

# Gesundheitsgefahren durch Laserdrucker?

Ergebnisse des VBG-BIA-Projekts „Schwarz-Weiß-Laserdrucker“

T. Smola, H. Georg, H. Hohensee

## 1 Einleitung

Laserdrucker sind aus dem modernen Büroalltag nicht mehr wegzudenken. Millionen Menschen benutzen täglich diese Geräte. Allerdings gibt es in letzter Zeit wiederholt Meldungen über mögliche Gesundheitsgefahren beim Betrieb von Laserdruckern aufgrund einer möglichen Exposition gegenüber Tonerstaub. Die Öffentlichkeit reagiert darauf verunsichert, was sich in einer Vielzahl von Anfragen zu diesem Thema bei den Berufsgenossenschaften widerspiegelt.

Bereits im Jahr 2000 war vom Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitssicherheit – BIA im Auftrag der Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG) ein Projekt zur Untersuchung der Emissionen von Farblaserdruckern und Farbkopierern durchgeführt worden, welches zeigte, dass beim ordnungsgemäßen Betrieb dieser Geräte kein erhöhtes Risiko einer gesundheitlichen Gefährdung zu erwarten ist [1 bis 3]. Für Schwarz-Weiß-Geräte sollten aufgrund der Verwendung derselben Gerätetechnologie prinzipiell keine wesentlich anderen Ergebnisse zu erwarten sein. Da jedoch speziell eine mögliche gesundheitsschädigende Wirkung von Schwarztonern die öffentliche Diskussion bestimmte, hat das BIA im Auftrag der Verwaltungs-Berufsgenossenschaft auch die Emissionen von verschiedenen Schwarz-Weiß-Laserdruckern untersucht.

Nach unseren Erkenntnissen können neben denkbaren Ozonemissionen nur die Tonerkomponenten, die von den Geräten emittiert werden (z. B. Dämpfe organischer Verbindungen oder Stäube), möglicherweise eine gesundheitsschädigende Wirkung entfalten. Deshalb wurden Emissionsmessungen während des Dauerbetriebs der Drucker durchgeführt und folgende Parameter erfasst:

- Staub (A- und E-Staub),
- Ozon,
- flüchtige organische Stoffe (TVOC, als Summe sowie einzelne Aromaten).

Die Toxizität der TVOC wurde mit dem Leuchtbakterientest geprüft [4]. Weiterhin wurden die in den Tonern enthaltenen Metalle identifiziert.

Für diese Emissionstests wurden moderne Geräte führender Druckerhersteller ausgewählt, die in den Büros als so genannte Arbeitsplatzdrucker weit verbreitet sind und wesentliche Teile des Marktes abdecken. Alle Drucker stammten aus dem Büroalltag, d. h. die Prüfmuster hatten schon unterschiedlich viele (von wenigen 100 bis vielen 1 000) Ausdrücke in Büros des BIA und der VBG absolviert, bevor die Messungen durchgeführt wurden. Die Laserdrucker wurden mit den Original-Tonerpulvern der Gerätehersteller betrieben und vor den

**Zusammenfassung** In letzter Zeit gab es wiederholt Meldungen über mögliche Gesundheitsgefahren beim Betrieb von Laserdruckern aufgrund einer möglichen Exposition gegenüber Tonerstaub. Um diese Problematik anhand objektiver Messwerte beurteilen zu können, wurden Emissionsmessungen an sieben modernen Geräten führender Druckerhersteller während des Dauerbetriebs der Drucker durchgeführt und dabei die Parameter Staub (A- und E-Staub), Ozon und flüchtige organische Stoffe (TVOC, als Summe sowie einzelne Aromaten) erfasst. Die Toxizität der TVOC wurde mit dem Leuchtbakterientest geprüft. Weiterhin wurden die in den Tonern enthaltenen Metalle identifiziert. Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass moderne Schwarz-Weiß-Laserdrucker während des Druckvorgangs keinen Tonerstaub in messbaren Mengen freisetzen. Unter den untersuchten Geräten befand sich nur eines, welches geringe Mengen Ozon freisetzte. Flüchtige organische Verbindungen (VOC) werden von allen Laserdruckern in unterschiedlichen Mengen freigesetzt. Die gemessenen Konzentrationen liegen mindestens ein bis zwei Größenordnungen unter den gültigen Luftgrenzwerten gemäß TRGS 900. Mit einer Ausnahme werden auch die wesentlich strengeren Umwelt- sowie Innenraumrichtwerte eingehalten. Die emittierten Mengen des krebserzeugenden Stoffes Benzol lagen im Bereich der allgemeinen Benzol-Umweltbelastung.

## Health hazards from laser printers?

**Abstract** There have recently been several reports about the possible health hazards of using laser printers caused by a potential exposure to the toner dust. To evaluate this problem with the help of objective measurement values, the emissions of seven modern devices from leading manufacturers were measured with the printers in constant operation, and the parameters for dust (respirable and inhalable), ozone, and total volatile organic compounds (TVOC – as a sum, and the individual aromatic components) were recorded. The toxicity of the TVOC was tested with luminous bacteria. Additionally metals contained in the toners were identified. The results of the studies show that modern black-and-white laser printers do not emit toner dust in measurable amounts during the printing process. Among the printers tested, only one emits low quantities of ozone. Volatile organic compounds (VOC) are emitted by all the printers in varying amounts. The concentrations measured lie below the currently applicable airborne limit values according to the technical code of practice on hazardous substances TRGS 900 by an order of magnitude of at least one or two. With a single exception, the much more stringent environmental and indoor room values are also maintained. The quantities of the carcinogenic substance benzene emitted lie within the range of general benzene pollution.

Versuchen mit neuen Tonerkartuschen bestückt. Besondere Gerätewartungen wurden vor den Tests nicht durchgeführt.

