

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 nahe liegt, 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 Lösemittleinsätze! 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
- Dieselrauche 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.

Atenschutz gegen Ozon

T. Götte

Berufsgenossenschaftliches Institut für
Arbeitssicherheit – 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.

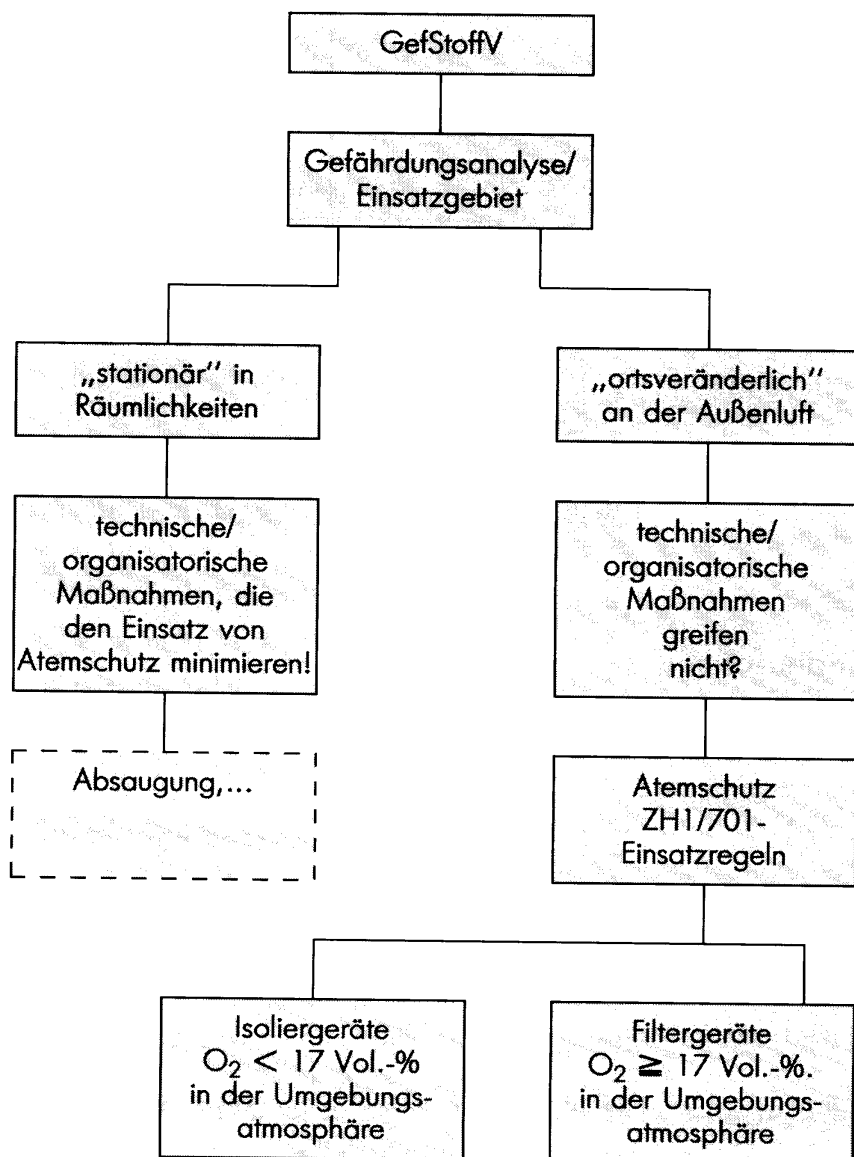


Abbildung 1:
Auswahlkriterien für
Atenschutz gegenüber Ozon
Beispiel: Forstwirtschaft

Atemschutz 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.

