

Tintenstrahldrucker – Emissionsmessungen am Tonerprüfstand

H. Georg, A. Goebel, R. Ngazi



Bild 1. Untersuchte Drucker.

1 Einleitung

Laserdrucker stehen heute in vielen Büros. Die Diskussion um deren Emissionen schwelt seit Jahren. Als Alternative wurden immer wieder Tintenstrahldrucker genannt. Für professionelle Anwendungen waren diese Geräte aber häufig nicht geeignet, da die Druckgeschwindigkeiten deutlich geringer waren als die von Laserdruckern. Mittlerweile gibt es jedoch Tintenstrahldrucker, die ähnlich schnell arbeiten wie Laserdrucker. Realisiert wurden Druckgeschwindigkeiten von bis zu 100 Seiten/Minute bei einseitigem und 50 Seiten/Minute bei doppelseitigem Druck. Die Ausdrücke sind dokumentenecht nach der Papiertechnischen Stiftung (PTS), Heidenau, ehemals Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), sodass sie auch in Anwaltskanzleien und Notariaten u. Ä. eingesetzt werden können.

Bislang ist nicht bekannt, welche Emissionen von schnellen Tintenstrahldruckern ausgehen. Die Anforderungen des Umweltzeichens „Blauer Engel“ gelten für alle Arten von Bürogeräten mit Druckfunktion; in der Vergangenheit wurden jedoch hauptsächlich Laserdrucker geprüft.

Um die Emissionen der Tintenstrahldrucker zu ermitteln, wurden die Geräte nach den Prüfkriterien des Blauen Engels geprüft. Das von der BAM entwickelte Prüfverfahren [1] nach RAL-UZ 171 [2] wurde um die Probenahme für sehr leicht flüchtige Lösemittel (very volatile organic compounds, VVOC) ergänzt, da Tinten solche Lösemittel enthalten, das Verfahren aber nur für volatile organic compounds (VOC) optimiert ist. Diese VVOC-Emissionsmessungen erforderten zunächst die Entwicklung eines neuen Probenahme- und Analysenverfahrens.

Dipl.-Ing. Hartmut Georg, Dipl.-Ing. Arno Goebel,
Rachid Ngazi,

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin.

2 Aktivitäten und Methoden

Zunächst wurden drei am Markt erhältliche Tintenstrahldrucker einschließlich der zugehörigen Tinten beschafft (Bild 1). Die Tinten wurden hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung analysiert und für die in den Tinten enthaltenen VVOC wurde ein Probenahme- und Analysenverfahren entwickelt. Die Tinten enthalten u. a. Ethanol, Aceton und 2-Propanol.

Die Gefahrstoffemissionen der Drucker wurden in der Prüfkammer des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) nach den Kriterien des Blauen Engel ermittelt, wobei die Emissionsmessungen um VVOC-Bestimmungen ergänzt wurden.

Bestimmt wurden die Emissionsraten für VOC, Ozon, Staub einschließlich feiner und ultrafeiner Partikel für drei Drucker nach dem „Prüfverfahren für die Bestimmung von Emissionen aus Hardcopygeräten“ (Ausgabe Juli 2012) im Rahmen der Umweltzeichenvergabe für Bürogeräte nach RAL-UZ 171.

In Bild 2 ist der Prüfstand schematisch dargestellt. Je nach Gerätegröße stehen zwei Kammergrößen von 12,8 und 1,25 m³ zur Auswahl. Die Werte in Klammern beziehen sich auf die kleine Kammer, die in diesem Projekt verwendet wurde.

Bei Drucker 1 handelt es sich um einen monochromen Drucker, bei den Druckern 2 und 3 um Farbdrucker. Als

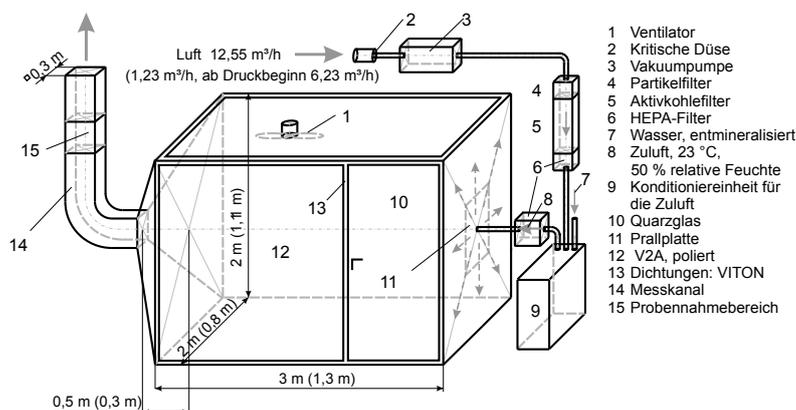


Bild 2. Schematische Darstellung des Prüfstands; HEPA: high efficiency particulate airfilter.