Es wurden insgesamt sieben Geräte untersucht, d. h. die Testserie hat den Charakter von Stichproben. Da es nicht Ziel der Untersuchungen war, das Emissionsverhalten einzelner Drucker zu charakterisieren, sondern einen allgemeinen Überblick über das Emissionsverhalten von vielfach eingesetzten Laserdruckern zu gewinnen, werden die getesteten Geräte hier nicht namentlich genannt, sondern mit den Bezeichnungen A bis G versehen.

Dr. rer. nat. Thomas Smola, Dipl.-Ing. Hartmut Georg,  
Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit – BIA, Sankt Augustin.  
Dipl.-Ing. Helge Hohensee,  
Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg.

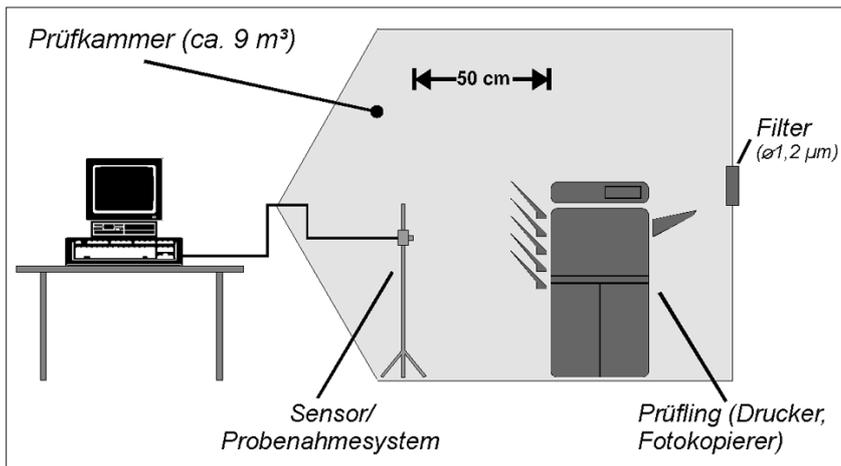


Bild 1 | Aufbau für Prüfungen.

## 2 Material und Methoden

Die verwendete Testkammer [5] ist würfelförmig mit einem seitlich angesetzten pyramidenförmigen Trichter. Sie besitzt ein Innenraumvolumen von ca. 9 m<sup>3</sup>. Die Seitenwände der Kammer sind aus V2A-Blech, der Boden aus verstärktem Aluminium mit Riffelprofil hergestellt. Die Rückwand sowie die Türen und das Dach sind aus Sicherheitsglas gefertigt. Die Kammer ist nicht gasdicht abgeschlossen; die Luftwechselrate der leeren, geschlossenen Kammer beträgt 0,0025 h<sup>-1</sup> (22 l/h) und erfolgt primär über eine in die Seitenwand eingelassene Faltenfilterkapsule (Sartopure 300 PP2; Abscheidegrad 1,2 µm; Fa. Sartorius, Göttingen).

Die Testgeräte wurden in der Mitte der Kammer aufgestellt, so dass der Abstand zwischen dem am Trichteranfang platzierten Stativ mit den Probenahmeköpfen und dem Hauptluftauslass des Gerätes 50 cm betrug (Bild 1). Der Hauptluftauslass und die Probenahmeköpfe (Bild 2) befanden sich auf gleicher Höhe.

Als Druckvorlage diente die digitale Prüfvorlage nach DIN 33866 Teil 3 „Büro- und Datentechnik Farbwiedergabegeräte, Verfahren zur Kennzeichnung der Bildwiedergabe von Farbgeräten mit digitaler Eingabe und analoger Ausgabe als

Hardcopy bei Farbbildwiedergabegeräten: digital – analog (Drucker), Anwendung und Ausführung“. Diese DIN-Norm enthält auch eine Schwarz-Weiß-Druckvorlage, die für die Druckerprüfungen verwendet wurde.

Es wurde jeweils eine Füllung der Papiervorratskassette, jedoch mindestens 200 Blatt, bedruckt und die Messung nach Abschluss des Druckvorgangs während einer Nachlaufzeit von 30 min fortgesetzt.

Folgende Messparameter wurden bestimmt:

- Temperatur und Luftfeuchte
- Die Temperatur und Luftfeuchte wurden mit einem Kombinationsfühler FH A 646-1 der Fa. Ahlborn kontinuierlich gemessen und die Messwerte von einem Datenlogger (Fa. Almemo, Modell 2290-8, 520 K Speicher) gespeichert.

- Ozon

Der mit einem Vorfilter ausgestattete Ozonanalysator Modell 3010 (Fa. UPM) wurde eingesetzt. Die Ozonkonzentration wird bei flammenloser Reaktion von Ethen mit Ozon über die auftretende Chemolumineszenz fotometrisch bestimmt. Die Messungen erfolgten kontinuierlich. Das Messgerät war mit einem Datenlogger (Fa. Almemo, Modell 2290-8, 520 K Speicher) verbunden, so dass die Ozonwerte kontinuierlich gespeichert wurden.

- Alveolengängiger Staub (A-Staub, frühere Bezeichnung: Feinstaub)

Die A-Staub-Fraktion wurde nach den BIA-Arbeitsvorschriften 3020 „Geräte zur Probenahme der alveolengängigen Staubfraktion (A-Staub)“ bzw. 6068 „Alveolengängige Fraktion“ [6] bestimmt. Die Probenahme erfolgte mit dem Probenahmesystem FSP (Feinstaub-Probenahmesystem). Der Volumenstrom wurde auf 10,0 l/min eingestellt, wobei eine GSA 50-1-Pumpe zum Einsatz kam. Als Probenträger wurden PGP-Filterkassetten (Personengetragenes Gefahrstoff-Probenahmesystem) mit Membranfilter, mittlere Porenweite 8 µm, Durchmesser 37 mm, verwendet. Mit Hilfe des Probenahmegeätes wurde über einen Vorabscheider ein definiertes Luftvolumen angesaugt. Der Feinstaub wird auf dem Membranfilter abgeschieden, seine Masse durch Differenzwägung ermittelt.

