

Texte

**35**  
**08**

ISSN  
1862-4804

**Prüfung von Emissionen aus Bürogeräten  
während der Druckphase zur  
Weiterentwicklung des Umweltzeichens  
Blauer Engel für Laserdrucker und  
Multifunktionsgeräte unter besonderer  
Berücksichtigung der Sicherung guter  
Innenraumluftqualität**

**Umwelt  
Bundes  
Amt**



**Für Mensch und Umwelt**



UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES  
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,  
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 204 95 373  
UBA-FB 001159



**Prüfung von Emissionen aus  
Bürogeräten während der Druckphase  
zur Weiterentwicklung des  
Umweltzeichens Blauer Engel für  
Laserdrucker und Multifunktionsgeräte  
unter besonderer Berücksichtigung  
der Sicherung guter  
Innenraumlufthqualität**

von

**Dr. Olaf Wilke  
Dr. Oliver Jann  
Doris Brödner  
Uwe Schneider  
Christian Krockner  
Sabine Kalus  
Dr. Stefan Seeger  
Dr. Michael Bücken**

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter  
<http://www.umweltbundesamt.de>  
verfügbar.

Die in der Studie geäußerten Ansichten  
und Meinungen müssen nicht mit denen des  
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt  
Postfach 14 06  
06813 Dessau-Roßlau  
Tel.: 0340/2103-0  
Telefax: 0340/2103 2285  
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet II I 1.3  
Dr. Jörn-Uwe Thurner

Dessau-Roßlau, September 2008

Umweltforschungsplan  
des Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz und Reaktorsicherheit

Förderkennzeichen (UFOPLAN) 204 95 373

**Prüfung von Emissionen aus Bürogeräten während der Druckphase zur  
Weiterentwicklung des Umweltzeichens Blauer Engel für Laserdrucker und  
Multifunktionsgeräte unter besonderer Berücksichtigung  
der Sicherung guter Innenraumluftqualität**

von

Dr. Olaf Wilke, Dr. Oliver Jann, Doris Brödner,  
Uwe Schneider, Christian Krockner, Sabine Kalus,  
Dr. Stefan Seeger, Dr. Michael Bücken

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)  
IV.2, Arbeitsgruppen „Emission aus Materialien“,  
„Charakterisierung von Fasern und Partikeln“ und  
„Umwelteinflüsse und Schädigungsmechanismen“



Institutsleiter  
Prof. Dr. M. Hennecke

IM AUFTRAG  
DES UMWELTBUNDESAMTES

September 2007

## Inhaltsverzeichnis

|                                                                                                               |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>VORBEMERKUNGEN .....</b>                                                                                   | <b>4</b>  |
| <b>1 EINLEITUNG.....</b>                                                                                      | <b>5</b>  |
| 1.1 Hintergrund und Aufgabenstellung.....                                                                     | 5         |
| <b>2 METHODEN / GERÄTE .....</b>                                                                              | <b>8</b>  |
| 2.1 Emissionsmesskammern.....                                                                                 | 8         |
| 2.2 Klima.....                                                                                                | 13        |
| 2.3 Staub (Feinstaub bzw. Ultrafeinstaub) .....                                                               | 14        |
| 2.4 Ozon .....                                                                                                | 20        |
| 2.5 VOC.....                                                                                                  | 23        |
| <b>3 VORGEHENSWEISE .....</b>                                                                                 | <b>28</b> |
| 3.1 Geräte und Verbrauchsmaterial .....                                                                       | 28        |
| 3.2 Durchgeführte Untersuchungen .....                                                                        | 28        |
| <b>4 ERGEBNISSE DER EMISSIONSMESSUNGEN .....</b>                                                              | <b>31</b> |
| 4.1 Allgemeines .....                                                                                         | 31        |
| 4.2 Voruntersuchungen .....                                                                                   | 31        |
| 4.3 Hauptuntersuchungen .....                                                                                 | 40        |
| <b>5 UNTERSUCHUNGEN FÜR DIE WEITERENTWICKLUNG DES<br/>PRÜFVERFAHRENS .....</b>                                | <b>64</b> |
| 5.1 Betrachtungen zum Einfluss der Bereitschaftsphasen-Emission auf die Emissionsrate der<br>Druckphase ..... | 64        |
| 5.2 Untersuchungen zur Bildung von Benzol durch Reaktion von Tenax mit Ozon .....                             | 67        |
| 5.3 Untersuchungen mit Partikelspektrometern (größenauflösende Partikelzähler).....                           | 68        |
| <b>6 RINGVERSUCH.....</b>                                                                                     | <b>76</b> |
| 6.1 VOC-, Staub- und Ozonemissionsmessungen .....                                                             | 76        |
| <b>7 ZUSAMMENFASSUNG .....</b>                                                                                | <b>77</b> |

---

|           |                                                                           |           |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>8</b>  | <b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>                                         | <b>81</b> |
| <b>9</b>  | <b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....</b>                                         | <b>84</b> |
| <b>10</b> | <b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>                                        | <b>85</b> |
| <b>11</b> | <b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>                                          | <b>88</b> |
| <b>12</b> | <b>ANHANG.....</b>                                                        | <b>89</b> |
| 12.1      | Zusammenstellung aller Messergebnisse für VOCs .....                      | 89        |
| 12.2      | Druckvorlage 5% Flächendeckung, schwarz .....                             | 128       |
| 12.3      | Druckvorlage 20% Flächendeckung, farbig .....                             | 129       |
| 12.4      | Abbildungen der verwendeten Analysengeräte .....                          | 130       |
| 12.5      | Vertreter des Expertenkreises.....                                        | 133       |
| 12.6      | Prüfverfahren für die Bestimmung von Emissionen aus Hardcopygeräten ..... | 136       |

## Vorbemerkungen

Das Forschungsvorhaben wurde im Auftrag des Umweltbundesamtes mit Mitteln des Umweltforschungsplanes als Projekt zur Weiterentwicklung des Umweltzeichens Blauer Engel für Laserdrucker und Multifunktionsgeräte gefördert.

Fragen zum Emissionsverhalten von Hardcopygeräten und Schlussfolgerungen für ein Prüfverfahren, sowie die Zwischenergebnisse des Vorhabens wurden in drei Sitzungen eines projektbegleitenden Expertenkreises diskutiert und vorgestellt. Dem Expertenkreis gehörten Vertreter der deutschen Prüfinstitute für RAL-UZ 114, der ECMA, des JBMIA, der BITKOM sowie des Umweltbundesamtes an. Die Mitarbeiter des Expertenkreises werden im Kapitel 14.5 im Anhang namentlich aufgeführt.

Den Mitarbeitern des projektbegleitenden Expertenkreises wird an dieser Stelle für die konstruktive Begleitung des Projektes gedankt. Dieser Dank gilt auch den Firmen, die im Rahmen des Projektes Geräte und Verbrauchsmaterial zur Verfügung gestellt haben.

**Den in diesem Bericht dargestellten Untersuchungen ging ein Forschungsvorhaben voraus, dessen Ergebnisse in der Reihe UBA-Texte unter der Nummer 71/03 veröffentlicht wurden. Der Bericht von 2003 stellt außerdem wichtige Grundlagen aus den Bereichen Innenraumluftqualität, Prüfkammermessung und Bewertung von Emissionen dar und macht theoretische Betrachtungen zum Verständnis der Konzentrationsverläufe bei Prüfkammermessungen. Auf diese Grundlagen wird im vorliegenden Bericht nicht noch einmal eingegangen, dafür wird hiermit ausdrücklich auf den Bericht von 2003 hingewiesen.**

# 1 Einleitung

## 1.1 Hintergrund und Aufgabenstellung

Zur Verbesserung der Innenraumluftqualität ist es notwendig, Erkenntnisse über die Beiträge einzelner Emissionsquellen zu gewinnen und Emissionen gezielt zu vermindern. Zu den wesentlichen Emissionsquellen von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC, volatile organic compound) gehören insbesondere in Innenräumen eingesetzte Produkte, wie Ausstattungsmaterialien, Bauprodukte, Möbel, Drucker und Kopierer. Eine Bestimmung des Emissionsverhaltens dieser in Innenräumen eingesetzten Produkte muss unter standardisierten Messbedingungen in Emissionsmesskammern oder -zellen erfolgen [Leovic 1998, Black 1999, Brown 1999, Hohensee 2000, Heimann 2001, Wensing 2002, Jann 2003, Rockstroh 2003, Jann 2006, Seeger 2006, Kagi 2007].

Viele Produkte, die zur Vermeidung wesentlicher Umwelt- und Gesundheitsprobleme beitragen, können bereits mit dem Umweltzeichen Blauer Engel (RAL-UZ) gekennzeichnet werden. Die Nutzung des Zeichens ist freiwillig und muss vom Zeichennehmer beim RAL (Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V.) beantragt werden. Dabei ist die Einhaltung spezifischer Anforderungen nachzuweisen.

Die Basis waren hierbei das Prüfverfahren für die Bestimmung von Emissionen aus Hardcopygeräten nach RAL-UZ 62, 85 und 114, die DIN ISO 16000-9 als Prüfkammernorm und DIN ISO 16000-6 für das Luftprobenahme- und Analysenverfahren. Diese Vorschriften ergänzen sich und ermöglichen die Bestimmung von VOC - Emissionen aus Materialien, wie Bauprodukten, aber grundsätzlich auch aus elektronischen Geräten. Dazu gehören sowohl Computer, als auch die unter dem Begriff „Hardcopygeräte“ zusammengefassten Drucker und Kopierer.

Umweltzeichenkriterien für Bürodruker und Kopierer gibt es bereits seit 1996. Für Drucker galt bisher das RAL-UZ 85, für Kopier das RAL-UZ 62 und für Multifunktionsgeräte das RAL-UZ 114. Die Vergabegrundlagen wurden 2003 zusammen mit einem neuen Prüfverfahren veröffentlicht (Jann 2003) und waren bis Ende 2006 gültig. Seit dem 1. Januar 2007 gibt es das RAL-UZ 122, welches einheitlich die drei Bürogerätegruppen mit Druckfunktion abdeckt.

In den Vergabegrundlagen von 2003 erfolgte eine Begrenzung der zulässigen Emissionsraten gemäß Tabelle 1.

Tabelle 1: Zulässige Höchstwerte der nach Anhang 4 zu RAL-UZ 62, 85, 114 ermittelten Emissionsraten

| Substanz | Emissionsrate<br>Druckphase*<br>(mg/h) | Emissionsrate<br>bei Tischgeräten<br>Bereitschaftsphase<br>(mg/h) | Emissionsrate<br>bei Standgeräten<br>Bereitschaftsphase<br>(mg/h) |
|----------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| TVOC     | 10                                     | 1                                                                 | 3                                                                 |
| Benzol   | 0,05                                   | -                                                                 | -                                                                 |
| Styrol   | 1,0                                    | -                                                                 | -                                                                 |
| Ozon     | 2,0                                    | -                                                                 | -                                                                 |
| Staub    | 4,0                                    | -                                                                 | -                                                                 |

Bei der Festlegung der zulässigen Emissionsraten für den Druckprozess (Druckphase) wurde die Annahme zugrunde gelegt, dass die Geräte unter normalen Umständen nicht mehr als 10 Prozent eines zehnstündigen Arbeitstages im Druck-Betrieb sein werden. Für die Druckbereitschaft (Bereitschaftsphase) erfolgte nur eine Begrenzung für TVOC, welche die unterschiedliche Größe und damit Masse und spezifische Materialoberfläche bei Tisch- und Standgeräten berücksichtigt. Für die anderen Substanzen erfolgte keine Begrenzung für die Druckbereitschaft, da in diesem Betriebszustand nicht von einer signifikanten Emission auszugehen war.

Die genannten Vergabekriterien galten bis Dezember 2006. Ab Juni 2006 wurde parallel eine neue Vergabegrundlage für Bürogeräte mit Druckfunktion (RAL-UZ 122) mit einem aktualisierten Prüfverfahren und angepassten zulässigen Emissionsraten eingeführt, die ab Januar 2007 die bisherigen Vergabegrundlagen zusammenfasst und ablöst.

Dafür waren zum einen die bisher gestellten Anforderungen zu überprüfen, zum anderen waren insbesondere Kriterien für den Betrieb im Farbdruck festzulegen, welche bisher nicht existierten.

---

Auf Basis der durchgeführten Untersuchungen und in Abstimmung mit dem projektbegleitenden Arbeitskreis wurde das Prüfverfahren weiterentwickelt. Dies führte zur Veröffentlichung einer überarbeiteten Prüfmethode im Juni 2006 (Anhang der Vergabegrundlage für RAL ZU 122).

Ergänzt wurden diese Untersuchungen durch einen Rundversuch, an dem alle zugelassenen Prüfinstitute teilnehmen mussten.

Weiterhin waren Fragen über den Beitrag von Betriebsmitteln wie Toner und Papier zum Emissionsverhalten des Gesamtsystems zu beantworten. Hierbei stand zunächst die Frage nach einer Charakterisierung des Staubes (Unterscheidung Tonerstaub/Papierstaub) im Mittelpunkt, zu einem späteren Zeitpunkt des Projektes tauchten darüber hinaus Fragen zum Auftreten von Ultrafeinstaub auf.

Außerdem wurde an der Überarbeitung des 2001 von der ECMA (European Computer Manufacturer Association) veröffentlichten ECMA - Standards 328 mitgearbeitet, der ebenfalls die Bestimmung von chemischen Emissionen aus elektronischen Geräten beschreibt. Diese Überarbeitung wurde 2006 fertig gestellt. Dabei erfolgte eine Harmonisierung mit RAL-UZ 122. Der daraus resultierende ECMA-Standard 328 (2<sup>nd</sup> edition) diente als Vorlage für den ISO/IEC-Standard 28360 vom September 2007.

## 2 Methoden / Geräte

### 2.1 Emissionsmesskammern

Emissionsmesskammern dienen dazu, unter standardisierten und weitgehend konstanten Versuchsbedingungen die durch Kontaminationsquellen in die Luft abgegebenen Substanzen reproduzierbar zu bestimmen.

Die DIN ISO 16000, Teil 9 - 11, beinhaltet die Bestimmung von VOC - Emissionen mittels Emissionsmesskammern bzw. -messzellen. Beschrieben werden darin außerdem die Gewinnung, Behandlung und Vorbereitung von Emissionsproben.

Für Untersuchungen von Materialemissionen kommen in Deutschland vielfach 1 m<sup>3</sup> - Kammern zum Einsatz. Als Prüfklima sind eine Temperatur von 23 °C und eine relative Luftfeuchtigkeit von 50 % vorgeschrieben.

Weitere wesentliche Kriterien, wie Luftaustauschrate ( $n$ ) und Produktbeladungsfaktor ( $L$ ), bzw. der nach DIN ISO 16000-9, als flächenspezifische Luftdurchflussrate ( $q$ ) bezeichnete Quotient aus Luftaustauschrate und Produktbeladungsfaktor sind unterschiedlich festgelegt. Für Geräte ist der Begriff der stückspezifischen Luftdurchflussrate eingeführt, da die Bestimmung der Oberfläche komplexer Geräte unpraktikabel ist.

Wenn es um die Bestimmung des Emissionsverhaltens von flüchtigen organischen Verbindungen in geringen Konzentrationen bis in den unteren  $\mu\text{g m}^{-3}$ -Bereich geht, sind nicht nur die üblichen Parameter wie Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Luftaustauschrate und Luftströmungsgeschwindigkeit auf einem bestimmten Level konstant zu halten, sondern es sind darüber hinaus auch besondere, weitergehende Anforderungen an die Prüfkammern zu stellen, insbesondere:

- Weitgehend inerte Kammerwände aus Glas oder poliertem Edelstahl zur Minimierung von Wandeffekten
- Effektive Luftdurchmischung
- Minimierung von Dichtungsmaterialien, die Eigenemissionen sowie Adsorptions- und Desorptionseffekte verursachen können
- Reinigungsfähigkeit der Kammer, z.B. durch Ausheizen
- VOC- und staubarme Reinstluft- und Reinstwasserversorgung

Die Wahl weitgehend inerter Kammerwandmaterialien ist dadurch begründet, dass Adsorptionseffekte an den Kammerwänden möglichst gering gehalten werden, damit die Stoffkonzentration in der Luft nicht durch sogenannte Wandeffekte beeinflusst wird. Neben der Beeinflussung der Stoffkonzentration in der Luft während der Emissionsmessung können sich diese Wandeffekte auch bei nachfolgenden Untersuchungen in Form von Memoryeffekten aus der vorhergehenden Messung störend bemerkbar machen. Aus diesen Gründen ist auch grundsätzlich eine Blindwertbestimmung zwischen zwei Kammerversuchen erforderlich. Für eine geeignete Desorption von möglicherweise an den Kammerwänden adsorbierten organischen Verbindungen ist zu sorgen.

Für die Untersuchungen im Rahmen dieses Vorhabens wurden Emissionsmesskammern mit Volumina von 1 m<sup>3</sup> und 20 m<sup>3</sup> eingesetzt, die alle die gleichen Standardklimabedingungen von T = 23 °C und einer rel. F. von 50 % aufwiesen.

Des Weiteren waren alle Kammern mit dem gleichen Reinstluftversorgungssystem ausgestattet. Die Reinstluftversorgung erfolgte über einen ölfreien Kompressor, dessen Druckluft über eine nachgeschaltete Reinigungseinheit von Feuchtigkeit, VOC und Staub gereinigt wird. Die Reinigungseinheit (Ultrafilter Oilfreepac) besteht aus Vorfilter (Staub- und Aerosolabscheidung), Lufttrocknung (Heatless Dryer - Kieselgel mit automatischer Regeneration), Aktivkohle-Patrone zur VOC-Absorption sowie Feinfilter und Nachfilter (Submikrofilter < 0,01 µm, Abscheidegrad 99,99999 %), um sowohl aus der Umgebungsluft zugeführten Feinstaub als auch Aktivkohleabrieb zurückzuhalten.

Die anschließende Befeuchtung der Luft auf die erforderliche relative Luftfeuchtigkeit erfolgte nach unterschiedlichen Prinzipien, entweder durch eine Mischbefeuchtung aus trockenem und feuchtem Teilstrom bzw. über einen Taupunkt- oder Dampfbefeuchter.

Für die Befeuchtung wird hochreines Wasser verwendet. Es wird aus entsalztem Wasser gewonnen, das im Fall der Kammern mit einem Volumen von  $\leq 1$  m<sup>3</sup> zusätzlich über eine Nachreinigung (EASYpure UV D 7402) zur weiteren Entsalzung und Entfernung von eventuell vorhandenen organischen Verbindungen geführt wird. Ei-

nen Überblick über die in den einzelnen Emissionsmesskammern eingestellten Parameter gibt Tabelle 2.

Tabelle 2: Darstellung der Parameter in den eingesetzten Emissionsmesskammern

| Parameter                                | Einheit                                            | 1 m <sup>3</sup> - Kammer | 20 m <sup>3</sup> - Kammer |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Volumen                                  | m <sup>3</sup>                                     | 1                         | 20                         |
| Wandmaterial                             |                                                    | Edelstahl                 |                            |
| Temperatur (T)                           | °C                                                 | 23                        |                            |
| Relative Luftfeuchtigkeit (rel. F.)      | %                                                  | 50                        |                            |
| Luftaustauschrate (n)                    | h <sup>-1</sup>                                    | 1 - 4                     | 1 - 2                      |
| Luftvolumenstrom (V°)                    | h <sup>-1</sup>                                    | 1 - 4                     | 20 - 40                    |
| Gerätespezifische Luftdurchflussrate (q) | m <sup>3</sup> Stück <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> | 1 - 4                     | 20 - 40                    |
| Luftversorgung                           |                                                    | Reinstluft                |                            |

### 2.1.1 1 m<sup>3</sup> - Kammern

Als 1 m<sup>3</sup> - Emissionsmesskammer wurde im Rahmen dieses Vorhabens eine Standard - VOC - Emissionsmesskammer der Firma Vötsch Industrietechnik GmbH eingesetzt, die seit längerer Zeit kommerziell angeboten wird, DIN ISO 16000-9 entspricht und in der Literatur bereits ausführlich beschrieben wurde (Meyer, 1994). Sie ist in Abbildung 1 dargestellt.

Diese Kammer weist einen Innenprüfraum aus Edelstahl mit geringer Rautiefe auf, der gegen die Umgebung hermetisch abgeschlossen ist, was unter anderem durch den über eine Magnetkupplung von außen angetriebenen Prüfraumventilator erreicht wird. Die Klimatisierung der Kammer erfolgt über Manteltemperierung und Taupunkt-befeuchtung. Zur Reinigung der Kammer existiert ein Ausheizsystem, mit dem durch thermische Desorption bei bis zu 240 °C Memoryeffekte vermieden werden können. Die Oberfläche der prinzipiell zur Adsorption schwerflüchtiger Verbindungen befähigten Wände und Einbauten beträgt rund 7 m<sup>2</sup>.



Abbildung 1: 1 m<sup>3</sup>-Emissionsmesskammer, beladen mit einem Drucker



Abbildung 2: 1 m<sup>3</sup>-Emissionsmesskammer, kompletter Messplatz

### 2.1.2 20 m<sup>3</sup> - Kammer

Im ECA - Report Nummer 2 ist die Prüfkammermethode für Messkammern mit einem Volumen von  $\geq 12 \text{ m}^3$  für die Bestimmung der Formaldehydausgleichskonzentration beschrieben. In der DIN EN 717-1 sind für Messungen der Formaldehydausgleichskonzentration ebenfalls große Kammern mit Volumina  $\geq 12 \text{ m}^3$  beschrieben. Abbildung 3 zeigt ein Bild der eingesetzten 20 m<sup>3</sup> - Kammer.



Abbildung 3: 20 m<sup>3</sup> - Emissionsmesskammer, beladen mit einem Drucker

Diese Kammer ist an das gleiche Reinstluftversorgungssystem angeschlossen, wie es bei den anderen Kammern auch zum Einsatz gelangt. Ohne Reinstluftversorgungssystem durchgeführte Messungen des Kammerblindwertes führen zu unakzeptabel hohen und instabilen Blindwerten.

Da diese Kammer ursprünglich nur für Formaldehydmessungen konzipiert war, entspricht sie in einigen wesentlichen Punkten nicht den Anforderungen, wie sie an

VOC- Emissionsmesskammern gestellt werden. Dies betrifft insbesondere die Temperierung und die Vorrichtungen zur Luftverteilung. Anstelle der empfohlenen Manteltemperierung erfolgt die Temperatureinstellung in der 20 m<sup>3</sup> - Kammer über einen großflächigen Wärmetauscher, über den die Luft im Kreislauf geführt wird. Im Hinblick auf mögliche unerwünschte Adsorptionseffekte an Innenflächen der Kammer könnten die durch Wärmetauscher eingebrachten Flächen störend wirken. Inwieweit die Messergebnisse hierdurch beeinflusst werden, ist im Bericht von 2003 im Rahmen von Vergleichsmessungen mit anderen Kammern untersucht worden.

Der Vorteil einer großen Kammer ist, dass hier auch komplexe Materialkombinationen bzw. große Hardcopystandgeräte untersucht werden können. Die 20 m<sup>3</sup> - Kammer wird in der Regel bei einer Luftaustauschrate von  $n = 1 \text{ h}^{-1}$  mit einem Luftvolumenstrom von 20 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> betrieben.

## 2.2 Klima

Die Klimamessungen wurden auf der Grundlage kalibrierter Geräte vorgenommen. Als externe Messgeräte kamen Klimafühler in Verbindung mit einem Datenlogger vom Typ 3290-8 der Firma ALMEMO zum Einsatz. Damit war eine kontinuierliche Messung an verschiedenen Messstellen möglich. Die Kalibrierung der einzelnen Messfühler erfolgte anhand der Messungen mit dem Aspirationspsychrometer nach Aßmann und einem kalibrierten Thermometer.

### Messgenauigkeit der Klimafühler

|                            |   |                                     |
|----------------------------|---|-------------------------------------|
| <u>Feuchtesensor</u>       | : | Typ FH A 646-R                      |
| Messbereich                | : | 5% bis 98% rel. F.                  |
| Max. Linearitätsabweichung | : | ± 2% rel. F.                        |
| Betriebstemperatur         | : | - 30 °C bis +100 °C                 |
| Nenntemperatur             | : | 25 °C ± 3 K                         |
| <u>Temperatursensor</u>    | : | NTC Typ N                           |
| Genauigkeit                | : | 0 °C bis 70 °C ± 0,1 K              |
| <u>Luftdrucksensor</u>     | : | Typ FD A 612 MA                     |
| Messbereich                | : | 0 mbar bis 1050 mbar                |
| Genauigkeit                | : | ± 0,5% (typisch ± 0,1% vom Endwert) |
| Betriebstemperatur         | : | 25 °C ± 3 K                         |

## **2.3 Staub (Feinstaub bzw. Ultrafeinstaub)**

Zur Bestimmung der Staubemissionsrate wurde als klassisches Verfahren die Gravimetrie eingesetzt. Diese Verfahren ist in erster Linie sensitiv für Feinstaub  $> 1 \mu\text{m}$  Partikeldurchmesser. Ultrafeine Partikel können aufgrund ihres in der Regel geringen Beitrags zur Gesamtmasse eines Aerosols mit der Gravimetrie kaum nachgewiesen werden. Zusätzlich erfolgte deshalb in der  $1 \text{ m}^3$ -Emissionsmesskammer der Einsatz von Partikelspektrometern, um den Messbereich für Partikelemissionen auf Ultrafeinpartikel  $> 10 \text{ nm}$  Durchmesser auszudehnen, und Partikelanzahlkonzentrationen, Partikelgrößenverteilungen und Partikelemissionsraten zeitaufgelöst und detailliert ermitteln zu können.

### **2.3.1 Bestimmung der Feinstaubemission durch Gravimetrie**

Grundlage des Messverfahrens ist die Differenzwägung eines Glasfaserfilters, über den ein definiertes Luftprobenahmenvolumen aus der Emissionsmesskammer geführt wurde, mittels einer Ultramikrowaage (Typ UMX2 / M; Hersteller Mettler - Toledo). Die Ultramikrowaage ist in Abbildung 60 im Anhang dargestellt.

#### Durchführung der Messung

Die Luftprobenahme erfolgt über eine definierte Zeitspanne (gesamte Druck- und Nachlaufphase). Die während dieser Zeitspanne der Prüfkammer entnommene Luft wird mittels einer Pumpe (Fa. Müller; GSA 50) durch einen Glasfaserfilter (Fa. Schleicher & Schuell, Durchmesser 50 mm) gezogen. Das Volumen der durch den Filter gesaugten Luft wird mittels eines Gasdurchflussmessers (Fa. Schlumberger, REMUS 4 G 1,6) bestimmt. Durch Differenzwägung des Filters erhält man die absolute Masse des gefilterten Feinstaubes. Aus beiden Werten ist die mittlere Feinstaubkonzentration in der Prüfkammer nach Formel 2 und daraus die spezifische Feinstaubemissionsrate nach Formel 1 zu ermitteln.

Standardbedingungen der gravimetrischen Staubmessung

|                             |                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Staubfilter                 | Glasfaserfilter mit Halterung                                                                                                                                         |
| Probenahmeort               | mittig an der Kammerwand für die 1-m <sup>3</sup> -Kammern A und B<br>Für die 20-m <sup>3</sup> -Kammer direkt in der Kammer in ca. 30 cm<br>Höhe über dem Prüfobjekt |
| Probenahme-<br>volumenstrom | bis maximal 90 % der Luftdurchflussrate in der Kammer<br>während der Probenahmephase                                                                                  |
| Probenahmezeit              | gesamte Druck- und Nachlaufzeit                                                                                                                                       |

Berechnung der Feinstaubkonzentration und –emissionsrate

$$SER_{u_{St}} = \frac{m_{St} * n * V * t_G}{V_P * t_D}$$

Formel 1

$$c_{St} = \frac{m_{St}}{V_P}$$

Formel 2

|                                 |                                                      |                                           |
|---------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| c <sub>St</sub> :               | Staubmassenkonzentration in der Prüfkammer           | [µg m <sup>-3</sup> ]                     |
| SER <sub>u<sub>St</sub></sub> : | Staubmassenemissionsrate                             | [µg Stück <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ] |
| m <sub>St</sub> :               | ausgewogene Staubmasse (klimakorrigiert)             | [µg]                                      |
| n:                              | Luftaustauschrate                                    | [h <sup>-1</sup> ]                        |
| t <sub>D</sub> :                | reine Druck- bzw. Kopierzeit                         | [min]                                     |
| t <sub>G</sub> :                | Gesamtprobenahmezeit                                 | [min]                                     |
| V:                              | Prüfkammervolumen                                    | [m <sup>3</sup> ]                         |
| V <sub>P</sub> :                | Volumen der durch den Glasfaserfilter gesaugten Luft | [m <sup>3</sup> ]                         |

Die zur gravimetrischen Feinstaubmessung eingesetzten Glasfaserfilter (Messfilter) müssen vor der Messung in einem klimatisierten Raum (Wägeraum: Temperatur: 23°C ± 2 K; relative Luftfeuchtigkeit: 50 % ± 5 %) gelagert und im dort herrschenden Klima bis zur Massekonstanz konditioniert werden. Da sich auch geringste unvermeidbare Schwankungen der relativen Luftfeuchtigkeit im Wägeraum auf die Masse der Glasfaserfilter auswirken, wird mindestens ein unbeladener Glasfaserfilter (Referenzfilter) zur gleichen Zeit wie die Messfilter vor der Staubprobenahme (tara) gewogen, um den Einfluss des Klimas auf die Filtermasse durch eine Klimakorrektur minimieren zu können.

Während der Staubprobenahme an der Klimakammer wird Luft durch den Messfilter gesaugt. Da die relative Luftfeuchtigkeit dieser Luft von der im Wägeraum abweichen kann, muss der Messfilter nach der Staubprobenahme wieder bis zur Massekonstanz im Wägeraum konditioniert werden.

Der Referenzfilter wird die ganze Zeit im Wägeraum belassen und bei der Wägung der Staubauswaage (Bruttowägung) des Messfilters wieder gewogen. Die beim Referenzfilter ermittelte Massedifferenz zwischen der ersten und der zweiten Wägung ist auf Klimaveränderungen zurückzuführen. Die ausgewogene, auf dem Messfilter abgeschiedene Feinstaubmasse wird entsprechend um diese Massendifferenz korrigiert.

### Ermittlung der Feinstaubmasse mit Klimakorrektur

$$m_{St} = (m_{MF\text{brutto}} - m_{MF\text{tara}}) + (m_{RF1} - m_{RF2}) \quad \text{Formel 3}$$

|                          |                                                                                                      |      |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| $m_{St}$ :               | klimakorrigierte Feinstaubmasse                                                                      | [µg] |
| $m_{MF\text{ brutto}}$ : | Masse des konditionierten Messfilters nach der Staubprobenahme                                       | [µg] |
| $m_{MF\text{ tara}}$ :   | Masse des konditionierten Messfilters vor der Staubprobenahme                                        | [µg] |
| $m_{RF\ 1}$ :            | Masse des konditionierten Referenzfilters zeitgleich mit Messfilter gewogen vor der Staubprobenahme  | [µg] |
| $m_{RF\ 2}$ :            | Masse des konditionierten Referenzfilters zeitgleich mit Messfilter gewogen nach der Staubprobenahme | [µg] |

### Qualitätssicherung

Die Waage wurde durch den Deutschen Kalibrierdienst (DKD) nach DKD-Richtlinie 7-1 zur Kalibrierung von elektronischen nichtselbsttätigen Waagen kalibriert. Innerhalb angemessener Fristen wird diese Kalibrierung wiederholt. Bei einer Höchstlast von 2,1 g und einer Ablesbarkeit von 0,0001 mg wurde die Standardabweichung mit einer Last von 1 g ermittelt. Sie beträgt 0,00039 mg.

### Nachweisgrenze (NG) und Bestimmungsgrenze (BG)

Die Abschätzung der NG und BG erfolgte unter Beachtung der vom Hersteller angegebenen Messunsicherheit der Waage, der Annahme einer vollständigen Klimakorrektur durch den Einsatz von Referenzfiltern sowie einer ermittelten Durchschnittsmasse der unbeladenen Glasfaserfilter von  $140 \pm 5$  mg. In Tabelle 3 sind NG und BG der gravimetrischen Staubbestimmung dargestellt.

Tabelle 3: Nachweis- (NG) und Bestimmungsgrenze (BG) der gravimetrischen Staubbestimmung

| Prüfkammer                        | Staubemissionsrate [mg / h] |             |
|-----------------------------------|-----------------------------|-------------|
|                                   | NG [mg / h]                 | BG [mg / h] |
| 1 m <sup>3</sup> - Kammer A und B | 0,035                       | 0,106       |
| 20 m <sup>3</sup> - Kammer        | 0,150                       | 0,450       |

### 2.3.2 Bestimmung der Ultrafeinstaubemission durch Partikelspektroskopie (größenaufgelöste Partikelzählung)

Es gelangte eine Kombination von zwei zeitauflösenden Partikelspektrometern zum Einsatz:

1.) Der Laser-Partikelzähler vom Typ 1.108 der Firma Grimm Labortechnik GmbH, dargestellt in Abbildung 57 im Anhang, arbeitet nach dem Prinzip der Lorenz-Mie-Lichtstreuung. Die in der Luft enthaltenen Partikel werden vereinzelt in einem definierten Volumenstrom (typischerweise 1.2 l/min) durch eine kleine Messkammer im Messgerät geleitet und dort mit monochromatischem Laserlicht bestrahlt. Durch die Analyse des gestreuten Laserlichts wird der Durchmesser jedes Partikels automatisch bestimmt und in einer von 15 Größenklassen registriert. Die Mittelpunkte der Größenklassen liegen bei: 0.3, 0.4, 0.5, 0.65, 0.8, 1, 1.6, 2, 3, 4, 5, 7.5, 10, 15 und 20 µm. Bei dieser Aufteilung ist der Logarithmus der Klassenbreiten annähernd konstant und es wird ein in der Natur häufig anzutreffendes logarithmisch normalverteiltes Partikelgrößenspektrum unterstellt. Durch die Bestimmung der Häufigkeit von Partikeln in den Größenklassen entstehen in rascher zeitlicher Folge – d. h. typischerweise alle 6 Sekunden – Momentaufnahmen der Partikelgrößenverteilung in einem Aerosol. Alternativ können die Messungen als Partikelanzahlkonzentration in jeder Größenklasse [Partikelanzahl/Volumeneinheit] oder als Partikelmassenkonzentration in jeder Größenklasse [Partikelmasse/Volumeneinheit] erfasst werden, eine nachträgliche Umrechnung der Spektren ist jedoch nicht möglich. Der Arbeitsbereich des Spektrometers liegt bei Anzahlkonzentrationen  $< 2 \cdot 10^6$  Partikel/l bzw. bei Massenkonzentrationen zwischen 0.1 und  $10^5$  µg/m<sup>3</sup> im Aerosol.

2.) Das Partikelspektrometer vom Typ 3080 SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer), dargestellt in Abbildung 58 im Anhang, beruht auf einem elektrischen Messverfahren.

Das Aerosol wird mit einem konstanten Volumenstrom (1 l/min) angesaugt. Durch Bestrahlung mit einem radioaktiven  $\beta$ -Strahler (Kr-85) wird am Geräteeingang eine definierte elektrische Ladungsverteilung im Aerosol erzeugt. Die elektrisch geladenen polydispersen Partikel werden in einem laminaren Luftstrom durch eine Trennröhre (DMA, Differential Mobility Analyzer) geleitet und erfahren dort in einem senkrecht zur Bewegung - d. h. senkrecht zur Röhrenlängsachse - angelegten radialsymmetrischen elektrischen Feld eine radiale Driftbewegung in Richtung einer Zentralelektrode. Bei einer vorgewählten konstanten Strömungsgeschwindigkeit bestimmt die Höhe der angelegten elektrischen Spannung die Feldstärke und damit die schmalbandige Größenklasse der Partikel, die jeweils über einen Ausströmschlitz abgesaugt werden können. Das DMA fungiert also als ein justierbares Partikelfilter, welches abhängig von einer zeitlich in bestimmten Schritten veränderbaren Spannung monodisperse Aerosole definierter Größe seriell nacheinander passieren lässt, alle anderen Partikel jedoch mit hoher Trennschärfe zurückhält. Die monodispersen Aerosole werden dann kontinuierlich einem Zählverfahren zugeführt. Diese Technik ermöglicht ein rasches Abscannen von beispielsweise 100 Partikelgrößenklassen innerhalb von 2 Minuten zur Ermittlung von Größenspektren und eignet sich auch für Partikel von wenigen Nanometern Durchmesser, also für den Größenbereich, der mit optischen Partikelmessverfahren nicht erfassbar ist. Größere Partikel ab ca. 250 nm Durchmesser könnten nach Passieren des DMA direkt optisch gezählt werden (siehe Laser-Partikelzähler). Nach Passieren des DMA werden die Partikel jedoch zunächst in einem Kondensationszähler durch eine Zone gesättigten Wasserdampfs geleitet. Sie stellen dort Kondensationskerne dar, kleinere Partikel vergrößern sich daher rasch durch Anlagerung kondensierter Flüssigkeit (auf einige  $\mu\text{m}$  Durchmesser) bis sie problemlos mit optisch Verfahren gezählt werden können. Die Steuersoftware stellt sicher, dass die Daten aus Größenklassierungen und Konzentrationsmessungen jeweils richtig zugeordnet werden.

Die Messdaten werden mit dem Start der Druckphase bis zum Ende der Nachlaufphase online aufgenommen und in Echtzeit über eine Schnittstelle in einen PC überführt und dort als Ascii-Datenfiles gespeichert. Die Auswertung der zeitaufgelösten Partikelanzahlkonzentrationen und Partikelgrößenverteilungen, sowie die Berechnung von Partikelemissionsraten und Gesamtemissionen erfolgt mit selbst programmierten Algorithmen auf Basis der Analysesoftware ORIGIN PRO 7.5.

Im Gegensatz zur Gravimetrie erlauben die oben beschriebenen Verfahren der Partikelspektroskopie die Messung des detaillierten zeitlichen Verlaufs von Emissionsergebnissen und die Berechnung von Partikelemissionsraten und Gesamtpartikelemissionen aus den Messdaten. Abbildung 59 im Anhang zeigt den Anschluss der Partikelspektrometer an die 1 m<sup>3</sup>-Testkammer mit ca. 50 cm langen Zuleitungen aus Edelstahl (Grimm) bzw. leitfähigem Silikon (TSI), welche ca. 10 cm in das Kammerinnere hineinragen und dort an der gleichen Position Aerosol absaugen.

### Berechnung der Partikelemissionsrate

$$\text{SEP}(t) = V \left( \dot{C}_{P \text{ Mess}}(t) + \beta \cdot C_{P \text{ Mess}}(t) \right)$$

Formel 4

|                                 |                                                          |                                                |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| SEP(t):                         | zeitabhängige Partikelemissionsrate                      | [Partikel min <sup>-1</sup> ]                  |
| C <sub>P Mess</sub> (t):        | zeitabhängige gemessene Partikelanzahlkonzentration      | [Partikel cm <sup>-3</sup> ]                   |
| G:                              | Gesamtpartikelemission                                   | [Partikel]                                     |
| β:                              | effektive Aerosolverdünnungsrate                         | [h <sup>-1</sup> ]                             |
| V:                              | Prüfkammervolumen                                        | [m <sup>3</sup> ]                              |
| $\dot{C}_{P \text{ Mess}}(t)$ : | Zeitableitung der gemessenen Partikelanzahlkonzentration | [Partikel min <sup>-1</sup> cm <sup>-3</sup> ] |

C<sub>P Mess</sub> entsteht hier jeweils durch Addition der Partikelanzahlkonzentrationen aller Messkanäle eines Partikelspektrometers, umfasst also die Anzahlkonzentration im gesamten Größenmessbereich eines Partikelspektrometers. Die effektive Aerosolverdünnungsrate β wird im Wesentlichen beeinflusst durch 1) den während des Druckvorgangs und der Nachlaufzeit konstanten Luftaustausch in der Kammer, 2) durch Partikelverluste aufgrund von Partikeladsorption an der Kammerwand, und 3) durch Partikelagglomeration und andere Prozesse, die die Partikelanzahlkonzentration vermindern können. Deshalb entspricht β in der Regel nicht der Luftaustauschrate n, sondern weicht z. T. erheblich hiervon ab. β kann jedoch aus der zeitabhängigen gemessenen Partikelanzahlkonzentration C<sub>P Mess</sub> abgeschätzt werden, indem angenommen wird, dass nach Ende eines Druckereignisses die Partikelanzahlkonzentration exponentiell mit der charakteristischen Konstante β abfällt, also der folgenden Gleichung genügt:

$$C_{P \text{ Mess}}(t) \propto e^{-\beta t}, \quad \text{für } t > t_{\text{Druckende}}$$

Formel 5

Die Zeitableitung der gemessenen Partikelanzahlkonzentration kann auf numerischem Wege aus den Messdaten ermittelt werden. Damit sind alle Größen aus Formel 4 bestimmbar. Die Gesamtpartikelemission kann aus dem Zeitintegral von  $C_{P \text{ Mess}}$  numerisch berechnet werden:

$$G = \int_{\text{Druckanfang}}^{\text{Druckende}} \text{SEP}(t) dt$$

Formel 6

Analog zum gravimetrischen Verfahren kann die Gesamtpartikelemission auf die Dauer des Druckvorgangs normiert werden:

$$G_{\Delta t}: \quad \text{Gesamtpartikelemission / Druckzeit} \quad [\text{Partikel/min}]$$

Es sind auch größen aufgelöste Aussagen möglich, d. h., die obigen Messgrößen können auch auf einzelne Partikelgrößenklassen oder -größenbereiche ( $\Delta D$ : Größenbereich des Partikeldurchmessers) bezogen werden:

$$\begin{array}{ll} \text{SEP}_{\Delta D}(t): & \text{zeitabhängige größen selektive Partikelemissionsrate} & [\text{Partikel min}^{-1}] \\ G_{\Delta D}: & \text{größen selektive Gesamtpartikelemission} & [\text{Partikel}] \end{array}$$

### Qualitätssicherung

Die Partikelspektrometer wurden von den Herstellern kalibriert. Innerhalb angemessener Fristen wird diese Kalibrierung wiederholt.

## 2.4 Ozon

Für die Bestimmung der Ozonkonzentration wurde ein Ozonanalysator Modell 3010 verwendet, dargestellt in Abbildung 56 im Anhang. Grundlage des Messverfahrens ist die flammenlose Reaktion von Ozon mit Ethylen. Die dabei auftretende Chemilumineszenz wird photometrisch erfasst. Die Ozonkonzentration wird kontinuierlich be-

stimmt. Die Messwerterfassung erfolgt neben der manuellen Mitschrift mit elektronischer Datenerfassungstechnik. Es werden drei Arbeitsmodi unterschieden:

- a) „Nullen“ - in die Reaktionskammer wird ozonfreie Luft geleitet. Es tritt keine Chemilumineszenz ein. Der Nullpunktsabgleich kann erfolgen.
- b) „Kalibrieren“ - es wird ein Ozongenerator betrieben, der an der Reaktionskammer eine Ozonkonzentration von 0,160 ppm vorlegt. Dieser Kalibrierpunkt wird ebenfalls abgeglichen.
- c) „Messen“ - nach Abschluss der Zweipunktkalibrierung kann mit dem Messvorgang begonnen werden. Dabei wird permanent ein Messsignal erzeugt. Die Aufzeichnung der Ausgangsspannungswerte ist mit elektronischen Mitteln (Datenlogger) möglich. Dabei ist ein Umrechnungsfaktor zwischen Spannungswert, Messbereichseinstellung und Normierungskurve in ppm - Werte einzubeziehen.

#### Durchführung der Messung

Die Prüfung der Ozonemission von Druckern und Kopierern wurde wie folgt durchgeführt:

- a) Bestimmung des Kammerblindwertes ohne Gerät
- b) Bestimmung der Ozonkonzentration in der Kalt- und Bereitschaftsphase
- c) Ozonbestimmung beim Drucken bzw. Kopieren

Die Ozonbestimmung beim Drucken bzw. Kopieren erfolgte sofort mit Beginn des Druckjobs und wurde bis zur Beendigung der Nachlaufphase fortgeführt. Die Konzentrationsaufzeichnung erfolgte alle 10 Sekunden. Der Ozonkonzentrationsverlauf wurde permanent mit elektronischen Datenloggern aufgezeichnet. Die Ozonhalbwertszeit wurde aus der Abklingkurve in der Nachlaufphase bestimmt. Zu dieser Zeit herrschen in erster Näherung noch die Bedingungen vor, wie sie beim Druckjob vorliegen.

Im Gegensatz zu RAL-UZ 114 erfolgt bei RAL-UZ 122 keine Bestimmung der Ozonhalbwertszeit bei geringer Ozonemission durch Injektion von Ozon in die Prüfkammer nach der Nachlaufphase. In diesen Fällen wird die Ozonemissionsrate mit der geringsten jemals bei einer Prüfung in der entsprechenden Prüfkammer gemessenen Ozonhalbwertszeit berechnet.

### Berechnung der Ozonemissionsrate

$C_{\max}$  und  $k'$  sind die entscheidenden Variablen für die Bestimmung der Ozonemissionsrate. Sie sind eng miteinander verbunden. Ist die Ozonhalbwertszeit klein, sind die erreichbaren Ozonhöchstkonzentrationen auch klein, verglichen mit denen bei größerer Ozonhalbwertszeit. Eine direkte Aussage zur Ozonemissionsrate über die maximale Ozonkonzentration ist daher nicht möglich. Die Berechnung der Ozonemissionsrate erfolgte nach der Formel 7 unter Einbeziehung der Ozonhalbwertszeit (Formel 8).

$$SER_u = \frac{c_{\max} * k' * V * p}{T * R}$$

Formel 7

$$k' = \frac{\ln 2}{H}$$

Formel 8

|                    |                                                     |                                          |
|--------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------|
| SER <sub>u</sub> : | Ozonemissionsrate                                   | [µgStück <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ] |
| c <sub>max</sub> : | Betrag der maximalen Ozonkonzentration              | [µgm <sup>-3</sup> ]                     |
| k:                 | Proportionalitätsfaktor                             | [min <sup>-1</sup> ]                     |
| H:                 | Ozonhalbwertszeit unter Prüfbedingungen             | [min]                                    |
| V:                 | Prüfkammervolumen                                   | [m <sup>3</sup> ]                        |
| p:                 | Luftdruck                                           | [Pa]                                     |
| T:                 | absolute Temperatur                                 | [K]                                      |
| R:                 | Gaskonstante ( für Ozon 339,8 [PaK <sup>-1</sup> ]) | [PaK <sup>-1</sup> ]                     |

### Qualitätssicherung

Zur Sicherung der Qualität der Ozonbestimmung galt es, insbesondere den menschlichen Ablesefehler in den einzelnen Messbereichen auf ein Minimum zu beschränken. Für die Bestimmungen können verschiedene Bereiche gewählt werden. Dementsprechend sind die Messfehler abhängig vom gewählten Messbereich. Sie betragen ca. 2 % des gewählten Messbereiches. Eine permanente Aufzeichnung der Messspannungswerte über zwei Signalausgänge (Spannungssignal / Stromsignal) wurde zur Datenkontrolle herangezogen. Probleme bei der Auswertung bereiten Messbereichsumschaltungen, die gesondert protokolliert wurden.

### Nachweisgrenze (NG) und Bestimmungsgrenze (BG)

Die Abschätzung der NG und BG erfolgt unter Beachtung der vom Hersteller angegebenen Messunsicherheit des Ozonanalysators und einer Messung unter Standardbedingungen. In Tabelle 4 sind NG und BG der Ozonbestimmung dargestellt.

Tabelle 4: Nachweis- und Bestimmungsgrenze der Ozonbestimmung

| Prüfkammer           | Ozonemissionsrate [mg / h] |             |
|----------------------|----------------------------|-------------|
|                      | NG [mg / h]                | BG [mg / h] |
| 1 m³- Kammer A und B | 0,006                      | 0,018       |
| 20 m³- Kammer        | 0,033                      | 0,099       |

## 2.5 VOC

Die VOC-Probenahme aus der Prüfkammerluft erfolgte nach DIN ISO 16000-6. Die Luftprobe wurde auf ein mit Tenax TA gefülltes Glasrohr gezogen (Rohrlänge 178 mm, AD 6 mm, ID 4 mm, 200 mg Tenax TA (60 - 80 mesh) fixiert mit Glasfritte bzw. zur Pumpenseite mit Glaswollstopfen / Drahtnetz). Vor der Probenahme wurden die Tenaxrohre mit Cyclodekan als internem Standard, gelöst in Methanol, gespickt (1 µl). Das Probenahmenvolumen betrug zwischen 2 l und 9 l. Der Probenahmenvolumenstrom betrug dabei 100 oder 50 ml/min.

Die TDS erfolgte mit einem TDS - System (Gerstel TDS - 3) in Verbindung mit einem Kaltaufgabesystem (Gerstel KAS - 4) zur Kryofokussierung der thermodesorbierten Analyten. Das Temperaturprogramm der Thermodesorptionseinheit begann bei 40 °C mit einer Aufheizrate von 40°C / Minute bis auf 290°C. Die Endtemperatur von 290 °C wurde für 5 Minuten gehalten. Die Kryofokussierung im Kaltaufgabesystem erfolgt bei minus 100 °C, das anschließende Aufheizen wurde mit einer Heizrate von 12°C / s auf 290°C vorgenommen.

Die Auftrennung der aus dem Kaltaufgabesystem überführten Analyten erfolgte gaschromatographisch (HP GC 6890 N) auf einer 30 m - Säule (HP - 5 MS, Durchmesser 0,25 mm, Schichtdicke 1 µm) bzw. einer 60 m Säule (HP 1- MS, Durchmesser 0,25 mm, Schichtdicke 0,25 µm). Das GC / MS - System ist in Abbildung 61 im Anhang dargestellt.

Die Identifizierung und Quantifizierung wurde mit einem Quadrupol - Massenspektrometer als Detektor (HP - MSD 5973) durchgeführt. Der Scanbereich lag bei 25 - 400 amu, mit 3,85 scans pro sec, bei einer Interfacetemperatur von 300°C. Für die Substanzidentifizierung stand die Massenspektrenbibliothek NIST-02 zur Verfügung.

Mit dem beschriebenen Verfahren lassen sich quantitativ schwerflüchtige Verbindungen bis hin zum Hexacosan (C<sub>26</sub>-Alkan, Siedepunkt ca. 413°C) bestimmen.

### Berechnung der VOC - Emissionsrate während der Bereitschaftsphase

Es wurden möglichst alle Substanzen identifiziert und über die aus einer Kalibrierung ermittelten relativen Responsefaktoren zum internen Standard individuell quantifiziert, deren Retentionszeit zwischen n-Hexan und n-Hexadekan liegt. Wenn Substanzen nicht identifizierbar waren oder der relative Responsefaktor nicht ermittelt werden konnte, wurde die Quantifizierung unter Annahme des Responsefaktors von Toluol durchgeführt.

