

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

Ozon-Problematik auf Baustellen 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.

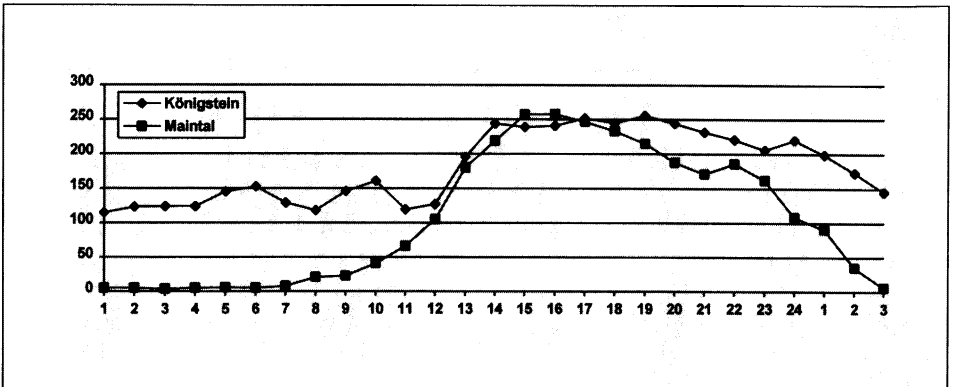
Was bedeutet aber die vorgeschlagene Vorgehensweise? Für den Fall, daß für ein bestimmtes Gebiet Ozonalarm gegeben wird, ist die Situation klar — es sind Maßnahmen (auf die später noch eingegangen wird) zu ergreifen. Wie hoch kann aber die Ozonbelastung auf einer Baustelle sein, wenn nicht Ozonalarm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

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

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.