- Einatembarer Staub (E-Staub, frühere Bezeichnung: Gesamtstaub)

Die Bestimmung der E-Staub-Fraktion erfolgte nach den BIA-Arbeitsvorschriften 3010 „Geräte zur Probenahme der einatembaren Staubfraktion (E-Staub)“ bzw. 7284 „Einatembare Fraktion“ [6], die Probenahme mit dem Probenahmesystem GSP 10 (Gesamtstaub-Probenahmesystem). Der Volumenstrom wurde auf 10,0 l/min eingestellt, wobei eine GSA 50-1-Pumpe zum Einsatz kam. Als Probenträger wurden Glasfaserfilter, binderfrei, Durchmesser 37 mm, verwendet.

Zusätzlich wurden auf Wunsch der Verwaltungs-Berufsgenossenschaft Messungen mit dem System Gravikon VC 25 G durchgeführt. Diese Messmethode wurde aufgrund der niedrigeren Nachweisgrenze eingesetzt. Wegen der geringen Raumgröße der Kabine und des damit verbundenen Luftreinigungseffektes durch das Staubmessgerät wurde für diese Messungen jeweils ein

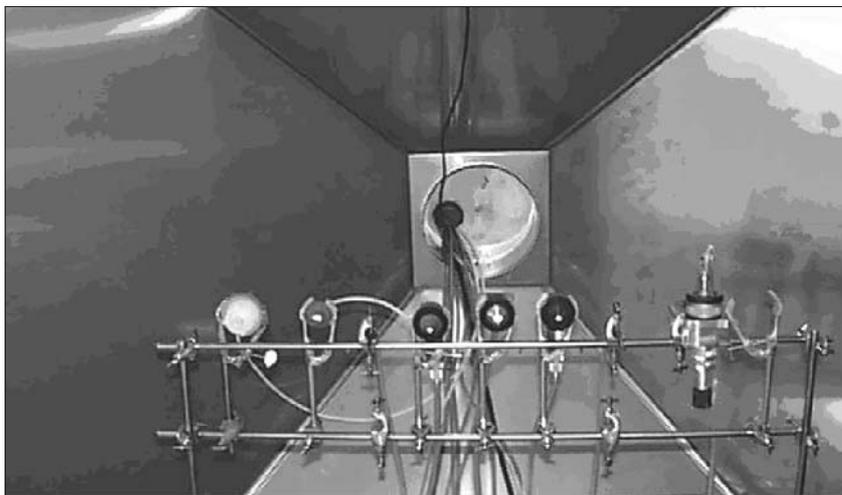


Bild 2 | Anordnung der Probenahmeköpfe auf dem Stativ.

gesonderter Druckbetrieb durchgeführt. Die Probenahme erfolgt hier mit dem E-Staub-Kopf über einen horizontal angeordneten Ringspalt mit einem Ansaugvolumenstrom von 25 m<sup>3</sup>/h.

Bei beiden Messverfahren wurde ein definiertes Luftvolumen angesaugt und der Gesamtstaub auf dem Glasfaserfilter abgeschieden. Die Masse wird durch Differenzwägung ermittelt.

● Total volatile organic compounds – TVOC (Summe der flüchtigen organischen Verbindungen)

Die TVOC wurden kontinuierlich von einem **Flammen-Ionisations-Detektor – FID** (Bernath Atomic, Modell 3005, mit Vorfilter) gemessen. Die Messwerte wurden von einem Datenlogger (Fa. Almemo, Modell 2290–8, 520 K Speicher) gespeichert [7].

● Aromaten, Styrol, Benzol

Zur Bestimmung der aromatischen Kohlenwasserstoffe in der Kammerluft wurde mittels einer Probenahmepumpe (GilAir 5) ein definiertes Luftvolumen durch einen Probenträger mit Adsorbens (ATD-Tube; Adsorbens Tenax TA) gesaugt. Der Volumenstrom der Pumpe betrug 0,067 l/min, die Probenahmezeit max. 30 min.

Die Analyse erfolgte mit Hilfe thermischer Desorption mit Kryofokussierung (ATD 400 der Fa. PerkinElmer) und anschließender Gaschromatografie mit Flammen-Ionisations-Detektor – FID und Massenselektivem Detektor – MSD (Gaschromatograf Autosystem XL, Fa. PerkinElmer). Die Nachweisgrenze liegt bei 1 bis 2 µg/m<sup>3</sup> (Grundlage des Verfahrens: DIN ISO 16000–6, 2000 [7]).

● Proben für Leuchtbakterientest

Der Leuchtbakterientest [4] dient zur Beurteilung der Toxizität der freigesetzten TVOC. Zum Einsatz kam ein GGP-Sammelkopf (**Gesamtstaub-Gas-Probenahmekopf**). Die auf Air Toxic Tubes gesammelten Substanzen wurden mittels Thermodesorption mit Kryofokussierung (Thermodesorber ATD 400, Fa. PerkinElmer) von den Tubes desorbiert und in 2 ml Ethanol aufgefangen. 10 µl der so gewonnenen Proben der Air Toxic Tubes wurden im Leuchtbakterientest (Microtox®, Fa. Azur Environmental) im Screening-Verfahren (Testzeiten 5, 15, 30 min) auf ihre Toxizität untersucht. Die Berechnung der Hemmung der Leuchtintensität erfolgte auf Grundlage der DIN EN ISO 11348–3 [8].

● Metallbestimmung in Tonern mit total reflektierender Röntgenfluoreszenzanalyse (TXRF)

Vier der sieben verwendeten Toner wurden außerdem auf ihre Metallgehalte geprüft. Verwendet wurde ein Totalreflektions-Röntgenspektrometer Extra II der Fa. Richard Seifert, Ahrensburg.

