

und das Thermometer sind unmittelbar nach dem Anemometer im Luftvolumenstrom plaziert, und der Abstand zwischen den Ozonmessungen beträgt mindestens zwei Minuten.

Der Volumenstrom wird mit einem geeigneten Flügelradanemometer (Innendurchmesser ca. 10 cm) während der einzelnen Ozonmessungen bestimmt.

Die Messungen können in jedem beliebigen, klimatisierten Raum durchgeführt werden. Aus Gründen der besseren Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse sind die Raumtemperatur mit $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$, die relative Luftfeuchte mit $45\% \pm 5\%$ und die Hintergrundkonzentration an Ozon mit $\leq 5\text{ ppb}$ einzuhalten. Im Gegensatz zur Immissionsmessung gemäß Standard ECMA-129 wirken sich Temperatur und relative Feuchte bei der Emissionsratenbestimmung nur geringfügig auf die Bildung (Ausbeute) von Ozon aus, aber nicht auf den eigentlichen Meßwert. Vor allem aber fallen starke Einflüsse auf den Ozonmeßwert durch den Staubgehalt der Luft und durch die Oberflächenmaterialien im Meßraum gänzlich weg, weil die Verweilzeit von Ozon vom Entstehungsort in der Maschine bis zur Meßsonde höchstens einige Sekunden beträgt. Daher hat die Halbwertszeit von Ozon

keinen meßbaren Einfluß auf das Ergebnis.

Die Vorlaufzeit der Geräte dauert bis zur Temperaturkonstanz der Abluft in Stellung Standby, und die Messungen erfolgen beim Druckvorgang mit einem Standardbrief auf Recycling-Kopierpapier DIN A4 und 80 g/m^2 .

Berechnung: $E = c \cdot V$

E: Emissionsrate [$\mu\text{g O}_3/\text{min}$]
 c: Emissionskonzentration [$\mu\text{g O}_3/\text{m}^3$]
 V: Volumenstrom [m^3/min]

Konzentrationsumrechnung:

$$c[\mu\text{g}/\text{m}^3] = c[\text{mm}^3/\text{m}^3] \frac{\text{molare Masse } [\text{g}/\text{mol}]}{\text{Molvolumen } [\text{l}/\text{mol}]} \frac{p \cdot v}{t} = c$$

Die Temperatur der Abluft und der Luftdruck sind für die Umrechnung zu berücksichtigen (bei 20 °C und 1013 mbar beträgt das Molvolumen $24,1\text{ l/mol}$).

Test an Laserdruckern

Nach unserer Erfahrung ist Laserdruckern insofern mehr Beachtung zu schenken, weil es sich häufig um kleinere Tischgeräte handelt, die direkt am ständigen Arbeitsplatz stehen bzw. deren Abluft auf einen ständigen Arbeitsplatz gerichtet sein kann.

Ozon beim Einsatz von Fotokopiergeräten

Gemeinsam mit dem Verein für Konsumenteninformation wurden die Ozonemissionsraten bei 23 Laserdruckern

mit der von uns entwickelten Prüfmethode bestimmt und veröffentlicht [8] (siehe Tabelle).

Ozonemissionen bei Laserdruckern

Nr.	Laserdrucker	Zu-stand	Sei-ten-/min	Volumenstrom [m ³ /min]		Ozon-filter	Emissions-konzen. [ppb]		Emissions-rate [µg/min]		Emissions-rate [µg/Seite]		Ab-luft [C°]	Δ _T
				Standby	Print		mit Filter	ohne Filter	mit Filter	ohne Filter	mit Filter	ohne Filter		
1	MT 908	nw	8	0,07	0,15	ja	49	224	14	110	2	14	32	10
2	MT 904 plus	nw	4	0,05	0,12	ja	65	266	15	184	4	46	31	8
3	Olivetti PG 408	n	8	0,07	0,16	ja	72	247	22	239	3	30	29	6
4	Olivetti PG 404	n	4	0,1	0,15	ja	69	251	20	169	5	42	32	10
5	Facit P 8085 S	n	8	0,05	0,12	ja	75	240	17	205	2	26	31	8,5
6	TI micro Winter PS 65	n	4	0,35	0,34	ja	335	355	214	382	53	95	34	12,5
7	TI micro Laser Turbo	n	8	0,33	0,32	ja	266	532	160	476	20	60	34	12,5
8	star LS-5EX	n	4	0,45	0,46	nein	8	—	7	—	2	—	26,5	5
9	digital DEC Laser 1152	nw	2	0,43	0,55	nein	9	—	10	—	5	—	29	7,5
10	hp Laser Jet 4	nw	8	0,54	0,71	nein	12	—	17	—	2	—	32	10
11	hp Laser Jet 4L	nw	3	zu kurz	0,2	nein	16	—	6	—	2	—	26	4,5
12	LEXMARK (IBM 4039) Laser Printer 16L	nw	13	0,09	0,13	nein	23	—	6	—	0,4	—	33	11
13	Xerox 4010	n	4	zu klein	0,04	ja	68	364	5	245	1	61	31	8,5
14	Epson EPL-5200	n	6	0,61	0,84	nein	16	—	25	—	4	—	29	6,5
15	Epson EPL-5000	n	6	0,61	0,85	nein	14	—	22	—	4	—	29	7
16	Minolta SP 1500 Win Laser	n	6	0,65	0,9	nein	13	—	22	—	4	—	30	8,5
17	Minolta SP 1000	n	6	0,74	1,02	nein	17	—	32	—	5	—	31	10
18	Xerox 4030	n	11	0,65	0,9	Auskl.	88	—	150	—	14	—	33	10,5
19	Canon LBP-4 Plus	n	4	0,51	0,72	nein	9	—	13	—	3	—	30	8
20	Canon LBP-8 IV	n	8	0,36	0,49	nein	17	—	16	—	2	—	32	10
21	Xerox 4011	nw	6	zu klein	0,06	ja	98	260	11	191	2	32	34	13
22	Canon LBP-8 II	1988	8	zu klein	0,36	ja	337	679	230	769	29	96	36	14,5
23	Canon LBP-8 III	1989	8	0,29	0,46	ja	123	774	107	860	13	108	33	10,5

n: neu, originalverpackt

nw: neuwertig

Auskl.: Auskleidung mit Aktivkohle

Δ_T: Temperaturdifferenz der Abluft gegenüber der Raumtemperatur

Bei den Laserdruckern mit Ozonfiltern wurden die Emissionsraten auch ohne diese Filter ermittelt, um einerseits die Bedeutung der Wartung und andererseits die Effizienz der Filter aufzuzeigen.

Am Beispiel der Geräte eines Herstellers wurde auch die Entwicklung auf dem Gebiet der Schadstoffvermeidung bei den Laserdruckern deutlich gemacht. Die Geräte mit den Nummern 22 und 23 gehören daher nicht zum offiziellen Test.

Die erhaltenen Ozonemissionsraten pro Seite verhalten sich wie 1 zu über 100 (Nr. 12 zu Nr. 6). Erwartungsgemäß liegen die maximalen Ozonemissionskonzentrationen im Falle aller Zeichen des Keyboards (64 Zeilen) mit 349 ppb und 330 ppb bei leerem Papier innerhalb der Streuung der drei Einzelmessungen mit dem Standardbrief (325 ppb, 360 ppb, 321 ppb). Einfluß hingegen hat die Kopiervorlage mit ihrem Schwarzanteil auf die maximale Druckgeschwindigkeit.

Die „Faustregel“, daß gute moderne Geräte mit ihrer Emissionskonzentration weit unterhalb von 100 ppb Ozon liegen, führt zu Fehleinschätzungen, wie die Beispiele der Geräte Nr. 18 und 21 zeigen, wenn die tatsächliche Ozonmasse nicht bestimmt wird (Abbildung 4, siehe Seite 136).

Von den 21 Geräten des offiziellen Tests haben 18 eine Emissionsrate bis

5 μg Ozon pro Seite und nur drei Geräte liegen über 14 μg Ozon pro Seite. Eine Grenzziehung in bezug auf den Stand der Technik fällt mit dem Schutzziel, unter ungünstigen Aufstellungsbedingungen eine gesundheitliche Gefährdung zu verhindern, zusammen, so daß die Geräte Nr. 6 und 7, den Ozonausstoß betreffend, nicht als Stand der Technik zu bezeichnen sind. Noch deutlicher zeigt sich diese Abgrenzung, wenn die Emissionsrate pro Minute herangezogen wird; es liegen dann dieselben 18 Geräte unter 32 μg Ozon pro Minute und drei haben Werte über 150 μg Ozon pro Minute.

Gäbe es in Österreich ein Umweltzeichen für Fotokopiergeräte, könnte es Geräten mit einer Emissionsrate bis 5 μg Ozon pro Seite verliehen werden.

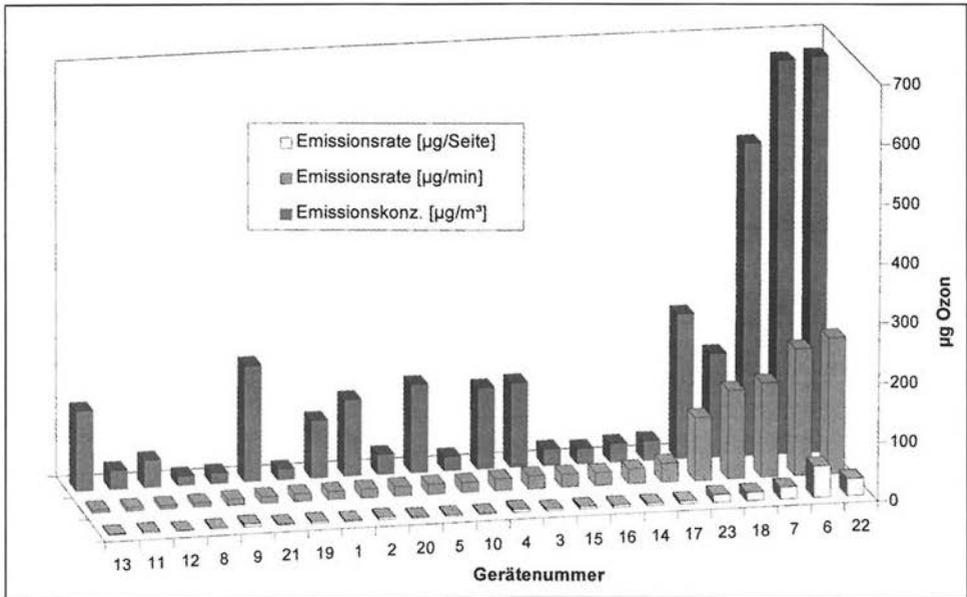
In die Bewertung von Fotokopiergeräten bzw. in die Kaufentscheidung sollten alle Emissionen (Ozon, Staub, Lärm), der Energieverbrauch sowie die Umweltverträglichkeit (von der Herstellung bis zur Entsorgung) und das Preis-Leistungs-Verhältnis (Lebensdauer, Service usw.) eingehen.

Das Umweltbundesamt in Deutschland vergibt das Zeichen mit dem Blauen Umweltengel für Fotokopiergeräte, wobei Staub, Lärm und Ozon ganzheitlich betrachtet werden.

Ozon beim Einsatz von Fotokopiergeräten

Abbildung 4:

Im Balkendiagramm sind die Geräte nach der Emissionsrate [$\mu\text{g}/\text{min}$] gereiht; die dunklen Balken geben die Emissionskonzentration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] wieder



Maßnahmen

Bei der Auswahl technischer und organisatorischer Maßnahmen ist zu beachten, daß für jedes Gerät der Aufstellungsort bezüglich der auftretenden Konzentrationen von Ozon entscheidend ist.

□ Beachtung der Aufstellungsrichtlinien: Mindestraumgröße, Abstände, Lüftung,

Luftfeuchtigkeit und Temperatur — eine Erhöhung der Raumtemperatur um $8\text{ }^\circ\text{C}$ soll die Toxizität von Ozon verdoppeln [9].

□ Bei Geräten ohne Ozonfilter kann beim Importeur die Möglichkeit eines nachträglichen Einbaues geprüft werden (z.B. Einpassen eines „Ozonkatalysators“ mit geringem Strömungswiderstand in den Abluftkanal).

□ Auch bei effizienten Ozonfiltern sind die Empfehlungen über den Filtertausch zu beachten (Anzahl der erstellten Kopien am Zählwerk ersichtlich oder Anzahl der verbrauchten Kartuschen Toner sind maßgeblich).

□ Überprüfen des Wartungsvertrages (ist beispielsweise der Ozonfiltertausch inbegriffen?).

□ Information bzw. Schulung (auch der Servicetechniker): beispielsweise wurde das Ozonfilter weggelassen, weil dadurch das Fotokopiergerät „störungs-freier“ arbeitet.

□ Vermeidung von Spitzenwerten: Aufteilung einer dreistündigen Kopierarbeit auf beispielsweise dreimal eine Stunde mit entsprechenden Intervallen, um eine mögliche Überschreitung des Grenzwertes zu verhindern (Abbildung 2).

Zusammenfassend ist im Interesse des Arbeitnehmerschutzes zu fordern, daß Geräte mit einer Emissionskonzentration von über 100 ppb vom Markt verschwinden, wobei dieser Wert durch eine äquivalente und für Vergleichszwecke besser geeignete Emissionsrate bis 20 µg Ozon pro A4-Kopie ergänzt werden sollte. Naturgemäß kommen Geräte mit großer Kopiergeschwindigkeit trotz hoher Emissionskonzentrationen auf relativ niedrige Emissionsraten. Es ist Stand der Technik, daß gute moderne

Geräte unterhalb der genannten Werte liegen, Ozon in diesem Zusammenhang nur eine relativ leicht zu messende Leitkomponente darstellt und eine Verschlechterung der Filterwirkung oder eine andere Störung, die zu höheren Ozonwerten führt, im Betrieb nicht ausgeschlossen werden kann. Bei nicht sanierbaren Geräten ist im Hinblick auf eine Vorsorge für entsprechend günstigere Aufstellungsbedingungen zu sorgen. Ist dies nicht möglich, sind diese Maschinen aus dem unmittelbaren Bereich von ständigen Arbeitsplätzen zu entfernen.

Schrifttum

[1] G. Keck, A. Cabaj, G. Schaubeger: UV-Belastung bei Arbeiten im Freien. Kongreß „Gemeinsam sicher“, Wien 1993

[2] AUVA: Sichere Arbeit (1990) Nr. 1, Nr. 2, und (1991) Nr. 5

[3] Ozongesetz: BGBl. Nr. 210/1992 (Österreich)

[4] Arbeitnehmer-Innenschutzgesetz: BGBl. Nr. 450/1994, § 45 Abs. 3 (Österreich)

[5] Hansen, T.B., and B. Andersen: Ozone and Other Air Pollutants from Photocopying Machines. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 47 (1986), S. 659 - 665

Ozon beim Einsatz von Fotokopiergeräten

[6] MAK- und BAT-Werte-Liste 1995. Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft

[7] Österreichische Akademie der Wissenschaften. Photooxidantien in der Atmosphäre — Luftqualitätskriterien Ozon. Hrsg. vom BMfUJuF (1989)

[8] Konsument, Das Österreichische Testmagazin. (1994) Nr. 1, S. 17

[9] Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe. Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten. Hrsg.: Prof. Dr. D. Henschler. Verlag Chemie, Weinheim

Teil 4:
Vorschriften und Regeln

Vorschriften und Regeln im Bereich „Allgemeine Umwelt“

Maximale Immissionswerte zum Schutz der Vegetation

Die VDI-Richtlinie 2310 Blatt 6 vom April 1989 schlägt MIK-Werte für Ozon als Einzelkomponente zum Schutz der Vegetation für verschiedene Einwirkungs-dauern sowie für unterschiedliche Resi-stenzgrade der Pflanzen vor. So liegt z.B. der MIK-Wert bei einer achtstündigen Exposition für sehr empfindliche Pflanzen bei dem extrem niedrigen Wert von $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

WHO-Empfehlungen

In den von der Weltgesundheitsorgani-sation (WHO) veröffentlichten Air Quality Guidelines for Europe aus dem Jahre 1987 wird zum Schutz der menschlichen Gesundheit ein Ozon-richtwert (Kurzzeitwert) von 150 bis $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Mittelwert über eine Stunde) empfohlen. Zur Reduzierung des Poten-tials für schädliche, akute und chronische Effekte und um für eine zusätzliche Schutzgrenze zu sorgen, wird ein Acht-Stunden-Richtwert (Langzeitwert) von 100 bis $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ empfohlen. Der Acht-Stunden-Richtwert entspricht etwa dem MIK-Wert von $120 \mu\text{g}$ (Mittel über eine halbe Stunde). Auch zum Schutz der Vegetation werden Richtwerte ange-geben. Die niedrigsten Konzentrations-schwellen für Ozon, die nach den Air

Quality Guidelines einen Effekt während der Wachstumsperiode haben, sind $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Mittelwert über eine Stun-de), $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Mittelwert über 24 Stun-den) und $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für die Wachstums-periode (Mittelwert über 100 Tage).

EG-Richtlinie über die Luftverschmutzung durch Ozon

Die Richtlinie 92/72/EWG des Rates der Europäischen Gemeinschaften vom 21. September 1992 über die Luftver-schmutzung durch Ozon legt erstmals EU-einheitlich Schwellenwerte für die Information oder die Warnung fest, bei deren Überschreiten die Bevölkerung zu Vorsichtsmaßnahmen aufgefordert wer-den muß. Dadurch können die Auswir-kungen erhöhter Ozonkonzentrationen auf die Gesundheit in Grenzen gehalten werden. Diese Schwellenwerte sind unter Berücksichtigung der von der WHO veröffentlichten Air Quality Guidelines, insbesondere über die Dosis-Wirkungs-Verhältnisse von Ozon, fest-gelegt worden.

Die Richtlinie enthält fünf Schwellen-werte:

- Schwellenwert für den Gesundheits-schutz: $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Mittelwert während acht Stunden)

Diese Konzentration sollte zum Schutz der menschlichen Gesundheit nicht über längere Zeiträume überschritten werden.

□ Schwellenwerte für den Schutz der Vegetation: $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Mittelwert während einer Stunde), $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Mittelwert während 24 Stunden)

Bei Überschreitung dieser Ozonkonzentrationen kann die Vegetation beeinträchtigt werden.

□ Schwellenwert für die Unterrichtung der Bevölkerung: $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Mittelwert während einer Stunde)

Oberhalb dieser Ozonkonzentration gibt es bei besonders empfindlichen Gruppen der Bevölkerung im Falle einer kurzen Exposition begrenzte und vorübergehende gesundheitliche Auswirkungen. Beim Auftreten dieser Ozonkonzentration müssen die Mitgliedstaaten die Bevölkerung entsprechend den Vorschriften der Richtlinie unterrichten.

□ Schwellenwert für die Auslösung des Warnsystems: $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Mittelwert während einer Stunde)

Oberhalb dieser Ozonkonzentration entsteht im Falle einer kurzen Exposition eine Gefahr für die menschliche Gesundheit. Bei Auftreten dieser Ozonkonzentration müssen die Mitgliedstaaten die Bevölkerung entsprechend den Vorschriften dieser Richtlinie warnen.

Die EG fordert in dieser Richtlinie keine beschränkenden Maßnahmen, wenn der Schwellenwert für den Gesundheitsschutz oder ein Schwellenwert für den Schutz der Vegetation überschritten ist. Die Richtlinie verpflichtet die EG-Kommission jedoch, sobald wie möglich, spätestens jedoch vier Jahre nach dem Zeitpunkt der Anwendbarkeit dieser Richtlinie, einen Bericht über die gesammelten Daten und über die Bewertung der erhöhten Ozonkonzentrationen in der Gemeinschaft vorzulegen. Darauf aufbauend sollen später neue Bestimmungen über Ozon und die Luftqualität festgelegt werden. Diese können auch Maßnahmen zur Verringerung der Ozonvorläufersubstanzen einschließen.

EG-Richtlinie betreffend die Beurteilung und Kontrolle der Luftqualität (Entwurf)

Der Umweltrat der EU hat am 22./23. Juni 1995 einen gemeinsamen Standpunkt zum Kommissionsentwurf einer Richtlinie über die Beurteilung und Kontrolle der Luftqualität festgelegt und diesen dem Europäischen Parlament zugeleitet.

Diese Richtlinie legt die Rahmenbedingungen zur Überarbeitung der bestehenden Luftreinhaltungsrichtlinien (SO_2 , Schwebstaub, Blei, NO_2 , Ozon) sowie

Vorschriften und Regeln im Bereich „Allgemeine Umwelt“

bei der Erstellung neuer Richtlinien (Benzol, PAH, CO, Cadmium, Arsen, Nickel, Quecksilber) fest.

Die Rahmenrichtlinie läßt für Ozon offen, ob nur Zielwerte festgelegt werden sollen oder auch Grenzwerte, bei deren Überschreiten Maßnahmen zu ergreifen sind. Einen ersten Bericht zur Ozonproblematik wird die Kommission 1998 vorlegen. Die Bundesregierung hat die Kommission gebeten, diesen Bericht vor dem Hintergrund der anhaltenden Diskussionen um das bodennahe Ozon und die grenzüberschreitenden Schadstoffströme möglichst bereits im nächsten Jahr fertigzustellen.

22. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG)

Die Ozon-Richtlinie ist ebenso wie die anderen Luftreinerhaltungsrichtlinien durch Rechtsverordnung nach § 48 a BImSchG in deutsches Recht umgesetzt worden (26. Oktober 1993, BGBl. I, S. 1819, geändert am 27. Mai 1994, BGBl. I, S. 1095)

Rechtsverordnungen der Bundesländer

Mehrere Bundesländer (Hessen, Bremen, Niedersachsen, Schleswig-Holstein)

haben 1993/94 Rechtsverordnungen auf der rechtlich umstrittenen Basis des § 40 (1) BImSchG erlassen. In weiteren Ländern waren derartige Verordnungen in Vorbereitung.

Diese Verordnungen sahen im wesentlichen Tempolimits bei erhöhten Ozonkonzentrationen vor. Eine bundeseinheitliche Regelung gab es nicht.

Durch das Ozon-Gesetz wurden diese Verordnungen außer Kraft gesetzt.

Ozon-Gesetz

Mit dem Gesetz zur Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes vom 19. Juli 1995 (BGBl. I, S. 930) trat die bundeseinheitliche Sommersmog-Regelung für Fahrverbote bei hohen Ozonwerten ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$) am 26. Juli 1995 in Kraft. Die Bundesrepublik Deutschland ist weltweit das erste Land, in dem bei Ozonspitzenwerten automatisch Fahrverbote für stark emittierende Kraftfahrzeuge verhängt werden. Damit wird einem weiteren Anstieg der Ozonwerte in gesundheitlich bedenkliche Bereiche wirksam gegengesteuert.

Die Warnstufe für erhöhte Ozonkonzentrationen liegt nach europäisch einheitlicher Regelung bei $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Fahrverbote bei einem Wert von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sollen ein Ansteigen der Ozonkonzentrationen verhindern.

trationen in diesen gesundheitlich bedenklichen Bereich verhindern.

Ferner sieht das Gesetz bei Erreichen des Schwellenwertes von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ den Appell an die Bevölkerung vor, Kraftfahrzeuge, aber auch Motorboote, motorbetriebene Rasenmäher und andere Verbrennungsmotoren im nicht gewerblichen Bereich nach Möglichkeit nicht zu benutzen. Die Bundesregierung hält es aus Gründen der Verhältnismäßigkeit für gerechtfertigt, in diesem Grenzbereich auf das Verantwortungsbewußtsein jedes einzelnen zu setzen.

Die Sommersmog-Regelung sieht tagesweise Fahrverbote ab 6 Uhr für hoch emittierende Kraftfahrzeuge vor, wenn am Vortage an mindestens drei Meßstationen im Bundesgebiet, die mehr als 50 km und weniger als 250 km voneinander entfernt sind, ein Stundenmittelwert von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erreicht wurde und dieser Wert auch am Tag des Fahrverbotes im Bereich dieser Meßstationen zu erwarten ist.

Die Fahrverbote gelten jeweils großräumig in den Bundesländern, in denen selbst oder in angrenzenden Landkreisen mindestens zwei dieser Meßstationen liegen. Für Fahrverbote in Berlin, Bremen, Hamburg und dem Saarland genügt es, wenn nur eine dieser Meß-

stationen in dem betreffenden Bundesland oder in einem angrenzenden Landkreis liegt. Gebiete eines Landes, die zur Entstehung der Ozonbelastung nicht oder nur unwesentlich beitragen, können vom Fahrverbot ausgenommen werden.

Das Ozongesetz sieht grundsätzlich zwei unterschiedliche Ausnahmearten vom Fahrverbot vor: Ausnahmen für Kraftfahrzeuge mit geringem Schadstoffausstoß und Ausnahmen für Fahrten zu besonderen Zwecken. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit zur Erteilung von Ausnahmen in besonderen Einzelfällen.

Der Vollzug des Ozongesetzes liegt ausschließlich bei den Bundesländern. Die Landesregierungen haben Durchführungsbestimmungen erarbeitet, die insbesondere regeln, bei welchen Stellen die Ausnahme-Plaketten zu erhalten sind. Auf Landesebene ist auch zu entscheiden, welche Fahrten von Berufspendlern und von Urlaubern in zumutbarer Weise mit öffentlichen Verkehrsmitteln durchgeführt werden können. Dies setzt die Kenntnis der jeweiligen örtlichen Gegebenheiten voraus und wurde deshalb nicht auf Bundesebene geregelt. Informationen sind in der Regel bei der örtlich zuständigen Straßenverkehrsbehörde zu erhalten.

Vorschriften und Regeln im Bereich „Allgemeine Umwelt“

Die Landesbehörden müssen auch noch das Bußgeld festlegen, das bei Mißachtung der Fahrverbote zu zahlen ist. Seitens des Bundes ist der grundsätzliche

Rahmen des Ordnungswidrigkeitengesetzes übernommen worden, der eine Spanne von 5 DM bis 1000 DM vorsieht.

Vorschriften und Regeln im Bereich „Arbeitsschutz“

B. Osterheld

Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung, Bonn

Zur derzeitigen Rechtslage

Für das geltende Recht ist grundsätzlich maßgeblich, ob die Ozon-Einwirkungen beim Umgang mit Gefahrstoffen auftreten oder ob der Arbeitnehmer dem Ozon in anderer Weise ausgesetzt ist.