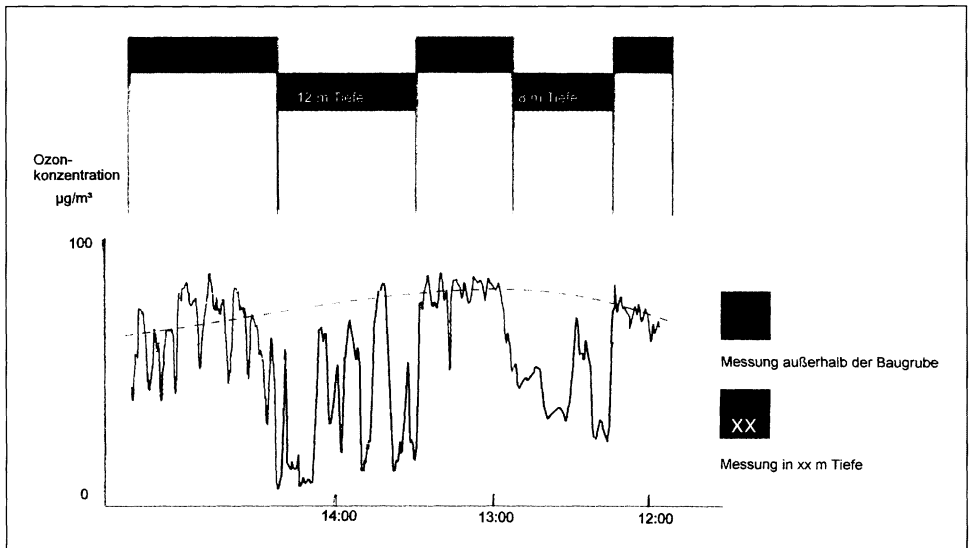
Ziel der Untersuchung

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



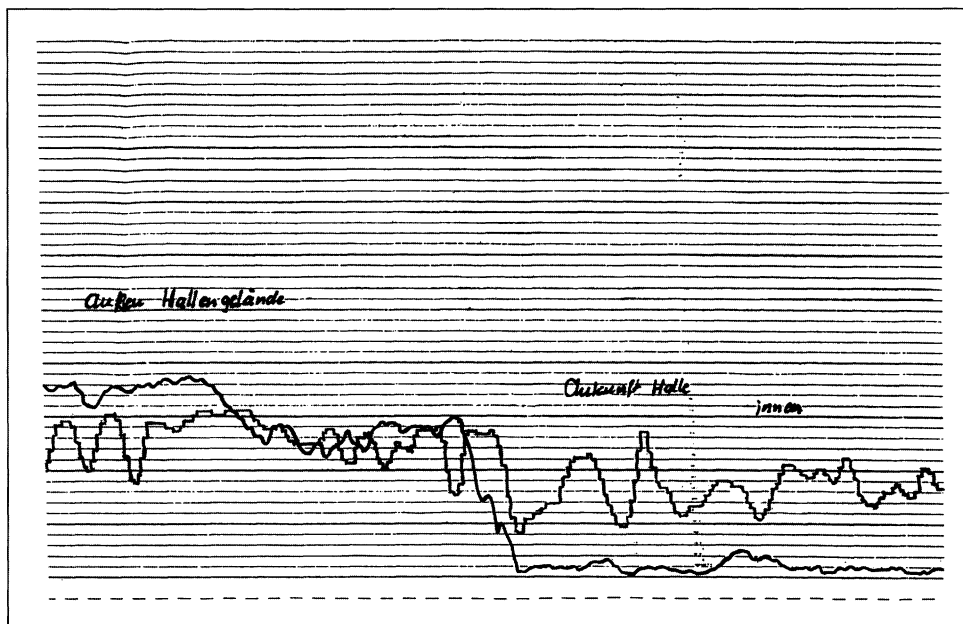
Bei der synchronen Messung wurde mit zwei Analysatoren gleichzeitig im Außen- und Arbeitsbereich gemessen. Im allgemeinen wurde auch bei der Synchronmessung eine zeitversetzte Messung angeschlossen, um etwaige Abweichungen der Analysatorencharakteristik zu erkennen (Abbildung 2, siehe Seite 102).

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):
Ozommessung 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				

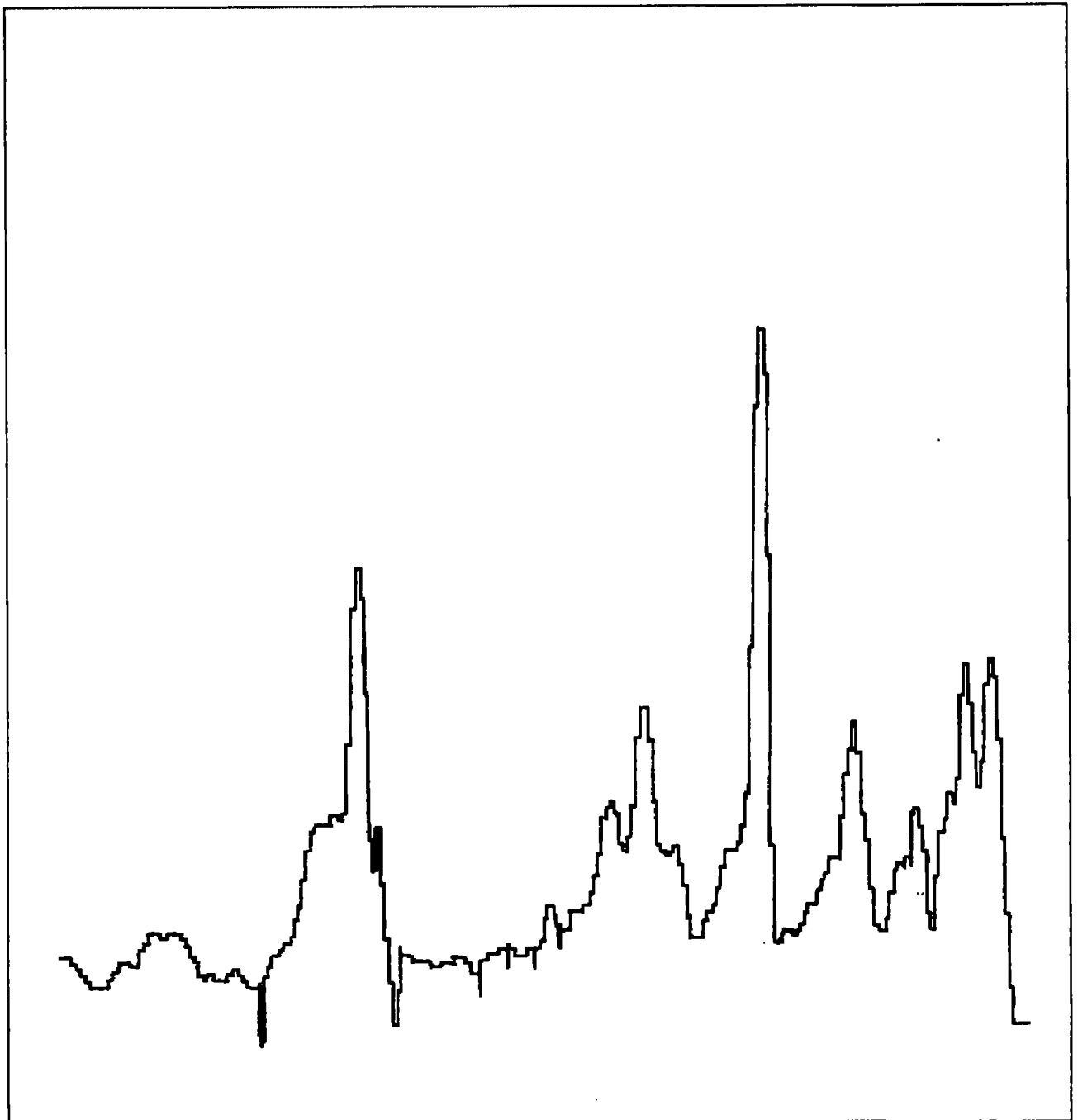
32,0 und 55,8 % des Ozongehaltes in der Umgebung der Baustelle. Am Meßort vorbeifahrende Kraftfahrzeuge verursachten eine erhebliche, aber nur kurzzeitige Absenkung der Ozonkonzentration.