Anregung:

a) Röntgenröhre mit Mo-Anode (K-Strahlung), Generator: 50 kV/5–38 mA, Intensitätsabschwächung durch Mo-Filter, 150 µm;

b) Röntgenröhre mit W-Anode (Bremsstrahlung), Generator:

**Tabelle 1 | Ergebnisse der Emissionsmessungen für TVOC, Ozon, Stäube und Ergebnisse des Leuchtbakterientests.**

Drucker	TVOC		Ozon MAK = 100 µl/m <sup>3</sup>	Leucht- bakterientest	Stäube
	Konzentration in ml/m <sup>3</sup>	Probenahme- dauer in min			
<b>A</b>	1,4	22	nicht untersucht, da laut Betriebsanleitung kein Ozon entstehen kann	2 bis 14 % Hemmung	n. w.
<b>B</b>	0,8	60	nicht untersucht, da laut Betriebsanleitung kein Ozon entstehen kann	keine Hemmung	n. w.
<b>C</b>	1,1	22	nicht untersucht, da laut Betriebsanleitung kein Ozon entstehen kann	bis 1 % Hemmung	n. w.
<b>D</b>	ca. 0,9	23	keine Ozonbildung nachweisbar	1 bis 6 % Hemmung	n. w.
<b>E</b>	0,5	20	Ozonbildung: Anstieg der Ozonkonzentration von 5 auf 18 µl/m <sup>3</sup> (1. Versuch) von 1 auf 13 µl/m <sup>3</sup> (2. Versuch)	bis 2 % Hemmung	n. w.
<b>F</b>	0,3	40	keine Ozonbildung nachweisbar	bis 3 % Hemmung	n. w.
<b>G</b>	0,9	30	nicht untersucht, da der Drucker Ladungsrollen beim elektrofotografischen Verfahren verwendet	bis 2 % Hemmung	n. w.

n. w. = nicht nachweisbar

50 kV/5–38 mA, Intensitätsabschwächung durch Ni-Filter, 100 µm;

Detektor: Si-/Li-Halbleiterdetektor, 80 mm<sup>2</sup> Kristall-Messfläche;

Auflösung: 150 eV bei 5,9 keV (MnK<sub>α</sub>);

Messzeit: 200 s (real time).

### 3 Ergebnisse der Untersuchungen an sieben Schwarz-Weiß-Laserdruckern

Die Ergebnisse der Emissionsmessungen für die sieben Testgeräte und die Metallgehalte der Tonerproben sind in den **Tabellen 1 bis 3** dargestellt.

## 4 Diskussion der Ergebnisse

### 4.1 Staubfreisetzung

Bei keinem der sieben untersuchten Geräte konnten Staubemissionen nachgewiesen werden. Dieses Ergebnis deckt sich mit Emissionsuntersuchungen, die an anderer Stelle durchgeführt wurden [9]. Die absoluten Nachweisgrenzen der verwendeten BIA-Messverfahren liegen bei 0,30 mg pro Filter (GSP 10) bzw. bei 3 mg pro Filter (VC 25 G).

Drucker	Metallgehalte in Masse-%
<b>B</b>	Eisen 30; Strontium 0,36; Titan 0,15
<b>E</b>	Eisen 24; Titan 0,65; Kupfer 0,087
<b>F</b>	Eisen > 30; Strontium 0,23; Titan 0,090
<b>G</b>	Zink 0,26

**Tabelle 2 | Ergebnisse der Untersuchungen auf Metallgehalte in den Tonerproben.**

Tabelle 3 Ergebnisse der Emissionsmessungen für Aromaten und Butanol (alle Angaben in mg/m<sup>3</sup>, bezogen auf das Volumen der Testkammer von 9 m<sup>3</sup>).

Drucker	Benzol TRK = 3,2	Toluol MAK = 190	Summe Xylole MAK = 440	Ethylbenzol MAK = 440	Styrol MAK = 85	Summe Trimethylbenzole LGW = 100	1-Butanol MAK = 310
A	0,005–0,0065	0,0085–0,0215	0,116–0,129	0,005–0,0065	0,362–0,378	0,304–0,323	0,0135–0,0265
B	0,0055–0,006	0,009–0,011	0,184–0,212	0,0825–0,085	0,039	< 0,0155	0,0445–0,045
C	0,0215–0,023	0,009–0,0185	0,454–0,511	0,101–0,111	0,189–0,2555	< 0,0285–< 0,0355	0,081–0,0855
D	n. w.	0,005–0,009	0,005–0,009	< 0,005–0,0165	0,007–0,011	< 0,017–0,0255	n. w.
E	n. w.	0,005–0,006	0,009–0,0185	0,0165–0,0185	0,007–0,013	< 0,034–< 0,0365	n. w.
F	0,006–0,0065	0,0125–0,014	0,0755–0,107	0,0435–0,0475	0,026–0,027	< 0,0195–< 0,0325	0,010–0,0175
F	0,0145–0,016	0,018–0,019	0,020–0,021	0,0295	0,0075	< 0,0245–0,0405	0,019–0,0195

n. w. = nicht nachweisbar

Bezogen auf die angesaugten Luftvolumina während der Messungen, die zwischen 500 und 1 000 l (GSP 10) bzw. zwischen 19 000 und 36 000 l (VC 25 G) lagen, ergeben sich konzentrationsbezogene Nachweisgrenzen von < 0,6 mg/m<sup>3</sup> (GSP 10) bzw. < 0,16 mg/m<sup>3</sup> (VC 25 G).

Dasselbe Ergebnis wurde bereits beim BIA-Projekt Farbtoner [1 bis 3] erhalten. Auch hier konnten mit derselben Nachweisgrenze bei den untersuchten Farblaserdruckern keine Staubemissionen nachgewiesen werden.