Die Berechnung der Emissionsrate während der Bereitschaftsphase erfolgte mit der Konzentration aus der Probenahme der letzten zwanzig Minuten der einstündigen Bereitschaftsphase nach Formel 9.

$$SER_u = c * n * V$$

Formel 9

$$c = \frac{m_{VOC}}{V_P}$$

Formel 10

|                    |                                                                           |                      |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| c:                 | VOC-Konzentration während der Kalt- bzw. Bereitschaftsphase               | [µgm <sup>-3</sup> ] |
| SER <sub>u</sub> : | VOC-Emissionsrate während der Kalt- bzw. Bereitschaftsphase               | [µgh <sup>-1</sup> ] |
| m <sub>VOC</sub> : | analysierte Masse des (der) VOC während der Kalt- bzw. Bereitschaftsphase | [µg]                 |
| n:                 | Luftwechsel während der Kalt- bzw. Bereitschaftsphase                     | [h <sup>-1</sup> ]   |
| V:                 | Prüfkammervolumen                                                         | [m <sup>3</sup> ]    |
| V <sub>P</sub> :   | Probenahmenvolumen während der Kalt- bzw. Bereitschaftsphase              | [m <sup>3</sup> ]    |

### Berechnung der VOC - Emissionsrate während der Druckphase

Die Berechnung der Emissionsrate während der Druckphase erfolgte nach RAL-UZ 114 oder RAL-UZ 122

- a) RAL-UZ 114: Aus der Probenahme von Beginn der Druckphase durchgehend bis zum Ende der Nachlaufphase

$$SER_{u_{DN}} = \frac{m_{VOC_{DN}} * n_{DN} * V * t_G}{t_D * V_P}$$

Formel 11

|                  |                                                                      |                  |
|------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------|
| $SER_{u_{DN}}$ : | VOC-Emissionsrate ermittelt aus Druck- und Nachlaufphase             | $[\mu g h^{-1}]$ |
| $m_{VOC_{DN}}$ : | analysierte Masse des (der) VOC während der Druck- und Nachlaufphase | $[\mu g]$        |
| $n_{DN}$ :       | Luftwechsel während der Druck- und Nachlaufphase                     | $[h^{-1}]$       |
| $t_D$ :          | reine Druck- bzw. Kopierzeit                                         | $[min]$          |
| $t_G$ :          | Gesamtprobenahmezeit                                                 | $[min]$          |
| $V$ :            | Prüfkammervolumen                                                    | $[m^3]$          |
| $V_P$ :          | Probenahmevervolumen während der Druck- und Nachlaufphase            | $[m^3]$          |

b) RAL-UZ 122: Die Berechnung der Emissionsrate während der Druckphase erfolgt mit der Konzentration aus der Probenahme von Beginn der Druckphase bis zu dem Zeitpunkt, an dem ein einfacher Luftwechsel in der Nachlaufphase vollzogen ist, durch folgende Formel:

$$SER_{DN} = \frac{\frac{m_{VOC_{DN}} * n_{DN}^2 * V * t_G - SER_B * n_{DN} * t_G}{V_P}}{n_{DN} * t_D - e^{-n_{DN} * (t_G - t_D)} + e^{-n_{DN} * t_G}}$$

Formel 12

|                  |                                                                                |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| $SER_{DN}$ :     | VOC-Emissionsrate $[\mu g h^{-1}]$ ermittelt aus Druck- und Nachlaufphase      |
| $SER_B$ :        | VOC-Emissionsrate $[\mu g h^{-1}]$ ermittelt aus der Bereitschaftsphase        |
| $m_{VOC_{DN}}$ : | analysierte Masse $[\mu g]$ des (der) VOC während der Druck- und Nachlaufphase |
| $n_{DN}$ :       | Luftwechsel $[h^{-1}]$ während der Druck- und Nachlaufphase                    |
| $t_D$ :          | reine Druck- bzw. Kopierzeit $[h]$                                             |
| $t_G$ :          | Gesamtprobenahmezeit $[h]$                                                     |
| $V$ :            | Prüfkammervolumen $[m^3]$                                                      |
| $V_P$ :          | Probenahmevervolumen $[m^3]$ während der Druck- und Nachlaufphase              |

### Qualitätssicherung

Die Qualitätssicherung der Probenahme bestand aus der regelmäßigen Prüfung des Volumenstromes der zur Probenahme eingesetzten Pumpen. Dieser wurde nach Aufladung der Akkumulatoren der Pumpen mit Hilfe eines kalibrierten elektronischen Flussmessgerätes (HP) gemessen und auf  $100 \pm 1$  ml / min justiert.

Die Qualitätssicherung des analytischen Gerätes (GC - MS) erfolgte neben der regelmäßigen Erstellung von Mehrpunktkalibrierfunktionen der zu analysierenden Verbindungen durch das regelmäßige Vermessen einer Standardlösung sowie durch die Zugabe einer immer gleichen Menge des internen Standards auf das Tenax vor der Probenahme. Abweichungen in der Quantifizierung der Standardlösung oder des

Peaks des internen Standards von den Normalwerten waren Hinweise auf Störungen oder Veränderungen der Gerätefunktion.

Um eine genaue Quantifizierung betreiben zu können und sicherzustellen, dass die gefundenen Substanzen wirklich aus dem untersuchten Material emittieren, wurde vor der Kammerbeladung eine Blindwertbestimmung an der leeren Kammer vorgenommen (siehe Abbildung 4). Dieser Blindwert beinhaltet aber nicht nur eventuelle Verunreinigungen der Prüfkammer, sondern insbesondere Verunreinigungen des Tenaxrohres und des GC - MS - Gerätes. Typische Substanzen, die auch vom Tenaxrohr stammen können, sind z.B. Benzaldehyd, Acetophenon, Hexamethylcyclotrisiloxan und Oktamethylcyclotetrasiloxan (Verwendung von silanisierter Glaswolle als Stopfen für Tenax oder im Liner des Injektors). Die Tenaxrohre wurden deshalb vor der Probenahme nicht länger als 72 h gelagert, ansonsten erfolgte zur Reinigung ein erneutes Ausheizen für 15 min bei 280 °C im Stickstoffstrom.

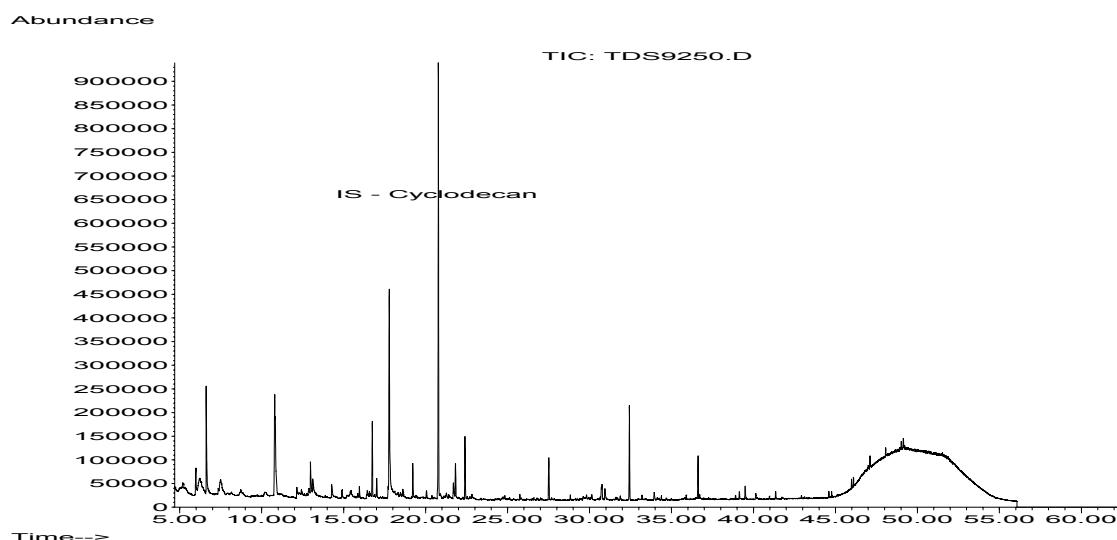


Abbildung 4: Chromatogramm einer Probenahme an einer leeren Kammer (Probenahmevolumen 2 L, interner Standard Cyclodekan mit 20 ng)

Zur Qualitätssicherung des Gesamtverfahrens (Prüfkammerbetrieb, Probenahme, Analyse mittels TDS / GC - MS) wurde außerdem regelmäßig an Rundversuchen teilgenommen bzw. wurden diese selbst organisiert.

Nachweis- (NG) und Bestimmungsgrenze (BG) für die Druck- und Nachlaufphase

Die Nachweis- und Bestimmungsgrenze sind insbesondere abhängig vom Probenahmevolumen. Bei einer Probenahme an einer 1 m<sup>3</sup>- Kammer bei einem Luftwechsel von 4 pro Stunde beträgt das Probenahmevolumen 2,7 l bzw. 5,4 l (bei 12 min Druckzeit und 15 min für einen Luftwechsel in der Nachlaufphase; Volumenstrom 100 bzw. 200 ml/min).

Im Allgemeinen kann 1 ng eines VOC mittels GC / MS im scan modus sicher nachgewiesen werden. Für die Emissionsraten resultieren daraus die in Tabelle 5 dargestellten Nachweis- und Bestimmungsgrenzen für ein Einzel - VOC.

Tabelle 5: Nachweis- und Bestimmungsgrenze der Einzel - VOC - Bestimmung

| Prüf-<br>kammer               | SER <sub>VOC</sub>           | VOC - Emissionsrate [mg / h] |             |
|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------|
|                               |                              | NG [mg / h]                  | BG [mg / h] |
| 1 m <sup>3</sup> -<br>Kammer  | SER <sub>DN</sub> RAL-UZ 122 | 0,002                        | 0,006       |
|                               | SER <sub>DN</sub> RAL-UZ 114 | 0,002                        | 0,006       |
| 20 m <sup>3</sup> -<br>Kammer | SER <sub>DN</sub> RAL-UZ 122 | 0,025                        | 0,075       |
|                               | SER <sub>DN</sub> RAL-UZ 114 | 0,013                        | 0,039       |

### **3 Vorgehensweise**

#### **3.1 Geräte und Verbrauchsmaterial**

Für die Untersuchungen wurden 8 Geräte von 6 verschiedenen Herstellern durch die BAM angeschafft, zusätzlich wurden von vier Herstellern weitere Geräte bereitgestellt. Insgesamt wurden damit Geräte von 8 Herstellern untersucht.

Es wurde für alle Untersuchungen Originaltoner verwendet, teilweise aus unterschiedlichen Chargen.

Als Papier wurde Desk-Top X'tensa (Hersteller: IGEPA, Vertrieb: Roy Schulz GmbH) eingesetzt.

#### **3.2 Durchgeführte Untersuchungen**

Alle Geräte wurden auf ihre VOC-, Staub- und Ozonemission untersucht. Die meisten Geräte wurden mehrfach, z. T. unter verschiedenen Bedingungen, geprüft. Für eine Reihe von Geräten wurden zusätzlich Partikelmessungen durchgeführt.

##### **3.2.1 Vorgehensweise für die Prüfung**

###### **3.2.1.1 Kammercharakterisierung und Blindwertmessung vor jeder Prüfung**

- Bestimmung der Kammerblindwerte für VOC, Staub und Ozon
- Einstellung und Bestimmung der Luftaustauschrate der Kammer nach DIN EN 717-1 (2005) in unbeladenem Zustand
- Bestimmung der Ozonhalbwertszeit als Qualitätskriterium der unbeladenen Kammer bei einem Luftwechsel von 1/h.

###### **3.2.1.2 Vorbereitung der zu untersuchenden Hardcopygeräte**

- Allgemeine Kontrolle der Funktionsfähigkeit der Hardcopygeräte nach Anlieferung
- Durchführung von Probedrucken
- Bestimmung der maximalen Druckdauer (schwarz-weiß und farbig)
- Bestimmung von Helligkeit und Farbwerten ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) eines Ausdruckes

- Kontrolle der geordneten Papierablage, (u. U. Einsatz eines zusätzlichen Auffangbehälters aus inertem Material, dabei waren die Aufnahmekapazitäten der Papierkassetten und Papierausgabefächer zu berücksichtigen)

### **3.2.1.3 Konditionierungs- und Bereitschaftsphase (RAL-UZ 122)**

Die Konditionierungsphase begann am Vortag der Emissionsmessung mit der Prüfkammerbeladung. Die am nächsten Tag gestartete Bereitschaftsphase dauerte eine Stunde. Die Konditionierungsphase wurde definiert als „Netzschalter eingeschaltet, aber Netzstecker nicht an die Stromversorgung angeschlossen“, um in der sich anschließenden Bereitschaftsphase durch einfaches Stecken des Netzsteckers das zu untersuchende Hardcopygerät von außen, ohne die Kammer zu öffnen, in Betrieb nehmen zu können.

Zu Beginn der Bereitschaftsphase wurde das zu untersuchende Hardcopygerät durch Stecken des Netzsteckers an die Stromversorgung angeschlossen. Die Werkseinstellungen des Hardcopygerätes wurden für die Bereitschaftsphase nicht verändert.

Die Klimaaufzeichnung begann mit der Beladung der Kammer und wurde bis zum Ende der Nachlaufphase kontinuierlich fortgesetzt. Die Luftaustauschrate wurde in allen Kammern während der Konditionierungs - und Bereitschaftsphase auf  $n = 1 \text{ h}^{-1}$  eingestellt.

In den letzten 20 Minuten der Bereitschaftsphase wurden die VOC-Probenahmen mit Tenax durchgeführt. Parallel dazu erfolgte eine Probenahme für VVOCs und Benzol mittels Carbotrap.

### **3.2.1.4 Druck- und Nachlaufphase (RAL-UZ 122)**

Die Druckphase dauerte mindestens 10 Minuten. Die sich unmittelbar anschließende Nachlaufphase diente der weitgehenden Erfassung der emittierten Stoffe auch über den eigentlichen Druckvorgang hinaus.

Die Nachlaufphasenzeit betrug vier Luftwechsel. Für die  $20 \text{ m}^3$ - Kammer dauerte die Nachlaufphase ca. vier und in den  $1 \text{ m}^3$  - Kammern ca. eine Stunde.

Die VOC-Probenahmen mit Tenax wurden bei Druckbeginn gestartet und nach einem Luftwechsel der Nachlaufphase gestoppt. Parallel dazu erfolgte eine Probenahme für VVOCs und Benzol mittels Carbotrap.

Die Ozonbestimmung erfolgte ebenfalls mit Beginn des Druckjobs und wurde bis zur Beendigung der Nachlaufphase fortgeführt. Die für die Berechnung der Ozonemissionsrate benötigte Ozonhalbwertszeit wurde bei ausreichend hohen Konzentrationen aus der Abklingkurve in der Nachlaufphase bestimmt. Bei geringer Ozonemission wurde die kürzeste jemals bei einer Prüfung in der entsprechenden Kammer ermittelte Halbwertszeit zur Berechnung der Ozonemissionsrate verwendet.

Die Staubmessung erfolgte auch mit Beginn des Druckjobs und wurde ebenfalls bis zur Beendigung der Nachlaufphase fortgeführt.

#### **3.2.1.5 Abschließende Arbeiten**

- Geräte- und Papierentnahme
- Kammerreinigung
- Vorbereitung der nächsten Prüfung
- Auswertung der Versuchsergebnisse

## **4 Ergebnisse der Emissionsmessungen**

### **4.1 Allgemeines**

Die Voruntersuchungen dienten einer systematischen Auswertung der Ergebnisse bisher durchgeführter Emissionsmessungen nach RAL-UZ 62, 85 und 114.

Die Hauptuntersuchungen dienten der Weiterentwicklung des bestehenden Prüfverfahrens, insbesondere sollten daraus die Anforderungen an Farbdrucker abgeleitet werden.

### **4.2 Voruntersuchungen**

Die bis zum Beginn des Vorhabens vorliegenden Ergebnisse von Prüfungen wurden systematisch nach den Prüfparametern TVOC, Benzol, Styrol, Ozon und Staub sowie den am häufigsten auftretenden VOC ausgewertet. Dabei erfolgte eine Auftrennung in Bereitschaftsphase und Druckphase sowie Stand- und Tischgeräte.

57 unterschiedliche Geräte von 8 verschiedenen Herstellern wurden untersucht. Es handelte sich sowohl um Drucker, als auch um Kopierer und Multifunktionsgeräte. Die durchwegs von den Herstellern zur Verfügung gestellten Geräte stammten entweder aus der laufenden Serienproduktion oder es waren Prototypen.

30 der untersuchten Geräte waren so genannte Tischgeräte, fünf Farb-Tintenstrahl- und 25 elektrofotografische (überwiegend Monochrom-, 4 Farb-) Geräte. Die Tischgeräte wurden alle in einer 1 m<sup>3</sup>-Kammer untersucht. Die so genannten Standgeräte (27 an der Zahl - alle elektrofotografisch, 23 monochrom, 4 Farbe) kamen aufgrund ihrer Größe in einer 20 m<sup>3</sup>-Kammer zur Untersuchung.

#### **4.2.1 VOC**

In Abbildung 5 sind die TVOC-Emissionsraten für die 30 untersuchten Tischgeräte dargestellt. Aus der oberen Grafik sind die Ergebnisse der Messungen in der Bereitschaftsphase ersichtlich, aus der unteren die der Druckphase. Zwischen den einzelnen Geräten lassen sich große Unterschiede feststellen. Die TVOC-Emissionsraten der Druckphase liegen stets höher als die der Bereitschaftsphase.

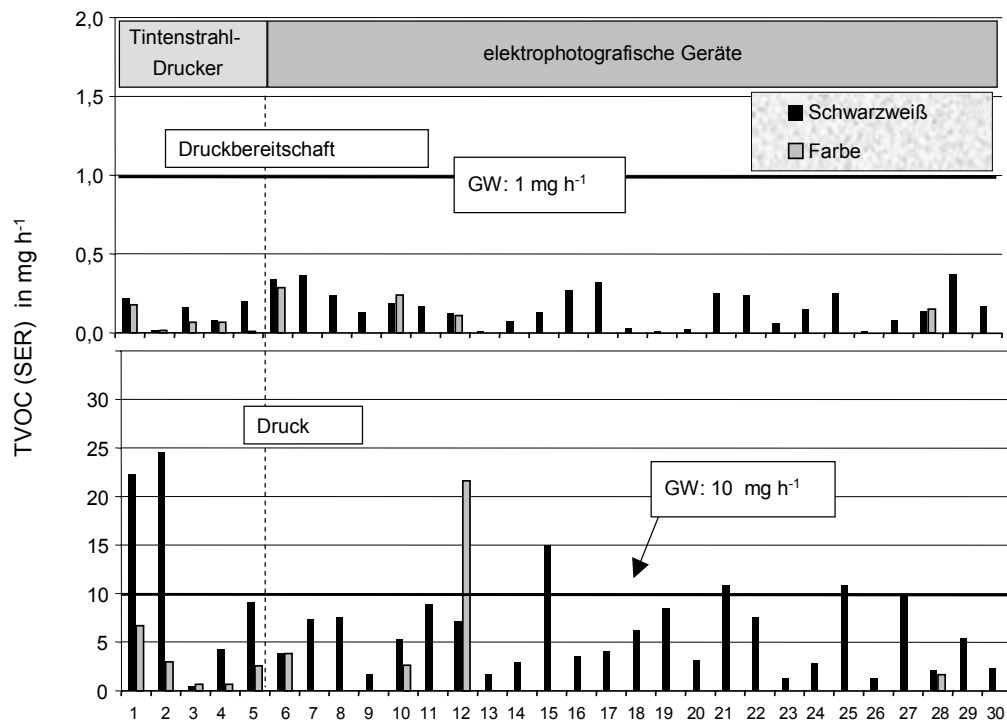


Abbildung 5: TVOC-Emissionsraten für 30 unterschiedliche Tischgeräte,  
oben im Bild: Gerät in Druckbereitschaft  
unten im Bild: Gerät im Druck

Ein ähnliches Bild ergibt sich für die in Abbildung 6 dargestellten TVOC-Emissionsraten für die größeren Standgeräte, wobei festzustellen ist, dass die Emissionsraten sowohl für die Bereitschafts- als auch für die Druckphase deutlich höher sind als für die Tischgeräte.

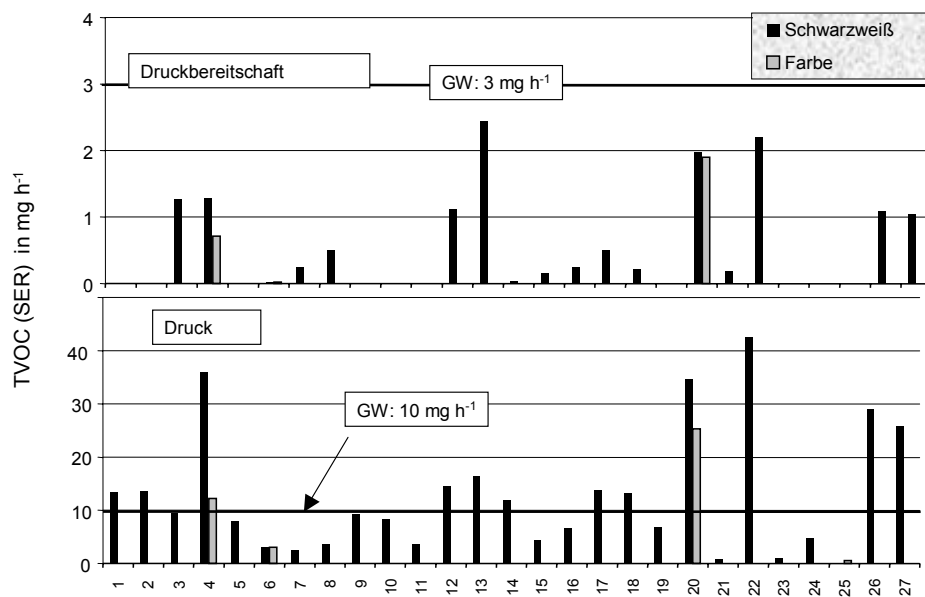


Abbildung 6: TVOC-Emissionsraten für 30 unterschiedliche Standgeräte,  
oben im Bild: Gerät in Druckbereitschaft  
unten im Bild: Gerät im Druck

Die höheren TVOC-Emissionen der Standgeräte in der Druckbereitschaft lassen sich durch die größere Gerätemasse und spezifische Oberfläche der Geräte erklären. Dass die Gerätematerialien VOC-Emissionen zeigen ist nachvollziehbar, wenn man berücksichtigt, dass auch andere Materialien und Produkte, die in Innenräumen angewendet werden, wie z.B. Bodenbeläge, Dämmstoffe, Dichtmassen, Farben, Klebstoffe, Lacke, Möbel, Reinigungsmittel und auch elektronische Geräte fast immer VOC-Emissionen aufweisen.

Für die TVOC-Emissionsraten während des Druckprozesses bei Standgeräten ist darüber hinaus zu berücksichtigen, dass bei Geräten, die höhere Bereitschaftsemissionen haben, durch die Berechnung nach Formel 11 größere Emissionsraten ermittelt werden als dies tatsächlich der Fall ist. Dies ist durch die Messung über den Druckprozess und eine relativ lange Nachlaufphase bei Standgeräten (4 Stunden, vgl. Untersuchungsablauf) verursacht. Dieser Sachverhalt findet in einer neuen Be-

rechnungsformel (Formel 12, Abschnitt 2.5) in der Vergabegrundlage für das neue Umweltzeichen RAL-UZ 122 Berücksichtigung.

Da der TVOC-Wert zwar einen interessanten Vergleich der Geräte hinsichtlich ihrer summarischen VOC-Emissionen zulässt, aber nur eine sehr beschränkte Aussage für mögliche gesundheitliche Auswirkungen hat, ist es sinnvoll, die einzelnen VOC, die von den Geräten abgegeben werden, näher zu betrachten. Bei den hier dargestellten Untersuchungen wurden 59 unterschiedliche flüchtige organische Verbindungen eindeutig identifiziert und individuell quantifiziert. Einige von ihnen wie z.B. Iso-Propanol sind den VVOC (Very Volatile Organic Compounds) zuzuordnen.

Die häufigsten mit höheren Konzentrationen festgestellten VOC sind in Abbildung 7 für die Druckbereitschaft der Geräte und in Abbildung 8 für den Druckprozess dargestellt. Auf der linken Ordinate finden sich die für die einzelnen VOC ermittelten Emissionsraten (in  $\text{mg h}^{-1}$ ), auf der rechten Ordinate die für einen Modellraum errechneten resultierenden durchschnittlichen Raumlufkonzentrationen. Für den Modellraum wurde in Anlehnung an ISO 16000-9 ein Volumen von  $17,4 \text{ m}^3$  und eine Luftaustauschrate von  $0,5 \text{ h}^{-1}$  zugrunde gelegt.

Die Umrechnung von Emissionsraten auf Raumlufkonzentrationen erfolgte nach Formel 13, wobei unterschiedliche Nutzungsfaktoren für die Druckbereitschaft (100 %:  $F=1$ ) und den Druckbetrieb (10 %:  $F = 0,1$ ) angenommen wurden.

$$C_R = SER * n_R^{-1} * V_R^{-1} * F * 1000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \quad \text{Formel 13}$$

$C_R$ : Konzentration im Modellraum [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

$SER$ : Spezifische Emissionsrate

$n_R$ : Luftaustauschrate im Modellraum [ $\text{h}^{-1}$ ]

$V_R$ : Volumen des Modellraumes [ $\text{m}^3$ ]

$F$ : Nutzungsfaktor

$F=1$  für Druckbereitschaft (angenommene Druckbereitschaft über den ganzen Tag)

$F=0.1$  für Druckbetrieb (angenommen, dass Druck über maximal 10 % des Arbeitstages erfolgt)

Für jede Substanz-Spalte sind links die Ergebnisse für die Tischgeräte, die in der  $1 \text{ m}^3$ -Kammer untersucht wurden, dargestellt und auf der rechten Seite die der Standgeräte, gemessen in der  $20 \text{ m}^3$ -Kammer.

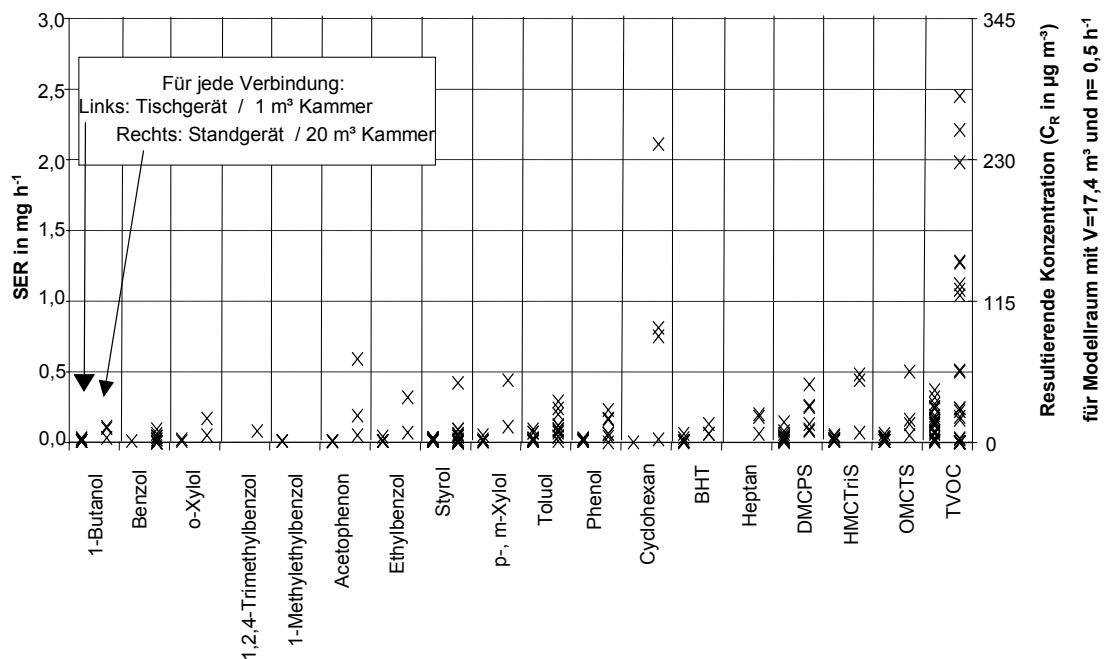


Abbildung 7: Haupt-VOC in der Druckbereitschaft

(BHT: Butylhydroxytoluol, DMCPS: Decamethylcyclopentasiloxan (D5),  
 HMCTriS: Hexamethylcyclotrisiloxan (D3),  
 OMCTS: Octamethylcyclotetrasiloxan (D4))

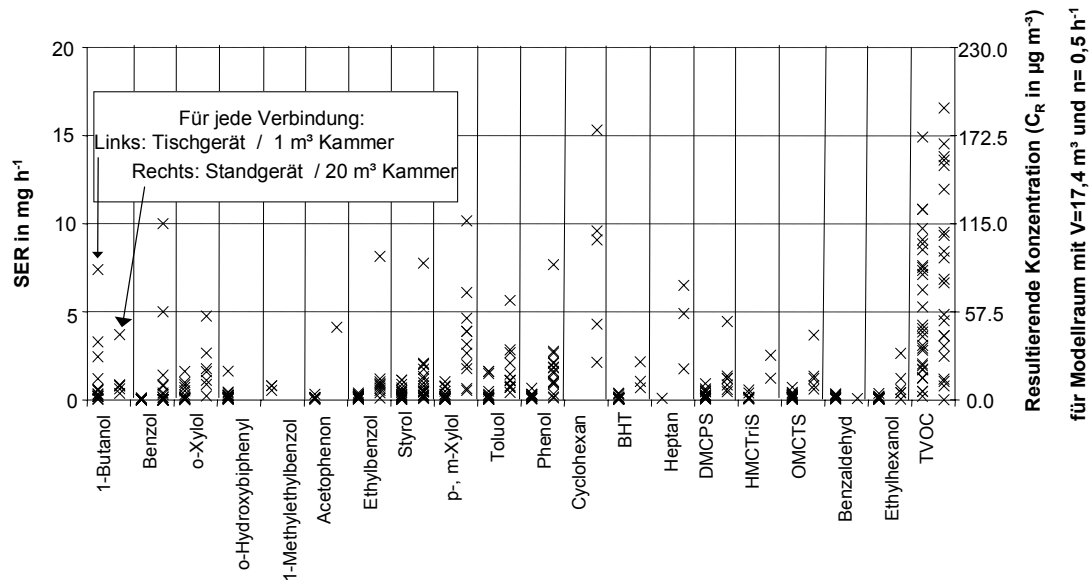


Abbildung 8: Haupt-VOC aus der Druckphase

(BHT: Butylhydroxytoluol, DMCPS: Decamethylcyclopentasiloxan (D5),  
 HMCTriS: Hexamethylcyclotrisiloxan (D3),  
 OMCTS: Octamethylcyclotetrasiloxan (D4))

Auffallend ist hierbei zunächst, dass qualitativ nur relativ geringe Unterschiede zwischen der VOC-Emission in der Druckbereitschaft (Abbildung 7) und dem Druckprozess (Abbildung 8) bestehen. Die aus dem Druckprozess festgestellten VOC finden sich (in geringerer Quantität) fast immer auch aus der Druckbereitschaft, was darauf hinweist, dass VOC-Emissionen zwar auch aus dem Toner und dem Papier herrühren, zu einem wesentlichen Anteil aber aus den Gerätematerialien stammen, die teilweise auch hohe Temperaturen aufweisen können (lokal max. 180 °C im Fixierbereich). Die beim Druckprozess zusätzlich in nennenswerten Konzentrationen auftretenden VOC sind o-Hydroxybiphenyl (Hauptquelle Papier), sowie Benzaldehyd und Ethylhexanol.

Hinsichtlich der für die Raumluft resultierenden Konzentrationen (rechte Ordinate) lässt sich festhalten, dass für die meisten VOC bei der überwiegenden Zahl der Geräte in der Druckbereitschaft (Abbildung 7) nur geringe Konzentrationen ( $< 50 \mu\text{g/m}^3$ )

zu erwarten sind. Nur in einigen Fällen lassen sich für TVOC und vereinzelt Cyclohexan Konzentrationen bis zu einigen  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  berechnen, insbesondere für größere Geräte. Hierbei ist aber wiederum zu berücksichtigen, dass diese großen Geräte überwiegend entweder in größeren Räumen genutzt werden oder in Räumen, in denen sich üblicherweise Personen nicht über längere Zeiträume aufhalten.

Für den Druckprozess lassen sich vergleichbare Schlussfolgerungen ziehen. Die hier zu erwartenden Raumlufkonzentrationen liegen überwiegend deutlich unterhalb von  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , lediglich für einige größere Geräte sind höhere Werte speziell für Cyclohexan und TVOC festzustellen.

Auffallend sind bei den aufgeführten Verbindungen, neben den länger bekannten und als „typisch“ für Drucker und Kopierer anzusehenden VOC wie Styrol, Xylolen, Ethylbenzol und C3-Benzolen, die häufig auftretenden Siloxane (HMCTriS (D3), OMCTS (D4), DMCPs (D5)).

Besonders kritisch in gesundheitlicher Hinsicht sind die in einigen wenigen Fällen festgestellten signifikanten Benzolemissionen.

Zusätzlich zu den bisher genannten Verbindungen sind weitere, die seltener und/oder nur in geringen Konzentrationen auftreten, zu nennen:

1,2-Propandiol, Hexanal, Isopropylalkohol, 1-Propanol 2,2-dimethyl, Nonanal, Tri- und Tetradecan, Isothiocyanocyclohexan und Pentamethylheptan.

Als häufig auftretende Aldehyde, die mittels HPLC/DNPH-Methode nach ISO 16000-3 (ISO 2001) bestimmt wurden, sind Formaldehyd und Acetaldehyd zu nennen. Hierzu dürfte das verwendete Papier wesentlich beitragen.

#### 4.2.2 Ozon

Bei den meisten Tischgeräten war keine Ozonemission festzustellen (Abbildung 9, obere Grafik). Bei den Standgeräten traten teilweise erhebliche Ozonemissionen auf (Abbildung 9, untere Grafik).

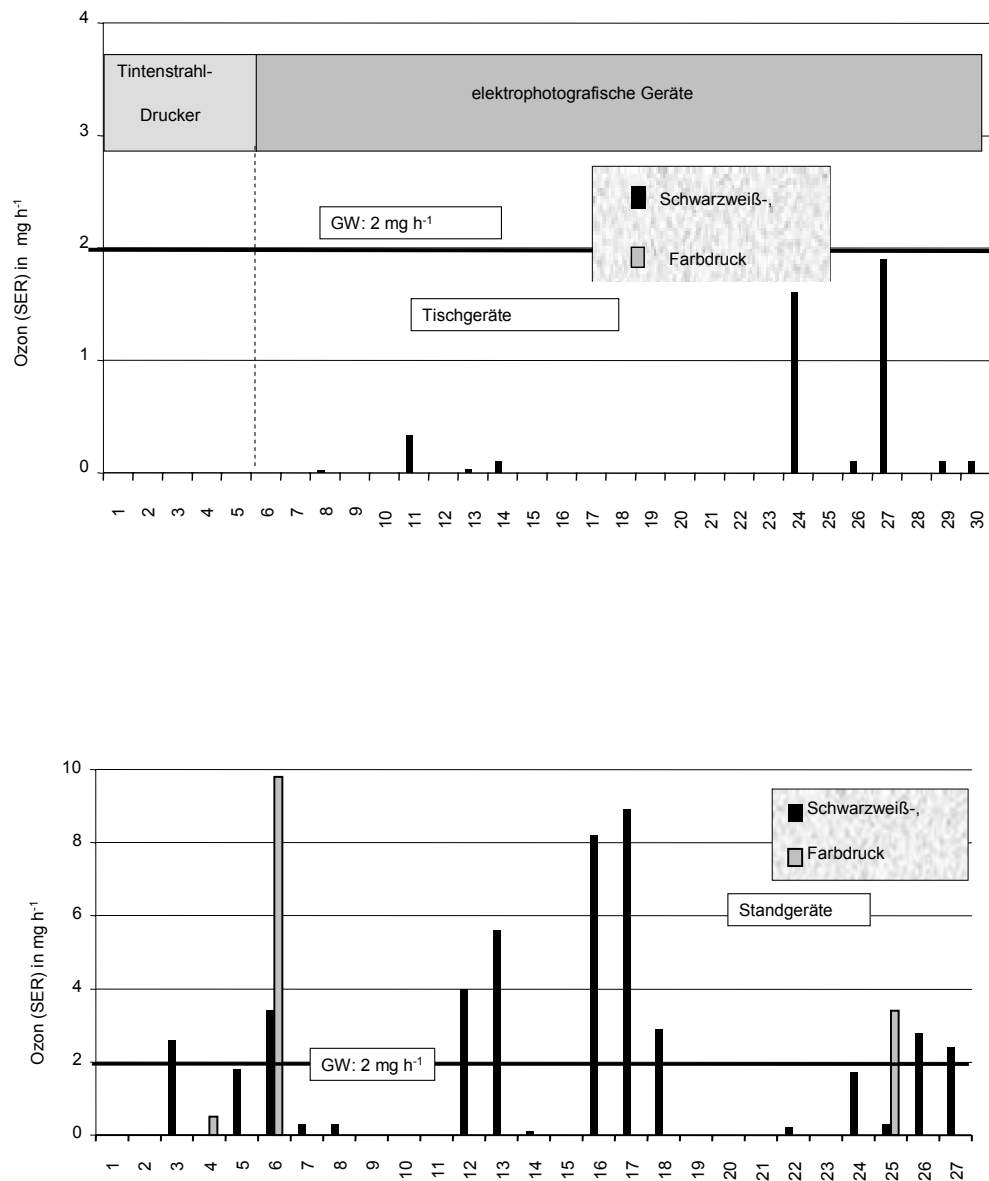


Abbildung 9: Ozon-Emissionsraten

oben im Bild: für 30 unterschiedliche **Tischgeräte**unten im Bild: für 27 unterschiedliche **Standgeräte**

### 3.3 Staub

Die mittels gravimetrischem Verfahren ermittelten Staubemissionen waren überwiegend sehr gering, sowohl für Tischgeräte (Abbildung 10, obere Grafik) als auch für Standgeräte (Abbildung 10, untere Grafik).

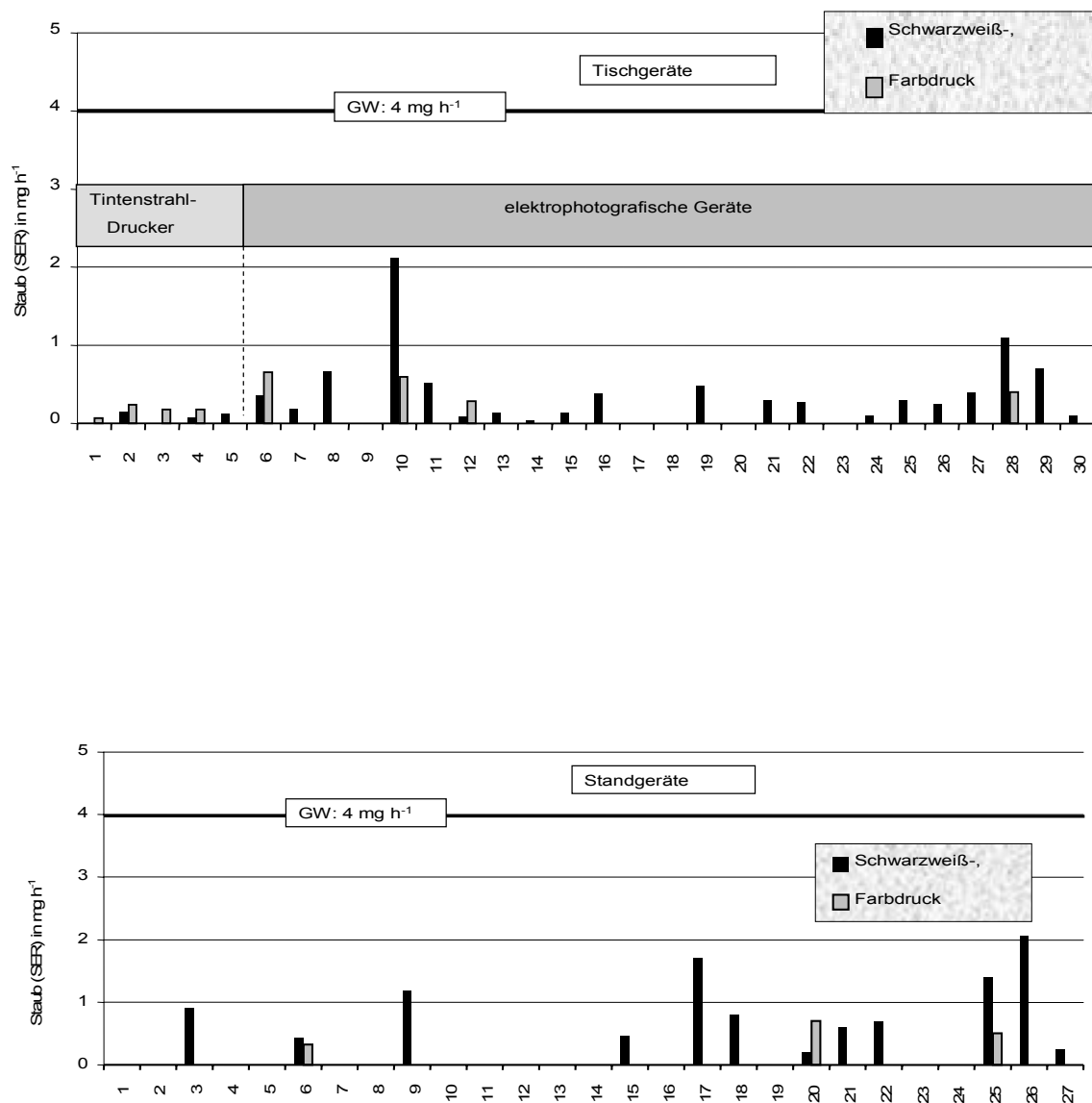


Abbildung 10: Staub-Emissionsraten

oben im Bild: für 30 unterschiedliche **Tischgeräte**

unten im Bild: für 27 unterschiedliche **Standgeräte**

## 4.3 Hauptuntersuchungen

### 4.3.1 Untersuchungen zu Emissionen beim Farbdruck

Um eine Übersicht über die Art und Menge der Emissionen beim Farbdruck zu bekommen, wurde eine Reihe von Geräten unterschiedlicher Hersteller im monochromen und im Farbdruck untersucht. Die Emissionsmessungen wurden hierbei nach RAL-UZ 114 durchgeführt. Dabei kam eine Druckvorlage mit 5% Bedeckung für die Tonerfarben schwarz, magenta, gelb und cyan zum Einsatz (siehe Anhang).

Die Ergebnisse für die TVOC-Emissionen sind in

Abbildung 11 dargestellt. Es zeigte sich, dass es sehr unterschiedliche TVOC-Emissionsraten für den Farbdruck im Vergleich zum monochromen Druck gibt. Die Spanne reichte dabei von einer Verhundertfachung der Emissionsrate bis hin zu einer Verringerung der Emissionsrate.

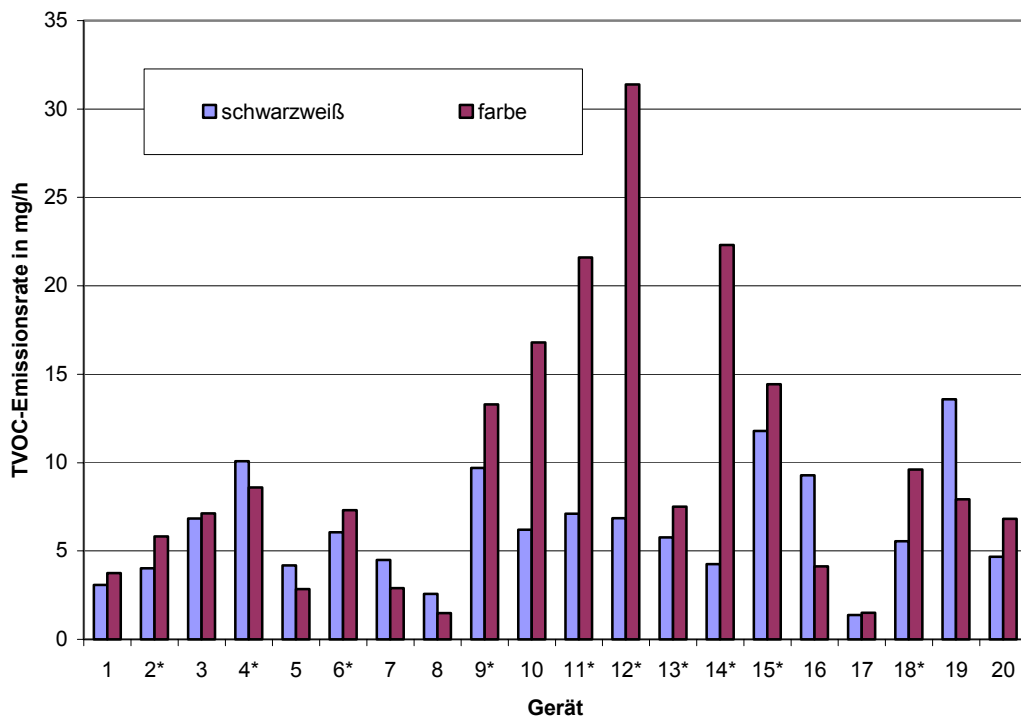
Da der Beitrag des schwarzen Toners eigentlich für beide Druckmodi gleich sein sollte, lässt sich eine Verringerung nur durch das Zusammenmischen des schwarzen Farbtones aus den drei Farbtönen erklären. Dies konnte durch optische Untersuchungen und Tonerverbrauchsmessungen bestätigt werden.

Obwohl der Bedeckungsgrad beim Farbdruck mit insgesamt 20% vierfach höher ist, zeigen sich teilweise nur geringe Unterschiede der TVOC-Emissionsrate, was für einen sehr geringen VOC-Eintrag aus manchen Farbtönen spricht.

Dagegen gibt es allerdings auch Geräte, die eine proportionale Zunahme mit dem Bedeckungsgrad für den Farbdruck zeigen.

Abbildung 12 zeigt die Ozonemissionsraten der untersuchten Geräte. Bei vier der 20 Geräte wurde eine Ozonemissionsrate von 0,5 mg/h oder darüber bestimmt. Die höchsten Emissionen wurden dabei beim Farbdruck festgestellt.

In Abbildung 13 sind die Staubemissionsraten dargestellt. Die Werte liegen alle deutlich unter dem Grenzwert für den Blauen Engel, der bei 4 mg/h liegt. Neun der 20 Geräte zeigten eine Staubemission von 0,4 mg/h oder darunter, teilweise konnte kein Staub nachgewiesen werden.



\* gleiche Druckgeschwindigkeit beim Farb- und Monochromdruck

Abbildung 11: Emissionsraten von Farbdruckern (TVOC)

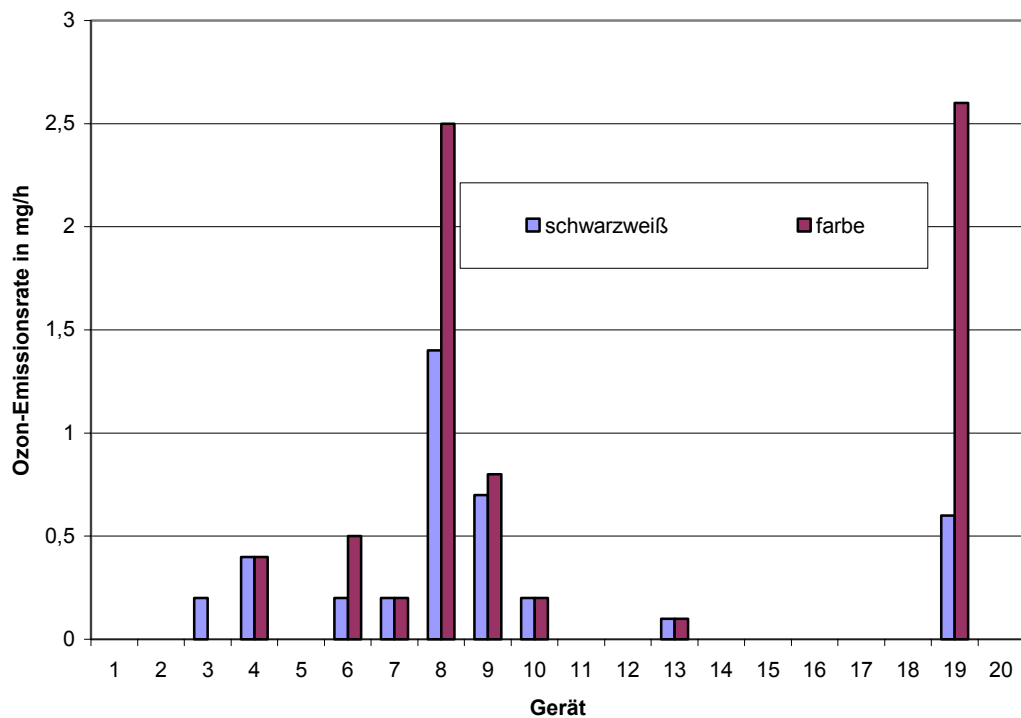


Abbildung 12: Emissionsraten von Farbdruckern (Ozon)

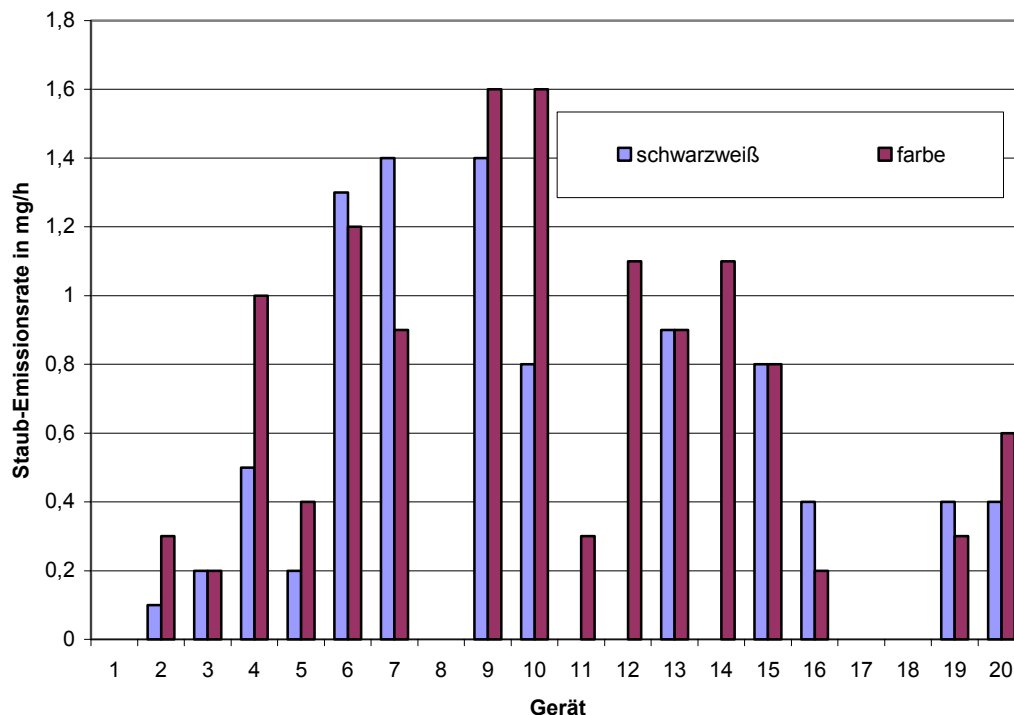


Abbildung 13: Emissionsraten von Farbdruckern (Staub)

#### 4.3.2 Untersuchungen zur Alterung der Prüfobjekte

Die Untersuchungen zur Alterung erfolgten zum einen an einem Gerät, welches nach jeder Prüfung wieder in die Originalverpackung eingepackt wurde und zum anderen an zwei Geräten, die nach der ersten Prüfung dem täglichen Gebrauch ausgesetzt waren.

In der Abbildung 14 ist zusätzlich ein Vergleich zwischen der TVOC-Emissionsrate nach UZ 114 (alt) und UZ 122 (neu) dargestellt. Die Abnahme der Emissionsrate der Druckphase ist für die Berechnung nach UZ 114 deutlich größer als für die Berechnung nach UZ 122. Hierfür ist die Abnahme der Emissionsrate in der Bereitschaftsphase verantwortlich. Da für die Berechnung der TVOC-Emissionsrate nach UZ 122 die Emissionsrate der Bereitschaftsphase abgezogen wird, zeigt die Emissionsrate der Druckphase ein deutlich stabileres Niveau. Die Abnahme beträgt ca. 25 % über 13 Monate während die nach UZ 114 berechnete TVOC-Emissionsrate im selben Zeitraum um mehr als 50% absinkt.

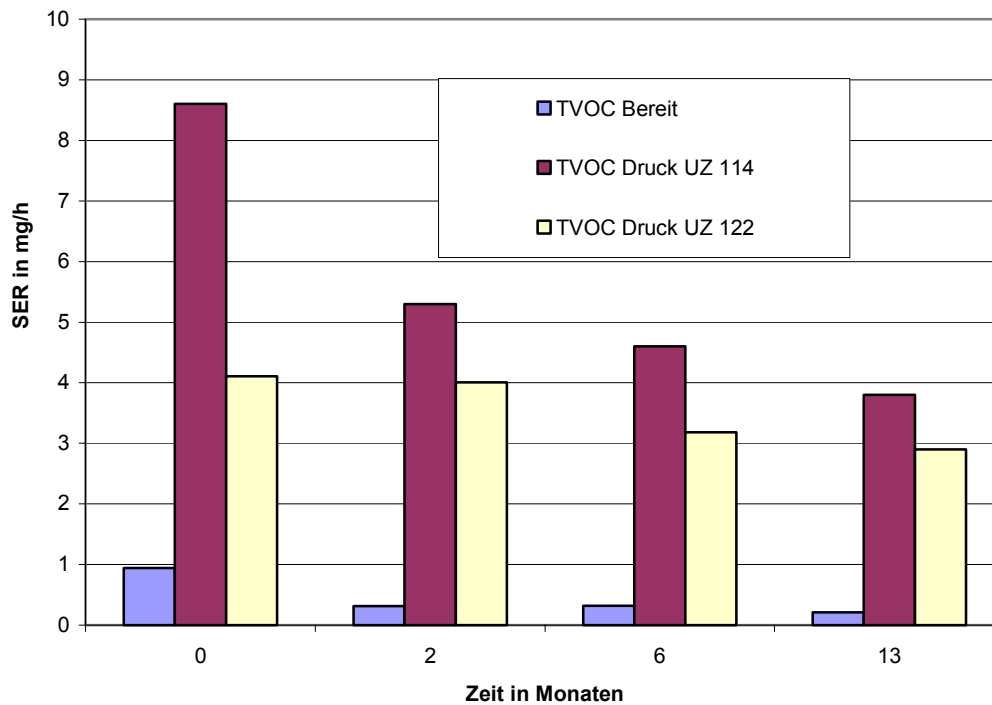


Abbildung 14: Alterung eines Druckers

Während das verpackte Gerät nur eine geringe Alterung innerhalb von 2 Monaten zeigt (Abbildung 14, TVOC Druck UZ 122), verminderten sich die VOC-Emissionen bei Geräten im täglichen Gebrauch über 2 Monate deutlich. Diese Alterungen sind in Abbildung 15 und Abbildung 16 dargestellt.