Ein Umgang mit Gefahrstoffen liegt vor, wenn bei Fertigungsprozessen Ozon auftritt, sei es, daß Ozon selbst in irgendeiner Form verarbeitet oder eingesetzt wird oder daß Ozon als unerwünschtes Nebenprodukt auftritt, etwa bei Hochleistungskopierern. Diese Fälle sind in der Gefahrstoffverordnung klar geregelt. Es gibt einen MAK-Wert, der $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ beträgt, berechnet auf eine tägliche Belastung von acht Stunden. Um zu verhindern, daß der Arbeitnehmer einer höheren Exposition ausgesetzt wird, hat der Arbeitgeber nach § 19 GefahrstoffV ein gestuftes Verfahren von Maßnahmen zu treffen:

- In erster Linie hat der Arbeitgeber das Verfahren so zu gestalten, daß Ozon nicht freigesetzt wird.
- Ist dies nicht möglich, ist Ozon an der Austritts- oder Entstehungsstelle vollständig zu erfassen und zu entsorgen.
- Ist auch dies nicht möglich, sind Lüftungsmaßnahmen zu treffen.

Kann bei Durchführung dieser Maßnahmen die Maximale Arbeitsplatzkonzentration nicht unterschritten werden, hat der Arbeitgeber persönliche Schutzausrüstungen zur Verfügung zu stellen und dafür zu sorgen, daß die Arbeitnehmer nur so lange beschäftigt werden, wie es das Arbeitsverfahren unbedingt erfordert und es mit dem Gesundheitsschutz vereinbar ist.

Aufgrund des völlig neuen Krebsverdachts — bisher war Ozon nur wegen seiner reizenden Wirkung als Gefahrstoff eingestuft — wird zur Zeit geprüft, ob dieser MAK-Wert ggf. zu senken ist. Vom Ausschuß für Gefahrstoffe (AGS) wurde beschlossen, den MAK-Wert von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zunächst beizubehalten.

Bei überhöhten Ozonwerten in der Außenluft aufgrund bestimmter Wetterlagen, also beim sogenannten Sommersmog, handelt es sich jedoch nicht um einen Umgang mit Gefahrstoffen, also gelten derzeit weder die Gefahrstoffverordnung noch der entsprechende MAK-Wert. Fraglich ist aber, ob sich möglicherweise aus anderen Vorschriften ergibt, daß der Arbeitgeber den Arbeitnehmer vor überhöhten Ozonexpositionen schützen muß.

Vorschriften und Regeln im Bereich „Arbeitsschutz“

Was kann der Arbeitgeber überhaupt tun?

Das Besondere bei überhöhten Ozonwerten in der Luft ist, daß der Arbeitgeber sie nicht beeinflussen kann, weder im Vorfeld durch die Wahl der Arbeitsstätte noch durch bauliche oder ähnliche Maßnahmen. Das einzige, was er tun kann, sind arbeitsorganisatorische Maßnahmen in der Situation selbst: Verlagerung der Arbeit in die Morgenstunden, Einschränkung körperlich schwerer Arbeiten in bestimmten Zeiten, Durchführung von ärztlichen Untersuchungen usw.

Gibt es eine Pflicht des Arbeitgebers, den Arbeitnehmer durch organisatorische Maßnahmen vor überhöhten Ozonwerten in der Außenluft zu schützen?

a) Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV)

Für Arbeitsplätze im Freien — und hierum geht es ja im Regelfall — schreibt § 42 ArbStättV vor, ortsggebundene Arbeitsplätze im Freien im Rahmen des betrieblich Möglichen so einzurichten und auszustatten, daß die Arbeitnehmer u.a. vor Witterungsverhältnissen und unzuträglichen Gasen geschützt sind. Aber zum einen ist die ArbStättV nicht für alle Arbeitnehmer anwendbar. Dies gilt übrigens auch für alle anderen im folgenden

noch erwähnten Vorschriften. Zum anderen ist es dem Arbeitgeber betrieblich gerade nicht möglich, durch Einrichtung oder Ausstattung der Arbeitsstätte den Arbeitnehmer vor Ozoneinwirkungen in der Atmosphäre zu schützen. Also ist § 42 ArbStättV nicht anwendbar.

§ 3 Abs. 1 ArbStättV verpflichtet den Arbeitgeber, sonstige gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse zu beachten. Es gibt aber derzeit keine gesicherten Erkenntnisse, welche konkreten Maßnahmen der Arbeitgeber gegenüber welchen Personengruppen bei welchen Ozonwerten treffen und wie er überhaupt ermitteln soll, ob diese Werte überschritten sind oder nicht. Also führt auch § 3 ArbStättV nicht weiter.

b) Gewerbeordnung

Nach § 120 a Gewerbeordnung sind die Gewerbeunternehmer u.a. verpflichtet, den Betrieb so zu regeln, daß die Arbeitnehmer gegen Gefahren für Leben und Gesundheit so weit geschützt sind, wie es die Natur des Betriebs gestattet. Das Bundesarbeitsgericht hat jedoch entschieden, daß hier nur solche Regelungen gemeint sind, die zum Schutz vor unmittelbar aus Arbeitsräumen, Betriebsvorrichtungen, Maschinen und Gerätschaften drohenden Gefahren dienen, also ähnlich wie beim Umgang mit

Gefahrstoffen in der GefahrstoffV. Damit ergibt sich auch aus § 120 a Gewerbeordnung keine Pflicht für den hier geschilderten Fall.

c) Unfallverhütungsvorschriften der gewerblichen Berufsgenossenschaften

§ 18 der UVV Allgemeine Vorschriften (VBG 1) sieht vor, daß Arbeitsplätze so eingerichtet und beschaffen sein und so erhalten werden müssen, daß sie ein sicheres Arbeiten ermöglichen. Insbesondere sollen u.a. schädliche Umwelteinflüsse ferngehalten werden. Auch hier geht es also um die Beschaffenheit der Arbeitsplätze. Dazu gilt aber das bereits Gesagte: Möglich sind dem Arbeitgeber nur organisatorische Maßnahmen. Diese werden von § 18 VBG 1 jedoch nicht erfaßt.

§ 45 Abs. 1 VBG 1 legt dem Unternehmer eine Pflicht zur Ermittlung des Ausmaßes der Gefährdung auf, wenn Versicherte gesundheitsgefährlichen Stoffen ausgesetzt sind. Diese Pflicht bezieht sich von ihrem Sinn und Zweck her nicht auf kurzfristige witterungsbedingt erhöhte Ozonkonzentrationen. Das wird auch aus der Systematik der Vorschrift deutlich, da die umgebenden Paragraphen ebenfalls nur den Umgang mit Gefahrstoffen behandeln.

§ 45 Abs. 3 VBG 1 schließlich verpflichtet den Unternehmer, wenn Versicherte im Freien beschäftigt werden und infolge von Witterungseinflüssen Gesundheitsgefahren entstehen, entweder den Arbeitsplatz wetterfest herzurichten oder Schutzkleidung zur Verfügung zu stellen. Diese Formulierung macht deutlich, daß damit keine Inversionswetterlagen gemeint sind.

Nach geltendem Recht besteht also keine konkrete öffentlich-rechtliche Pflicht des Arbeitgebers zu Maßnahmen im Fall erhöhter Ozonwerte in der Außenluft.

Was sieht die Bundesregierung für die Zukunft vor?

Prinzipiell könnte man das Recht ändern und den Arbeitgeber verpflichten, die Arbeitnehmer im Freien vor Ozon zu schützen. Allerdings weist jeder Versuch, eine solche Pflicht so zu konkretisieren, daß sie auch im Einzelfall durchgesetzt werden kann, rechtliche Schwierigkeiten auf.

Das beginnt schon mit der Frage, wie der Arbeitgeber zuverlässig erfährt, daß an seiner Arbeitsstätte Ozon in gesundheitsgefährdendem Maß auftritt. Unverhältnismäßig und praktisch kaum durchführbar wäre es, den Arbeitgeber selbst zu Messungen der Ozonkonzentration in

Vorschriften und Regeln im Bereich „Arbeitsschutz“

der Außenluft an den Arbeitsplätzen zu verpflichten.

Sinnvoll erscheint hingegen, das bestehende Meßstellennetz zur Erfassung der Ozonkonzentration im Bereich des Umweltschutzes zu nutzen. Aber welchen Wert soll man zugrunde legen und als Grundlage für welche konkreten Maßnahmen?

Nach der 22. Bundesimmissionsschutzverordnung ist die Bevölkerung zu unterrichten, wenn eine Ozonkonzentration von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Mittelwert über eine Stunde überschritten wird. Der Wert bezieht sich auf mögliche begrenzte und vorübergehende gesundheitliche Auswirkungen bei besonders empfindlichen Bevölkerungsgruppen.

Nach dem neuen Ozongesetz (d.h. nach dem geänderten Bundesimmissionsschutzgesetz) wird die Bevölkerung öffentlich unterrichtet und zugleich ein Verkehrsverbot ausgesprochen, wenn

a) bei mindestens drei Meßstationen im Bundesgebiet, die mehr als 50 km und weniger als 250 km voneinander entfernt sind, eine Ozonkonzentration von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft als Mittelwert über eine Stunde am selben Tag erreicht wird und

b) der Deutsche Wetterdienst prognostiziert, daß am folgenden Tag im Bereich

dieser Meßstationen mit der gleichen Konzentration zu rechnen ist.

An diesen Werten könnte sich der Arbeitgeber orientieren, wenn es darum geht, Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten zu ergreifen. Ganz unproblematisch ist dies aber nicht. Der Kurzzeitwert von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kann nicht maßgeblich sein, da er noch unter dem auf acht Stunden bemessenen MAK-Wert liegt. Auch der Wert $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ist problematisch, da er auf einer anderen Zielsetzung beruht und — anders als der MAK-Wert — einen Kurzzeitwert wiedergibt. Darüber hinaus kann ein solcher Wert nur die aktuelle Situation wiedergeben. Die Prognose für den Folgetag ist zwangsläufig ungenau. Einige der denkbaren Maßnahmen, insbesondere etwa die Vorverlegung der Arbeitszeit, können aber nur am Vortag beschlossen werden.

Eine weitere Möglichkeit wäre, daß die Meßstellen den Mittelwert der Ozonkonzentration über acht Stunden errechnen und am Vorabend bekanntgeben. Als Schwellenwert, bei dessen Überschreitung Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten ergriffen werden sollten, könnte dann der MAK-Wert von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ herangezogen werden. Vorteil: Es wäre zugleich dokumentiert, daß der Arbeitsschutz bei Arbeiten im Freien dem Arbeitsschutz in Innenräumen ent-

spricht. Das Problem besteht wieder darin, daß der für den abgelaufenen Tag gemessene Acht-Stunden-Wert keine hinreichend sichere Prognose für den nächsten Tag erlaubt. Außerdem ist der MAK-Wert nicht auf Arbeitsplätze mit ständig wechselnden Bedingungen angelegt, wie sie z.B. auf der Baustelle herrschen. Schließlich ist zu bedenken, daß die Arbeit je nach Baustelle zu unterschiedlichen Uhrzeiten beginnt und endet, so daß sich auch der Acht-Stunden-Zeitraum nicht deckt.

Beide Modelle würden außerdem nicht das Problem lösen, daß die Ozonbelastung am konkreten Arbeitsplatz anders sein kann als an den Meßstellen.

Haben die Modelle nur Empfehlungscharakter, wäre dies alles weniger problematisch. Sobald man den Arbeitgeber aber gesetzlich verpflichtet, gegebenenfalls sogar mit einem Bußgeld belegt, müssen die Voraussetzungen für eine solche Maßnahme sehr viel konkreter sein.

Nicht zuletzt wegen der geschilderten Schwierigkeiten strebt die Bundesregierung derzeit keine gesetzgeberischen Maßnahmen an. Eine bessere Handhabbarkeit und größere Akzeptanz versprechen pragmatische Regelungen, die vor Ort getroffen und von den fachlichen Gremien entschieden werden.

Die oben genannten Modelle und natürlich auch denkbare andere Varianten bedürfen einer weiteren fachlichen Erörterung.

Die Vermeidung hoher Ozonkonzentrationen hat auf jeden Fall Vorrang vor Schutzmaßnahmen bei hohen Ozonwerten. Deshalb unterstützt die Bundesregierung alle Maßnahmen, die darauf hinzielen, die Ozonbelastung im Sommer entscheidend zu verringern. Ein Schritt dazu ist das neue Ozongesetz. Wenn es weniger Ozon in der Luft gibt, wird auch das Arbeitsschutzproblem am wirksamsten gelöst.

Teil 5:
Schutzmaßnahmen,
Arbeitsschutzkonzepte

Überlegungen zum Gesundheitsschutz und zur Arbeitssicherheit beim Umgang mit Ozon in der Bauwirtschaft

G. Wischer
IG Bau — Steine — Erden, Berlin

Mit der Ozonproblematik, insbesondere dem Umweltozon, beschäftigt sich die IG Bau — Steine — Erden schon seit einiger Zeit.

Im Baubereich sind sehr viele Berufsgruppen direkt von den Auswirkungen des Umweltozons — um es deutlich von dem prozeßerzeugten Ozon zu unterscheiden — betroffen.

Mit der beabsichtigten Fusion der IG Bau — Steine — Erden mit der Gewerkschaft Gartenbau, Land- und Forstwirtschaft (GGLF) sind dann die wichtigsten, im Freien arbeitenden Berufsgruppen in unserer Vertretung.

Die Diskussion in unserer Organisation befaßte sich vornehmlich mit der reizenden Wirkung des Ozons und dem damit im Zusammenhang stehenden MAK-Wert. Die mögliche kanzerogene Wirkung des Ozons stellt im Rahmen dieser Diskussion eine neue Qualität dar.

In den letzten drei Jahren erreichte uns eine große Anzahl von Anfragen zur Ozonproblematik. Die meisten dieser Anfragen zeichneten sich durch ein hohes Maß an Unverständnis bezüglich der in der Öffentlichkeit geführten Diskussion aus. Unverständnis dahingehend, daß eine Vielzahl von Warn-, Schwellen- und ähnlichen Grenzwerten disku-

tiert wurde, die ein fachlich Unkundiger kaum verstehen kann. Unverständnis aber auch, weil die Warnungen der Bevölkerung ohne Berücksichtigung der weitgehend im Freien arbeitenden Menschen erfolgte.

Inhaltlich lassen sich diese Anfragen in drei Kategorien zusammenfassen:

1. Welche gesundheitlichen Folgen können sich bei Arbeiten unter hoher Ozonbelastung einstellen?
2. Welche Schutzmaßnahmen können vor Ort zur Abwehr dieser Belastungen eingesetzt werden?
3. Inwiefern wird durch Fahrverbote infolge hoher Ozonkonzentrationen die Baulogistik tangiert, und wer zahlt eventuelle Ausfallzeiten?

Der dritte Punkt steht nicht im unmittelbaren Zusammenhang mit der medizinisch indizierten Ozondiskussion, ist aber eine Frage, die auf ein rechtliches Kernproblem im Zusammenhang mit der Ozonproblematik hinweist.

Klagen über eine erlebte Ozonbelastung waren die Seltenheit. Vielmehr wurde in den letzten zwei Jahren sehr über die Hitzebelastung geklagt. Da die Vermutung naheliegt, daß Ozon mit großer Hitze einhergeht, könnte dies als Ansatzpunkt gesehen werden.

Überlegungen zum Gesundheitsschutz und zur Arbeitssicherheit beim Umgang mit Ozon in der Bauwirtschaft

Mögliche Schutzmaßnahmen wurden von unserer Organisation bei mehreren Veranstaltungen vorgeschlagen. Bei einer Diskussion mit Betriebsräten kamen von seiten der Praktiker interessante Vorschläge, die die Arbeitsorganisation an solchen Tagen zum Gegenstand hatten. Auf diesem Gebiet gibt es sicher noch Reserven. Die vor Ort verantwortlich Handelnden sind aufgerufen, mit entsprechender Phantasie auftretenden Belastungen zu begegnen.

Aber auch Erholungspausen, Drosselung des Arbeitstempos, Arbeitszeitverlagerung bis hin zur Arbeitszeitverkürzung werden als mögliche Maßnahmen von uns ins Auge gefaßt. Uns ist klar, daß all diese Maßnahmen letztendlich Geld kosten.

Für das prozeßerzeugte Ozon ist der Weg klar. Die Gefahrstoffverordnung ist das Regelwerk, das den Arbeitgeber verpflichtet, mögliche Gefährdungen zu ermitteln und die entsprechenden Schutzmaßnahmen zu realisieren.

Gänzlich anders sieht die Situation beim Umweltozon aus. Hinsichtlich der Zuständigkeit der Gefahrstoffverordnung für diesen Bereich haben wir bereits 1993 eine entsprechende Anfrage an die Bundesanstalt für Arbeitsschutz gerichtet. In Beantwortung dieser Anfrage wurde uns mitgeteilt, daß für die Beurteilung der

Belastungen, insbesondere aber für die Schutzmaßnahmen im Bereich Umweltozon die Gefahrstoffverordnung keine Gültigkeit besitzt. In diesem Zusammenhang wurde auf die Möglichkeiten, die die Arbeitsstättenverordnung bieten könnte, hingewiesen. Wenn man sich allerdings die Arbeitsstättenverordnung daraufhin einmal näher betrachtet, kommt man sehr schnell zu dem Schluß, daß auch dieses Instrument den Anforderungen nicht gerecht werden kann.

Damit haben wir im Bereich der im Freien arbeitenden Berufe bezüglich des Umweltozons einen **rechtsfreien** Raum. Dieser Zustand kann von unserer Gewerkschaft nicht toleriert werden. Hier ist der Gesetzgeber aufgefordert, die Ungleichstellung zu beseitigen. Tarifliche Vereinbarungen sind nicht geeignet, diese Gesetzeslücke zu schließen.

Noch einige Bemerkungen zur Prävention. Die Vermeidung ist bekanntlich der Königsweg des Arbeitsschutzes. Will man die jährlich ständig steigende Grundlast des Ozons wirksam bekämpfen, so müssen die Ursachen, das bedeutet also, die Vorläufersubstanzen, wirksam reduziert werden. Stickoxide und flüchtige Kohlenwasserstoffe sind als Vorläufersubstanzen ausreichend bekannt, ebenso die Ursachen ihres Entstehens. Eine wirksame Vermeidungsstrategie muß also bei den Emittenten dieser

Vorläufersubstanzen beginnen. Das bedeutet für den Bereich der Auto-industrie wesentlich schadstoffärmere Autos — und die recht bald! Das bedeutet für den Bereich Bauchemikalien geringere Lösemiteleinsätze! Freiwillige Vereinbarungen wie z.B. die Empfehlungen zum Einsatz lösemittelreduzierter Bautenlacke sind zu begrüßen. Dieser Weg muß aber u.E. steuerlich flankiert werden. Steuereinnahmen aus diesem Bereich sind zweckgebunden für eine ökologische Forschung und Umgestaltung bzw. für Schutzmaßnahmen, die aufgrund von Umweltbedingungen erforderlich sind, bereitzustellen.

Folgende Fragen wurden in unserer Organisation im Zusammenhang mit dem Umweltozon erarbeitet:

1. Wie real und wie groß sind die tatsächlichen Belastungen vor Ort?

Die Belastung muß an einen wie auch immer gearteten Grenzwert gekoppelt sein. Daten aus Umweltmeßprogrammen sind sicher geeignet, einen Handlungsbedarf zu signalisieren, können aber nicht die am Arbeitsplatz real herrschenden Belastungen wiedergeben. Es geht uns insbesondere darum, die stärker gefährdeten Berufsgruppen herauszufiltern. Wir begrüßen deshalb ausdrücklich die von der Tiefbau-Berufsgenossenschaft

durchgeführten konkreten Messungen vor Ort.

An dieser Stelle sei nochmals auf die Problematik der Mehrfachbelastungen hingewiesen. Hierzu gehören

- die Hitze
- die Arbeitsschwere
- die Zwangshaltungen
- auch Gefahrstoffbelastungen unterhalb der Grenzwerte
- typische Baustellenbedingungen wie Staub und Lärm
- Ozon und seine Vorläufersubstanzen
- Dieselauche und Benzol aus angrenzenden Verkehrsräumen
- die offensichtlich stärker werdende UV-Strahlung

Eine komplexe Betrachtung aller dieser Belastungsfaktoren, die auf den Bauarbeiter wirken können, ist deshalb unablässig.

2. Welche Schutzmaßnahmen sind kurzfristig auf der Baustelle realisierbar und welchen tatsächlichen Schutz bieten sie?

3. Welche Rechtssicherheit besteht vor Ort?

Überlegungen zum Gesundheitsschutz und zur Arbeitssicherheit beim Umgang mit Ozon in der Bauwirtschaft

Wenn vor Ort zwischen den Tarifpartnern nicht eine entsprechende Rechtssicherheit herrscht, werden die Schutzmaßnahmen nicht in dem erforderlichen Umfang realisierbar sein. Deshalb ist es unabdingbar, daß der Gesetzgeber seinen Handlungsbedarf erkennt.

Beim Fachgespräch Ozon der Tiefbau-BG am 13. Juni 1995 war ein Experten-

kreis vorgeschlagen worden, der diese Problematik diskutiert. Inzwischen sind erste Schritte der Tiefbau-BG in dieser Richtung eingeleitet worden. Im Ergebnis der Beratungen müßten Handlungsanleitungen für Sicherheitsfachkräfte, Poliere und Betriebsräte entstehen, mit deren Umsetzung wirksame Schutzmaßnahmen realisiert werden können.

Atemschutz gegen Ozon

T. Götte

Berufsgenossenschaftliches Institut für
Arbeitsicherheit – BIA, Sankt Augustin

Die Gefahrstoffverordnung verlangt vom Arbeitgeber, daß die Atemluft der Beschäftigten soviel Sauerstoff enthält und so frei von Schadstoffen ist, daß keine Beeinträchtigung für die Gesund-

heit besteht (Abbildung 1). Im Rahmen einer Gefährdungsanalyse für den jeweiligen Arbeitsbereich kann der Arbeitgeber seiner Ermittlungspflicht nachkommen.

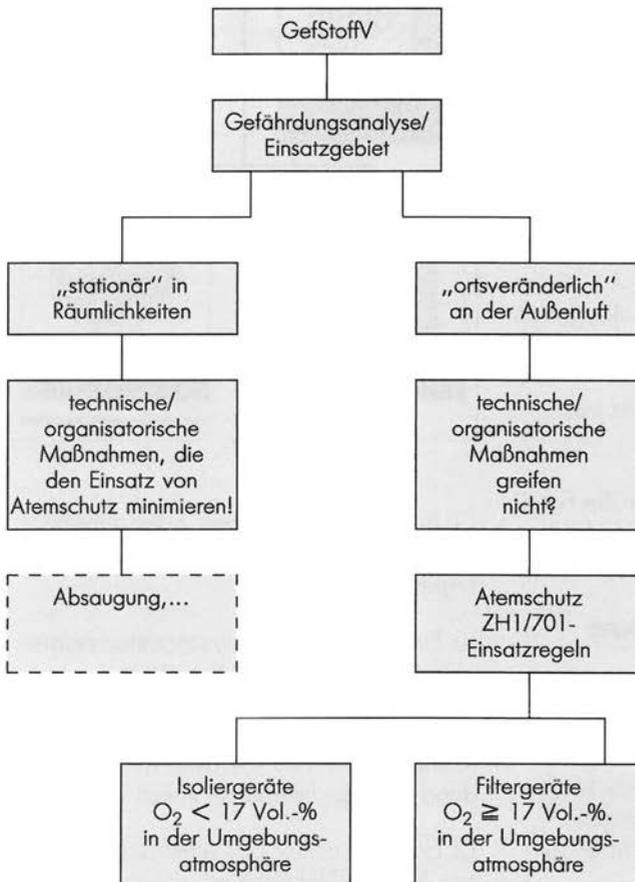


Abbildung 1:
Auswahlkriterien für
Atemschutz gegenüber Ozon
Beispiel: Forstwirtschaft

Atenschutz gegen Ozon

Am Fallbeispiel Forstwirtschaft wird unterstellt, daß technische oder organisatorische Maßnahmen (Prävention) zum Schutz gegen Ozon in der Umgebungsatmosphäre (Außenluft) nicht greifen und das Schutzziel nur durch den Einsatz von geeigneten Atemschutzgeräten erreichbar ist.

Wichtige Hilfestellungen bei der Auswahl von Atemschutz bietet die ZH 1/701 „Regeln für den Einsatz von Atemschutzgeräten“. Eine erste globale Differenzierung bei der Auswahl ist der Sauerstoffgehalt der Umgebungsatmosphäre:

$O_2 < 17 \text{ Vol.-%}$ → Es sind Isoliergeräte einzusetzen.

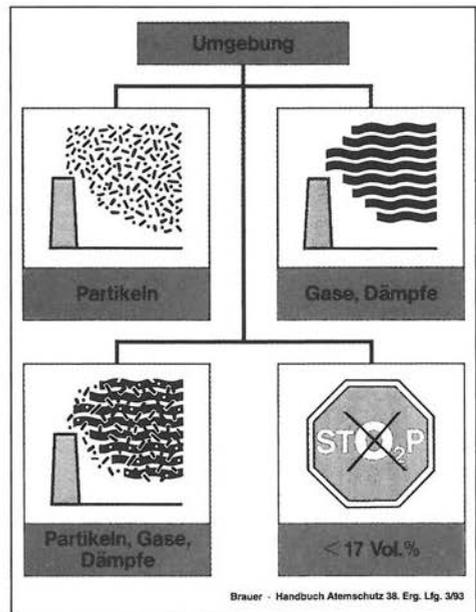
$O_2 \geq 17 \text{ Vol.-%}$ → Der Einsatz von Filtergeräten wird möglich.