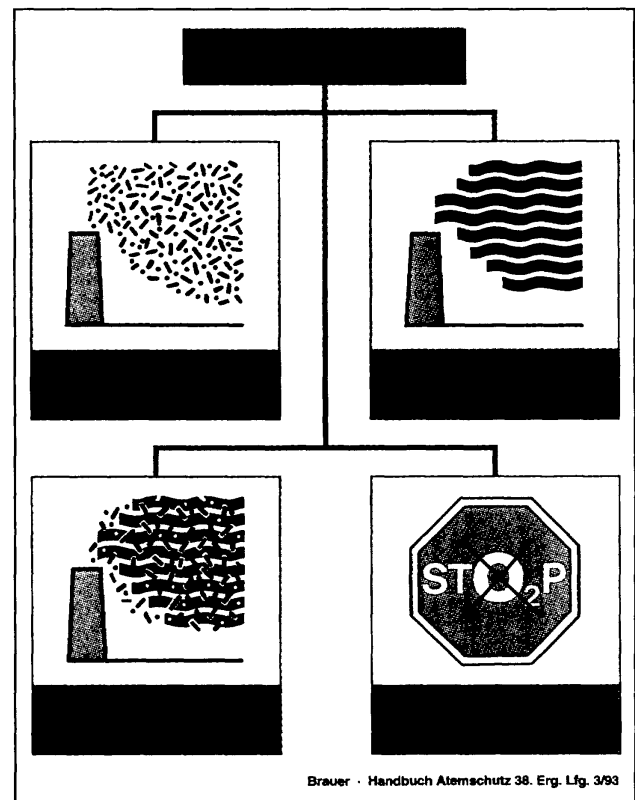
$O_2 \geq 17 \text{ Vol.-%}$ → Der Einsatz von Filtergeräten wird möglich.

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)



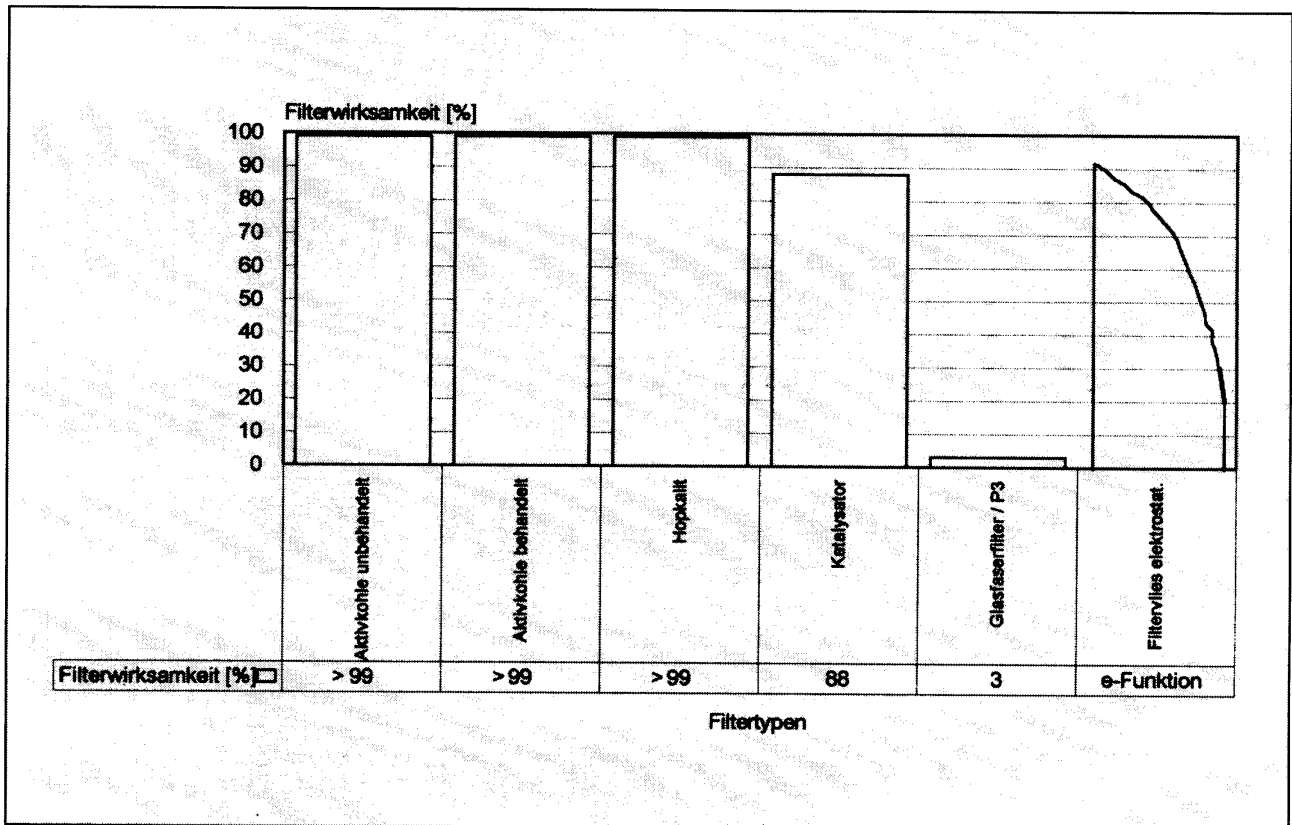
Aktivkohle, behandelt oder unbehandelt sowie Hopkalit erzielten sehr gute Ergebnisse.