#### 4.2 Metallanalysen

Es wurde jeweils ein Toner von vier verschiedenen Herstellern auf Metalle untersucht. Drei der vier untersuchten Toner enthalten zu einem Viertel bis einem Drittel der Masse Eisen (in Form von Eisenoxid). Jeweils im Promillebereich wurden Verbindungen von Titan, Strontium, Kupfer und Zink gefunden. Cobalt und Nickel konnten nicht nachgewiesen werden. Die Bestimmungsgrenzen der BIA-Analysen liegen bei den eisenhaltigen Tonern bei 0,010 Masse-% (Nickel) bzw. 0,020 Masse-% (Cobalt) und bei dem eisenfreien Toner bei 0,002 Masse-%. Das bedeutet, dass Cobalt und Nickel, wenn überhaupt, dann nur in Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenzen, d. h. bestenfalls in Spuren enthalten sein können. Zu den im Rahmen anderer Untersuchungen [9] in einigen Tonern festgestellten Cobalt- bzw. Nickelgehalten zitiert die Süddeutsche Zeitung *Jens Petersen*, den Leiter des Referats Arbeitsmedizin der Verwaltungs-Berufsgenossenschaft Hamburg: „Die nachgewiesene Nickelkonzentration entspricht den üblichen Werten im Hausstaub und dem in Nordrhein-Westfalen vorgegebenen Richtwert für Sand auf Kinder-spielplätzen“ [10].

#### 4.3 Ozon

Viele moderne Geräte arbeiten heute bereits mit ozonfreier Technologie. Deshalb wurden Ozonmessungen nur bei den Geräten vorgenommen, bei denen in der Gerätebeschreibung kein eindeutiger Hinweis auf ozonfreie Technologie enthalten ist; das betraf drei der sieben Geräte. Ozon wurde nur bei Drucker E nachgewiesen, bei dem während des 20-minütigen Druckvorgangs die Ozonkonzentration auf 18 µl/m<sup>3</sup> anstieg. Dieses Messergebnis geht konform mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen [9], in denen für zwei getestete Laserdrucker Ozonkonzentrationen von 40 µg/m<sup>3</sup> (= 20 µl/m<sup>3</sup>) gefunden wurden.

Zur Beurteilung dieser Ergebnisse liegen eine Reihe von Informationen vor. So beträgt der Luftgrenzwert an Arbeitsplätzen bei achtstündiger Einwirkung 100 µl/m<sup>3</sup> [11]. Nach

der 22. Bundes-Immissionsschutzverordnung ist die Bevölkerung bei 90 µl/m<sup>3</sup> (Bezugszeit 1 h) zu unterrichten, ab 180 µl/m<sup>3</sup> wird ein Warnsystem ausgelöst. Zum Schutz der Bevölkerung sollte eine Konzentration von 55 µl/m<sup>3</sup> über 8 h nicht überschritten werden. Die Jahresmittelwerte der Ozonkonzentration in der Umwelt liegen in Deutschland in den meisten Gebieten zwischen 12 und 38 µl/m<sup>3</sup> [12].

Bei der Beurteilung der von Laserdruckern während des Druckvorgangs gebildeten Ozonkonzentrationen ist zusätzlich zu berücksichtigen, dass sich der Stoff an Wänden und anderen Oberflächen zu Sauerstoff zersetzt. Dieser Prozess verläuft mit einer Halbwertszeit von etwa einer halben Stunde, d. h. nach 30 min ist nur noch die Hälfte des gebildeten Ozons vorhanden. Dagegen liegt bei hohen Ozonkonzentrationen in der Umwelt, insbesondere in den Sommermonaten, ein Gleichgewicht zwischen Ozonbildung und Ozonzerfall über einen längeren Zeitraum vor [12].

Von dem genannten Drucker wurde also beim Drucken von mindestens 200 Blatt eine Ozonkonzentration (bezogen auf das Prüfkammervolumen von 9 m<sup>3</sup>) erzeugt, die dem Jahresmittelwert der Ozonkonzentration in der Umwelt entspricht, jedoch nach einer halben Stunde schon wieder auf die Hälfte abgesunken ist.

#### 4.4 Flüchtige organische Verbindungen

Jeder Laserdrucker oder Kopierer setzt während des Druck- bzw. Kopiervorgangs flüchtige organische Verbindungen frei. Dies ist technisch begründet und nach dem heutigen Stand der Technik kaum vermeidbar. Deshalb ist für die Beurteilung der Laserdrucker nicht die Frage, ob flüchtige organische Verbindungen freigesetzt werden, entscheidend, sondern die Art und Menge der freigesetzten Verbindungen.

Die im BIA durchgeführten Untersuchungen erbrachten folgende Ergebnisse: Die TVOC-Konzentration stieg bei allen untersuchten Laserdruckern während des Druckvorgangs linear an. Nach Beendigung des Druckvorgangs sank die TVOC-Konzentration allmählich wieder ab.

Die höchste TVOC-Konzentration der untersuchten Geräte wurde beim Drucker A mit 1,4 ml/m<sup>3</sup> (bezogen auf das Volumen der Testkammer von 9 m<sup>3</sup>) nach 22 min Druckbetrieb festgestellt.

Zur Beurteilung der Toxizität der freigesetzten TVOC wurden diese einem Leucht bakterientest unterzogen [4]. Dabei wird die Leuchtintensität von Leucht bakterien in bestimmten Zeitabständen bestimmt. Die Abnahme der Leuchtintensität mit der Zeit nach Zugabe einer Testsubstanz ist ein Maß für die Toxizität der zugegebenen Substanz. Einzelheiten zur An-

passung des Leuchtbakterientests zur Beurteilung von Arbeitsplatzluftproben sind in [4] beschrieben.