Die zweite Unterteilung betrifft die Form des Schadstoffes in der Luft, die den Filtertyp festlegt (Abbildung 2):

Ozon → Filtergeräte gegen Gase und Dämpfe

Das Berufsgenossenschaftliche Institut für Arbeitssicherheit — BIA hat im Rahmen von Orientierungsprüfungen verschiedene Filtertypen auf ihre Filterwirksamkeit gegenüber Ozon untersucht (Abbildung 3):

Abbildung 2:
Einteilung der Umgebung (EN 133)



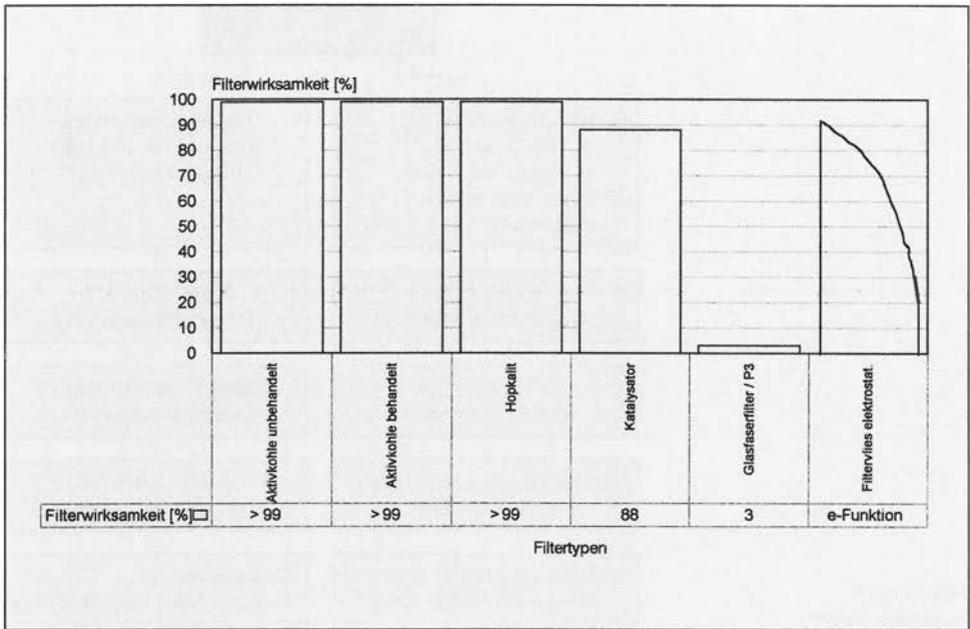
Aktivkohle, behandelt oder unbehandelt sowie Hopkalit erzielen sehr gute Ergebnisse.

Ein spezielles Katalysatorfilter zeigt ebenfalls gute Filterwirksamkeit.

Ein typisches Partikelfilter aus Glasfasermaterial wies nur eine verschwindend geringe Filterwirksamkeit auf.

Ein Partikelfilter aus elektrisch geladenen Fasern (Elektretfilter) zeigte nur kurz-

Abbildung 3:
 Atemschutz gegenüber Ozon
 Momentaufnahme der Filterwirksamkeit verschiedener Filtertypen



zeitige gute Filtereigenschaften gegenüber Ozon. Durch Ozon wird die elektrostatische Ladung abgebaut. Mit Abnahme der Ladung sinkt die Filterwirksamkeit.

Ein weiteres entscheidendes Kriterium bei der Auswahl des Atemschutzgerätes ist der Atemwiderstand. Er stellt je nach Höhe eine erhebliche physische Be-

lastung für den Träger dar (Abbildung 4, siehe Seite 162). Konstruktionsbedingt haben

Voll- und Halbmasken mit Filter oder Filter und Gebläse

direkt filtrierende Halbmasken

einen Widerstand beim Ein- bzw. Ausatmen.

Atemschutz gegen Ozon

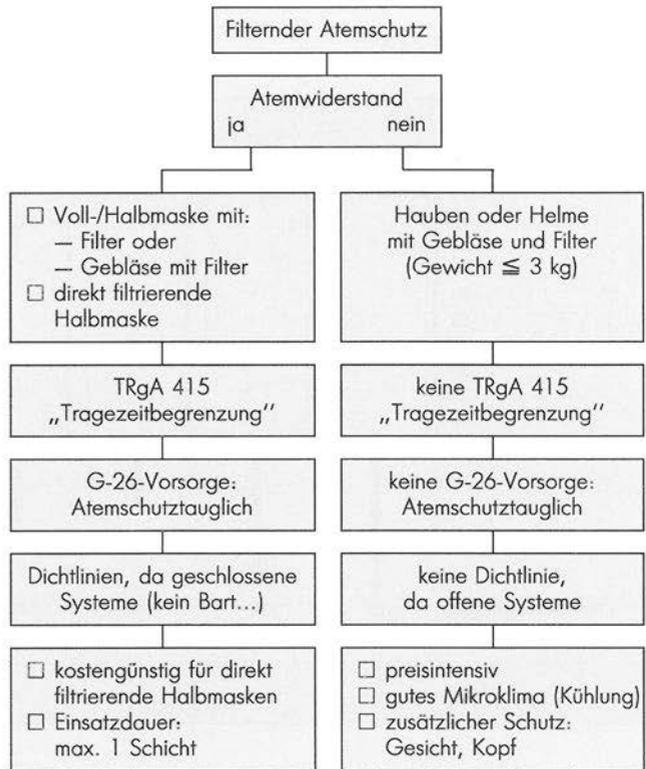


Abbildung 4:
Auswahlkriterien für
Atemschutz gegenüber Ozon
Beispiel: Forstwirtschaft

Die Einsatzdauer dieser Geräte ist daher beschränkt. Die TRgA 415 „Tragezeitbegrenzung von Atemschutzgeräten ...“ legt Einsatzdauer und Erholungszeiten fest. Weiterhin muß der Träger im Rahmen einer medizinischen Vorsorgeuntersuchung (G 26) seine Atemschutztauglichkeit nachweisen.

Um Leckagen auszuschließen, ist der Dichtsitz bei Halb- und Vollmasken zwingend erforderlich. Träger mit Gesichts-anomalien wie Narben oder Bartträger sind nicht geeignet.

Dagegen besitzen Hauben oder Helme mit Filtergebläse als offene Systeme so

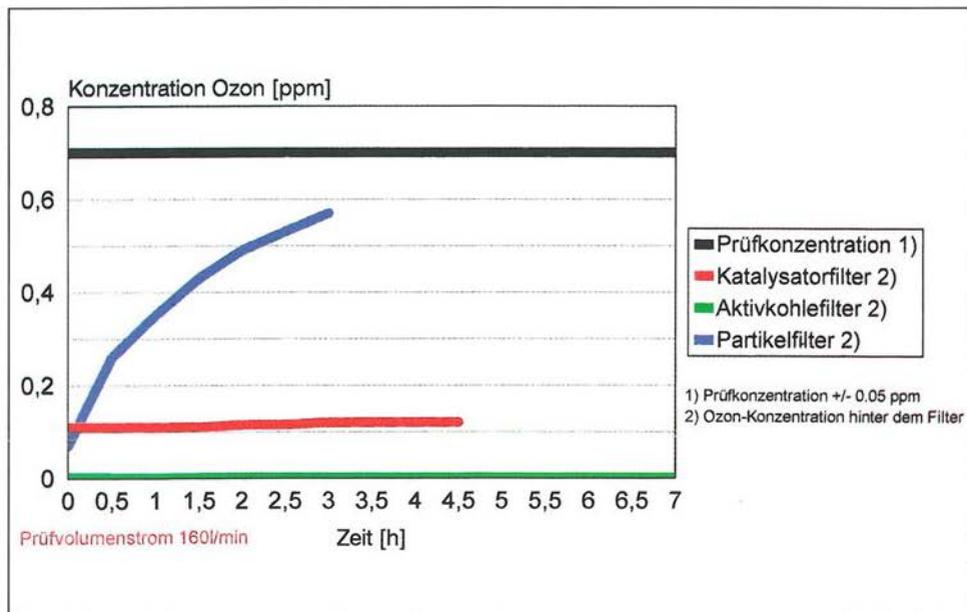
gut wie keinen Atemwiderstand. Eine Belastung für den Träger kann nur durch das Gerätegewicht bestehen. Durch den ständigen Überschuß an gereinigter Luft werden Leckagen vermieden. Die Schutzwirkung ist auch bei geringerem Dichtsitz gegeben.

Besonders günstig ist das Mikroklima. An heißen, ozonreichen Tagen bietet der Luftstrom angenehme Kühlung, Schweißbildungen werden schnell abgetragen.

Weitere Vorteile bietet der Atemschutzhelm, der in der Bau- oder Forstwirtschaft gleichzeitig das Gesicht gegen Splitter und den Kopf gegen Stoßeinwirkungen schützen kann.

An einem solchen Atemschutzhelm wurde im BIA ebenfalls, unter Verwendung verschiedener Filtertypen, die Schutzwirkung gegenüber Ozon geprüft (Abbildung 5). Die in Abbildung 3 dargestellten Ergebnisse wurden bestätigt.

Abbildung 5:
Atemschutz gegenüber Ozon
Wirksamkeit verschiedener Filtertypen für Atemschutzhelm mit Gebläse



Atenschutz gegen Ozon

Zur Findung und Umsetzung von geeignetem Atemschutz gegenüber Ozon kann das BIA als akkreditierte und notifizierte Prüfstelle eine Bindegliedfunktion übernehmen (Abbildung 6). In Zusammenarbeit mit den Herstellern von Atemschutzgeräten und dem Fachausschuß

„Persönliche Schutzausrüstungen“ können Anforderungen formuliert und problemorientierte Geräte sowie Prüfgrundlagen entwickelt werden, um dem Anwender die Auswahl eines positiv geprüften Atemschutzgerätes zu ermöglichen.

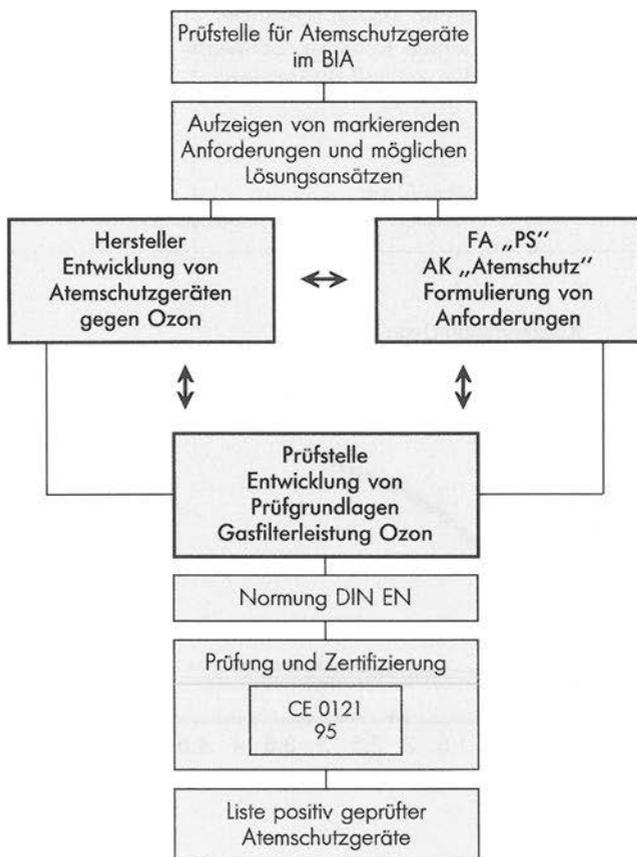


Abbildung 6:
Umsetzung/geeigneter
Atemschutz
gegenüber Ozon

Ozon und Arbeitsschutz — Zusammenfassung und Vorschläge für die weitere Vorgehensweise

H. Blome und T. Smola
Berufsgenossenschaftliches Institut für
Arbeitssicherheit — BIA, Sankt Augustin

1 Einleitung

Ozon stellt für Arbeits- und Umweltschutz eine besondere Herausforderung dar. Dies ist insbesondere dadurch begründet, daß zu bestimmten Zeiten des Jahres umweltbedingt Ozon in hohen Konzentrationen entstehen kann. Die für den Arbeitsplatz beim Umgang mit Gefahrstoffen geltenden Vorschriften und Regeln und die üblicherweise angewendeten technischen und organisatorischen Schutzmaßnahmen greifen entweder nur begrenzt, oder sie bedürfen wesentlicher Modifizierungen.

Langzeitmessungen haben ergeben, daß die Ozonkonzentrationen in der Umwelt in den letzten 100 Jahren stetig angestiegen sind. Es ist lange bekannt, daß Ozon als Reizgas eine schädigende Wirkung auf die Atemwege hat. Der Verdacht auf ein krebserzeugendes Potential ist nunmehr nach Bekanntgabe der MAK-Werte-Liste 1995 hinzugekommen. Für die nicht fachkundige Öffentlichkeit ist das Ozonproblem schon deshalb verwirrend, weil einerseits vom starken Ozonrückgang zu bestimmten Zeiten in der Stratosphäre (Ozonloch) und andererseits von zu hohen Ozonkonzentrationen in der Troposphäre (Sommersmog) die Rede ist.

Nachdem mit dem Ozongesetz der Versuch unternommen wurde, hohen Ozon-

konzentrationen in der Umwelt wirkungsvoll entgegenzutreten, stellen sich für den Bereich des Arbeitsschutzes eine Reihe von Fragen, die bisher nicht befriedigend beantwortet werden konnten: Wie soll die Mitteilung der Senatskommission im geltenden technischen Regelwerk umgesetzt werden? Wie ist die konkrete Expositionssituation z.B. bei Arbeitsplätzen im Freien? Wie kann sich der Mensch vor hohen Ozonkonzentrationen schützen? Wie ist der „Verdacht auf ein krebserzeugendes Potential“ im Hinblick auf konkrete Arbeitsschutzmaßnahmen umzusetzen?

Um bei der Beantwortung dieser und vieler anderer Fragen im Zusammenhang mit Ozon einen Schritt voranzukommen, wurde am 25. und 26. September 1995 vom Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitssicherheit — BIA in Zusammenarbeit mit dem Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung (BMA) und dem Ausschuß für Gefahrstoffe (AGS) ein Fachgespräch „Ozon“ durchgeführt, bei dem die Teilnehmer der Berufsgenossenschaften, der Bundesländer, des BMA und seiner nachgeschalteten Behörden (BAU, BAfAM) sowie der Sozialpartner die Ozonproblematik von allen Seiten kennenlernen und mit ausgewiesenen Fachleuten erörtern konnten. Vorangegangen war bereits ein Ozon-Fachgespräch bei der Tiefbau-Berufsgenossenschaft, das speziell

Ozon und Arbeitsschutz — Zusammenfassung und Vorschläge für die weitere Vorgehensweise

die Ozonsituation im Baubereich behandelt.

Im folgenden werden die Kerninhalte der beim BIA-Fachgespräch „Ozon“ gehaltenen Vorträge kurz zusammengefaßt sowie die im Ergebnis des Fachgespräches erarbeitete Konzeption für möglichen Arbeitsschutz dargestellt.

2 Eigenschaften und Analyse von Ozon

2.1 Physikalisch-chemische Eigenschaften von Ozon [1, 2]

Das Ozonmolekül besteht aus drei Sauerstoffatomen, die im Winkel von $116,8^\circ$ mit einer Bindungslänge von $1,278 \text{ \AA} = 0,1278 \text{ nm}$ angeordnet sind. Das Molekulargewicht beträgt 48 g/mol , der Umrechnungsfaktor zwischen Volumen- und Massenkonzentration $1 \text{ ml/m}^3 = 1 \text{ ppm} = 1000 \text{ ppb} = 2 \text{ mg/m}^3 = 2000 \text{ \mu g/m}^3$.

Ozon siedet unter Normaldruck bei $-111,9^\circ \text{C}$. Seine Dichte beträgt $2,144 \text{ g/l}$ bei 0°C und Normaldruck. Ozon ist etwas schwerer als Luft, seine relative Dichte gegenüber Luft ist $1,66$. Es ist nur wenig wasserlöslich, jedoch gut löslich in organischen Lösemitteln, z.B. Dichlorfluormethan.

Über die Geruchsschwelle liegen widersprüchliche Angaben vor. Man kann aber davon ausgehen, daß der für Ozon charakteristische, stechende Höhensonnengeruch schon bei Konzentrationen weit unter dem MAK-Wert wahrgenommen werden kann. Nach einer gewissen Einwirkungszeit wird der Geruch infolge Schädigung der Schleimhäute nicht mehr wahrgenommen. Bei höheren Konzentrationen riecht Ozon chlorähnlich.

Ozon selbst ist nicht brennbar, jedoch als eines der stärksten Oxidationsmittel sehr reaktionsfähig und in hohem Maße brandfördernd. Bei Konzentrationen über $9,5 \text{ Vol.-%}$ ist eine explosionsartige Zersetzung möglich. Flüssiges Ozon explodiert noch bei Temperaturen unter -100°C .

Bei Erwärmung oder Bestrahlung ozonhaltiger Lösungen oder bei Anwesenheit von Metallkatalysatoren (z.B. Mangandioxid, Bleidioxid) sind explosionsartige Zersetzungen möglich. Organische Stoffe wie Gummi werden zerstört, brennbare entzünden sich oder explodieren. Eine ausführliche Zusammenstellung der gefährlichen chemischen Reaktionen ist im ZeSP-Stoffdatenblatt enthalten.

2.2 Analysenverfahren zur quantitativen Ozonbestimmung [3]

Die wesentlichen Verfahren zur Bestimmung von Ozon sind:

1. Kaliumiodid-Methode
2. Indigosulfonsäure-Verfahren
3. Prüfröhrchen-Verfahren
4. Halbleitersensor-Verfahren
5. UV-Photometrisches Verfahren
6. Chemilumineszenz-Verfahren

An die Meßverfahren zur Bestimmung von Ozonkonzentrationen in der Luft an Arbeitsplätzen werden folgende Anforderungen gestellt:

- Anpassung des Meßbereiches an den Grenzwert
- geringe Meßunsicherheit
- geringe Querempfindlichkeit
- Praxiseignung

Bezüglich Meßbereich sind alle genannten Verfahren geeignet, die in der Luft am Arbeitsplatz auftretenden Ozonkonzentrationen quantitativ zu erfassen. Wesentliche Unterschiede gibt es jedoch bei den Querempfindlichkeiten und der Praxiseignung. Verfahren 1 wird stark durch oxidierende und reduzierende Substanzen beeinflusst, 5 durch aromatische Kohlenwasserstoffe und Aero-

sole. 1 und 2 sind als Labormethoden für Expositionsmessungen an der Person nicht geeignet. Bei den vorzugsweise für den stationären Betrieb geeigneten Verfahren 4, 5 und 6 sind Expositionsmessungen im Atembereich nur mittels nachgeführter Schlauchleitungen möglich, was die Gefahr des Ozonverlusts durch Wandreaktionen in den Schlauchleitungen birgt.

Bei Verfahren 3 hängt der Meßbereich von der Zahl der mit einer Balgpumpe ausgeführten Hübe ab und reicht von $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (bei 100 Hüben) bis $1400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (bei 10 Hüben). Expositionsmessungen im Atembereich sind mit dem Prüfröhrchenverfahren grundsätzlich möglich.

3 Entstehung, Abbau und Vorkommen in der Umwelt

3.1 Entstehung und Abbau von Ozon [1]

Die Reaktionsabläufe, die zur Ozonbildung führen, sind sehr komplex. Die einzige direkt zum Ozon führende Reaktion ist die NO_2 -Photolyse, bei der aus Sauerstoff (O_2) und Stickstoffdioxid (NO_2) als Reaktionsprodukte Ozon (O_3) und Stickstoffmonoxid (NO) entstehen. Durch die schnelle Rückreaktion kann sich dabei jedoch kein Überschußozon

Ozon und Arbeitsschutz — Zusammenfassung und Vorschläge für die weitere Vorgehensweise

bilden, sondern es stellt sich eine Gleichgewichtskonzentration ein, die im Sommer mittags etwa bei $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegt.

Überschüssiges Ozon entsteht auf folgenden beiden Wegen:

1. Aus höheren Luftschichten (Stratosphäre) wird Ozon in die niederen Luftschichten (Troposphäre) transportiert. Etwa 20 % des troposphärischen Ozons stammen aus der Stratosphäre.

2. Etwa 80 % des troposphärischen Ozons entstehen durch Oxidation flüchtiger organischer Verbindungen (**V**olatile **O**rganic **C**ompounds — VOC) über Radikalkettenreaktionen im Beisein von Stickoxiden. Entgegen früheren Annahmen wird somit der Hauptteil des troposphärischen Ozons in der Troposphäre selbst gebildet.

Zur Entstehung hoher Ozonkonzentrationen müssen also folgende Komponenten vorhanden sein:

- Stickoxide
- flüchtige organische Verbindungen (VOC) bzw. Kohlenmonoxid (CO)
- UV-Licht (Sonneneinstrahlung)

Folgende Vorgänge wirken sich mindernd auf die Ozonkonzentration in der Troposphäre aus:

die bereits erwähnte Rückreaktion von O_3 mit NO zu O_2 und NO_2

der Zerfall von Ozon an Staubteilchen zu Sauerstoff

Dies dürfte eine Ursache dafür sein, daß am Rande von Ballungsgebieten höhere Ozonkonzentrationen auftreten als in den Ballungsgebieten selbst.

der Zerfall von Ozon an Oberflächen wie Wänden, Lüftungsschächten u.a.

Aus der Kenntnis der Entstehungs- und Abbauvorgänge lassen sich zwei wesentliche Aussagen ableiten:

1. In geschlossenen Räumen entsteht kein umweltbedingtes Ozon, da zumindest das UV-Licht fehlt. Durch offene Fenster eindringendes Ozon wird teilweise an Oberflächen und Staub zer setzt. Die Ozonkonzentration, die sich selbst bei geöffnetem Fenster im Innenraum einstellt, ist in jedem Fall niedriger als die Ozonkonzentration im Freien.

2. Eine Vermeidung hoher Ozonkonzentrationen in der Troposphäre ist durch die Verringerung der Luftverunreinigungen zu erreichen, die für die Bildung von Ozon verantwortlich sind. Das sind vor allem die flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) und die Stickoxide (NO_x). Es ist bekannt, daß eine alleinige Reduzierung der Stickoxide nicht zu der

gewünschten Verringerung der Ozonkonzentration führt.

3.2 Ozonkonzentrationen in der allgemeinen Umwelt [4]

Über 90 % des in der Erdatmosphäre vorhandenen Ozons befinden sich in den Luftschichten in über 10 km Höhe, der Stratosphäre. Dort filtert es den schädlichen ultravioletten Anteil der Sonnenstrahlung und spielt damit eine lebenswichtige Rolle. Die mit dem stratosphärischen Ozon zusammenhängenden Probleme (Ozonloch, FCKW-Reduzierung u.a.) sollen jedoch im Rahmen dieses Reports nicht behandelt werden.

Nur etwa 10 % des Ozons in der Erdatmosphäre befinden sich in den unteren Luftschichten und insbesondere in der bodennahen Luft. Langjährige Ozonmeßreihen lassen seit Ende des vorigen Jahrhunderts eine langfristige Zunahme der mittleren Ozonkonzentration erkennen.

Während Mitte der 80er Jahre (Zeit der höchsten VOC- und NO_x -Emissionen) wegen der mehr oder weniger verregneten Sommer die Ozonwerte relativ niedrig lagen, traten seit 1989 höhere Ozonkonzentrationen mit Spitzenwerten im Zeitraum 1990 bis 1994 von $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf.

Hohe Ozonkonzentrationen bilden sich weiträumig, grenzüberschreitend und über mehrere Tage aus. Die höchsten Ozonkonzentrationen treten nachmittags und am Rande von Ballungsgebieten auf.

Im Jahrhundertsommer 1994 wurde der Wert von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an 27 Meßstationen zwischen sieben- und 14mal für einige Stunden überschritten. An 26 Tagen im Jahre 1994 wurden $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an mindestens einer Meßstation in Deutschland überschritten. Diese Tage lagen ausnahmslos in den Monaten Juni, Juli und August.

Der Einstunden-Mittelwert von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ korrespondiert unter den Bedingungen etwa mit einem Achtstunden-Mittelwert von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in einer Zeitphase bis zum frühen Nachmittag.

Um Gesundheitsgefahren zukünftig ausschließen zu können, ist eine Verringerung der Ozon-Vorläufersubstanzen erforderlich. Der größte Teil dieser Vorläufersubstanzen wird vom Verkehr emittiert, weshalb Minderungsmaßnahmen bevorzugt dort ansetzen sollten. Die notwendige Minderung kann jedoch nur mittelfristig und durch eine Kombination vieler Einzelmaßnahmen erreicht werden, die auch strukturelle Veränderungen einschließen müssen.

Ozon und Arbeitsschutz – Zusammenfassung und Vorschläge für die weitere Vorgehensweise

4 Wirkung von Ozon auf den Menschen

4.1 Reizende Wirkung, Verdacht auf krebserzeugendes Potential [5]

Ozon ist ein oxidatives Reizgas, das schon in niedrigen Konzentrationen auf Augen, Nase, Rachenraum und Lunge einwirkt. Aufgrund seiner relativ geringen Wasserlöslichkeit dringt es in tiefere Abschnitte der Lunge ein als andere Reizgase. Die Wirkungsschwelle für die Reizeffekte von Ozon liegt ungefähr bei 100 ppb ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$), dem seit über 20 Jahren gültigen MAK-Wert.

Die Aufnahme von Ozon in die Lunge hängt von der angebotenen Konzentration ab. Bei normaler Atmung liegt die Absorption bei etwa 40 bis 50 %.

Wenn Ozon direkt am Ort der Wirkung (Übergang zwischen Bronchiolen und Alveolen) appliziert wird, werden bis über 90 % absorbiert. Die „effektive Dosis“ für diesen Lungenabschnitt ist sehr stark abhängig vom Atemvolumen. Auch in der Nasenschleimhaut wird Ozon sehr stark absorbiert.

Die Problematik von Dosis-Wirkungs-Beziehungen ist dadurch erschwert, daß einerseits die „effektive Dosis“ nicht mit letzter Sicherheit kalkuliert werden kann und andererseits die einzelnen beobachteten toxischen Effekte nicht alle auf identischen Mechanismen beruhen. Es

gibt z.B. Hinweise darauf, daß die akuten Effekte in der Lunge durch die direkte Reaktion von Ozon zustande kommen, während subakute, subchronische und chronische Effekte durch Sekundärreaktionen, wie z.B. Entzündungsphänomene, verursacht werden. Dies ist auch der Grund, warum bisher keine eindeutige Aussage bezüglich eines „no-effect-levels“ für Ozon möglich ist.

Entzündliche Effekte der Nasenschleimhaut treten schon nach zweistündiger Exposition gegenüber 800 bis $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf. Sie sind nach 18 Stunden noch nicht vollständig abgeklungen. Bei 240 bis $480 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sind diese Effekte nur noch bei Asthma-Patienten zu beobachten.