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 Ozon Neubildung 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 Ozonanalysatoren, die für den Betrieb in stationären Meßstellen oder Laboratorien 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 Ozonanalysatoren verwendeten Prüfröhrchen der Fa. Dräger „Ozon 0,05 /b“ zeigen neben einer zufriedenstellenden Nachweisgrenze auch eine gute Übereinstimmung mit den Analysatorwerten. 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 Immissionsituation

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

nenten 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		
AlMgSi1 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 angetrieben wird. Beim Schweißen wird dagegen ein zylinderförmiger Bereich um den Laserstrahl herum zum Schmelzen und teilweisen Verdampfen gebracht. Der innere dampfförmige Kanal, bestehend aus Metaldampf, 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 bestimmbarer 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 Riesemolekülen; 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

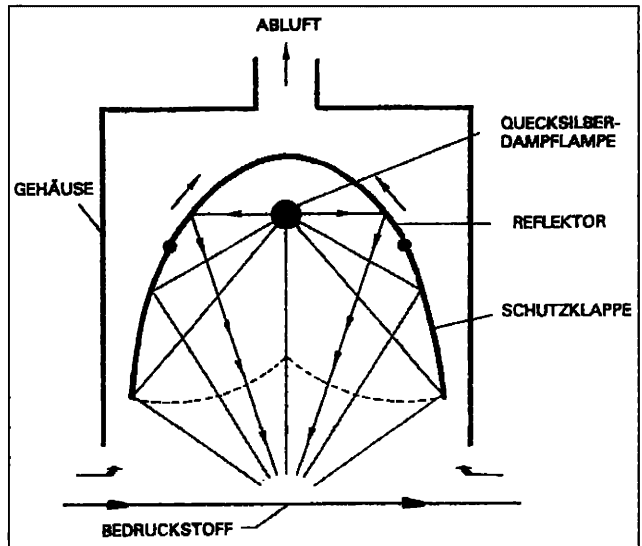


Abbildung 2:
Schema eines UV-Strahlers

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.