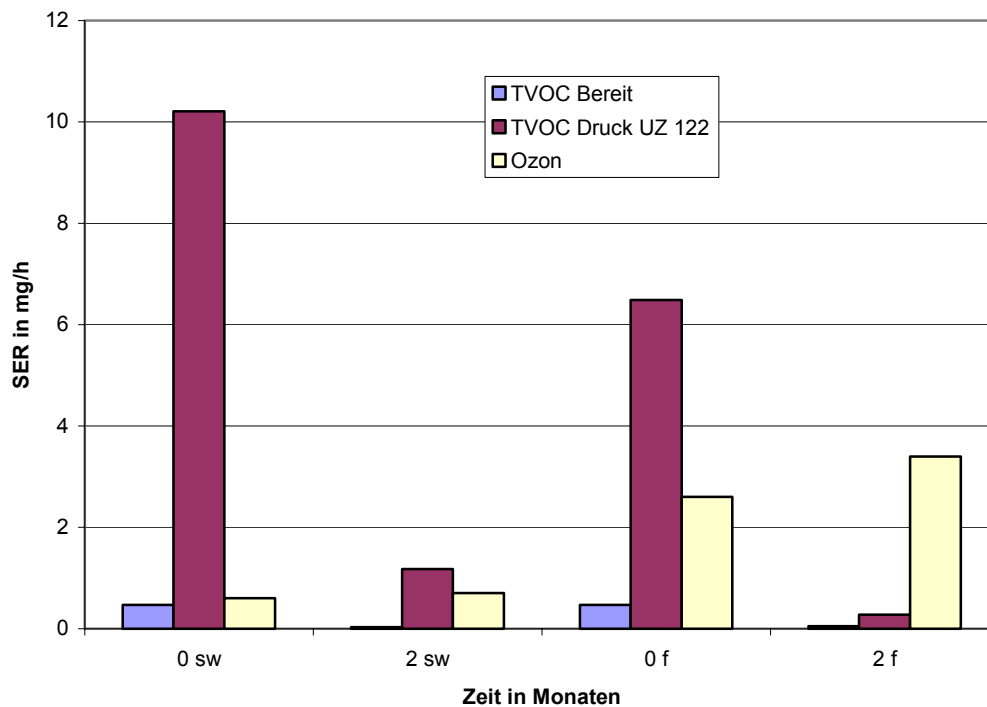


Abbildung 15: Alterung eines Druckers im täglichen Gebrauch für monochromen (sw) und farbigen Druck (f)

Obwohl die TVOC-Emissionsrate in Abbildung 15 nach RAL-UZ 122 berechnet worden ist, also der Einfluss der Bereitschaftsphase minimiert ist, zeigt sich sowohl im monochromen Druck (sw) wie auch im Farbdruk (f) eine sehr starke Reduzierung der VOC-Emission um fast 90%.

Dagegen wirkt sich die Alterung des Gerätes auf die Ozonemission kaum aus.

Eine Abnahme um ca. 50% der VOC-Emissionen zeigt Abbildung 16 für ein weiteres Gerät im täglichen Gebrauch.

Die stärkere Abnahme der VOC-Emissionen durch den täglichen Gebrauch ist auf die Alterung insbesondere der Bauteile zurückzuführen, die beim Druckprozess erwärmt werden, da die Tonerkartuschen nicht ausgewechselt wurden und die Abnahme der TVOC-Werte in der Bereitschaftsphase schon berücksichtigt ist.

Zum Verlauf der TVOC-Emission in der Bereitschaftsphase siehe Abbildung 27.

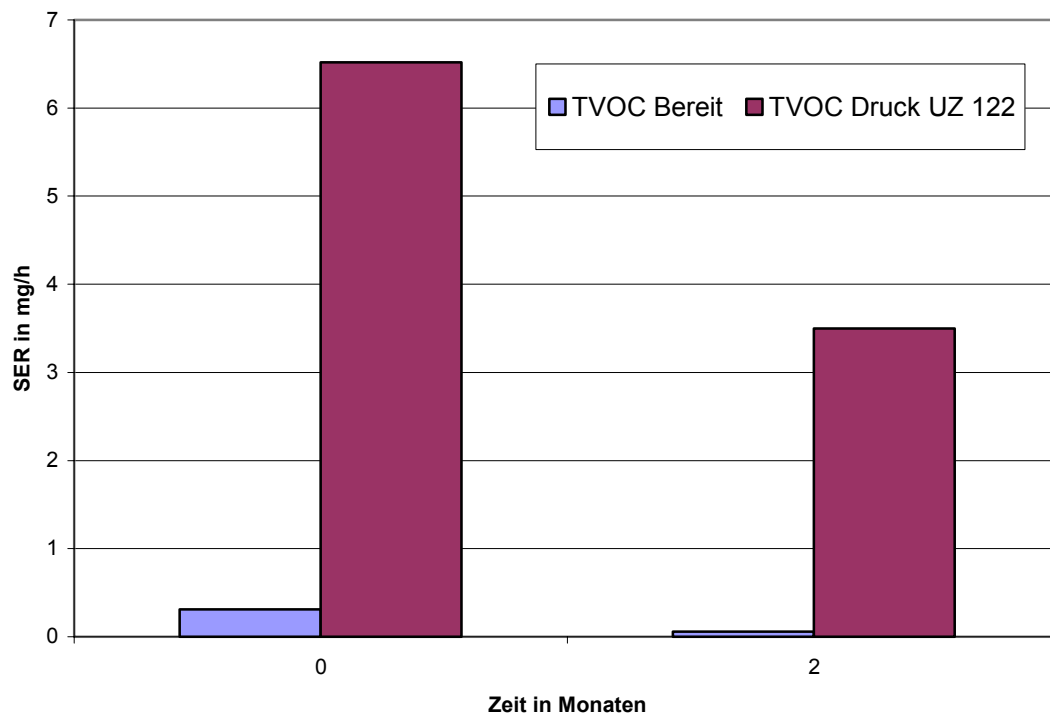


Abbildung 16: Alterung eines Druckers im täglichen Gebrauch (2)

### 4.3.3 Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit der Messungen

Hierbei wurde der Fragestellung nachgegangen, inwieweit die Messergebnisse von baugleichen Geräten übereinstimmen. Dazu wurden drei Messreihen an jeweils drei Geräten von zwei Herstellern durchgeführt.

Die Messergebnisse der ersten Messreihe (Abbildung 17) zeigten eine Standardabweichung von 14 % bzgl. TVOC und 16 % bzgl. Ozon.

Die Messergebnisse der zweiten Messreihe (Abbildung 18) zeigten eine Standardabweichung von 39 % bzgl. TVOC (monochromer Druck) und 44 % bzgl. TVOC (Farbdruck).

Die Messergebnisse der dritten Messreihe (Abbildung 19) zeigten eine Standardabweichung von 7 % bzgl. TVOC und 9 % bzgl. Ozon. Hierbei wurden im Gegensatz zur ersten und zweiten Messreihe Tonerkartuschen aus einer Charge verwendet.

In Abbildung 20 sind zusätzlich die Messergebnisse der dritten Messreihe für Benzol, Styrol und Staub dargestellt. Während für Benzol und Styrol eine gute Übereinstimmung gefunden wurde, liegt die Standardabweichung für Staub bei 45 %.

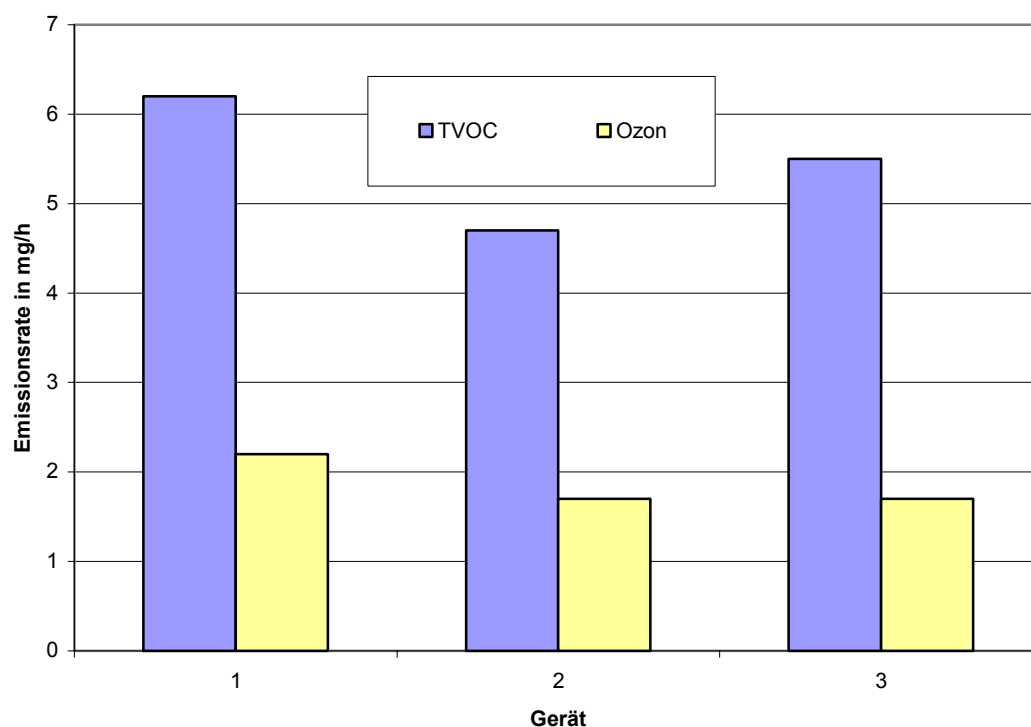


Abbildung 17: Ergebnisse der Prüfung von baugleichen Geräten (Geräte neu, Toner aus unterschiedlichen Chargen)

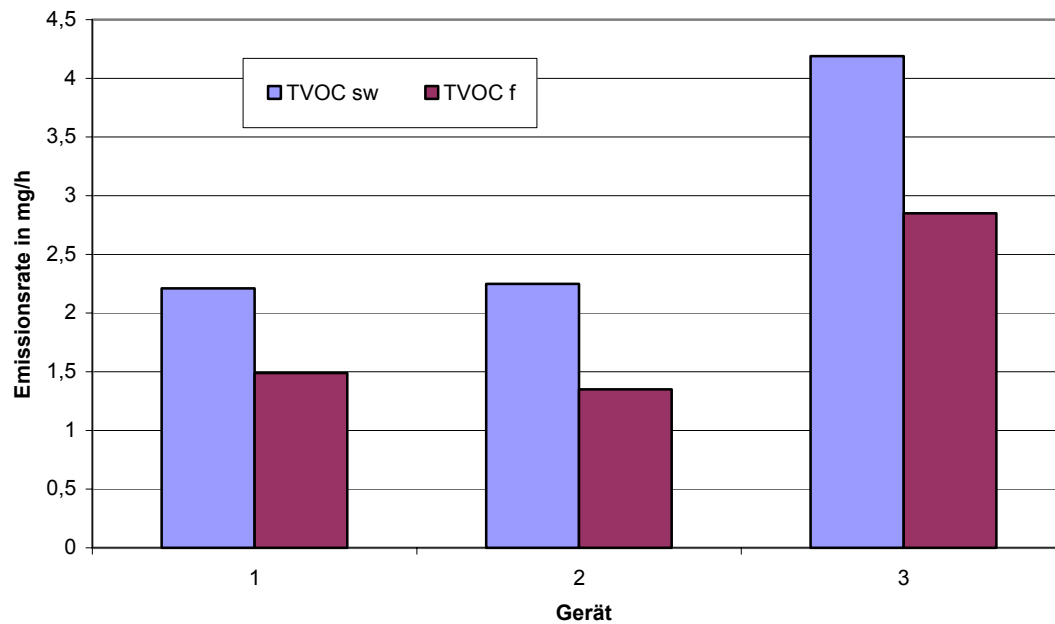


Abbildung 18: Ergebnisse der Prüfung von baugleichen Geräten (Geräte neu, Toner aus unterschiedlichen Chargen)

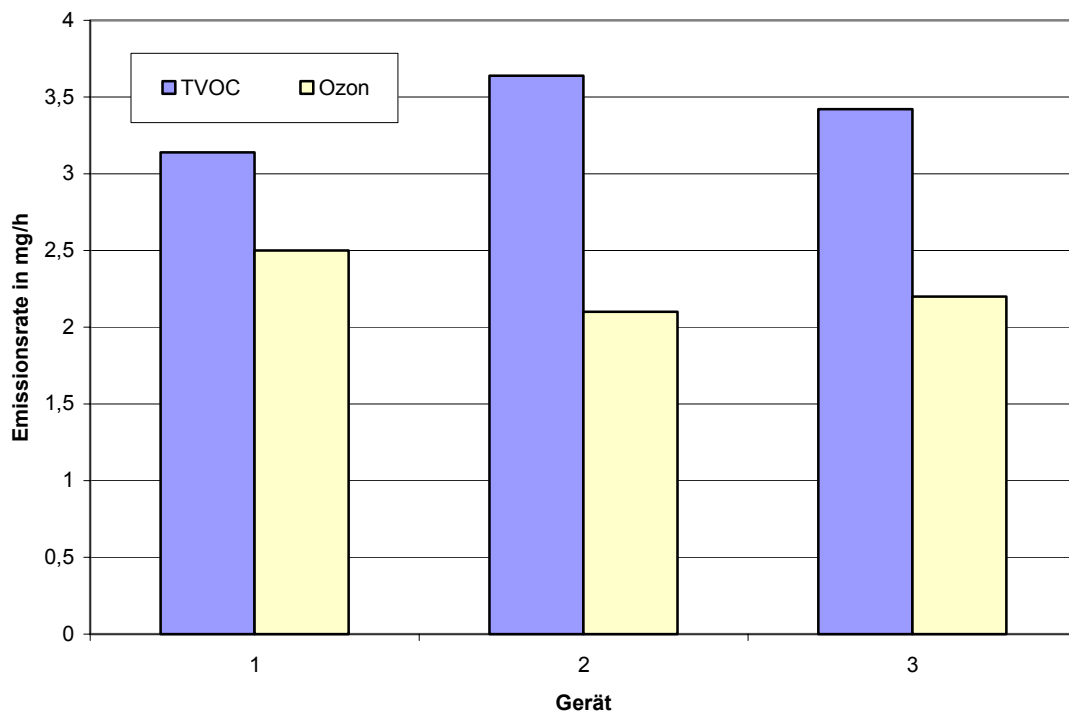


Abbildung 19: Ergebnisse der Prüfung von baugleichen Geräten (Geräte ca. 2 Jahre alt, Toner aus einer Charge)

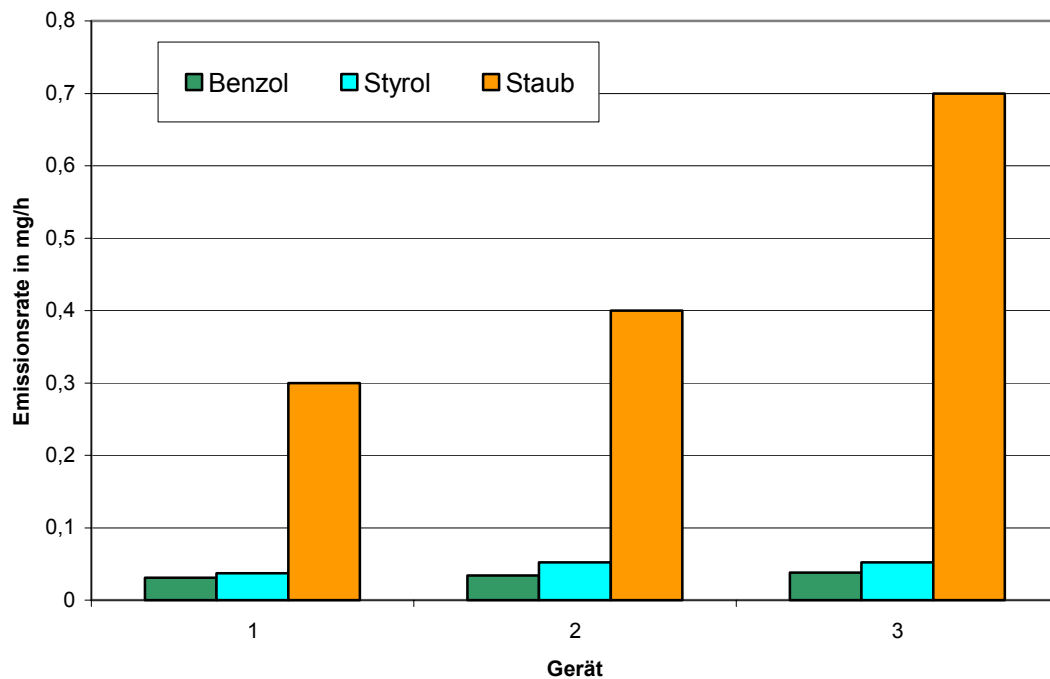


Abbildung 20: Ergebnisse der Prüfung von baugleichen Geräten (Geräte ca. 2 Jahre alt, Toner aus einer Charge)

#### 4.3.4 Untersuchungen zum Einfluss unterschiedlicher Toner-Chargen

Hierzu wurden an einem Laserdrucker Messungen mit Tonerkartuschen aus unterschiedlichen Chargen durchgeführt. Die Messergebnisse sind in Abbildung 21 und Abbildung 22 dargestellt.

Es ist zu ersehen, dass Tonerkartusche 1 für die TVOC-, Benzol- und Styrolemission deutlich höhere Werte als die anderen Kartuschen ergibt. Bei der Prüfung mit Tonerkartusche 2 konnte kein Benzol nachgewiesen werden.

Für die Ozon- und Staubemission ist kein Einfluss der Tonerkartusche zu erkennen.

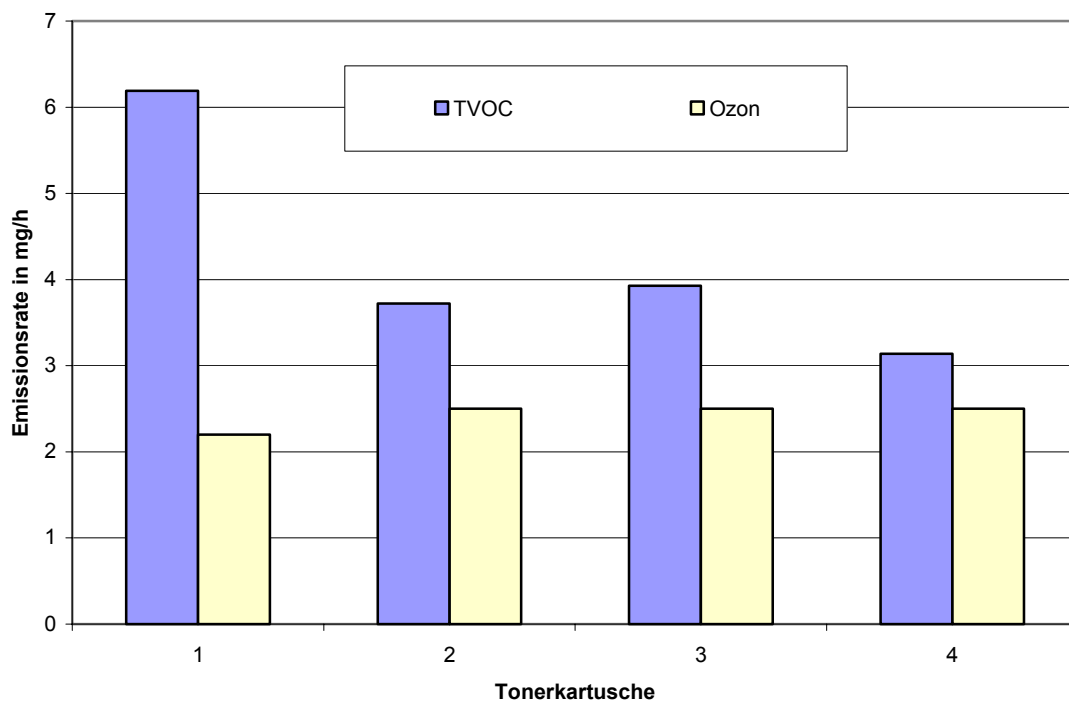


Abbildung 21: Einfluss unterschiedlicher Tonerkartuschen auf die Emissionen

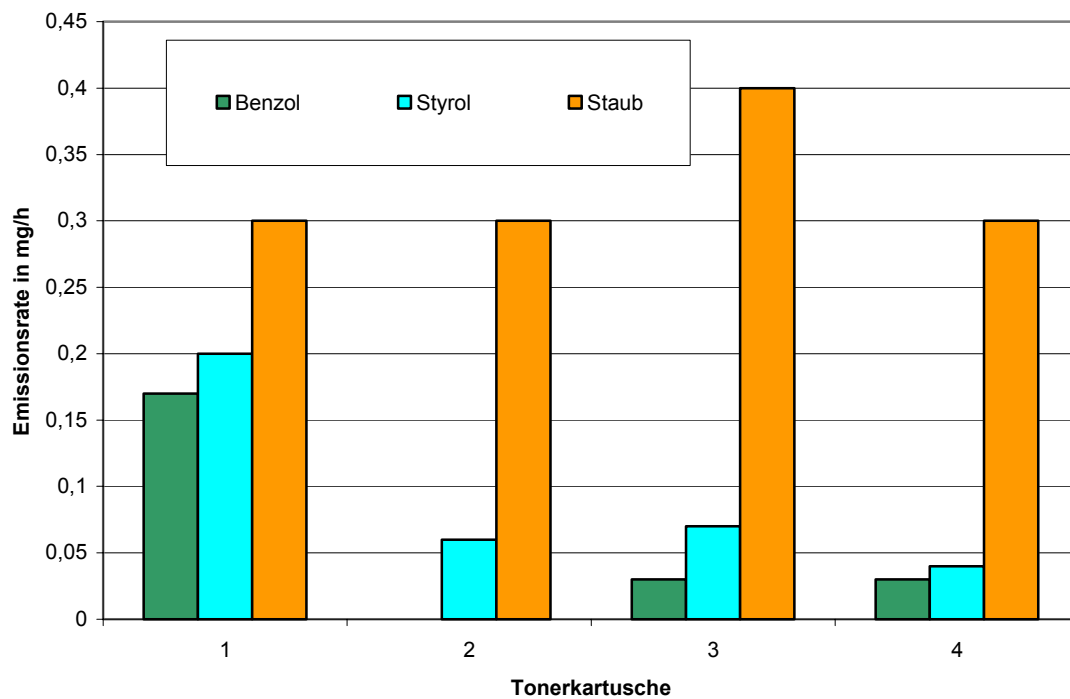


Abbildung 22: Einfluss unterschiedlicher Tonerkartuschen auf die Emissionen

#### 4.3.5 Korrelation des TVOC-Wertes mit der Druckgeschwindigkeit

In Abbildung 23, Abbildung 24, Abbildung 25 und Abbildung 26 sind die bei Messungen nach RAL-UZ 114 ermittelten TVOC-Werte gegen die entsprechende Druckgeschwindigkeit (Seiten pro Minute) aufgetragen. Abbildung 23 und Abbildung 24 zeigen die Ergebnisse für die Geräte aus den Voruntersuchungen (Kapitel 4.2), für Abbildung 25 und Abbildung 26 wurden die Geräte aus Kapitel 4.3.1 verwendet.

In Abbildung 24 und Abbildung 26 lässt sich keine Zunahme der TVOC-Werte bei schnellerer Druckgeschwindigkeit erkennen. In Abbildung 23 und Abbildung 25 ist zwar ein gewisser Trend zu höheren TVOC-Werten bei schnelleren Geräten erkennbar, allerdings gibt es auch langsamere Geräte mit ähnlichen TVOC-Werten wie bei den schnelleren Geräten und umgekehrt.

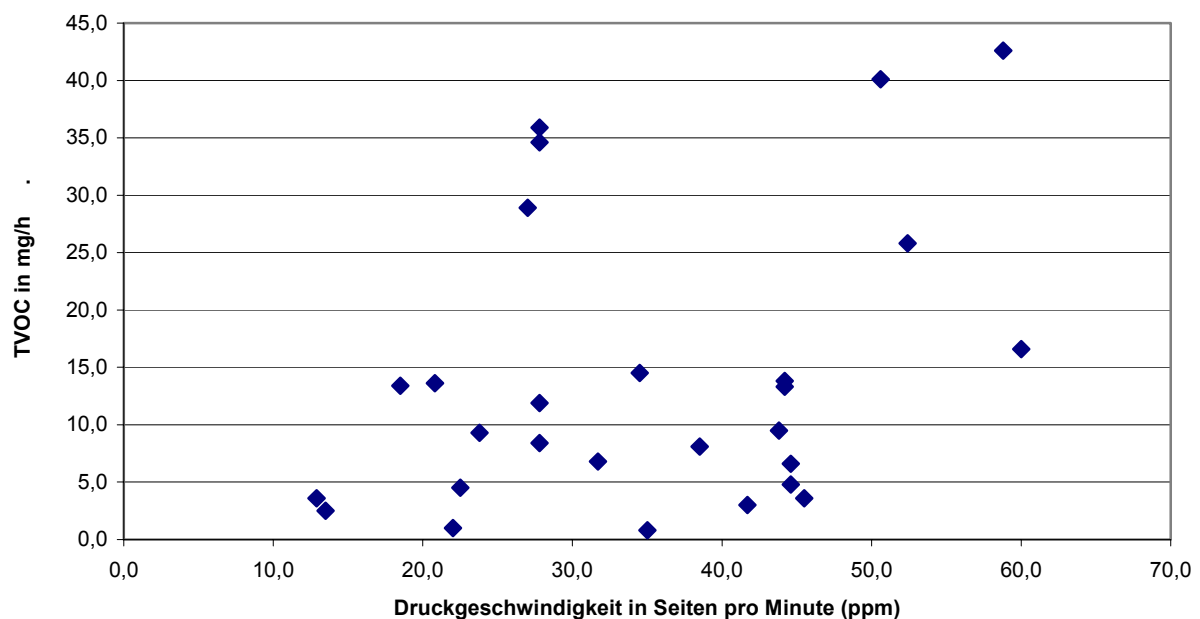


Abbildung 23: Korrelation von TVOC-Wert und Druckgeschwindigkeit für die Standgeräte aus den Voruntersuchungen im schwarz-weiß Druck

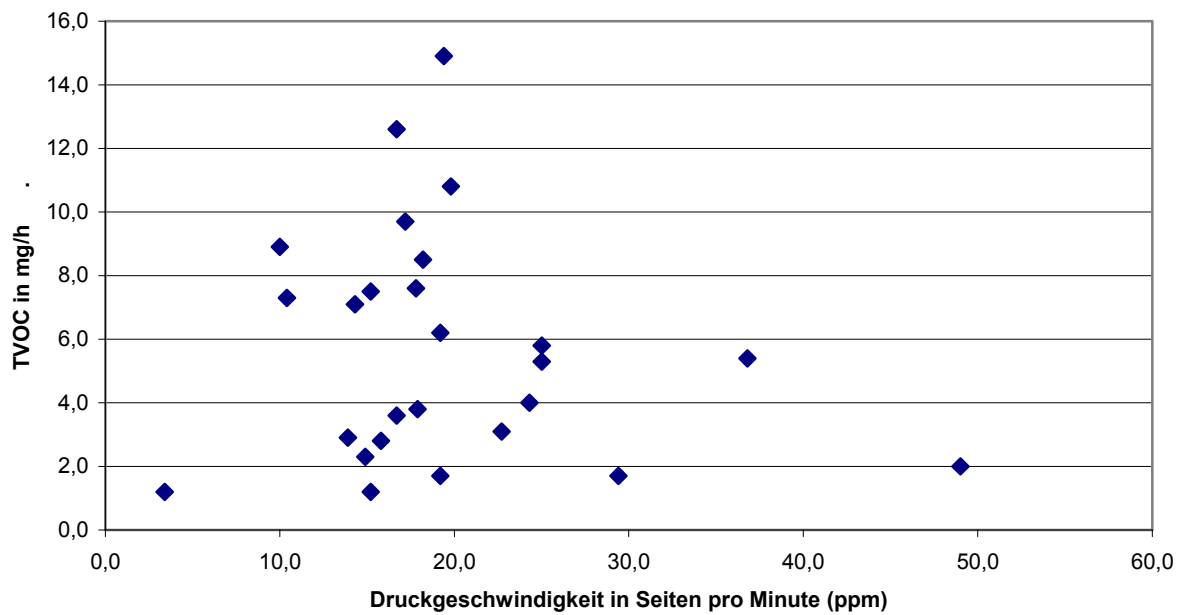


Abbildung 24: Korrelation von TVOC-Wert und Druckgeschwindigkeit für die Tischgeräte aus den Voruntersuchungen im schwarz-weiß Druck

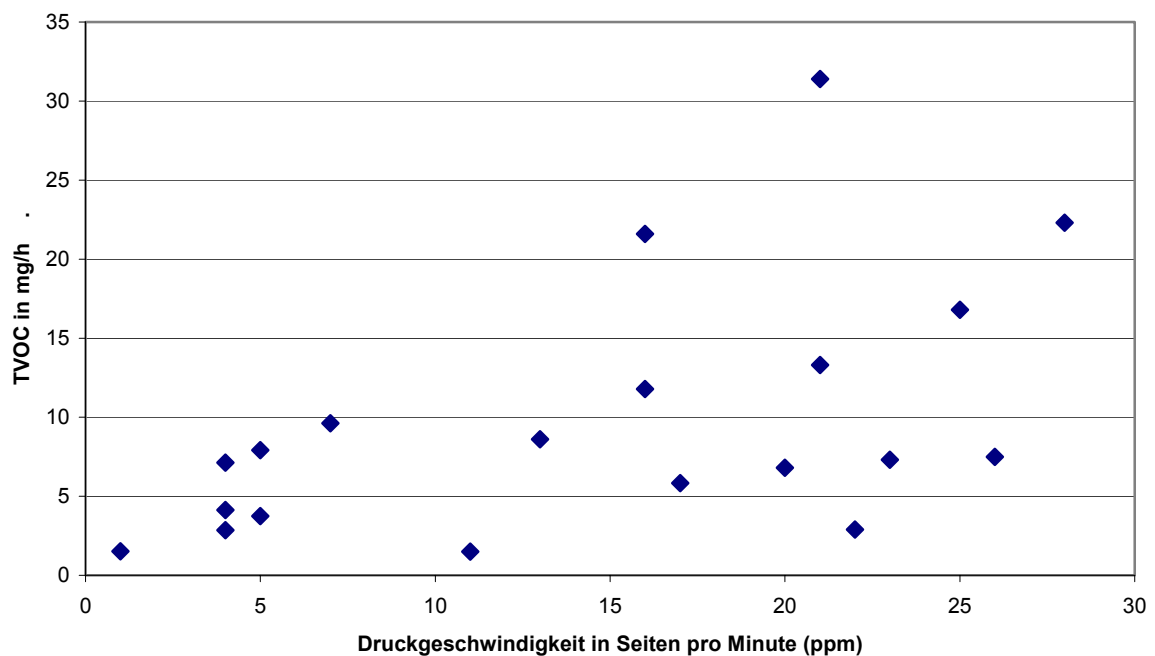


Abbildung 25: Korrelation von TVOC-Wert und Druckgeschwindigkeit für die Geräte aus den Hauptuntersuchungen im Farbdruck

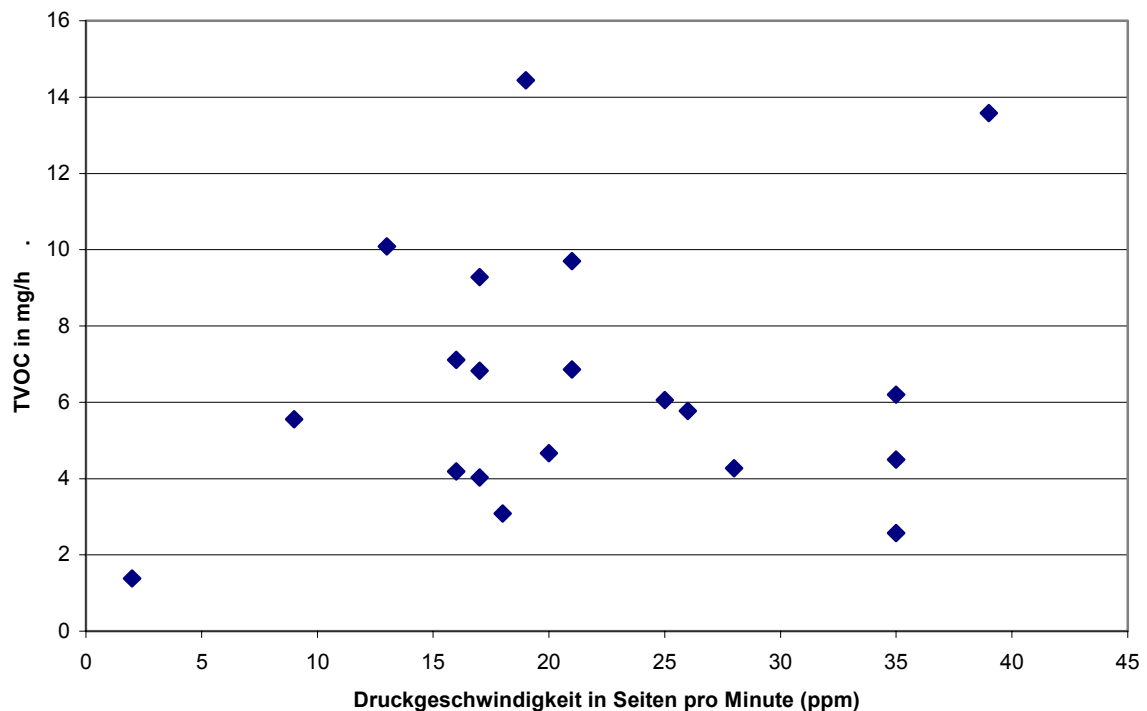


Abbildung 26: Korrelation von TVOC-Wert und Druckgeschwindigkeit für die Geräte aus den Hauptuntersuchungen im schwarz-weiß Druck

#### 4.3.6 Messreihe zum Verlauf des Bereitschaftsphasen TVOC

Abbildung 27 zeigt die Ergebnisse einer Langzeituntersuchung, welche analog einer Bauproduktmessung durchgeführt wurden. Dafür verblieb ein Drucker über den gesamten Zeitraum der Untersuchung in der Prüfkammer. Eine Stunde vor der jeweiligen Probenahme wurde das Gerät eingeschaltet (Bereitschaftsphase analog der Prüfung nach RAL-UZ 122). Der Luftwechsel betrug während der gesamten 21 Tage 1/h.

Es ergibt sich wie bei der Messung von Bauprodukten eine Abklingkurve für den TVOC-Wert: Innerhalb von 21 Tagen reduziert sich der TVOC-Wert auf etwa ein Drittel des am ersten Tag gemessenen Wertes.

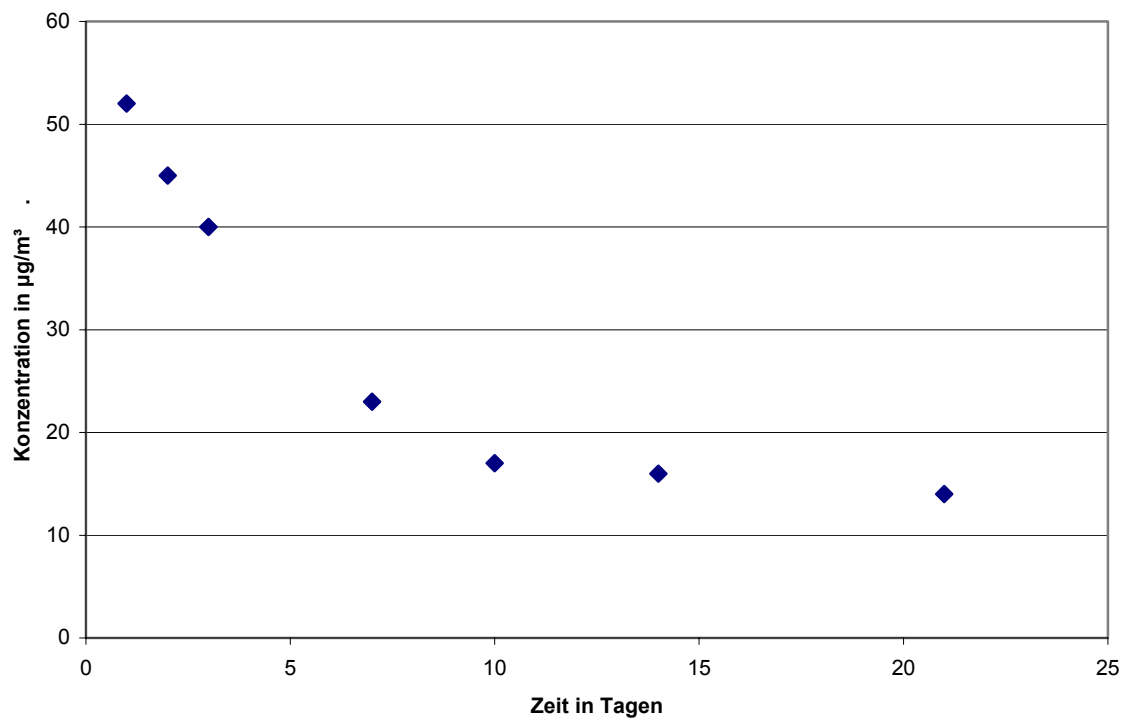


Abbildung 27: Konzentrationsverlauf für die Bereitschaftsphase über 21 Tage

### 4.3.7 Untersuchungen zum Tonerverbrauch

In Tabelle 6 ist für zwei Geräte für mehrere Messungen der ermittelte Tonerverbrauch den TVOC-Emissionsraten gegenübergestellt. Es zeigt sich (wie aufgrund des höheren Bedeckungsgrades zu erwarten) ein viel höherer Gesamtverbrauch an Toner beim Farbdruck, während die TVOC-Werte allerdings ähnlich oder sogar niedriger ausfallen.

Die Abkürzung f-mod steht für einen Farbdruck, bei dem die Vorlage für den monochromen Druck verwendet wurde, das Schwarz also aus allen Farben zusammen gemischt wurde.

Tabelle 6: Vergleich von TVOC-Wert und Tonerverbrauch

| Arb.-Nr.:     | TVOC<br>[mg/h] | bedruckte<br>Seiten | Druckzeit<br>[min] | Verbrauch (g) |      |         |       |
|---------------|----------------|---------------------|--------------------|---------------|------|---------|-------|
|               |                |                     |                    | schwarz       | cyan | magenta | gelb  |
| G1_sw         | 10,09          | 200                 | 15,9               | 4,75          |      |         |       |
| G1_f          | 8,60           | 200                 | 15,3               | 5,04          | 4,56 | 4,17    | 3,18  |
| G1_sw(2)      | 4,26           | 200                 | 15,9               | 3,43          |      |         |       |
| G1_f(2)       | 5,28           | 200                 | 14,9               | 5,24          | 5,35 | 3,46    | 3,31  |
| G1_f-mod      | 3,83           | 200                 | 15,5               | 4,41          | 1,97 | 2,25    | 0,66  |
| G1_sw(3)      |                | 132                 | 12,8               | 4,52          |      |         |       |
| G1_f(3)       | 4,57           | 200                 | 14,9               | 4,62          | 5,09 | 5,15    | 3,24  |
| G1_f(4)       |                | 198                 | 14,6               | 4,03          | 5,26 | 4,12    | 2,26  |
|               |                |                     |                    |               |      |         |       |
| G2_sw         | 11,78          | 292                 | 15,0               | 6,94          |      |         |       |
| G2_f          | 14,44          | 250                 | 16,0               | 4,76          | 5,98 | 8,68    | 12,01 |
| G2_sw(duplex) | 6,58           | 300 auf 150 Bl.     | 15,5               | 7,11          |      |         |       |
| G2_f(duplex)  | 7,10           | 250 auf 125 Bl.     | 20,3               | 5,60          | 5,20 | 6,67    | 7,83  |
| G2_f-mod      | 6,65           | 250                 | 12,8               | 6,25          | 0,22 | 0,21    | 0,16  |

### 4.3.8 Untersuchungen zur Helligkeit L\* [CIE]

Für die Prüfung nach RAL-UZ 114 war eine Linearisierung der Graustufen vorgeschrieben. Diese „Kalibrierung“ sollte dazu dienen, vergleichbare Helligkeiten zu bekommen und damit die Prüfung verschiedener Hardcopygeräte vergleichbarer zu machen. Es stellte sich allerdings heraus, dass die Helligkeiten der verschiedenen Geräte durch diese Linearisierung kaum verändert werden.

Da außerdem nach Aussagen der Hersteller manche Geräte während des Druckvorganges eine „Selbstkalibrierung“ durchführen, die die Linearisierung aufhebt, wurde für RAL-UZ 122 beschlossen, die Ermittlung der Helligkeit L\* und der Buntheiten a\* und b\* in der Standardeinstellung des jeweiligen Gerätes als ausreichend anzuse-

hen. Die Messung erfolgt dabei mit Hilfe eines Farbspektrometers. Aus der Intensität des vom bedruckten Papier reflektierten Lichtes werden  $L^*$ ,  $a^*$  und  $b^*$  nach CIE berechnet.

Abbildung 28 zeigt eine Gegenüberstellung von Druckgeschwindigkeit und Helligkeit.

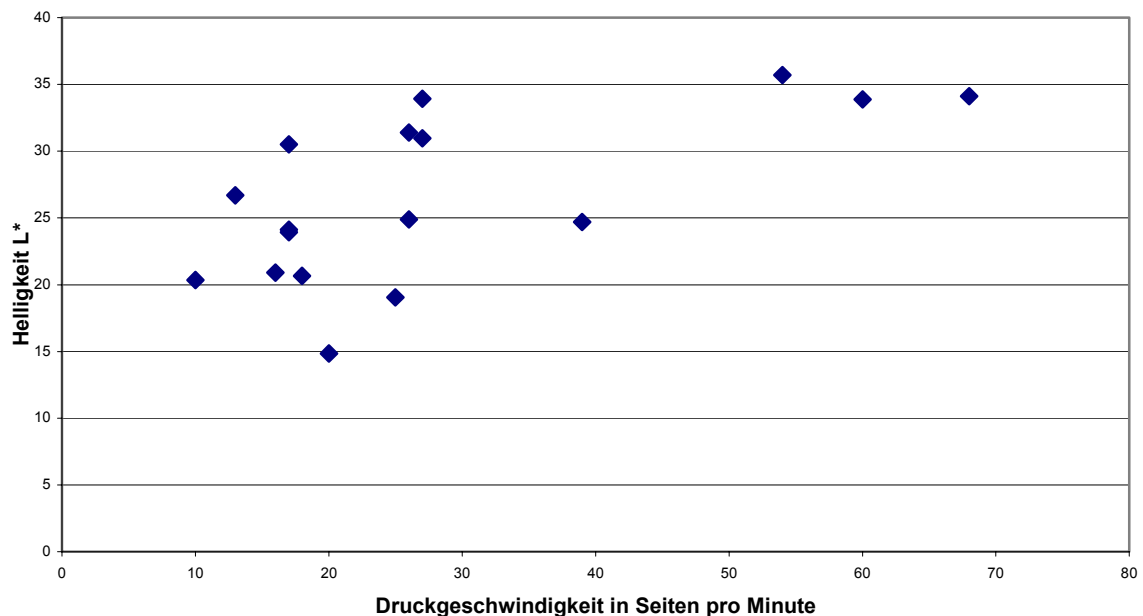


Abbildung 28: Korrelation von Druckgeschwindigkeit und Helligkeit

Es ist zu ersehen, dass die schnellsten Geräte die höchsten Helligkeiten ergeben, also die geringste Schwärzung beim Bedrucken. Damit wären relativ geringe TVOC-Emissionsraten trotz hoher Druckgeschwindigkeiten zu erklären. Dies wird durch Abbildung 29 gestützt, in der eine Gegenüberstellung von Helligkeiten und TVOC-Werten gezeigt ist. Es ist zu ersehen, dass die meisten Geräte mit höherer Helligkeit relativ geringe TVOC-Emissionsraten aufweisen.

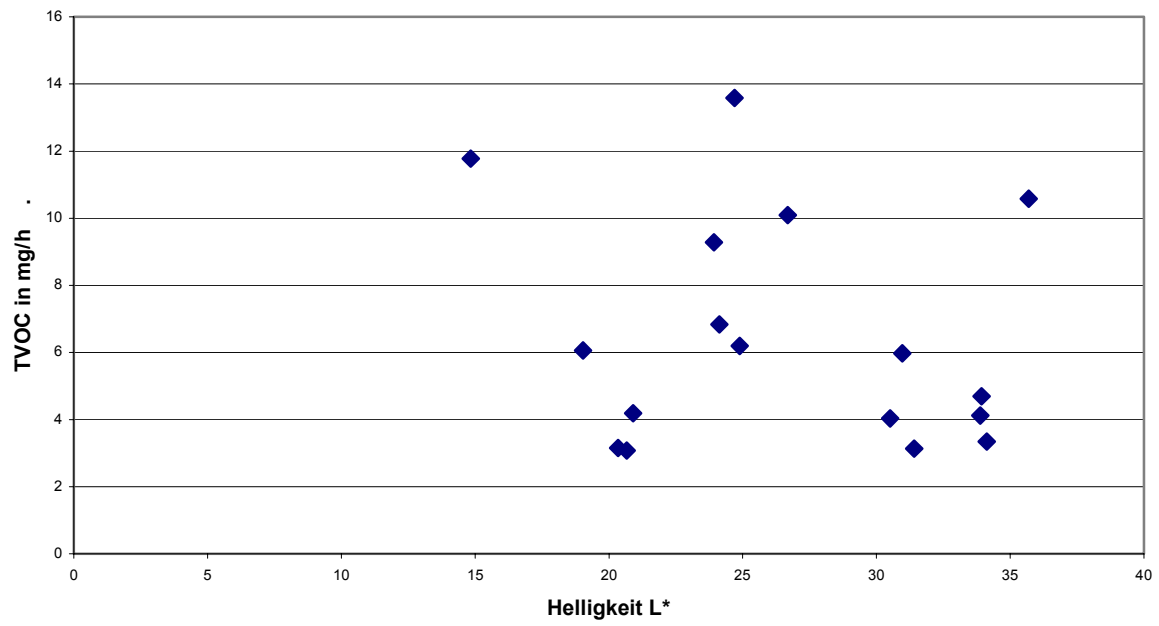


Abbildung 29: Korrelation von Helligkeit und TVOC-Emissionsrate

#### 4.3.9 Untersuchungen zur Staubcharakterisierung

Die Untersuchungen zur Staubcharakterisierung dienten dem Ziel, herauszufinden, woraus der im Glasfaserfilter bei der Probenahme zurückgehaltene Staub zusammengesetzt ist. Mit Hilfe eines Environmental Scanning Electron Microscope (ESEM) wurden deshalb zum einen elektronenmikroskopische Aufnahmen der Filter gemacht und zum anderen eine Elementanalyse der Staubpartikel durchgeführt. Die raster-elektronenmikroskopischen Untersuchungen am ESEM in Kombination mit energie-dispersiver Röntgenanalyse (EDX) ermöglichen eine morphologische und chemische Charakterisierung von Werkstoffen und Materialien. Dabei ist keinerlei Vorbehandlung (z.B. Bedampfen) der Proben erforderlich.

Vergleichend wurden dazu auch ESEM-Untersuchungen an Tonermaterial aus den Tonerkartuschen gemacht.

Weitere Aufnahmen erfolgten an bedrucktem Papier.

Auf den zur Probenahme eingesetzten Glasfaserfiltern konnten Tonerpartikel identifiziert werden. Die nachfolgenden Aufnahmen zeigen einige Variationen von Größe und Form dieser Tonerpartikel.

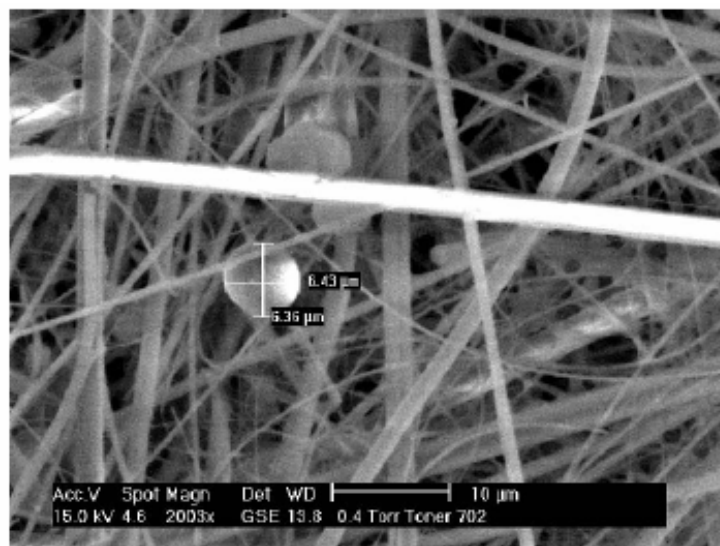


Abbildung 30: Glasfaserfilter, Emissionsprüfkammermessung

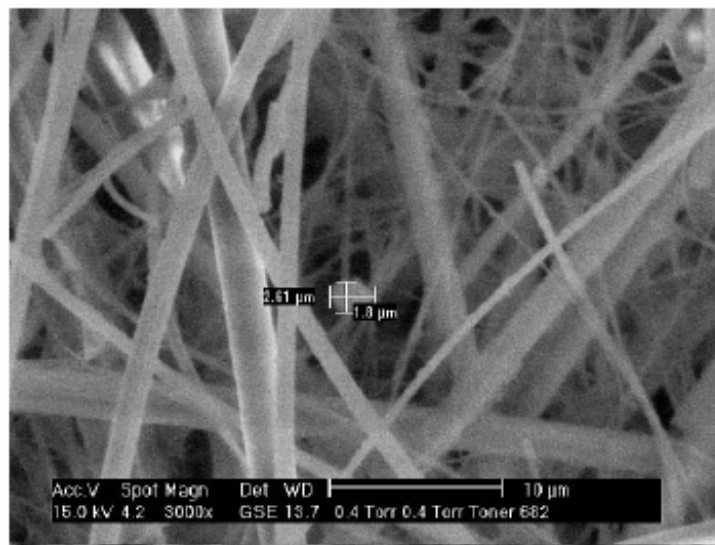


Abbildung 31: Glasfaserfilter, Emissionsprüfkammermessung

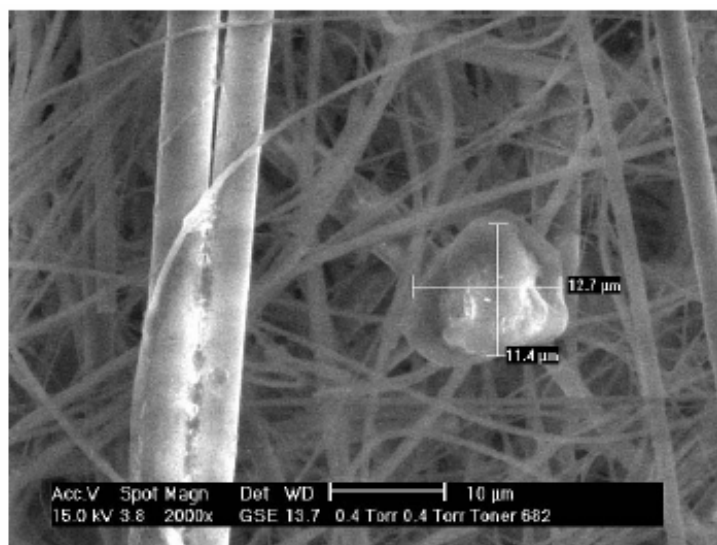


Abbildung 32: Glasfaserfilter, Emissionsprüfkammermessung

Abbildung 33 und Abbildung 34 zeigen Tonerstrukturen nach dem Druck auf Papier. In der gewählten Vergrößerung zeigen sich auch kleinere Strukturen im Größenbereich von ca. 70 nm bis 400 nm.