Die Lungenfunktionsparameter werden bei Expositionszeiten von 6,6 Stunden noch bei Konzentrationen von $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ beeinflusst. Es treten entzündliche Reaktionen in der Lunge auf. Bei Konzentrationen über $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wird die sportliche Leistungsfähigkeit verringert.

Die Lungenfunktionsänderungen werden allgemein als reversibel angesehen. Über strukturelle und morphologische Veränderungen bei akuter Exposition gegenüber Ozon in der Lunge ist beim Menschen im Gegensatz zum Tier nichts bekannt.

Bei wiederholter täglicher Exposition gegenüber niedrigen Ozonkonzentrationen ist die Wirkung am 2. Tag am stärksten, nimmt dann ab bis zum 5. Tag, wo praktisch keine Effekte mehr meßbar sind (Adaptation).

Zu den Wirkungen auf andere Organe liegen am Menschen keine Untersuchungen vor. Lediglich Effekte auf das Immunsystem sind beim Menschen bekannt. Tierversuche zeigten, daß erst bei relativ hohen Konzentrationen ($> 1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) Effekte auf andere Organe als Augen und Atemwege auftreten. Man kann davon ausgehen, daß bei den sehr viel niedrigeren Konzentrationen, denen Arbeiter ausgesetzt sind, Effekte auf andere Organe nicht auftreten.

Ozon hat ein eindeutig genotoxisches Potential. Es ist in fast allen bekannten In-vitro-Testsystemen mutagen. Auch nach Exposition von Tieren in vivo ist ein genotoxisches Potential von Ozon nachweisbar. Allerdings überwiegen hier negative Befunde, obwohl zum Teil sehr hohe Konzentrationen eingesetzt wurden. Die In-vivo-Befunde beim Menschen sind bisher nicht interpretierbar.

Epidemiologisch gibt es bisher keine Hinweise, daß Ozon beim Menschen Krebs verursacht. Aufgrund von Tierversuchen wurde Ozon durch die Senatskommis-

sion zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft als „Stoff mit begründetem Verdacht auf krebserzeugendes Potential“ eingestuft. Durch die bisherigen Untersuchungen ist die Existenz einer Wirkschwelle wahrscheinlich. Die Höhe dieser Schwellenkonzentration kann derzeit noch nicht konkretisiert werden. Dies ist auch der Grund dafür, daß die MAK-Kommission den MAK-Wert für Ozon ausgesetzt hat. Erst wenn der Wirkungsmechanismus aufgeklärt ist und entsprechende Dosis-Wirkungs-Beziehungen im unteren Konzentrationsbereich für Ozon vorliegen, kann ein Grenzwert für den Arbeitsplatz wissenschaftlich begründet werden.

Wenngleich die Risikorate im Vergleich zu dem durch das Zigarettenrauchen verursachten Lungenkrebsrisiko verschwindend gering ist, ergibt sich hier doch weiterer Forschungsbedarf.

4.2 Arbeitsmedizinische Aspekte der Ozonexposition [6]

Während mit moderner Technologie Ozonquellen gut beherrscht werden und akut gefährliche Belastungen kaum mehr auftreten, bleiben insbesondere für Arbeitsplätze im Freien die chronischen Wirkungen niedriger Konzentrationen bzw. die Wirkungen wiederholter kurz-

Ozon und Arbeitsschutz — Zusammenfassung und Vorschläge für die weitere Vorgehensweise

zeitiger Belastungen mittlerer Intensität problematisch. Der Kenntnisstand hierzu ist bis heute defizitär. Hauptursachen hierfür sind vermutlich zum einen die Einschätzung, daß diese chronischen irritativen Wirkungen vergleichsweise harmlos, also akzeptabel seien, zum anderen die Schwierigkeiten der Durchführung von Langzeitversuchen bzw. von epidemiologischen Analysen im Falle von Langzeiteinwirkungen niedriger Konzentrationen.

Subjektiv werden die irritativ-toxischen Wirkungen von Ozon wahrgenommen in Form von:

1. Reizempfindungen an Augen, Schleimhäuten und im Nasen-Rachen-Raum
2. Heiserkeit
3. Husten
4. Beklemmungen hinter dem Brustbein
5. Verminderung der körperlichen Leistungsfähigkeit

Objektiv werden als Korrelate dieser irritativ-toxischen Effekte gefunden:

1. Membranschädigungen der die Atemwege auskleidenden Zellen (einschließlich konsekutiver Freisetzung von Mediatoren wie Leukotrienen und Prostaglandinen)

2. die entzündliche Infiltration der Nasen- und Bronchialschleimhäute sowie Alveolarwände

3. Steigerung der bronchialen Reaktivität

4. die Erhöhung des bronchialen Widerstandes mit Senkung der Atemflußgeschwindigkeiten und Atemvolumina

5. die in Form der Wattleistung meßbare Minderung der körperlichen Leistungsfähigkeit

6. Senkung der Schwelle für allergische Reaktionen

Ob einzelne subjektive Empfindungen (z.B. Tränenfluß, Hustenreiz) bis zu einem gewissen Grade hingegenommen werden können, ist keine Frage der medizinischen Kompetenz und Entscheidung. Unverzichtbar ist die ärztliche Erfahrung jedoch bei objektiv meßbaren Veränderungen.

Als Gradmesser für die Ozoneinwirkung bietet sich die Lungenfunktionsprüfung an. Eine Verminderung der Lungenvolumina um 10 %, die als klinisch relevant betrachtet wird, ist für den Betroffenen subjektiv oft noch nicht merkbar. Die Schwelle der Empfindung von Atemnot liegt im akuten Versuch bei einer Minderung der Lungenvolumina um 15 bis 20 %. Dagegen wird bei langsamer chronischer Einschränkung der Lungen-

funktion diese Minderung oft nicht wahrgenommen. Trotzdem besteht kein Zweifel, daß eine andauernde und zunehmende Minderung des Lungenvolumens um diesen Betrag eine Behinderung des Gasaustausches, eine Belastung des rechten Herzens, der gesamten körperlichen Leistungsfähigkeit und bei jahrzehntelangem Verlauf auch eine Verkürzung der Lebenserwartung bedeutet.

Auch die Minderung der Schwelle für die Auslösung allergischer Reaktionen im Sinne von Asthmaanfällen stellt für die davon Betroffenen eine erhebliche Beeinträchtigung des Befindens und der Leistungsfähigkeit dar.

Die zuerst genannten Effekte wie Zellmembranschädigung, Freisetzung von Mediatoren und entzündliche Infiltrationen der Schleimhäute sind, obwohl im arbeitsmedizinischen Alltag noch nicht meßbar, ebenfalls unter die nicht akzeptablen Phänomene einzuordnen.

Zur Frage, bei welchen Konzentrationen diese nicht akzeptablen chronisch-irritativen Wirkungen von Ozon feststellbar sind, gibt es keine epidemiologischen Langzeitstudien aus der Arbeitsmedizin. Sie scheinen auch unrealistisch, weil an derartigen Arbeitsplätzen meist Mischexpositionen mit anderen irritativ-toxisch wirkenden Stoffen wie Metalloxiden,

nitrosen Gasen oder Stäuben unterschiedlicher Art vorliegen.

Auch aus neueren experimentellen Untersuchungen ist ein No-effect-level wegen des Fehlens von Langzeitversuchen mit sehr niedrigen Belastungen noch nicht ableitbar. Zusätzlich wird das Problem dadurch kompliziert, daß etwa 10 bis maximal 20 % der Bevölkerung sehr stark auf Ozonbelastungen reagieren. Diese besondere Reaktionsfähigkeit ist nicht durch Vorkrankheiten bestimmt, ohne Testung nicht vorherzusagen, aber gut reproduzierbar. Ob tatsächlich eine Zweiteilung der Bevölkerung in sogenannte Responder und Non-Responder vorliegt oder ob ein breites Kontinuum unterschiedlicher Reaktionsbereitschaft dies nur vortäuscht, ist bisher nicht geklärt. Es sind also noch weitere Meßprogramme mit genügend großen Kohorten über einen längeren Zeitraum notwendig.

Auch die bereits erwähnten Adaptationsphänomene machen eine Festlegung auf einen bestimmten Grenzwert zur Auslösung von Maßnahmen oder Verhaltensweisen sehr schwer. Außerdem bleiben entzündliche Reaktionen und die Steigerung der bronchialen Reaktivität offenbar auch nach Abschwächung der direkten obstruktiven Wirkung erhalten, so daß aus ärztlicher Sicht diese Anpassung an die Ozonbelastung als nur

Ozon und Arbeitsschutz – Zusammenfassung und Vorschläge für die weitere Vorgehensweise

scheinbar günstig und über pathologische Vorgänge in der Schleimhaut hinwegtäuschend interpretiert werden muß und deshalb nicht im Sinne einer Entwarnung bezüglich möglicher Schädigung verstanden werden sollte.

Der bisher gültige Grenzwert von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ verhindert nicht alle relevanten klinischen Effekte im Hinblick auf chronische Wirkungen niedriger Konzentrationen über Schichtdauer und das gesamte Arbeitsleben. Unter Berücksichtigung neuer experimenteller und epidemiologischer Daten müßte ein solcher Grenzwert, der jegliche Gesundheitsbeeinträchtigung sicher verhütet, unterhalb $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Acht-Stunden-Wert liegen.

Da derartige Konzentrationen in Deutschland an Arbeitsplätzen im Freien durchaus erreicht werden, sind Maßnahmen des Arbeitsschutzes erforderlich. Das Ozongesetz legt als Handlungsindikationen Ozonkonzentrationen von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Mittelwert über eine Stunde fest. Die entsprechenden Schichtmittelwerte liegen noch deutlich darunter. Für die Mehrheit der Bevölkerung besteht bei Einhaltung dieser Grenzen auch bei körperlicher Arbeit kein klinisch relevantes Risiko. Für einzelne Arbeitnehmer wird jedoch die Schwelle des klinisch Relevanten überschritten. Für solche Menschen

können zusätzliche Maßnahmen erforderlich werden.

4.3 Ozon als Problem bestimmter Personengruppen? [5, 7]

Es gibt praktisch keine Präferenz der Effekte auf die Lunge für Raucher, ältere Erwachsene, Asthmapatienten und Patienten mit Lungenerkrankungen. Die einzige Ausnahme sind Patienten mit allergischer Rhinitis, die eine höhere Empfindlichkeit gegenüber Ozon bezüglich der Lungenfunktionsänderungen haben. Raucher, die sechs Monate das Rauchen eingestellt hatten, waren weniger empfindlich gegenüber den Lungenfunktionsänderungen von Ozon. Frauen scheinen etwas empfindlicher gegenüber den durch Ozon bedingten Lungenfunktionsänderungen zu sein.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens sind die Lungenfunktionen bei erhöhter Ozonbelastung von Senioren, jugendlichen Asthmatikern, Waldarbeitern, Sportlern und Büroangestellten gemessen worden:

Die Ergebnisse deuten darauf hin, daß Senioren und gesunde Sportler nicht als spezielle Risikogruppen bezüglich Lungenfunktionsverminderungen und ozonbedingten Reizerscheinungen anzusehen sind.

Die nahezu ausschließlich bronchial-obstruktiven Reaktionen der Waldarbeiter und Büroangestellten sprechen gegen einen reinen Ozoneffekt, da dieser in der Regel auch zu einer restriktiven Ventilationsstörung führt. Außerdem waren die Waldarbeiter und vor allem die Büroangestellten von allen Kollektiven den geringsten Ozonkonzentrationen ausgesetzt.

Das Ausmaß der Reaktionen bei jugendlichen Asthmatikern war sehr gering, so daß nicht von einer klinischen Relevanz gesprochen werden kann.

In allen Kollektiven, auch in jenen mit im Mittel stark reagierenden Personen, gab es Probanden, deren Lungenfunktion an den Ozontagen besser war als an den Kontrolltagen. Die Ozonproblematik ist daher nicht als Problematik von „betroffenen Bevölkerungsgruppen“, sondern, wenn überhaupt, von Individuen zu sehen.

5 Ozonexposition in bestimmten Arbeitsbereichen

5.1 Ozon bei Arbeiten im Baugewerbe [8 bis 12]

Im Baugewerbe gibt es zahlreiche Arbeitsplätze im Freien, z.B. bei Maurer-, Zimmerer-, Dachdecker- oder

Straßenarbeiten, die von hohen Ozonkonzentrationen direkt betroffen sind. Um die Belastungssituation der im Freien Beschäftigten richtig einschätzen zu können, muß man folgendes berücksichtigen:

Beschäftigte auf Baustellen sind neben Ozon auch Dieselabgasen, Benzol und anderen Kraftstoff-Bestandteilen, Staub sowie weiteren gesundheitsschädlichen Stoffen ausgesetzt.

Weitere Belastungsfaktoren sind z.B. Hitze, UV-Strahlung, Arbeitsschwere, Zwangshaltungen und Lärm.

Bei hohen Temperaturen und schwerer körperlicher Arbeit ist die Atemfrequenz um ein Mehrfaches erhöht gegenüber normalen Bedingungen, so daß auch eine höhere Ozonmenge aufgenommen wird.

Auch während des Ganges bzw. der Fahrt zur Arbeit wird Ozon eingeatmet, so daß die tatsächliche Expositionszeit länger sein kann als die Arbeitszeit.

Ein Meßprogramm der Berufsgenossenschaften der Bauwirtschaft hat nunmehr gezeigt, daß es in verschiedenen bauspezifischen Arbeitsbereichen Ozonsenken gibt. Ziel der Messungen waren nicht die Absolutwerte der Ozonkonzentrationen, sondern das Verhältnis der Ozonkonzentrationen im Baustellen-

Ozon und Arbeitsschutz — Zusammenfassung und Vorschläge für die weitere Vorgehensweise

bereich und in der Umgebung. Die Messungen erbrachten die folgenden, teilweise überraschenden Ergebnisse:

Die von den Bau-Berufsgenossenschaften durchgeführten Messungen auf Baustellen haben gezeigt, daß Ozonkonzentrationen maximal um 10 % von den vom zuständigen Landesamt veröffentlichten Konzentrationen abweichen. Auch auf der obersten Geschoßdecke ist die Ozonkonzentration praktisch identisch mit der im bodennahen Bereich des Gebäudes. Dieses Ergebnis widerlegt das vielfach vorgebrachte Argument, die von den amtlichen Meßstellen bekanntgegebenen Ozonkonzentrationen könnten nicht auf Baustellen übertragen werden.

Allerdings gibt es verschiedene Bereiche auf Baustellen, in denen wesentlich geringere Ozonkonzentrationen auftreten:

1. In geschlossenen Innenräumen sinkt die Ozonkonzentration nach Schließen der Fenster innerhalb einer Stunde auf weniger als 1/10 des Ausgangswertes ab. Aufgrund der fehlenden UV-Strahlung kann sich kein Ozon bilden, während vorhandenes Ozon an Wänden oder Staubteilchen zerfällt.

2. In offenen Rohbauten, bei denen Türen und Fenster noch nicht eingesetzt

sind, kann sich ebenfalls kein Ozon bilden. Einzige Quelle ist das aufgrund der Luftzirkulation durch die Gebäudeöffnungen herangeführte Ozon. Es stellen sich Ozonkonzentrationen von 50 bis 75 % des Außenwertes ein.

3. Durch die auf der Baustelle vorhandenen Stäube und andere Schadstoffe wird Ozon zersetzt. Bei Arbeiten mit Staubemissionen, z.B. Kreissägearbeiten, sinkt die Ozonkonzentration innerhalb weniger Minuten um ca. 30 % ab.

Die Untersuchungen der Tiefbau-Berufsgenossenschaft haben weitere, teilweise überraschende Ergebnisse zu Ozonsenken in bestimmten Baustellenbereichen erbracht:

4. In Baugruben nahm die Ozonkonzentration mit zunehmender Tiefe ab. Die Gründe dürften im vermehrten Ozonabbau an den Wänden und im behinderten Luftaustausch mit der Außenluft liegen.

5. Im allseitig offenen Platz des Maschinenführers von Schwarzdeckenfertigern betragen die Ozonkonzentrationen 32 bis 56 % des Ozongehaltes in der Umgebung. Vorbeifahrende Kraftfahrzeuge verursachten eine erhebliche, aber kurzzeitige Absenkung der Ozonkonzentration.

6. Im Führerhaus von Lastkraftwagen traten auch bei geöffnetem Fenster wesentlich geringere Ozonkonzentrationen als in der Umgebungsluft auf. Das Ergebnis ist sicher auch auf Führerhäuser von Baumaschinen, z.B. Baggern, Raupen u.a., übertragbar. Bei Fahrten in einer LKW-Kolonnen traten geringere Umgebungs-Ozonkonzentrationen auf, als bei Fahrten auf der freien Autobahn.

Diese Ergebnisse belegen, daß an einer Reihe konkret benennbarer Arbeitsplätze auf Baustellen die Ozonkonzentrationen weit unter den Werten der amtlichen Meßstellen liegen. Für diese Arbeitsplätze könnten entsprechende BIA/BG-Empfehlungen erarbeitet werden. Die Zahl der Arbeitsplätze, die Ozonkonzentrationen entsprechend den Werten der amtlichen Meßstellen ausgesetzt sind, verringert sich damit deutlich. Die Arbeitsplätze der im Freien arbeitenden Maurer, Zimmerleute und Dachdecker gehören sicher dazu. Durch gezielte Meßprogramme sollten die Lungenfunktionen dieser Beschäftigten in Abhängigkeit von der Ozonkonzentration der Umgebung bestimmt werden. Im Ergebnis dieser Messungen könnte besser beurteilt werden, welche Schutzmaßnahmen erforderlich sind. Keinesfalls ist der Aufwand regelmäßiger Ozonmessungen auf Baustellen zu vertreten.

5.2 Ozon beim Schweißen [13 bis 17]

Die Ozonemission beim Schweißen ist von folgenden Einflußfaktoren abhängig:

- Verfahren (z.B. MAG¹-, MIG²-, WIG³-Schweißen)
- Werkstoffe (z.B. Aluminium, AlMg- und AlSi-Legierungen, Chrom-Nickel-Stahl)
- Schutzgase (z.B. Argon, Helium)

Die Ozonimmission ist darüber hinaus abhängig von

- der Entfernung vom Lichtbogen
- den anderen vorhandenen Stoffen (Gase, Partikeln)
- den vorhandenen Schutzeinrichtungen

Beim Metall-Aktivgasschweißen und beim Wolfram-Inertgasschweißen treten nur geringe Ozonmengen auf. Beispielsweise wurden beim MAG-Schweißen Werte von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (unlegierter Stahl) oder $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Chrom-Nickel-Stahl) gefunden. Beim WIG-Schweißen treten im Atembereich des Schweißers Ozonkonzentrationen um $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (AlMg_{4,5}Mn) oder $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Chrom-Nickel-Stahl) auf.

¹) MAG = Metall-Aktivgasschweißen

²) MIG = Metall-Inertgasschweißen

³) WIG = Wolfram-Inertgasschweißen

Ozon und Arbeitsschutz — Zusammenfassung und Vorschläge für die weitere Vorgehensweise

Im Einzelfall werden Ozonkonzentrationen bis zu 60 % von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen. Die entsprechenden Schichtmittelwerte liegen viel niedriger, Überschreitungen des Schichtmittelwertes von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sind in der Regel nicht zu befürchten. Kurzzeitige Überschreitungen sind jedoch in besonderen Situationen (z.B. Schweißen in engen Räumen) möglich.

Beim Metall-Inertgasschweißen führen höhere Stromstärken als beim Wolfram-Inertgasschweißen zur Bildung größerer Ozonmengen, was speziell beim Schweißen mit Aluminium oder Aluminiumlegierungen (besonders mit AlSi5) zu hohen Ozonimmissionen im Atembereich des Schweißers führen kann.

Bei allen Lichtbogenschweißverfahren nimmt die Ozonkonzentration mit der Entfernung vom Lichtbogen stark ab. So wurden beim WIG-Schweißen von Rein-Aluminium (150 A, 7 l/min Argon) in 15 cm Entfernung vom Lichtbogen $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen, in 25 cm Entfernung noch $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und in 40 cm Entfernung $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Die Variation des Schutzgases führt in der Regel nur zu geringen Änderungen der Ozonkonzentration im Atembereich des Schweißers. Der Einsatz von NO-haltigem Schutzgas bewirkt in den meisten Fällen keine nennenswerten Ozon-

reduzierung. In einigen Fällen wurden im Atembereich des Schweißers sogar höhere Ozonkonzentrationen bei Verwendung von NO-haltigem Schutzgas im Vergleich zu NO-freiem Schutzgas festgestellt. Das Schutzgas kann nur die Ozonemission in Lichtbogennähe beeinflussen, nicht aber das durch die ausgesandte UV-Strahlung gebildete Ozon. Beispielsweise bewirkt ein Schutzgasgemisch aus 92,5 % Argon und 7,5 % Wasserstoff eine deutliche Ozonabsenkung im lichtbogennahen Bereich, nicht aber im Atembereich des Schweißers.

Überhöhte Schutzgasmengen können zu einem starken Anstieg der Ozonemission führen.

Bezüglich der Einhaltung eines Schichtmittelwertes von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ist also vor allem das MIG-Schweißen mit Aluminium- oder AlSi5-Elektroden problematisch. Bei diesem Verfahren sind Schutzmaßnahmen unbedingt erforderlich.

Für die Gesamtumweltbilanz sind die beim Schweißen freigesetzten Ozonmengen unproblematisch. Zu beachten ist jedoch der Sonderfall des Schweißens im Freien bei hohen Umweltozonkonzentrationen. Hier addieren sich die Konzentrationen von umweltbedingt und schweißprozeßbedingt entstandenem Ozon, so daß auch beim MAG- oder

WIG-Schweißen die Gefahr der Überschreitung des Schichtmittelwertes von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ besteht.

5.3 Ozon bei der Metallbearbeitung mit Laser [18]

Beim Schneiden von Metallen mit Laser treten eher niedrigere Prozeßtemperaturen auf, und es entsteht nur wenig Ozon.

Dagegen führt das Schweißen von Metallen mit Laser aufgrund höherer Temperaturen zu erhöhter Ozonbildung. Besonders beim Schweißen verzinkter Stahlbleche ist mit starker UV-Strahlung und somit Ozonbildung zu rechnen.

Wesentlichen Einfluß auf die Menge des gebildeten Ozons hat die Art des Lasers. Während die Bearbeitung mit dem Festkörperlaser mit Leistungen von wenigen hundert Watt keine nennenswerten Ozonkonzentrationen verursacht, ist bei der Bearbeitung mit Hochleistungs- CO_2 -Lasern und Verwendung dickerer Werkstücke mit deutlich bestimmbar Konzentrationen im Bereich bis $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zu rechnen.

5.4 Ozon bei der UV-Trocknung [19]

UV-trocknende Offset-Druckfarben enthalten vopolymerisierte Kunststoffe und

Photoinitiatoren. Durch UV-Strahlen wird eine Photopolymerisation ausgelöst, durch die die Farbe in kurzer Zeit härtet. In der Fachsprache der Drucker wird diese Härtung als Trocknung bezeichnet.

Die schnelle Trocknung hat eine Reihe produktionstechnischer Vorteile, z.B. direkte Weiterverarbeitung, hoher Glanz, hohe Scheuerfestigkeit. Die Umwelt wird weniger belastet als durch herkömmliche Offset-Druckfarben.

Für die Photopolymerisation ist besonders der Anteil des Lichts unter 300 nm wirksam, also die energiereiche UV-Strahlung, die auch die Ozonbildung begünstigt.

Daher werden folgende Forderungen an UV-Trockner gestellt:

Das unter Einwirkung der energiereichen Strahlung entstehende Ozon muß an der Entstehungsstelle abgesaugt werden können, oder die Anlage muß so konzipiert sein, daß kein Ozon in gesundheitsgefährdendem Maße austreten kann.

Die Absaugung für Ozon muß so beschaffen sein, daß ein Betreiben des Strahlers nur bei laufender Absaugung möglich ist. Nach Abschalten des Strahlers bzw. bei Ausfall muß die Absaugung einen ausreichenden Nachlauf haben.

Ozon und Arbeitsschutz – Zusammenfassung und Vorschläge für die weitere Vorgehensweise

□ Bei Ausfall der Absaugung für Ozon muß der Polymerisationsdurchlauftrockner so lange weiterlaufen, bis das in der Maschine befindliche bedruckte bzw. beschichtete Material getrocknet ist. Zusätzlich müssen folgende technische Maßnahmen zwangsläufig erfolgen:

– An Bogenmaschinen muß der Anleger sofort abgestellt werden.

– An Rollenmaschinen müssen die Farb- und Beschichtungswerke sofort und der Polymerisationsdurchlauftrockner dann abgestellt werden, wenn das bedruckte bzw. beschichtete Material den Polymerisationsdurchlauftrockner verlassen hat.

Beim bestimmungsgemäßen Betreiben von Anlagen, die den Anforderungen entsprechen, treten in den Arbeits- und Verkehrsbereichen keine gesundheitsgefährlichen Ozonkonzentrationen auf. Die in diesen Bereichen gemessenen Werte liegen etwa bei $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

5.5 Ozon beim Einsatz von Druckern und Kopierern [20]

Fotokopiergeräte, Laserdrucker und manche FAX-Geräte emittieren Ozon, das aus Sauerstoff durch Hochspannung über eine stille elektrische Entladung gebildet wird. Die Ozonbildung findet nicht im Standby-Betrieb, sondern nur wäh-

rend des Druck- bzw. Kopiervorganges statt. Während der MAK-Wert im allgemeinen nicht überschritten wird, können bei Personen, die gegen Ozon empfindlich sind, Augenreizungen oder Augenentzündungen durch die Abluft dieser Geräte hervorgerufen werden.

Die Ozonemission hängt entscheidend von der Gerätetechnologie ab. Hohe Werte ($2000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ am Lüfterausgang) wurden nicht nur bei älteren Geräten festgestellt, sondern auch bei neueren. Gute moderne Geräte geben Ozonmengen weit unter $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ab. Die in den Arbeitsraum abgegebenen Absolutmengen Ozon pro Kopie reichen von $1 \mu\text{g}$ bis zu einigen hundert. Der Ozonausstoß hängt nicht von der Druckdichte ab.

Bei ununterbrochenem Kopier- bzw. Druckvorgang stellt sich im geschlossenen Raum eine Gleichgewichts-Ozonkonzentration ein, deren Höhe man bei bekannter Emissionsrate des Gerätes mit Hilfe einer Differentialgleichung vorausberechnen kann (worst case).