Die Hemmung der Leuchtintensität durch TVOC betrug bei sechs der sieben untersuchten Druckern maximal 6 %, beim Drucker A maximal 14 %. Unter Berücksichtigung der in [4] genannten Vergleichswerte kann man daraus kein erhöhtes Risiko einer toxischen Wirkung ableiten.

Besonders im Mittelpunkt der Kritik steht das krebserzeugende Benzol, das während des Druckvorgangs freigesetzt wird. Deshalb wurde untersucht, welche speziellen Aromaten in welchen Mengen freigesetzt werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengefasst, wobei jedoch immer zu berücksichtigen ist, dass sich die angegebenen Werte auf das Volumen der Testkammer von 9 m<sup>3</sup> beziehen. In realen Büroräumen ergeben sich aufgrund des viel größeren Raumvolumens mindestens um den Faktor 3 kleinere Werte. Die festgestellten Aromatenkonzentrationen sind folgendermaßen zu bewerten:

#### 4.5 Benzol

Bei den Druckern D und E waren keine Benzolemissionen nachweisbar. Drei Geräte zeigten Emissionen von maximal 0,0065 mg/m<sup>3</sup>, ein Gerät 0,016 mg/m<sup>3</sup> und ein Gerät 0,023 mg/m<sup>3</sup>. Um diese Konzentrationen richtig bewerten zu können, muss man einige Vergleichswerte heranziehen.

- An Arbeitsplätzen gilt eine technische Richtkonzentration (TRK) von 3,2 bzw. 8,0 mg/m<sup>3</sup> [11]. Diese Werte sind um den Faktor 100 bis 1 000 höher, als die aus Laserdruckern emittierten Konzentrationen. TRK-Werte eignen sich allerdings in der Regel nicht für die Beurteilung von Büroarbeitsplätzen, da sie nicht gesundheitsbezogen abgeleitet wurden, sondern den Stand der Technik industrieller Anlagen repräsentieren.

- Zum Schutz schwangerer Frauen vor Benzolexposition in Verkaufsräumen und Tankstellen und anderen Arbeitsplätzen haben die deutschen Bundesländer für schwangere Frauen einen „Interventionswert“ von 0,025 mg Benzol/m<sup>3</sup> (Bezugszeitraum: 1 Woche) vorgeschlagen, der von der ubiquitären Hintergrundbelastung abgeleitet wurde [13].

Diese Beurteilungswerte werden von den getesteten Laserdruckern eingehalten. Auf den Internetseiten des Umweltbundesamtes ([www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)) findet man die Information, dass 1998 an städtischen Hauptverkehrsstraßen im Jahresmittel Benzolkonzentrationen von 0,025 mg/m<sup>3</sup> vorlagen. Die während eines 20- bis 60-minütigen Druckvorgangs freigesetzten Benzolmengen waren also geringer als die ohnehin in der Umwelt vorliegenden Benzolkonzentrationen.

Ein weiterer Vergleich: Beim Abbrennen einer Zigarette werden je nach Marke 0,01 bis 0,1 mg Benzol frei. Das bayerische Umweltministerium schätzt die Benzolaufnahme bei einem täglichen Konsum von 20 Zigaretten auf 0,4 mg.

Allerdings vermag Benzol beim Menschen nachgewiesenermaßen Krebs (Leukämie) zu erzeugen. Ein Schwellenwert, dessen Überschreitung einen sicheren Schutz vor einer möglichen Krebsauslösung darstellt, kann nicht angegeben werden. Deshalb sollte man bei Neuanschaffungen Geräte bevorzugen, deren Toner möglichst wenig oder gar kein Benzol emittieren.

#### 4.6 Toluol

Die bei den untersuchten Laserdruckern gemessenen Toluolemissionen lagen bei maximal 0,0215 mg/m<sup>3</sup>.

Der Luftgrenzwert für Arbeitsplätze bei achtstündiger Exposition beträgt für Toluol 190 mg/m<sup>3</sup> (50 ml/m<sup>3</sup>) [11]. Dieser Grenzwert liegt fast fünf Größenordnungen höher als die gemessenen Werte. Für Innenräume hat das Umweltbundesamt einen so genannten „Richtwert I“ für Toluol in Höhe von 0,3 mg/m<sup>3</sup> festgelegt, dessen Einhaltung im Rahmen der Einzelstoffbetrachtung nach derzeitigem Kenntnisstand auch bei lebenslanger Exposition vor gesundheitlichen Beeinträchtigungen schützt [11]. Selbst dieser Interventionswert liegt eine Größenordnung höher als die in der Testkammer gemessenen Werte.

#### 4.7 Xylol

Bezüglich der freigesetzten Xylolmengen zeigten die untersuchten Geräte deutliche Unterschiede: Etwas höhere Emissionen zeigten die Geräte A, B, C und F (alle im Bereich von 0,1 bis 0,5 mg/m<sup>3</sup>), während die anderen untersuchten Geräte in der Größenordnung 0,02 mg/m<sup>3</sup> oder darunter lagen. Der Luftgrenzwert für Arbeitsplätze bei achtstündiger Exposition beträgt für Xylol 440 mg/m<sup>3</sup> [11]. Selbst die Geräte mit den höheren Emissionen liegen also um den Faktor 1 000 niedriger als der Luftgrenzwert.

#### 4.8 Ethylbenzol

Für Ethylbenzol gilt nahezu dasselbe wie für Xylol. Die höchsten gemessenen Konzentrationen lagen bei 0,1 mg/m<sup>3</sup>, der Luftgrenzwert beträgt ebenfalls 440 mg/m<sup>3</sup> [11].