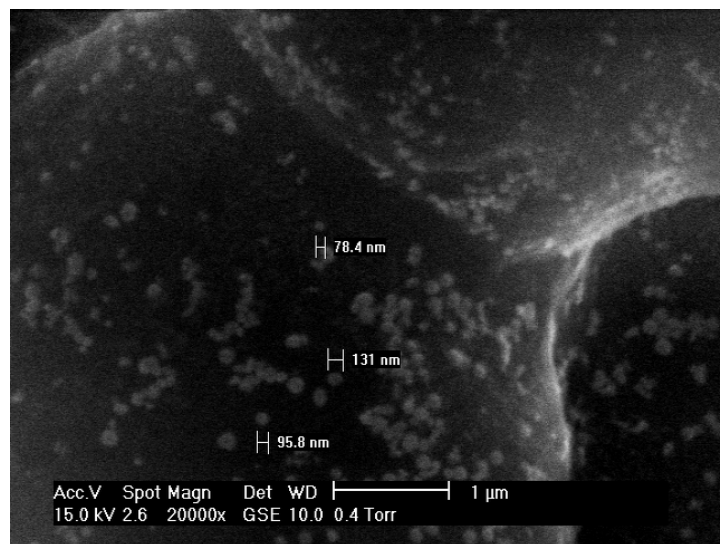


Abbildung 33: Toner nach Druck auf Papier

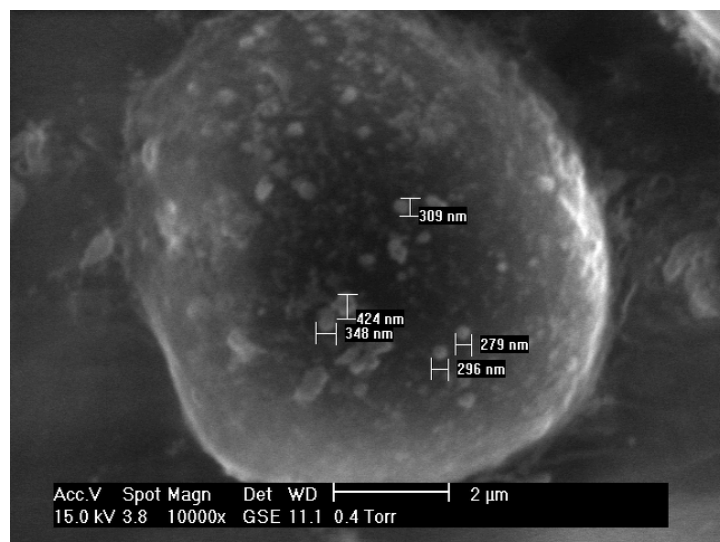


Abbildung 34: Toner nach Druck auf Papier

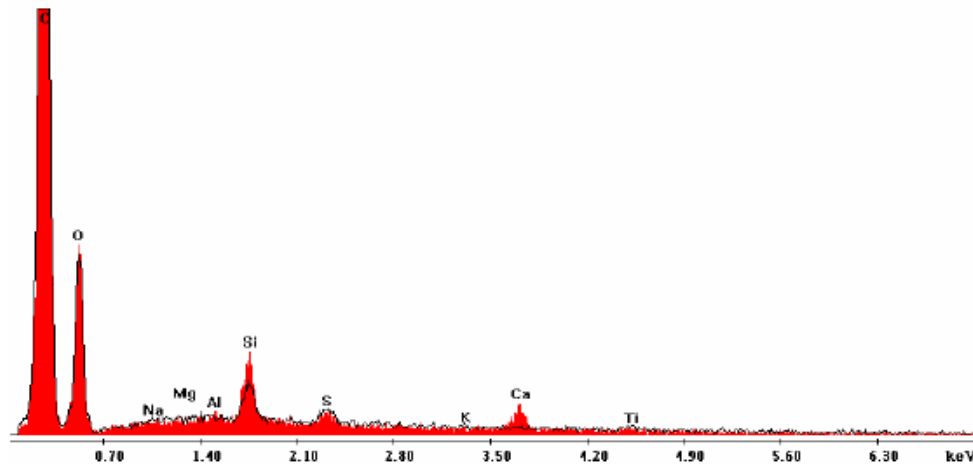


Abbildung 35: EDX-Vergleich von Toner auf Papier (rot) und reinem Toner (schwarze Linie)

Abbildung 36 zeigt eine ESEM Aufnahme eines Toners, der direkt auf einen Glasfasfilter gestreut wurde, mit Größenangabe einiger Tonerpartikel.

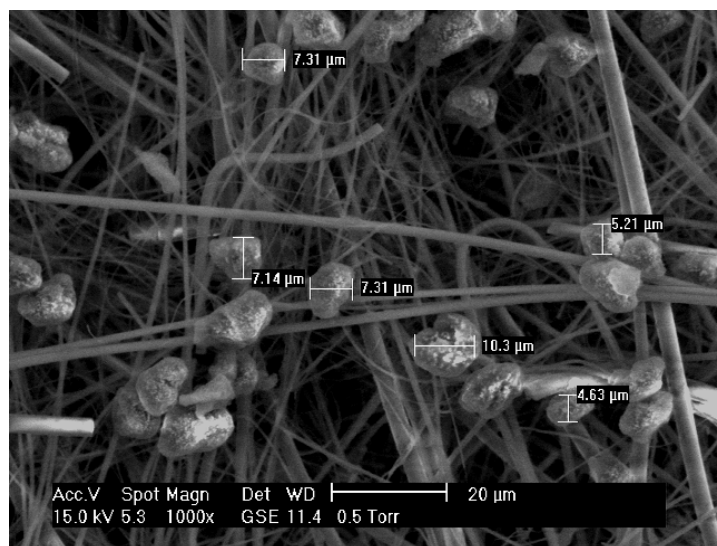


Abbildung 36: Toner auf Filter gestreut

Für eine mögliche Zuordnung der beim Druck emittierten Partikel sind die rasterelektronischen Untersuchungen gekoppelt mit EDX Analysen (siehe Abbildung 35) gute Methoden. So lassen sich bestimmte Inhaltsstoffe direkt dem Herkunftsmaterial zuordnen, wie Calcium dem Papier oder Eisen (Fe) als „Fingerprint“ manchen Tonern.

Abbildung 37 zeigt ein unbedrucktes Papier und Abbildung 38 die dazugehörige EDX Spotmessung mit einem hohen Calcium-Gehalt hauptsächlich in den hellen Bereichen des Papiers.

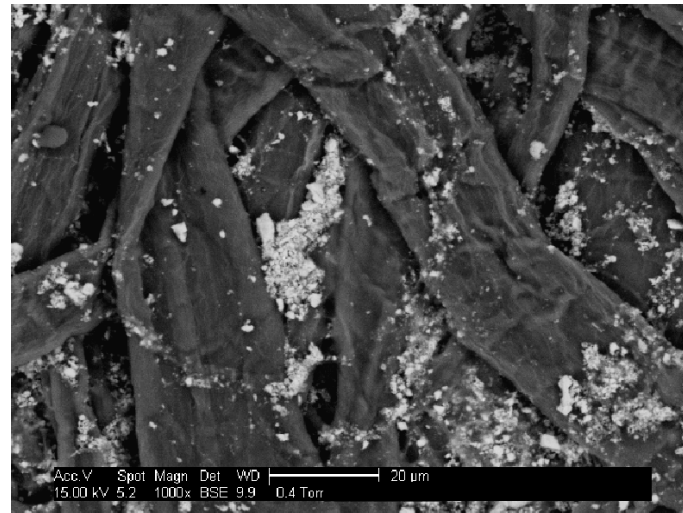


Abbildung 37: ESEM-Aufnahme Papier, unbedruckt

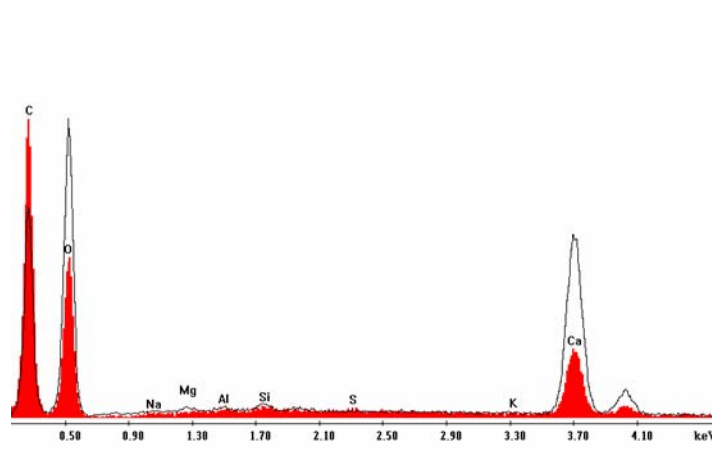


Abbildung 38: EDX-Spektrum Papierfaser (rot), kristalline helle Bereiche (schwarz)

Abbildung 39 und Abbildung 40 zeigen für den gleichen Tonerpartikel einmal die reine ESEM Aufnahme und in Abbildung 40 den EDX linescan durch den Partikel. Deutlich erkennbar ist der Anstieg der Fe- Konzentration im Bereich des Partikels (gelbe Linie).

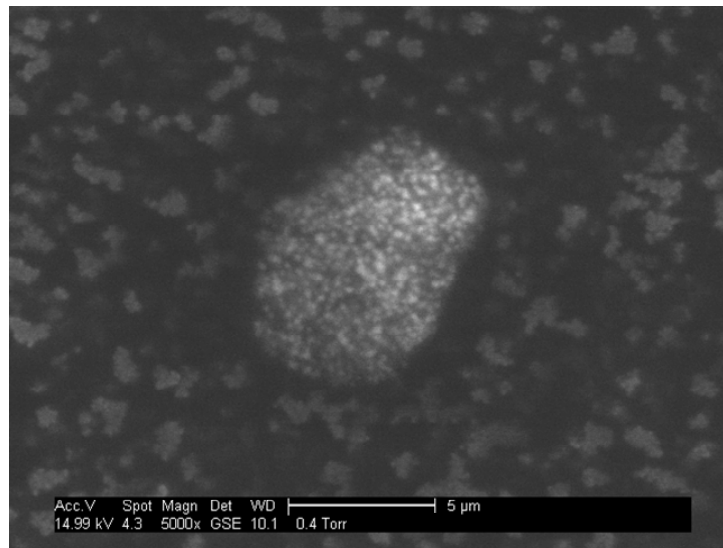


Abbildung 39: Tonerpartikel Oberflächenabbildung

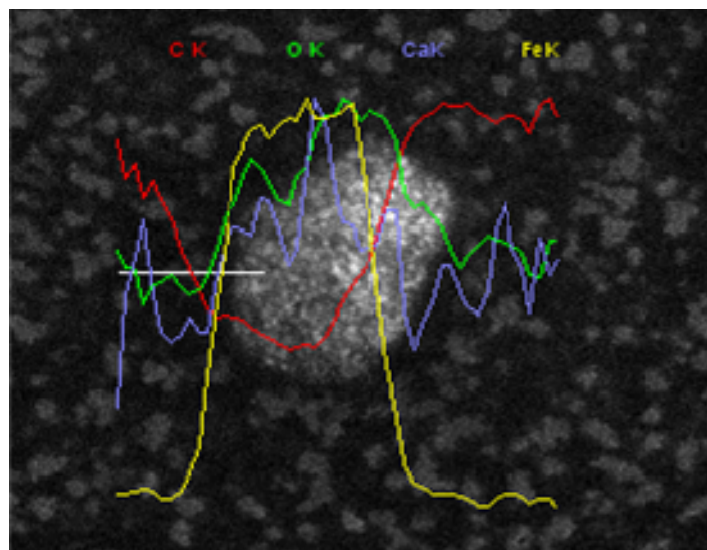


Abbildung 40: EDX-linescan Fe (gelb)

Auf der Suche nach ultrafeinen Partikel (kleiner als 100 nm) wurden auch Aufnahmen mit Hilfe eines Transmissionselektronenmikroskopes (TEM) gemacht. Abbildung 41 zeigt eine TEM-Aufnahme eines Tonerpartikels und Abbildung 42 die entsprechende EDX-Analyse im Bereich der kleineren Partikel. Auch hier ist der deutliche Eisenpeak als Charakteristikum für den Toner zu sehen.

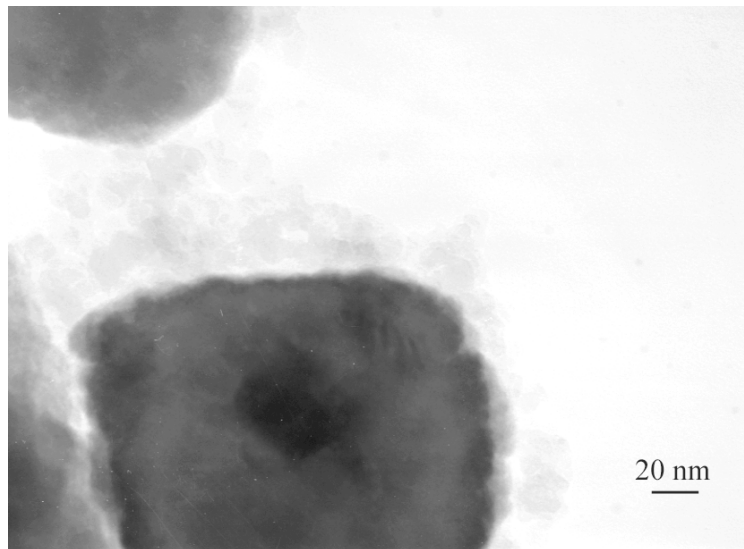


Abbildung 41: TEM-Aufnahme eines Toners

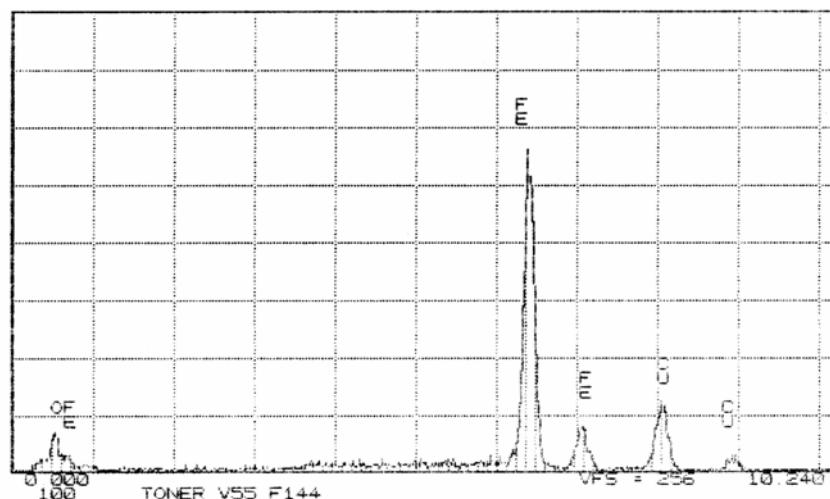


Abbildung 42: EDX –Analyse im Bereich der kleinen Partikel aus Abbildung 41

## 5 Untersuchungen für die Weiterentwicklung des Prüfverfahrens

### 5.1 Betrachtungen zum Einfluss der Bereitschaftsphasen-Emission auf die Emissionsrate der Druckphase

Die Ergebnisse der Emissionsmessungen (Vorversuche, Abschnitt 4.2) zeigten, dass viel mehr Standgeräte als Tischgeräte die Kriterien für den „Blauen Engel“ nicht einhielten. Hierbei fiel auf, dass die Emissionen der Standgeräte in der Bereitschaftsphase deutlich höher waren als die der Tischgeräte. Dies ist durch eine größere Oberfläche und größeren Materialeinsatz zu erklären. Durch rechnerische Betrachtungen, bei denen die Prüfkammerkonzentration der Bereitschaftsphase für die Berechnung einer Emissionsrate im Druck verwendet wurden, konnte gezeigt werden, dass teilweise allein die Emission während der Bereitschaftsphase zu einer Überschreitung der Grenzwerte für die Druckphase führte.

In Abbildung 43 ist der Konzentrationsverlauf während einer Emissionsmessung schematisch dargestellt. Die Flächen B1 bzw. B2 geben darin den Anteil der Bereitschaftsphasenemission während der Druck- und Nachlaufphase wieder. Der Anteil von B2 wird mit längerer Nachlaufzeit größer. Dadurch nimmt insbesondere bei Messungen in großen Prüfkammern, die mit einem kleineren Luftwechsel betrieben werden, der Einfluss der Bereitschaftsphasenemission zu, da die Probenahme bei kleineren Luftwechseln länger dauert.

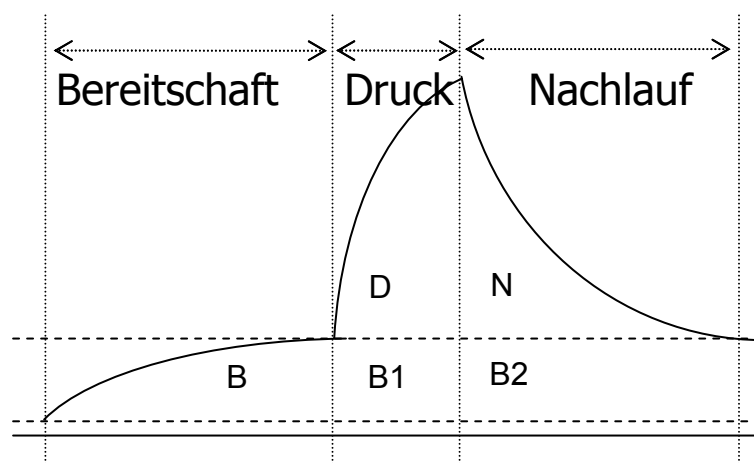


Abbildung 43: schematischer Konzentrationsverlauf für eine Druckerprüfung

Um den Einfluss der Bereitschaftsphasenemission zu minimieren, wurde als ein erster Schritt vereinbart, dass die zu prüfenden Geräte nicht über die ganze Zeit der Bereitschaftsphase in einem Zustand gehalten werden müssen, aus dem der Druck sofort gestartet werden kann, sondern das je nach Werkseinstellung das Gerät nach einer gewissen Zeit in einen Energiesparmodus fallen darf.

Theoretische Betrachtungen [Ito, 2005] zeigten allerdings, dass es bei Untersuchungen in verschiedenen großen Prüfkammern an einem Gerät zu großen Unterschieden der Emissionsrate im Druck kommt, wenn die Emissionen in der Bereitschaftsphase hoch (1 mg/h) sind.

Um den Einfluss der Bereitschaftsphasenemission zu verringern wurde deshalb über eine Verkürzung der Probenahmezeit für die VOC-Probenahme während der Nachlaufphase diskutiert. Die existierende Möglichkeit einer Probenahme am Ende des Druckprozesses (Gleichung 5 des Prüfverfahrens vom Juni 2003) konnte aufgrund eines geringen Probenahmenvolumens nur in kleinen Prüfkammern angewendet werden.

Theoretische Betrachtungen [Yazaki, 2005] zeigten den Einfluss der Probenahmedauer auf die erzielte Durchschnittskonzentration während der Probenahme.

Es zeigte sich, dass eine Probenahme von Druckbeginn bis einen Luftwechsel nach Druckende die höchste Durchschnittskonzentration erbringt. Im Vergleich mit der Probenahme über die gesamte Nachlaufphase liegt die Durchschnittskonzentration etwa um den Faktor 2 höher. Gekoppelt mit einer Erhöhung des Probenahmenvolumenstroms von 100 ml/min auf 200 ml/min lässt sich somit innerhalb wesentlich kürzerer Zeit die gleiche Analytmenge erfassen wie bei einer Probenahme über die gesamte Nachlaufphase. Dadurch wird der Einfluss der Bereitschaftsphasenemission minimiert.

### **5.1.1 Verwendung einer neuen Berechnungsformel für die VOC-Emissionsrate**

Tabelle 7 und Tabelle 8 zeigen für Messungen in einer 1m<sup>3</sup>- bzw. einer 20 m<sup>3</sup>-Kammer die Ergebnisse für die TVOC-Emissionsraten nach RAL-UZ 114 und RAL-UZ 122. Für diese Messungen wurden die TVOC-Emissionsraten sowohl nach UZ 114 als auch nach UZ 122 berechnet. Es ergeben sich geringere Emissionsraten für die Berechnung nach RAL-UZ 122. Die Änderung (Abnahme) ist dabei abhängig von der Emissionsrate in der Bereitschaftsphase. Für die Messung an Tischgeräten ergeben sich im Mittel etwas geringere Abweichungen im Vergleich zu UZ 114 als bei

den Standgeräten. In der 1 m<sup>3</sup> Emissionsprüfkammer ergeben sich im Mittel um 32% geringere Emissionsraten. Bei Messungen in der 20 m<sup>3</sup>-Emissionsprüfkammer wurden im Mittel um bis zu 56 % geringere Emissionsraten erhalten.

Tabelle 7: Vergleich der Emissionsraten nach UZ 114 und 122 für Tischgeräte

| Messung | TVOC<br>Bereitschaft | TVOC<br>RAL-UZ 114 | TVOC<br>RAL-UZ 122 | Änderung<br>in % |
|---------|----------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| 1       | 0,28                 | 9,28               | 7,05               | 24               |
| 2       | 0,31                 | 4,13               | 2,40               | 42               |
| 3       | 1,21                 | 11,78              | 6,12               | 48               |
| 4       | 1,08                 | 14,44              | 9,24               | 36               |
| 5       | 0,26                 | 4,19               | 2,68               | 36               |
| 8       | 0,07                 | 6,19               | 5,76               | 7                |
| 9       | 1,21                 | 10,09              | 6,56               | 35               |
| 10      | 0,32                 | 4,26               | 2,73               | 36               |
| 11      | 0,94                 | 8,60               | 3,87               | 55               |
| 12      | 0,31                 | 5,28               | 3,75               | 29               |
| 15      | 0,18                 | 5,88               | 4,76               | 19               |
| 16      | 0,14                 | 6,91               | 6,08               | 12               |
|         |                      |                    | <b>MW</b>          | <b>32</b>        |

Tabelle 8: Vergleich der Emissionsraten nach UZ 114 und 122 für Standgeräte

| Messung | TVOC<br>Bereitschaft | TVOC<br>RAL-UZ 114 | TVOC<br>RAL-UZ 122 | Änderung<br>in % |
|---------|----------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| 1       | 1,98                 | 34,60              | 6,57               | 81               |
| 2       | 0,03                 | 11,94              | 11,58              | 3                |
| 3       | 0,53                 | 10,26              | 1,23               | 88               |
| 4       | 0,22                 | 13,30              | 8,51               | 36               |
| 5       | 0,51                 | 13,80              | 2,48               | 82               |
| 6       | 1,08                 | 28,90              | 14,45              | 50               |
| 7       | 1,04                 | 25,80              | 11,87              | 54               |
| 8       | 0,17                 | 4,12               | 3,16               | 23               |
| 9       | 0,07                 | 3,35               | 2,81               | 16               |
| 10      | 0,47                 | 10,21              | 6,86               | 28               |
| 11      | 0,47                 | 6,49               | 3,58               | 38               |
|         |                      |                    | <b>MW</b>          | <b>45</b>        |

## 5.2 Untersuchungen zur Bildung von Benzol durch Reaktion von Tenax mit Ozon

Aufgrund von Vermutungen, nach denen durch die Reaktion von Ozon mit dem zur VOC-Probenahme verwendeten Tenax Benzol entstehen könnte, wurde eine Probenahmeserie mit Tenaxrohren an einer Emissionsprüfkammer durchgeführt, die mit Ozon befüllt worden war. Der Verlauf der Ozonkonzentration ist in Abbildung 44 dargestellt. Im Vergleich dazu sind die ermittelten Benzolkonzentrationen eingezeichnet. Es ist in der Tat ein Zusammenhang zwischen Ozon- und Benzolkonzentration zu erkennen.

Da die resultierenden Benzolkonzentrationen ausreichen können, um die einzuhaltende Benzol-Emissionsrate zu überschreiten, wurde festgelegt, dass für die Messung von Benzol eine zusätzliche Probenahme mit Carbosieve oder Carbotrap als Adsorbermaterial zu erfolgen hat.

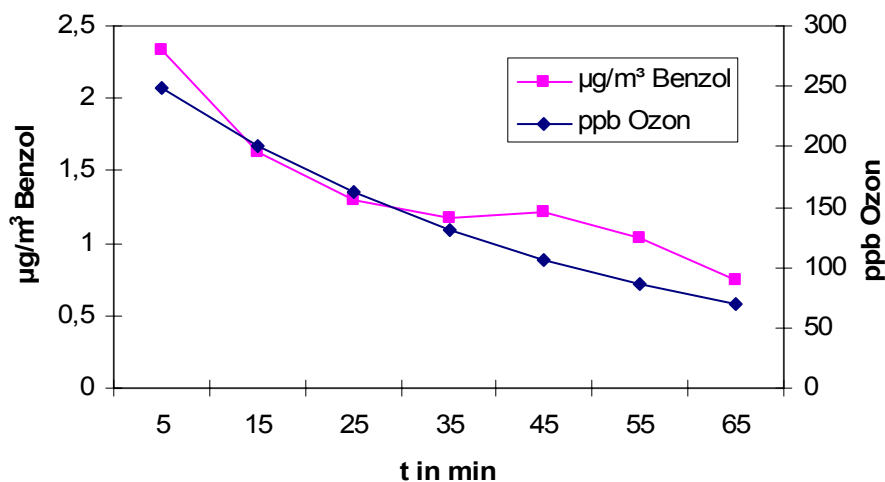


Abbildung 44: Auswirkung der Ozonemission auf die Benzol-Bestimmung

### 5.3 Untersuchungen mit Partikelspektrometern (größenauflösende Partikelzähler)

Zusätzlich zu den gravimetrischen Staubbmessungen kamen Partikelzähler zum Einsatz, um Aussagen zur Größenverteilung machen zu können und damit auch ultrafeine Stäube (Nanopartikel) zu erfassen. Tabelle 9 gibt einen Überblick der durchgeführten Prüfungen mit Partikelzählungen. Hierbei wurde insbesondere der Einfluss des Bedeckungsgrades (Menge an Toner) und des Mediums (Papiersorten im Vergleich) untersucht. Weitere Parameter waren die Luftfeuchtigkeit, der Luftwechsel und der Einsatz verschiedener, z. T. wiederbefüllter Tonerkartuschen.

Tabelle 9: Übersicht der Messungen mit Partikelspektrometern

| lfd.Nr.: | Messung:<br># | Druckertyp: | Bemerkung:<br>(Medium, Bedeckung, Druckart, Sonstiges) (*) |
|----------|---------------|-------------|------------------------------------------------------------|
| 1        | 6             | A           | Papier, 0.3% Bedeckung, farbig                             |
| 2        | 2             | A           | Papier, 20 % Bedeckung, farbig                             |
| 3        | 3             | A           | Papier, 20 % Bedeckung, farbig                             |
| 4        | 10            | A           | Papier, 20 % Bedeckung, farbig, LW 1 h <sup>-1</sup>       |
| 5        | 21            | A           | Papier, 20 % Bedeckung, farbig, LW 1 h <sup>-1</sup>       |
| 6        | 44            | A           | Papier, 5 % Bedeckung, s/w                                 |
| 7        | 20            | A           | Papier, vorgetrocknet, 20 % Bedeckung, farbig              |
| 8        | 7             | A           | Umweltschutzpapier, 20 % Bedeckung, farbig                 |
| 9        | 15            | B           | Papier, 5 % Bedeckung, s/w                                 |
| 10       | 15a           | B           | Papier, 5 % Bedeckung, s/w, LW 1                           |
| 11       | 14            | B           | Papier, 20 % Bedeckung, f                                  |
| 12       | DW10          | B           | Papier, 20 % Bedeckung, f                                  |
| 13       | 16            | C1          | Papier, 5 % Bedeckung, s/w                                 |
| 14       | 31            | C2          | Papier, 5 % Bedeckung, s/w, Fremdkartusche                 |
| 15       | 32            | C2          | Papier, 5 % Bedeckung, s/w                                 |
| 16       | 33            | C2          | Papier, 5 % Bedeckung, s/w                                 |
| 17       | 35            | C3          | Papier, 5 % Bedeckung, s/w                                 |
| 18       | 37            | C3          | Papier, 5 % Bedeckung, s/w                                 |
| 19       | 52            | C5          | Papier d. Herstellers, 5 % Bedeckung, s/w                  |
| 20       | 53            | C5          | Papier d. Herstellers, 20 % Bedeckung, f                   |
| 21       | 17            | D1          | Papier, 5 % Bedeckung, s/w                                 |
| 22       | 18            | D1          | Papier, 20 % Bedeckung, farbig                             |
| 23       | DW4           | D1          | Papier, 20 % Bedeckung, farbig                             |
| 24       | 19            | D2          | Papier, 5 % Bedeckung, s/w                                 |
| 25       | 38            | D2          | Papier, 5 % Bedeckung, s/w                                 |
| 26       | 39            | D2          | Papier, 5 % Bedeckung, s/w                                 |
| 27       | 40            | D2          | Papier, 5 % Bedeckung, s/w                                 |
| 28       | 23            | E1          | Papier, 20 % Bedeckung, farbig                             |
| 29       | DW7           | E2          | Papier, 5 % Bedeckung, s/w                                 |
| 30       | 25            | F           | Papier, 5 % Bedeckung, s/w                                 |
| 31       | 26            | F           | Papier, 5 % Bedeckung, s/w, LW 1,6 h <sup>-1</sup>         |
| 32       | 27            | F           | Papier, 20 % Bedeckung, farbig, LW 1,6 h <sup>-1</sup>     |
| 33       | 29            | G           | Papier, 5 % Bedeckung, s/w, Fremdkartusche                 |
| 34       | 30            | G           | Papier, 5 % Bedeckung, s/w                                 |

(\*) wenn nicht anders vermerkt: Standardbedingungen, d.h. Standardpapier, LW ~ 4 h<sup>-1</sup>.

Der in Kapitel 2.3.2 beschriebene Analysegang der gemessenen Daten wird im Folgenden anhand zweier Beispiele demonstriert.

Abbildung 45 zeigt anhand der aufgezeichneten Rohdaten, d.h. der gemessenen Partikelanzahlkonzentration in der Kammer, die Änderung von Partikelgröße und Intensität der Partikelemission während des Druckprozesses (markiert durch blaue Linien) und der Nachlaufphase am Beispiel der Messungen # 18 und # 2 (jeweils Farbdruck).

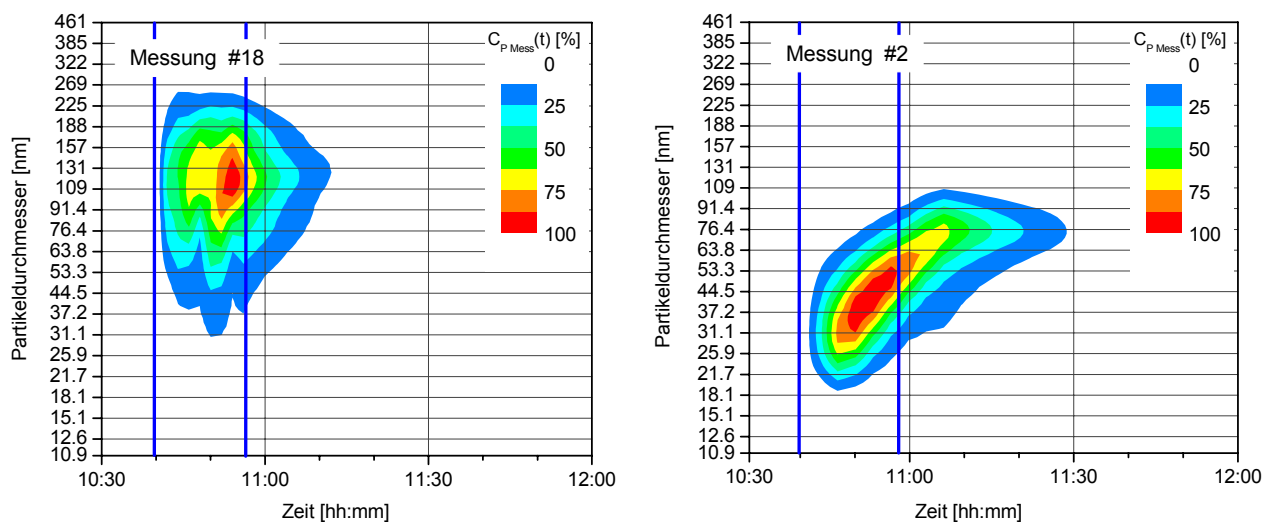


Abbildung 45: Änderung von Partikelgröße und Intensität der Partikelemission während des Druckprozesses (markiert durch blaue Linien) und der Nachlaufphase. Die Konzentrationsangaben  $C_{P\_Mess}(t)$  sind jeweils normiert auf die Maxemalemission.

Abbildung 46 zeigt für die in Abbildung 42 exemplarisch gezeigten Messungen # 18 und # 2 berechnete Partikel-Emissionsraten  $SEP_{\Delta D}(t)$  für vier Größenbereiche, sowie die totalen Emissionsraten  $SEP(t)$ , jeweils während der Druckphase.

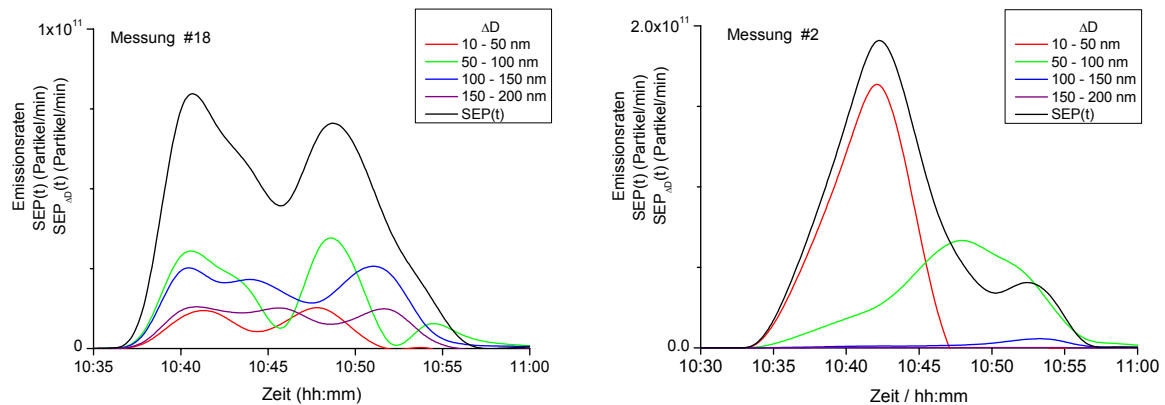


Abbildung 46: berechnete Partikel-Emissionsraten  $SEP_{\Delta D}(t)$  für vier Größenbereiche, sowie die totalen Emissionsraten  $SEP(t)$ , jeweils während der Druckphase

Abbildung 47 zeigt für die in Abbildung 42 gezeigten Messungen # 18 und # 2 ergänzend zu Abbildung 43 die jeweiligen Aufzeichnungen der Kammerparameter Feuchte, Ozonkonzentration und Stromaufnahme des Druckers während des Druckbetriebs.

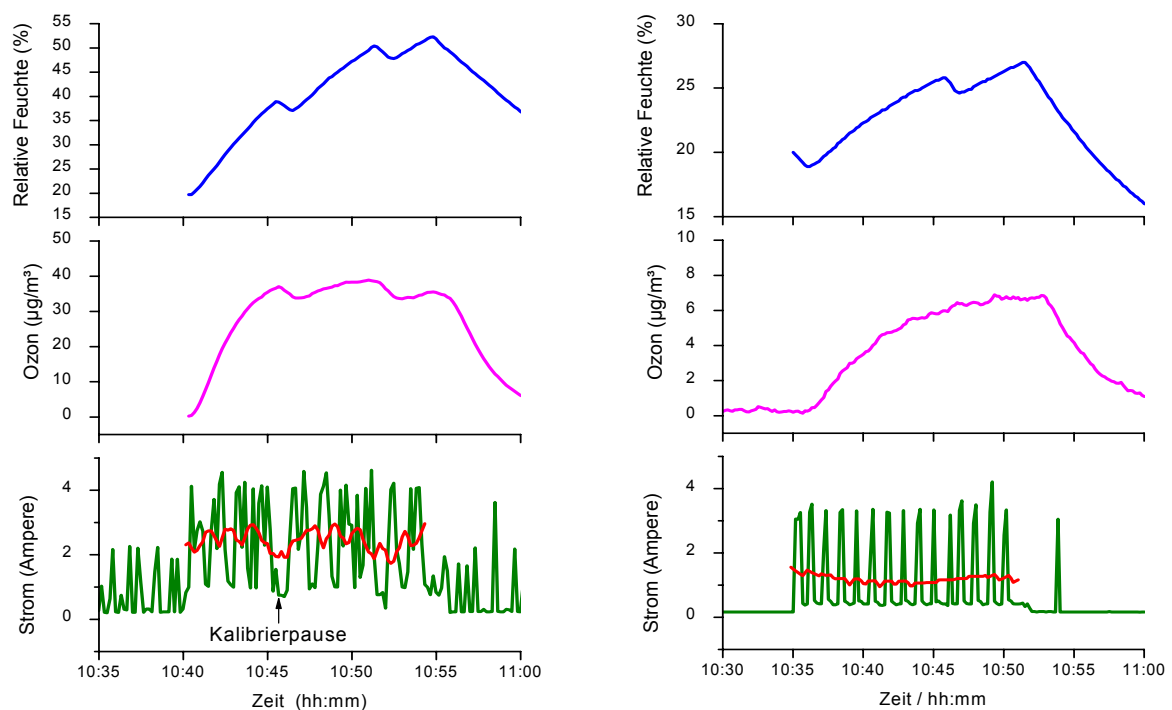


Abbildung 47: Kammerparameter Feuchte, Ozonkonzentration und Stromaufnahme des Druckers während des Druckbetriebs

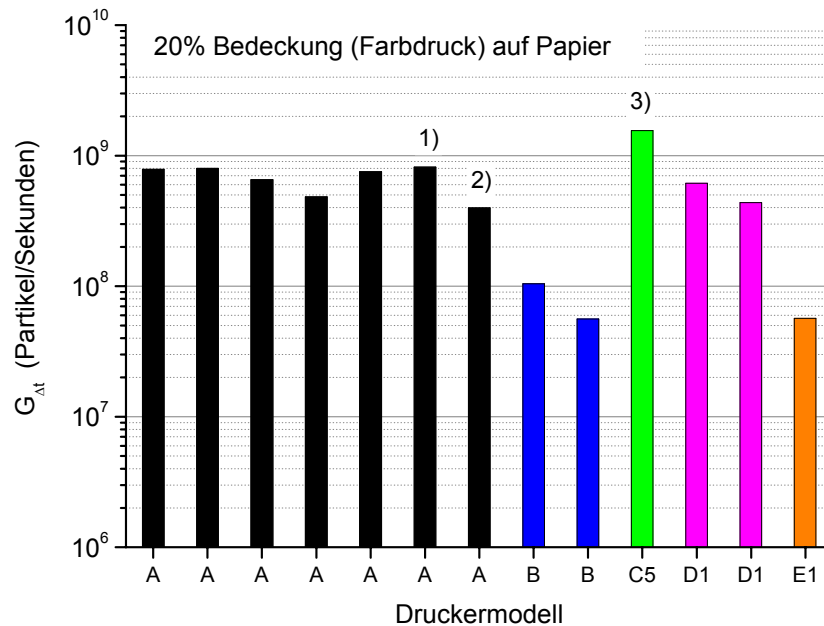
Im Beispiel links ist anhand der Stromaufnahmekurve (grüne Kurve) des Druckers zu erkennen, dass der Drucker während des Druckvorgangs eine kleine Kalibrierpause zum Zeitpunkt 10:45 Uhr einlegt. Zum gleichen Zeitpunkt ist in den Emissionsraten ein signifikanter kurzfristiger Rückgang zu erkennen. Ferner ist den Emissionsraten zu entnehmen, dass Partikel unterschiedlicher Größen nahezu zeitgleich von Beginn an emittiert werden.

Im Beispiel rechts tritt eine Kalibrierpause nicht auf und die Emissionsraten verlaufen deutlich anders: Primär werden kleine Partikel  $< 50$  nm emittiert und erst in der zweiten Hälfte des Druckvorganges sind auch größere Partikel nachweisbar.

Die oben gezeigten Beispiele unterstreichen:

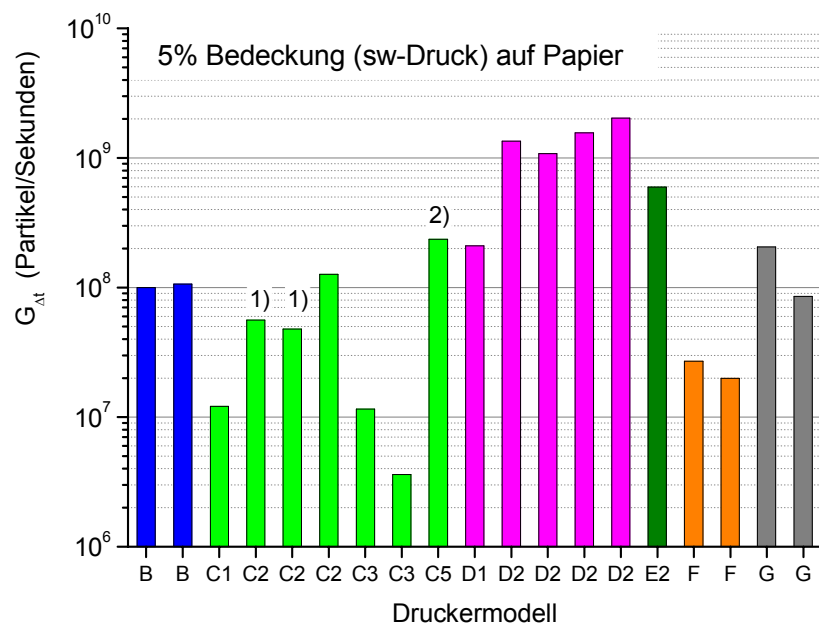
- dass Druckereignisse verschiedener Druckerfabrikate sehr unterschiedliche zeitliche Detailverläufe in den Partikelemission haben können,
- dass diese Zeitcharakteristika mit der verwendeten Messtechnik sehr gut erfasst werden können, und
- dass auf diese Weise Koinzidenzen zwischen Partikelemissionen, gasförmigen Emissionen und Klimaentwicklung in der Testkammer identifiziert werden können, die in Zukunft eine genauere Analyse der Details bei Druckeremissionen ermöglichen.

Nachfolgend werden die wichtigsten Resultate aus den Partikelemissionsmessungen an Druckern vorgestellt:



1) vorgetrocknetes Papier; 2) Umweltschutzpapier; 3) Papier des Herstellers

Abbildung 48: Auf die Druckzeit normierte Gesamtpartikelemissionen  $G_{\Delta t}$  bei Farbdruck (20% Bedeckung) auf Papier



1) Fremdkartusche, 2) Papier des Herstellers

Abbildung 49: Auf die Druckzeit normierte Gesamtpartikelemissionen  $G_{\Delta t}$  bei s/w-Druck (5% Bedeckung) auf Papier

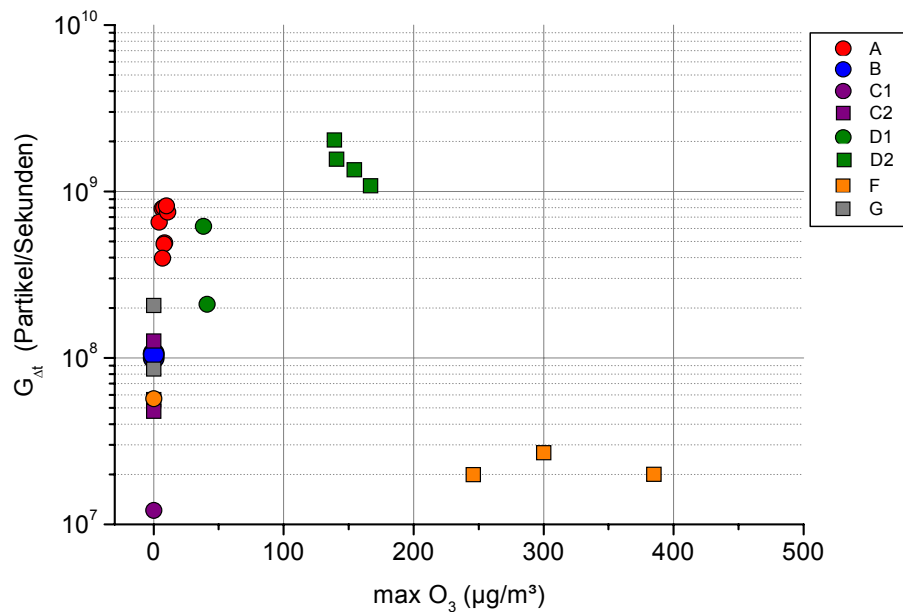
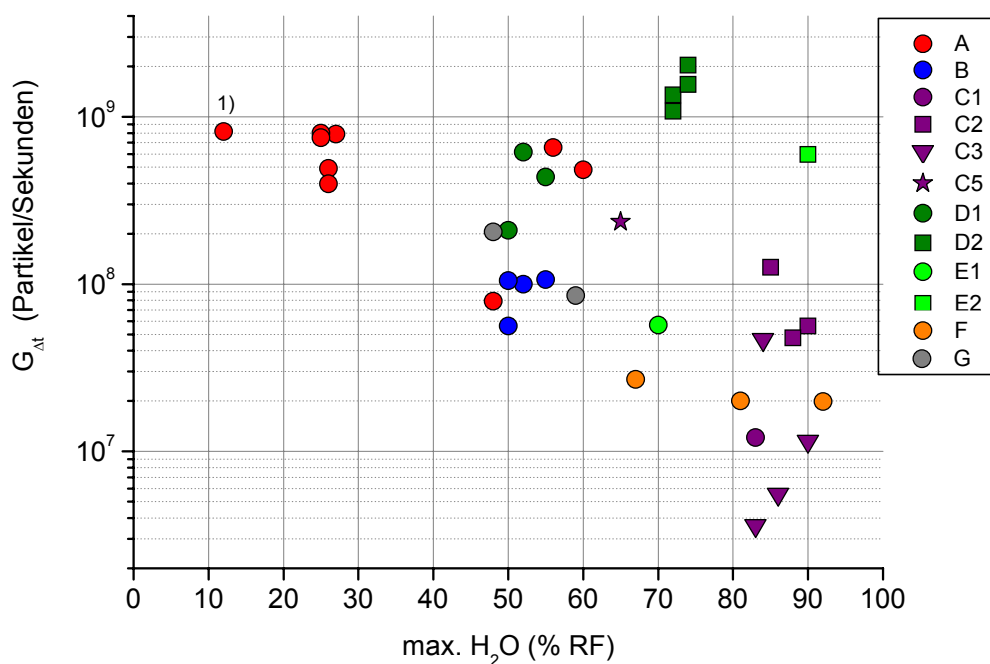


Abbildung 50: Zusammenhang zwischen der auf die Druckzeit normierten Gesamtpartikelemissionen und der Ozonemission

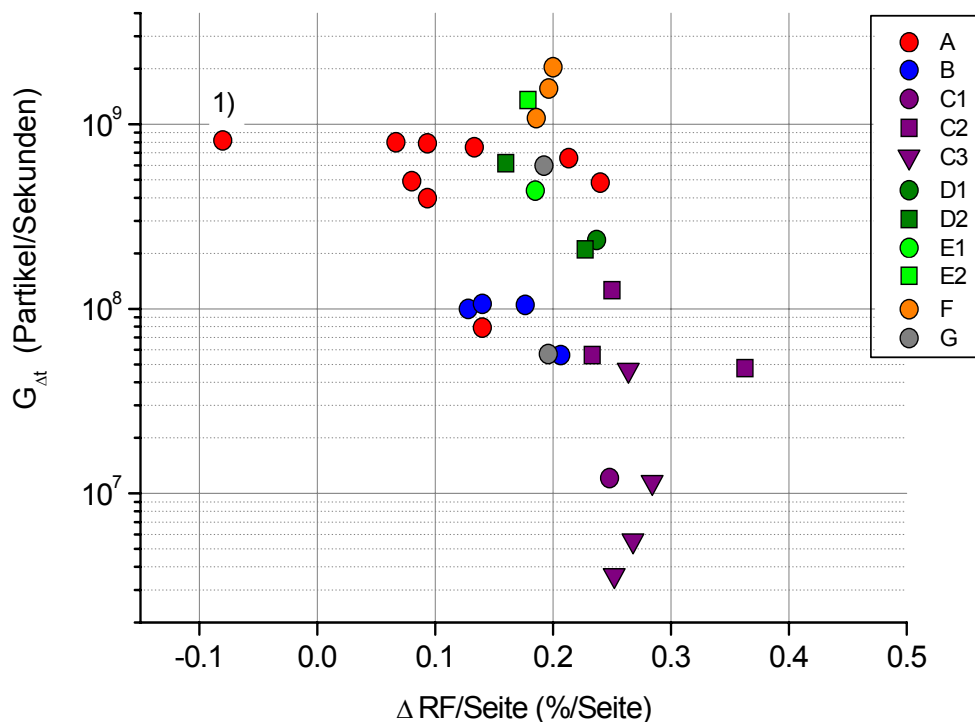
Lediglich die Drucker D2, und F zeigen eine erhöhte Ozonemission. Es kann kein eindeutiger Zusammenhang zwischen hoher Ozonkonzentration in der Prüfkammer und hoher Gesamtpartikelemission hergestellt werden, da auch bei sehr geringer Ozonkonzentration hohe Partikelemissionen auftreten.



1) vorgetrocknetes Papier

Abbildung 51: Zusammenhang zwischen der auf die Druckzeit normierten Gesamtpartikelemissionen und der Luftfeuchtigkeit in der Kammer

Während des Druckbetriebes setzt das vom Drucker erwärmte Papier Feuchtigkeit frei. Bei jeweils gleicher Kammerfeuchte variiert die Gesamtpartikelemission zwischen den Druckern um bis zu fast 2 Größenordnungen. Eine hohe Feuchte in der Prüfkammer bewirkt nicht zwangsläufig eine hohe Partikelemission. Die Daten zeigen einen Trend zu geringerem Partikelaustritt bei höherer Feuchte.



1) vorgetrocknetes Papier

Abbildung 52: Zusammenhang zwischen der auf die Druckzeit normierten Gesamtpartikelemissionen und der Feuchtigkeitsemission

Der Feuchtezuwachs pro Seite kann interpretiert werden als ein ungefähres Maß für die thermische Energie, die zum Fixieren des Toners auf dem Papier aufgewendet wird, gleichzeitig aber auch das Papier trocknet. Es kann davon ausgegangen werden, dass das Papier zu Beginn der Druckprozesse jeweils den gleichen Feuchtegehalt aufweist. Generell ist anhand der Messdaten zu beobachten, dass die nach dieser Interpretation mit wenig Energie fixierenden Drucker (z.B. Drucker A) höhere Partikelemissionen aufweisen, als die mit mehr Energie fixierenden Drucker (z.B. C2, C3). Die Verwendung vorgetrockneten Papiers (siehe 1) führt zu einer Trocknung der Kammeratmosphäre während des Druckvorgangs, jedoch nicht zu einer Reduzierung der Partikelemission.

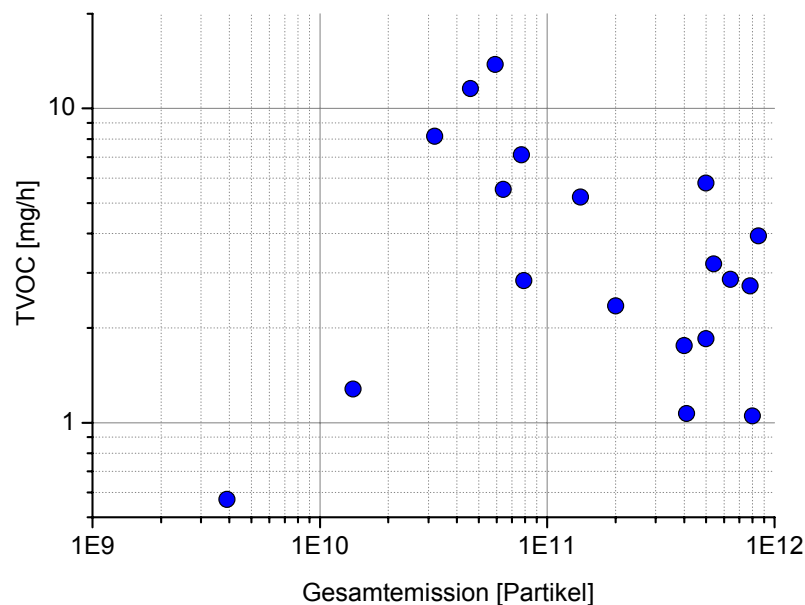


Abbildung 53: Zusammenhang zwischen Partikelemission und TVOC-Emission

Die TVOC-Emission und die Partikelemission der untersuchten Drucker sind nicht korrelierbar. Eine hohe TVOC-Emission bewirkt nicht in zwangsläufig eine hohe Partikelemission.

Insgesamt sind die Messungen der Emissionen von Ultrafeinpartikeln aus Laserdruckern in einer Emissionsprüfkammer sehr gut reproduzierbar, sowie quantitativ und zeitaufgelöst messbar. Die festgestellten Unterschiede von bis zu zwei Größenordnungen zwischen den verschiedenen Fabrikaten und Typen sind in erster Linie geräte- bzw. bauartbedingt. Eine gezielte Beeinflussung der Feuchteverhältnisse in der Kammer (z.B. durch vorgetrocknetes Papier) hatte keinen maßgeblichen Einfluss auf das Partikelemissionsverhalten. Ebenso wenig korrelieren die TVOC-Emission und die Ozon-Emission mit der Partikelemission. VOCs, SVOCs, Ozon und entstehender Wasserdampf sind daher eher als Begleiterscheinungen und nicht als bestimmende Faktoren oder Ursachen der Ultrafeinpartikelemission aus Laserdruckern anzusehen.