Bei den meisten heute eingesetzten Geräten wird die Ozonemission durch Ozonfilter reduziert. Leider gibt es große Unterschiede in der Filterwirksamkeit, die von „praktisch unwirksam“ bis zu „nahezu vollständiger Ozonreduktion“ reichen.

Durch geeignete konstruktive Vorkehrungen und Justage kann die Ozonbildung gering gehalten werden. Es gibt jedoch auch neue Technologien, mit denen beim Druckvorgang praktisch kein Ozon freigesetzt wird und somit auch auf Filter verzichtet werden kann.

Was kann man tun? Bei Geräten mit ozonemittierender Technologie ohne Ozonfilter kann der nachträgliche Einbau eines Ozonfilters geprüft werden. Ist das nicht möglich, sollten diese Geräte aus dem unmittelbaren Bereich von ständigen Arbeitsplätzen entfernt werden. Bei Geräten mit Ozonfiltern sind die Empfehlungen über den Filtertausch unbedingt zu beachten. Wartungsverträge sollten dahingehend überprüft werden, ob der Ozonfiltertausch inbegriffen ist. Auf keinen Fall darf das Ozonfilter weggelassen werden. Längere Kopierarbeiten sollten in kleineren Intervallen erledigt werden, um eine mögliche Überschreitung des Grenzwertes zu verhindern.

Geräte mit einer Emissionskonzentration über $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. einer Emissionsrate über $20 \mu\text{g}$ Ozon pro A4-Kopie entsprechen nicht mehr dem Stand der Technik.

Langfristig sollte der Ersatz ozonemittierender Geräte durch Geräte mit neuer, nahezu ozonfreier Technologie vorgesehen werden.

6 Vorschriften und Regeln

6.1 Vorschriften und Regeln im Umweltbereich [21]

Ozon-Gesetz

Mit dem Gesetz zur Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes vom 19. Juli 1995 (BGBl. I S. 930) trat die bundeseinheitliche Sommersmog-Regelung am 26. Juli 1995 in Kraft.

Diese sieht tageweise Fahrverbote ab 6 Uhr für hoch emittierende Kraftfahrzeuge vor, wenn am Vortage an mindestens drei Meßstationen im Bundesgebiet, die mehr als 50 km und weniger als 250 km voneinander entfernt sind, ein Stundenmittelwert von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erreicht wurde und dieser Wert auch am Tag des Fahrverbotes im Bereich dieser Meßstationen zu erwarten ist.

Ferner sieht das Gesetz bei Erreichen des Schwellenwertes von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ den Appell an die Bevölkerung vor, Kraftfahrzeuge, aber auch Motorboote, motorbetriebene Rasenmäher und andere Verbrennungsmotoren im nicht gewerblichen Bereich nach Möglichkeit nicht zu benutzen.

Das Ozon-Gesetz sieht grundsätzlich zwei unterschiedliche Ausnahmeannten vom Fahrverbot vor: Ausnahmen für Kraftfahrzeuge mit geringem Schadstoff-

Ozon und Arbeitsschutz — Zusammenfassung und Vorschläge für die weitere Vorgehensweise

ausstoß und Ausnahmen für Fahrten zu besonderen Zwecken. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit zur Erteilung von Ausnahmen in besonderen Einzelfällen.

Mehrere Bundesländer haben 1993/94 Rechtsverordnungen erlassen, die im wesentlichen Tempolimits bei erhöhten Ozonkonzentrationen vorsahen. Durch das Ozon-Gesetz wurden diese Verordnungen außer Kraft gesetzt.

VDI-Richtlinien über maximale Immissionskonzentrationen für Ozon

Maximale Immissionswerte zum Schutz des Menschen

Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) hat in der VDI-Richtlinie 2310 Blatt 15 vom April 1987 als maximale Immissions-Konzentration für Ozon zum Schutze des Menschen den Kurzzeitwert (MIK) von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Mittelwert über eine halbe Stunde) festgelegt. Im Falle von Überschreitungen bis zu $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für einen kurzen Zeitraum von bis zu einer halben Stunde ist nicht mit einem nennenswerten Risiko zu rechnen. Eine solche Überschreitung sollte jedoch nicht häufiger als einmal pro Woche vorkommen.

Maximale Immissionswerte zum Schutz der Vegetation

Die VDI-Richtlinie 2310 Blatt 6 vom April 1989 schlägt MIK-Werte für Ozon als Einzelkomponente zum Schutz der Vegetation für verschiedene Einwirkungsdauer sowie für unterschiedliche Resistenzgrade der Pflanzen vor. So liegt z.B. der MIK-Wert bei einer achtstündigen Exposition für sehr empfindliche Pflanzen bei dem extrem niedrigen Wert von $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

EG-Richtlinie über die Luftverschmutzung durch Ozon

Die Richtlinie 92/72/EWG des Rates der Europäischen Gemeinschaften vom 21. September 1992 über die Luftverschmutzung durch Ozon legt erstmals EU-einheitlich Schwellenwerte fest:

- Der Schwellenwert für den Gesundheitsschutz $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Mittelwert über acht Stunden) sollte nicht über längere Zeiträume überschritten werden
- Schwellenwerte für den Schutz der Vegetation $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Mittelwert über eine Stunde) und $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Mittelwert über 24 Stunden)
- Schwellenwert für die Unterrichtung der Bevölkerung: $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Mittelwert während eine Stunde)

□ Schwellenwert für die Auslösung des Warnsystems: $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Mittelwert während eine Stunde)

Die EG fordert in dieser Richtlinie keine beschränkenden Maßnahmen, wenn der Schwellenwert für den Gesundheitsschutz oder ein Schwellenwert für den Schutz der Vegetation überschritten ist.

Durch die 22. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) ist die Ozon-Richtlinie ebenso wie die anderen Luftreinhaltungsrichtlinien in deutsches Recht umgesetzt worden (26. Oktober 1993, BGBl. I, S. 1819, geändert am 27. Mai 1994, BGBl. I, S. 1095).

EG-Richtlinie, betreffend die Beurteilung und Kontrolle der Luftqualität (Entwurf)

Diese Richtlinie legt die Rahmenbedingungen zur Überarbeitung der bestehenden Luftreinhaltungsrichtlinien (SO_2 , Schwebstaub, Blei, NO_2 , Ozon) sowie bei der Erstellung neuer Richtlinien (Benzol, PAH, CO, Cadmium, Arsen, Nickel, Quecksilber) fest.

Die Rahmenrichtlinie läßt für Ozon offen, ob nur Zielwerte festgelegt werden sollen oder auch Grenzwerte, bei deren Überschreiten Maßnahmen zu ergreifen sind. Einen ersten Bericht zur Ozonpro-

blematik wird die Kommission 1998 vorlegen. Die Bundesregierung hat die Kommission gebeten, diesen Bericht vor dem Hintergrund der anhaltenden Diskussionen um das bodennahe Ozon und die grenzüberschreitenden Schadstoffströme möglichst bereits im nächsten Jahr fertigzustellen.

6.2 Vorschriften und Regeln im Arbeitsschutzbereich [22]

Im Arbeitsschutzbereich ist grundsätzlich zu unterscheiden, ob Ozoneinwirkungen beim Umgang mit Gefahrstoffen auftreten oder ob der Beschäftigte umweltbedingt entstandenem Ozon ausgesetzt ist.

Ein Umgang liegt vor, wenn Ozon als Ziel- oder Zwischenprodukt hergestellt, weiterverarbeitet oder eingesetzt wird, aber auch, wenn Ozon als unerwünschtes Nebenprodukt entsteht (z.B. bei der UV-Trocknung, beim Kopieren, beim Schweißen). Auf diese Fälle sind die Bestimmungen der Gefahrstoffverordnung, der Technischen Regeln für Gefahrstoffe und der Unfallverhütungsvorschriften anzuwenden.

Bei der Einwirkung von umweltbedingt entstandenem Ozon handelt es sich nicht um einen Umgang mit Gefahrstoffen, so daß weder die Regelungen der Gefahrstoffverordnung noch der Tech-

Ozon und Arbeitsschutz — Zusammenfassung und Vorschläge für die weitere Vorgehensweise

nischen Regeln für Gefahrstoffe zutreffen.

§ 42 der Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) schreibt u.a. vor, ortsgebundene Arbeitsplätze im Freien im Rahmen der betrieblichen Möglichkeiten so einzurichten und auszustatten, daß Arbeitnehmer vor unzuträglichen Gasen geschützt sind. Abgesehen davon, daß die Arbeitsstättenverordnung nicht für alle Arbeitnehmer gilt, wäre es dem Arbeitgeber gar nicht möglich, diese Forderung bei hohen Ozonkonzentrationen zu erfüllen, da z.B. ganze Baustellen eingehaust werden müßten. Dasselbe gilt für § 18 der Unfallverhütungsvorschrift „Allgemeine Vorschriften“ (VBG 1), der besagt, daß Arbeitsplätze so eingerichtet und beschaffen sein und so erhalten werden müssen, daß sie ein sicheres Arbeiten ermöglichen, wobei insbesondere u.a. schädliche Umwelteinflüsse ferngehalten werden sollen. Die Forderung ist bei hohen Ozonkonzentrationen in der Umwelt praktisch nicht zu erfüllen. Auch andere Bestimmungen der VBG 1 wie z.B. § 45 „Gesundheitsgefahren“ treffen schon von ihrer Formulierung her eindeutig nicht auf umweltbedingtes Ozon zu.

§ 120a der Gewerbeordnung verpflichtet den Gewerbeunternehmer, den Betrieb so zu regeln, daß die Arbeitnehmer gegen Gefahren für Leben und Gesund-

heit so weit geschützt sind, wie es die Natur des Betriebes gestattet. Das Bundesarbeitsgericht hat jedoch entschieden, daß hier nur solche Regelungen gemeint sind, die zum Schutz vor unmittelbar aus Arbeitsräumen, Betriebsvorrichtungen, Maschinen und Gerätschaften drohenden Gefahren dienen, also ähnlich wie beim Umgang mit Gefahrstoffen in der Gefahrstoffverordnung.

Es gibt also derzeit keine Vorschriften oder Regelungen, die den Arbeitgeber verpflichten, bei umweltbedingten hohen Ozonkonzentrationen Arbeitsschutzmaßnahmen einzuleiten. Der derzeitige Grenzwert nach TRGS 900 von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (der übrigens vorerst weiterhin gilt, obwohl die MAK-Kommission die Aussetzung dieses Wertes beschlossen hat), ist demzufolge nur einzuhalten, wenn Ozon durch das jeweilige Verfahren entsteht. Der Fall des gleichzeitigen Auftretens von prozeß- und umweltbedingtem Ozon ist nicht geregelt. Das betrifft z.B. Schweißarbeiten im Freien bei hohen Ozonkonzentrationen. Nach unserer Meinung ist auch hier der MAK-Wert einzuhalten. Das bedeutet, daß bei umweltbedingten hohen Ozonwerten und Freisetzung von zusätzlichem Ozon durch das Schweißverfahren in der Summe der Grenzwert überschritten werden kann, so daß Schutzmaßnahmen erforderlich sind oder das Schweißen evtl. eingestellt werden muß.

7 Schutzmaßnahmen gegen Ozon

7.1 Technische Schutzmaßnahmen

Für prozeßbedingt entstandenes Ozon schreibt die Gefahrstoffverordnung eine bestimmte Reihenfolge der Schutzmaßnahmen vor:

- (1) Arbeitsverfahren so gestalten, daß kein Ozon frei wird
- (2) Absaugung und gefahrlose Entsorgung nach dem Stand der Technik
- (3) Lüftungsmaßnahmen nach dem Stand der Technik
- (4) Anpassung der Sicherheitstechnik an den fortentwickelten Stand der Technik
- (5) Persönliche Schutzmaßnahmen und Beschäftigungsbeschränkungen

Ein Beispiel für (1) ist die Ausrüstung von Laserdruckern und Kopierern mit Ozonfiltern oder die Einführung einer Drucker-technologie, bei der kein Ozon mehr entsteht. Auch bei anderen Verfahren, bei denen sich Ozon aufgrund der Anwesenheit von UV-Licht bildet, scheint eine Reduzierung der Ozonbildung durch Herausfiltern bestimmter Wellenlängen des UV-Lichts möglich zu sein.

Da jedoch ein geschlossenes Arbeitsverfahren nach (1) oft nicht möglich ist, hat die Absaugung und gefahrlose Entsor-

gung einen hohen Stellenwert, vor allem bei Prozessen, bei denen Ozon als unerwünschtes Nebenprodukt entsteht. Ein Beispiel ist die Absaugung in UV-Trocknungsanlagen. Allerdings sollte immer berücksichtigt werden, daß nach (2) auch die gefahrlose Entsorgung nach dem Stand der Technik gefordert wird. Bezogen auf Ozon bedeutet dies, daß die abgesaugte ozonhaltige Luft über ozonzerstörende Filter geleitet und nicht ungefiltert in die Umwelt abgelassen wird.

Beim Schweißen reicht in den meisten Fällen eine Absaugung bzw. Frischluftzufuhr in der Nähe des Atembereiches des Schweißers aus. Lediglich beim MIG-Schweißen mit Aluminium oder Aluminiumlegierungen sind wirkungsvollere Absaugungen und unter Umständen Helm fremdbelüftungen erforderlich.

Für umweltbedingt entstandenes Ozon gilt, wie bereits festgestellt wurde, die Gefahrstoffverordnung nicht. Die genannte Reihenfolge der Schutzmaßnahmen wäre hier auch nicht anwendbar. Mögliche technische Maßnahmen wären Lüftungen mit ozonfreier Luft oder Einhausungen des Arbeitsplatzes. Dies ist jedoch nur in wenigen Ausnahmefällen praktikabel. Mit technischen Maßnahmen sollte primär der Ausstoß an Ozonvorläufersubstanzen verringert werden. Der Schutz der im Freien Beschäftigten

Ozon und Arbeitsschutz – Zusammenfassung und Vorschläge für die weitere Vorgehensweise

vor Umweltozon ist durch technische Maßnahmen kaum möglich.

7.2 Persönliche Schutzmaßnahmen, Atemschutzgeräte [23]

Zum Schutz gegen hohe Ozonkonzentrationen können Filtergeräte gegen Gase und Dämpfe verwendet werden. Das BIA hat im Rahmen von Orientierungsprüfungen verschiedene Filtertypen auf ihre Filterwirksamkeit gegenüber Ozon untersucht:

- Aktivkohle, behandelt oder unbehandelt, sowie Hopkalit erzielten sehr gute Ergebnisse.
- Ein spezielles Katalysatorfilter zeigte ebenfalls gute Filterwirksamkeit.
- Ein typisches Partikelfilter aus Glasfasermaterial wies nur eine verschwindend geringe Filterwirksamkeit auf.
- Ein Partikelfilter aus elektrisch geladenen Fasern (Elektretfilter) zeigte nur kurzzeitige gute Filtereigenschaften gegenüber Ozon. Durch Ozon wird die elektrostatische Ladung abgebaut. Mit Abnahme der Ladung sinkt die Filterwirksamkeit.

Ein wesentlicher Nachteil der Filtergeräte ist der Atemwiderstand, der je nach Höhe eine erhebliche physische Bela-

stung für den Träger darstellt. Die Einsatzdauer dieser Geräte ist daher beschränkt. Die TRGA 415 „Tragezeitbegrenzung von Atemschutzgeräten ...“ legt Einsatzdauer und Erholungszeiten fest. Weiterhin muß der Träger im Rahmen einer medizinischen Vorsorgeuntersuchung (G 26) seine Atemschutztauglichkeit nachweisen. Um Leckagen auszuschließen, ist der Dichtsitz bei Halb- und Vollmasken zwingend erforderlich. Träger mit Gesichtsanomalien wie Narben oder Barträger sind nicht geeignet. Der Einsatz von Filtergeräten dürfte sich somit auf den Schutz vor kurzzeitigen hohen Ozonkonzentrationen bei prozeßbedingt erzeugtem und nicht bestimmungsgemäß ausgetretenem Ozon beschränken.

Dagegen besitzen Hauben oder Helme mit Filtergebläse als offene Systeme so gut wie keinen Atemwiderstand. Eine Belastung für den Träger besteht nur durch das Gerätegewicht. Durch den ständigen Überschuß an gereinigter Luft werden Leckagen vermieden. Die Schutzwirkung ist auch bei geringerem Dichtsitz gegeben. Als persönliche Schutzmaßnahme gegen Ozon ist ein solcher mit Gebläse ausgerüsteter Schutzhelm denkbar. Die Umgebungsluft wird über ein geeignetes Filter geleitet, gereinigt und in den Atembereich des Beschäftigten geblasen. Der Einsatz geeigneter Kombinationsfilter ermöglicht

gleichzeitig den Atemschutz gegenüber zusätzlichen Luftverunreinigungen wie z.B. Partikeln und/oder Gase und Dämpfe. Orientierungsmessungen des BIA an einem Atemschutzhelm haben unter Verwendung verschiedener Filtertypen zum Teil sehr gute Filterleistungen gegenüber Ozon gezeigt. An heißen, ozonreichen Tagen bietet der Luftstrom außerdem eine angenehme Kühlung, Schweißbildungen werden schnell abgetragen. Zusätzlich sind Kopf und Gesicht geschützt. Die Industrie wird aufgerufen, entsprechende einfache, problemangepaßte Helme zu entwickeln und auf den Markt zu bringen.

Denkbar ist auch der Einsatz von einfachen Atemschutzfiltern in Form von Halbmasken mit dünner Aktivkohleschicht, die in Zeiten hoher Ozonkonzentrationen die Expositionen drastisch zu senken in der Lage sind. Alternativ kommen auch Keramikfilter in Frage. Diese haben den Vorteil eines geringeren Atemwiderstandes.

Partikelfiltrierende Halbmasken als persönliche Schutzmaßnahme gegen Ozon können nicht empfohlen werden. Im BIA durchgeführte Messungen haben gezeigt, daß der Ozonzerfall am Vlies vom elektrostatischen Ladungszustand des Vlieses abhängt. Das Vlies wird durch Ozon entladen und mit zunehmender Entladung wird weniger Ozon zersetzt.

Auch die partikelfiltrierende Wirkung läßt durch diesen Effekt nach. Wahrscheinlich läßt die Filterwirkung gegen Ozon auch mit zunehmender Partikelbelastung nach.

Zur Findung und Umsetzung von geeignetem Atemschutz gegenüber Ozon kann das BIA als akkreditierte und notifizierte Prüfstelle eine Bindegliedfunktion übernehmen. In Zusammenarbeit mit den Herstellern von Atemschutzgeräten und dem Fachausschuß „Persönliche Schutzausrüstungen“ können Anforderungen formuliert und problemorientierte Geräte sowie Prüfgrundlagen entwickelt werden, um dem Anwender die Auswahl eines positiv geprüften Atemschutzgerätes zu ermöglichen.

7.3 Organisatorische Schutzmaßnahmen [24]

Organisatorische Maßnahmen scheinen am besten geeignet, um im Freien Beschäftigte vor hohen Ozonbelastungen zu schützen.

Folgende Maßnahmen sind nach derzeitigem Kenntnisstand denkbar:

1. Verlagerung von Arbeiten in Zeiten geringerer Ozonbelastung:

Aufgrund des typischen Tagesganges der Ozonkonzentration kann eine ge-

Ozon und Arbeitsschutz — Zusammenfassung und Vorschläge für die weitere Vorgehensweise

ringere Ozonbelastung der im Freien Beschäftigten durch Verlagerung von Arbeitszeiten in die Morgenstunden erreicht werden. Dies ist allerdings aufgrund zahlreicher Faktoren (Logistikprobleme, Tarifverträge u.a.) nur in begrenztem Umfang möglich.

2. Geringere Ozonaufnahme durch Verringerung der Atemfrequenz:

Dies läßt sich durch Verlagerung schwerer körperlicher Arbeiten in die Vormittagsstunden erreichen, während nachmittags bei hohen Ozonkonzentrationen leichte Arbeiten (z.B. Wartung, Aufräumen u.a.) erledigt werden. Auch eine Abschattung von Arbeitsplätzen führt durch die geringere Hitzebelastung zu einer geringeren Atemfrequenz und damit zur Verringerung der Ozonaufnahme. Eine weitere Möglichkeit ist die Drosselung des Arbeitstempos.

3. Verlagerung ins Innere von Gebäuden:

Wann immer möglich, sollten bei hohen Ozonkonzentrationen Arbeiten in das Innere von Gebäuden verlagert werden. Auch Pausen sollten in geschlossenen Gebäuden stattfinden. Von selbst versteht sich, daß man bei hohen Ozonwerten in den Pausen und auch nach der Arbeit keine sportlichen oder sonstigen körperlich anstrengenden Tätigkeiten verrichten sollte.

4. Bei umweltbedingten hohen Ozonkonzentrationen sollten ozonerzeugende Tätigkeiten vermieden werden. Das betrifft nicht nur das bereits als problematisch dargestellte MIG-Schweißen von Aluminium oder Aluminiumlegierungen, sondern auch alle anderen Schweißverfahren mit nennenswerter Ozonemission sowie andere Verfahren mit Ozonfreisetzung.

5. Personen, die gegenüber Ozon besonders empfindlich reagieren, sollten sich ärztlich beraten lassen.

Die mitunter vorgeschlagenen zusätzlichen kurzfristigen Pausen scheinen dagegen, abgesehen von der dadurch erreichbaren Minderung der Gesamtdosis, unter Berücksichtigung des Mechanismus der akuten bis chronischen Entzündung in den Schleimhäuten wenig Schutzwirkung mit sich zu bringen.

8 Konzepte für Arbeitsschutzregelungen

Die Beurteilung von Arbeitsplätzen sollte aufgrund der toxikologisch-arbeitsmedizinischen Erfahrungen auf der Basis eines Schichtmittelwertes erfolgen. Die praktischen Gegebenheiten (umweltbedingtes Verbleiben der Ozonkonzentrationen über einzelne Stunden auf hohem Niveau) lassen eine Modifizierung im

Hinblick auf die bisherige Kurzzeitwertkategorie (Kat. I) geraten erscheinen. Es sollte vielmehr eine Mittelwertbildung z.B. über eine Stunde möglich sein. Von seiten der Wirkungsforschung können hierbei allerdings Überschreitungsfaktoren von z.B. 2 nicht mitgetragen werden, wenn dadurch Ein-Stunden-Mittelwerte oberhalb von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ möglich wären.

Am Arbeitsplatz ist zwischen prozeßbedingt und umweltbedingt entstandenem Ozon zu unterscheiden.

Auf prozeßbedingt entstandenes Ozon sind die Bestimmungen der Gefahrstoffverordnung, der nachgeordneten technischen Regeln und der Unfallverhütungsvorschriften anzuwenden. Bei bestimmten Verfahren entsteht prozeßbedingt Ozon als Nebenprodukt (z.B. beim Schweißen, in Laserdruckern und Kopierern, bei der UV-Trocknung in Druckereien). Die dabei entstehenden Ozonmengen können durch technische Maßnahmen wirkungsvoll verringert werden. Typische Emissionswerte auf der Basis standardisierter Verfahren können angegeben werden. Die Bereiche, in denen prozeßbedingt Ozon entsteht, könnten über branchenspezifische Lösungen geregelt werden. Hierbei wird insbesondere an Regeln der Berufsgenossenschaften und der Länder gedacht, in denen der Stand der Technik verschie-

dener Verfahren beschrieben wird (Schweißen, Kopierer, Laserdrucker, UV-Trocknung).

Für den Bereich des Arbeitsschutzes gegenüber umweltbedingt entstandenem Ozon ist kein Gesetz bzw. keine Verordnung geplant. In den Arbeitsbereichen mit überwiegend umweltbedingtem Ozon könnten in dem Maße, wie Kenntnisse über die realen Umfeldbedingungen vorliegen, je nach Umweltkonzentration angemessene Schutzmaßnahmen formuliert werden. Es sollten primär gezielte organisatorische Maßnahmen greifen, möglicherweise auch persönliche Maßnahmen („Atemschutzhelm“).

Im untergesetzlichen Bereich ist die Aufstellung einer MAK im Rahmen der TRGS 900 denkbar, wobei auch den tatsächlichen Umgebungsbedingungen und der technischen Machbarkeit Rechnung getragen werden könnte. Da Ozon wahrscheinlich über eine Wirkungsschwelle verfügt (auch bezüglich seines möglicherweise krebserzeugenden Potentials), sollte die Aufstellung eines derartigen Grenzwertes für Ozon möglich sein. Allerdings sind einerseits weitere Daten zur Konkretisierung der Höhe der Wirkungsschwelle erforderlich, andererseits müßte unter Beteiligung der Sozialpartner festgelegt werden, welche Maßnahmen mit vertretbaren wirtschaftlichen Folgen „technisch machbar“ sind.

Ozon und Arbeitsschutz — Zusammenfassung und Vorschläge für die weitere Vorgehensweise

Die Aufstellung eines derartigen Grenzwertes, der nicht auf ozonerzeugenden Verfahren beruht, muß also politisch gewollt sein. Wünschenswert wäre eine einheitliche europäische Regelung.

Die jeweilige Ermittlung der aktuellen Ozonkonzentration vor Ort würde einen unverhältnismäßig hohen Aufwand erfordern; statt dessen erscheint es in den Phasen mit umweltbedingt hohen Ozonkonzentrationen hilfreich und sinnvoll zu sein, die Daten amtlicher Meßstellen einzubeziehen. Im Rahmen z.B. von BIA/BG-Empfehlungen könnten den Betrieben bei der Ermittlung und Vorhersage von Ozonexpositionen Umrechnungs- und Anwendungshinweise gegeben werden.

Hohen Ozonkonzentrationen ausgesetzt sind im Freien Beschäftigte wie Dachdecker, Straßenbauer u.a. Dagegen treten in bestimmten Bereichen der Bauwirtschaft, z.B. in Gruben, Rohbauten, Fahrerkabinen und geschlossenen Räumen, wesentlich geringere Ozonkonzentrationen auf. Zusammengefaßt kann immer dann von Reduzierungen der Ozonkonzentrationen ausgegangen werden, wenn Ozonsenken wie z.B. Oberflächen (Wände, Staub) oder bestimmte oxidierbare Stoffe (Stickstoffmonoxid) vorhanden sind.

Weitere Meßprogramme sollten gezielt initiiert werden, um Aussagen über die

Belastungssituation und die entsprechenden körperlichen Reaktionen der Beschäftigten in bestimmten Bereichen zu erhalten. Dabei sollten insbesondere die Bereiche ausgewählt werden, in denen wahrscheinlich keine Ozonsenken auftreten, z.B. Arbeitsplätze von Mauern, Zimmerern, Dachdeckern, Gartengestaltern und Waldarbeitern.