#### 4.9 Styrol

Styrol wird mitunter als „krebverdächtig“ bezeichnet, was jedoch nicht korrekt ist. Styrol ist nach geltender EG-Einstufung nicht als krebserzeugend oder krebverdächtig eingestuft. Die MAK-Kommission der Deutschen Forschungsgemeinschaft stuft Styrol in die Krebskategorie 5 ein. Das bedeutet, dass Styrol ein Stoff mit krebserzeugender und genotoxischer Wirkung ist, dessen Wirkungsstärke jedoch als so gering erachtet wird, dass bei Einhaltung des MAK-Wertes kein nennenswerter Beitrag zum Krebsrisiko für den Menschen zu erwarten ist [14].

Bezüglich Styrol zeigten die beiden Drucker A und C etwas höhere Emissionen in der Größenordnung 0,2 bis 0,4 mg/m<sup>3</sup>, während die Werte bei den anderen Druckern maximal 0,04 mg/m<sup>3</sup> betrug (alle Werte bezogen auf das Volumen der Testkammer von 9 m<sup>3</sup>). Bei einem Luftgrenzwert (MAK-Wert) von 85 mg/m<sup>3</sup> [11] liegen die höheren Emissionen der beiden genannten Drucker mehr als 200fach unter dem Luftgrenzwert. Das Risiko einer krebserzeugenden Wirkung durch Styrol kann bei diesen Konzentrationen ausgeschlossen werden.

Weiterhin gibt es für Styrol Richtwerte des Umweltbundesamtes für die Beurteilung der Innenraumlufte von 0,03 mg/m<sup>3</sup> (Richtwert I) und von 0,3 mg/m<sup>3</sup> (Richtwert II) [11]. Während der Richtwert II von allen Druckern eingehalten wird, wenn man vom Volumen der Testkammer auf das Volumen eines Büroraumes umrechnet, überschreiten die Styrolemissionen der Drucker A und C den Richtwert I deutlich. Der Richtwert I ist die Konzentration eines Stoffes in der Innenraumlufte, bei der im Rahmen einer Einzelstoffbetrachtung nach gegenwärtigem Kenntnisstand auch bei lebenslanger Exposition keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen zu erwarten sind. Eine Überschreitung ist mit einer über das übliche Maß hinausgehenden, hygienisch unerwünschten Belastung verbunden. Die für die beiden Drucker A und C fest-

gestellten Konzentrationen, die zwischen den Richtwerten I und II liegen, sind demzufolge als hygienisch unerwünschte Belastung, jedoch noch nicht als gesundheitliche Gefährdung zu interpretieren.

#### 4.10 Trimethylbenzole

Mit Ausnahme des Druckers A, der etwa 0,3 mg/m<sup>3</sup> emittierte, lagen die Werte für alle anderen Drucker bei 0,04 mg/m<sup>3</sup> oder darunter. Der Luftgrenzwert für eine achtstündige Exposition beträgt 100 mg/m<sup>3</sup> [11], das ist das 333fache des bei Drucker A gemessenen Wertes.

## 5 Gesamtbeurteilung

Aus den Untersuchungen lassen sich unter Berücksichtigung der oben dargelegten Aspekte die folgenden Schlussfolgerungen ableiten:

1. Moderne Schwarz-Weiß-Laserdrucker setzen während des Druckvorgangs keinen Tonerstaub in messbaren Mengen frei. Deshalb kann man bezüglich der Aufnahme von Tonerstaub über die Atemwege nicht von einem erhöhten gesundheitlichen Risiko ausgehen. Hautkontakt mit Toner dürfte bei vorschriftsgemäßem Tonerpatronenwechsel nicht auftreten. Sollte es dennoch einmal zum Hautkontakt kommen, so sind die Tonerreste sofort mit kaltem Wasser und Seife zu beseitigen. Personen, die intensiveren Kontakt mit Toner haben können (Servicepersonal, Patronenrecycling), sollten durch Schutzhandschuhe direkten Kontakt ausschließen. Besteht die Möglichkeit, dass z. B. bei der Patronenbefüllung Tonerstaub in die Atemluft gelangt, sind entsprechende Absaugungen vorzusehen.
2. Die Ozonbildung durch Laserdrucker ist heute kein Problem mehr. Viele Geräte arbeiten bereits mit völlig ozonfreier Technologie. Unter den untersuchten Geräten befand sich nur eines, das Ozon in einer Konzentration von 18 µl/m<sup>3</sup> freisetzte.
3. Flüchtige organische Verbindungen (VOC) werden von allen Laserdruckern in unterschiedlichen Mengen freigesetzt. Die gemessenen Konzentrationen liegen mindestens ein bis zwei Größenordnungen unter den gültigen Luftgrenzwerten gemäß TRGS 900. Auch die wesentlich strengeren Umwelt- sowie Innenraumrichtwerte werden eingehalten, mit einer Ausnahme: Bei zwei Druckern wurde der Innenraumrichtwert I für Styrol (ein Hygienerichtwert) überschritten. Bezüglich des krebs erzeugenden Stoffes Benzol lagen die emittierten Mengen im Bereich der allgemeinen Benzol-Umweltbelastung. Da für die krebs erzeugende Wirkung von Benzol kein Schwellenwert angegeben werden kann, sind die Gerätehersteller gleichwohl aufgefordert, die Technologie so weiterzuentwickeln, dass Benzol nicht mehr emittiert wird. Zwei der sieben untersuchten Laserdrucker zeigen, dass dies möglich ist. Des Weiteren sollte bei der Geräteentwicklung auf die Reduzierung der freigesetzten Styrolmenge geachtet werden, so dass der Innenraumluftwert I von 30 µg/m<sup>3</sup> sicher eingehalten wird.
4. Die Untersuchung hat auch gezeigt, dass die Geräteemissionen, verglichen mit aktuellen Grenzwerten, als äußerst gering anzusehen sind, untereinander aber Unterschiede aufweisen. Für Anwender, die nur äußerst geringe Emissionen tolerieren möchten, hat der Fachausschuss Verwaltung ein neues Gütesiegel für Laserdrucker kreiert. Es handelt sich um

das BG-PrüfZert-Zeichen mit dem Zusatz „sicher, ergonomisch, emissionsarm“. Die Festlegung der zugehörigen Grenzwerte erfolgte im Hinblick auf eine allgemeine Belastungsminimierung im Sinne des Arbeitsschutzgesetzes sehr progressiv, d. h. sofern vorhanden, wurden auch aktuelle Umwelt- oder Innenraumrichtwerte als Kriterien herangezogen, die weit unter den gültigen Arbeitsplatzgrenzwerten liegen. Einen zusätzlichen Beurteilungsschwerpunkt bilden erstmals neue biologische Testverfahren [15].