## 6 Ringversuch

### 6.1 VOC-, Staub- und Ozonemissionsmessungen

Alle zugelassenen Prüfinstitute mussten an einem Ringversuch teilnehmen, der zur Qualitätssicherung dienen sollte. Dazu wurden drei baugleiche Geräte in die USA, nach Japan / Südkorea und innerhalb Deutschlands verschickt. Die Geräte waren zum Zeitpunkt des Ringversuchs ca. 2 Jahre alt und waren im Laufe dieser Zeit mehrmals in der BAM untersucht worden. Alle Teilnehmer führten eine Prüfung nach RAL-UZ 122, Anhang 4, durch. Die Messungen erfolgten über einen Zeitraum von bis zu drei Monaten (Japan / Südkorea) nacheinander bei den Teilnehmern.

Die von der BAM vor dem Versand ermittelten Emissionsraten sind Abbildung 19 und Abbildung 20 zu entnehmen.

Die Ergebnisse aller Teilnehmer sind Tabelle 10 zu entnehmen.

Tabelle 10: Ergebnisse des Rundversuchs zur Druckerprüfung nach RAL-UZ 122

| Druckphase         | Emissionsrate in mg/h |              |             |             |             |
|--------------------|-----------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
|                    | TVOC                  | Benzol       | Styrol      | Ozon        | Staub       |
| Labor 1            | 3,42                  | 0,038        | 0,052       | 2,20        | 0,70        |
| Labor 2            | 4,70                  | 0,010        | 0,032       | 2,00        | 0,56        |
| Labor 3            | 3,90                  | 0,010        | 0,100       | 1,43        | 1,10        |
| Labor 4            | 1,94                  | <0,05        | 0,040       | 1,70        | 0,69        |
| Labor 5            | 2,79                  | 0,012        | 0,058       | 1,55        | 0,50        |
| Labor 6            | 3,20                  | 0,005        | 0,060       | 1,90        | 2,30        |
| Labor 7            | 1,72                  | 0,005        | 0,080       | 2,08        | <0,45       |
| Labor 8            | 7,00                  | 0,009        | 0,090       | 1,60        | <0,30       |
| Labor 9            | 5,40                  | 0,010        | 0,060       | 1,68        | 0,90        |
| Labor 10           | 7,16                  | <0,05        | 0,057       | 1,19        | 0,43        |
| Labor 11           | 2,70                  | 0,006        | 0,036       | 1,36        | 1,30        |
| Labor 12           | 3,27                  | 0,017        | 0,129       | 0,84        | 1,38        |
| <b>Mittelwert</b>  | <b>3,93</b>           | <b>0,012</b> | <b>0,07</b> | <b>1,63</b> | <b>0,99</b> |
| Standardabweichung | 1,80                  | 0,010        | 0,03        | 0,39        | 0,57        |
| STAB in %          | 46                    | 80           | 43          | 24          | 58          |

Die Standardabweichungen für TVOC und Styrol liegen hierbei in einem Bereich, wie er auch bei Rundversuchen an Bauprodukten für VOC ermittelt wurde. Die höhere Standardabweichung beim Benzol ist mit der sehr niedrigen Kammerkonzentration zu erklären.

Die Standardabweichung beim Ozon ist deutlich besser, allerdings waren für dieses Ergebnis Änderungen der Ozonhalbwertszeitbestimmung bei einigen Teilnehmern notwendig.

Die relativ hohen Abweichungen beim Staub bedürfen noch einer Aufklärung durch Diskussion mit den Teilnehmern zur Probenahme und Wägung. Eine Erklärung ist aber auch hier eine insgesamt geringe Staubemission.

## 7 Zusammenfassung

Die durchgeführten Untersuchungen an Laserdruckern dienten im Wesentlichen einer Überarbeitung des Prüfverfahrens für die Bestimmung von Emissionen aus Hardcopygeräten zum Umweltzeichen „Blauer Engel“ für Bürogeräte nach RAL-UZ 62, 85 und 114 vom Juni 2003. Das resultierende Prüfverfahren nach RAL-UZ 122 wurde schon im Juni 2006 veröffentlicht.

Die Änderungen im Vergleich zum Prüfverfahren vom Juni 2003 sind nachfolgend aufgelistet:

Vorgehen nach RAL-UZ 122:

- Kammerbeladung am Vortag
- Messung der  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  - Werte ohne Linearisierung der Graustufen
- Berechnung der Emissionsrate für Ozon erfolgt mit der Maximalkonzentration während der ersten 10 Minuten des Druckvorgangs
- Probenahme für VOC in der Nachlaufphase nur noch für die Zeit eines Luftwechsels
- Probenahmefluss für VOC bis zu 200 ml/min
- Quantifizierung unbekannter Substanzen mit Responsefaktor von Toluol (vorher: deuteriertes Toluol)
- Neue Berechnungsformel für die VOC-Emissionsrate der Druckphase
- VOC-Berücksichtigungsgrenze nicht mehr als Konzentration, sondern als Emissionsrate in Abhängigkeit von der Kammergröße
- Zusätzliche Angaben im Prüfbericht, insbesondere neues Formblatt
- Neue Farbvorlage ([www.ps.bam.de/RALUZ122](http://www.ps.bam.de/RALUZ122))
- Keine Aufrechterhaltung des Standby-Betriebs über 60 min, sondern Hersteller-Einstellung
- Zulassung von UV-Geräten für die Ozon-Bestimmung
- Bestimmung der Ozonhalbwertszeit bei geringer Ozonemission entfällt
- Zusätzliche Probenahme mit Carbosieve oder Carbotrap für die Bestimmung von Benzol

Neben der Überarbeitung des Prüfverfahrens wurden anhand der Messergebnisse für Farblaserdrucker neue Emissions-Höchstwerte für die Vergabegrundlage zum Umweltzeichen RAL-UZ 122 vom Umweltbundesamt in Zusammenarbeit mit der BAM festgelegt. Diese neuen Höchstwerte sind der Tabelle 11 zu entnehmen.

Tabelle 11: Zulässige Höchstwerte für Emissionsraten nach RAL-UZ 122

| <b>Stoff</b>  | <b>Emissionsrate<br/>Druckphase (mg/h)</b>                           |                                                                   | <b>Emissionsrate<br/>Bereitschaftsphase (mg/h).</b> |                                                          |
|---------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|               | <b>Mehrfarbendruck<br/>Summe<br/>Bereitschafts-<br/>+ Druckphase</b> | <b>Schwarzdruck<br/>Summe<br/>Bereitschafts-<br/>+ Druckphase</b> | <b>Tischgeräte</b>                                  | <b>Standgeräte<br/>(Gerätevolumen<br/>&gt;250 Liter)</b> |
| <b>TVOC</b>   | <b>18</b>                                                            | <b>10</b>                                                         | <b>1</b>                                            | <b>2</b>                                                 |
| <b>Benzol</b> | <b>&lt; 0,05</b>                                                     | <b>&lt; 0,05</b>                                                  |                                                     |                                                          |
| <b>Styrol</b> | <b>1,8</b>                                                           | <b>1,0</b>                                                        |                                                     |                                                          |
| <b>Ozon</b>   | <b>3,0</b>                                                           | <b>1,5</b>                                                        |                                                     |                                                          |
| <b>Staub</b>  | <b>4,0</b>                                                           | <b>4,0</b>                                                        |                                                     |                                                          |

Der Bericht stellt die Ergebnisse von Untersuchungen an mehr als 70 unterschiedlichen Druckern und Kopierern bezüglich der Emission von VOC, Ozon und Staub dar. Während die Voruntersuchungen die Auswertung von Prüfungen aus den Jahren 2003 bis 2004 zeigen, werden in den Hauptuntersuchungen die in den Jahren 2005 und 2006 durchgeführten Untersuchungen, insbesondere an Farblaserdruckern, ausgewertet.

Eine Überschreitung des für den Blauen Engel festgelegten Höchstwertes für die Staubemissionsrate von 4 mg/h wurde in keinem Fall festgestellt.

Während für Tischgeräte für die Ozonemission ebenfalls keine Überschreitung des Höchstwertes (2 mg/h nach RAL-UZ 114 bzw. 1,5 mg/h nach RAL-UZ 122) festge-

stellt werden konnte, wurde dieser Höchstwert von einigen Standgeräten überschritten.

Auch die VOC-Emissionen sind aus Standgeräten im Durchschnitt höher als aus Tischgeräten. Dies lässt sich durch die größere Gerätemasse und Oberfläche der Standgeräte erklären. Bei einer Berechnung der TVOC-Emissionsrate nach RAL-UZ 114 wurden bei höheren Bereitschaftsphasenemissionen für die Druckphase größere Emissionsraten ermittelt, als dies durch den eigentlichen Druckprozess tatsächlich der Fall ist. Deshalb wurde für das RAL-UZ 122 eine neue Berechnungsformel eingeführt. Die Anwendung dieser neuen Formel führt im Vergleich mit RAL-UZ 114 zu deutlich niedrigeren VOC-Emissionsraten in der Druckphase bei Geräten, die eine relativ hohe Bereitschaftsphasenemission aufweisen.

Bemerkenswert ist, dass bei den Prüfungen von Farbdruckern einige Geräte im Farbdruck ähnliche TVOC-Emissionsraten aufwiesen, wie beim monochromen Druck, obwohl die Bedeckung von 20 % viermal so hoch ist und der Tonerverbrauch dabei auch deutlich höher ist. Anscheinend enthalten manche farbigen Toner deutlich weniger VOC als der schwarze Toner.

Beim Vergleich von Geräten, die nur zu Prüfungszwecken in Betrieb waren und ansonsten verpackt blieben, mit Geräten die über mehrere Monate in realem Gebrauch waren, zeigte sich über den Zeitraum von 2 Monaten bei den Geräten im täglichen Gebrauch eine deutlich stärkere Abnahme der TVOC-Emissionsrate. Die Ozonemissionsrate änderte sich hingegen kaum.

Bei Untersuchungen zur Übereinstimmung von Messergebnissen bei der Prüfung von baugleichen Geräten konnte für die Ozonemission eine gute Reproduzierbarkeit gefunden werden. Die TVOC-Emissionsrate kann durch den Einsatz von Tonerkartuschen aus unterschiedlichen Produktionschargen dagegen stärker schwanken. Dies gilt auch für einzelne VOC.

Ein proportionaler Zusammenhang zwischen Druckgeschwindigkeit und TVOC-Emissionsrate wurde nicht gefunden. Eine Erklärung dafür ist die im Durchschnitt größere Helligkeit  $L^*$ , d.h. eine geringere Schwärzung bei schnelleren Druckern.

Schnellere Drucker verbrauchen damit weniger Toner pro Seite, wodurch eine eventuelle VOC-Emission vermindert wird.

Die durchgeführten Untersuchungen zur Staubcharakterisierung erbrachten leider keine eindeutigen Ergebnisse. Zwar konnten bei der Staubprobenahme auf den Glasfaserfiltern Tonerpartikel nachgewiesen werden, der Nachweis von Papierstaub auf den Glasfaserfiltern war bisher allerdings nicht möglich. Somit können keine Aussagen zum Anteil von Papierstaub an der Gesamtstaubemission gemacht werden.

Der Einsatz von Partikelspektrometern zur Partikelzählung bestätigte das Auftreten von Ultrafeinstaub beim Laserdruckerbetrieb. Dabei wurden für die untersuchten Laserdrucker sehr unterschiedliche Partikelspektren mit zeitlicher Änderung der Partikelgrößen gefunden. Eine chemische Charakterisierung des Ultrafeinstaubes gelang bis jetzt nicht. Mögliche Quellen für die Nanopartikel könnten der Toner, das Papier oder VOC/SVOC-Emissionen sein. Für eine genauere Charakterisierung der Fein- und Ultrafeinstaubpartikel sind weitere Untersuchungen notwendig.

Hierfür werden Methoden benötigt, mit denen die ultrafeinen Partikel größenklassiert abgeschieden und einer weiteren physikalischen und chemischen Analyse zugänglich gemacht werden.

Insgesamt sind die Messungen der Emissionen von Ultrafeinpartikeln aus Laserdruckern in einer Emissionsprüfkammer sehr gut reproduzierbar, sowie quantitativ und zeitaufgelöst messbar.

Für eine Aufnahme der Partikelzählung in das Emissions-Prüfverfahrens nach RAL-UZ 122 und eine Festsetzung von Grenzwerten für Partikelemissionen besteht aber noch weiterer Forschungsbedarf zu folgenden Aspekten:

- Vergleichbarkeit von Messungen mit unterschiedlichen Partikelzählern (Messprinzipien, Probenvolumenströme, Messbereiche)
- Messungen in unterschiedlichen Emissionsprüfkammern (Kammervolumen, Luftwechsel, Luftströmung, Hintergrundkonzentration, Klima)
- unterschiedlichen Methoden bei der Auswertung der aufgenommen Daten (Bestimmung von Emissionsraten, Partikelanzahlkonzentrationen, Partikelmassenkonzentrationen, Gesamtpartikelemissionen)

## 8 Literaturverzeichnis

Bake D, Moriske HJ (2006): Untersuchungen zur Freisetzung feiner und ultrafeiner Partikel beim Betrieb von Laserdruck-Geräten. Umweltmed Forsch Prax 11(5) , 301-308

Black M. S., Worthan A. W. 1999. Emissions from office equipment. Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference on Indoor Air Quality and Climate - Indoor Air '99, Vol 2, pp 454-459. Edinburgh.

Brown SK. Assessment of pollutant emissions from dry-process photocopiers. Indoor Air 9 (1999), 259-267

CIE Dokument Nr.15, Colorimetry, 2004

DIN 33870, Ausgabe: 2001-01 Informationstechnik - Büro- und Datentechnik - Anforderungen und Prüfungen für die Aufbereitung von gebrauchten Tonermodulen schwarz für elektrophotographische Drucker, Kopierer und Fernkopierer

DIN EN 717-1, Ausgabe: 2005-01 Holzwerkstoffe - Bestimmung der Formaldehydabgabe - Teil 1: Formaldehydabgabe nach der Prüfkammer-Methode; Deutsche Fassung EN 717-1: 2004

DIN EN ISO 16000-9: Innenraumluftverunreinigungen-Teil 9: Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen aus Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen - Emissionsprüfkammer-Verfahren, Juni 2006

DIN Fachbericht 155: Informationstechnik – Büro- und Datentechnik - Anforderungen an wiederaufbereitete Druckmodule mit Toner – Monochrom/farbig, 2007

DIN ISO 16000-6: Innenraumluftverunreinigungen-Teil 6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern, Probenahme auf Tenax TA, thermische Desorption und Gaschromatographie mit MS/FID, Dezember 2004

ECA-Report No. 2, Formaldehyde Emission from Wood Based Materials: Guideline for the determination of steady state concentrations in test chambers. EUR 12196 EN, April 1989

ECMA-Standard 328, Detection and measurement of chemical emissions from electronic equipment, August 2006 ([www.ecma.ch](http://www.ecma.ch))

Ewers U, Novak D (2006): Erkrankungen durch Emissionen aus Laserdruckern und Kopiergeräten? Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, 66 (5), 203-210

Heiman M, Nies E. Prüfkammerkonzept zur Untersuchung des Emissionsverhaltens von Büromaschinen. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, 61 (2001), Nr.7/8, 333

Henschel D B, Fortmann R C, Roache N F, Liu X. Potential for reducing styrene exposures from copied paper through use of low-emitting toners. Proceedings of Indoor Air 2002, Monterey, 631-636

Hohensee H, Flowerday U, Oberdick J. Zum Emissionsverhalten von Farbkopiergeräten und Farblaserdruckern. Die BG (2000), Nr.11, 659-662

ISO/IEC 28360: Information technology – Office equipment – Determination of Chemical Emission Rates from Electronic Equipment, 2007

Ito A., 2005, persönliche Mitteilung

Jann O, Wilke O: Möglichkeiten und Grenzen bei der Bestimmung von SVOC-Emissionen aus Materialien und Produkten. VDI-Bericht Nr. 1656, 2002, S. 357-367

Jann O, Rockstroh J, Wilke O, Noske R, et al. 2003. Development of a test method for and investigation into limiting emissions from printers and copiers within the framework of assigning the environmental label. UBA-Research Report 201 95 311/02, German Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt, UBA), UBA-Texte 88/03, Berlin/Germany

Jann O, Rockstroh J, Wilke O, et al. 2005. Influence of emissions from hardcopy devices to indoor air quality. Proceedings of Indoor Air 2005, 2123-2128

Jann O, Wilke O, (2006): Emissionen aus Laserdruckern und -kopierern. Umweltmed Forsch Prax 11(5), 309-317

Jungnickel F, Kubina A, Fischer H. Benzolemissionen aus Laserdruckern und Kopieren. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, 63 (2003), Nr.5, 193-196

Kagi et al. (2007): Indoor air quality for chemical and ultrafine particle contaminants from printers, Building and Environment, 42, 1949-1954

Leovic K, Whitaker D, Norheim C, Sheldon L. Evaluation of a test method for measuring indoor air emissions from dry-process photocopiers. J Air Waste Manage Assoc 48 (1998), 915-923

Meyer U, Möhle K, Eyerer P, et al.: Entwicklung, Bau und Inbetriebnahme einer 1 m<sup>3</sup>-Bauteilmesskammer zur Bestimmung von Emissionen aus Endprodukten. Staub - Reinhaltung der Luft 54, 1994: S. 137 - 142.

Nies E, Blome H, Brüggemann-Priesshoff H: Charakterisierung von Farbtonern und Emissionen aus Farbkopierern/Farblaserdruckern. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 60 (2000), 435-441

RAL-UZ 122: Bürogeräte mit Druckfunktion, Ausgabe: Juni 2006, [www.blauer-engel.de](http://www.blauer-engel.de)

Rockstroh J, Jann O, Wilke O, Noske R, Brödner D, Schneider U, Horn W. (2003) Investigations of VOC-, Ozone- and Dust Emissions from Hardcopy Devices (Printers, Copiers And Multifunction Devices) in Test Chambers - Development of a Test Method. Healthy Buildings, Proceedings of ISIAQ 7<sup>th</sup> international conference, Vol. 1, p. 397-403, Singapore.

Rockstroh J, Jann O, Wilke O, Horn W: Development of a reliable test method for laser printers, copiers and multifunctional devices in emission test chambers - Part 1. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, 65 (2005) 3: 71-80

Seeger S, Wilke O, Bucker M and Jann O. Time- and Size-Resolved Characterization of Particle Emissions from Office Machines with Printing Function. Proceedings of Healthy Buildings (2006), Vol. 2, 447-450

Seifert B.: Richtwerte für die Innenraumluft, Bundesgesundheitsblatt 1999, 42, 270-278.

Smola T., Georg H., Hohensee H.: Gesundheitsgefahren durch Laserdrucker? Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 62 (2002), 295 - 301

Tuomi T, Engström B, et al. Emission of ozone and organic volatiles from a selection of laser printers and photocopiers. Appl. Occup. Environ. Hyg. 15 (2000), 629-634

Wensing M, Kummer T., Riemann A., Schwampe W. 2002. Emissions from electronic devices: examination of computer monitors and laser printers in a 1 m<sup>3</sup> emission test chamber. Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Conference on Indoor Air Quality and Climate - Indoor Air '02, Vol 2 pp 554-559. Monterey: Indoor Air '02.

Wolkoff P, Wilkins C K, Clausen P A, Larsen K. Comparison of volatile organic compounds from processed paper and toners from office copiers and printers. Indoor Air 3, 1993, 113-123

Yazaki N, 2005, persönliche Mitteilung

## 9 Abkürzungsverzeichnis

|        |                                                                                  |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------|
| a*     | Buntheit nach CIE                                                                |
| b*     | Buntheit nach CIE                                                                |
| BITKOM | Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V.     |
| BG     | Bestimmungsgrenze                                                                |
| CIE    | Internationale Beleuchtungskommission (Commission internationale de l'éclairage) |
| DIN    | Deutsches Institut für Normung                                                   |
| DKD    | Deutscher Kalibrierdienst                                                        |
| ECA    | European Collaborative Action                                                    |
| ECMA   | European Computer Manufacturer Association                                       |
| EDX    | Energiedispersive Röntgenmikroanalyse                                            |
| ESEM   | Environmental Scanning Electron Microscope                                       |
| FID    | Flammenionisationsdetektor                                                       |
| GC     | Gaschromatographie                                                               |
| IEC    | International Electrotechnical Commission                                        |
| ISO    | International Organization for Standardization                                   |
| JBMIA  | Japan Business Machine and Information System Industries Association             |
| L*     | Helligkeit nach CIE                                                              |
| LGA    | Landesgewerbeanstalt (Nürnberg)                                                  |
| MS     | Massenspektrometer                                                               |
| NG     | Nachweisgrenze                                                                   |
| RAL    | Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V.                      |
| SVOC   | Semi Volatile Organic Compound                                                   |
| TEM    | Transmissionselektronenmikroskopie                                               |
| TDS    | Thermodesorption                                                                 |
| TVOC   | Total Volatile Organic Compounds                                                 |
| UBA    | Umweltbundesamt                                                                  |
| UZ     | Umweltzeichen                                                                    |
| VOC    | Volatile Organic Compound                                                        |
| VVOC   | Very Volatile Organic Compound                                                   |

## 10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: 1 m<sup>3</sup>-Emissionsmesskammer, beladen mit einem Drucker

Abbildung 2: 1 m<sup>3</sup>-Emissionsmesskammer, kompletter Messplatz

Abbildung 3: 20 m<sup>3</sup> - Emissionsmesskammer, beladen mit einem Drucker

Abbildung 4: Chromatogramm einer Probenahme an einer leeren Kammer  
(Probenahmenvolumen 2 L, interner Standard Cyclodekan mit 20 ng)

Abbildung 5: TVOC-Emissionsraten für 30 unterschiedliche Tischgeräte

Abbildung 6: TVOC-Emissionsraten für 30 unterschiedliche Standgeräte

Abbildung 7: Haupt-VOC in der Druckbereitschaft

Abbildung 8: Haupt-VOC aus der Druckphase

Abbildung 9: Ozon-Emissionsraten

Abbildung 10: Staub-Emissionsraten

Abbildung 11: Emissionsraten von Farbdruckern (TVOC)

Abbildung 12: Emissionsraten von Farbdruckern (Ozon)

Abbildung 13: Emissionsraten von Farbdruckern (Staub)

Abbildung 14: Alterung eines Druckers

Abbildung 15: Alterung eines Druckers im täglichen Gebrauch für monochromen (sw)

Abbildung 16: Alterung eines Druckers im täglichen Gebrauch (2)

Abbildung 17: Ergebnisse der Prüfung von baugleichen Geräten (Geräte neu, Toner

Abbildung 18: Ergebnisse der Prüfung von baugleichen Geräten (Geräte neu, Toner

Abbildung 19: Ergebnisse der Prüfung von baugleichen Geräten (Geräte ca. 2 Jahre

Abbildung 20: Ergebnisse der Prüfung von baugleichen Geräten (Geräte ca. 2 Jahre  
alt, Toner aus einer Charge)

Abbildung 21: Einfluss unterschiedlicher Tonerkartuschen auf die Emissionen

Abbildung 22: Einfluss unterschiedlicher Tonerkartuschen auf die Emissionen

Abbildung 23: Korrelation von TVOC-Wert und Druckgeschwindigkeit für die  
Standgeräte aus den Voruntersuchungen im schwarz-weiß Druck

Abbildung 24: Korrelation von TVOC-Wert und Druckgeschwindigkeit für die  
Tischgeräte aus den Voruntersuchungen im schwarz-weiß Druck

Abbildung 25: Korrelation von TVOC-Wert und Druckgeschwindigkeit für die Geräte  
aus den Hauptuntersuchungen im Farbdruck

Abbildung 26: Korrelation von TVOC-Wert und Druckgeschwindigkeit für die Geräte  
aus den Hauptuntersuchungen im schwarz-weiß Druck

Abbildung 27: Konzentrationsverlauf für die Bereitschaftsphase über 21 Tage

- Abbildung 28: Korrelation von Druckgeschwindigkeit und Helligkeit
- Abbildung 29: Korrelation von Helligkeit und TVOC-Emissionsrate
- Abbildung 30: Glasfaserfilter, Emissionsprüfkammermessung
- Abbildung 31: Glasfaserfilter, Emissionsprüfkammermessung
- Abbildung 32: Glasfaserfilter, Emissionsprüfkammermessung
- Abbildung 33: Toner nach Druck auf Papier
- Abbildung 34: Toner nach Druck auf Papier
- Abbildung 35: EDX-Vergleich von Toner auf Papier (rot) und reinem Toner (schwarze Linie)
- Abbildung 36: Toner auf Filter gestreut
- Abbildung 37: ESEM-Aufnahme Papier, unbedruckt
- Abbildung 38: EDX-Spektrum Papierfaser (rot), kristalline helle Bereiche (schwarz)
- Abbildung 39: Tonerpartikel Oberflächenabbildung
- Abbildung 40: EDX-linescan Fe -> gelb
- Abbildung 41: TEM-Aufnahme eines Tonerpartikels
- Abbildung 42: EDX –Analyse im Bereich der kleinen Partikel
- Abbildung 43: schematischer Konzentrationsverlauf für eine Druckerprüfung
- Abbildung 44: Auswirkung der Ozonemission auf die Benzol-Bestimmung
- Abbildung 45: Änderung von Partikelgröße und Intensität der Partikelemission während des Druckprozesses (markiert durch blaue Linien) und der Nachlaufphase. Die Konzentrationsangaben  $C_{P\ Mess}(t)$  sind jeweils normiert auf die Maxemalemission.
- Abbildung 46: berechnete Partikel-Emissionsraten  $SEP_{\square D}(t)$  für vier Größenbereiche, sowie die totalen Emissionsraten  $SEP(t)$ , jeweils während der Druckphase
- Abbildung 47: Kammerparameter Feuchte, Ozonkonzentration und Stromaufnahme des Druckers während des Druckbetriebs
- Abbildung 48: Auf die Druckzeit normierte Gesamtpartikelemissionen  $G_{\square t}$  bei Farbdruck (20% Bedeckung) auf Papier
- Abbildung 49: Auf die Druckzeit normierte Gesamtpartikelemissionen  $G_{\square t}$  bei s/w-Druck (5% Bedeckung) auf Papier
- Abbildung 50: Zusammenhang zwischen der auf die Druckzeit normierten Gesamtpartikelemissionen und der Ozonemission
- Abbildung 51: Zusammenhang zwischen der auf die Druckzeit normierten Gesamtpartikelemissionen und der Luftfeuchtigkeit in der Kammer

Abbildung 52: Zusammenhang zwischen der auf die Druckzeit normierten Gesamtpartikelemissionen und der Feuchtigkeitsemission

Abbildung 53: Zusammenhang zwischen Partikelemission und TVOC-Emission

Abbildung 54: Druckvorlage 5% Flächendeckung, schwarz, nach DIN 33870

Abbildung 55: Druckvorlage für die Prüfung von Farbgeräten, 20% Flächendeckung

Abbildung 56: Ozonanalysator

Abbildung 57: Partikelspektrometer Grimm 1.108 Portable Aerosol Spectrometer

Abbildung 58: Partikelspektrometer TSI 3080L SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer), Steuergerät (a), Klassierer (b) und Kondensations-Partikelzähler (c).

Abbildung 59: Anordnung der Partikelspektrometer an der 1 m<sup>3</sup> Testkammer

Abbildung 60: Ultramikrowaage

Abbildung 61: Gaschromatograph mit Thermodesorptionssystem und MS-Detektor

---

## 11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zulässige Höchstwerte der nach Anhang 4 zu RAL-UZ 62, 85, 114 ermittelten Emissionsraten

Tabelle 2: Darstellung der Parameter in den eingesetzten Emissionsmesskammern

Tabelle 3: NG und BG der gravimetrischen Staubbestimmung

Tabelle 4: NG und BG der Ozonbestimmung

Tabelle 5: NG und BG der Einzel - VOC - Bestimmung

Tabelle 6: Vergleich von TVOC-Wert und Tonerverbrauch

Tabelle 7: Vergleich der Emissionsraten nach UZ 114 und 122 für Tischgeräte

Tabelle 8: Vergleich der Emissionsraten nach UZ 114 und 122 für Standgeräte

Tabelle 9: Übersicht der Messungen mit Partikelspektrometern

Tabelle 10: Ergebnisse des Rundversuchs zur Druckerprüfung nach RAL-UZ 122

Tabelle 11: Zulässige Höchstwerte für Emissionsraten nach RAL-UZ 122

## 12 Anhang

### 12.1 Zusammenstellung aller Messergebnisse für VOCs

Bereitschaftsphase Gerät A monochrom

| Substanz                                                          | CAS-Nr.              | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|-------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|
| Butanol                                                           | 71-36-3              | 13                       | 0,01                    |
| Benzol                                                            | 71-43-2              | <NG                      | <NG                     |
| Toluol                                                            | 108-88-3             | 6                        | 0,01                    |
| n-Butylacetat                                                     | 141-32-2             | 4                        | 0,00                    |
| Ethylbenzol                                                       | 100-41-4             | 6                        | 0,01                    |
| m,p-Xylol                                                         | 108-38-3<br>106-42-3 | 4                        | 0,00                    |
| Styrol                                                            | 100-42-5             | 21                       | 0,02                    |
| o-Xylol                                                           | 95-47-6              | 2                        | 0,00                    |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7             | 3                        | 0,00                    |
| Phenol                                                            | 108-95-2             | 22                       | 0,02                    |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7             | 4                        | 0,00                    |
| Acetophenon                                                       | 98-86-2              | 6                        | 0,01                    |
| Nonanal                                                           | 124-19-6             | 5                        | 0,0                     |
| Decamethylpentacyclosiloxan                                       | 541-02-6             | 7                        | 0,01                    |
| Isothiocyancyclohexan<br>[Toluoläquivalent ]                      | 1122-82-3            | 7                        | 0,01                    |
| Dodekan                                                           | 112-40-3             | 3                        | 0,00                    |
| Tridekan<br>[Dodekanäquivalent ]                                  | 629-50-5             | 3                        | 0,00                    |
| Tetradekan                                                        | 629-59-4             | 3                        | 0,00                    |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |                      | 119                      | 0,11                    |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |                      | 13                       | 0,01                    |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |                      | <b>130</b>               | <b>0,12</b>             |

Druckphase Gerät A monochrom

| Substanz                    | CAS-Nr.              | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|-----------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|
| Butanol                     | 71-36-3              | 18                       | 0,21                    |
| Benzol                      | 71-43-2              | <NG                      | <NG                     |
| Toluol                      | 108-88-3             | 3                        | 0,03                    |
| Hexanal                     | 66-25-1              | 5                        | 0,06                    |
| Ethylbenzol                 | 100-41-4             | 4                        | 0,05                    |
| m,p-Xylol                   | 108-38-3<br>106-42-3 | 2                        | 0,02                    |
| Styrol                      | 100-42-5             | 42                       | 0,50                    |
| Benzaldehyd                 | 100-52-7             | 3                        | 0,04                    |
| Phenol                      | 108-95-2             | 10                       | 0,12                    |
| Ethylhexanol                | 104-76-7             | 3                        | 0,03                    |
| Decamethylpentacyclosiloxan | 541-02-6             | 5                        | 0,05                    |

|                                                                   |           |            |             |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|------------|-------------|
| Isothiocyancyclohexan<br>[Toluoläquivalent]                       | 1122-82-3 | 4          | 0,05        |
| Decanal                                                           | 112-31-2  | 3          | 0,04        |
| Tetradecan                                                        | 629-59-4  | 2          | 0,02        |
| o-Hydroxybiphenyl<br>[Toluoläquivalent]                           | 90-43-7   | 5          | 0,06        |
| BHT                                                               | 128-37-0  | 3          | 0,03        |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |           | 112        | 1,31        |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |           | 495        | 5,80        |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |           | <b>607</b> | <b>7,11</b> |

### Zusammenfassung Gerät A monochrom

| Emittent        | Anforderungen zur Umweltzeichenvergabe |                              | ermittelte Emissionsraten |                              |
|-----------------|----------------------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|
|                 | Druckphase<br>[mg/h]                   | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] | Druckphase<br>[mg/h]      | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] |
| TVOC            | 10                                     | 1                            | 7,11                      | 0,12                         |
| Benzol (Benzen) | 0,05                                   | –                            | <NG                       | <NG                          |
| Styrol (Styren) | 1,0                                    | –                            | 0,50                      | 0,02                         |
| Ozon            | 2                                      | –                            | <NG                       | <NG                          |
| Staub           | 4                                      | –                            | 0,085                     | –                            |

### Bereitschaftsphase Gerät A farbig

| Substanz                                                          | CAS-Nr.              | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|-------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|
| Butanol                                                           | 71-36-3              | 9                        | 0,01                    |
| Benzol                                                            | 71-43-2              | <NG                      | <NG                     |
| Toluol                                                            | 108-88-3             | 7                        | 0,01                    |
| n-Butylacetat                                                     | 141-32-2             | 4                        | 0,00                    |
| Ethylbenzol                                                       | 100-41-4             | 5                        | 0,00                    |
| m,p-Xylol                                                         | 108-38-3<br>106-42-3 | 4                        | 0,00                    |
| Styrol                                                            | 100-42-5             | 17                       | 0,02                    |
| o-Xylol                                                           | 95-47-6              | 2                        | 0,00                    |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7             | 3                        | 0,00                    |
| Phenol                                                            | 108-95-2             | 19                       | 0,02                    |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7             | 3                        | 0,00                    |
| Acetophenon                                                       | 98-86-2              | 5                        | 0,00                    |
| Decamethylpentacyclosiloxan                                       | 541-02-6             | 6                        | 0,01                    |
| Isothiocyancyclohexan<br>[Toluoläquivalent]                       | 1122-82-3            | 6                        | 0,01                    |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |                      | 90                       | 0,09                    |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |                      | 19                       | 0,02                    |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |                      | <b>108</b>               | <b>0,11</b>             |

|                 |  |  |
|-----------------|--|--|
| ter Substanzen) |  |  |
|-----------------|--|--|

## Druckphase Gerät A farbig

| Substanz                                                          | CAS-Nr.              | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|-------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|
| Butanol                                                           | 71-36-3              | 15                       | 0,17                    |
| Benzol                                                            | 71-43-2              | <NG                      | <NG                     |
| Toluol                                                            | 108-88-3             | 4                        | 0,04                    |
| Hexanal                                                           | 66-25-1              | 5                        | 0,06                    |
| n-Butylacetat                                                     | 141-32-2             | 3                        | 0,03                    |
| Ethylbenzol                                                       | 100-41-4             | 8                        | 0,09                    |
| m,p-Xylol                                                         | 108-38-3<br>106-42-3 | 2                        | 0,03                    |
| Styrol                                                            | 100-42-5             | 94                       | 1,09                    |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7             | 7                        | 0,08                    |
| Phenol                                                            | 108-95-2             | 9                        | 0,11                    |
| Octamethyltetraacyclosiloxan I                                    | 556-67-2             | 5                        | 0,06                    |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7             | 3                        | 0,04                    |
| Nonanal                                                           | 124-19-6             | 4                        | 0,05                    |
| Decamethylpentacyclosiloxan                                       | 541-02-6             | 7                        | 0,08                    |
| Isothiocyancyclohexan<br>[Toluoläquivalent ]                      | 1122-82-3            | 4                        | 0,05                    |
| Tetradecan                                                        | 629-59-4             | 2                        | 0,02                    |
| o-Hydroxybiphenyl<br>[Toluoläquivalent ]                          | 90-43-7              | 6                        | 0,08                    |
| BHT                                                               | 128-37-0             | 3                        | 0,03                    |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |                      | 181                      | 2,11                    |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |                      | 1669                     | 19,5                    |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |                      | <b>1850</b>              | <b>21,6</b>             |

## Zusammenfassung Gerät A farbig

| Emittent        | Anforderungen zur Umweltzeichenvergabe |                              | ermittelte Emissionsraten |                              |
|-----------------|----------------------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|
|                 | Druckphase<br>[mg/h]                   | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] | Druckphase<br>[mg/h]      | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] |
| TVOC            | 10                                     | 1                            | 21,6                      | 0,11                         |
| Benzol (Benzen) | 0,05                                   | –                            | <NG                       | <NG                          |
| Styrol (Styren) | 1,0                                    | –                            | 1,09                      | 0,02                         |
| Ozon            | 2                                      | –                            | <NG                       | <NG                          |
| Staub           | 4                                      | –                            | 0,280                     | –                            |

## Bereitschaftsphase Gerät B monochrom

| Substanz | CAS-Nr. | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|----------|---------|--------------------------|-------------------------|
|----------|---------|--------------------------|-------------------------|

|                                                                   |                   |           |             |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------|-------------|
| Benzol                                                            | 71-43-2           | 5         | 0,01        |
| Toluol                                                            | 108-88-3          | 21        | 0,02        |
| Ethylbenzol                                                       | 100-41-4          | 6         | 0,01        |
| m,p-Xylol                                                         | 108-38-3/106-42-3 | 2         | 0,00        |
| Styrol                                                            | 100-42-5          | 5         | 0,01        |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7          | 3         | 0,00        |
| Phenol                                                            | 108-95-2          | 6         | 0,01        |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7          | 2         | 0,00        |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |                   | 50        | 0,06        |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |                   | 7         | 0,01        |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |                   | <b>57</b> | <b>0,07</b> |

### Druckphase Gerät B monochrom

| Substanz                                                          | CAS-Nr.           | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| Benzol                                                            | 71-43-2           | 6                        | 0,17                    |
| Toluol                                                            | 108-88-3          | 24                       | 0,69                    |
| Hexanal                                                           | 66-25-1           | 5                        | 0,14                    |
| n-Butylacetat                                                     | 123-86-11         | 4                        | 0,11                    |
| Ethylbenzol                                                       | 100-41-4          | 13                       | 0,37                    |
| m,p-Xylol                                                         | 108-38-3/106-42-3 | 3                        | 0,07                    |
| Styrol                                                            | 100-42-5          | 7                        | 0,20                    |
| o-Xylol                                                           | 95-47-6           | 4                        | 0,12                    |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7          | 12                       | 0,34                    |
| Phenol                                                            | 108-95-2          | 7                        | 0,21                    |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7          | 6                        | 0,16                    |
| Nonanal                                                           | 124-19-6          | 6                        | 0,18                    |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6          | 3                        | 0,10                    |
| Tetradekan                                                        | 629-59-4          | 2                        | 0,07                    |
| Pentadekan                                                        | 629-62-9          | 2                        | 0,06                    |
| Hydroxybiphenyl                                                   | 90-43-7           | 3                        | 0,10                    |
| BHT                                                               | 128-37-0          | 6                        | 0,18                    |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |                   | 113                      | 3,27                    |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |                   | 101                      | 2,92                    |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |                   | <b>214</b>               | <b>6,19</b>             |

### Zusammenfassung Gerät B monochrom

| Emittent        | Anforderungen zur Umweltzeichenvergabe |                              | ermittelte Emissionsraten |                              |
|-----------------|----------------------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|
|                 | Druckphase<br>[mg/h]                   | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] | Druckphase<br>[mg/h]      | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] |
| TVOC            | 10                                     | 1                            | 6,19                      | 0,07                         |
| Benzol (Benzen) | 0,05                                   | -                            | 0,17                      | 0,01                         |
| Styrol (Styren) | 1,0                                    | -                            | 0,20                      | 0,01                         |

|       |   |   |     |      |
|-------|---|---|-----|------|
| Ozon  | 2 | - | 2,2 | < NG |
| Staub | 4 | - | 0,3 | -    |

## Bereitschaftsphase Gerät C monochrom

| Substanz                                                          | CAS-Nr.   | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------|-------------------------|
| Butanol                                                           | 71-36-3   | 64                       | 0,07                    |
| Benzol                                                            | 71-43-2   | <NG                      | <NG                     |
| Toluol                                                            | 108-88-3  | 7                        | 0,01                    |
| Hexanal                                                           | 66-25-1   | 2                        | 0,00                    |
| Hexamethylcyclotrisiloxan                                         | 541-05-09 | 7                        | 0,01                    |
| Styrol                                                            | 100-42-5  | 19                       | 0,02                    |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7  | 3                        | 0,00                    |
| Phenol                                                            | 108-95-2  | 9                        | 0,01                    |
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                       | 556-67-2  | 9                        | 0,01                    |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7  | 6                        | 0,01                    |
| Acetophenon                                                       | 98-86-2   | 2                        | 0,00                    |
| Nonanal                                                           | 124-19-6  | 6                        | 0,01                    |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6  | 7                        | 0,01                    |
| Dodekan                                                           | 112-40-3  | 2                        | 0,00                    |
| Tetradekan                                                        | 629-59-4  | 2                        | 0,00                    |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |           | 145                      | 0,16                    |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |           | 59                       | 0,06                    |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |           | <b>204</b>               | <b>0,22</b>             |

## Druckphase Gerät C monochrom

| Substanz                                                     | CAS-Nr.   | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|--------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------|-------------------------|
| Butanol                                                      | 71-36-3   | 81                       | 2,21                    |
| Benzol <sup>x</sup>                                          | 71-43-2   | 1                        | 0,02                    |
| Propandiol                                                   | 57-55-6   | 5                        | 0,13                    |
| Toluol                                                       | 108-88-3  | 7                        | 0,20                    |
| Hexanal                                                      | 66-25-1   | 4                        | 0,10                    |
| Hexamethylcyclotrisiloxan                                    | 541-05-09 | 3                        | 0,08                    |
| Styrol                                                       | 100-42-5  | 11                       | 0,29                    |
| Benzaldehyd                                                  | 100-52-7  | 4                        | 0,10                    |
| Phenol                                                       | 108-95-2  | 5                        | 0,14                    |
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                  | 556-67-2  | 4                        | 0,10                    |
| Ethylhexanol                                                 | 104-76-7  | 7                        | 0,18                    |
| Acetophenon                                                  | 98-86-2   | 2                        | 0,06                    |
| Nonanal                                                      | 124-19-6  | 4                        | 0,12                    |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                  | 541-02-6  | 3                        | 0,07                    |
| Tetradekan                                                   | 629-59-4  | 2                        | 0,07                    |
| Hydroxybiphenyl                                              | 90-43-7   | 6                        | 0,17                    |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen) |           | 148                      | 4,02                    |

|                                                                   |  |            |             |
|-------------------------------------------------------------------|--|------------|-------------|
| zierte Substanzen)                                                |  |            |             |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |  | 65         | 1,75        |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |  | <b>213</b> | <b>5,77</b> |

## Zusammenfassung Gerät C monochrom

| Emittent        | Anforderungen zur Umweltzeichenvergabe |                              | ermittelte Emissionsraten |                              |
|-----------------|----------------------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|
|                 | Druckphase<br>[mg/h]                   | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] | Druckphase<br>[mg/h]      | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] |
| TVOC            | 10                                     | 1                            | 5,77                      | 0,22                         |
| Benzol (Benzen) | 0,05                                   | -                            | 0,02                      | <NG                          |
| Styrol (Styren) | 1,0                                    | -                            | 0,29                      | 0,02                         |
| Ozon            | 2                                      | -                            | <0,1                      | n.b.                         |
| Staub           | 4                                      | -                            | 0,94                      | -                            |

## Bereitschaftsphase Gerät D farbig

| Substanz                                                          | CAS-Nr.   | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------|-------------------------|
| Butanol                                                           | 71-36-3   | 63                       | 0,06                    |
| Benzol                                                            | 71-43-2   | <NG                      | <NG                     |
| Toluol                                                            | 108-88-3  | 6                        | 0,01                    |
| Hexamethylcyclotrisiloxan                                         | 541-05-09 | 6                        | 0,01                    |
| Styrol                                                            | 100-42-5  | 14                       | 0,01                    |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7  | 3                        | 0,00                    |
| Phenol                                                            | 108-95-2  | 7                        | 0,01                    |
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                       | 556-67-2  | 8                        | 0,01                    |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7  | 5                        | 0,01                    |
| Nonanal                                                           | 124-19-6  | 3                        | 0,00                    |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6  | 6                        | 0,01                    |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |           | 121                      | 0,13                    |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |           | 47                       | 0,05                    |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |           | <b>168</b>               | <b>0,18</b>             |

## Druckphase Gerät D farbig

| Substanz                  | CAS-Nr.   | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|---------------------------|-----------|--------------------------|-------------------------|
| Butanol                   | 71-36-3   | 86                       | 2,16                    |
| Benzol <sup>x</sup>       | 71-43-2   | 1                        | 0,03                    |
| Propandiol                | 57-55-6   | 4                        | 0,10                    |
| Toluol                    | 108-88-3  | 6                        | 0,16                    |
| Hexanal                   | 66-25-1   | 2                        | 0,06                    |
| Hexamethylcyclotrisiloxan | 541-05-09 | 2                        | 0,06                    |

|                                                                   |          |            |             |
|-------------------------------------------------------------------|----------|------------|-------------|
| Ethylbenzol                                                       | 100-41-4 | 2          | 0,06        |
| Styrol                                                            | 100-42-5 | 19         | 0,48        |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7 | 5          | 0,14        |
| Phenol                                                            | 108-95-2 | 5          | 0,13        |
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                       | 556-67-2 | 3          | 0,09        |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7 | 7          | 0,17        |
| Acetophenon                                                       | 98-86-2  | 4          | 0,09        |
| Nonanal                                                           | 124-19-6 | 4          | 0,09        |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6 | 2          | 0,06        |
| Tetradekan                                                        | 629-59-4 | 2          | 0,06        |
| Hydroxybiphenyl                                                   | 90-43-7  | 6          | 0,16        |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |          | 159        | 4,07        |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |          | 136        | 3,43        |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |          | <b>295</b> | <b>7,50</b> |

### Zusammenfassung Gerät D farbig

| Emittent        | Anforderungen zur Umweltzeichenvergabe |                           | ermittelte Emissionsraten |                           |
|-----------------|----------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                 | Druckphase [mg/h]                      | Bereitschaftsphase [mg/h] | Druckphase [mg/h]         | Bereitschaftsphase [mg/h] |
| TVOC            | 10                                     | 1                         | 7,50                      | 0,18                      |
| Benzol (Benzen) | 0,05                                   |                           | 0,03                      | <NG                       |
| Styrol (Styren) | 1,0                                    |                           | 0,48                      | 0,01                      |
| Ozon            | 2                                      |                           | 0,1                       | n.b.                      |
| Staub           | 4                                      |                           | 0,9                       | -                         |

### Bereitschaftsphase Gerät F farbig

| Substanz                                                     | CAS-Nr.   | Konzentration [µg/m³] | Emissionsrate [mg/h] |
|--------------------------------------------------------------|-----------|-----------------------|----------------------|
| Benzol                                                       | 71-43-2   | 1                     | 0,00                 |
| Toluol                                                       | 108-88-3  | 3                     | 0,00                 |
| Hexamethylcyclotrisiloxan                                    | 541-05-09 | 5                     | 0,01                 |
| Styrol                                                       | 100-42-5  | 3                     | 0,00                 |
| Benzaldehyd                                                  | 100-52-7  | 3                     | 0,00                 |
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                  | 556-67-2  | 4                     | 0,00                 |
| Ethylhexanol                                                 | 104-76-7  | 3                     | 0,00                 |
| 1-Octanol                                                    | 111-87-5  | 4                     | 0,00                 |
| Nonanal                                                      | 124-19-6  | 5                     | 0,01                 |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                  | 541-02-6  | 6                     | 0,01                 |
| Decanal                                                      | 112-31-2  | 6                     | 0,01                 |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen) |           | 43                    | 0,04                 |
| Summe der nicht identifizierten VOC                          |           | 36                    | 0,04                 |

|                                                                   |  |           |             |
|-------------------------------------------------------------------|--|-----------|-------------|
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |  | <b>79</b> | <b>0,08</b> |
|-------------------------------------------------------------------|--|-----------|-------------|

## Druckphase Gerät F farbig

| Substanz                                                          | CAS-Nr.   | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------|-------------------------|
| Butanol                                                           | 71-36-3   | 10                       | 0,22                    |
| Benzol                                                            | 71-43-2   | <NG                      | <NG                     |
| Hexamethylcyclotrisiloxan                                         | 541-05-09 | 3                        | 0,06                    |
| Styrol                                                            | 100-42-5  | 3                        | 0,06                    |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7  | 4                        | 0,07                    |
| Phenol                                                            | 108-95-2  | 5                        | 0,10                    |
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                       | 556-67-2  | 2                        | 0,05                    |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7  | 2                        | 0,05                    |
| 1-Octanol                                                         | 111-87-5  | 40                       | 0,85                    |
| Nonanal                                                           | 124-19-6  | 5                        | 0,10                    |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6  | 2                        | 0,05                    |
| Decanal                                                           | 112-31-2  | 7                        | 0,14                    |
| o-Hydroxybiphenyl                                                 | 90-43-7   | 8                        | 0,17                    |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |           | 91                       | 1,92                    |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |           | 88                       | 1,83                    |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |           | <b>179</b>               | <b>3,75</b>             |

## Zusammenfassung Gerät F farbig

| Emittent        | Anforderungen zur Umweltzeichenvergabe |                              | ermittelte Emissionsraten |                              |
|-----------------|----------------------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|
|                 | Druckphase<br>[mg/h]                   | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] | Druckphase<br>[mg/h]      | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] |
| TVOC            | 10                                     | 1 bzw. 3                     | 3,75                      | 0,08                         |
| Benzol (Benzen) | 0,05                                   | -                            | <NG                       | <NG                          |
| Styrol (Styren) | 1,0                                    | -                            | 0,06                      | <NG                          |
| Ozon            | 2                                      | -                            | <NG                       | <NG                          |
| Staub           | 4                                      | -                            | <0,1                      | -                            |

## Bereitschaftsphase Gerät F monochrom

| Substanz                  | CAS-Nr.   | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|---------------------------|-----------|--------------------------|-------------------------|
| Benzol                    | 71-43-2   | <NG                      | <NG                     |
| Toluol                    | 108-88-3  | 3                        | 0,00                    |
| Hexamethylcyclotrisiloxan | 541-05-09 | 4                        | 0,00                    |
| Styrol                    | 100-42-5  | 2                        | 0,00                    |
| Benzaldehyd               | 100-52-7  | 2                        | 0,00                    |

|                                                                   |          |           |             |
|-------------------------------------------------------------------|----------|-----------|-------------|
| Phenol                                                            | 108-95-2 | 6         | 0,01        |
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                       | 556-67-2 | 3         | 0,00        |
| 1-Octanol                                                         | 111-87-5 | 2         | 0,00        |
| Nonanal                                                           | 124-19-6 | 3         | 0,00        |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6 | 6         | 0,01        |
| Decanal                                                           | 112-31-2 | 3         | 0,00        |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |          | 35        | 0,02        |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |          | 34        | 0,03        |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |          | <b>69</b> | <b>0,05</b> |

### Druckphase Gerät F monochrom

| Substanz                                                          | CAS-Nr.  | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|-------------------------------------------------------------------|----------|--------------------------|-------------------------|
| Butanol                                                           | 71-36-3  | 19                       | 0,50                    |
| Benzol                                                            | 71-43-2  | <NG                      | <NG                     |
| Propandiol                                                        | 57-55-6  | 4                        | 0,11                    |
| Hexanal                                                           | 66-25-1  | 4                        | 0,09                    |
| Styrol                                                            | 100-42-5 | 2                        | 0,06                    |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7 | 3                        | 0,08                    |
| Phenol                                                            | 108-95-2 | 4                        | 0,10                    |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7 | 3                        | 0,08                    |
| 1-Octanol                                                         | 111-87-5 | 21                       | 0,54                    |
| Nonanal                                                           | 124-19-6 | 3                        | 0,08                    |
| Decanal                                                           | 112-31-2 | 2                        | 0,06                    |
| o-Hydroxybiphenyl                                                 | 90-43-7  | 9                        | 0,24                    |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |          | 74                       | 1,94                    |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |          | 44                       | 1,14                    |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |          | <b>118</b>               | <b>3,08</b>             |

### Zusammenfassung Gerät F monochrom

| Emittent        | Anforderungen zur Umweltzeichenvergabe |                              | ermittelte Emissionsraten |                              |
|-----------------|----------------------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|
|                 | Druckphase<br>[mg/h]                   | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] | Druckphase<br>[mg/h]      | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] |
| TVOC            | 10                                     | 1                            | 3,08                      | 0,05                         |
| Benzol (Benzen) | 0,05                                   | -                            | <NG                       | <NG                          |
| Styrol (Styren) | 1,0                                    | -                            | 0,06                      | <NG                          |
| Ozon            | 2                                      | -                            | <NG                       | <NG                          |
| Staub           | 4                                      | -                            | <0,1                      | -                            |