9 Quellen

- [1] *I. Barnes und K.H. Becker*: Bodennahes Ozon in der Troposphäre: Entstehungs- und Abbaumechanismen. Vortrag beim BIA-Fachgespräch „Ozon“, 25. und 26. September 1995
- [2] Zentrale Stoff- und Produktdatenbank (ZeSP) des BIA
- [3] *H. Kleine*: Analysenverfahren zur Messung von Ozon in der Luft. Vortrag beim BIA-Fachgespräch „Ozon“, 25. und 26. September 1995
- [4] *D. Jost*: Ozonkonzentrationen in der allgemeinen Umwelt. Vortrag beim BIA-Fachgespräch „Ozon“, 25. und 26. September 1995
- [5] *H. Kappus*: Wirkung von Ozon auf den Menschen. Vortrag beim BIA-Fachgespräch „Ozon“, 25. und 26. September 1995

- [6] *W.D. Schneider*: Arbeitsmedizinische Aspekte bei der Exposition gegenüber Ozon. Vortrag beim BIA-Fachgespräch „Ozon“, 25. und 26. September 1995
- [7] *P. Höpfe, J. Lindner, G. Rabe und G. Praml*: Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben „Der Einfluß erhöhter Ozonkonzentrationen auf die Lungenfunktion ausgewählter Bevölkerungsgruppen“. In: Umwelt & Entwicklung Bayern. Materialien 111, 1995
- [8] *A. Höptner*: Ergebnisse des Fachgesprächs „Ozon“ der Tiefbau-Berufsgenossenschaft. Vortrag beim BIA-Fachgespräch „Ozon“, 25. und 26. September 1995
- [9] *R. Rühl*: Ozon-Problematik bei Arbeiten im Baugewerbe. Vortrag beim BIA-Fachgespräch „Ozon“, 25. und 26. September 1995
- [10] *G. Zoubek*: Ozonsenken an Baustellen — erste Ergebnisse einer Untersuchung der Tiefbau-Berufsgenossenschaft. Vortrag beim BIA-Fachgespräch „Ozon“, 25. und 26. September 1995
- [11] *W. Stroh*: Ergebnisse von Ozonmessungen auf Hochbaustellen. Persönliche Mitteilung
- [12] *H. Schmittner*: Ozon — ein generelles Gesundheitsrisiko für Freiluftberufe in der Bauwirtschaft. Mitteilungsblatt der Südwestlichen Bau-BG (1992) Nr. 3, S. 8 - 12, Mitteilungsblatt der Tiefbau-BG (1993) Nr. 8, S. 549 - 552, Mitteilungsblatt der Württembergischen Bau-BG (1993) Nr. 3, S. 18 - 21, Mitteilungsblatt der Bau-BG Wuppertal (1993) Nr. 2, S. 102 - 105, Mitteilungsblatt der Bau-BG Frankfurt am Main (1994) Nr. 2, S. 5 - 8
- [13] *V.E. Spiegel-Ciobanu*: Ozon bei der Metallbearbeitung, insbesondere beim Schweißen. Vortrag beim BIA-Fachgespräch „Ozon“, 25. und 26. September 1995
- [14] *K. Trarbach*: Entstehung und Messung von Ozon bei Schweiß- und Schneidverfahren. CAV (1980) Nr. 10, S. 31 - 35
- [15] *R. Knoch*: Ozonkonzentration im Atembereich des Schutzgasschweißers. Der Praktiker 42 (1990) Nr. 12, S. 688 - 692
- [16] *H. Kleine und W. Wegscheider*: Gefahrstoffe beim Schweißen unter besonderer Berücksichtigung der Ozonexposition. Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit — BIA, Untersuchungsbericht, 1992
- [17] *A. Farwer, U. Sroka und R. Winkler*: Ozon beim Schutzgasschweißen — Ergebnisse von Betriebsmessungen und ergänzenden Laboruntersuchungen. DVS-Veröffentlichung 136

Ozon und Arbeitsschutz — Zusammenfassung und Vorschläge für die weitere Vorgehensweise

[18] C. Möhlmann: Ozon bei der Metallbearbeitung mit Laser. Persönliche Mitteilung

[19] G. Dörner: Ozon beim Drucken und Lackieren mit UV-trocknenden Systemen. Vortrag beim BIA-Fachgespräch „Ozon“, 25. und 26. September 1995

[20] J. Weidhofer und N. Winker: Ozon beim Einsatz von Fotokopiergeräten. Vortrag beim BIA-Fachgespräch „Ozon“, 25. und 26. September 1995

[21] R. Görgen: Vorschriften und Regeln im Bereich „Allgemeine Umwelt“. Vor-

trag beim BIA-Fachgespräch „Ozon“, 25. und 26. September 1995

[22] B. Osterheld: Vorschriften und Regeln im Bereich des Arbeitsschutzes. Vortrag beim BIA-Fachgespräch „Ozon“, 25. und 26. September 1995

[23] T. Götte: Atemschutzgeräte gegen Ozon. Vortrag beim BIA-Fachgespräch „Ozon“, 25. und 26. September 1995

[24] Bodennahes Ozon — Auswirkungen und Schutzmaßnahmen. Sicherheitsingenieur (1995) Nr. 6, S. 28 - 29

Anhang

Anlage 1:

Stoffdatenbank „Ozon“ der Zentralen Stoff- und
Produktdatenbank (ZeSP) beim

Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitssicherheit – BIA

* Zentrale Stoff- und Produktdatenbank (ZeSP) *
Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit – BIA
HVBG – 53754 Sankt Augustin

D A T E N B L A T T V O M : 29.11.95 ZVG-NR.: 004040 S E I T E : 1

I D E N T I F I K A T I O N

Ozon

Stoffart : Reiner Stoff

CAS-Nummer : 10028-15-6

EWG-Nummer : 233-069-2

S T O F F G R U P P E N S C H L U E S S E L

121000 Sauerstoff und seine Verbindungen, anorganisch

Chemische Charakterisierung :

Farbloses bis blaues Gas, in Wasser praktisch unloeslich.
Charakteristisch stechender Höhensonnengeruch. Nach einer
Nach einer gewissen Einwirkungszeit wird der Geruch infolge
Schädigung der Schleimhaute nicht mehr wahrgenommen.
Bei höheren Konzentrationen chlorähnlicher Geruch.
Nicht brennbar, jedoch in hohem Masse brandfördernd.
Sehr reaktionsfähig, eines der stärksten Oxidationsmittel.
Nicht beständig, zerfällt zu Sauerstoff. Geschwindigkeit
des Zerfalls hängt ab von Konzentration, Temperatur und
katalytisch wirkenden Stoffen (Stickoxide, Chlor, Metalle,
Metalloxide). Bei höheren Konzentrationen explosionsartige
Zersetzung möglich. Stabil in Bicarbonatlösung.

Quelle

5015 (50/00)

80152 (50/00)

5015 (50/00)

80152 (50/00)

S U M M E N F O R M E L / M O L E K U L A R G E W I C H T

O₃

Molekulargewicht : 48 g/mol

Umrechnungsfaktor : 1 ml/m³ = 2 mg/m³

D A T E N B L A T T VOM : 29.11.95 ZVG-NR.: 004040 SEITE : 3
Ozon

BRANDFOERDERNDE EIGENSCHAFTEN

Brandfoerdernd

Quellen - Nr. : 80152 (50/00)

LOESLICHKEIT

Konzentration : 490 ml/l
in Wasser
Messtemperatur : 25 Grad C
Quellen - Nr. : 5015 (47/50)

Konzentration : 0,57 g/kg
in Wasser
Messtemperatur : 20 Grad C
Quellen - Nr. : 80152 (50/00)

Loeslich in organ. Loesemitteln z.B. Dichlorfluormethan.
Quellen - Nr. : 80152 (50/00)

GERUCHSSCHWELLEN

Geruchsschwellen : 0,09 mg/m3
Geometrisches Mittel aus 6 Werten.
Standardfehler: 1.9 mg/m3
Durch Berechnung ermittelter Wert.
Quellen - Nr. : 99994 (48/00)

Geruchsschwellen : 0,02 ... 0,03 mg/m3
Quellen - Nr. : 80152 (50/00)

GEFAEHRLICHES REAKTIONSVERHALTEN

Thermische Zersetzung :

Ozon ist nicht bestaendig und zerfaellt zu Sauerstoff. **Quelle**
80152 (48/00)
Die Geschwindigkeit haengt ab von Konzentration, Temperatur
und katalytisch wirkenden Stoffen.
Bei Raumtemperatur liegt die Halbwertszeit bei 20 bis 100
Stunden, bei 300 Grad C nur im Bereich von Sekunden (ther-
mischer Ozonabbau).
Fluessiges Ozon explodiert noch bei Temperaturen unter - 100 **6002 (48/00)**
Grad C.

Gefahrliche chemische Reaktionen :

Erwaermt oder bestrahlt man ozonhaltige Loesungen oder gibt **Quelle**
6002 (48/00)
Metallkatalysatoren wie Mangandioxid oder Bleidioxid zu,
wird die Zersetzung zu Sauerstoff bis zur Explosion be-
schleunigt. Organische Stoffe, wie Gummi, werden zerstoert,
brennbare entzuenden sich oder explodieren. Organische Stoffe

Anlage 1:

Stoffdatenbank „Ozon“ der Zentralen Stoff- und

Produktdatenbank (ZeSP) beim

Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitssicherheit — BIA

* Zentrale Stoff- und Produktdatenbank (ZeSP) *

D A T E N B L A T T V O M : 29.11.95 Z V G - N R . : 004040 S E I T E : 4
Ozon

fe mit Doppelbindungen, z.B. Alkene, bilden Ozonide, die haeufig explosiv sind. Im folgenden wird nur eine Auswahl der bekannten gefaehrlichen Reaktionen gegeben.

Stark exotherme Reaktion, Hitzeentwicklung mit:

Difluordioxid; Difluortrioxid; Metalle; Stickstofftrichlorid; Stickstofftrijodid

Explosionsgefahr mit:

Acetylen; Alkene -> Ozonide; Anilin; Ammoniak; Antimonwasserstoff; Brom; Bromwasserstoffsaeure; Cyclopentadien; Dicyanogen; Ethen; Fluor; Kampfer (selten); Kohlenmonoxid; organischen Loesemitteln; Phosphin; Stickstoff/Katalysator; Stickstoffoxiden; ungesaettigten org. Stoffen; Wasserstoff

Stark exotherme Reaktion, Hitzeentwicklung, Explosionsgefahr mit:

Benzol

Entzuendungsgefahr bzw. Entstehung entzuendlicher Gase oder Daempfe, Explosionsgefahr mit:

Brennstoffen (fest, fluessig; gasfoermig)

Stark exotherme Reaktion, Hitzeentwicklung, Entzuendungsgefahr bzw. Entstehung entzuendlicher Gase oder Daempfe, Explosionsgefahr mit:

Diethylether; org. Substanzen; oxidierbaren Substanzen

Ozon ist ein sehr starkes Oxidationsmittel, es oxidiert fast alle Metalle, Ammoniak zu Salpetersaeure, Sulfide zu Sulfaten, Kohle zu Kohlendioxid. Viele organische Farbstoffe werden gebleicht, Gummi wird zerstoert.

Ether, Alkohol, Leuchtgas oder ein mit Terpentinoel durchtraenkter Wattebausch wird durch Ozon in Konzentrationen ueber 25 % explosibel entflammt.

5015 (48/00)

*

Zentrale Stoff- und Produktdatenbank (ZeSP)

*

D A T E N B L A T T V O M : 29.11.95 ZVG-NR.: 004040 SEITE : 5
Ozon

A R B E I T S M E D I Z I N

AUFNAHMEWEGE

Hauptaufnahmewege : Quelle
Ozon wird nicht nur hauptsaechlich, sondern ausschliesslich 7866 (48/48)
ueber die Schleimhaeute des Atemtraktes (und der Augen) auf-
genommen.

Atemwege : Quelle
Im Ruhezustand werden vom Menschen 40 - 50 % des inhalierten 7866 (48/48)
Ozons bereits von den Schleimhaeuten von Nase, Mund und
Rachen aufgenommen. Von dem die Lunge erreichenden Anteil
werden durchschnittlich 90 % retiniert. Daraus resultiert
eine Gesamtretention von ca. 95%. Die Groesse der die Lunge
erreichenden Dosis ist nicht nur von der Konzentration, son-
dern auch von der Dauer der Exposition und von der Atemfre-
quenz/Atemvolumen (insbesondere bei koerperlichen Anstren-
gungen relevant) abhaengig.
Die Resorptionsrate des Ozons wird durch seine hohe Reakti-
vitaet an den Schleimhaeuten begrenzt. Aus gewissen Veraen-
derungen von Blutparametern wurde geschlossen, dass ein
kleiner Anteil der inhalierten Dosis ins Blut resorbiert
wird.

Haut : Quelle
Eine Resorption ueber die intakte Haut ist unter praxisrele- 99983 (48/48)
vanten Bedingungen offensichtlich vernachlaessigbar.

Verdauungstrakt : Quelle
Es liegen keine Angaben vor. 99983 (48/48)
Entsprechend den obigen Darstellungen ist jedoch nicht zu 99999 (48/48)
erwarten, dass Ozon die Schleimhaeute des Magen-Darm-Traktes
erreichen kann, um gegebenenfalls dort resorbiert zu werden.

WIRKUNGSWEISEN

Hauptwirkungsweisen : Quelle

akut: Reizung und Schaedigung der Schleimhaeute der 7900 (48/48)
Augen und des Atemtraktes, Lungenfunktionsver-
aenderung, Stoerung der koerperlichen Leistungs-
faehigkeit;
in hohen Konzentrationen: Lungenschaedigung 7866 (48/48)
(Lungenoedem -> Zyanose),
Stoerung des Allgemeinbefindens (Kopfschmerzen,
Uebelkeit, Somnolenz, Muedigkeit, Schwindelge-
fuehl, Konzentrationsschwaechen)

chronisch: reversible Lungenfunktionsstoerungen (teilweise 7619 (48/48)
Adaptation moeglich);
im Tierexperiment: Lungenschaedigung

Anlage 1:

Stoffdatenbank „Ozon“ der Zentralen Stoff- und Produktdatenbank (ZeSP) beim

Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitssicherheit — BIA

* Zentrale Stoff- und Produktdatenbank (ZeSP) *	
D A T E N B L A T T VOM : 29.11.95 ZVG-NR.: 004040 SEITE : 6	
Ozon	
Akute Toxizität :	Quelle
Ozon-Konzentrationen zwischen 2 und 10 mg/m ³ verursachen bereits nach kurzer Expositionszeit Schädigungen der Augenbindehaut und der Schleimhäute des oberen Atemtraktes sowie des Alveolarepithels (heftiger Tränenfluss, Visusveränderungen, Störung der Atemfunktion, Zyanose und toxisches Lungenödem).	7900 (48/48)
Darüberhinaus wurde über erhebliche Störungen des Allgemeinbefindens (Kopfschmerzen, Uebelkeit, Somnolenz, extreme Müdigkeit, Schwindelgefühl, Konzentrationsschwäche) berichtet.	7866 (48/48)
Akute Vergiftungen mit derartig hohen Konzentrationen kommen jedoch in der Praxis kaum vor.	99983 (48/48)
Auch bei niedrigeren Konzentrationen (0,8 - 1 mg/m ³) konnten jedoch in der Nasen- und Lungenflüssigkeit von gesunden Probanden schon nach 2 h Proteine, Entzündungszellen und Entzündungsmediatoren nachgewiesen werden. Bei 0,24 - 0,48 mg/m ³ waren diese Befunde, die dann auf die Nasenspülflüssigkeit beschränkt waren, nur noch bei vorbelasteten Personen (Asthmapatienten) zu diagnostizieren.	7619 (48/48)
Unabhängig davon wurden bei letzterem Konzentrationsniveau (0,2 bis 0,4 mg/m ³ , keine Angabe der Expositionszeit) Schleimhautreizungen, Geruchsbelästigung und Lungenfunktionsveränderungen (Abnahme der Vital- und Sekundenkapazität) ausgelöst. Eine aus der reversiblen Lungenfunktionseinschränkung resultierende Abnahme der maximalen körperlichen Leistungsfähigkeit war bereits bei Konzentrationen > 0,24 mg/m ³ , insbesondere bei Frauen, nachweisbar.	7900 (48/48)
Beschwerden beim Einatmen werden als Hauptursache für die expositionsbedingte verminderte Leistungsfähigkeit gesehen. Die Veränderung der Lungenfunktionsparameter (Verminderung von Kapazität, Atemzugvolumen, forcierten Expirationsgrößen; Vergrößerung des spezifischen Atemwegwiderstandes und der Atemfrequenz) wird teilweise auf eine substandardige Reaktion des parasympathischen Nervensystems, möglicherweise auf eine Reflexinhibition der inspiratorischen Muskelkontraktion zurückgeführt. Die verstärkte Atemwegsreaktivität wird mit dem signifikant erhöhten Vorkommen von Entzündungsmediatoren und -zellen in den Atemwegen im Zusammenhang gesehen.	7866 (48/48)
Über strukturelle und morphologische Veränderungen bei akuter Exposition gegenüber Ozon im Atemtrakt ist beim Menschen im Gegensatz zum Versuchstier (hier: epitheliale Hyperplasien in der Nase) nichts bekannt.	7619 (48/48)
Ozon kann die Widerstandskraft der Lungenzellen gegenüber Infektionen schädigen.	7866 (48/48)
U.a. aus diesbezüglichen Tierexperimenten resultierte die Einschätzung, dass Ozon immuntoxisch wirkt.	7619 (48/48)
Für eine sensibilisierende Wirkung gibt es dagegen keine Hinweise. Die o.g. Atemfunktionsveränderungen werden allgemein als nicht allergisch bedingt angesehen.	
Der tierexperimentelle Nachweis von Peroxidationsreaktionen in Herz- und Hirngewebszellen gab Anlass zu Befürchtungen,	7866 (48/48)

*

Zentrale Stoff- und Produktdatenbank (ZeSP)

*

D A T E N B L A T T V O M : 29.11.95 ZVG-NR.: 004040 SEITE : 7
Ozon

dass Menschen mit einer vorhandenen Herzschädigung gegenüber der Ozoneinwirkung besonders gefährdet sein könnten.

Die sichere Ableitung einer Schwellenkonzentration fuer die oben beschriebenen Ozonwirkungen ist bisher weder aus tierexperimentellen Ergebnissen noch aus Erfahrungen am Menschen moeglich. 99999 (48/48)

Als niedrigste publizierte letale Konzentration fuer den Menschen wurde angegeben: LC₅₀ = 100 mg Ozon/m³/30 min. 7734 (48/48)

Die geruchliche Wahrnehmbarkeit variiert interindividuell stark: 0,001 bis 1 mg/m³. 99997 (48/48)

Chronische Toxizitaet :**Quelle**

Eine der prinzipiellen Unsicherheiten hinsichtlich der toxischen Ozonwirkung ist der Zusammenhang zwischen wiederholter Exposition und chronischer Lungenschädigung. 7866 (48/48)

Uebereinstimmend wird aus vielfaeltigen Erfahrungen am Menschen geschlussfolgert, dass bei wiederholter taeglicher Exposition gegeneuber niedrigen Ozonkonzentrationen eine Adaptation bezueglich der Lungenfunktionsveraenderungen stattfindet. 99983 (48/48)

Diese wird auf eine moegliche Verstaerkung der Resistenz der durch primaere Exposition veraenderten Epithelzellen gegeneuber weiterer Belastung im Hinblick auf die entzuendliche Wirkung zurueckgefuehrt (Versuche an Primaten). 7866 (48/48)

Jedoch kam es bei allen untersuchten Species zu einer Beeintraehtigung der Lungenfunktion bzw. zellulaeren und morphologischen Veraenderungen bis herab zu einer Expositions-konzentration von 0,2 mg/m³, wobei das ziliare System und die Clara-Zellen der unteren Atemwege am staerksten betroffen waren. Ein verstaerktes Zellwachstum (Hypertrophie und Hyperplasie), das zur Einlagerung von Kollagen und zur Bildung faserigen Bindegewebes fuehrte, wurde als Reaktion auf die bei hoeheren Expositions-konzentrationen verursachten Zellschadigungen (Nekrosen) und entzuendlichen Veraenderungen gesehen. 7619 (48/48)

Eine kontinuierliche Exposition fuehrte im Tierexperiment zu geringeren Veraenderungen als eine intermittierende (sogar geringere) inhalative Belastung gegeneuber Ozon.

An Ratten wurde im subchronischen Experiment (0,5 mg Ozon/m³, 5 d/w, 6 w) mit nachfolgender Verabreichung von aerosolisiertem Asbest nachgewiesen, dass Ozon eine Verlaengerung der Verweilzeit von Asbestpartikeln im Atemtrakt verursachte. Daraus wurde geschlossen, dass Ozon auch in Konzentrationen, die gewoehnlich in der belasteten Umwelt auftreten, zu einer Stoerung der Selbstreinigungseffekte auch der menschlichen Lunge gegeneuber Asbest oder anderen Kanzerogenen beitragen kann. 7866 (48/48)

Teratogenitaet, Mutagenitaet, Kanzerogenitaet :**Quelle**

Reproduktionstoxizitaet: 7619 (48/48)

Ozon hat im relevanten Konzentrationsbereich keine Auswirkungen auf die menschliche Reproduktion.

Mutagenitaet:

*

Zentrale Stoff- und Produktdatenbank (ZeSP)

*

D A T E N B L A T T V O M : 29.11.95 ZVG-NR.: 004040 SEITE : 9
Ozon

U M G A N G U N D V E R W E N D U N G

VERWENDUNG

Vorkommen/Verwendung :

Technisch erzeugtes Ozon wird z.B. verwendet fuer die Trinkwasseraufbereitung, die Behandlung von Schwimmbadwasser, die Abwasserbehandlung, die Rauchgasentstickung, den Abbau von Geruchsstoffen in der Abluft z.B. von Klaeranlagen, das Entkeimen der Luft, das Bleichen und fuer chemische Synthesen. Ozon entsteht - oft als unerwünshtes Produkt - aus zweiatomigem Sauerstoff durch Einwirken von Strahlung mit Wellenlaengen zwischen 185 und 210 nm, wie sie z.B. im Sonnenlicht oder bei energiereichen elektrischen Entladungen auftreten. Es entsteht auch durch Einwirkung von UV-Strahlung auf Luft z.B. beim Elektroschweißen und bei elektrischen Entladungen (Gewitter).

Quelle

80152 (50/00)

TECHNISCHE SCHUTZMASSNAHMEN

- HANDEHABUNG

Arbeitsraum - Ausstattung/Belueftung :

Gute Be- und Entlueftung des Arbeitsraumes vorsehen. Reicht natuerliche Lueftung nicht aus, ist eine technische Lueftung erforderlich. Abgesaugte Luft muss ersetzt werden. Verbrauchte Raumluft wird durch Ozon nicht regeneriert! Raeume mit Ozonisatoren und Verdichtern fuer ozonhaltige Gemische und andere Raeume mit Anlagen, aus denen Ozon austreten kann, muessen mit einer technischen Lueftung ausgestattet sein. Die Lueftungsanlagen sind so auszulegen, dass der Grenzwert nach deren Einschalten schnell unterschritten wird.

Quelle

80152 (50/04)

Da Daempfe/Gase schwerer als Luft sind, ist fuer gute Raum-
belueftung auch im Bodenbereich zu sorgen.

5015 (50/04)

Abluftfuehrungen sind so zu gestalten, dass schadstoffhaltige Luft nicht in den Atembereich der Beschaeftigten gelangen kann.

80152 (50/04)

Koennen bei Stoerungen der Lueftungsanlagen gefaehrliche Konzentrationen des Gefahrstoffes in der Luft auftreten, muessen diese Stoerungen durch selbsttaetig wirkende optische oder akustische Waermeinrichtungen angezeigt werden.

6604 (50/04)

Die Luftproben sind an Stellen zu ziehen, an denen mit der hoechsten Ozon-Konzentration zu rechnen ist. Die Alarmschwelle ist auf den Grenzwert einzustellen. Bei Ansprechen der Gerate ist die technische Lueftung selbsttaetig einzuschalten. Die abgesaugte Luftmenge muss durch Frischluft ersetzt werden. Bei Stoerungen sollte mindestens zehnfacher Luftwechsel pro Stunde moeglich sein.

80152 (50/04)

Die Ozonerzeugung ist gegebenenfalls zu unterbrechen.