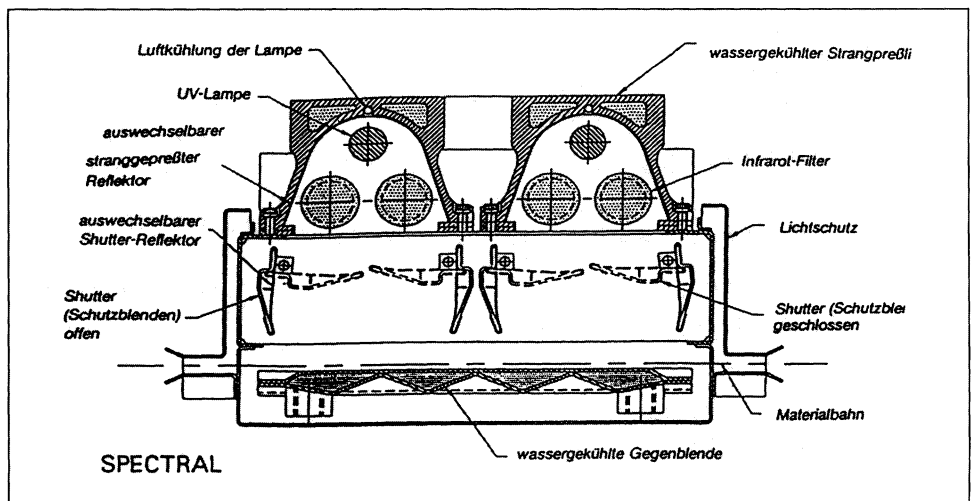
Seit einiger Zeit messen wir auch die Ozonkonzentration im Raum und im Freien; je nach Wetterlage treffen wir hier auf Schwierigkeiten.

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

J. Weidhofer und N. Winker

Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA)

Hauptstelle und Sicherheitstechnische Prüfstelle, Wien

Seit 1989 wurde der österreichische Arbeitnehmerschutz vermehrt mit den drei Problemfeldern des Ozons konfrontiert: Zunahme des bodennahen Ozons, Erhöhung der UV-Belastung durch Abnahme der schützenden Ozonschicht in der Stratosphäre [1] und Belastung durch Ozon an verschiedenen Arbeitsplätzen [2].

Aus folgenden Gründen wurde der Ozonausstoß von diversen Büromaschinen ein Schwerpunkt unserer Untersuchungen:

- Dieser Bereich war nicht wie Ozon in der Umwelt durch ein eigenes Gesetz zu regeln [3].
- Es gab sehr viele Exponierte.
- Technische Lösungen für die Vermeidung dieser Ozonexposition waren vorhanden bzw. in Sicht.
- Aufgrund der Sensibilisierung der Bevölkerung mußte dem medialen Schreckgespenst Ozon eine sachliche Information entgegengesetzt werden.

Aus den Vorläufersubstanzen bilden sich in der Umwelt unter der Einwirkung der Sonnenstrahlung durch photochemische Reaktionen in der Luft Photooxidantien mit der Leitkomponente Ozon. Ebenso ungewollt entsteht bei der Verwendung von Fotokopiergeräten (unter Fotokopier-

geräten sind im folgenden auch alle Laserdrucker und manche FAX-Geräte, die nach dem elektrostatischen Verfahren arbeiten, zu verstehen) im Büro Ozon aus Luftsauerstoff durch die Hochspannung über eine stille elektrische Entladung.

In den letzten Jahren ist in bezug auf die Schadstoffminimierung bei den Büromaschinen sehr viel geschehen, nicht zuletzt durch den Wettbewerb aufgrund der Mechanismen des Marktes.

Handlungsbedarf

Warum kann aufgrund von Ozonemissionen durch moderne Fotokopiergeräte bei Raumlufkonzentrationen auch deutlich unterhalb des Grenzwertes von 100 ppb oder 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Handlungsbedarf gegeben sein?

In Österreich gilt das Minimierungsgebot nicht nur bei TRK-Werten, sondern es ist bei jedem Arbeitsstoff mit einem MAK-Wert anzustreben, daß dieser Wert stets möglichst weit unterschritten wird [4].

Laut Meinung von Fachleuten und aufgrund eigener Beobachtungen können bei empfindlichen Personen — etwa 10 % der Bevölkerung gelten als besonders empfindlich gegenüber Ozon —

Ozon beim Einsatz von Fotokopiergeräten

z.B. Augenreizungen oder Augenzündungen 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 niedrigen 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 stabi-

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):