Tabelle 1. Untersuchungsbedingungen.

Prüfkammertyp	Dynamisch
Volumen der Prüfkammer in m ³	1,25
Temperatur in der leeren Prüfkammer in °C	23
Relative Luftfeuchtigkeit in der leeren Prüfkammer in %	50
Luftwechselrate in der Prüfkammer bis zur Druckphase in h ⁻¹	1,0
Luftwechselrate in der Prüfkammer in der Druckphase in h ⁻¹	5,0

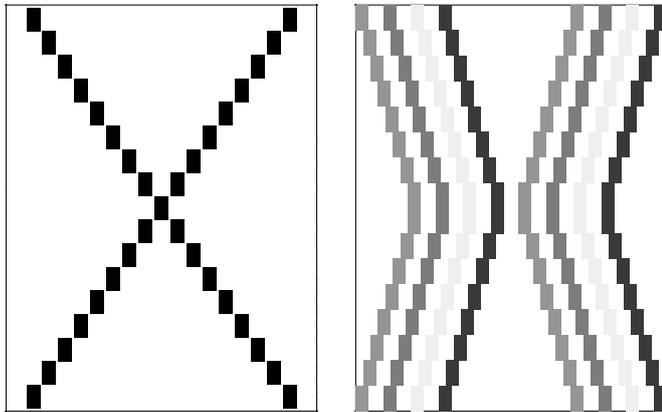


Bild 3. Druckdatei; links: für Drucker 1, rechts: für Drucker 2 und 3.

Papier wurde Xtensa 80 g A4 hochweiß Artikel-Nr. 10001, Fa. DESKTOP, verwendet.

In **Tabelle 1** sind die Untersuchungsbedingungen aufgeführt. Für Drucker 1 diente die Druckvorlage nach DIN 33870 [3] mit einem Flächendeckungsgrad von 5 % Schwarz als Testseite. Mit den Druckern 2 und 3 wurde als Testseite die Druckvorlage in Anlehnung an DIN 33870 [3]

Tabelle 2. Versuchsparameter für die Emissionsprüfung der Tintenstrahldrucker.

	Drucker 1	Drucker 2	Drucker 3
Dauer der Bereitschaftsphase in min	60	60	60
Dauer der Druckphase in min	10	12 bis 13	11 bis 13
Nachlaufphase in min	48	48	48
Anzahl der bedruckten Blätter	504	190	254
Druckart	Duplexdruck	Simplexdruck	Duplexdruck

Tabelle 3. Zeitlicher Verlauf der Probenahme für VOC/VVOC und Staub.

	Probenahmedauer in min		
	Drucker 1	Drucker 2	Drucker 3
Prüfphase VOC/VVOC			
Blindprobe	40	40	40
Bereitschaftsphase	40	40	40
Druck- und Nachlaufphase	22	24 bis 25	23 bis 25
Prüfphase Staub			
Druck- und Nachlaufphase	58	60 bis 61	59 bis 61

Tabelle 4. Beschreibung des Aerosolmessgerätes. PV: Prüfverfahren

Gerätehersteller	Fa. GRIMM Aerosol Technik
Typ und Seriennummer	54121202
Übereinstimmungserklärung mit den Kriterien gemäß Prüfverfahren, Abschnitt 4.9.1	D50-Bestimmungsgrenze = 4 nm bis zu 100 000 p/cm ³ Einzelpartikelzählung bis zu 10 ⁷ p/cm ³ fotometrische Zählung
Name und Version der Mess-Software	SMPS V122 Engineering
Volumenstrom	0,6 l/min
Betriebsflüssigkeit	Butanol

mit einem Farbenkreuz bedruckt, das einen Flächendeckungsgrad von 5 % je Farbe (gesamt 20 %) aufwies. Beispielhaft zeigt **Bild 3** jeweils das erste Blatt der Druckdatei. Mit jedem Drucker wurden jeweils drei identische Versuche (**Tabelle 2**) durchgeführt. Durch die Reinigungs- und Kalibriererroutinen der Drucker können die Druckzeiten (= Dauer der Druckphase) trotz gleicher Anzahl bedruckter Blätter etwas variieren. In der Bereitschaftsphase ist der Drucker eingeschaltet, druckt aber noch nicht.