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 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

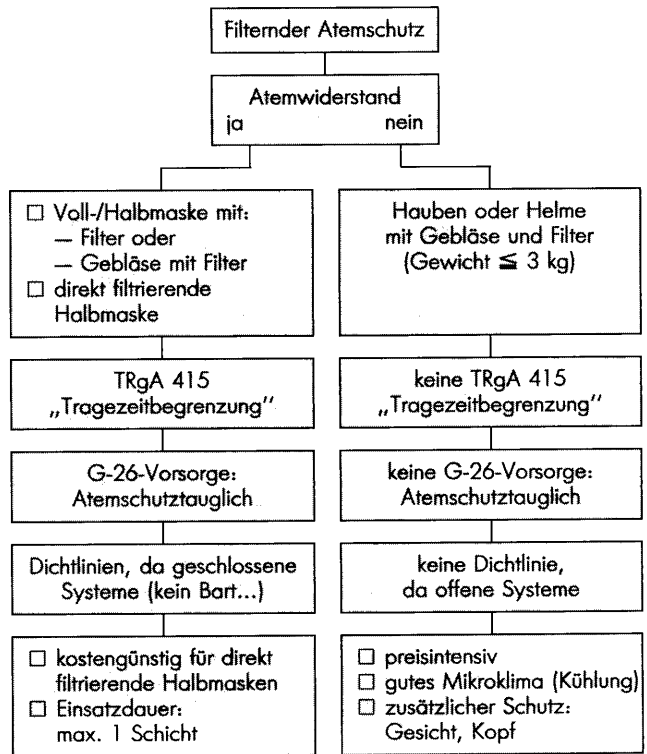


Abbildung 4:
Auswahlkriterien für
Atemschutz gegenüber Ozon
Beispiel: Forstwirtschaft

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 Barträger sind nicht geeignet.