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

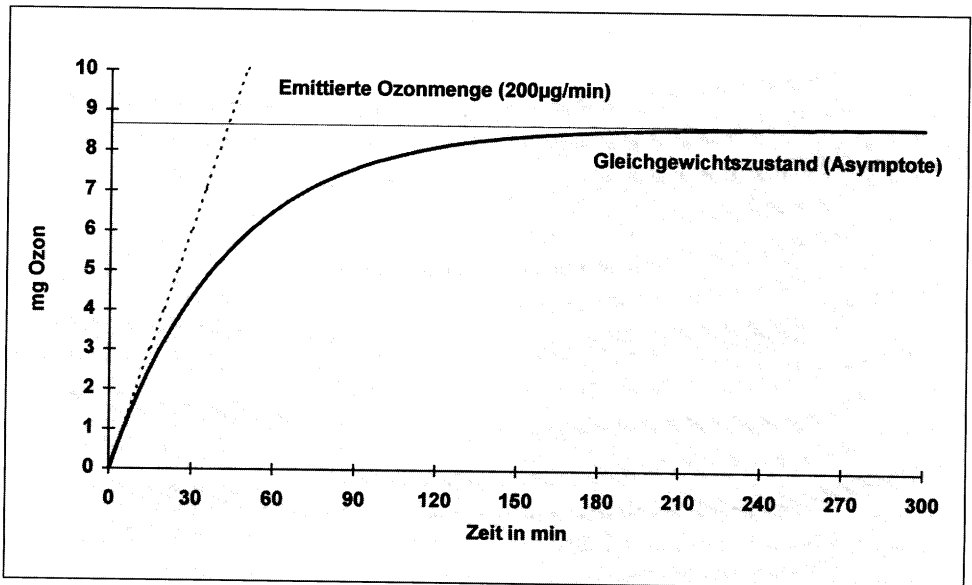
$$K = \frac{\ln(2)}{30}$$

$c(t)$: 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

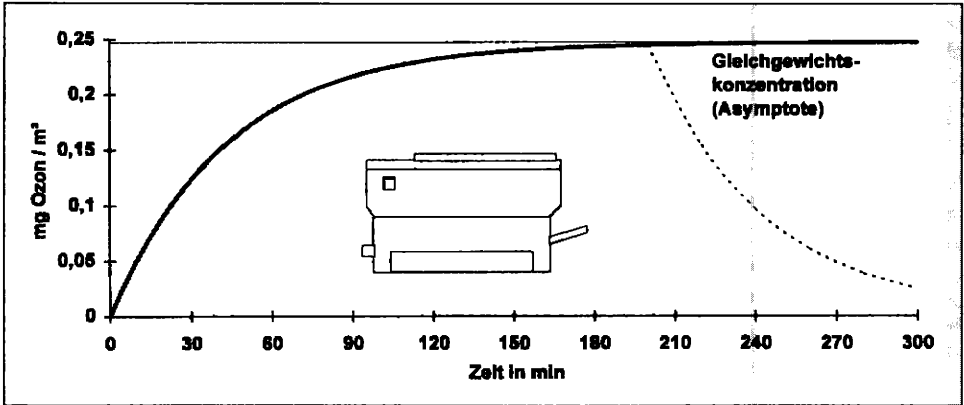
einem Raum mit 35 m^3 Volumen aufgestellt. Nach acht Stunden Dauerbetrieb und ohne Luftwechsel (worst case) würde sich eine durchschnittliche Raumluftkonzentration von 0,25 mg Ozon/ m^3 ergeben. Bereits nach drei Stunden und 19 Minuten sind im konkreten Beispiel 99 % der Gleichgewichtskonzentration erreicht. 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 m³



Mit dieser Methode kann bei bekannter Emissionsrate, die in zunehmendem Maße vom Vertreiber 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-

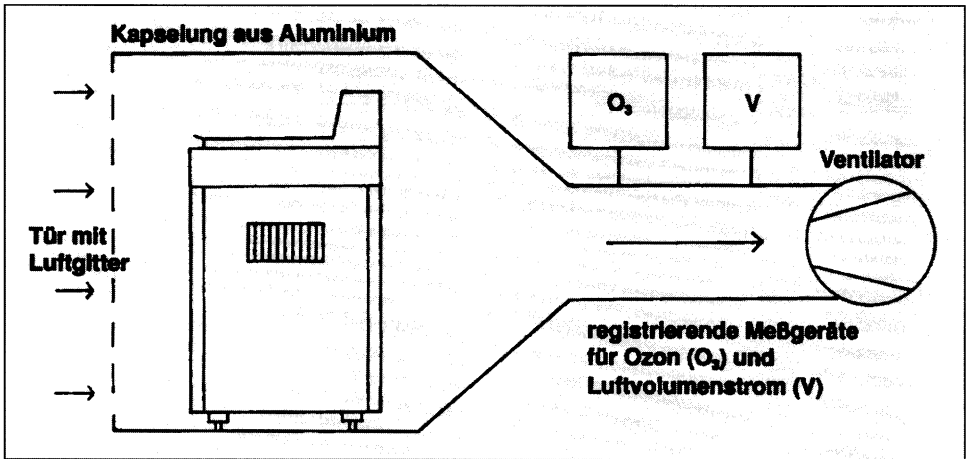
sungen dar. Auch das deutsche Umweltbundesamt legte für das Zeichen mit dem Blauen Umweltengel für Fotokopiergeräte einen Ozongrenzwert von $0,04 \text{ mg/m}^3$ fest, wobei in einem speziellen Meßraum dreimal zwei Stunden zu messen war.