Das Beladen der Kammer und der Beginn der Konditionierungsphase fanden jeweils einen Tag vor den Emissionsmessungen statt.

Für VOC erfolgte die Probenahme auf Tenax TA mit einem Probenahmestrom von 200 ml/min und für VVOC auf Carbograph1TD/Carbopack X mit einem Probenahmestrom von 85 ml/min. Die Auswertung erfolgte nach Thermodesorption und GC/MS-Detektion. Um Fremdeinflüsse auf die Messergebnisse durch Luftverunreinigungen auszuschließen, erfolgten VOC- und VVOC-Blindmessungen in der leeren Kammer vor den jeweiligen Drucker-messungen. Die in den Blindproben gefundenen Stoffe wurden aus den VOC- und VVOC-Werten der Bereitschafts- und der Druckphase herausgerechnet.

Für Ozon wurde die Konzentration während der gesamten Prüfung kontinuierlich mit einem Ozonanalysator, Modell 3010, Fa. Umwelt Pollution-Messtechnik (UPM) aufgezeichnet.

Gravimetrisch wurde die Staubkonzentration für die Druck- und Nachlaufphase mit dem Probenahmesystem PM4-G (Volumenstrom = 4 m³/h) und anschließender Differenzwägung der Filter mit einer Waage vom Typ Sartorius SE2-F bestimmt (**Tabelle 3**).

Für die Messung der feinen und ultrafeinen Partikel wurde die Partikelanzahl über den gesamten Partikel-messgrößenbereich des verwendeten Kondensationspartikelzählers „Grimm, Modell 54121202“ von 4 bis 3 000 nm akkumuliert (**Tabelle 4**). Sie wurde auf eine Druckzeit von 10 min bezogen. Für

Tabelle 5. Ermittelte Konzentrationen für TVOC und TVOC.

Druck- und Nachlaufphase	Konzentrationen in mg/h					
	TVOC			TVOC		
	Drucker 1	Drucker 2	Drucker 3	Drucker 1	Drucker 2	Drucker 3
Versuch A	0,318	1,938	0,467	1,704	0,212	0,182
Versuch B	0,303	3,323	0,343	2,132	0,338	0,138
Versuch C	0,128	2,360	0,654	2,209	0,403	0,192
Mittelwert	0,250	2,540	0,488	2,015	0,318	0,171

Tabelle 6. Gemessene Staubemissionen.

	Staubmasse (klimakorrigiert) in µg			Emissionsrate in mg/h		
	Drucker 1	Drucker 2	Drucker 3	Drucker 1	Drucker 2	Drucker 3
Versuch A	42,0	21,4	101,3	0,392	0,154	0,727
Versuch B	81,4	48,3	130,3	0,760	0,376	1,106
Versuch C	49,6	44,5	126,8	0,463	0,347	1,060
Mittelwert	57,7	38,1	119,5	0,538	0,292	0,964

Tabelle 7. Gemessene Maximalwerte der Partikelkonzentration.

	Maximale Partikelkonzentration in Partikel/cm ³		
	Drucker 1	Drucker 2	Drucker 3
Versuch A	48	343	120
Versuch B	50	338	198
Versuch C	54	313	172
Mittelwert	51	331	163

Druckgeräte mit einem Gerätevolumen ≤ 250 l ist ein Prüfwert $\leq 3,5 \times 10^{11}$ Partikel pro 10 min einzuhalten. Für Druckgeräte mit einem Gerätevolumen > 250 l ist noch kein Prüfwert festgelegt. Die gemessene Partikelanzahl hat dann nur informativen Charakter. Am Partikelzähler wurde keine Verdünnungseinrichtung verwendet.

3 Ergebnisse

Alle im Folgenden zur Berechnung verwendeten Formeln sind in [1] angegeben.

Die Berechnung der Emissionsrate für VOC und VVOC (Tabelle 5) während der Bereitschaftsphase erfolgt gemäß [1]. Berechnungsgrundlage ist die ermittelte Konzentration der letzten 40 min der einstündigen Bereitschaftsphase.