Anlage 1: Stoffdatenbank „Ozon“ der Zentralen Stoff- und Produktdatenbank (ZeSP) beim Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitssicherheit – BIA

* Zentrale Stoff- und Produktdatenbank (ZeSP) *		
D A T E N B L A T T V O M : 29.11.95 ZVG-NR.: 004040 S E I T E : 10		
Ozon		
Hinsichtlich des Abschaltens ist Naeheres in der Betriebsanweisung zu regeln.		
In engen Raeumen muss eine dauernde, ausreichende und zugfreie Versorgung mit Frischluft vorhanden sein. Das Belueften mit Sauerstoff ist verboten.	5015	(50/04)
Das schnelle und sichere Verlassen der Raeume muss durch Anzahl, Lage, Bauart und Zustand von Rettungswegen und Ausgaengen gewaehrleistet sein.	80152	(50/04)
Raeume mit einer Grundflaeche ab 50 m2 muessen mindestens zwei, moeglichst an gegenueberliegenden Seiten liegende Ausgaenge haben.		
Raeume mit ozonfuehrenden Anlagen sind von angrenzenden Raeumen gasdicht abzutrennen.		
Raeume, in denen Ozon hergestellt und verwendet wird, oder durch die nicht geschweiBte Leitungen mit Ozonhaltigen Gasen fuehren, sind deutlich erkennbar und dauerhaft zu kennzeichnen. Auf Vergiftungsgefahr und Rauchverbot ist hinzuweisen. Augenbrausen vorsehen. Standorte auffallend kennzeichnen. Augenspuelflaschen sind als Notbehelf anzusehen und nur in Ausnahmefaelle zu verwenden.		
Apparaturen :	Quelle	
Das Arbeitsverfahren ist so zu gestalten, dass gefaehrliche Stoffe nicht freiwerden, soweit dies nach dem Stand der Technik moeglich ist.	7557	(50/ 0)
Nur geschlossene Apparaturen verwenden.	80152	(50/ 0)
Anlagen muessen von ungefaehrdeter Stelle aus von Hand (Not-Aus-Schalter) abgeschaltet werden koennen. Zusaetzlich kann eine selbsttaetig wirkende Abschalteinrichtung installiert werden. Die Not-Befehleinrichtungen sind zu kennzeichnen.		
Kann der Stoff so eingeschlossen werden, dass durch Waermeeinwirkung ein gefaehrlicher Druck entsteht, so sind geeignete Sicherheitseinrichtungen vorzusehen, z.B. Sicherheitsventile, Berstscheiben, Ueberstroemventile, Ausdehnungsbhaelter.	6122	(50/ 0)
Ist durch technische Massnahmen das Austreten von Stoffen nicht zu verhindern, so sind diese an der Entstehungs- oder Austrittsstelle gefahrlos abzusaugen.	80152	(50/ 0)
Ozonbildende Apparate muessen an eine Absaugung angeschlossen sein (ausser Laserdrucker und Kopierer).	5015	(50/ 0)
Abblase-, Entlueftungs- und Entspannungsleitungen duerfen weder in Raeume noch an Stellen muenden, an denen Personen durch austretende Stoffe gefaehrdet werden.	80152	(50/ 0)
Abgasgrenzwerte beachten.		
Ozon in der Abluft kann durch thermische Verfahren, gegebenenfalls unter Zusatz von Katalysatoren, zum Zerfall gebracht werden (Umwandlung zu Sauerstoff).		
Sperrgasabdichtungen, z. B. an Wellen- und Kolbenstangendurchfuehrungen von Verdichtern muessen auch bei Stillstand der Anlage wirksam sein.		
Waerme- und Schalldaemmungen fuer ozonbeaufschlagte Anlagen muessen aus Materialien bestehen, die mit Ozon nicht in gefaehrlicher Weise reagieren koennen, z. B. Schlacken-,		

*

Zentrale Stoff- und Produktdatenbank (ZeSP)

*

D A T E N B L A T T VOM : 29.11.95 ZVG-NR.: 004040 SEITE : 11
Ozon

Stein- und Glaswolle sowie Perlite mit hoechstens 0,5 Gew.% organischen Stoffen.

Beim Mischen von Ozon mit anderen Stoffen muss sichergestellt sein, dass Ozon nicht in die Leitungen fuer andere Stoffe gelangen kann und umgekehrt.

Alle Anlagenteile und deren Verbindungen muessen nach Bauart und Werkstoff fuer Ozon sowie die vorgesehenen Druেকে und Temperaturen geeignet sein.

Rohrleitungen sollen weitestgehend verschweisst sein. Flanschverbindungen koennen verwendet werden, wenn ihre Dichtigkeit gewaehrleistet ist. Gaengige Loetwerkstoffe sind nicht geeignet. Rohrleitungen sind so zu verlegen, dass sie vor Erschuetterung, Verlagerung, Verspannung, Erwaermung oder gegen aeussere Korrosion geschuetzt sind.

Wanddurchfuehrungen muessen gasdicht sein.

Beim Befuellen und Entleeren sind technische Massnahmen zu treffen, die ein Austreten des Gefahrstoffes verhindern. Beim Entleeren von Apparaturen sind technische Massnahmen zu treffen, die ein Verdraengen ozonhaltiger Gemische mit z.B. Luft oder Stickstoff gefahrlos ermoeglichen.

Fuer die Probennahme sollen geeignete technische Einrichtungen vorhanden sein, z.B. Schleusen, geschlossene Probenahmegefuesse, Probenahmeventile ohne Totraeume u. Nachlauf. Behaelter und Leitungen sind eindeutig, deutlich erkennbar und dauerhaft zu kennzeichnen, wenn durch Inhalt, Temperatur oder Verwechsell Gefahren entstehen koennen.

Leitungen muessen von ungefaehrdeter Stelle aus absperrbar sein.

.

Geeignete Werkstoffe:

Glas

Keramik

Edelstahl

Teflon, als Dichtungsmaterial und fuer Schlauchleitungen bestimmte Fluor-Kautschukverbindungen als Dichtungsmaterial Beton in der Wasseraufbereitung, z.B. als Behaeltermaterial Aluminium kann fuer trockenes Ozon verwendet werden, wenn Eintrag von Eisen oder Eisenoxid verhindert wird

.

Ungeeignete Werkstoffe:

Kupfer und Kupferlegierungen

Titan, Zirkon und dessen Legierungen

Kunststoffe sind im allgemeinen wegen Alterungs- und Versproedungsgefahr nicht als Werkstoffe geeignet.

Gummi wird zerstört.

5015 (50/ 0)

Hinweise zum sicheren Umgang :

Quelle

Auf Sauberkeit und Trockenheit am Arbeitsplatz achten. Die Arbeitsbereiche muessen oel- und fettfrei gehalten werden.

5015 (50/ 0)

Nicht mit Reduktionsmitteln, organischen Verbindungen und Textilien in Beruehrung bringen, da mit Reaktionen zu rechnen ist.

*

Zentrale Stoff- und Produktdatenbank (ZeSP)

*

D A T E N B L A T T VOM : 29.11.95 ZVG-NR.: 004040 SEITE : 13
Ozon

- LAGERUNG

Lagerbedingungen :

Ozon wird normalerweise nicht gelagert.

Quelle

99999 (50/ 0)

- BRAND- UND EXPLOSIONSSCHUTZ

Technische, konstruktive Massnahmen :

Ozon ist nicht brennbar, jedoch in hohem Mass brandfoerdernd. Zum Loeschen von Braenden sind Feuerloescheinrichtungen der Art und Groesse des Betriebes entsprechend bereitzustellen und stets funktionsfaehig zu halten. Sie muessen leicht erreichbar und auffaellig gekennzeichnet sein soweit die Feuerloescheinrichtungen nicht automatisch oder zentral von Hand gesteuert werden. Ueber die Pruefung der Feuerloesch-einrichtungen ist ein schriftlicher Nachweis zu fuehren. Mit der Handhabung der Feuerloescheinrichtungen sind Personen in ausreichender Anzahl vertraut zu machen. Selbsttaetige ortsfeste Feuerloescheinrichtungen, bei deren Einsatz Gefahren fuer die Beschaeftigten auftreten koennen, muessen mit selbsttaetig wirkenden Waermeinrichtungen ausgeruestet sein.

Quelle

80152 (50/ 0)

6101 (50/ 0)

In Raeumen in denen Ozon hergestellt und verdichtet wird, muessen Decken, Waende und Fussboeden aus nichtbrennbaren Stoffen bestehen.

80152 (50/ 0)

In Raeumen mit ozonfuehrenden Anlagen duerfen keine brennbaren Stoffe gelagert werden.

Der bauliche Brandschutz ist in Abstimmung mit den fuer den Brandschutz oertlich zustaeendigen Behoerden festzulegen. Die Sicherheitseinrichtungen, wie z.B. Brandmelde- und Loeschanlagen, Rauch- und Waermeabzugseinrichtungen, automatisch schliessende Tore sowie Blitzschutzanlagen muessen regelmassig gewartet und geprueft werden.

99999 (50/ 0)

Gebaeude mit Lager Raeumen muessen eine geeignete Blitzschutzanlage haben. Sie ist alle 3 Jahre zu pruefen. Unfallverhuetungsvorschrift VBG 61 "Gase" beachten.

Vorsichtsmassnahmen beim Umgang :

Kennzeichnung als "Brandfoerdernder Bereich".
Offene Flammen und andere Waermequellen fernhalten.
Sonneneinstrahlung vermeiden.
Rauchverbot beachten!
Auf die Verbote ist deutlich erkennbar und dauerhaft hinzuweisen.
Feuer- und Heissarbeiten duerfen nur mit schriftlicher Erlaubnis (z.B. Feuererlaubnisschein) ausgefuehrt werden.
Von brennbaren Stoffen fernhalten.

Quelle

5015 (50/ 0)

6122 (50/ 0)

5015 (50/ 0)

99999 (50/ 0)

6122 (50/ 0)

5015 (50/ 0)

Anlage 1:
 Stoffdatenbank „Ozon“ der Zentralen Stoff- und
 Produktdatenbank (ZeSP) beim
 Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitssicherheit – BIA

* Zentrale Stoff- und Produktdatenbank (ZeSP) *	
D A T E N B L A T T VOM : 29.11.95 ZVG-NR.: 004040 SEITE : 14	
Ozon	
ORGANISATORISCHE SCHUTZMASSNAHMEN	Quelle
Die Beschaeftigten muessen ueber moegliche Gefahren beim Umgang mit dem Gefahrstoff sowie ueber die Schutzmassnahmen unterwiesen werden. Inhalt und Zeitpunkt der Unterweisung sind schriftlich festzuhalten und durch Unterschrift zu bestaetigen.	7557 (50/ 0)
Die Unterweisungen muessen vor der Beschaeftigung und danach mindestens einmal jaehrlich muendlich und arbeitsplatz-bezogen erfolgen.	
Grundlage der Unterweisung ist die Betriebsanweisung. Diese ist verstaendlich und in der Sprache der Beschaeftigten abzufassen und an der Arbeitsstaette an geeigneter Stelle bekanntzumachen.	5251 (50/ 0)
Einzelheiten zu Inhalt und Gestaltung siehe TRGS 555.	
Der Arbeitgeber hat einen Flucht- und Rettungsplan aufzustellen, wenn Lage, Ausdehnung und Art der Nutzung der Arbeitsstaette dies erfordern. Der Plan ist an geeigneter Stelle auszulegen oder auszuhaengen. In regemaessigen Abstaenden sind Uebungen entsprechend dem Plan durchzufuehren.	80153 (50/ 0)
Ist das Auftreten des Gefahrstoffes in der Luft am Arbeitsplatz nicht sicher auszuschliessen, ist durch Messungen zu ermitteln, ob die gueltigen Grenzwerte eingehalten werden.	7557 (50/ 0)
Die Messergebnisse sind aufzuzeichnen und mindestens 30 Jahre aufzubewahren.	
Insbesondere in Ozonisierungsanlagen, in Roentgenlaboratorien, beim Elektroschweissen, beim Plasmaschneiden und bei Elektroarbeiten, bei denen Lichtbogen entstehen, ist eine Ueberwachung des Ozongehaltes in der Luft zu empfehlen.	5015 (50/ 0)
Beschaeftigungsbeschaerungen fuer Jugendliche nach der Gefahrstoffverordnung beachten.	7557 (50/ 0)
In Raeumen, in denen bei Stoerungen Ozon austreten kann, duerfen keine staendigen Arbeitsplaetze vorhanden sein. Das Betreten der Anlagen und Betriebsbereiche ist nur den dort Beschaeftigten gestattet. Andere Personen benoetigen die Genehmigung des Betriebsleiters oder dessen Beauftragten. Entsprechende Hinweisschilder sind anzubringen.	80152 (50/ 0)
Fuer Beschaeftigte im Freien, die umweltbedingten hohen Ozonkonzentrationen ausgesetzt sind, werden folgende Massnahmen vorgeschlagen:	99999 (50/ 0)
1. Verlagerung der Arbeiten in Zeiten geringerer Ozonbelastung	
2. Geringere Ozonaufnahme durch Verringerung der Atemfrequenz, z.B. Verlagerung schwerer koerperlicher Arbeiten in die Vormittagsstunden, nachmittags bei hohen Ozonkonzentrationen leichtere Arbeiten erledigen, Arbeitsplaetze abschatten, Arbeitstempo drosseln.	
3. Verlagerung von Arbeiten und Pausen in das Innere von Gebauden.	
4. Vermeidung ozonerzeugender Taetigkeiten.	
5. Aertzliche Beratung besonders ozonempfindlicher Personen.	

*

Zentrale Stoff- und Produktdatenbank (ZeSP)

*

D A T E N B L A T T V O M : 29.11.95 ZVG-NR.: 004040 SEITE : 15
Ozon

PERSOENLICHE SCHUTZMASSNAHMEN

- KORPERSCHUTZ

Quelle

Kann eine Gefaehrdung der Beschaeftigten durch technische und organisatorische Massnahmen nicht ausgeschlossen werden, muessen geeignete persoenliche Schutzausruestungen zur Verfuegung gestellt, in ordnungsgemaessem Zustand gehalten und bei Bedarf benutzt werden.

Bei Ueberschreiten des Grenzwertes muessen persoenliche Schutzausruestungen benutzt werden. 7557 (50/ 0)

Das Tragen von Atemschutz und Vollschatzanzuegen darf keine staendige Massnahme sein. Tragezeitbegrenzungen beachten. 5232 (50/ 0)

In Abhaengigkeit von der moeglichen Gefaehrdung sind 80152 (50/ 0)

Schuerze und Stiefel oder ein Chemikalienschutzanzug oder ein Vollschatzanzug aus geeignetem Material zu tragen.

Die Schutzkleidung muss aus flammhemmendem Material bestehen. 7781 (50/ 0)

Geeignete Materialien: 80152 (50/ 0)

Kunststoffe mit glatten Oberflaechen

Weitere geeignete Materialien beim Hersteller erfragen. 99999 (50/ 0)

Ungeeignete Materialien: 80152 (50/ 0)

Gewebe, Leder

Gummi, Kunstfasern 5015 (50/ 0)

- ATEMSCHUTZ

Quelle

Atemschutzgeraet: Spezialfilter 7635 (50/00)
NO - P3

Kennfarbe : blau-weiss

Max. Einsatzkonzentration fuer Stoffe mit Grenzwert (GW):
400-facher GW in Verbindung mit Vollmaske oder
oder Mundstueckgarnitur
30-facher GW in Verbindung mit Halb-/Viertelmaske
Filter duerfen nur im Anlieferungszustand zum einmaligen
Gebrauch kommen.

Atemschutzgeraet: Spezialgasfilter
Gasfiltertyp : CO
Kennfarbe : schwarz

Atemschutzgeraet: Gasfilter
Gasfiltertyp : B
Kennfarbe : grau

Max. Einsatzkonzentration fuer Stoffe mit Grenzwert (GW):
400-facher GW in Verbindung mit Vollmaske oder
Mundstueckgarnitur
30-facher GW in Verbindung mit Halb-/Viertelmaske
oder gasfiltrierender Halbmaske
sofern damit nicht die hoechstzulaessige Einsatzkonzentration des Gasfilters von 1000 ml/m3 (Filterklasse 1),
5000 ml/m3 (Filterklasse 2) und 10000 ml/m3 (Filterklas-

Anlage 1:

Stoffdatenbank „Ozon“ der Zentralen Stoff- und Produktdatenbank (ZeSP) beim

Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitssicherheit – BIA

* Zentrale Stoff- und Produktdatenbank (ZeSP) *

D A T E N B L A T T V O M : 29.11.95 Z V G - N R . : 004040 S E I T E : 16
Ozon

se 3) ueberschritten wird.

Die Anwendung von Filtergeraeten setzt voraus, dass die Umgebungsatmosphaere min. 17 Vol.% Sauerstoff enthaelt. Im Zweifelsfalle koennen Auskuenfte ueber den anzuwendenden Filtertyp beim Hersteller eingeholt werden.

Atemschutzgeraet: Isoliergeraet

Bei Konzentrationen ueber der Anwendungsgrenze von umgebungsluftabhaengigen Filtern und bei unklaren Bedingungen koennen Druckluftschlauchgeraete und Behaeltergeraete mit Vollmaske oder Mundstueckgarnitur und Lungenautomat sowie Sauerstoffregenerationsgeraete mit Vollmaske oder Mundstueckgarnitur generell eingesetzt werden.

Vor Aufnahme einer Taetigkeit mit Atemschutzgeraeten sollen die betreffenden Personen nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz fuer arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen G 26 untersucht und als tauglich eingestuft werden.

- AUGENSCHUTZ

Quelle

Beim Umgang mit diesem Gefahrstoff muss stets ausreichender Augenschutz getragen werden. 80152 (50/ 0)

Wenn der Luftgrenzwert (TRGS 900) nicht ueberschritten wird, sind geeignete Korbbrillen bei allen Arbeiten zu tragen, bei denen mit einer Gefaehrung der Augen durch verspritzende ozonhaltige Fluessigkeiten zu rechnen ist, z.B. beim Abfuellen und Beseitigen von Stoerungen.

Schutzschirme sollten nur zusammen mit Gestellbrillen mit Seitenschutz oder Korbbrillen getragen werden. Bei Arbeiten in Kopfhoehe oder ueber Kopf ist ausreichender Schutz der Augen nur mit zusaetzlicher Korbbrille gewaehrleistet.

Koennen ozonhaltige Gase auftreten und wird der Luftgrenzwert ueberschritten, ist zum Schutz der Augen eine Vollmaske zu benutzen.

Bei Schweissarbeiten Schutzbrille mit Strahlenschutzglae- 5015 (50/ 0)
sern tragen.

- HANDSCHUTZ

Quelle

Vor Gebrauch Dichtheit (Penetration) pruefen. 80106 (50/ 0)
Fingernaegel kurz halten. Hautschutz beachten.

Angezogene Handschuhe vor dem Ausziehen vorreinigen, danach gut belueftet aufbewahren.

Zur Minderung der Schweissbildung sowie zur Verringerung der Allergiegefahr koennen textile Unterziehhandschuhe verwendet werden. Nachteile: Schlechteres Tastgefuehl, Beeintraechtigung der Griffsicherheit. Alternativ koennen

Schutzhandschuhe mit Innenvorlaminierung verwendet werden. Zur Beurteilung der Schutzwirkung eines Handschuhs muessen

die Quellbestaendigkeit und die Durchbruchzeit (Permeation) 7835 (50/ 0)
beruecksichtigt werden.

*

Zentrale Stoff- und Produktdatenbank (ZeSP)

*

D A T E N B L A T T V O M : 29.11.95 ZVG-NR.: 004040 SEITE : 17
Ozon

Keine Einweghandschuhe beim Umgang mit fluessigen Gefahrstoffen und Loesungen verwenden.

Voellig ungeeignet sind Stoff- oder Lederhandschuhe. 80152 (50/ 0)

Geeignet sind Schutzhandschuhe aus folgend. Materialien:
bestimmte Fluorkautschuk-Verbindungen
Kunststoffe mit glatten Oberflaechen (keine Gewebe), wegen
Alterungs- und Versproedungsgefahr nicht ueber laengeren
Zeitraum verwenden

Nicht geeignet sind folgende Handschuhmaterialien: 5015 (50/ 0)

Naturkautschuk/Naturlatex - NR

- ARBRITSHYGIENE

Quelle

Nahrungs- und Genussmittel duerfen nur so aufbewahrt werden, 7557 (48/00)

dass sie mit Gefahrstoffen nicht in Beruehrung kommen.

Bei der Arbeit nicht essen, trinken, rauchen oder schnupfen. 80150 (48/00)

Beruehrung mit der Haut vermeiden. Nach Substanzkontakt ist 7557 (48/00)

Hautreinigung erforderlich.

Beruehrung mit den Augen vermeiden. Nach Substanzkontakt

Augenspuelung vornehmen (s. Erste-Hilfe-Massnahmen).

Einatmen des Gases vermeiden.

Beruehrung mit der Kleidung vermeiden. Verunreinigte Ar- 80153 (48/00)

beitskleidung einschliesslich Schutzkleidung muss gewechselt
und gruendlich gereinigt oder erforderlichenfalls vernichtet
werden.

Ozonangereicherte Kleidung von Zuendquellen fernhalten. 5015 (48/00)

Keine oelverschmutzte Kleidung tragen.

Waschraeume mit Duschen und moeglichst Raeume mit getrennten 80150 (48/00)

Aufbewahrungsmoeglichkeiten fuer Strassen- und Arbeitsklei-
dung vorsehen.

MASSNAHMEN BEI UNBEABSICHTIGTER FREISETZUNG

Quelle

Ozonerzeuger und Verdichter abschalten. 80152 (50/ 0)

Sauerstoffzufuhr bzw. Luftzufuhr unterbrechen.

Feuerwehr alarmieren.

Gefahrdeten Bereich raäumen.

Betroffene Umgebung warnen.

Verletzte aus dem Gefahrenbereich bringen.

Zur Beseitigung des gefaehrlichen Zustandes darf der Gefah-

renbereich nur mit geeigneten Schutzmassnahmen betreten

werden.

Umgebungsluftunabhaengiges Atemschutzgeraet und Gasschutzan-
zug erforderlich.

Versuchen, das Ausstroemen des Gases zu unterbinden.

Fuer ausreichend Lueftung sorgen.

Falls erforderlich:

Austretende Gase/Daempfe mit Wasser niederschlagen.

Anschliessend Raum lueften und verschmutzte Gegenstaende und 99999 (50/ 0)

Boden reinigen.

*

Zentrale Stoff- und Produktdatenbank (ZeSP)

*

D A T E N B L A T T VOM : 29.11.95 ZVG-NR.: 004040 SEITE : 19
Ozon

ten bei massiver Aufnahme - resorptiv - auch ZNS und Nieren. Bereits niedrige Konzentrationen rufen Lakrimation, Sehbeeinträchtigung, Brennen -> Conjunctivitis hervor. 7900 (48/48)

Inhalation verursacht dazu Nasen- und Rachenreizung; "Engegefühl" im Thorax und stechender Retrosternalschmerz folgen bald und sind pathognomonisch; dosisabhängig rasch koennen Dyspnoe, Zyanose, Haemoptysen, Restriktion als Zeichen eines toxischen Lungenoedems erkannt werden. 7638 (48/48)

Die systemische Wirkung hoher eingeatmeter Ozonkonzentrationen beginnt mit Unbehagen und Muedigkeit, gefolgt von zentralnervoesen Befunden wie Schwindel, Somnolenz -> Senkung der Koerper Temperatur sowie Nierenfunktionsstoerungen. Vordergruendig sind auch dann die Symptome des Lungenoedems. Jedoch kommen so hohe Expositionen im Berufsleben kaum vor. 7718 (48/48)

Hinweise zur Ersten aertzlichen Hilfe: 7900 (48/48)
7638 (48/48)

Betroffene Augen spuelen; stets fachaeztliche Vorstellung. Fruehzeitige inhalative und intravenoese Corticosteroidgabe (ersterer mit einem Praeparat hoher Rezeptor-Affinitaet und grosser topischer antiinflammatorischer Potenz) ist im Falle jeder Ozoneinatmung dringend indiziert. 99992 (48/48)

Dazu kann ggf. Sauerstoff zugefuehrt und medikamentoese Bronchodilatation und Sekretolyse vorgenommen werden. 7718 (48/48)

Ganz ausnahmsweise sich entwickelnde Resorptiveeffekte sind streng symptombezogen zu behandeln. Die (meist reversibel) geschaedigten Atemwege und Lunge beduerfen wie die ZNS- und Nierenfunktion einige Tage der Beobachtung in der Klinik. 99983 (48/48)

Empfehlungen :

Stoff/Produkt und durchgefuehrte Massnahmen dem Arzt angeben

Quelle

99999 (48/48)

WEITERE ANGABEN**Quelle**

Bei Verwendung aelterer Laserdrucker und Kopiergeraete, die noch keine Ozonfilter besitzen, sollte speziell bei laengeren Druck- oder Kopiervorgaengen der Raum gut gelueftet werden. Laengerfristig sollten diese Gerate durch neuere Gerate mit wirksamer Ozonfilterung ersetzt werden oder, noch besser, durch Gerate mit neuer Technologie, die kein Ozon mehr erzeugen. 99999 (50/ 0)

D A T E N B L A T T VOM : 29.11.95 ZVG-NR.: 004040 SEITE : 21
Ozon

AUSLAENDISCHE GRENZWERTE

Land : Norwegen
Jahr : 1994
Art : TWA
Grenzwert : 0,2 mg/m3
0,1 ml/m3
Quellen - Nr. : 7565 (47/00)

Land : USA
Jahr : 1992
Art : TWA
Grenzwert : 0,2 mg/m3
0,1 ml/m3
denotes ceiling limit
Quellen - Nr. : 7566 (47/00)

Land : Grossbritannien
Jahr : 1991
Art : TWA
Grenzwert : 0,2 mg/m3
0,1 ml/m3
Long-term exposure limit (8-hour TWA reverence period)
Quellen - Nr. : 7564 (47/00)

Land : Grossbritannien
Jahr : 1991
Art : STEL
Grenzwert : 0,6 mg/m3
0,3 ml/m3
Short-term exposure limit (10-min. reverence period)
Quellen - Nr. : 7564 (47/00)

Land : DDR
Jahr : 1989
Art : MAR-Rurzzeit
Grenzwert : 0,2 mg/m3
Quellen - Nr. : 7509 (47/00)

Anlage 1:
 Stoffdatenbank „Ozon“ der Zentralen Stoff- und
 Produktdatenbank (ZeSP) beim
 Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitssicherheit — BIA

* Zentrale Stoff- und Produktdatenbank (ZeSP) *	
D A T E N B L A T T V O M : 29.11.95 ZVG-NR.: 004040 S E I T E : 1	
Ozon	
Q U E L L E N - N R .	L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S
28	Auer-Technikum; Ausgabe 12 (1988)
5015	Kuehn-Birett-Merkblaetter: 15. Ergaenzungslieferung; 12/81
5229	TRGS 402: Ermittlung und Beurteilung der Konzentrationen gefaehrlicher Stoffe in der Luft in Arbeitsbereichen; Ausgabe November 1986; BARbBl. 11/86 S. 92-96; mit Aenderungen und Ergaenzungen: BARbBl.10/1988 S. 40-41; BARbBl. 9/1993 S. 77-78
5230	TRGS 403: Bewertung von Stoffgemischen in der Luft am Arbeitsplatz; Ausgabe Oktober 1989; BARbBl. 10/1989 S. 71-72
5232	TRgA 415: Tragezeitbegrenzungen von Atemschutzgeraeten und isolierenden Schutzanzuegen ohne Waermeaustausch fuer Arbeit Ausgabe September 1986; BARbBl. 9/1986 S. 91-92
5251	TRGS 555: Betriebsanweisung und Unterweisung nach Paragraph 20 GefStoffV; Ausgabe Maerz 1989; BARbBl. 3/1989 S. 85-87
5314	TRGS 420: Verfahrens- und stoffspezifische Kriterien fuer die dauerhaft sichere Einhaltung von Luftgrenzwerten (VSK); Ausgabe September 1993; BARbBl. 9/1993 S. 63-65
5317	TRGS 900: Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz - MAK- und TRK-Werte -; Ausgabe April 1995; BARbBl. 4/1995 S.47-67 Ergaenzung der TRGS 900; BARbBl. 7-8/1995
6002	Roth-Weller / Gefaehrliche chemische Reaktionen
6101	VBG 1: UVV Allgemeine Vorschriften vom 1. April 1977 in der Fassung vom 1. Juli 1991
6120	VBG 50: UVV Arbeiten an Gasleitungen vom 1. April 1988
6122	VBG 61: UVV Gase vom 1. April 1995
6604	ZH 1/140: Sicherheitsregeln fuer Anlagen zur Luftreinhaltung am Arbeitsplatz; Ausgabe Oktober 1987
6616	ZH 1/706: Regeln fuer den Einsatz von Schutzhandschuhen; Ausgabe April 1994
7509	TGL 32610: Maximal zulaessige Konzentrationen gesundheitsgefaehrdender Stoffe in der Luft am Arbeitsplatz in der DDR; Juli 1989
7557	Verordnung zum Schutz vor gefaehrlichen Stoffen (Gefahrstoffverordnung - GefStoffV) vom 26. Oktober 1993 (BGBl. I S. 1782) geaendert durch Verordnung zur Aenderung der Gefahrstoffverordnung vom