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:

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

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-fil-ter	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.

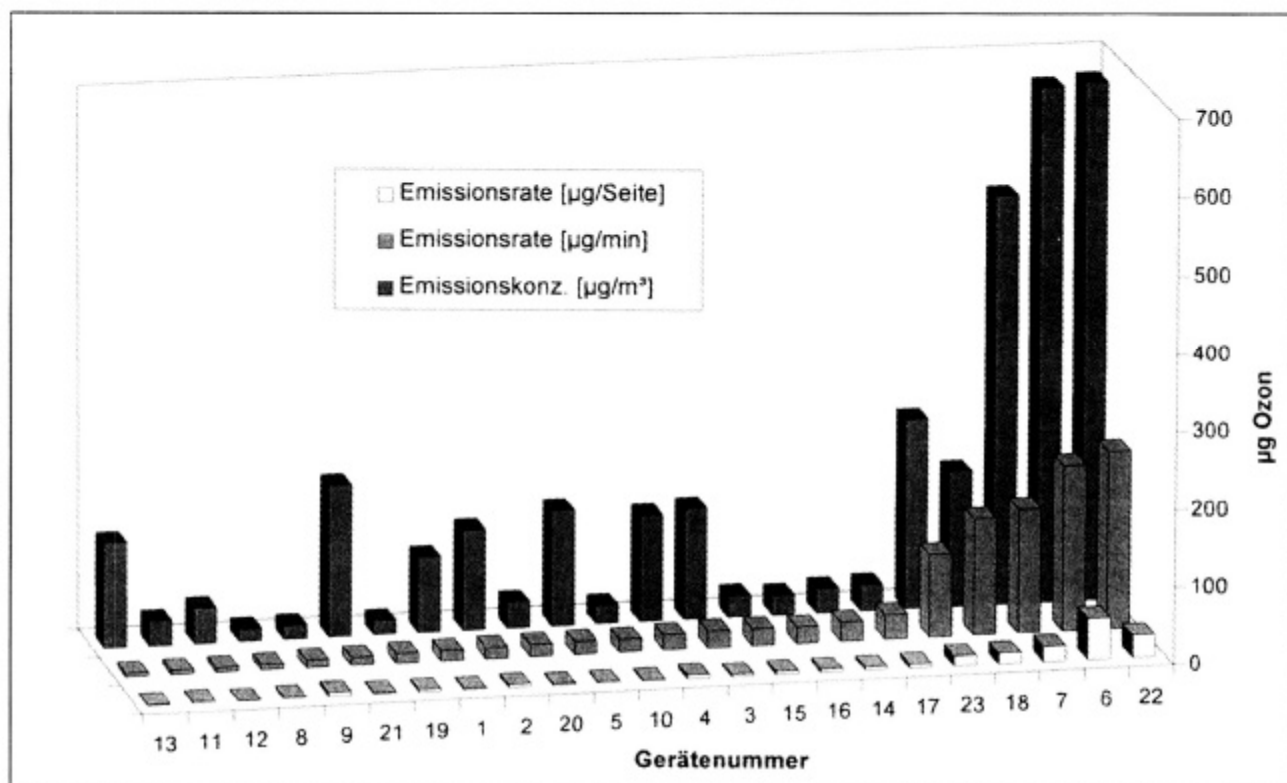
In die Bewertung von Fotokopiergeräten bzw. in die Kaufentscheidung sollten alle Emissionen (Ozon, Staub, Lärm), der Energieverbrauch sowie die Umweltverträglichkeit (von der Herstellung bis zur Entsorgung) und das Preis-Leistungs-Verhältnis (Lebensdauer, Service usw.) eingehen.

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 „störungsfreier“ 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. Schaubberger: 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