### Bereitschaftsphase Gerät G farbig

| Substanz                                                          | CAS-Nr.           | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| Butanol                                                           | 71-36-3           | 16                       | 0,02                    |
| Benzol                                                            | 71-43-2           | <NG                      | <NG                     |
| Propandiol                                                        | 57-55-6           | 5                        | 0,01                    |
| Toluol                                                            | 108-88-3          | 7                        | 0,01                    |
| Hexanal                                                           | 66-25-1           | 3                        | 0,00                    |
| n-Butylacetat                                                     | 123-86-11         | 36                       | 0,04                    |
| Hexamethylcyclotrisiloxan                                         | 541-05-09         | 7                        | 0,01                    |
| Ethylbenzol                                                       | 100-41-4          | 10                       | 0,01                    |
| m,p-Xylol                                                         | 108-38-3/106-42-3 | 3                        | 0,00                    |
| Styrol                                                            | 100-42-5          | 15                       | 0,02                    |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7          | 6                        | 0,01                    |
| Phenol                                                            | 108-95-2          | 4                        | 0,00                    |
| Dekan                                                             | 124-18-5          | 7                        | 0,01                    |
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                       | 556-67-2          | 30                       | 0,03                    |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7          | 5                        | 0,01                    |
| Acetophenon                                                       | 98-86-2           | 2                        | 0,00                    |
| Nonanal                                                           | 124-19-6          | 4                        | 0,00                    |
| Undecan                                                           | 1120-21-4         | 5                        | 0,01                    |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6          | 40                       | 0,04                    |
| Dodekan                                                           | 112-40-3          | 3                        | 0,00                    |
| Tetradekan                                                        | 629-59-4          | 2                        | 0,00                    |
| Longifolen                                                        | 475-20-7          | 3                        | 0,00                    |
| BHT                                                               | 128-37-0          | 5                        | 0,01                    |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |                   | 218                      | 0,24                    |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |                   | 71                       | 0,07                    |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |                   | <b>289</b>               | <b>0,31</b>             |

## Druckphase Gerät G farbig

| Substanz                  | CAS-Nr.   | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|---------------------------|-----------|--------------------------|-------------------------|
| Butanol                   | 71-36-3   | 40                       | 0,54                    |
| Benzol                    | 71-43-2   | <NG                      | <NG                     |
| Propandiol                | 57-55-6   | 7                        | 0,10                    |
| Toluol                    | 108-88-3  | 8                        | 0,11                    |
| Hexanal                   | 66-25-1   | 6                        | 0,08                    |
| n-Butylacetat             | 123-86-11 | 23                       | 0,31                    |
| Hexamethylcyclotrisiloxan | 541-05-09 | 8                        | 0,11                    |
| Ethylbenzol               | 100-41-4  | 28                       | 0,38                    |
| Styrol                    | 100-42-5  | 22                       | 0,30                    |
| n-Butylether              | 142-96-1  | 13                       | 0,18                    |
| Benzaldehyd               | 100-52-7  | 20                       | 0,27                    |
| Propylbenzol              | 103-65-1  | 8                        | 0,11                    |
| Phenol                    | 108-95-2  | 4                        | 0,05                    |
| Dekan                     | 124-18-5  | 7                        | 0,10                    |

|                                                                   |           |            |             |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|------------|-------------|
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                       | 556-67-2  | 15         | 0,20        |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7  | 8          | 0,11        |
| Acetophenon                                                       | 98-86-2   | 3          | 0,04        |
| 1-Octanol                                                         | 111-87-5  | 2          | 0,03        |
| Nonanal                                                           | 124-19-6  | 6          | 0,08        |
| Undecan                                                           | 1120-21-4 | 3          | 0,04        |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6  | 20         | 0,27        |
| Decanal                                                           | 112-31-2  | 3          | 0,04        |
| Dodekan                                                           | 112-40-3  | 4          | 0,05        |
| Tetradekan                                                        | 629-59-4  | 4          | 0,05        |
| Longifolen                                                        | 475-20-7  | 3          | 0,04        |
| o-Hydroxybiphenyl                                                 | 90-43-7   | 10         | 0,14        |
| BHT                                                               | 128-37-0  | 7          | 0,09        |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |           | 283        | 3,84        |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |           | 147        | 1,99        |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |           | <b>430</b> | <b>5,83</b> |

## Zusammenfassung Gerät G farbig

| Emittent        | Anforderungen zur Umweltzeichenvergabe |                              | ermittelte Emissionsraten |                              |
|-----------------|----------------------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|
|                 | Druckphase<br>[mg/h]                   | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] | Druckphase<br>[mg/h]      | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] |
| TVOC            | 10                                     | 1                            | 5,83                      | 0,31                         |
| Benzol (Benzen) | 0,05                                   |                              | < NG                      | < NG                         |
| Styrol (Styren) | 1,0                                    |                              | 0,30                      | 0,02                         |
| Ozon            | 2                                      |                              | < NG                      | < NG                         |
| Staub           | 4                                      |                              | 0,3                       | -                            |

## Bereitschaftsphase Gerät G monochrom

| Substanz                  | CAS-Nr.           | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|---------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| Butanol                   | 71-36-3           | 16                       | 0,02                    |
| Benzol                    | 71-43-2           | <NG                      | <NG                     |
| Propandiol                | 57-55-6           | 4                        | 0,00                    |
| Toluol                    | 108-88-3          | 8                        | 0,01                    |
| Hexanal                   | 66-25-1           | 4                        | 0,00                    |
| n-Butylacetat             | 123-86-11         | 42                       | 0,04                    |
| Hexamethylcyclotrisiloxan | 541-05-09         | 7                        | 0,01                    |
| Ethylbenzol               | 100-41-4          | 11                       | 0,01                    |
| m,p-Xylol                 | 108-38-3/106-42-3 | 2                        | 0,00                    |
| Styrol                    | 100-42-5          | 18                       | 0,02                    |
| Benzaldehyd               | 100-52-7          | 6                        | 0,01                    |
| Phenol                    | 108-95-2          | 4                        | 0,00                    |
| Dekan                     | 124-18-5          | 4                        | 0,00                    |

|                                                                   |           |            |             |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|------------|-------------|
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                       | 556-67-2  | 34         | 0,03        |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7  | 6          | 0,01        |
| Acetophenon                                                       | 98-86-2   | 3          | 0,00        |
| Nonanal                                                           | 124-19-6  | 5          | 0,01        |
| Undecan                                                           | 1120-21-4 | 2          | 0,00        |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6  | 46         | 0,05        |
| Decanal                                                           | 112-31-2  | 3          | 0,00        |
| Dodekan                                                           | 112-40-3  | 3          | 0,00        |
| Acryl-(2-ethylhexylester)                                         | 103-11-7  | 3          | 0,00        |
| Tetradekan                                                        | 629-59-4  | 3          | 0,00        |
| Longifolen                                                        | 475-20-7  | 4          | 0,00        |
| BHT                                                               | 128-37-0  | 6          | 0,01        |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |           | 243        | 0,24        |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |           | 91         | 0,09        |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |           | <b>334</b> | <b>0,33</b> |

## Druckphase Gerät G monochrom

| Substanz                    | CAS-Nr.           | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|-----------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| Butanol                     | 71-36-3           | 30                       | 0,41                    |
| Benzol                      | 71-43-2           | <NG                      | <NG                     |
| Propandiol                  | 57-55-6           | 6                        | 0,08                    |
| Toluol                      | 108-88-3          | 7                        | 0,10                    |
| Hexanal                     | 66-25-1           | 5                        | 0,07                    |
| n-Butylacetat               | 123-86-11         | 19                       | 0,26                    |
| Hexamethylcyclotrisiloxan   | 541-05-09         | 6                        | 0,08                    |
| Ethylbenzol                 | 100-41-4          | 16                       | 0,22                    |
| m,p-Xylol                   | 108-38-3/106-42-3 | 2                        | 0,03                    |
| Styrol                      | 100-42-5          | 13                       | 0,18                    |
| Benzaldehyd                 | 100-52-7          | 10                       | 0,14                    |
| Propylbenzol                | 103-65-1          | 4                        | 0,05                    |
| Phenol                      | 108-95-2          | 3                        | 0,04                    |
| Dekan                       | 124-18-5          | 6                        | 0,08                    |
| Octamethylcyclotetrasiloxan | 556-67-2          | 13                       | 0,18                    |
| Ethylhexanol                | 104-76-7          | 7                        | 0,10                    |
| Acetophenon                 | 98-86-2           | 2                        | 0,03                    |
| Nonanal                     | 124-19-6          | 5                        | 0,07                    |
| Undecan                     | 1120-21-4         | 2                        | 0,03                    |
| Decamethylcyclopentasiloxan | 541-02-6          | 18                       | 0,24                    |
| Decanal                     | 112-31-2          | 2                        | 0,03                    |
| Dodekan                     | 112-40-3          | 3                        | 0,04                    |
| Acryl-(2-ethylhexylester)   | 103-11-7          | 2                        | 0,03                    |
| Tetradekan                  | 629-59-4          | 3                        | 0,04                    |
| Longifolen                  | 475-20-7          | 3                        | 0,04                    |
| o-Hydroxybiphenyl           | 90-43-7           | 8                        | 0,11                    |
| BHT                         | 128-37-0          | 6                        | 0,08                    |

|                                                                   |  |            |             |
|-------------------------------------------------------------------|--|------------|-------------|
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |  | 202        | 2,74        |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |  | 95         | 1,29        |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |  | <b>297</b> | <b>4,03</b> |

## Zusammenfassung Gerät G monochrom

|                 | Anforderungen zur Umweltzeichenvergabe |                           | ermittelte Emissionsraten |                           |
|-----------------|----------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Emittent        | Druckphase [mg/h]                      | Bereitschaftsphase [mg/h] | Druckphase [mg/h]         | Bereitschaftsphase [mg/h] |
| TVOC            | 10                                     | 1                         | 4,03                      | 0,33                      |
| Benzol (Benzen) | 0,05                                   | -                         | < NG                      | < NG                      |
| Styrol (Styren) | 1,0                                    | -                         | 0,18                      | 0,02                      |
| Ozon            | 2                                      | -                         | < NG                      | < NG                      |
| Staub           | 4                                      | -                         | 0,14                      | -                         |

## Bereitschaftsphase Gerät H farbig

| Substanz                                                          | CAS-Nr.  | Konzentration [µg/m³] | Emissionsrate [mg/h] |
|-------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------|----------------------|
| Benzol                                                            | 71-43-2  | < NG                  | < NG                 |
| Essigsäure                                                        | 64-19-7  | 4                     | 0,00                 |
| Toluol                                                            | 108-88-3 | 2                     | 0,00                 |
| Styrol                                                            | 100-42-5 | 6                     | 0,01                 |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7 | 3                     | 0,00                 |
| Phenol                                                            | 108-95-2 | 7                     | 0,01                 |
| Acetophenon                                                       | 98-86-2  | 2                     | 0,00                 |
| Nonanal                                                           | 124-19-6 | 4                     | 0,00                 |
| Decamethylcyclotrisiloxan                                         | 541-02-6 | 3                     | 0,00                 |
| Decanal                                                           | 112-31-2 | 3                     | 0,00                 |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |          | 34                    | 0,02                 |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |          | 8                     | 0,01                 |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |          | <b>42</b>             | <b>0,03</b>          |

## Druckphase Gerät H farbig

| Substanz                  | CAS-Nr.   | Konzentration [µg/m³] | Emissionsrate [mg/h] |
|---------------------------|-----------|-----------------------|----------------------|
| Benzol                    | 71-43-2   | 1                     | 0,01                 |
| Essigsäure                | 64-19-7   | 6                     | 0,09                 |
| Toluol                    | 108-88-3  | 2                     | 0,03                 |
| Hexanal                   | 66-25-1   | 3                     | 0,04                 |
| Hexamethylcyclotrisiloxan | 541-05-09 | 4                     | 0,07                 |
| Ethylbenzol               | 100-41-4  | 2                     | 0,03                 |
| Styrol                    | 100-42-5  | 37                    | 0,55                 |

|                                                                   |          |            |             |
|-------------------------------------------------------------------|----------|------------|-------------|
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7 | 6          | 0,08        |
| Propylbenzol                                                      | 103-65-1 | 4          | 0,06        |
| Phenol                                                            | 108-95-2 | 14         | 0,22        |
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                       | 556-67-2 | 7          | 0,11        |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7 | 2          | 0,03        |
| Acetophenon                                                       | 98-86-2  | 3          | 0,04        |
| Nonanal                                                           | 124-19-6 | 6          | 0,09        |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6 | 10         | 0,15        |
| Decanal                                                           | 112-31-2 | 4          | 0,07        |
| o-Hydroxybiphenyl                                                 | 90-43-7  | 10         | 0,00        |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |          | 121        | 182         |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |          | 350        | 5,30        |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |          | <b>471</b> | <b>7,12</b> |

### Zusammenfassung Gerät H farbig

| Emittent        | Anforderungen zur Umweltzeichenvergabe |                           | ermittelte Emissionsraten |                           |
|-----------------|----------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                 | Druckphase [mg/h]                      | Bereitschaftsphase [mg/h] | Druckphase [mg/h]         | Bereitschaftsphase [mg/h] |
| TVOC            | 10                                     | 1                         | 7,12                      | 0,03                      |
| Benzol (Benzen) | 0,05                                   |                           | 0,01                      | < NG                      |
| Styrol (Styren) | 1,0                                    |                           | 0,55                      | 0,01                      |
| Ozon            | 2,0                                    |                           | < 0,1                     | < NG                      |
| Staub           | 4,0                                    |                           | 0,2                       | -                         |

### Bereitschaftsphase Gerät H monochrom

| Substanz                                                     | CAS-Nr.           | Konzentration [µg/m³] | Emissionsrate [mg/h] |
|--------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|
| Essigsäure                                                   | 64-19-7           | 4                     | 0,0                  |
| Benzol                                                       | 71-43-2           | <NG                   | <NG                  |
| Toluol                                                       | 108-88-3          | 6                     | 0,01                 |
| n-Butylacetat                                                | 123-86-11         | 3                     | 0,00                 |
| Hexamethylcyclotrisiloxan                                    | 541-05-09         | 2                     | 0,00                 |
| m,p-Xylol                                                    | 108-38-3/106-42-3 | 2                     | 0,00                 |
| Styrol                                                       | 100-42-5          | 9                     | 0,01                 |
| Benzaldehyd                                                  | 100-52-7          | 4                     | 0,00                 |
| Phenol                                                       | 108-95-2          | 15                    | 0,02                 |
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                  | 556-67-2          | 4                     | 0,00                 |
| Ethylhexanol                                                 | 104-76-7          | 2                     | 0,00                 |
| Acetophenon                                                  | 98-86-2           | 4                     | 0,00                 |
| Nonanal                                                      | 124-19-6          | 3                     | 0,00                 |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                  | 541-02-6          | 6                     | 0,01                 |
| Decanal                                                      | 112-31-2          | 2                     | 0,00                 |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen) |                   | 66                    | 0,05                 |

|                                                                   |  |           |             |
|-------------------------------------------------------------------|--|-----------|-------------|
| zierte Substanzen)                                                |  |           |             |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |  | 31        | 0,03        |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |  | <b>97</b> | <b>0,08</b> |

### Druckphase Gerät H monochrom

| Substanz                                                          | CAS-Nr.   | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------|-------------------------|
| Butanol                                                           | 71-36-3   | 17                       | 0,47                    |
| Benzol                                                            | 71-43-2   | <NG                      | <NG                     |
| Essigsäure                                                        | 64-19-7   | 5                        | 0,14                    |
| Benzol                                                            | 71-43-2   | 1                        | 0,02                    |
| Propandiol                                                        | 57-55-6   | 3                        | 0,08                    |
| Toluol                                                            | 108-88-3  | 2                        | 0,04                    |
| Hexanal                                                           | 66-25-1   | 7                        | 0,19                    |
| Hexamethylcyclotrisiloxan                                         | 541-05-09 | 3                        | 0,07                    |
| Styrol                                                            | 100-42-5  | 11                       | 0,30                    |
| Propylbenzol                                                      | 103-65-1  | 2                        | 0,06                    |
| Phenol                                                            | 108-95-2  | 13                       | 0,36                    |
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                       | 556-67-2  | 4                        | 0,11                    |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7  | 4                        | 0,11                    |
| Acetophenon                                                       | 98-86-2   | 3                        | 0,07                    |
| Nonanal                                                           | 124-19-6  | 7                        | 0,18                    |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6  | 7                        | 0,18                    |
| Decanal                                                           | 112-31-2  | 2                        | 0,05                    |
| o-Hydroxybiphenyl                                                 | 90-43-7   | 14                       | 0,37                    |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |           | 105                      | 2,80                    |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |           | 150                      | 4,03                    |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |           | <b>255</b>               | <b>6,83</b>             |

### Zusammenfassung Gerät H monochrom

| Emittent        | Anforderungen zur Umweltzeichenvergabe |                              | ermittelte Emissionsraten |                              |
|-----------------|----------------------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|
|                 | Druckphase<br>[mg/h]                   | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] | Druckphase<br>[mg/h]      | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] |
| TVOC            | 10                                     | 1                            | 6,83                      | 0,08                         |
| Benzol (Benzen) | 0,05                                   | -                            | 0,02                      | <NG                          |
| Styrol (Styren) | 1,0                                    | -                            | 0,3                       | 0,01                         |
| Ozon            | 2,0                                    | -                            | 0,2                       | <NG                          |
| Staub           | 4,0                                    | -                            | 0,2                       | -                            |

### Bereitschaftsphase Gerät I farbig

| Substanz | CAS-Nr. | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|----------|---------|--------------------------|-------------------------|
|----------|---------|--------------------------|-------------------------|

|                                                                   |                   |            |             |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------|------------|-------------|
| Benzol                                                            | 71-43-2           | 5          | 0,01        |
| Essigsäure                                                        | 64-19-7           | 652        | 0,65        |
| Toluol                                                            | 108-88-3          | 37         | 0,04        |
| Hexamethylcyclotrisiloxan                                         | 541-05-09         | 5          | 0,01        |
| Ethylbenzol                                                       | 100-41-4          | 2          | 0,00        |
| m,p-Xylol                                                         | 108-38-3/106-42-3 | 2          | 0,00        |
| Styrol                                                            | 100-42-5          | 4          | 0,00        |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7          | 3          | 0,00        |
| Phenol                                                            | 108-95-2          | 7          | 0,01        |
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                       | 556-67-2          | 36         | 0,04        |
| Acetophenon                                                       | 98-86-2           | 2          | 0,00        |
| Nonanal                                                           | 124-19-6          | 4          | 0,00        |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6          | 35         | 0,03        |
| Decanal                                                           | 112-31-2          | 8          | 0,01        |
| BHT                                                               | 128-37-0          | 32         | 0,03        |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |                   | 834        | 0,83        |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |                   | 106        | 0,11        |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |                   | <b>940</b> | <b>0,94</b> |

### Druckphase Gerät I farbig

| Substanz                                                          | CAS-Nr.   | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------|-------------------------|
| Benzol                                                            | 71-43-2   | 2                        | 0,05                    |
| Essigsäure                                                        | 64-19-7   | 180                      | 3,95                    |
| Propandiol                                                        | 57-55-6   | 3                        | 0,08                    |
| Toluol                                                            | 108-88-3  | 19                       | 0,41                    |
| Hexamethylcyclotrisiloxan                                         | 541-05-09 | 3                        | 0,07                    |
| Styrol                                                            | 100-42-5  | 4                        | 0,08                    |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7  | 2                        | 0,05                    |
| Phenol                                                            | 108-95-2  | 8                        | 0,17                    |
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                       | 556-67-2  | 18                       | 0,40                    |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7  | 2                        | 0,05                    |
| Nonanal                                                           | 124-19-6  | 5                        | 0,11                    |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6  | 19                       | 0,41                    |
| Decanal                                                           | 112-31-2  | 8                        | 0,17                    |
| o-Hydroxybiphenyl                                                 | 90-43-7   | 11                       | 0,25                    |
| BHT                                                               | 128-37-0  | 22                       | 0,49                    |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |           | 306                      | 6,74                    |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |           | 84                       | 1,86                    |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |           | <b>390</b>               | <b>8,60</b>             |

### Zusammenfassung Gerät I farbig

|  | Anforderungen zur<br>Umweltzeichenvergabe | ermittelte Emissionsraten |
|--|-------------------------------------------|---------------------------|
|--|-------------------------------------------|---------------------------|

| Emittent        | Druckphase<br>[mg/h] | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] | Druckphase<br>[mg/h] | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] |
|-----------------|----------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|
| TVOC            | 10                   | 1                            | 8,60                 | 0,94                         |
| Benzol (Benzen) | 0,05                 |                              | 0,05                 | 0,01                         |
| Styrol (Styren) | 1,0                  |                              | 0,08                 | 0,00                         |
| Ozon            | 2                    |                              | 0,4                  | < NG                         |
| Staub           | 4                    |                              | 1                    | -                            |

### Bereitschaftsphase Gerät I monochrom

| Substanz                                                          | CAS-Nr.           | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| Benzol                                                            | 71-43-2           | 6                        | 0,01                    |
| Essigsäure                                                        | 64-19-7           | 868                      | 0,86                    |
| Toluol                                                            | 108-88-3          | 42                       | 0,04                    |
| Hexamethylcyclotrisiloxan                                         | 541-05-09         | 6                        | 0,01                    |
| Ethylbenzol                                                       | 100-41-4          | 3                        | 0,00                    |
| m,p-Xylol                                                         | 108-38-3/106-42-3 | 2                        | 0,00                    |
| Styrol                                                            | 100-42-5          | 5                        | 0,01                    |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7          | 4                        | 0,00                    |
| Phenol                                                            | 108-95-2          | 7                        | 0,01                    |
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                       | 556-67-2          | 41                       | 0,04                    |
| Acetophenon                                                       | 98-86-2           | 3                        | 0,00                    |
| Nonanal                                                           | 124-19-6          | 5                        | 0,01                    |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6          | 40                       | 0,04                    |
| Decanal                                                           | 112-31-2          | 9                        | 0,01                    |
| BHT                                                               | 128-37-0          | 41                       | 0,04                    |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |                   | 1082                     | 1,08                    |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |                   | 127                      | 0,13                    |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |                   | <b>1209</b>              | <b>1,21</b>             |

### Druckphase Gerät I monochrom

| Substanz                    | CAS-Nr.   | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|-----------------------------|-----------|--------------------------|-------------------------|
| Benzol                      | 71-43-2   | 3                        | 0,05                    |
| Essigsäure                  | 64-19-7   | 250                      | 5,15                    |
| Propandiol                  | 57-55-6   | 4                        | 0,08                    |
| Toluol                      | 108-88-3  | 21                       | 0,44                    |
| Hexanal                     | 66-25-1   | 2                        | 0,04                    |
| Hexamethylcyclotrisiloxan   | 541-05-09 | 3                        | 0,06                    |
| Styrol                      | 100-42-5  | 4                        | 0,08                    |
| Benzaldehyd                 | 100-52-7  | 2                        | 0,05                    |
| Phenol                      | 108-95-2  | 7                        | 0,14                    |
| Octamethylcyclotetrasiloxan | 556-67-2  | 23                       | 0,48                    |
| Ethylhexanol                | 104-76-7  | 2                        | 0,05                    |

|                                                                   |          |            |              |
|-------------------------------------------------------------------|----------|------------|--------------|
| Nonanal                                                           | 124-19-6 | 5          | 0,10         |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6 | 22         | 0,46         |
| Decanal                                                           | 112-31-2 | 7          | 0,14         |
| o-Hydroxybiphenyl                                                 | 90-43-7  | 14         | 0,30         |
| BHT                                                               | 128-37-0 | 28         | 0,60         |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |          | 390        | 8,22         |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |          | 88         | 1,87         |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |          | <b>478</b> | <b>10,09</b> |

### Zusammenfassung Gerät I monochrom

| Emittent        | Anforderungen zur Umweltzeichenvergabe |                           | ermittelte Emissionsraten |                           |
|-----------------|----------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                 | Druckphase [mg/h]                      | Bereitschaftsphase [mg/h] | Druckphase [mg/h]         | Bereitschaftsphase [mg/h] |
| TVOC            | 10                                     | 1                         | 10,09                     | 1,21                      |
| Benzol (Benzen) | 0,05                                   | -                         | 0,05                      | 0,01                      |
| Styrol (Styren) | 1,0                                    | -                         | 0,08                      | 0,01                      |
| Ozon            | 2                                      | -                         | 0,4                       | < NG                      |
| Staub           | 4                                      | -                         | 0,5                       | -                         |

### Bereitschaftsphase Gerät J farbig

| Substanz                    | CAS-Nr.           | Konzentration [µg/m³] | Emissionsrate [mg/h] |
|-----------------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|
| Benzol                      | 71-43-2           | < NG                  | 0,00                 |
| Propandiol                  | 57-55-6           | 9                     | 0,01                 |
| Toluol                      | 108-88-3          | 49                    | 0,05                 |
| n-Butylacetat               | 123-86-11         | 3                     | 0,00                 |
| Ethylbenzol                 | 100-41-4          | 5,5                   | 0,01                 |
| m/p-Xylol                   | 108-38-3/106-42-3 | 44                    | 0,00                 |
| Styrol                      | 100-42-5          | 10,5                  | 0,01                 |
| 1,3,5-Trimethylbenzol       | 108-67-8          | 3                     | 0,00                 |
| Phenol                      | 108-95-2          | 3                     | 0,00                 |
| 1,2,4-Trimethylbenzol       | 95-63-6           | 3                     | 0,00                 |
| Octamethylcyclotetrasiloxan | 556-67-2          | 16,5                  | 0,02                 |
| Ethylhexanol                | 104-76-7          | 3,5                   | 0,00                 |
| Acetophenon                 | 98-86-2           | 2,5                   | 0,00                 |
| 1-Octanol                   | 111-87-5          | 2                     | 0,00                 |
| Undecan                     | 120-21-4          | 3                     | 0,00                 |
| Decamethylcyclopentasiloxan | 541-02-6          | 12                    | 0,01                 |
| Longifolen                  | 475-20-7          | 2,5                   | 0,00                 |
| Cumol                       | 98-82-8           | 2                     | 0,00                 |
| alpha.-Pinene               | 80-56-8           | 7,5                   | 0,01                 |
| 3-Caren                     | 498-15-7          | 4,5                   | 0,00                 |
| Dipropylenglycolmethylether | 34590-94-8        | 5                     | 0,01                 |

|                                                                   |  |            |             |
|-------------------------------------------------------------------|--|------------|-------------|
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |  | 151        | 0,15        |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |  | 25         | 0,02        |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |  | <b>176</b> | <b>0,17</b> |

### Druckphase Gerät J farbig

| Substanz                                                          | CAS-Nr.           | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| Benzol                                                            | 71-43-2           | < NG                     | 0,00                    |
| Butanol                                                           | 71-36-3           | 6                        | 0,12                    |
| Propandiol                                                        | 57-55-6           | 4                        | 0,08                    |
| Toluol                                                            | 108-88-3          | 32                       | 0,63                    |
| Hexamethylcyclotrisiloxan                                         | 541-05-09         | 4                        | 0,08                    |
| Ethylbenzol                                                       | 100-41-4          | 7                        | 0,14                    |
| m/p-Xylol                                                         | 108-38-3/106-42-3 | 4                        | 0,08                    |
| Styrol                                                            | 100-42-5          | 8                        | 0,16                    |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7          | 4                        | 0,08                    |
| Phenol                                                            | 108-95-2          | 3                        | 0,06                    |
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                       | 556-67-2          | 18                       | 0,36                    |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7          | 3                        | 0,06                    |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6          | 13                       | 0,26                    |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |                   | 106                      | 2,11                    |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |                   | 38                       | 0,75                    |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |                   | <b>144</b>               | <b>2,86</b>             |

### Zusammenfassung Gerät J farbig

| Emittent        | Anforderungen zur Umweltzeichenvergabe |                              | ermittelte Emissionsraten |                              |
|-----------------|----------------------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|
|                 | Druckphase<br>[mg/h]                   | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] | Druckphase<br>[mg/h]      | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] |
| TVOC            | 10                                     | 1                            | 2,86                      | 0,15                         |
| Benzol (Benzen) | 0,05                                   |                              | < NG                      | < NG                         |
| Styrol (Styren) | 1,0                                    |                              | 0,16                      | 0,01                         |
| Ozon            | 2                                      |                              | < 0,1                     | < NG                         |
| Staub           | 4                                      |                              | 0,4                       | -                            |

### Bereitschaftsphase Gerät J monochrom

| Substanz | CAS-Nr. | Konzentration | Emissionsrate |
|----------|---------|---------------|---------------|
|----------|---------|---------------|---------------|

|                                                                   |                   | [µg/m³]    | [mg/h]      |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------|------------|-------------|
| Benzol                                                            | 71-43-2           | 1          | 0,00        |
| Propandiol                                                        | 57-55-6           | 12         | 0,01        |
| Toluol                                                            | 108-88-3          | 76         | 0,07        |
| n-Butylacetat                                                     | 123-86-11         | 4          | 0,00        |
| Hexamethylcyclotrisiloxan                                         | 541-05-09         | 4          | 0,00        |
| Ethylbenzol                                                       | 100-41-4          | 8          | 0,01        |
| m,p-Xylol                                                         | 108-38-3/106-42-3 | 6          | 0,01        |
| Styrol                                                            | 100-42-5          | 18         | 0,02        |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7          | 8          | 0,01        |
| Phenol                                                            | 108-95-2          | 5          | 0,01        |
| Dekan                                                             | 124-18-5          | 5          | 0,00        |
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                       | 556-67-2          | 18         | 0,02        |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7          | 12         | 0,01        |
| Acetophenon                                                       | 98-86-2           | 6          | 0,01        |
| Nonanal                                                           | 124-19-6          | 4          | 0,00        |
| Dodekan                                                           | 112-40-3          | 3          | 0,00        |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6          | 12         | 0,01        |
| Decanal                                                           | 112-31-2          | 2          | 0,00        |
| Tetradekan                                                        | 629-59-4          | 3          | 0,00        |
| Pentadekan                                                        | 629-62-9          | 3          | 0,00        |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |                   | 210        | 0,19        |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |                   | 69         | 0,07        |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |                   | <b>279</b> | <b>0,26</b> |

## Druckphase Gerät J monochrom

| Substanz                    | CAS-Nr.           | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|-----------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| Benzol                      | 71-43-2           | 0                        | 0,01                    |
| Propandiol                  | 57-55-6           | 8                        | 0,21                    |
| Toluol                      | 108-88-3          | 32                       | 0,82                    |
| Hexamethylcyclotrisiloxan   | 541-05-09         | 3                        | 0,07                    |
| Ethylbenzol                 | 100-41-4          | 5                        | 0,12                    |
| m,p-Xylol                   | 108-38-3/106-42-3 | 3                        | 0,07                    |
| Styrol                      | 100-42-5          | 10                       | 0,25                    |
| Benzaldehyd                 | 100-52-7          | 5                        | 0,13                    |
| Phenol                      | 108-95-2          | 4                        | 0,10                    |
| Dekan                       | 124-18-5          | 2                        | 0,05                    |
| Octamethylcyclotetrasiloxan | 556-67-2          | 5                        | 0,14                    |
| Ethylhexanol                | 104-76-7          | 5                        | 0,12                    |
| Acetophenon                 | 98-86-2           | 3                        | 0,08                    |
| Nonanal                     | 124-19-6          | 5                        | 0,12                    |
| Decamethylcyclopentasiloxan | 541-02-6          | 4                        | 0,10                    |
| Decanal                     | 112-31-2          | 6                        | 0,14                    |
| Tetradekan                  | 629-59-4          | 3                        | 0,07                    |
| Pentadekan                  | 629-62-9          | 3                        | 0,07                    |

|                                                                   |          |            |             |
|-------------------------------------------------------------------|----------|------------|-------------|
| o-Hydroxybiphenyl                                                 | 90-43-7  | 3          | 0,06        |
| BHT                                                               | 128-37-0 | 2          | 0,05        |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |          | 111        | 2,78        |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |          | 55         | 1,41        |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |          | <b>166</b> | <b>4,19</b> |

### Zusammenfassung Gerät J monochrom

| Emittent        | Anforderungen zur Umweltzeichenvergabe |                           | ermittelte Emissionsraten |                           |
|-----------------|----------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                 | Druckphase [mg/h]                      | Bereitschaftsphase [mg/h] | Druckphase [mg/h]         | Bereitschaftsphase [mg/h] |
| TVOC            | 10                                     | 1                         | 4,19                      | 0,26                      |
| Benzol (Benzen) | 0,05                                   | -                         | 0,01                      | < NG                      |
| Styrol (Styren) | 1,0                                    | -                         | 0,25                      | 0,02                      |
| Ozon            | 2                                      | -                         | < 0,1                     | < NG                      |
| Staub           | 4                                      | -                         | 0,2                       | -                         |

### Bereitschaftsphase Gerät K farbig

| Substanz                                                          | CAS-Nr.           | Konzentration [µg/m³] | Emissionsrate [mg/h] |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|
| Benzol                                                            | 71-43-2           | 1                     | 0,001                |
| Butanol                                                           | 71-36-3           | 19                    | 0,02                 |
| Toluol                                                            | 108-88-3          | 5                     | 0,01                 |
| Hexanal                                                           | 66-25-1           | 3                     | 0,00                 |
| Hexamethylcyclotrisiloxan                                         | 541-05-09         | 268                   | 0,26                 |
| Ethylbenzol                                                       | 100-41-4          | 3                     | 0,00                 |
| m,p-Xylol                                                         | 108-38-3/106-42-3 | 2                     | 0,00                 |
| Styrol                                                            | 100-42-5          | 68                    | 0,07                 |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7          | 6                     | 0,01                 |
| Phenol                                                            | 108-95-2          | 17                    | 0,02                 |
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                       | 556-67-2          | 51                    | 0,05                 |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7          | 5                     | 0,01                 |
| Acetophenon                                                       | 98-86-2           | 3                     | 0,00                 |
| 1-Octanol                                                         | 111-87-5          | 2                     | 0,00                 |
| Nonanal                                                           | 124-19-6          | 4                     | 0,00                 |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6          | 60                    | 0,06                 |
| BHT                                                               | 128-37-0          | 3                     | 0,00                 |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |                   | 520                   | 0,51                 |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |                   | 589                   | 0,57                 |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |                   | <b>1109</b>           | <b>1,08</b>          |

### Druckphase Gerät K farbig

| Substanz                                                          | CAS-Nr.   | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------|-------------------------|
| Benzol                                                            | 71-43-2   | 0,2                      | 0,004                   |
| Butanol                                                           | 71-36-3   | 25                       | 0,52                    |
| Toluol                                                            | 108-88-3  | 3                        | 0,06                    |
| Hexanal                                                           | 66-25-1   | 3                        | 0,07                    |
| Hexamethylcyclotrisiloxan                                         | 541-05-09 | 100                      | 2,10                    |
| Ethylbenzol                                                       | 100-41-4  | 3                        | 0,05                    |
| Styrol                                                            | 100-42-5  | 64                       | 1,34                    |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7  | 6                        | 0,13                    |
| Phenol                                                            | 108-95-2  | 18                       | 0,37                    |
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                       | 556-67-2  | 23                       | 0,47                    |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7  | 8                        | 0,17                    |
| Acetophenon                                                       | 98-86-2   | 3                        | 0,06                    |
| 1-Octanol                                                         | 111-87-5  | 14                       | 0,29                    |
| Nonanal                                                           | 124-19-6  | 4                        | 0,08                    |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6  | 37                       | 0,78                    |
| Tetradekan                                                        | 629-59-4  | 3                        | 0,05                    |
| o-Hydroxybiphenyl                                                 | 90-43-7   | 6                        | 0,12                    |
| BHT                                                               | 128-37-0  | 2                        | 0,05                    |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |           | 322                      | 6,71                    |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |           | 369                      | 7,73                    |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |           | <b>691</b>               | <b>14,44</b>            |

### Zusammenfassung Gerät K farbig

| Emittent        | Anforderungen zur Umweltzeichenvergabe |                              | ermittelte Emissionsraten |                              |
|-----------------|----------------------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|
|                 | Druckphase<br>[mg/h]                   | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] | Druckphase<br>[mg/h]      | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] |
| TVOC            | 10                                     | 1                            | 14,44                     | 1,08                         |
| Benzol (Benzen) | 0,05                                   |                              | 0,004                     | 0,001                        |
| Styrol (Styren) | 1,0                                    |                              | 1,34                      | 0,07                         |
| Ozon            | 2                                      |                              | < NG                      | < NG                         |
| Staub           | 4                                      |                              | 0,8                       | -                            |

### Bereitschaftsphase Gerät K monochrom

| Substanz                  | CAS-Nr.   | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|---------------------------|-----------|--------------------------|-------------------------|
| Benzol                    | 71-43-2   | <NG                      | <NG                     |
| Butanol                   | 71-36-3   | 15                       | 0,02                    |
| Toluol                    | 108-88-3  | 5                        | 0,01                    |
| Hexanal                   | 66-25-1   | 2                        | 0,00                    |
| Hexamethylcyclotrisiloxan | 541-05-09 | 244                      | 0,24                    |
| Ethylbenzol               | 100-41-4  | 4                        | 0,00                    |

|                                                                   |                   |             |             |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------|-------------|
| m,p-Xylol                                                         | 108-38-3/106-42-3 | 3           | 0,00        |
| Styrol                                                            | 100-42-5          | 84          | 0,08        |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7          | 6           | 0,01        |
| Phenol                                                            | 108-95-2          | 19          | 0,02        |
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                       | 556-67-2          | 51          | 0,05        |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7          | 5           | 0,01        |
| Acetophenon                                                       | 98-86-2           | 3           | 0,00        |
| 1-Octanol                                                         | 111-87-5          | 2           | 0,00        |
| Nonanal                                                           | 124-19-6          | 4           | 0,00        |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6          | 69          | 0,07        |
| BHT                                                               | 128-37-0          | 3           | 0,00        |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |                   | 519         | 0,51        |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |                   | 716         | 0,70        |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |                   | <b>1235</b> | <b>1,21</b> |

### Druckphase Gerät K monochrom

| Substanz                                                          | CAS-Nr.   | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------|-------------------------|
| Benzol                                                            | 71-43-2   | <NG                      | <NG                     |
| Butanol                                                           | 71-36-3   | 14                       | 0,28                    |
| Hexanal                                                           | 66-25-1   | 2                        | 0,05                    |
| Hexamethylcyclotrisiloxan                                         | 541-05-09 | 81                       | 1,67                    |
| Styrol                                                            | 100-42-5  | 36                       | 0,74                    |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7  | 4                        | 0,08                    |
| Phenol                                                            | 108-95-2  | 15                       | 0,30                    |
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                       | 556-67-2  | 19                       | 0,40                    |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7  | 5                        | 0,10                    |
| Acetophenon                                                       | 98-86-2   | 2                        | 0,04                    |
| 1-Octanol                                                         | 111-87-5  | 4                        | 0,08                    |
| Nonanal                                                           | 124-19-6  | 3                        | 0,07                    |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6  | 32                       | 0,66                    |
| o-Hydroxybiphenyl                                                 | 90-43-7   | 4                        | 0,08                    |
| BHT                                                               | 128-37-0  | 2                        | 0,05                    |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |           | 223                      | 4,60                    |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |           | 347                      | 7,18                    |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |           | <b>570</b>               | <b>11,78</b>            |

### Zusammenfassung Gerät K monochrom

| Emittent        | Anforderungen zur Umweltzeichenvergabe |                              | ermittelte Emissionsraten |                              |
|-----------------|----------------------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|
|                 | Druckphase<br>[mg/h]                   | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] | Druckphase<br>[mg/h]      | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] |
| TVOC            | 10                                     | 1                            | 11,78                     | 1,21                         |
| Benzol (Benzen) | 0,05                                   | -                            | < NG                      | < NG                         |

|                 |     |   |      |      |
|-----------------|-----|---|------|------|
| Styrol (Styren) | 1,0 | - | 0,74 | 0,08 |
| Ozon            | 2   | - | < NG | < NG |
| Staub           | 4   | - | 0,8  | -    |

## Bereitschaftsphase Gerät L farbig

| Substanz                                                          | CAS-Nr.  | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|-------------------------------------------------------------------|----------|--------------------------|-------------------------|
| Benzol <sup>x</sup>                                               | 71-43-2  | 1,5                      | 0,00                    |
| Butanol                                                           | 71-36-3  | 65                       | 0,07                    |
| Toluol                                                            | 108-88-3 | 11                       | 0,01                    |
| Hexanal                                                           | 66-25-1  | 4                        | 0,00                    |
| Styrol                                                            | 100-42-5 | 19                       | 0,02                    |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7 | 3                        | 0,00                    |
| Phenol                                                            | 108-95-2 | 3                        | 0,00                    |
| 1,2,4-Trimethylbenzol                                             | 95-63-6  | 7                        | 0,01                    |
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                       | 556-67-2 | 5                        | 0,01                    |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7 | 4                        | 0,00                    |
| Acetophenon                                                       | 98-86-2  | 3                        | 0,00                    |
| 1-Octanol                                                         | 111-87-5 | 3                        | 0,00                    |
| Nonanal                                                           | 124-19-6 | 6                        | 0,01                    |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |          | 133                      | 0,13                    |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |          | 9                        | 0,01                    |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |          | <b>142</b>               | <b>0,14</b>             |

## Druckphase Gerät L farbig

| Substanz                                                     | CAS-Nr.  | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|--------------------------------------------------------------|----------|--------------------------|-------------------------|
| Benzol <sup>x</sup>                                          | 71-43-2  | 1,4                      | 0,037                   |
| Butanol                                                      | 71-36-3  | 71                       | 1,873                   |
| Toluol                                                       | 108-88-3 | 14                       | 0,36                    |
| Hexanal                                                      | 66-25-1  | 3                        | 0,08                    |
| Ethylbenzol                                                  | 100-41-4 | 4                        | 0,11                    |
| Styrol                                                       | 100-42-5 | 35                       | 0,93                    |
| Benzaldehyd                                                  | 100-52-7 | 8                        | 0,21                    |
| 1,2,4-Trimethylbenzol                                        | 95-63-6  | 3                        | 0,08                    |
| Ethylhexanol                                                 | 104-76-7 | 4                        | 0,11                    |
| 1-Octanol                                                    | 111-87-5 | 50                       | 1,33                    |
| Nonanal                                                      | 124-19-6 | 4                        | 0,11                    |
| Tetradekan                                                   | 629-59-4 | 2                        | 0,06                    |
| o-Hydroxybiphenyl                                            | 90-43-7  | 7                        | 0,18                    |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen) |          | 205                      | 5,42                    |
| Summe der nicht identifizierten VOC                          |          | 56                       | 1,48                    |

|                                                                   |  |            |             |
|-------------------------------------------------------------------|--|------------|-------------|
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |  | <b>261</b> | <b>6,91</b> |
|-------------------------------------------------------------------|--|------------|-------------|

## Zusammenfassung Gerät L farbig

|                 | Anforderungen zur Umweltzeichenvergabe |                           | ermittelte Emissionsraten |                           |
|-----------------|----------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Emittent        | Druckphase [mg/h]                      | Bereitschaftsphase [mg/h] | Druckphase [mg/h]         | Bereitschaftsphase [mg/h] |
| TVOC            | 10                                     | 1                         | 6,91                      | 0,14                      |
| Benzol (Benzen) | 0,05                                   | -                         | 0,037                     | 0,00                      |
| Styrol (Styren) | 1,0                                    | -                         | 0,93                      | 0,02                      |
| Ozon            | 2,0                                    | -                         | < 0,5                     | n. q.                     |
| Staub           | 4,0                                    | -                         | 1,2                       | -                         |

## Bereitschaftsphase Gerät L monochrom

| Substanz                                                          | CAS-Nr.   | Konzentration [µg/m³] | Emissionsrate [mg/h] |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------------|----------------------|
| Benzol <sup>x</sup>                                               | 71-43-2   | 1,3                   | 0,00                 |
| Butanol                                                           | 71-36-3   | 79                    | 0,08                 |
| Toluol                                                            | 108-88-3  | 12                    | 0,01                 |
| Hexanal                                                           | 66-25-1   | 4                     | 0,00                 |
| Hexamethylcyclotrisiloxan                                         | 541-05-09 | 4                     | 0,00                 |
| Styrol                                                            | 100-42-5  | 24                    | 0,02                 |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7  | 3                     | 0,00                 |
| 1,3,5-Trimethylbenzol                                             | 108-67-8  | 2                     | 0,00                 |
| Phenol                                                            | 108-95-2  | 4                     | 0,00                 |
| 1,2,4-Trimethylbenzol                                             | 95-63-6   | 8                     | 0,01                 |
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                       | 556-67-2  | 5                     | 0,01                 |
| 1,2,3-Trimethylbenzol                                             | 526-73-8  | 2                     | 0,00                 |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7  | 4                     | 0,00                 |
| Acetophenon                                                       | 98-86-2   | 3                     | 0,00                 |
| 1-Octanol                                                         | 111-87-5  | 3                     | 0,00                 |
| Nonanal                                                           | 124-19-6  | 5                     | 0,01                 |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6  | 5                     | 0,01                 |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |           | 167                   | 0,17                 |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |           | 10                    | 0,01                 |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |           | <b>177</b>            | <b>0,18</b>          |

## Druckphase Gerät L monochrom

| Substanz            | CAS-Nr.  | Konzentration [µg/m³] | Emissionsrate [mg/h] |
|---------------------|----------|-----------------------|----------------------|
| Benzol <sup>x</sup> | 71-43-2  | 1,7                   | 0,045                |
| Butanol             | 71-36-3  | 92                    | 2,44                 |
| Toluol              | 108-88-3 | 25                    | 0,67                 |

|                                                                   |                   |            |             |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------|------------|-------------|
| Hexanal                                                           | 66-25-1           | 4          | 0,10        |
| Ethylbenzol                                                       | 100-41-4          | 6          | 0,15        |
| m/p-Xylol                                                         | 108-38-3/106-42-3 | 2          | 0,06        |
| Styrol                                                            | 100-42-5          | 14         | 0,37        |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7          | 6          | 0,15        |
| Phenol                                                            | 108-95-2          | 3          | 0,07        |
| 1,2,4-Trimethylbenzol                                             | 95-63-6           | 5          | 0,12        |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7          | 5          | 0,14        |
| 1-Octanol                                                         | 111-87-5          | 21         | 0,57        |
| Nonanal                                                           | 124-19-6          | 3          | 0,09        |
| o-Hydroxybiphenyl                                                 | 90-43-7           | 10         | 0,27        |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |                   | 196        | 5,24        |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |                   | 24         | 0,64        |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |                   | <b>220</b> | <b>5,88</b> |

## Zusammenfassung Gerät L monochrom

| Emittent        | Anforderungen zur Umweltzeichenvergabe |                              | ermittelte Emissionsraten |                              |
|-----------------|----------------------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|
|                 | Druckphase<br>[mg/h]                   | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] | Druckphase<br>[mg/h]      | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] |
| TVOC            | 10                                     | 1                            | 5,88                      | 0,18                         |
| Benzol (Benzen) | 0,05                                   | -                            | 0,045                     | 0,00                         |
| Styrol (Styren) | 1,0                                    | -                            | 0,37                      | 0,02                         |
| Ozon            | 2,0                                    | -                            | < 0,2                     | n. q.                        |
| Staub           | 4,0                                    | -                            | 1,3                       | -                            |

## Bereitschaftsphase Gerät M farbig

| Substanz                    | CAS-Nr.           | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|-----------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| Hexan                       | 110-54-3          | 5                        | 0,01                    |
| Benzol                      | 71-43-2           | < NG                     | < NG                    |
| Toluol                      | 108-88-3          | 8                        | 0,01                    |
| Hexanal                     | 66-25-1           | 3                        | 0,00                    |
| n-Butylacetat               | 123-86-4          | 3                        | 0,00                    |
| Hexamethylcyclotrisiloxan   | 541-05-9          | 6                        | 0,01                    |
| Ethylbenzol                 | 100-41-4          | 6                        | 0,01                    |
| m, p -Xylol                 | 108-38-3/106-42-3 | 21                       | 0,02                    |
| Styrol                      | 100-42-5          | <NG                      | < NG                    |
| Benzaldehyd                 | 100-52-7          | 3                        | 0,00                    |
| Phenol                      | 108-95-2          | 19                       | 0,02                    |
| Dekan                       | 124-18-5          | 4                        | 0,00                    |
| Octamethylcyclotetrasiloxan | 556-67-2          | 33                       | 0,03                    |
| Ethylhexanol                | 104-76-7          | 11                       | 0,01                    |
| Acetophenon                 | 98-86-2           | 4                        | 0,00                    |

|                                                                   |          |            |             |
|-------------------------------------------------------------------|----------|------------|-------------|
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6 | 83         | 0,08        |
| BHT                                                               | 128-37-0 | 3          | 0,00        |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |          | 218        | 0,21        |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |          | 97         | 0,10        |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |          | <b>315</b> | <b>0,31</b> |

### Druckphase Gerät M farbig

| Substanz                                                          | CAS-Nr.  | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|-------------------------------------------------------------------|----------|--------------------------|-------------------------|
| Benzol                                                            | 71-43-2  | 1,32                     | 0,03                    |
| Butanol                                                           | 71-36-3  | 3                        | 0,07                    |
| Heptan                                                            | 142-82-5 | 3                        | 0,06                    |
| Toluol                                                            | 108-88-3 | 3                        | 0,09                    |
| Hexamethylcyclotrisiloxan                                         | 541-05-9 | 5                        | 0,13                    |
| Ethylbenzol                                                       | 100-41-4 | 3                        | 0,08                    |
| Styrol                                                            | 100-42-5 | 27                       | 0,66                    |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7 | 4                        | 0,09                    |
| Phenol                                                            | 108-95-2 | 16                       | 0,39                    |
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                       | 556-67-2 | 14                       | 0,35                    |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7 | 5                        | 0,12                    |
| Acetophenon                                                       | 98-86-2  | 5                        | 0,13                    |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6 | 40                       | 0,97                    |
| o-Hydroxybiphenyl                                                 | 90-43-7  | 5                        | 0,13                    |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |          | 133                      | 3,26                    |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |          | 201                      | 4,91                    |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |          | <b>334</b>               | <b>8,17</b>             |

### Zusammenfassung Gerät M farbig

| Emittent        | Anforderungen zur Umweltzeichenvergabe |                              | ermittelte Emissionsraten |                              |
|-----------------|----------------------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|
|                 | Druckphase<br>[mg/h]                   | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] | Druckphase<br>[mg/h]      | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] |
| TVOC            | 10                                     | 1                            | 4,13                      | 0,31                         |
| Benzol (Benzen) | 0,05                                   |                              | 0,03                      | <NG                          |
| Styrol (Styren) | 1.0                                    |                              | 0,66                      | <NG                          |
| Ozon            | 2.0                                    |                              | < 0,1                     | -                            |
| Staub           | 4.0                                    |                              | 0,2                       | -                            |

### Bereitschaftsphase Gerät M monochrom

| Substanz | CAS-Nr. | Konzentration | Emissionsrate |
|----------|---------|---------------|---------------|
|----------|---------|---------------|---------------|

|                                                                   |                   | [µg/m³]    | [mg/h]      |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------|------------|-------------|
| Hexan                                                             | 110-54-3          | 2          | 0,00        |
| Benzol                                                            | 71-43-2           | 2          | 0,00        |
| Butanol                                                           | 71-36-3           | 5          | 0,01        |
| Toluol                                                            | 108-88-3          | 8          | 0,01        |
| n- Butylacetat                                                    | 123-86-4          | 3          | 0,00        |
| Hexamethylcyclotrisiloxan                                         | 541-05-9          | 7          | 0,1         |
| Ethylbenzol                                                       | 100-41-4          | 5          | 0,01        |
| m, p –Xylol                                                       | 108-38-3/106-42-3 | 4          | 0,00        |
| Styrol                                                            | 100-42-5          | 20         | 0,02        |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7          | 2          | 0,00        |
| Phenol                                                            | 108-95-2          | 19         | 0,02        |
| Dekan                                                             | 124-18-5          | 3          | 0,00        |
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                       | 556-67-2          | 28         | 0,03        |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7          | 11         | 0,01        |
| Acetophenon                                                       | 98-86-2           | 3          | 0,00        |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6          | 75         | 0,75        |
| BHT                                                               | 128-37-0          | 3          | 0,00        |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |                   | 200        | 0,20        |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |                   | 84         | 0,08        |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |                   | <b>284</b> | <b>0,28</b> |

### Druckphase Gerät M monochrom

| Substanz                                                          | CAS-Nr.  | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|-------------------------------------------------------------------|----------|--------------------------|-------------------------|
| Benzol                                                            | 71-43-2  | 1,53                     | 0,05                    |
| Butanol                                                           | 71-36-3  | 4                        | 0,14                    |
| Toluol                                                            | 108-88-3 | 3                        | 0,10                    |
| Hexanal                                                           | 66-25-1  | 4                        | 0,12                    |
| n-Butylacetat                                                     | 123-86-4 | 2                        | 0,07                    |
| Hexamethylcyclotrisiloxan                                         | 541-05-9 | 5                        | 0,17                    |
| Ethylbenzol                                                       | 100-41-4 | 2                        | 0,08                    |
| Styrol                                                            | 100-42-5 | 18                       | 0,59                    |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7 | 3                        | 0,11                    |
| Phenol                                                            | 108-95-2 | 15                       | 0,52                    |
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                       | 556-67-2 | 12                       | 0,39                    |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7 | 6                        | 0,19                    |
| Acetophenon                                                       | 98-86-2  | 4                        | 0,13                    |
| Nonanal                                                           | 124-19-6 | 4                        | 0,14                    |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6 | 37                       | 1,24                    |
| o-Hydroxybiphenyl                                                 | 90-43-7  | 12                       | 0,39                    |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |          | 131                      | 4,37                    |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |          | 148                      | 4,91                    |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |          | <b>279</b>               | <b>9,28</b>             |