Die VOC-Emissionen der Einzelsubstanzen werden entsprechend dem Prüfverfahren nur dann zur TVOC-Emission aufsummiert, wenn sie über dem Schwellenwert liegen. Für Prüfkammern mit einem Volumen ≤ 5 m³ liegt der Schwellenwert bei 0,005 mg/h.

Sofern die Emissionen der Bereitschaftsphase über dem Schwellenwert liegen, werden sie zu den Emissionen der Druck- und Nachlaufphase addiert. Darum können die im Abschnitt 4 angegebenen Emissionsmittelwerte etwas höher sein als die der Druck- und Nachlaufphase. Die leichtflüchtigen Stoffe (VVOC) haben momentan für die Prüfkriterien zur Vergabe des „Blauen Engel“ nach RAL-UZ 171 nur informativen Charakter.

Erwartungsgemäß emittiert keiner der drei Tintenstrahldrucker Ozon.

Die Berechnung der Staubemissionsrate (Tabelle 6) erfolgte nach [1]. Die Rohdaten hierfür liefert eine Differenzwägung von unbelegtem und belegtem Staubfilter. Auswirkungen auf Feuchtemassenveränderungen beim Wiegen infolge geringfügiger Klimaveränderungen im Wägeraum wurden mathematisch korrigiert.

Erwartungsgemäß emittierten alle Drucker nur geringe Anzahlen feiner und ultrafeiner Partikel. Da bei allen Druckern die Konzentrationsunterschiede vor und nach der Druckphase sehr gering waren, ist das Emissionsberechnungsverfahren entsprechend dem Prüfverfahren [1] nach

RAL-ZU 171 nicht anwendbar. Aus diesem Grund werden hier keine Emissionen, sondern die gemessenen maximalen Partikelkonzentrationen (Tabelle 7) während der Druckphase angegeben.

Die Partikelkonzentrationen lagen im Bereich von ca. 50 bis 330 Partikel/cm³ und damit auf einem sehr niedrigen Niveau: In normaler ungefilterter Umgebungsluft in der Versuchshalle wurden in Abhängigkeit von der Wetterlage zwischen 1 000 und 3 000 Partikel/cm³ gemessen.

4 Zusammenfassung

In Tabelle 8 sind die Emissionsraten der untersuchten Drucker den Anforderungen des Umweltzeichens gegenübergestellt. Die Annahme, dass bei Tintenstrahldruckern im Vergleich zu Laserdruckern der Vorteil der geringen Partikelemissionen durch eine höhere Lösemittelmission (VOC und VVOC) zunichte gemacht wird, hat sich nicht bestätigt. Selbst die Summe von VOC und VVOC ist geringer als die TVOC-Anforderungen für die Vergabe des Umweltzeichens „Blauer Engel“ für besonders emissionsarme Drucker. Tintenstrahldrucker haben gegenüber Laserdruckern den Vorteil, dass keine Ozon- und sehr niedrige Emissionen ultrafeiner Partikel auftreten. Damit stellen sie eine Alternative zu den ansonsten gebräuchlichen Laserdruckern dar. Dies gilt auch für die Druckgeschwindigkeit. Ermöglicht wird dies durch Druckköpfe, die über die gesamte Blattbreite reichen und somit nicht mehr bewegt werden müssen. Für Tintenstrahldrucker ergibt sich unter Umständen das Problem, dass die Tinten im Druckkopf eintrocknen oder einzelne Düsen verstopfen. Um die – teilweise automatisierten – Reinigungszyklen durchführen zu können, sollten die Geräte daher ständig am Stromnetz betrieben werden. Wegen der vergleichsweise großen, einzeln