In einigen Veröffentlichungen zur Tonerproblematik wird der Eindruck vermittelt, dass Laserdrucker generell eine Gesundheitsgefahr darstellen, weil sie große Mengen gesundheitsschädigender Stoffe freisetzen [9; 16]. Solche Darstellungen führen zur Verunsicherung der Öffentlichkeit und tragen kaum zu einer sachgerechten Auseinandersetzung mit möglichen gesundheitlichen Risiken bei. Der entscheidende Mangel solcher Veröffentlichungen besteht darin, dass der Schluss einer Gesundheitsgefährdung allein aus dem Nachweis des Vorhandenseins bestimmter Stoffe gezogen wird. Das Vorhandensein eines Stoffes ist aber keinesfalls ausreichend, entscheidend ist die Dosis, die aufgenommen werden kann. Diesbezüglich kann man nach dem heutigen Stand der Kenntnisse davon ausgehen, dass beim Betrieb von modernen Laserdruckern kein erhöhtes Risiko einer Gesundheitsgefährdung zu befürchten ist. Zu demselben Ergebnis gelangen auch etliche Stellungnahmen von Berufsgenossenschaften, Druckerherstellern, Verbänden und Fachzeitschriften (siehe z. B. [17 bis 19]).

## Literatur

- [1] VBG-BIA-Projekt „Farbtoner“. Ergebnisse des Messprogramms (Abschlussbericht). Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit – BIA, Sankt Augustin 2000.
- [2] Nies, E.; Blome, H.; Brüggemann-Priesshoff, H.: Charakterisierung von Farbtonern und Emissionen aus Farbfotokopierern/Farblaserdruckern. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 60 (2000) Nr. 11/12, S. 435–441.
- [3] Hohensee, H.; Flowerday, U.; Oberdick, J.: Zum Emissionsverhalten von Farbfotokopiergeräten und Farblaserdruckern. Die BG (2000) Nr. 11, S. 659–661.
- [4] Brüggemann-Priesshoff, H.; Gehrke, T.; Pflaumbaum, W.; Nies, E.: Beurteilung der Toxizität luftgetragener Stoffe am Arbeitsplatz mittels Leucht bakterientest. Teil 1: Verfahrensentwicklung. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 62 (2002) Nr. 5, S. 191–196.
- [5] Heimann, M.; Nies, E.: Prüfkammerkonzept zur Untersuchung des Emissionsverhaltens von Büromaschinen. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 61 (2001) Nr. 7/8, S. 333–336.
- [6] BIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit – BIA, Sankt Augustin. Bielefeld: Erich Schmidt 1989 – Losebl.-Ausg.
- [7] DIN ISO 16000-6: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Teil 6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern – Probenahme auf TENAX TA, thermische Desorption und Gaschromatographie/MSD bzw. FID. Berlin: Beuth September 2000.
- [8] DIN EN ISO 11348: Bestimmung der Hemmwirkung von Wasserproben auf die Lichtemission von *Vibrio fischeri* (Leucht bakterientest) – Teil 3: Verfahren mit gefriergetrockneten Bakterien. Berlin: Beuth 1999.
- [9] TEST Toner für Laserdrucker. ÖKO-TEST (2001) Nr. 8, S. 26–29.
- [10] Viel Lärm um schwarzen Staub. Süddeutsche Zeitung 14./15. August 2001.
- [11] Gefahrstoffliste 2002. Gefahrstoffe am Arbeitsplatz. BIA-Report 1/2002 sowie Grenzwertliste 2000. BIA-Report 4/2001. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin.
- [12] Smola, T.; Blome, H.: Ozon. BIA-Report 10/96. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 1996.
- [13] LASI-Veröffentlichung LV 11: Schutz schwangerer Frauen vor Benzolexposition in Verkaufsräumen von Tankstellen und anderen Arbeitsplätzen. Hrsg.: Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik – LASI 1997.
- [14] MAK- und BAT-Werte-Liste 2001. Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und Biologische Arbeitsstoff-Toleranzwerte. Mitteilung 37.

### Gesundheitsgefahren durch Laserdrucker?

Hrsg.: Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Weinheim: Wiley-VCH 2001.

[15] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Laserdrucker (BGI 820). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft Hamburg. Köln: Carl Heymanns (in Vorbereitung).

[16] Verstaubte Technik. ÖKO-TEST (2002) Nr. 2, S. 30–32.

[17] *Schmidt, R.*: Wie sicher sind Tonerkartuschen? BGW-Mitteilungen (2002) Nr. 1, S. 14–15.

[18] Drucker, Kopier- und Multifunktionsgeräte. Sicherheit, Gesundheit und Umwelt. Hrsg.: BITKOM – Bundesverband Informationswirtschaft Telekommunikation und neue Medien, Berlin, in Zusammenarbeit mit der Verwaltungs-Berufsgenossenschaft und dem Berufsgenossenschaftlichen Fachausschuss Verwaltung. Mainz: Eggebrecht-Press 2002.

[19] *Otto, J.; Schenk, H.*: Gefahrstoff-Information Büro. Schriftenreihe des Thüringer Ministerium für Soziales, Familie und Gesundheit. Erfurt 2001.