## Zusammenfassung Gerät M monochrom

| Emittent        | Anforderungen zur Umweltzeichenvergabe |                              | ermittelte Emissionsraten |                              |
|-----------------|----------------------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|
|                 | Druckphase<br>[mg/h]                   | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] | Druckphase<br>[mg/h]      | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] |
| TVOC            | 10                                     | 1                            | 9,28                      | 0,28                         |
| Benzol (Benzen) | 0,05                                   | -                            | 0,05                      | 0,00                         |
| Styrol (Styren) | 1.0                                    | -                            | 0,59                      | 0,02                         |
| Ozon            | 2.0                                    | -                            | < 0,2                     | -                            |
| Staub           | 4.0                                    | -                            | 0,4                       | -                            |

## Bereitschaftsphase Gerät N farbig

| Substanz                                                          | CAS-Nr.           | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| Benzol                                                            | 71-43-2           | < NG                     | < NG                    |
| Trichlorethylen                                                   | 79-01-6           | 5                        | 0,01                    |
| Butanol                                                           | 71-36-3           | 8                        | 0,01                    |
| Toluol                                                            | 108-88-3          | 31                       | 0,03                    |
| Hexanal                                                           | 66-25-1           | 6                        | 0,01                    |
| Hexamethylcyclotrisiloxan                                         | 541-05-9          | 2                        | 0,00                    |
| Ethylbenzol                                                       | 100-41-4          | 29                       | 0,03                    |
| m, p –Xylol                                                       | 108-38-3/106-42-3 | 5                        | 0,01                    |
| Styrol                                                            | 100-42-5          | 42                       | 0,04                    |
| o –Xylol                                                          | 95-47-6           | 2                        | 0,00                    |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7          | 4                        | 0,00                    |
| a -Pinen                                                          | 80-56-8           | 2                        | 0,00                    |
| Propylbenzol                                                      | 103-65-1          | 2                        | 0,00                    |
| Phenol                                                            | 108-95-2          | 3                        | 0,00                    |
| 1,2,4-Trimethylbenzol                                             | 95-63-6           | 6                        | 0,01                    |
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                       | 556-67-2          | 5                        | 0,01                    |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7          | 8                        | 0,01                    |
| Acetophenon                                                       | 98-86-2           | 10                       | 0,01                    |
| Nonanal                                                           | 124-19-6          | 2                        | 0,00                    |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6          | 4                        | 0,00                    |
| Tetradecan                                                        | 629-59-4          | 4                        | 0,00                    |
| BHT                                                               | 128-37-0          | 21                       | 0,02                    |
| Hexadecan                                                         | 544-76-3          | 2                        | 0,00                    |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |                   | 205                      | 0,21                    |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |                   | 51                       | 0,05                    |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |                   | <b>256</b>               | <b>0,26</b>             |

## Druckphase Gerät N farbig

| Substanz                                                          | CAS-Nr.           | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| Benzol                                                            | 71-43-2           | < NG                     | < NG                    |
| Trichlorethylen                                                   | 79-01-6           | 9                        | 0,04                    |
| Butanol                                                           | 71-36-3           | 11                       | 0,06                    |
| Toluol                                                            | 108-88-3          | 33                       | 0,16                    |
| Hexanal                                                           | 66-25-1           | 6                        | 0,03                    |
| Hexamethylcyclotrisiloxan                                         | 541-05-9          | 2                        | 0,01                    |
| Ethylbenzol                                                       | 100-41-4          | 26                       | 0,13                    |
| m, p –Xylol                                                       | 108-38-3/106-42-3 | 5                        | 0,02                    |
| Styrol                                                            | 100-42-5          | 40                       | 0,19                    |
| o –Xylol                                                          | 95-47-6           | 2                        | 0,01                    |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7          | 4                        | 0,02                    |
| a-Pinen                                                           | 80-56-8           | 2                        | 0,01                    |
| Propylbenzol                                                      | 108-95-2          | 2                        | 0,01                    |
| Phenol                                                            | 108-95-2          | 3                        | 0,01                    |
| 1,2,4-Trimethylbenzol                                             | 95-63-6           | 4                        | 0,02                    |
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                       | 556-67-2          | 6                        | 0,03                    |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7          | 6                        | 0,03                    |
| Acetophenon                                                       | 98-86-2           | 11                       | 0,06                    |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6          | 4                        | 0,02                    |
| Dodecan                                                           | 112-40-3          | 2                        | 0,01                    |
| Tetradecan                                                        | 629-59-4          | 4                        | 0,02                    |
| BHT                                                               | 128-37-0          | 22                       | 0,11                    |
| Hexadecan                                                         | 544-76-3          | 2                        | 0,01                    |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |                   | 204                      | 1,01                    |
|                                                                   |                   |                          |                         |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |                   | 101                      | 0,5                     |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |                   | <b>305</b>               | <b>1,51</b>             |

## Zusammenfassung Gerät N farbig

| Emittent        | Anforderungen zur Umweltzeichenvergabe |                              | ermittelte Emissionsraten |                              |
|-----------------|----------------------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|
|                 | Druckphase<br>[mg/h]                   | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] | Druckphase<br>[mg/h]      | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] |
| TVOC            | 10                                     | 1                            | 1,51                      | 0,26                         |
| Benzol (Benzen) | 0,05                                   |                              | < NG                      | < NG                         |
| Styrol (Styren) | 1,0                                    |                              | 0,19                      | 0,04                         |
| Ozon            | 2,0                                    |                              | < NG                      | < NG                         |
| Staub           | 4,0                                    |                              | < NG                      | -                            |

## Bereitschaftsphase Gerät N monochrom

| Substanz                                                          | CAS-Nr.           | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| Benzol                                                            | 71-43-2           | < NG                     | < NG                    |
| Butanol                                                           | 71-36-3           | 5                        | 0,01                    |
| Trichlorethylen                                                   | 79-01-6           | 4                        | 0,00                    |
| Toluol                                                            | 108-88-3          | 38                       | 0,04                    |
| Hexanal                                                           | 66-25-1           | 3                        | 0,00                    |
| Hexamethylcyclotrisiloxan                                         | 541-05-9          | 3                        | 0,00                    |
| Ethylbenzol                                                       | 100-41-4          | 19                       | 0,02                    |
| m, p –Xylol                                                       | 108-38-3/106-42-3 | 5                        | 0,01                    |
| Styrol                                                            | 100-42-5          | 25                       | 0,02                    |
| o –Xylol                                                          | 95-47-6           | 2                        | 0,00                    |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7          | 3                        | 0,00                    |
| a - Pinen                                                         | 80-56-8           | 4                        | 0,00                    |
| Propylbenzol                                                      | 103-65-1          | 2                        | 0,00                    |
| Phenol                                                            | 108-95-2          | 2                        | 0,00                    |
| 1,2,4 Trimethylbenzol                                             | 95-63-6           | 7                        | 0,01                    |
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                       | 556-67-2          | 7                        | 0,01                    |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7          | 6                        | 0,01                    |
| Acetophenon                                                       | 98-86-2           | 7                        | 0,01                    |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6          | 5                        | 0,1                     |
| Dodecan                                                           | 112-40-3          | 2                        | 0,00                    |
| Tetradecan                                                        | 629-59-4          | 4                        | 0,00                    |
| BHT                                                               | 128-37-0          | 22                       | 0,02                    |
| Hexadecan                                                         | 544-76-3          | 2                        | 0,00                    |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierten Substanzen)     |                   | 177                      | 0,17                    |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |                   | 51                       | 0,05                    |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |                   | <b>288</b>               | <b>0,22</b>             |

## Druckphase Gerät N monochrom

| Substanz                  | CAS-Nr.           | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|---------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| Benzol                    | 71-43-2           | < NG                     | < NG                    |
| Butanol                   | 71-36-3           | 7                        | 0,04                    |
| Trichlorethylen           | 79-01-6           | 7                        | 0,04                    |
| Toluol                    | 108-88-3          | 39                       | 0,22                    |
| Hexanal                   | 66-25-1           | 4                        | 0,02                    |
| Hexamethylcyclotrisiloxan | 541-05-9          | 3                        | 0,02                    |
| Ethylbenzol               | 100-41-4          | 18                       | 0,10                    |
| m, p –Xylol               | 108-38-3/106-42-3 | 4                        | 0,02                    |
| Styrol                    | 100-42-5          | 24                       | 0,13                    |
| o –Xylol                  | 95-47-6           | 2                        | 0,01                    |
| Benzaldehyd               | 100-52-7          | 3                        | 0,02                    |

|                                                                   |          |            |             |
|-------------------------------------------------------------------|----------|------------|-------------|
| a -Pinen                                                          | 80-56-8  | 3          | 0,02        |
| Propylbenzol                                                      | 103-65-1 | 2          | 0,01        |
| 1,2,4 Trimethylbenzol                                             | 95-63-6  | 7          | 0,04        |
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                       | 556-67-2 | 7          | 0,04        |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7 | 5          | 0,03        |
| Acetophenon                                                       | 98-86-2  | 8          | 0,04        |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6 | 5          | 0,03        |
| Dodecan                                                           | 112-40-3 | 2          | 0,01        |
| Tetradecan                                                        | 629-59-4 | 3          | 0,02        |
| BHT                                                               | 128-37-0 | 21         | 0,11        |
| Hexadecan                                                         | 544-76-3 | 2          | 0,01        |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |          | 176        | 0,96        |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |          | 77         | 0,42        |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |          | <b>253</b> | <b>1,38</b> |

### Zusammenfassung Gerät N monochrom

| Emittent        | Anforderungen zur Umweltzeichenvergabe |                           | ermittelte Emissionsraten |                           |
|-----------------|----------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                 | Druckphase [mg/h]                      | Bereitschaftsphase [mg/h] | Druckphase [mg/h]         | Bereitschaftsphase [mg/h] |
| TVOC            | 10                                     | 1                         | 1,38                      | 0,22                      |
| Benzol (Benzen) | 0,05                                   | -                         | < NG                      | < NG                      |
| Styrol (Styren) | 1.0                                    | -                         | 0,13                      | 0,02                      |
| Ozon            | 2.0                                    | -                         | <NG                       | <NG                       |
| Staub           | 4.0                                    | -                         | <0,1                      | -                         |

### Bereitschaftsphase Gerät O farbig

| Substanz                                                          | CAS-Nr.  | Konzentration [µg/m³] | Emissionsrate [mg/h] |
|-------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------|----------------------|
| Benzol                                                            | 71-43-2  | < NG                  | < NG                 |
| Butanol                                                           | 71-36-3  | 6                     | 0,01                 |
| Toluol                                                            | 108-88-3 | 2                     | 0,00                 |
| 1,3-Butandiol                                                     | 107-88-0 | 806                   | 0,79                 |
| Styrol                                                            | 100-42-5 | 4                     | 0,00                 |
| Phenol                                                            | 108-95-2 | 4                     | 0,00                 |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |          | 822                   | 0,80                 |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |          | 3                     | 0,00                 |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |          | <b>825</b>            | <b>0,80</b>          |

### Druckphase Gerät O farbig

| Substanz | CAS-Nr. | Konzentration | Emissionsrate |
|----------|---------|---------------|---------------|
|----------|---------|---------------|---------------|

|                                                                   |          | [µg/m³]     | [mg/h]      |
|-------------------------------------------------------------------|----------|-------------|-------------|
| Benzol                                                            | 71-43-2  | < NG        | < NG        |
| Butanol                                                           | 71-36-3  | 26          | 0,08        |
| Toluol                                                            | 108-88-3 | 6           | 0,02        |
| Hexanal                                                           | 66-25-1  | 9           | 0,03        |
| 1,3-Butandiol                                                     | 107-88-0 | 3219        | 9,41        |
| Styrol                                                            | 100-42-5 | 6           | 0,02        |
| Phenol                                                            | 108-95-2 | 3           | 0,01        |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7 | 3           | 0,01        |
| Nonanal                                                           | 124-19-6 | 2           | 0,01        |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |          | 3274        | 9,57        |
|                                                                   |          |             |             |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |          | 13          | 0,04        |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |          | <b>3287</b> | <b>9,61</b> |

### Zusammenfassung Gerät O farbig

| Emittent        | Anforderungen zur Umweltzeichenvergabe |                           | ermittelte Emissionsraten |                           |
|-----------------|----------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                 | Druckphase [mg/h]                      | Bereitschaftsphase [mg/h] | Druckphase [mg/h]         | Bereitschaftsphase [mg/h] |
| TVOC            | 10                                     | 1                         | 9,61                      | 0,80                      |
| Benzol (Benzen) | 0,05                                   |                           | < NG                      | < NG                      |
| Styrol (Styren) | 1,0                                    |                           | 0,02                      | 0,00                      |
| Ozon            | 2,0                                    |                           | < NG                      | < NG                      |
| Staub           | 4,0                                    |                           | < 0,1                     | -                         |

### Bereitschaftsphase Gerät O monochrom

| Substanz                                                          | CAS-Nr.  | Konzentration [µg/m³] | Emissionsrate [mg/h] |
|-------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------|----------------------|
| Hexan                                                             | 110-54-3 | < NG                  | < NG                 |
| Benzol                                                            | 71-43-2  | < NG                  | < NG                 |
| Butanol                                                           | 71-36-3  | 11,8                  | 0,01                 |
| Toluol                                                            | 108-88-3 | 2                     | 0,00                 |
| Hexanal                                                           | 66-25-1  | 4                     | 0,00                 |
| 1,3-Butandiol                                                     | 107-88-0 | 970                   | 0,95                 |
| Styrol                                                            | 100-42-5 | 5                     | 0,01                 |
| Phenol                                                            | 108-95-2 | 5                     | 0,01                 |
| Dodecan                                                           | 112-40-3 | 2                     | 0,00                 |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |          | 1000                  | 0,97                 |
|                                                                   |          |                       |                      |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |          | 4                     | 0,00                 |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |          | <b>1004</b>           | <b>0,97</b>          |

## Druckphase Gerät O monochrom

| Substanz                                                          | CAS-Nr.  | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|-------------------------------------------------------------------|----------|--------------------------|-------------------------|
| Hexan                                                             | 110-54-3 | < NG                     | < NG                    |
| Benzol                                                            | 71-43-2  | < NG                     | < NG                    |
| Butanol                                                           | 71-36-3  | 26                       | 0,09                    |
| Toluol                                                            | 108-88-3 | 4                        | 0,02                    |
| Hexanal                                                           | 66-25-1  | 11                       | 0,04                    |
| 1,3 -Butandiol                                                    | 107-88-0 | 1502                     | 5,33                    |
| Styrol                                                            | 100-42-5 | 7                        | 0,02                    |
| Phenol                                                            | 108-95-2 | 4                        | 0,02                    |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7 | 3                        | 0,01                    |
| Tetradecan                                                        | 629-59-4 | 2                        | 0,01                    |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |          | 1559                     | 5,53                    |
|                                                                   |          |                          |                         |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |          | 5                        | 0,02                    |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |          | <b>1564</b>              | <b>5,55</b>             |

## Zusammenfassung Gerät O monochrom

| Emittent        | Anforderungen zur Umweltzeichenvergabe |                              | ermittelte Emissionsraten |                              |
|-----------------|----------------------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|
|                 | Druckphase<br>[mg/h]                   | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] | Druckphase<br>[mg/h]      | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] |
| TVOC            | 10                                     | 1                            | 5,55                      | 0,97                         |
| Benzol (Benzen) | 0,05                                   | -                            | < NG                      | < NG                         |
| Styrol (Styren) | 1.0                                    | -                            | 0,02                      | 0,01                         |
| Ozon            | 2.0                                    | -                            | < NG                      | < NG                         |
|                 |                                        |                              |                           |                              |
| Staub           | 4.0                                    | -                            | < NG                      | -                            |

## Bereitschaftsphase Gerät P farbig

| Substanz                                                     | CAS-Nr.  | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|--------------------------------------------------------------|----------|--------------------------|-------------------------|
| Benzol                                                       | 71-43-2  | 1,4                      | 0,03                    |
| Toluol                                                       | 108-88-3 | 2                        | 0,04                    |
| Styrol                                                       | 100-42-5 | 3                        | 0,05                    |
| Benzaldehyd                                                  | 100-52-7 | 3                        | 0,06                    |
| Dekan                                                        | 124-18-5 | 2                        | 0,04                    |
| Acetophenon                                                  | 98-86-2  | 5                        | 0,10                    |
| BHT                                                          | 128-37-0 | 5                        | 0,09                    |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen) |          | 20                       | 0,39                    |

|                                                                   |  |           |             |
|-------------------------------------------------------------------|--|-----------|-------------|
|                                                                   |  |           |             |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |  | 4         | 0,08        |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |  | <b>24</b> | <b>0,47</b> |

### Druckphase Gerät P farbig

| Substanz                                                          | CAS-Nr.  | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|-------------------------------------------------------------------|----------|--------------------------|-------------------------|
| Benzol                                                            | 71-43-2  | < NG                     | < NG                    |
| Butanol                                                           | 71-36-3  | 2                        | 0,67                    |
| Toluol                                                            | 108-88-3 | 2                        | 0,56                    |
| Styrol                                                            | 100-42-5 | 4                        | 0,99                    |
| Phenol                                                            | 108-95-2 | 3                        | 0,69                    |
| Acetophenon                                                       | 98-86-2  | 5                        | 1,40                    |
| Decamethylcyclpentasiloxan                                        | 541-02-6 | 2                        | 0,58                    |
| BHT                                                               | 128-37-0 | 4                        | 1,22                    |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |          | 22                       | 6,09                    |
|                                                                   |          |                          |                         |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |          | 7                        | 1,83                    |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |          | <b>29</b>                | <b>7,92</b>             |

### Zusammenfassung Gerät P farbig

| Emittent        | Anforderungen zur Umweltzeichenvergabe |                              | ermittelte Emissionsraten |                              |
|-----------------|----------------------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|
|                 | Druckphase<br>[mg/h]                   | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] | Druckphase<br>[mg/h]      | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] |
| TVOC            | 10                                     | 1                            | 7,92                      | 0,47                         |
| Benzol (Benzen) | 0,05                                   |                              | < NG                      | 0,03                         |
| Styrol (Styren) | 1,0                                    |                              | 0,99                      | 0,05                         |
| Ozon            | 2,0                                    |                              | 2,6                       | -                            |
| Staub           | 4,0                                    |                              | 0,3                       | -                            |

### Bereitschaftsphase Gerät P monochrom

| Substanz                                                     | CAS-Nr.  | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|--------------------------------------------------------------|----------|--------------------------|-------------------------|
| Benzol                                                       | 71-43-2  | 1                        | 0,02                    |
| Toluol                                                       | 108-88-3 | 2                        | 0,04                    |
| Styrol                                                       | 100-42-5 | 2                        | 0,05                    |
| Benzaldehyd                                                  | 100-52-7 | 3                        | 0,06                    |
| Dekan                                                        | 124-18-5 | 2                        | 0,05                    |
| Acetophenon                                                  | 98-86-2  | 6                        | 0,11                    |
| BHT                                                          | 128-37-0 | 4                        | 0,08                    |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen) |          | 19                       | 0,39                    |

|                                                                   |  |           |             |
|-------------------------------------------------------------------|--|-----------|-------------|
|                                                                   |  |           |             |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |  | 4         | 0,08        |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |  | <b>23</b> | <b>0,47</b> |

### Druckphase Gerät P monochrom

| Substanz                                                          | CAS-Nr.  | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|-------------------------------------------------------------------|----------|--------------------------|-------------------------|
| Benzol                                                            | 71-43-2  | < NG                     | 0,01                    |
| Butanol                                                           | 71-36-3  | 4                        | 1,49                    |
| Toluol                                                            | 108-88-3 | 2                        | 0,83                    |
| Styrol                                                            | 100-42-5 | 4                        | 1,42                    |
| Phenol                                                            | 108-95-2 | 3                        | 0,93                    |
| Dekan                                                             | 124-18-5 | 2                        | 0,78                    |
| 1-Methyl-2-Pyrrolidion                                            | 872-50-4 | 3                        | 1,01                    |
| Acetophenon                                                       | 98-86-2  | 6                        | 2,12                    |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6 | 2                        | 0,79                    |
| BHT                                                               | 128-37-0 | 5                        | 1,70                    |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |          | 31                       | 11,07                   |
|                                                                   |          |                          |                         |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |          | 7                        | 2,51                    |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |          | <b>38</b>                | <b>13,58</b>            |

### Zusammenfassung Gerät P monochrom

| Emittent        | Anforderungen zur Umweltzeichenvergabe |                              | ermittelte Emissionsraten |                              |
|-----------------|----------------------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|
|                 | Druckphase<br>[mg/h]                   | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] | Druckphase<br>[mg/h]      | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] |
| TVOC            | 10                                     | 1                            | 13,58                     | 0,47                         |
| Benzol (Benzen) | 0,05                                   | -                            | 0,01                      | 0,02                         |
| Styrol (Styren) | 1,0                                    | -                            | 1,42                      | 0,05                         |
| Ozon            | 2,0                                    | -                            | 0,6                       | -                            |
| Staub           | 4,0                                    | -                            | 0,4                       | -                            |

### Bereitschaftsphase Gerät R farbig

| Substanz                  | CAS-Nr.           | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|---------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| Benzol                    | 71-43-2           | 6,3                      | 0,006                   |
| Butanol                   | 71-36-3           | 11,7                     | 0,012                   |
| n-Propylacetat            | 109-60-4          | 15,1                     | 0,015                   |
| Hexamethylcyclotrisiloxan | 541-05-9          | 55,8                     | 0,056                   |
| Ethylbenzol               | 100-41-4          | 17,9                     | 0,018                   |
| m, p -Xylol               | 108-38-3/106-42-3 | 20,5                     | 0,020                   |

|                                                                   |          |            |              |
|-------------------------------------------------------------------|----------|------------|--------------|
| Styrol                                                            | 100-42-5 | 4,4        | 0,004        |
| o –Xylol                                                          | 95-47-6  | 10,9       | 0,011        |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7 | 6,5        | 0,006        |
| Phenol                                                            | 108-95-2 | 31,3       | 0,031        |
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                       | 556-67-2 | 46,9       | 0,047        |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7 | 7,0        | 0,007        |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6 | 72,2       | 0,072        |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |          | 306        | 0,306        |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |          | 58         | 0,058        |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |          | <b>364</b> | <b>0,364</b> |

### Druckphase Gerät R farbig

| Substanz                                                          | CAS-Nr.           | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| Benzol                                                            | 71-43-2           | 5,3                      | 0,051                   |
| Butanol                                                           | 71-36-3           | 43,9                     | 0,553                   |
| 1,2-Propandiol                                                    | 57-55-6           | 12,5                     | 0,166                   |
| n-Propylacetat                                                    | 109-60-4          | 19,6                     | 0,215                   |
| Hexamethylcyclotrisiloxan                                         | 541-05-9          | 31,5                     | 0,246                   |
| Ethylbenzol                                                       | 100-41-4          | 21,9                     | 0,237                   |
| m, p –Xylol                                                       | 108-38-3/106-42-3 | 68,1                     | 0,850                   |
| Styrol                                                            | 100-42-5          | 28,3                     | 0,366                   |
| o –Xylol                                                          | 95-47-6           | 41,9                     | 0,528                   |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7          | 53,6                     | 0,699                   |
| Propylbenzol                                                      | 103-65-1          | 17,2                     | 0,224                   |
| Phenol                                                            | 108-95-2          | 17,7                     | 0,139                   |
| Decan                                                             | 124-18-5          | 3,9                      | 0,050                   |
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                       | 556-67-2          | 27,2                     | 0,217                   |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7          | 8,5                      | 0,092                   |
| Nonanal                                                           | 124-19-6          | 7,2                      | 0,087                   |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6          | 48,1                     | 0,417                   |
| Dodecan                                                           | 112-40-3          | 5,4                      | 0,069                   |
| Dipropylenglykol-mono-n-butylether1                               | 29911-28-2        | 16,3                     | 0,217                   |
| Dipropylenglykol-mono-n-butylether1                               | 35884-42-5        | 19,1                     | 0,254                   |
| o-Hydroxybiphenyl                                                 | 90-43-7           | 4,8                      | 0,064                   |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |                   | 502                      | 5,743                   |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |                   | 96                       | 1,069                   |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |                   | <b>598</b>               | <b>6,813</b>            |

### Zusammenfassung Gerät R farbig

| Emittent | Anforderungen zur<br>Umweltzeichenvergabe |                              | ermittelte Emissionsraten |                              |
|----------|-------------------------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|
|          | Druckphase<br>[mg/h]                      | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] | Druckphase<br>[mg/h]      | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] |

|                 |      |   |       |       |
|-----------------|------|---|-------|-------|
| TVOC            | 10   | 1 | 6,813 | 0,364 |
| Benzol (Benzen) | 0,05 |   | 0,051 | 0,006 |
| Styrol (Styren) | 1.0  |   | 0,366 | 0,004 |
| Ozon            | 2.0  |   | < NG  | < NG  |
| Staub           | 4.0  |   | 0,6   | -     |

## Bereitschaftsphase Gerät R monochrom

| Substanz                                                          | CAS-Nr.           | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| Benzol                                                            | 71-43-2           | 4,4                      | 0,004                   |
| Butanol                                                           | 71-36-3           | 15,6                     | 0,016                   |
| n-Propylacetat                                                    | 109-60-4          | 13,5                     | 0,013                   |
| Hexamethylcyclotrisiloxan                                         | 541-05-9          | 48,5                     | 0,048                   |
| Ethylbenzol                                                       | 100-41-4          | 16,3                     | 0,016                   |
| m, p –Xylol                                                       | 108-38-3/106-42-3 | 19,5                     | 0,019                   |
| Styrol                                                            | 100-42-5          | 4,3                      | 0,004                   |
| o –Xylol                                                          | 95-47-6           | 10,3                     | 0,010                   |
| Benzaldehyd                                                       | 100-52-7          | 6,0                      | 0,006                   |
| Phenol                                                            | 108-95-2          | 26,9                     | 0,027                   |
| Octamethylcyclotetrasiloxan                                       | 556-67-2          | 40,7                     | 0,041                   |
| Ethylhexanol                                                      | 104-76-7          | 6,3                      | 0,006                   |
| Decamethylcyclopentasiloxan                                       | 541-02-6          | 68,0                     | 0,068                   |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |                   | 280                      | 0,280                   |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |                   | 50                       | 0,050                   |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |                   | <b>331</b>               | <b>0,330</b>            |

## Druckphase Gerät R monochrom

| Substanz                    | CAS-Nr.           | Konzentration<br>[µg/m³] | Emissionsrate<br>[mg/h] |
|-----------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| Benzol                      | 71-43-            | 5,6                      | 0,061                   |
| Butanol                     | 71-36-3           | 61,5                     | 0,777                   |
| 1,2-Propandiol              | 57-55-6           | 14,5                     | 0,195                   |
| n-Propylacetat              | 109-60-4          | 15,0                     | 0,159                   |
| Hexamethylcyclotrisiloxan   | 541-05-9          | 28,5                     | 0,229                   |
| Ethylbenzol                 | 100-41-4          | 14,2                     | 0,139                   |
| m, p –Xylol                 | 108-38-3/106-42-3 | 30,9                     | 0,353                   |
| Styrol                      | 100-42-5          | 11,6                     | 0,142                   |
| o –Xylol                    | 95-47-6           | 17,3                     | 0,200                   |
| Benzaldehyd                 | 100-52-7          | 23,1                     | 0,291                   |
| Propylbenzol                | 103-65-1          | 7,0                      | 0,087                   |
| Phenol                      | 108-95-2          | 18,2                     | 0,160                   |
| Octamethylcyclotetrasiloxan | 556-67-2          | 23,0                     | 0,180                   |
| Ethylhexanol                | 104-76-7          | 8,8                      | 0,098                   |
| Decamethylcyclopentasiloxan | 541-02-6          | 40,3                     | 0,326                   |

|                                                                   |             |            |              |
|-------------------------------------------------------------------|-------------|------------|--------------|
| Dipropylenglykol-mono-n-butylether1                               | 29911-28-2  | 19,6       | 0,262        |
| Dipropylenglykol-mono-n-butylether2                               | 358884-42-5 | 22,6       | 0,303        |
| o-Hydroxybiphenyl                                                 | 90-43-7     | 4,8        | 0,064        |
| TVOC (rechnerisch, ausschließlich identifizierte Substanzen)      |             | 367        | 4,030        |
| Summe der nicht identifizierten VOC                               |             | 62         | 0,638        |
| <b>TVOC (rechnerisch, incl. nicht identifizierter Substanzen)</b> |             | <b>429</b> | <b>4,674</b> |

### Zusammenfassung Gerät R monochrom

| Emittent        | Anforderungen zur Umweltzeichenvergabe |                              | ermittelte Emissionsraten |                              |
|-----------------|----------------------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|
|                 | Druckphase<br>[mg/h]                   | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] | Druckphase<br>[mg/h]      | Bereitschaftsphase<br>[mg/h] |
| TVOC            | 10                                     | 1                            | 4,674                     | 0,330                        |
| Benzol (Benzen) | 0,05                                   | -                            | 0,061                     | 0,004                        |
| Styrol (Styren) | 1.0                                    | -                            | 0,142                     | 0,004                        |
| Ozon            | 2.0                                    | -                            | < NG                      | < NG                         |
| Staub           | 4.0                                    | -                            | 0,4                       | -                            |

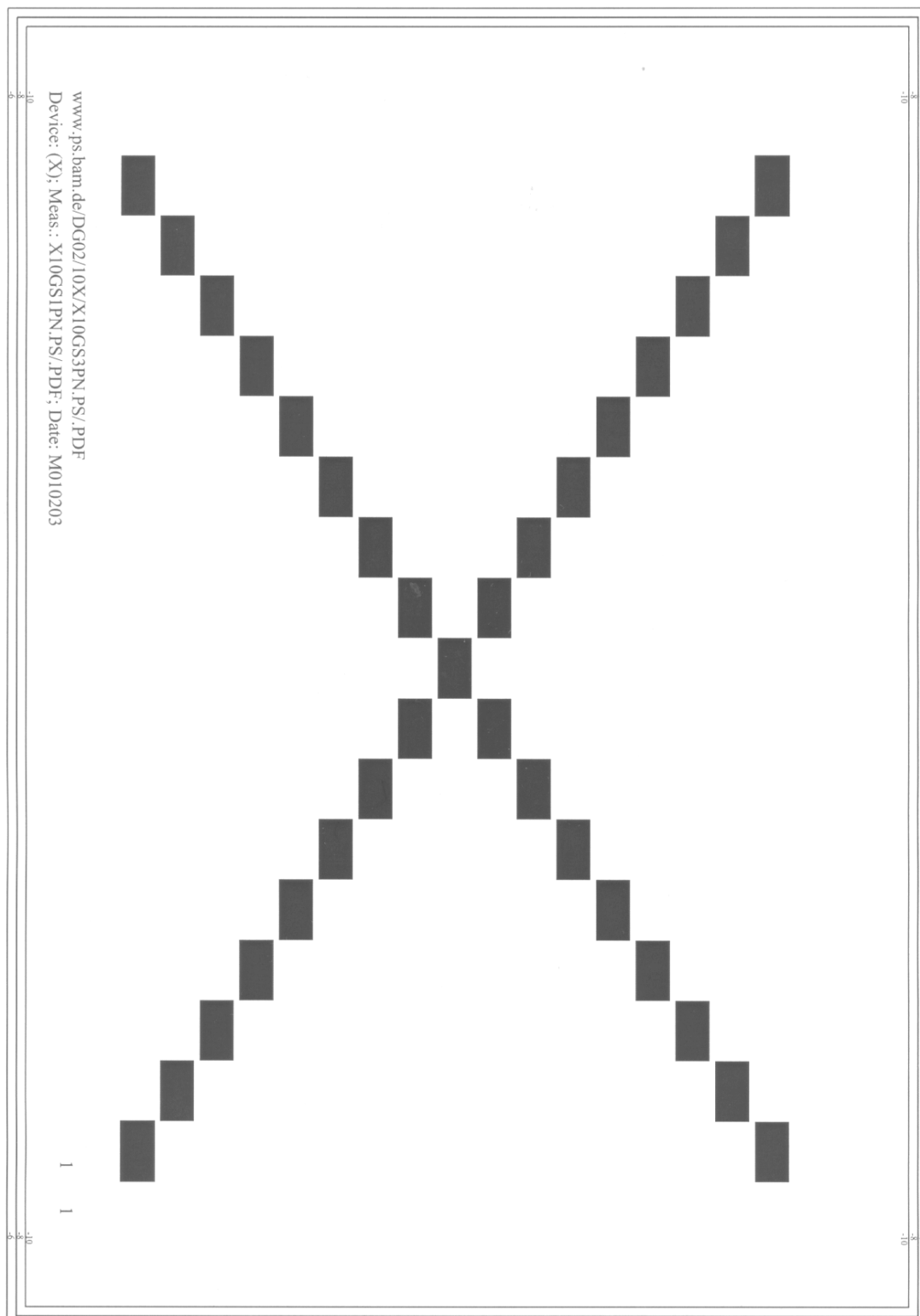
**12.2 Druckvorlage 5% Flächendeckung, schwarz**

Abbildung 54: Druckvorlage 5% Flächendeckung, schwarz, nach DIN 33870

### 12.3 Druckvorlage 20% Flächendeckung, farbig

Die Druckvorlage ist abrufbar unter <http://www.ps.bam.de/RALUZ122>.

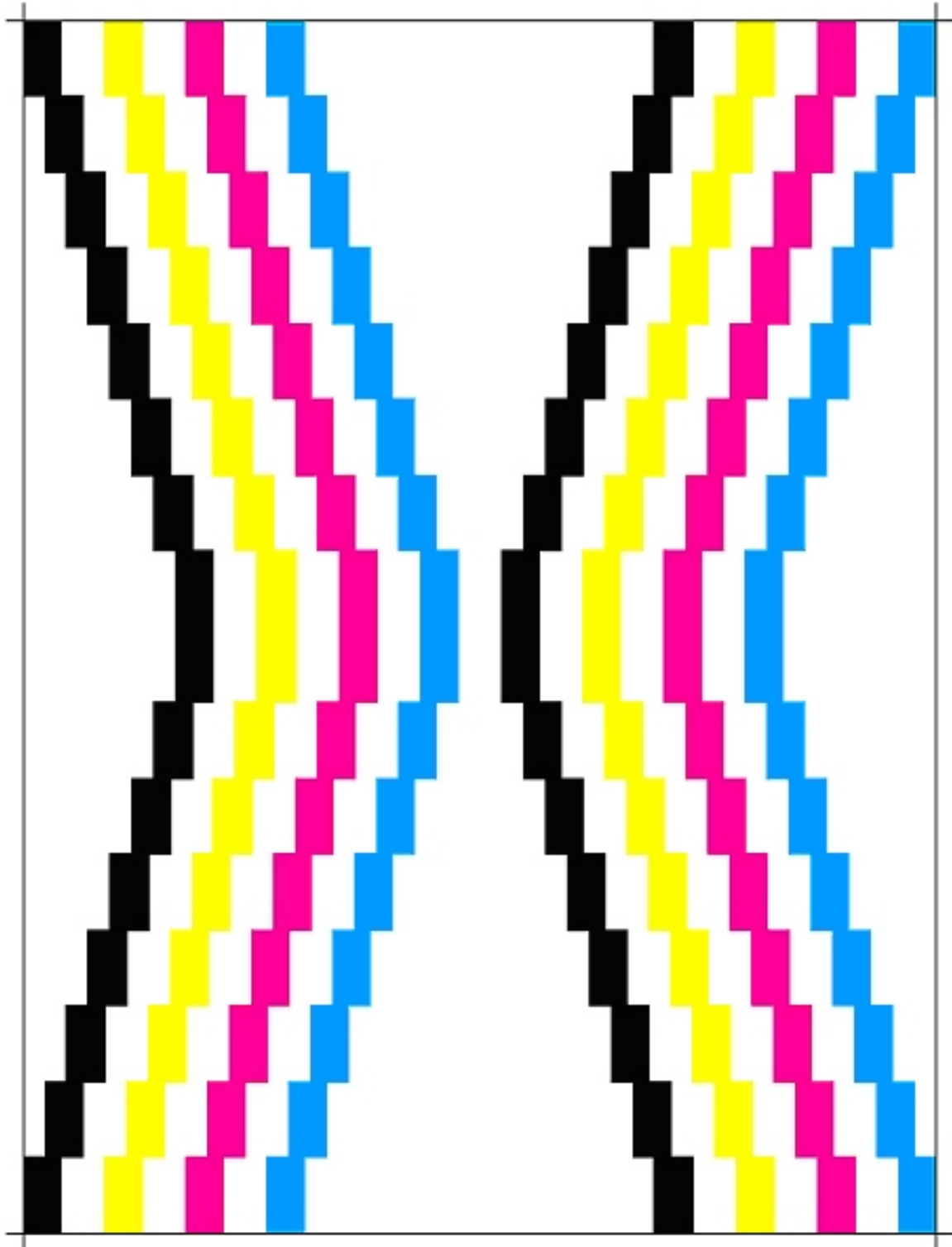


Abbildung 55: Druckvorlage für die Prüfung von Farbgeräten, 20% Flächendeckung

## 12.4 Abbildungen der verwendeten Analysengeräte



Abbildung 56: Ozonanalysator



Abbildung 57: Partikelspektrometer Grimm 1.108 Portable Aerosol Spectrometer

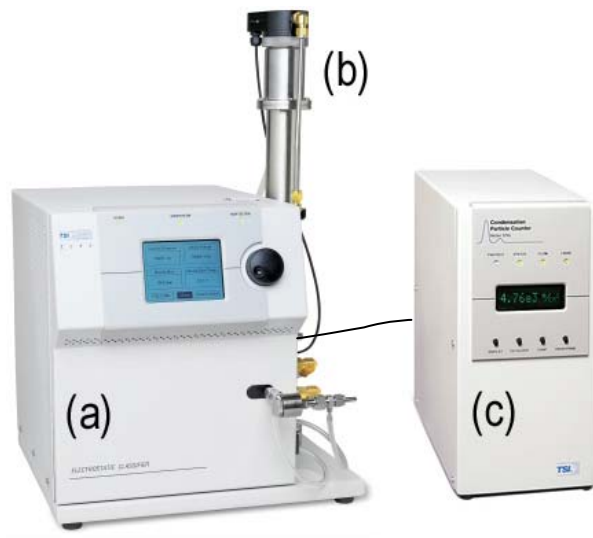


Abbildung 58: Partikelspektrometer TSI 3080L SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer), Steuergerät (a), Klassierer (b) und Kondensations-Partikelzähler (c).



Abbildung 59: Anordnung der Partikelspektrometer an der 1 m<sup>3</sup> Testkammer



Abbildung 60: Ultramikrowaage



Abbildung 61: Gaschromatograph mit Thermodesorptionssystem und MS-Detektor

## 12.5 Vertreter des Expertenkreises

Zur fachlichen Begleitung des Projektes wurde ein projektbegleitender Arbeitskreis eingesetzt, der drei Mal tagte. In den einzelnen Sitzungen wurden Zwischenergebnisse vorgestellt und diskutiert sowie Anregungen für den weiteren Projektverlauf gegeben.

Dem Expertenkreis, der in Abhängigkeit vom Themenschwerpunkt im engeren oder weiteren Kreis tagte, gehörten vorwiegend Vertreter von verschiedenen Forschungs- bzw. Prüfeinrichtungen, Geräteherstellern sowie des Umweltbundesamtes an. Die Mitarbeiter in diesem Expertenkreis werden nachfolgend aufgeführt.

Die Projektbegleitung hatte das Ziel, frühzeitig die Expertenmeinung und den Sachverstand in die Vergabegrundlage und das zugehörige Prüfverfahren einfließen zu lassen, da sinnvolle Ergebnisse und praktikable Anforderungen nur im Konsens mit den beteiligten Kreisen erreicht werden können. Die genannten Aktivitäten bildeten eine Basis für das offizielle RAL - Anhörungsverfahren für die überarbeiteten Umweltzeichen RAL-UZ 62 und RAL-UZ 85 bzw. das neue Umweltzeichen ZU 122, nahmen das RAL - Verfahren aber nicht vorweg.

Allen Beteiligten wird auch an dieser Stelle nochmals der Dank für die konstruktive und hilfreiche Mitarbeit ausgesprochen.

Teilnehmer des Expertenkreises am 18. Januar 2005:

|                                 |                          |
|---------------------------------|--------------------------|
| Fr. Thies                       | Ricoh Deutschland        |
| Hr. van Heiningen               | OCE-Technologies         |
| Hr. Dr. Zietlow                 | Sony Deutschland         |
| Hr. Dr. Schmitt                 | Lasercare GmbH           |
| Hr. Prof. Dr. Mersch-Sundermann | Universität Gießen       |
| Hr. Pesch                       | Canon Deutschland        |
| Hr. Dr. Wensing                 | WKI                      |
| Hr. Pinz                        | WKI                      |
| Hr. Dr. Jungnickel              | LGA                      |
| Hr. Dr. Maciej                  | LGA                      |
| Hr. Dr. Wildermann              | LGA                      |
| Hr. von der Heyden              | BGIA                     |
| Fr. Dr. Kuroпка                 | TPU, TÜV Rheinland Group |
| Hr. Mochizuki                   | JBMIA                    |
| Hr. Bazlen                      | Hewlett Packard          |
| Fr. Dr. Jacobs                  | UBA                      |
| Fr. Böttcher-Tiedemann          | UBA                      |
| Hr. Dr. Ullrich                 | UBA                      |

---

|               |     |
|---------------|-----|
| Hr. Dr. Jann  | BAM |
| Hr. Dr. Wilke | BAM |
| Hr. Dr. Hahn  | BAM |
| Hr. Rockstroh | BAM |
| Hr. Krockner  | BAM |
| Hr. Stolle    | BAM |
| Hr. Noske     | BAM |
| Hr. Schneider | BAM |
| Fr. Rother    | BAM |

Teilnehmer des Expertenkreises am 15. und 16. September 2005:

|                                 |                           |
|---------------------------------|---------------------------|
| Hr. Dr. Bake                    | UBA                       |
| Hr. Bazlen                      | Hewlett Packard           |
| Fr. Bergmann                    | BAM (nur am 15.09.)       |
| Fr. Brödner                     | BAM (zeitweise am 15.09.) |
| Hr. Fujimoto                    | JBMIA                     |
| Fr. Dr. Gorzawski               | TPU, TÜV Rheinland Group  |
| Fr. Dr. Heurich                 | TPU, TÜV Rheinland Group  |
| Fr. Dr. Jacobs                  | UBA                       |
| Hr. Dr. Jann                    | BAM                       |
| Fr. Juritsch                    | BAM (zeitweise am 15.09.) |
| Fr. Dr. Kemmlein                | BAM (nur am 16.09.)       |
| Hr. Krockner                    | BAM                       |
| Hr. Dr. Maciej                  | LGA                       |
| Hr. Mochizuki                   | JBMIA                     |
| Hr. Prof. Dr. Mersch-Sundermann | Universität Gießen        |
| Hr. Pesch                       | Canon Deutschland         |
| Hr. Dr. Seeger                  | BAM (zeitweise am 15.09.) |
| Hr. Dr. Schmitt                 | Lasercare GmbH            |
| Hr. Schneider                   | BAM                       |
| Fr. Thies                       | Ricoh Deutschland         |
| Hr. Dr. Ullrich                 | UBA                       |
| Hr. van Heiningen               | OCE-Technologies          |
| Hr. von der Heyden              | BGIA                      |
| Hr. Dr. Wensing                 | WKI                       |
| Hr. Dr. Wilke                   | BAM                       |

Teilnehmer des Expertenkreises am 13. Juni 2006:

|              |                         |
|--------------|-------------------------|
| Hr. Dr. Bake | UBA                     |
| Hr. Bazlen   | Hewlett Packard, BITCOM |
| Fr. Brödner  | BAM                     |

---

|                    |                          |
|--------------------|--------------------------|
| Hr. Fujimoto       | JBMIA                    |
| Hr. Hayashi        | JBMIA, Übersetzer        |
| Fr. Dr. Heurich    | TPU, TÜV Rheinland Group |
| Fr. Dr. Jacobs     | UBA                      |
| Hr. Dr. Jann       | BAM                      |
| Fr. Dr. Kemmlein   | BAM                      |
| Hr. Krockner       | BAM                      |
| Hr. Dr. Maciej     | LGA                      |
| Hr. Dr. Seeger     | BAM                      |
| Hr. Dr. Schmitt    | Lasercare GmbH           |
| Hr. Schneider      | BAM                      |
| Hr. Dr. Ullrich    | UBA                      |
| Hr. van Heiningen  | Océ-Technologies, BITCOM |
| Hr. von der Heyden | BGIA                     |
| Hr. Dr. Wensing    | WKI                      |
| Hr. Dr. Wilke      | BAM                      |
| Hr. Dr. Bücken     | BAM                      |
| Hr. Dr. Böcker     | BAM                      |
| Mr. Emerson        | Hewlett Packard, Gast    |
| Hr. Herb           | Kyocera, BITCOM          |
| Hr. Dr. Thurner    | UBA                      |

---

**12.6 Prüfverfahren für die Bestimmung von Emissionen aus Hardcopygeräten**  
nach RAL-UZ 122 (Juni 2006)



**Prüfverfahren**

**für die Bestimmung von**

**Emissionen aus Hardcopygeräten**

**im Rahmen der Vergabe des Umweltzeichens Blauer Engel**

**für Bürogeräte mit Druckfunktion nach**

**RAL-UZ 122**

---

## Inhalt

|                                                                                                             | Seite     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Vorwort .....</b>                                                                                        | <b>2</b>  |
| <b>1 Definitionen .....</b>                                                                                 | <b>3</b>  |
| <b>2 Messgeräte .....</b>                                                                                   | <b>5</b>  |
| <b>3 Prüfobjekte .....</b>                                                                                  | <b>5</b>  |
| 3.1 Auswahl .....                                                                                           | 5         |
| 3.2 Vorbereitung des Prüfobjektes .....                                                                     | 5         |
| 3.3 Verbrauchsmaterialien .....                                                                             | 6         |
| <b>4 Messungen in Emissionsprüfkammern .....</b>                                                            | <b>6</b>  |
| 4.1 Allgemeines .....                                                                                       | 6         |
| 4.2 Prüfablauf .....                                                                                        | 7         |
| 4.3 Qualitätssichernde Maßnahmen .....                                                                      | 8         |
| 4.4 Klima, Schwarzwert bzw. Farbwertermittlung, Druckerkontrolle .....                                      | 9         |
| 4.5 VOC .....                                                                                               | 10        |
| 4.6 VVOC .....                                                                                              | 11        |
| 4.7 Ozon .....                                                                                              | 12        |
| 4.8 Staub .....                                                                                             | 13        |
| <b>5 Auswertung und Prüfbericht .....</b>                                                                   | <b>15</b> |
| <b>6 Prüfinstitute .....</b>                                                                                | <b>16</b> |
| <b>7 Literatur .....</b>                                                                                    | <b>16</b> |
| <b>8 Erläuterungen und Beispiele .....</b>                                                                  | <b>18</b> |
| 8.1 Ablaufplan für die Prüfung .....                                                                        | 18        |
| 8.2 Messaufbau für Prüfgeräte .....                                                                         | 19        |
| 8.3 Druckvorlage 5% Flächendeckung, schwarz .....                                                           | 20        |
| 8.4 Druckvorlage 20% Flächendeckung, mehrfarbig .....                                                       | 21        |
| 8.5 Beispiel für den Verlauf von Klima, Stromverbrauch<br>und Ozonkonzentration während einer Prüfung ..... | 22        |
| 8.6 Beispiel für ein erprobtes VOC-Messverfahren .....                                                      | 23        |
| 8.7 Ozonkonzentration während des Druckens .....                                                            | 24        |

## Vorwort

Das vorliegende Prüfverfahren ist zur Umsetzung neuer Anforderungen der Vergabegrundlage für das Umweltzeichen Blauer Engel bezüglich des Emissionsverhaltens (VOC, Ozon und Staub) von Hardcopygeräten (Drucker, Kopierer und Multifunktionsgeräte) verbessert und auf Mehrfarbgeräte ausgedehnt worden. Es basiert auf dem Prüfverfahren vom Juni 2003 [1, 2], auf dem von der ECMA International (European Association for Standardizing Information and Communication Systems) erarbeiteten Standard ECMA 328 (2001, [3]) und den internationalen Normen ISO 16000-9 (Entwurf) für die Emissionsmesskammern [4] und DIN ISO 16000-6 für die VOC-Analytik [5]. Eine internationale Standardisierung des Prüfverfahrens wird zurzeit geplant.

Die Berücksichtigung dieser Standards ist für die Anwendung des Prüfverfahrens eine unbedingte Voraussetzung, sofern sie dem Prüfverfahren nicht widersprechen.

Ziel des Prüfverfahrens ist die zuverlässige Ermittlung von Emissionsraten innerhalb einer kurzen zur Verfügung stehenden ununterbrochenen Druckzeit von in der Regel deutlich unterhalb einer Stunde mittels eines dynamischen Prüfkammervorgangs, das heißt unter einer definierten Luftaustauschrate. Verschiedene Präzisierungen zu den oben genannten Standards waren notwendig, um zu einem praktikablen Prüfverfahren zu gelangen.

Da die Geräte selbst auch eine gewisse VOC-Emission aufweisen können, die allerdings im Laufe der Zeit abnimmt, ist im Prüfverfahren auch die Bestimmung der VOC-Emissionsraten in einer Bereitschaftsphase gefordert.

Die ermittelten Emissionsraten sind als systemspezifische Emissionsraten zu verstehen, da Drucker, Kopierer oder Multifunktionsgerät nur in Verbindung mit den eingesetzten Verbrauchsmaterialien (z.B. Toner, Tinte, Papier) ihr spezifisches Emissionsverhalten aufweisen.

Die ermittelten Emissionsraten dürfen die in der Umweltzeichen - Vergabegrundlage aufgeführten zulässigen Emissionsraten nicht überschreiten. Sie können weiterhin dazu dienen, insbesondere für VOC, die resultierenden Konzentrationen in Modellräumen oder Realräumen abzuschätzen.

Hierbei wird grundsätzlich davon auszugehen sein, dass die Geräte nicht ununterbrochen drucken, wofür sie auch nicht ausgelegt sind, sondern dass die Berücksichtigung eines Nutzungsfaktors  $< 1$  zweckmäßig ist. Die so modellhaft berechenbaren Raumluftkonzentrationen sind in der Realität stark von Adsorptionseffekten an Oberflächen in den Räumen beeinflusst, so dass die in der Realität zu erwartenden Maximalkonzentrationen eher geringer sein werden als die berechneten.

Die Überarbeitung des Prüfverfahrens erfolgte im Rahmen eines vom Umweltbundesamt (UBA) geförderten Projektes (Förderkennzeichen 204 95 373) bei der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) mit fachlicher Unterstützung von Prüfinstituten, Herstellern, UBA und Verbänden. Eine ausführliche Darstellung ist dem vom UBA zu veröffentlichenden Abschlussbericht zu entnehmen (2006).

## 1. Definitionen

### Bereitschaftsphase

Versuchsanordnung unter Normalklima, bei der sich das Prüfobjekt eingeschaltet und betriebsbereit in der Kammer befindet. Die Bereitschaftsphase schließt direkt an die Konditionierungsphase ohne nochmaliges Öffnen der Kammer an. Erläuterung: Zu Beginn der Bereitschaftsphase wird die Stromversorgung des Prüfobjektes durch Stecken des Netzsteckers hergestellt. Danach wird das Prüfobjekt mit den Standard-Werkseinstellungen gemäß den Vorgaben der Vergabegrundlage für das RAL-UZ 122 betrieben.

### Blindwert

Untergrund-Konzentration des Meßsystems (Emissionsprüfkammer, Probenahme-rohr und Analysengerät) für einzelne Substanzen (VOC) sowie TVOC.

### Druckphase

Prüfung des Prüfobjektes im Druckbetrieb im direkten Anschluss an die Bereit-schaftsphase ohne Öffnen der Kammer. Die Druckphase beginnt mit dem Ausdruck des ersten Blattes.

### Emissionsprüfkammer

Abgeschlossenes Behältnis mit Ein- und Auslass sowie regelbaren Betriebsparame-tern (Klima, Luftaustauschrate) zur Bestimmung der Emissionen (VOC, Ozon, Staub) von Druck- und Kopiergeräten unter Luftdurchfluss (siehe auch [4]).

### Emissionsrate (produkt- bzw. systemspezifisch) $SER_u$ [ $\mu\text{gStück}^{-1}\text{h}^{-1}$ ]

Produktspezifische (bzw. systemspezifische, siehe Vorwort) Rate, welche die Masse des Analyten (VOC, Ozon, Staub) beschreibt, die vom Prüfobjekt pro Zeiteinheit zu einem bestimmten Zeitpunkt nach Beginn der Prüfung emittiert wird.