D A T E N B L A T T VOM : 29.11.95 ZVG-NR.: 004040 SEITE : 2
Ozon

QUELLEN-NR. LITERATURVERZEICHNIS

10. November 1993 (BGBl. I S. 1870) und durch die
Zweite Verordnung zur Änderung der Gefahrstoffverordnung
vom 19. September 1994 (BGBl. I S. 2557)
- 7564 Health Safety Executive : Occupational Exposure Limits
1991 (Grenzwertliste Grossbritannien)
- 7565 Veiledning til arbeidsmiljolooven: Administrative normer for
forurensning i arbeidsatmosfaere 1994
(Grenzwertliste - Norwegen)
- 7566 ACGIH: Threshold Limit Values for Chemical Substances and
Physical Agents 1992 (Grenzwertliste - USA)
- 7619 DFG: Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründungen von
MAK-Werten; Verlag Chemie
- 7635 Auer-Technikum; Ausgabe 12 (1988); in Verbindung mit
ZH 1/701: Regeln fuer den Einsatz von Atemschutzgeraeten;
Ausgabe April 1994
- 7638 M. Dauderer: Toxikologische Enzyklopaedie - Klinische
Toxikologie - Giftinformation Giftnachweis, Vergiftungs-
therapie; Loseblatt-Ausgabe, ecomed-Verlagsgesellschaft mbH
Landsberg ab 1981
- 7718 R. Ludewig, KH. Lohs: Akute Vergiftungen; 8. Aufl. VEB
Gustav Fischer Verlag, Jena 1991
- 7734 N.I. Sax; R.J. Lewis: Dangerous Properties of Industrial
Materials, Volume I, II, III; 7. Aufl., Van Nostrand
Reinhold, New York 1989
- 7781 Chemical Safety Sheets; Niederlande 1991
- 7835 Heinz Geerissen: Fragen und Antworten zum Thema Chemikalien-
schutzhandschuhe; Argus Journal 9-10/1993, S. 10-15
- 7866 G.D. Clayton, F.E. Clayton (edt.): Patty's Industrial
Hygiene and Toxicology, Volume II, Toxicology, 4. Aufl.;
John Wiley Sons, New York 1993
- 7900 H. Marquart, S.G. Schaefer (Hrsg.): Lehrbuch der Toxikologie
BI-Wissenschaftsverlag, Mannheim 1994
- 7901 DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft: MAK- und BAT-Werte-
Liste 1995, Senatskommission zur Pruefung gesundheitsschaed-
licher Arbeitsstoffe, Mitteilung 31; VCH
- 80106 BG-Chemie-Merkblatt M 006 Ausgabe 6/89
Besondere Schutzmassnahmen in Laboratorien
- 80150 BG-Chemie-Merkblatt M 050 Ausgabe 3/87 (ZH 1/118)

Anlage 2: Neue Entwicklungen

Aus dem Merkblatt: Ozon auf Baustellen

Dieses Merkblatt wurde erstellt vom Zentralverband des Deutschen Baugewerbes, der Industriegewerkschaft Bauen-Agrar-Umwelt, dem Hauptverband der Deutschen Bauindustrie und den Berufsgenossenschaften der Bauwirtschaft. Es soll die Beschäftigten der Bauwirtschaft in die Lage versetzen, die Ozon-Konzentrationen, denen sie auf den Baustellen ausgesetzt sind, abzuschätzen.

Was ist Ozon?

Ozon (griech.: ozein = nach etwas riechen) ist ein farbloses, giftiges Gas, über dessen Wirkung auf den Menschen immer wieder heftig diskutiert wird.

Ozon spielt in der Erdatmosphäre eine Doppelrolle. In den Luftschichten oberhalb 10 km, der Stratosphäre, befindet sich der Hauptanteil dieses Gases (über 90 %). Dort übt Ozon die lebenswichtige Funktion eines Filters gegen den schädlichen ultravioletten Anteil der Sonnenstrahlung aus. In diesen Luftschichten befindet sich auch das „Ozonloch“, das u.a. zu einem Anstieg von bodennaher UV-Strahlung in den betreffenden Regionen führt.

In den unteren Luftschichten und insbesondere in der bodennahen Luft tritt Ozon sowohl natürlich als auch im Som-

mersmog als Luftverunreinigung in einem Gemisch von Chemikalien bei intensiver Sonneneinstrahlung auf. Ozon ist die Leitkomponente des Sommersmogs.

Wann werden Ozon-Konzentrationen gemeldet?

Der aktuelle Ozongehalt in der bodennahen Luft wird im wesentlichen durch die jeweiligen meteorologischen Gegebenheiten bestimmt, d.h. durch Dauer und Intensität der Sonneneinstrahlung. Die höchsten Konzentrationen treten nachmittags am Rande von Ballungsgebieten auf.

In allen Bundesländern werden an insgesamt 325 Meßstellen ständig Ozonkonzentrationen gemessen und die Tageshöchstwerte in Zeitungen und im Rundfunk veröffentlicht. Auf Grundlage dieser Werte muß die Bevölkerung von der obersten Verkehrsbehörde jedes betroffenen Bundeslandes in den Medien auf Verkehrsverbote aufmerksam gemacht werden, wenn

- an mindestens drei Meßstationen im Bundesgebiet,
- die nicht weniger als 50 km und nicht mehr als 250 km voneinander entfernt sind,

Anlage 2: Neue Entwicklungen

Aus dem Merkblatt: Ozon auf Baustellen

eine Ozon-Konzentration von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ über eine Stunde erreicht wird und

dies für den nächsten Tag ebenfalls zu erwarten ist.

Es ist zu beachten, daß die amtlichen Meßstellen die Tageshöchstwerte melden, die jeweils nachmittags auftreten. Die für die Belastung am Arbeitsplatz wichtige durchschnittliche Konzentration ist in der Regel deutlich niedriger (um ein Drittel), da die Ozon-Konzentrationen morgens noch nicht so hoch sind und gegen Abend wieder abfallen.

Wie hoch ist die Ozon-Konzentration auf den Baustellen?

Messungen haben gezeigt, daß die Ozon-Konzentrationen auf fast allen Arbeitsplätzen der Bauwirtschaft niedriger sind als die Werte der amtlichen Meßstellen. Ozon reagiert sehr rasch und zerfällt daher an Oberflächen und bei Kontakt mit Staubteilchen. Da auf Baustellen sehr oft Oberflächen (Wände in Rohbauten, Gruben, Kränen, Fahrzeugen) oder Schadstoffe wie Abgase von Dieselmotoren und Baustellenstaub vorliegen, ist es nicht verwunderlich, daß die Ozon-Konzentrationen auf Baustellen niedriger sind als in der freien Natur.

Tabelle 1:
Ozon-Werte auf Baustellen im Vergleich zu den Tagesmittelwerten (in %)

<input type="checkbox"/> Im Freien (z.B. Spazierweg, Liegewiese, Sportplatz)	100
<input type="checkbox"/> Dachdecker (am Stelldach), Zimmerer, Maurer im Freien	80
<input type="checkbox"/> Offener Rohbau (Fenster und Türen nicht eingesetzt), z.B. Fenstereimbau, Heizungsbau	65
<input type="checkbox"/> Geschlossener Rohbau (Fenster und Türen eingesetzt), z.B. Tapezieren, Türensetzen, Innenputz	30
<input type="checkbox"/> Bei Dieselabgasen oder Baustellenstaub (Holzstaub, Spritzputz)	70
<input type="checkbox"/> Geschlossene Innenräume (z.B. Gebäudereinigung)	10
<input type="checkbox"/> Maschinenführer von Schwarzdeckenfertigern	50
<input type="checkbox"/> LKW- bzw. PKW-Innenraum	10
<input type="checkbox"/> Kran- oder Baggerkabine geschlossen	20
<input type="checkbox"/> Kran- oder Baggerkabine offen	100
<input type="checkbox"/> Gräben und Schächte bis 3 m Tiefe	80
bis 8 m Tiefe	40
<input type="checkbox"/> Baugruben Rand	50
Mitte	85

Das folgende Beispiel des geschlossenen Rohbaus zeigt, wie man die Ozonwerte für einen bestimmten Arbeitsplatz ermitteln kann:

1. Tageshöchstwert der amtlichen Meßstelle:

240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

2. Schichtmittelwert (zwei Drittel des Tageshöchstwertes):

160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

3. Im geschlossenen Rohbau laut Tabelle 30 %

vom Schichtmittelwert: 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Weitere Informationen enthält der BIA-Report „Ozon“ (8/95). Den BIA-Report sowie weitere Auskünfte erhalten Sie bei den im Titel aufgeführten Institutionen, zum Beispiel dem Arbeitsmedizinischen Dienst (AMD) und dem Technischen Aufsichtsdienst der Berufsgenossenschaften der Bauwirtschaft.

Anlage 2: Neue Entwicklungen

Arbeitsschutzmaßnahmen für Arbeiten im Freien
bei witterungsbedingter erhöhter Ozonkonzentration in der Außenluft
— Orientierungshilfe —

Bek. des BMA vom 2. Mai 1996 — III b 2 — 34505-12 —

1 Vorbemerkungen

1.1:

Diese Orientierungshilfe richtet sich an Arbeitgeber, Fachkräfte für Arbeitssicherheit, Betriebsärzte, Betriebs-/Personalräte, staatliche und berufsgenossenschaftliche Aufsichtsdienste. Sie enthält Hinweise, ob und welche Arbeitsschutzmaßnahmen für Arbeiten im Freien bei witterungsbedingter erhöhter Ozonkonzentration in der Außenluft zu empfehlen sind. Betroffen sind u.a. Beschäftigte auf Baustellen sowie in der Land- und Forstwirtschaft. Die dort Beschäftigten sind in der Mehrzahl zusätzlich durch körperlich schwere Arbeit belastet. Damit ist ein erhöhtes Atemvolumen und dadurch bedingt eine erhöhte Ozonaufnahme verbunden.

1.2:

Das Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung hat nach Konsultation der Länder, des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften, des Bundesverbandes der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften, gewerblicher Berufsgenossenschaften der betroffenen Wirtschaftsbereiche sowie der Arbeitgeber- und Arbeitnehmerseite diese Orientierungshilfe in einem Arbeitskreis erarbeitet. Es empfiehlt sich, diese Orientierungshilfe, insbesondere den Abschnitt 5 bezüglich der zu ergreifenden

Arbeitsschutzmaßnahmen, branchenspezifisch auszugestalten. Zu gegebener Zeit könnte es auch notwendig werden, die Orientierungshilfe zu aktualisieren oder zu ändern, wenn dazu neuere Erkenntnisse Anlaß geben.

1.3:

Für Arbeitsplätze, an denen durch eingesetzte Arbeitsverfahren oder -stoffe mit dem Auftreten von Ozon zu rechnen ist, gilt die Gefahrstoffverordnung.

2 Entstehung und Auftreten von Ozon

2.1:

Ozon (O_3) ist ein sehr reaktionsfähiges Gas mit typischem „Höhensonnengeruch“. Eine erhöhte Ozonkonzentration in der Außenluft ist eine Komponente des sogenannten Sommersmogs, d.h., sie tritt nur im Sommer zu Zeiten länger anhaltender Schönwetterlagen auf. Bei Vorliegen einer intensiven Sonneneinstrahlung und verschiedenen Luftverunreinigungen wie Abgasen aus Verbrennungsmotoren und Kohlekraftwerken wird vermehrt Ozon gebildet.

2.2:

Im Tagesverlauf schwankt die Ozonkonzentration. Sie steigt während der Vormittagsstunden stetig an, um mittags für

etwa zwei bis drei Stunden ihr Maximum zu erreichen. Gegen Abend geht die Ozonkonzentration wieder zurück. Dieser Rückgang verläuft in Ballungsräumen (dort reagiert Ozon mit anderen Luftschadstoffen) schneller als in „Reinluft“-Gebieten, z.B. in ländlichen Gebieten oder Stadtrandbezirken.

3 Auswirkungen auf den Menschen

3.1:

Ozon kann Reizempfindungen an den Augen und im Nasen-Rachen-Raum, Heiserkeit, Husten, Beklemmungsgefühl hinter dem Brustbein und eine Minderung der allgemeinen körperlichen Leistungsfähigkeit verursachen. Durch medizinische Untersuchungen können

- Entzündungen im Bereich der Augenbindehäute sowie der Nasen- und Bronchialschleimhäute,
- Veränderungen bestimmter Lungenfunktionsmeßwerte,
- eine Steigerung der bronchialen Empfindlichkeit,
- eine Senkung der Schwelle für Atembeschwerden bei Personen mit allergischen Atemwegserkrankungen und
- eine verminderte körperliche Leistungsfähigkeit im Rahmen von ergonomischen Untersuchungen festgestellt werden.

3.2:

Die Empfindlichkeit der Menschen gegenüber Ozon ist sehr unterschiedlich. Die Wirkungen von Ozon auf den Menschen sind vor allem abhängig von dessen Konzentration in der Atemluft und der Menge geatmeter Luft. Dabei ist bekannt, daß 10 bis 20 % der Bevölkerung besonders empfindlich auf Ozon reagieren. Diese besondere Empfindlichkeit ist nicht durch Voruntersuchungen erkennbar und in ihrem Mechanismus noch nicht geklärt.

3.3:

Bei wiederholter Belastung mit Ozon an aufeinanderfolgenden Tagen klingt die dadurch verursachte Wirkung auf die Lungenfunktion ab; dies wird als „Anpassung“ bezeichnet. Da aber festgestellt wurde, daß Entzündungen der Atemwege und bronchiale Überempfindlichkeit fortbestehen können, darf diese „Anpassung“ nicht zum Verzicht auf Schutzmaßnahmen verleiten.

3.4:

Aufgrund neuer tierexperimenteller Befunde hat die MAK-Kommission Ozon 1995 als „krebsverdächtig“ eingestuft. Für den Menschen liegen bisher keine ausreichenden epidemiologischen Erfahrungen vor. Wenn das ozonbedingte Risiko im Vergleich zu bekannten Lungenkrebsrisiken auch eher klein sein dürf-

Anlage 2:

Neue Entwicklungen

Arbeitsschutzmaßnahmen für Arbeiten im Freien
bei witterungsbedingter erhöhter Ozonkonzentration in der Außenluft
— Orientierungshilfe —

Bek. des BMA vom 2. Mai 1996 — III b 2 — 34505-12 —

te, veranlaßt die Einstufung durch die MAK-Kommission doch zur Vorsicht.

konzentration bei Arbeiten im Freien durchzuführen.

4 Vorgehen

4.1:

Für die Vielzahl verschiedener, oft wechselnder und verstreut liegender Arbeitsplätze im Freien kann eine verpflichtende meßtechnische Überwachung der witterungsbedingten Ozonkonzentration während der Sommermonate durch den Arbeitgeber nicht gefordert werden. Für die Prüfung, ob und welche Schutzmaßnahmen durchzuführen sind, wird empfohlen, die nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz erfolgenden Messungen und Bekanntmachungen der Ozonkonzentration heranzuziehen.

Die Bevölkerung wird durch die Behörden über die Medien (Zeitungen, Rundfunk, Fernsehen) informiert, wenn die Ozonkonzentration den Wert $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Mittelwert über eine Stunde erreicht. Die Information umfaßt auch Angaben zur Vorhersage über die weitere Entwicklung der Konzentrationswerte.

4.2:

Einem Arbeitgeber steht jedoch frei (beispielsweise bei Zweifel über die tatsächlich vorhandene Ozonkonzentration auf einer Baustelle), Messungen der Ozon-

5 Arbeitsschutzmaßnahmen

5.1:

Bei Information der Bevölkerung über das Erreichen des $180 \mu\text{g}$ -Wertes prüft der Arbeitgeber, ob und welche der nachfolgenden Maßnahmen zu ergreifen sind. Die Orientierung erfolgt an dem $180 \mu\text{g}$ -Wert, weil die Ozonbelastung bei Aufenthalt im Freien auch außerhalb der Arbeitszeit vorliegt. Der Arbeitgeber wählt in Abhängigkeit von den örtlichen und branchenspezifischen Gegebenheiten sowie von der Art und Schwere der Arbeiten geeignete Maßnahmen aus.

5.2:

Grundsätzlich ist es wichtig, daß

- die Beschäftigten über gesundheitliche Risiken bei erhöhter Ozonkonzentration sowie über mögliche Schutzmaßnahmen und notwendiges Verhalten aufgeklärt und informiert werden,
- Beschäftigte, die an Tagen mit witterungsbedingter erhöhter Ozonkonzentration Beschwerden haben, die sie auf diese erhöhte Ozonkonzentration zurückführen bzw. unter Erkrankungen der Atemwege leiden, sich umgehend betriebsärztlich beraten und untersuchen

lassen können; ggf. sind dann für diese Beschäftigten weitergehende Schutzmaßnahmen zu veranlassen.

Mögliche Schutzmaßnahmen sind:

- Verlagern von schwerer körperlicher Arbeit in die Morgen- und Vormittagsstunden,
- Zwischenschaltung leichterer Arbeiten zur Verminderung des Atemvolumens und damit der über die Atmung aufgenommenen Ozondosis,
- Verlagern der Arbeiten in das Innere von Gebäuden bzw. in den Schatten,
- Vermeiden von Mehrarbeit,
- Vermeiden von Mehrfachbelastungen durch andere Reizstoffe,
- Einlegen von Erholungspausen; Pausen möglichst in geschlossenen Räumen verbringen,
- Einsatz von Arbeitscontainern,

Freiluftarbeitsplätze durch „Sonnendächer“ abschatten.

Andere geeignete Maßnahmen als die hier aufgelisteten sind möglich.

6 Literaturhinweise/Bezugsquellen

BIA-Report 8/95 „Ozon“ — BIA-Fachgespräch 25. und 26. September 1995. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Alte Heerstraße 111, 53754 Sankt Augustin

Merkblatt: Ozon auf Baustellen. Informationsschrift des Zentralverbandes des Deutschen Baugewerbes, der Industriegewerkschaft Bauen-Agrar-Umwelt, des Hauptverbandes der Deutschen Bauindustrie und der Berufsgenossenschaften der Bauwirtschaft.

Quelle: Bundesarbeitsblatt 6/1996, S. 73 - 74

Anlage 2: Neue Entwicklungen

Arbeitsschutzmaßnahmen bei Ozonbelastung am Arbeitsplatz

Broschüre LV 5 des Länderausschusses
für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI)

Die Broschüre faßt einige Aspekte, die bereits in diesem BIA-Report erläutert wurden, nochmals in Kurzform zusammen. Das betrifft die Punkte

- Ozonbildung
- Wirkung von Ozon auf den Menschen
- Richt- und Grenzwerte für Ozon
- Schutzmaßnahmen für den Arbeitnehmer

Bei dem letztgenannten Punkt werden drei Fallgruppen unterschieden

1. Ozon entsteht am Arbeitsplatz in Innenräumen
2. Ozon wird durch die Belüftung mit Außenluft dem Arbeitsplatz zugeführt
3. Ozon ist in der Atemluft bei Arbeitsplätzen im Freien vorhanden.

Die Fallgruppen 1 und 3 sind auch Gegenstand dieses BIA-Reports. Bezüglich Fallgruppe 2 ist aus Messungen bekannt, daß Ozon, welches durch Türen, Fenster oder Lüftungsöffnungen eindringt, sich an Wänden und sonstigen Oberflächen sehr schnell abbaut, so daß auf diesem Wege keine stark erhöhten Ozonkonzentrationen in Innenräumen entstehen. Das heißt im Klartext: Niemand muß befürchten, daß durch die Klimaanlage oder ein geöffnetes Fenster gesundheitsgefährdende Ozonkonzentrationen im Innenraum entstehen. Diese Fallgruppe ist also vom Standpunkt der Gefahrstoffeinwirkung irrelevant.

Die vorgeschlagenen Arbeitsschutzmaßnahmen sind identisch mit denen, welche in diesem BIA-Report (siehe Seite 187-188) sowie in der vorstehenden Orientierungshilfe des Bundesministeriums für Arbeit und Sozialordnung (BMA) aufgeführt wurden.

Anschriften der Autoren

Dr. Ian Barnes
Bergische Universität —
Gesamthochschule Wuppertal
Physikalische Chemie — FB 9
Gaußstraße 20
42119 Wuppertal
Postanschrift: 42097 Wuppertal

Prof. Dr. Karl-Heinz Becker
Bergische Universität —
Gesamthochschule Wuppertal
Physikalische Chemie — FB 9
Gaußstraße 20
42119 Wuppertal
Postanschrift: 42097 Wuppertal

Dr. Helmut Blome
Berufsgenossenschaftliches Institut
für Arbeitssicherheit — BIA
Alte Heerstraße 111
53757 Sankt Augustin
Postanschrift: 53754 Sankt Augustin

Dipl.-Ing. Gerhard Dörner
Berufsgenossenschaft Druck
und Papierverarbeitung
Rheinstraße 6 - 8
65185 Wiesbaden
Postanschrift: 65173 Wiesbaden

Dr. Reinhold Görden
Bundesministerium für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit
Referat IG13
Kennedyallee 5
53175 Bonn

Postanschrift:
Postfach 12 06 29
53048 Bonn

Dipl.-Ing. Thomas Götte
Berufsgenossenschaftliches Institut
für Arbeitssicherheit — BIA
Alte Heerstraße 111
53757 Sankt Augustin
Postanschrift: 53754 Sankt Augustin

Dipl.-Ing. Andreas Höptner
Tiefbau-Berufsgenossenschaft
Am Knie 6
81241 München
Postanschrift: 81237 München

Dr. Peter Höpfe
Institut und Poliklinik für Arbeitsmedizin
der Universität München
Ziemssenstraße 1
80336 München

Direktor und Professor Dr. Dieter Jost
Umweltbundesamt
Bismarckplatz 1
14193 Berlin
Postanschrift:
Postfach 33 00 22
14191 Berlin

Prof. Dr. Hermann Kappus
Virchow-Klinikum
Augustenburger Platz 1
13353 Berlin

Anschriften der Autoren

Dr. Horst Kleine
Berufsgenossenschaftliches Institut
für Arbeitssicherheit — BIA
Alte Heerstraße 111
53757 Sankt Augustin
Postanschrift: 53754 Sankt Augustin

Dr. Jutta Lindner
Institut und Poliklinik für Arbeitsmedizin
der Universität München
Ziemssenstraße 1
80336 München

Dr. Gabriele Lotz
Bundesanstalt für Arbeitsmedizin
(BAfAM)
Nöldnerstraße 40-42
10317 Berlin
Postanschrift:
Postfach 5
10266 Berlin

Dipl.-Phys. Carsten Möhlmann
Berufsgenossenschaftliches Institut
für Arbeitssicherheit — BIA
Alte Heerstraße 111
53757 Sankt Augustin
Postanschrift: 53754 Sankt Augustin

Bernhard Osterheld
Bundesministerium für Arbeit
und Sozialordnung
Referat IIIb2
Rochusstraße 1
53123 Bonn

Postanschrift:
Postfach 14 02 80
53107 Bonn

Dr. Georg Praml
Institut und Poliklinik für Arbeitsmedizin
der Universität München
Ziemssenstraße 1
80336 München

Dr. Gerlinde Rabe
Institut und Poliklinik für Arbeitsmedizin
der Universität München
Ziemssenstraße 1
80336 München

Dr. Reinhold Rühl
Bau-Berufsgenossenschaft Frankfurt
An der Festeburg 27-29
60389 Frankfurt am Main
Postanschrift:
Postfach 60 01 12
60331 Frankfurt am Main

Prof. Dr. Wolfram Dietmar Schneider
Bundesanstalt für Arbeitsmedizin
(BAfAM)
Nöldnerstraße 40-42
10317 Berlin
Postanschrift:
Postfach 5
10266 Berlin

Dr. Thomas Smola
Berufsgenossenschaftliches Institut
für Arbeitssicherheit — BIA
Alte Heerstraße 111
53757 Sankt Augustin
Postanschrift: 53754 Sankt Augustin

Dipl.-Ing. Vilea-Elena Spiegel-Ciobanu
Norddeutsche Metall-
Berufsgenossenschaft
Hans-Böckler-Allee 26
30173 Hannover
Postanschrift:
Postfach 45 29
30045 Hannover

Dipl.-Ing. Wolfgang Stroh
Bau-Berufsgenossenschaft Hannover
Arbeitsmedizinischer Dienst
Hildesheimer Straße 309
30519 Hannover
Postanschrift: 30141 Hannover

Dipl.-Ing. Gerhard Wischer
Industriegewerkschaft
Bau — Steine — Erden

Bundesvorstand
Umweltbüro Berlin
Am Köllnischen Park 2
10179 Berlin

Johannes Weidhofer
Allgemeine Unfallversicherungsanstalt
(AUVA)
Hauptstelle und Sicherheits-
technische Prüfstelle
Adalbert-Stifter-Straße 65
A-1201 Wien

Direktor Univ. Doz. Dr. Norbert Winker
Allgemeine Unfallversicherungsanstalt
(AUVA)
Hauptstelle und Sicherheits-
technische Prüfstelle
Adalbert-Stifter-Straße 65
A-1201 Wien

Dr. Gerd Zoubek
Tiefbau-Berufsgenossenschaft
Am Knie 6
81241 München
Postanschrift: 81237 München