Dagegen besitzen Hauben oder Helme mit Filtergebläse als offene Systeme so

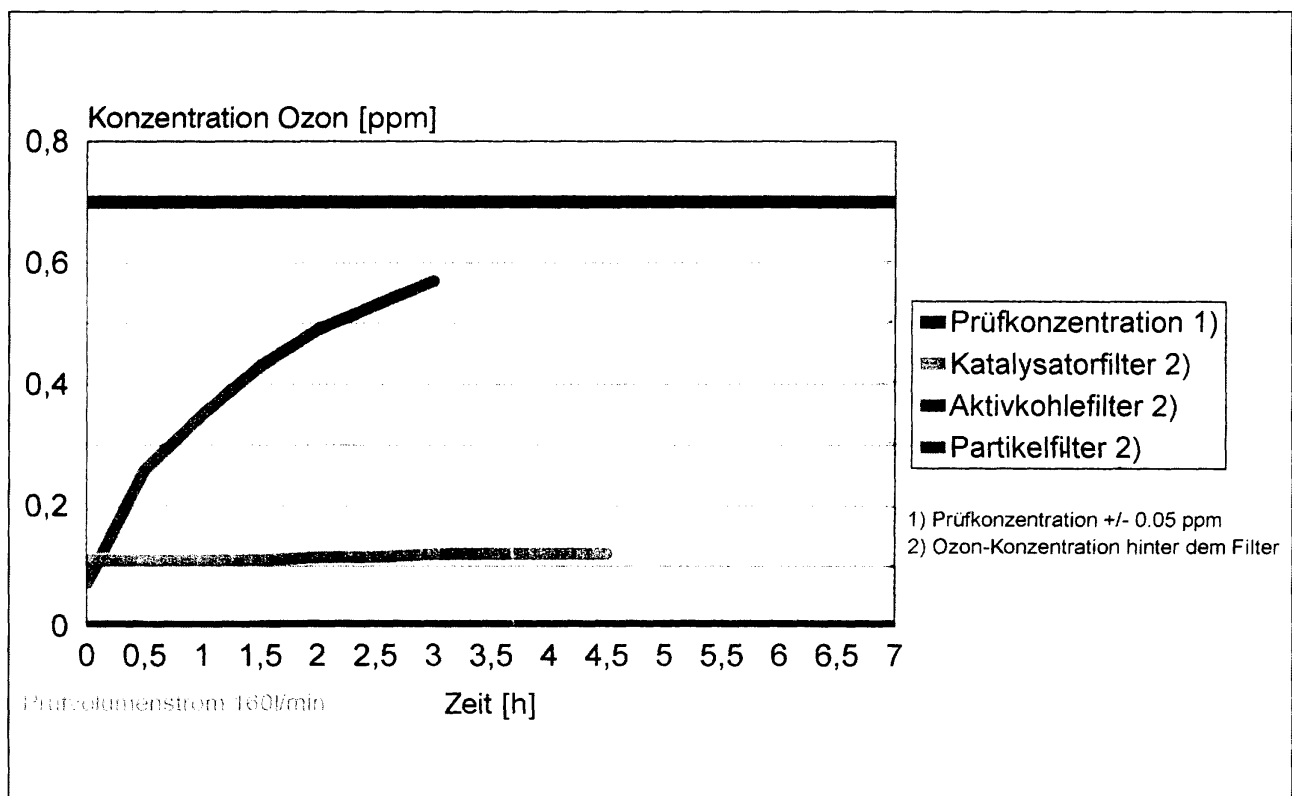
gut wie keinen Atemwiderstand. Eine Belastung für den Träger kann nur durch das Gerätegewicht bestehen. Durch den ständigen Überschuß an gereinigter Luft werden Leckagen vermieden. Die Schutzwirkung ist auch bei geringerem Dichtsitz gegeben.

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.

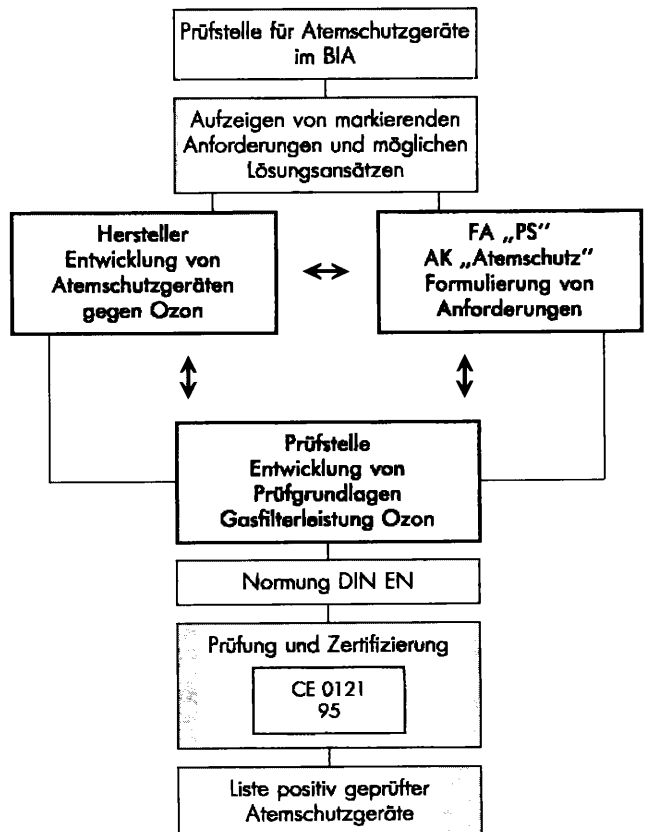


Abbildung 6:
Umsetzung/geeigneter
Atemschutz
gegenüber Ozon

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, BfAM) 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 Fachgesprächs 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 zerlegt. 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 hingenommen 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 verhindert, 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 Geschosßdecke 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 $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (AlMg₄,5Mn) 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 nennenswerte 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-CO₂-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 vorpolymerisierte 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 Ausnahmearten 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 achttündigen 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 Luftreinhalte-richtlinien 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 Luftreinhalte-richtlinien (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, ortsgelundene 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 Ozonerfall 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 Maurern, 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. Görden: 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