Tabelle 8. Zusammenstellung der Ergebnisse. NG = Nachweisgrenze

Emittent	Anforderungen Blauer Engel	Ermittelte Emissionsraten (Mittelwerte aus drei Versuchen) ¹⁾		
		Für VOC und VVOC: Summe Druck- und Bereitschaftsphase		
	SW/Farbe	Drucker 1	Drucker 2	Drucker 3
TVOC	10/18 mg/h	0,255 mg/h	2,568 mg/h	0,490 mg/h
TVVOC	–	2,015 mg/h	0,318 mg/h	0,171 mg/h
TVOC + TVVOC	–	2,270 mg/h	2,886 mg/h	0,661 mg/h
Benzol	0,05 mg/h	0,003 mg/h	0,008 mg/h	0,009 mg/h
Styrol	1/1,8 mg/h	< NG	0,061 mg/h	0,001 mg/h
Höchste nicht identifizierte Substanz VOC	0,9 mg/h	< NG	< NG	< NG
Ozon	1,5 mg/h	< NG	< NG	< NG
Staub	4 mg/h	0,538 mg/h	0,292 mg/h	0,964 mg/h
Partikel T _{pp} für V _{Gerät} ≤ 250 l	3,5 x 10 ¹¹ /10 min	C _{max} = 51 Partikel/cm ³	C _{max} = 331 Partikel/cm ³	C _{max} = 163 Partikel/cm ³

¹⁾ Bei der Mittelwertberechnung wurden Messwerte < NG gleich Null gesetzt.

wechselbaren Tintenpatronen sind auch die Druckkosten pro Blatt gesenkt worden.

5 Einordnung der Ergebnisse

Über die hier nicht betrachteten Laserdrucker gibt es immer wieder Meldungen in den Medien, dass Personen ihre Gesundheit infolge von Emissionen aus diesen Geräten beeinträchtigt sehen. Bedingt durch die höheren Temperaturen beim Druckprozess von Laserdruckern wird in Abhängigkeit von Toner, Papier, Gehäusekunststoffteilen und Elektronikplatinen eine Vielzahl von Stoffen freigesetzt. Bezogen auf Einzelsubstanzen handelt es sich jedoch um sehr geringe Massen. Die auf den Probeträgern gesammelten Massen liegen im Nanogrammbereich. Wegen unterschiedlicher Auffassungen darüber, ob aufgrund der vielen verschiedenen VOC-Einzelsubstanzen eine Wechselwirkungs-Gefährdung vorliegt, gibt es bisher lediglich Empfehlungen für das Aufstellen und Betreiben von Laserdruckern, jedoch keine klaren Vorschriften.

Es bestehen begründete Zweifel, ob bei von Laserdruckern emittierten ultrafeinen Partikeln die Tonerpartikel den größten Anteil darstellen. Frühere Messungen mit einer speziellen Druckdatei (Dokument mit einem Satzpunkt pro Seite mit Schriftfarbe weiß) haben bereits gezeigt, dass – obwohl kein Toner auf das Papier übertragen wurde – ähnlich hohe Partikelanzahlen gemessen wurden, wie beim Druck mit den unter Abschnitt 2 beschriebenen Testseiten. Die Vermutung liegt nahe, dass es sich bei den meisten ultrafeinen Partikeln um verdampfte Flüssigkeiten wie z. B.

Silikonöle handelt, die dann in der Luft zu Aerosolen auskondensieren.

Aus technischer Sicht steht den Anwendern mit den neuen Highspeed-Tintenstrahldruckern jetzt nicht nur im Homebereich, sondern auch für professionelle Büroanwendungen ein alternatives Druckverfahren zur Verfügung. Erste orientierende Messungen des IFA an drei Geräten ergaben keine auffälligen Emissionen aus diesen Geräten. Diese vorläufigen Resultate müssen nun mittels weiterer Stichproben in qualitativer und quantitativer Hinsicht erhärtet werden.

Literatur

- [1] Prüfverfahren für die Bestimmung von Emissionen aus Hardcopygeräten im Rahmen der Vergabe des Umweltzeichens Blauer Engel für Bürogeräte mit Druckfunktion nach RAL-UZ 171 (Ausg. 7/2012). Hrsg.: Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung, Sankt Augustin 2012. www.blauer-engel.de/de/fuer-unternehmen/vergabegrundlagen
- [2] Vergabegrundlagen für Umweltzeichen – Bürogeräte mit Druckfunktion (Drucker, Kopierer, Multifunktionsgeräte) RAL-UZ 171 (Ausg. 7/2012). Hrsg.: Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung, Sankt Augustin 2012. www.blauer-engel.de/de/fuer-unternehmen/vergabegrundlagen
- [3] DIN 33870: Büro- und Datentechnik, Anforderungen und Prüfungen für die Aufbereitung von gebrauchten Tonermodulen schwarz für elektrofotografische Drucker, Kopierer und Fernkopierer. Berlin: Beuth 2001.