### Kammerbeladung

Einstellen eines Prüfobjektes in die Emissionsprüfkammer.

### Konditionierungsphase

Versuchsanordnung unter Normalklima, bei der sich das Prüfobjekt zur Konditionie-rung mit bereits eingelegtem Papier in der Kammer befindet, der Netzschalter auf „ein“ geschaltet ist, aber der Netzstecker nicht an die Stromversorgung angeschlos-sen ist (Grund für diese Vorgehensweise ist, dass das Gerät aus diesem Status mit dem Stecken des Netzsteckers in die Bereitschaftsphase übergeht, ohne dass die Kammer geöffnet werden muss).

### Luftaustauschrate $n$ [ $\text{h}^{-1}$ ]

Das Verhältnis des Reinluftvolumens, das stündlich in die Emissionsprüfkammer ein-gebracht wird, zum freien Volumen der unbeladenen Emissionsprüfkammer, das in identischen Einheiten zu bestimmen ist, ausgedrückt in Luftwechseln pro Stunde.

**Luftdurchflussrate  $Q_V$  [ $\text{m}^3\text{h}^{-1}$ ]**

Luftvolumenstrom, welcher der Emissionsprüfkammer pro Zeiteinheit zugeführt wird.

**Luftströmungsgeschwindigkeit  $v$  [ $\text{ms}^{-1}$ ]**

Luftgeschwindigkeit über der Oberfläche des Prüfobjektes (Abstand zehn Millimeter).

**Nachlaufphase**

Versuchsanordnung, bei der sich das Prüfobjekt bei gleicher Luftaustauschrate wie in der Druckphase noch in der Kammer befindet, der Druckvorgang aber schon abgeschlossen ist. Die Nachlaufphase schließt direkt an die Druckphase ohne Öffnen der Kammer an.

**Normalklima**

Standardklimabedingungen:  $23^\circ\text{C} \pm 2\text{ K}$ ,  $50 \pm 5\%$  relative Luftfeuchtigkeit nach ISO 554 [6].

**Ozonhalbwertszeit**

Zeit, die, ausgehend von einer Ozonanfangskonzentration, vergeht, bis diese Konzentration auf die Hälfte gesunken ist.

**Prüfobjekt**

Zu untersuchendes Hardcopygerät mit Verbrauchsmaterial (Toner bzw. Tinte und Papier).

**VOC, Flüchtige organische Verbindungen (Volatile Organic Compounds)**

Generell: Organische Verbindungen, die von dem Prüfobjekt emittiert und in der Kammerluft nachgewiesen werden. Hier, im Sinne dieses Prüfverfahrens, die identifizierten und nicht identifizierten organischen Verbindungen, die bei gaschromatographischer Trennung auf einer unpolaren Säule zwischen n-Hexan und n-Hexadekan eluieren, einschließlich dieser Verbindungen.

**VVOC, Sehr flüchtige organische Verbindungen (Very Volatile Organic Compounds)**

Hier, im Sinne dieses Prüfverfahrens, die identifizierten und nicht identifizierten organischen Verbindungen, die bei gaschromatographischer Trennung auf einer unpolaren Säule vor n-Hexan eluieren (z.B. Ethanol, Isopropanol, Aceton, Pentan).

**TVOC, Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (Total Volatile Organic Compounds)**

Die Summe der Konzentrationen der identifizierten und nicht identifizierten flüchtigen organischen Verbindungen, die bei gaschromatographischer Trennung auf einer unpolaren Säule zwischen n-Hexan und n-Hexadekan eluieren, einschließlich dieser Verbindungen.

## 2. Messgeräte

- Emissionsprüfkammer gemäß Abschnitt 4.1
- Geräte für Klimamessung mit Aufzeichnungsmöglichkeit gemäß Abschnitt 4.31
- Colour-Mouse zur Ermittlung des Schwarzwertes und der Farbwerte gemäß Abschnitt 4.32
- Strommessgerät gemäß Abschnitt 4.33
- Systeme, Adsorbentien für Luftprobenahme gemäß Abschnitt 4.4
- Kapillargaschromatograph mit Thermodesorptionseinheit, gekoppelt an ein Massenspektrometer mit Auswerteeinheit (Beispiel siehe Abschnitt 8.6)
- Ozonanalysator gemäß Abschnitt 4.6
- Staubmessplatz gemäß Abschnitt 4.7

## 3. Prüfobjekte

### 3.1 Auswahl

Die Verantwortung für die Anlieferung der Prüfobjekte liegt beim Auftraggeber der Prüfung. In der Regel wird ein Gerät produktionsfrisch aus der laufenden Serie oder als Prototyp angeliefert. Dabei liegt es in der Verantwortung des Herstellers, dass sich der Prototyp nicht vom späteren Seriengerät unterscheidet. Der Inhalt der Lieferung wird vom Prüflabor kontrolliert und anschließend in der Originalverpackung klimatisiert (23 °C, 50 % rel. F.) gelagert. Die Messung sollte zeitnah, spätestens jedoch zehn Arbeitstage nach Anlieferung erfolgen.

### 3.2 Vorbereitung des Prüfobjektes

Die Funktionsfähigkeit und Eignung des Prüfobjektes wird nach Anlieferung kontrolliert. Die Ansteuerbarkeit der Geräte in der Prüfkammer ist durch Hersteller und Prüflabor gemeinsam zu realisieren (durch Fernsteuerung über Kabel, mechanische Auslöser oder Funk muss sich der Druckprozess von außerhalb der Messkammer auslösen lassen).

In Absprache mit dem Hersteller ist für elektrofotografische Geräte ein Druckmodus auszuwählen, der eine maximale Druckdauer ermöglicht. Dabei sind die Aufnahmekapazitäten der Papierkassetten und Papierausgabefächer zu berücksichtigen. Für Tintenstrahldrucker ist die Standardeinstellung (normale Druckqualität) auszuwählen.

Eine Druckdauer von 10 Minuten ist möglichst nicht zu unterschreiten. Bei Geräten, die bauartbedingt eine Druckzeit von 10 Minuten nicht erreichen können, wird mit der maximal möglichen Druckdauer geprüft.

Der Stromverbrauch in der Bereitschaftsphase und im Druckbetrieb wird festgestellt. Dazu und zur Bestimmung der maximalen Druckdauer erfolgt der Probeausdruck von Testseiten (5 % Flächendeckung, schwarz, bzw. 20 % Flächendeckung, farbig). Es

ist darauf zu achten, dass die Papierablage geordnet erfolgt. Gegebenenfalls ist ein zusätzlicher Auffangbehälter aus inertem Material zu verwenden.

Das Prüfobjekt ist, ausreichend mit Papier und Toner befüllt, am Tag vor der Prüfung in die Prüfkammer einzubringen

### 3.3 Verbrauchsmaterialien

#### Toner, Tinte

Das für das jeweilige Gerät als Originalausstattung vom Hersteller gelieferte Tonermodul oder der entsprechende im Gerät befindliche Toner müssen im Typ mit dem in den Produktunterlagen ausgewiesenen übereinstimmen. Die genaue Bezeichnung des Toners ist dem Messinstitut mitzuteilen, so dass eine Wiederbeschaffung des gleichen Toners erfolgen kann.

Toner werden nach Angaben des Herstellers bis zur Prüfung eingelagert. (Nach Abstimmung mit dem Hersteller kann der Toner auch im Gerät verbleiben.) Es gelten bei der Lagerung die gleichen Bedingungen wie für das Prüfobjekt. Vom Toner bzw. Tonermodul ist ausreichend Material zur Verfügung zu stellen.

#### Papier

Für die Untersuchungen muss Papier im Format DIN A4 mit einer Papierfeuchtigkeit zwischen 3,8 % und 5,6 % eingesetzt werden. Die flächenbezogene Masse muss im Bereich von 60 Gramm bis 80 Gramm pro Quadratmeter liegen. Die Papierfeuchtigkeit kann in Anlehnung an die DIN EN 20287 (1994-06) [7] bestimmt werden.

Empfehlung: Durch vorherige Untersuchung des Papiers (z.B. nach RAL-UZ 14) kann ein Beitrag des Papiers zur VOC-Emission ggf. abgeschätzt und bei entsprechender Papierauswahl minimiert werden.

Aus prüftechnischen Gründen sollte die Papierfeuchtigkeit 4 % nicht überschreiten. Höhere Papierfeuchtigkeit kann zur Kondensation beim Druckbetrieb in der Kammer führen und so den Einsatz größerer Kammern oder größerer Luftaustauschraten erforderlich machen.

## 4. Messung in der Emissionsprüfkammer

### 4.1 Allgemein

Emissionsprüfkammern und die an sie zu stellenden Anforderungen sind in [1, 2, 3, 4] beschrieben. Je nach Größe des zu untersuchenden Prüfobjektes ist eine Kammer mit einem passenden Volumen (siehe Formel 1) auszuwählen.

Prüfkammern müssen ausreichend abdichtbare Durchführungen durch die Wand besitzen, um die Kabel für Stromversorgung und Sensorleitungen hindurchzuführen sowie die parallele Probenahme für VOC, Staub und Ozon zu ermöglichen. Die Prüfkammern haben den in [4] beschriebenen Anforderungen zu entsprechen. Dies bedeutet insbesondere:

- Reinstluftversorgung (VOC-, ozon- und staubarm)
- Reinstwasserversorgung
- Kammerwände aus Glas oder Edelstahl
- Weitgehender Verzicht auf Dichtungsmaterialien

- Effektive Luftdurchmischung

Folgende Prüfbedingungen sind in Analogie zu [4] einzuhalten:

- Temperatur  $23\text{ °C} \pm 2\text{ K}^{1)}$
- Relative Luftfeuchtigkeit  $50\text{ \%} \pm 5\text{ \%}^{1)}$
- Regelbare Luftaustauschrate
  - Große Kammer ( $V > 5\text{ m}^3$ )  $(1 \leq n \leq 2) \pm 5\text{ \%}$
  - Kleine Kammer ( $V \leq 5\text{ m}^3$ )  $(1 \leq n \leq 5) \pm 5\text{ \%}$
- Luftströmungsgeschwindigkeit  $0,1 - 0,3\text{ ms}^{-1}$

- 1) Kurz nach der Kammerbeladung und während der Prüfung in der Druckphase werden sich diese Klimaanforderungen im Allgemeinen nicht aufrechterhalten lassen.

Als Emissionsmesskammern haben sich nach [2] sowohl  $1\text{ m}^3$ -Kammern als auch größere Kammern mit Volumina  $> 5\text{ m}^3$  (z.B.  $20\text{ m}^3$ ) bewährt. Kammern sind als geeignet anzusehen, wenn sie neben der Einhaltung obiger Bedingungen ausreichend geringe Blindwerte für VOC, Ozon und Staub aufweisen und ausreichend große Ozonhalbwertszeiten gewährleisten.

Vor dem ersten Einsatz der Kammern sind diese auf die Einhaltung der Anforderungen zu überprüfen. Dabei sind folgende Kammerblindwerte bei einer Luftaustauschrate von  $n = 1\text{ h}^{-1}$  zu unterschreiten:

|                  |                               |
|------------------|-------------------------------|
| Einzelsubstanzen | $2\text{ }\mu\text{gm}^{-3}$  |
| TVOC             | $20\text{ }\mu\text{gm}^{-3}$ |
| Ozon             | $4\text{ }\mu\text{gm}^{-3}$  |
| Staub            | $10\text{ }\mu\text{gm}^{-3}$ |

Die Ozonhalbwertszeit der Kammer ist bei einer Luftaustauschrate von  $n = 1\text{ h}^{-1}$  zu überprüfen. Hierzu ist eine Konzentration von 0,1 bis 0,2 ppm in der Kammer vorzulegen. Beträgt die Ozonhalbwertszeit mindestens zehn Minuten, so ist die Prüfkammer geeignet für die Ozonbestimmung. Ist die Ozonhalbwertszeit kleiner als zehn Minuten, so ist die Kammer in geeigneter Weise zu reinigen, bis o. g. Zielwert erreicht wird. Bei anderen Luftaustauschraten als  $n = 1\text{ h}^{-1}$  treten auch abweichende Ozonhalbwertszeiten auf.

Die für die Messung benötigten Luftaustauschraten sind regelmäßig mittels eines unabhängigen Verfahrens, z.B. Tracergasverfahren nach DIN EN 717-1 (2005) [8], in unbeladenem Zustand zu überprüfen und zu dokumentieren.

## 4.2 Prüfablauf (siehe auch 8.1 Ablaufplan)

In den Kammern ist für die Bestimmung des Blindwertes und für die Prüfung in der Bereitschaftsphase eine Luftaustauschrate von  $n = 1\text{ h}^{-1}$  einzustellen. Das Prüfobjekt ist, ausreichend mit Papier und Toner befüllt, am Tag vor der Prüfung in die Prüfkammer einzubringen. Die Klimaaufzeichnung beginnt mit dem Start der Konditionierungsphase. Die VOC-Messungen beginnen 20 Minuten vor Ende der Bereitschaftsphase. Eine Aufzeichnung der Ozonkonzentration kann erfolgen.

Nach Ende der Bereitschaftsphase erfolgt in großen Kammern eine Einstellung der Luftaustauschrate auf  $n = 1 - 2 \text{ h}^{-1}$ . In kleinen Kammern ( $1 \text{ m}^3$  bis  $5 \text{ m}^3$ ) erfolgt eine Einstellung auf einen Wert von  $n = 1 - 5 \text{ h}^{-1}$  (falls notwendig trockener Zuluftstrom ( $< 10 \% \text{ rel. F.}$ )) um die in der Regel (elektrofotografische Geräte) auf Grund der Wasserabgabe des Papiers beim Drucken ansteigende relative Luftfeuchtigkeit unterhalb kritischer Werte ( $\leq 85\%$ ) zu halten.

Keinesfalls darf eine Kondensation von Wasser in der Kammer erfolgen, da dies zu einer unzulässigen Beeinflussung der Messergebnisse führt.

Mit Beginn der Druckphase sind die Probenahmen für VOC, Ozon und Staub zu starten. Diese sind auch während der nach Druckende beginnenden Nachlaufphase durchzuführen. Die Nachlaufphase läuft maximal über einen Zeitraum von vier Luftwechseln (bei vierfachem Luftwechsel eine Stunde, bei einfachem Luftwechsel über vier Stunden).

Die Prüfung von Schwarzweißgeräten wird mit der Druckvorlage nach Abschnitt 8.3 durchgeführt, für die Prüfung von Farbgeräten wird die Druckvorlage nach Abschnitt 8.4 verwendet.

Für die Entscheidung der für das Gerät benötigten Kammergröße ist folgender Größenbereich heranzuziehen:

$$0,01 < \frac{V_{EUT}}{V_K} < 0,25 \quad (1)$$

$V_{EUT}$ : Volumen des Prüfobjektes (EUT: equipment under test) [ $\text{m}^3$ ]

$V_K$ : Volumen der Prüfkammer [ $\text{m}^3$ ]

Im Zweifelsfall ist eher die Entscheidung für eine kleinere Kammer zu treffen, da hier die sich einstellenden Konzentrationen größer sind und damit die Messunsicherheit verringert wird.

Während der Prüfung darf weder die Emissionsmesskammer geöffnet werden, noch dürfen sich Personen während der Prüfung in der Kammer aufhalten. Daher ist beim Auftreten von Störungen (z. B. Papierstau) die Prüfung zu wiederholen. Durch eine sorgfältige Vorbereitung der Prüfung sind derartige Störungen weitgehend auszuschließen.

### 4.3 Qualitätssichernde Maßnahmen

Qualitätssichernde Maßnahmen bei Anwendung des Prüfverfahrens sind eine unabdingbare Voraussetzung zur Ermittlung zuverlässiger Emissionsraten. Ein Überblick hierzu ist dem ECMA-Standard 328 [3] zu entnehmen.

Die zugelassenen Prüfinstitute sind zur regelmäßigen Teilnahme an einem Vergleichsversuch verpflichtet. Die Vergleichsversuche werden von der BAM organisiert.

## 4.4 Klima, Schwarzwert bzw. Farbwert-Ermittlung, Druckerkontrolle

### 4.4.1 Klima

Für den Prüfzyklus und die Auswertung der Messergebnisse ist die Aufzeichnung der Klimadaten über den gesamten Prüfablauf notwendig. Dazu wird ein Messsystem mit angeschlossenem Datenlogger benötigt. Nach Durchführung der Kalibrierung ist eine Messgenauigkeit von mindestens

Temperatur:  $\pm 0,5 \text{ K}$   
 Relative Luftfeuchtigkeit:  $\pm 3,0 \text{ \%}$  zu gewährleisten.

In Abschnitt 8.5 ist der Klimaverlauf während einer Prüfung als Beispiel aufgeführt. Ein geeignetes Gerät mit Klimaaufzeichnungsmöglichkeit ist beispielsweise das kalibrierte Gerät Almemo 3290-8 mit Messfühler FH A 646-R der Firma Ahlborn.

### 4.4.2 Schwarzwert- bzw. Farbwert-Ermittlung

Zur Vorbereitung der Prüfung von Hardcopygeräten auf Emissionen ist der Ausdruck einer Druckvorlage mit 5 % Flächendeckung, schwarz, bzw. 20 % Flächendeckung (je 5% pro Farbe [schwarz, magenta, cyan, gelb]) notwendig (siehe Abschnitt 8.3 [9] bzw. 8.4).

Die benötigten Druckvorlagen werden den anerkannten Prüfinstituten von der BAM zur Verfügung gestellt.

Die Ermittlung des Schwarzwertes ( $L^*$ ) bzw. der Farbwerte ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) nach CIE [10] erfolgt aus einem entsprechenden Ausdruck z.B. mit der Color Mouse CM2C (Savvy Systems Limited, USA).

Der ermittelte Schwarzwert bzw. die Farbwerte sind im Prüfprotokoll festzuhalten.

### 4.4.3 Druckerkontrolle

Entsprechend den vom Hersteller vorgegebenen Fernsteuermöglichkeiten des Prüfgerätes ist die Steuerung und Kontrolle des Druckfortschrittes zu realisieren. Insbesondere in der Bereitschafts- und Druckphase gilt es, den Betriebszustand des Druckers zu dokumentieren. Das kann z.B. über die Kontrolle des vom Prüfgerät aufgenommenen Stromes erfolgen. Dies ist beispielsweise mittels Multimeter (z.B. Multimeter M 3850 M, Metex Corp., im Messbereich 20 A, mit Datenlogger zum elektronischen Erfassen der Messwerte) möglich.

Anhand des Stromverbrauchs sind der Druckbeginn und das Druckende zu erkennen. Auch Störungen im Betrieb werden sofort dokumentiert. In Abschnitt 8.5 ist exemplarisch ein Stromverbrauchsverlauf mit Zuordnung zu den Betriebszuständen abgebildet. Zusätzlich bietet sich, bei Einbindung in das Datennetz, eine heute schon zum Stand der Technik gehörende Abfrage der gedruckten Seitenzahl an.

## 4.5 VOC

Für VOC ist die Probenahme mittels Tenax TA bei anschließender Thermodesorption nach [5] und Analyse mittels GC / MSD durchzuführen. Die Prüfbedingungen sind so zu wählen, dass eine Erfassung der Einzelsubstanzen mit einer Konzentration von  $\geq 1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und von Benzol mit einer Konzentration von  $\geq 0,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sichergestellt ist.

Positive Benzolbefunde sind im Zweifelsfall durch eine zweite unabhängige Probenahme (z.B. mittels Carbotrap oder Aktivkohle) zu überprüfen. Die Probenahme ist mindestens zu folgenden Zeitpunkten vorzunehmen:

- Blindwert vor Kammerbeladung
- zwanzig Minuten vor Ende der einstündigen Bereitschaftsphase (für zwanzig Minuten mit 100 bis 200 ml/min) als Doppelbestimmung
- Von Beginn der Druckphase durchgehend bis zu dem Zeitpunkt, an dem ein einfacher Luftwechsel in der Nachlaufphase vollzogen ist (mit 100 bis 200 ml/min) als Doppelbestimmung

Es sind möglichst alle Substanzen zu identifizieren und über die aus der Kalibrierung ermittelten relativen Responsefaktoren zum internen Standard individuell zu quantifizieren. Wenn Substanzen nicht identifizierbar sind oder die relativen Responsefaktoren nicht ermittelt werden können, ist die Quantifizierung unter Annahme des Responsefaktors von Toluol durchzuführen.

Zur Angabe des TVOC-Wertes ist die Summe der Konzentrationswerte aus allen identifizierten und nicht identifizierten Substanzen zu bilden, deren Retentionszeiten zwischen n-Hexan und n-Hexadekan und deren Emissionsraten über den folgenden Werten liegen.

Bei Messungen in Kammern  $\leq 5 \text{ m}^3$ :  $\text{SER}_B \geq 0,005 \text{ mg/h}$ ,  $\text{SER}_{DN} \geq 0,05 \text{ mg/h}$ .

Bei Messungen in Kammern  $> 5 \text{ m}^3$ :  $\text{SER}_B \geq 0,02 \text{ mg/h}$ ,  $\text{SER}_{DN} \geq 0,2 \text{ mg/h}$ .

Ergänzend hierzu ist, wie in [5] beschrieben, der TVOC-Wert unter Zugrundelegung des Responsefaktors von Toluol zu ermitteln.

Die für die nachfolgenden Berechnungen zu verwendenden Konzentrationen sind aus den Messwerten durch Abzug der entsprechenden Blindwerte zu ermitteln.

Anmerkung: Dabei ist insbesondere der Blindwert des Tenaxrohres zu beachten, da dieser normalerweise einen Großteil des (Gesamt-)Blindwertes ausmacht.

### Berechnung der Emissionsrate während der Bereitschaftsphase

Die Berechnung der Emissionsrate während der Bereitschaftsphase erfolgt mit der Konzentration aus der Probenahme der letzten zwanzig Minuten der einstündigen Phase näherungsweise nach nachstehender Gleichung:

$$\text{SER}_B = c_B * n_B * V \quad (2) \quad c_B = \frac{m_{\text{VOC}_B}}{V_P} \quad (3)$$

$c_B$ : VOC-Konzentration [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] während der Bereitschaftsphase

$\text{SER}_B$ : VOC-Emissionsrate [ $\mu\text{g}/\text{h}$ ] während der Bereitschaftsphase

$m_{\text{VOC}_B}$ : analysierte Masse [ $\mu\text{g}$ ] des (der) VOC während der Bereitschaftsphase

$n_B$ : Luftwechsel [ $\text{h}^{-1}$ ] während der Bereitschaftsphase

$V$ : Prüfkammervolumen [ $\text{m}^3$ ]

$V_P$ : Probenahmenvolumen [ $\text{m}^3$ ] während der Bereitschaftsphase

### Berechnung der Emissionsrate während der Druckphase

Die Berechnung der Emissionsrate während der Druckphase erfolgt mit der Konzentration aus der Probenahme von Beginn der Druckphase bis zu dem Zeitpunkt, an dem ein einfacher Luftwechsel in der Nachlaufphase vollzogen ist, durch folgende Gleichung:

$$SER_{DN} = \frac{\frac{m_{VOC_{DN}}}{V_P} * n_{DN}^2 * V * t_G - SER_B * n_{DN} * t_G}{n_{DN} * t_D - e^{-n_{DN} * (t_G - t_D)} + e^{-n_{DN} * t_G}} \quad (4)$$

- $SER_{DN}$  : VOC-Emissionsrate [ $\mu\text{g h}^{-1}$ ] ermittelt aus Druck- und Nachlaufphase
- $SER_B$  : VOC-Emissionsrate [ $\mu\text{g h}^{-1}$ ] ermittelt aus der Bereitschaftsphase
- $m_{VOC_{DN}}$  : analysierte Masse [ $\mu\text{g}$ ] des (der) VOC während der Druck- und Nachlaufphase
- $n_{DN}$  : Luftwechsel [ $\text{h}^{-1}$ ] während der Druck- und Nachlaufphase
- $t_D$  : reine Druck- bzw. Kopierzeit [h]
- $t_G$  : Gesamtprobenahmezeit [h]
- $V$  : Prüfkammervolumen [ $\text{m}^3$ ]
- $V_P$  : Probenahmevervolumen [ $\text{m}^3$ ] während der Druck- und Nachlaufphase

Das in Abschnitt 8.6 beschriebene Probenahme- und Analysenverfahren ist für ein breites Spektrum emittierbarer Verbindungen geeignet. Eine Zusammenstellung von Verbindungen, die bei Emissionsmessungen von Druck- und Kopiergeräten auftreten können, ist ebenfalls Abschnitt 8.6 zu entnehmen.

### **4.6 VVOC**

VVOCs, welche bei der VOC-Probenahme mittels Tenax erfasst werden, sind wie VOCs zu quantifizieren und im Prüfbericht aufzulisten. In den TVOC-Wert sind die VVOCs nicht einzubeziehen.

Besonders bei Anwesenheit leichtflüchtiger Lösemittel in Tinten von Tintenstrahldruckern (laut Information des Antragstellers bzw. Sicherheitsdatenblatt) ist darauf zu achten, dass die Prüfergebnisse nicht durch einen „Durchbruch“ verfälscht werden. Dazu sind ggf. zwei Tenaxrohre hintereinander zu schalten oder die für die Benzolbestimmung mittels Carbotrap durchgeführte Probenahme auszuwerten.

## 4.7 Ozon

Grundlage des Messverfahrens ist vorzugsweise die flammenlose Reaktion von Ozon mit Ethylen. Die dabei auftretende Chemilumineszenz wird photometrisch erfasst. Die Prüfung der Ozonemission von Druckern und Kopierern ist wie folgt durchzuführen:

- d) Bestimmung des Blindwertes
- e) In der Bereitschaftsphase kann bereits eine Aufzeichnung der Ozonkonzentration erfolgen.
- f) Ozonbestimmung beim Drucken / Kopieren:

Die Ozonbestimmung erfolgt von Beginn der Druckphase und wird bis zur Beendigung der Nachlaufphase fortgeführt. Die Konzentrationsaufzeichnung sollte mindestens alle 30 Sekunden, besser alle 15 Sekunden erfolgen. Sofern ein geeigneter Konzentrationsbereich ausgewählt wurde, ist der Ozonkonzentrationsverlauf permanent mit elektronischen Datenloggern aufzuzeichnen.

Die Ozonhalbwertszeit wird aus der Abklingkurve in der Nachlaufphase bestimmt. Zu dieser Zeit herrschen in erster Näherung noch die Bedingungen vor, wie sie beim Druckjob vorliegen. Die Berechnung der Ozonemissionsrate erfolgt nach nachstehenden Gleichungen:

$$SER_u = \frac{c_{\max} * k' * V * p}{T * R} \quad (5) \qquad k' = \frac{\ln 2}{H'} \quad (6)$$

- $SER_u$ : Emissionsrate Ozon [ $\mu\text{g}$  oder  $\text{mg}$  Zeiteinheit<sup>-1</sup>]
- $c_{\max}$ : maximale Ozonkonzentration [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ] während der ersten 10 Minuten der Druckphase
- $k'$ : Proportionalitätsfaktor [ $\text{min}^{-1}$ ]
- $H'$ : Ozonhalbwertszeit unter Prüfbedingungen [min]
- $V$ : Prüfkammervolumen [ $\text{m}^3$ ]
- $p$ : Luftdruck [Pa]
- $T$ : absolute Temperatur [K]
- $R$ : Gaskonstante [ $\text{Pa K}^{-1}$ ], ( für Ozon 339,8 [ $\text{Pa K}^{-1}$ ])

Bei sehr kleinen Ozonemissionsraten ist die Bestimmung der Ozonhalbwertszeit unter Prüfbedingungen schwierig. Um dennoch eine Auswertung zu ermöglichen, kann dann zur Vereinfachung die kleinste je beim Prüfinstitut in der mit einem Hardcopygerät beladenen Kammer gemessene Ozon-Halbwertszeit benutzt werden. Die Berechnung der Emissionsrate erfolgt dann nach obiger Gleichung.

### Beispiel für ein Ozonmessgerät

Ozonanalysator Modell 3010 (Hersteller: UPM, Umwelt Pollution-Messtechnik). Mit diesem Gerät wird die Ozonkonzentration kontinuierlich bestimmt.

## 4.8 Staub

Zur Ermittlung der Staubemissionsrate ist die gravimetrische Methode anzuwenden.

### Probenahme

Die Luftprobenahme erfolgt von Beginn der Druckphase bis zum Ende der Nachlaufphase. Während dieser Zeitspanne wird der Prüfkammer mittels einer Pumpe Luft entnommen und durch einen Glasfaserfilter gesaugt. Das durch den Filter gesaugte Luftvolumen (in  $\text{m}^3$ ) wird gemessen. Durch Differenzwägung des Filters erhält man die absolute Staubauswaage in  $\mu\text{g}$ . Aus beiden Werten lässt sich die Staubkonzentration in der Prüfkammer (in  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) und daraus die spezifische Emissionsrate (in  $\mu\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$ ) berechnen.

### Standardbedingungen der gravimetrischen Staubmessung

|                             |                                                                                      |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Staubfilter                 | Glasfaserfilter mit Halterung                                                        |
| Probenahmeort               | vorzugsweise mittig an der Kammerwand                                                |
| Probenahme-<br>volumenstrom | bis maximal 80 % der Luftdurchflussrate in der Kammer<br>während der Probenahmephase |
| Probenahmezeit:             | gesamte Druck- und Nachlaufzeit                                                      |

### Durchführung der gravimetrischen Staubmessung - Klimakorrektur

Die zur gravimetrischen Staubmessung eingesetzten Glasfaserfilter (Messfilter) müssen vor der Messung in einem klimatisierten Raum (Wägeraum) gelagert und im dort herrschenden Klima bis zur Massekonstanz konditioniert werden. Da sich auch geringste unvermeidbare Schwankungen der relativen Luftfeuchtigkeit im Wägeraum auf die Masse der Glasfaserfilter auswirken, wird mindestens ein unbelasteter Glasfaserfilter (Referenzfilter) zur gleichen Zeit wie die Messfilter vor der Staubprobenahme (tara) gewogen, um den Einfluss des Klimas auf die Filtermasse durch eine Klimakorrektur zu minimieren.

### Klimabedingungen im Wägeraum:

|                            |                                      |
|----------------------------|--------------------------------------|
| Temperatur:                | $23^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ K}$ |
| relative Luftfeuchtigkeit: | $50 \% \pm 5 \%$                     |

Während der Staubprobenahme an der Klimakammer wird Luft durch den Messfilter gesaugt. Da die relative Luftfeuchtigkeit dieser Luft von der im Wägeraum abweichen kann, muss der Messfilter nach der Staubprobenahme wieder bis zur Massekonstanz im Wägeraum konditionieren.

Der Referenzfilter wird die ganze Zeit im Wägeraum belassen und bei der Wägung der Staubauswaage (Bruttowägung) des Messfilters wieder gewogen. Die beim Referenzfilter ermittelte Massedifferenz zwischen der ersten und der zweiten Wägung ist auf Klimaveränderungen zurückzuführen und wird von der ermittelten Bruttomasse des Messfilters subtrahiert bzw. addiert.

### Ermittlung der absoluten Staubausswaage des Messfilters (Klimakorrektur)

$$m_{St} = (m_{MF_{brutto}} - m_{MF_{tara}}) + (m_{RF_1} - m_{RF_2}) \quad (7)$$

- $m_{St}$  : ausgewogene Staubmasse (klimakorrigiert) [µg]  
 $m_{MF_{brutto}}$  : Masse des konditionierten Messfilters nach der Staubprobenahme [µg]  
 $m_{MF_{tara}}$  : Masse des konditionierten Messfilters vor der Staubprobenahme [µg]  
 $m_{RF_1}$  : Masse des konditionierten Referenzfilters zeitgleich mit Messfilter gewogen vor der Staubprobenahme [µg]  
 $m_{RF_2}$  : Masse des konditionierten Referenzfilters zeitgleich mit Messfilter gewogen nach der Staubprobenahme [µg]

### Berechnung der Staubkonzentration und -emissionsrate

$$SER_{u_{St}} = \frac{m_{St} * n * V * t_G}{V_P * t_D} \quad (8)$$

$$c_{St} = \frac{m_{St}}{V_P} \quad (9)$$

- $c_{St}$  : Staubkonzentration in der Prüfkammer [µgm<sup>-3</sup>]  
 $SER_{u_{St}}$  : Staubemissionsrate [µgh<sup>-1</sup>]  
 $m_{St}$  : ausgewogene Staubmasse (klimakorrigiert) [µg]  
 $n$  : Luftwechsel [h<sup>-1</sup>]  
 $t_D$  : reine Druck- bzw. Kopierzeit [min]  
 $t_G$  : Gesamtprobenahmezeit [min]  
 $V$  : Prüfkammervolumen [m<sup>3</sup>]  
 $V_P$  : Volumen der durch den Glasfaserfilter gesaugten Luft [m<sup>3</sup>]

### Beispiel für ein gravimetrisches Staubmessverfahren

|                     |                                             |
|---------------------|---------------------------------------------|
| Ultramikrowaage     | Typ UMX2/M                                  |
| Pumpe               | Fa. Müller GSA 50                           |
| Gasdurchflussmesser | Fa. Schlumberger REMUS 4 G 1,6              |
| Glasfaserfilter     | Fa. Schleicher & Schuell, Durchmesser 50 mm |

## 5. Auswertung und Prüfbericht

Im Prüfbericht ist die vollständige Prüfung sowie die vollständige Auswertung für das Prüfobjekt zu dokumentieren.

Hierbei sind insbesondere folgende Angaben aufzunehmen:

- Hersteller,
- Genaue Produktbezeichnung, Angabe Tisch-/Standgerät, Geräte-Nummer, Druck- bzw. Kopiergeschwindigkeit nach Herstellerangabe, genaue Tonerbezeichnung und Bezeichnung des verwendeten Papiers,
- Produktionsdatum,
- Eingangsdatum,
- Art der Verpackung,
- Lagerung bis zur Messung,
- Untersuchungsdatum/-zeitraum,
- Schwarzwert bzw. Farbwerte der Ausdrücke,
- Untersuchungsbedingungen (Typ und Größe der Kammer, Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Luftwechsel bzw. Luftvolumenstrom),
- Dauer des Druckjobs,
- Druckgeschwindigkeit während der Prüfung,
- Anzahl der bedruckten Blätter,
- Zeitpunkt und Dauer der Luftprobenahme, Volumen und Volumenstrom der Luftprobenahme für VOC, Ozon, Staub,
- Name, CAS-Nr. und Konzentration der identifizierten VOC, sowie Konzentration der nicht identifizierten VOC von Bereitschaftsphase und Druckphase sowie berechnete Emissionsraten; Benzol und Styrol sind in jedem Fall auch gesondert aufzuführen,
- Angabe des TVOC-Wertes als Summe der individuell quantifizierten und nicht identifizierten Verbindungen (relevanter Wert für Vergabegrundlage), sowie ergänzend unter Berechnung mit dem Responsefaktor von Toluol,
- Angabe von VVOCs, wenn gefunden,
- Ozonhalbwertszeit der leeren Kammer und aus Nachlaufphase,
- Ozonkonzentration und berechnete Ozonemissionsrate im Druckbetrieb,
- Gravimetrisch bestimmte Staubmasse und daraus ermittelte Staubemissionsrate,
- Angabe der Nachweis- und Bestimmungsgrenzen für VOC-, Ozon- und Staubemissionsraten,
- Störungen und Abweichungen vom Prüfalgorithmus,
- Zusammenfassung der Ergebnisse durch das Prüfinstitut in Hinblick auf die Umweltzeichenkriterien (ggf. Hinweis, dass ermittelte Emissionscharakteristik nur in Verbindung mit dem untersuchten Tonertyp gilt),
- Unterschrift unter der Zusammenfassung, die nochmals die genaue Gerätebezeichnung enthalten muss

## 6. Prüfinstitute

Die Emissionsprüfung darf nur von geeigneten Instituten durchgeführt werden.

Prüfinstitute sind geeignet, wenn sie über die notwendigen apparativen Einrichtungen und ein Qualitätsmanagementsystem verfügen (bzw. für den Bereich dieser Prüfungen akkreditiert sind) und über die erfolgreiche Teilnahme an einschlägigen Rundversuchen oder Vergleichsmessungen ihre Befähigung zur Durchführung dieser Prüfungen nachgewiesen haben. Gleiches gilt für Prüflaboratorien der Hersteller.

Der Nachweis über die Einhaltung dieser Anforderungen kann gegenüber der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Fachgruppe „Umweltrelevante Material- und Produkteigenschaften / Emissionen aus Materialien“, erbracht werden. Bei vorliegender Eignung wird diese schriftlich bestätigt.

## 7. Literatur

- 1 Prüfverfahren für die Bestimmung von Emissionen aus Hardcopygeräten im Rahmen der Umweltzeichenvergabe für Bürogeräte nach RAL-UZ 62, 85 und 114. [www.blauer-engel.de](http://www.blauer-engel.de)
- 2 Entwicklung einer Prüfmethode und Untersuchungen zur Begrenzung von Emissionen aus Druckern und Kopiergeräten im Rahmen der Umweltzeichenvergabe. UBA-Texte 71/2003, Umweltbundesamt, Berlin, 2003
- 3 ECMA-Standard 328, Detection and measurement of chemical emissions from electronic equipment, August 2001 (zurzeit in Überarbeitung), [www.ecma-international.org](http://www.ecma-international.org)
- 4 DIN ISO 16000-9: Bauprodukte - Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) - Teil 1: Emissionsprüfkammer-Verfahren
- 5 DIN ISO 16000-6: Innenraumluftverunreinigungen. Teil 6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern. Probenahme auf TENAX TA, thermische Desorption und Gaschromatographie/MSD bzw. FID
- 6 ISO 554, Ausgabe: 1976-07 Normalklimate für die Konditionierung und / oder Prüfung; Anforderungen
- 7 DIN EN 20287, Ausgabe: 1994-09 Papier und Pappe - Bestimmung des Feuchtegehaltes - Wärmeschränkverfahren (ISO 287:1985); Deutsche Fassung EN 20287: 1994
- 8 DIN EN 717-1, Ausgabe: 2005-01, Holzwerkstoffe - Bestimmung der Formaldehydabgabe - Teil 1: Formaldehydabgabe nach der Prüfkammer-Methode

- 9 DIN 33870, Ausgabe: 2001-01 Informationstechnik - Büro- und Datentechnik - Anforderungen und Prüfungen für die Aufbereitung von gebrauchten Tonermodule schwarz für elektrophotographische Drucker, Kopierer und Fernkopierer
- 10 CIE Dokument Nr.15, Colorimetry, 2004

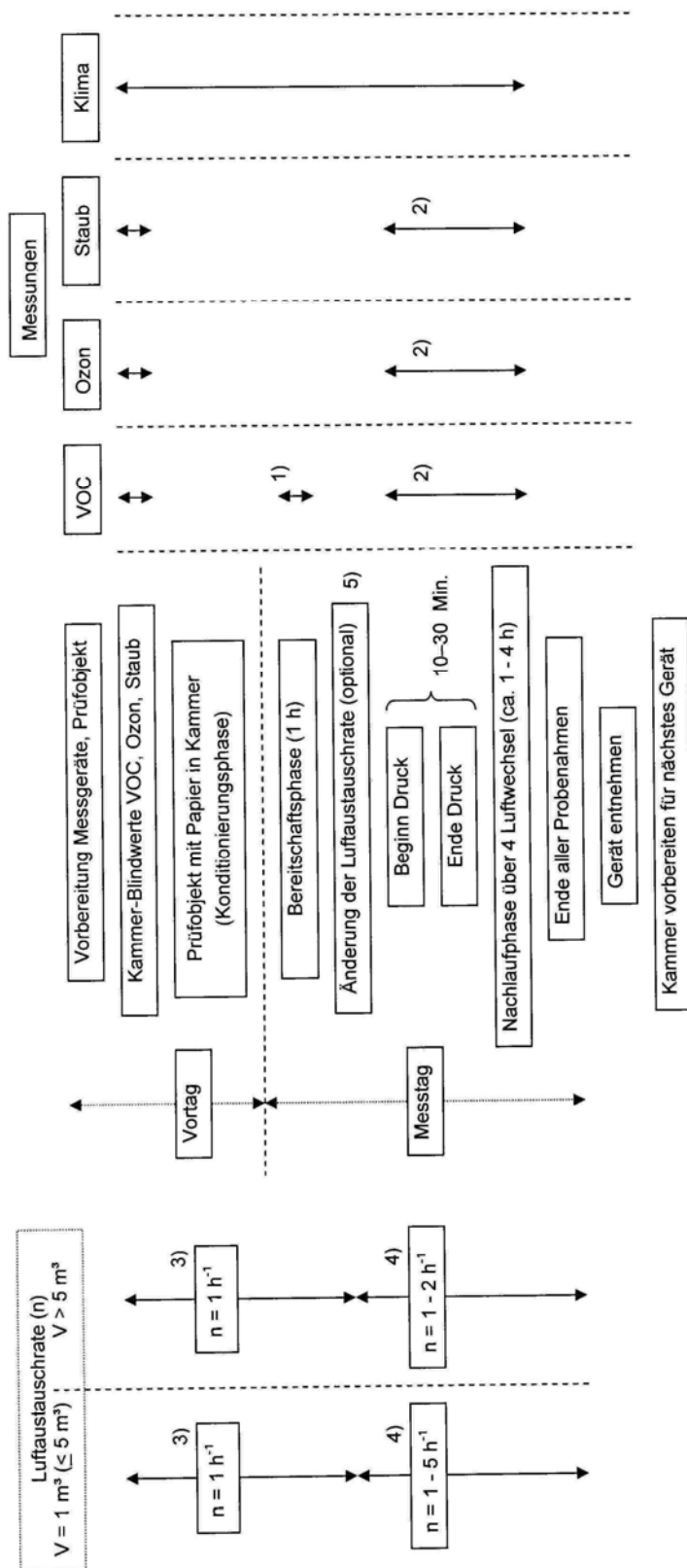
Weiterführende Literatur:

J. Rockstroh, O. Jann, O. Wilke, W. Horn: Development of a reliable test method for laser printers, copiers and multifunctional devices in emission test chambers, Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft 65 (2005), 3, Seite 71-80.

O. Jann, J. Rockstroh, O. Wilke: Influence of emissions from hardcopy devices to indoor air quality, Proceedings of Indoor Air 2005, Beijing, Vol.2, 2123-2128.

## 8. Erläuterungen und Beispiele

### 8.1 Ablaufplan für die Prüfung



1) Probenahme über letzte 20 Minuten (100 – 200 ml / Min.)

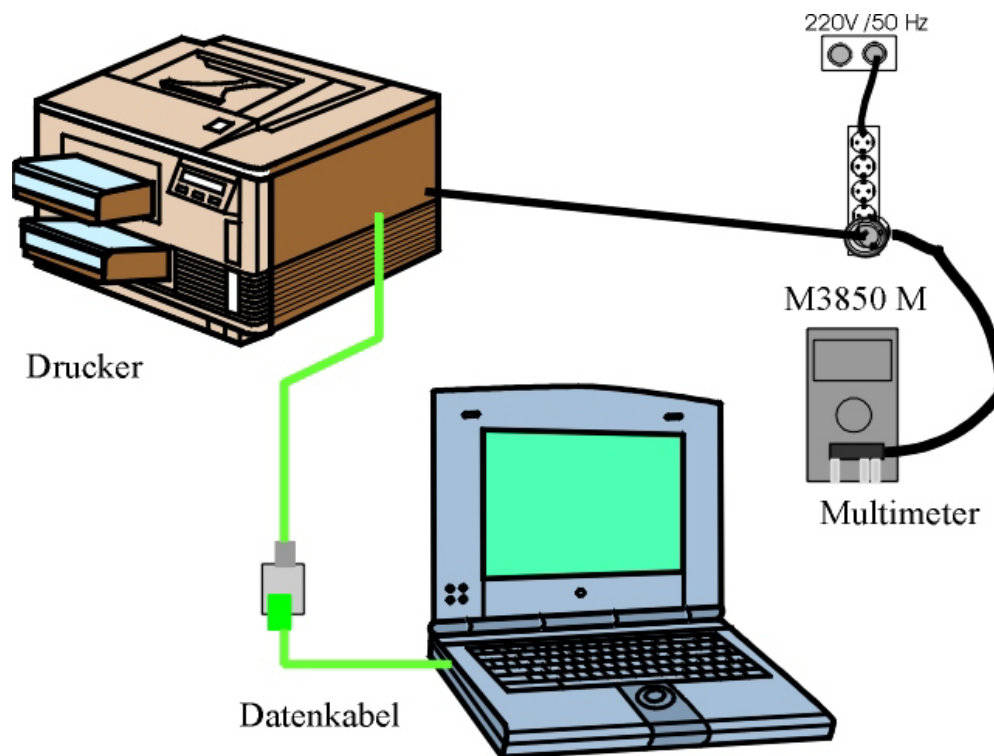
2) Durchgehende Probenahme (für VOC 50 – 200 ml / Min. in Abhängigkeit von der Probenahmedauer)

3) Luftaustauschrate muss bekannt und konstant sein

4) Luftaustauschrate abhängig vom Feuchtigkeitseintrag im Druckbetrieb (eine relative Luftfeuchtigkeit von 85 % darf in der Kammer nicht überschritten werden), falls notwendig: Trockener Zuluftstrom ( $< 10 \% \text{ r.F.}$ ); Luftaustauschrate muss bekannt und konstant sein

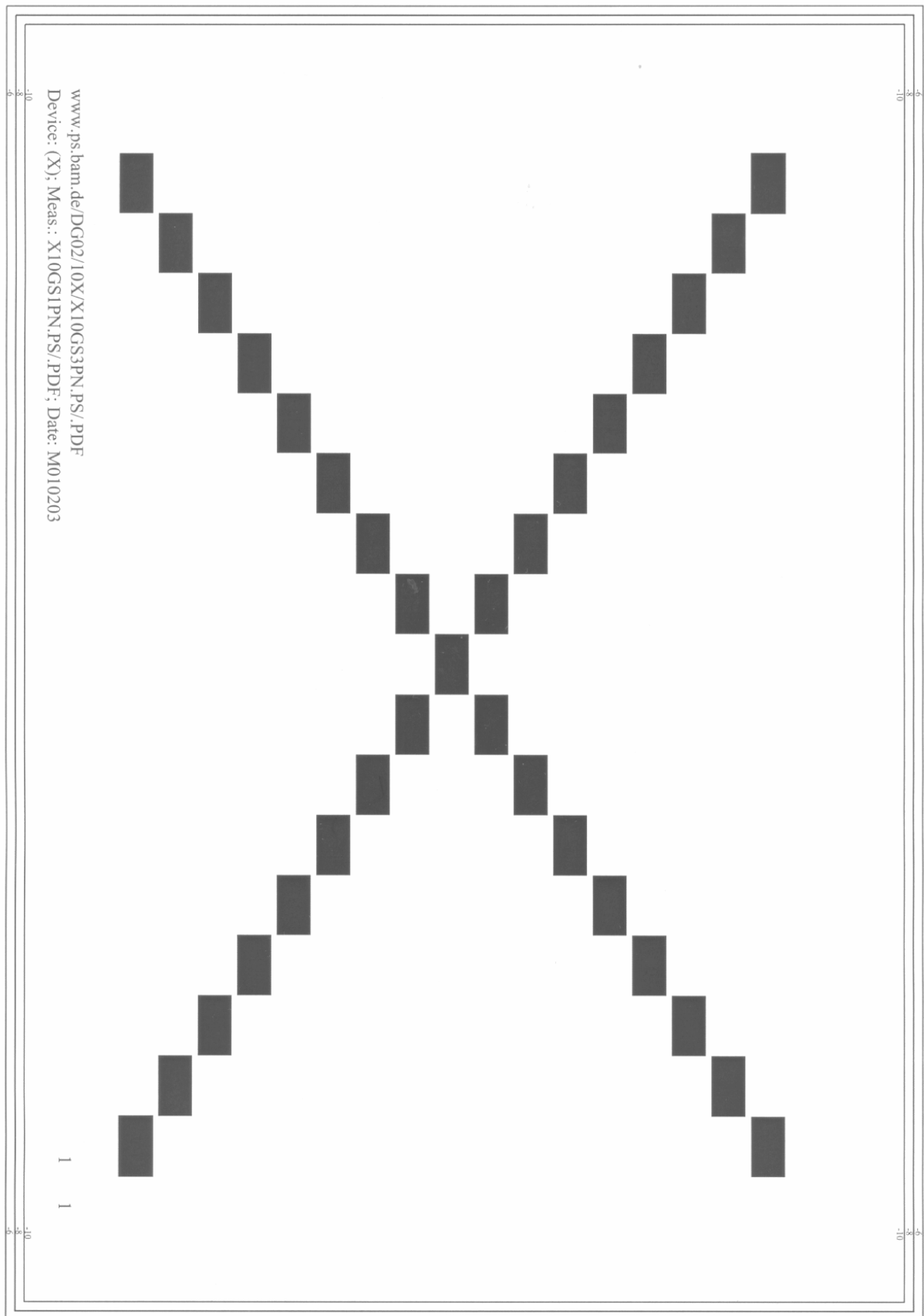
5) Bei einer Änderung der Luftaustauschrate ist die Zeit für mindestens einen Luftwechsel bis zum Druckbeginn abzuwarten,

## 8.2 Messaufbau für Prüfgeräte



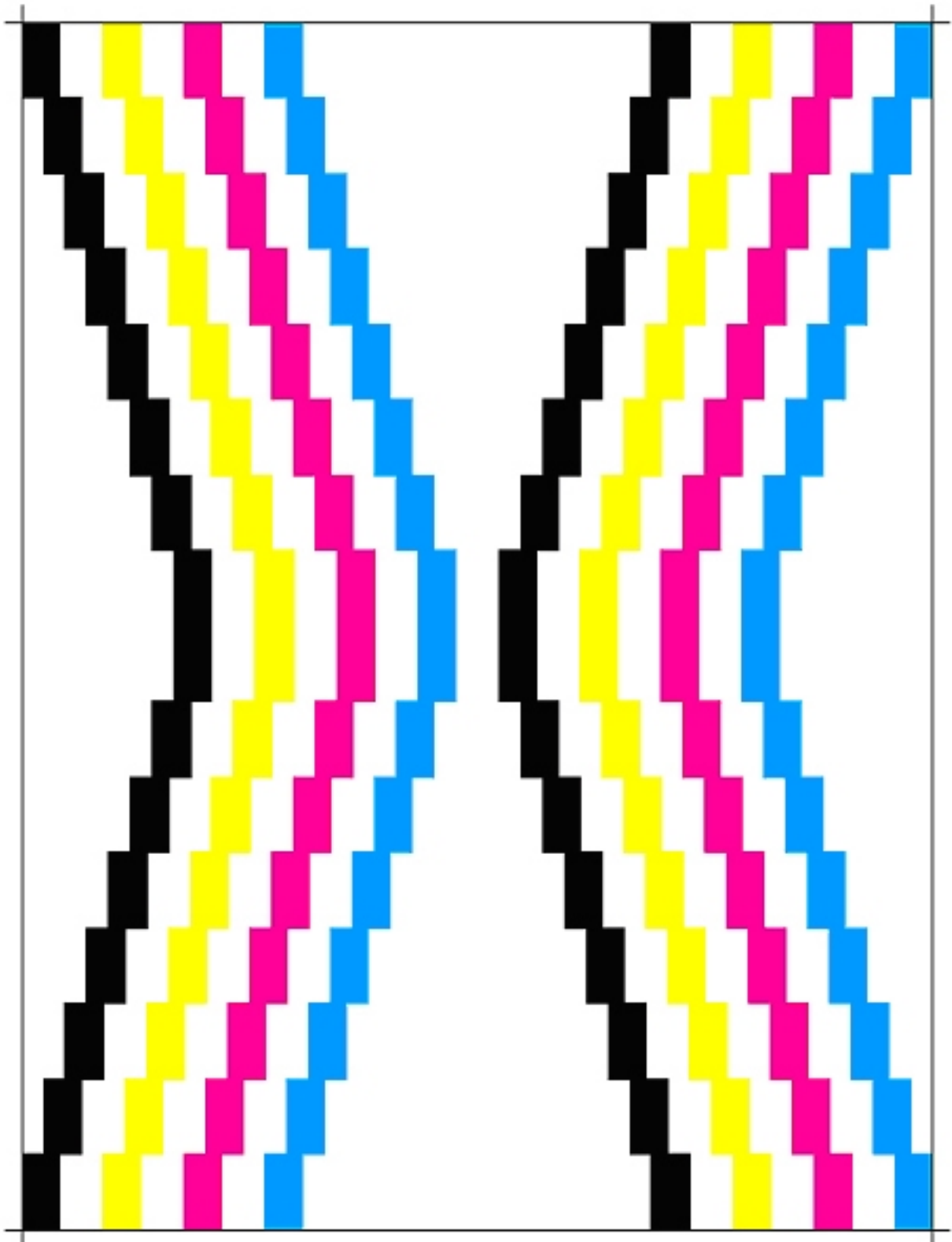
### 8.3 Druckvorlage 5% Flächendeckung, schwarz (siehe DIN 33870 [9])

Die Druckvorlage ist abrufbar unter <http://www.ps.bam.de/RALUZ122>.

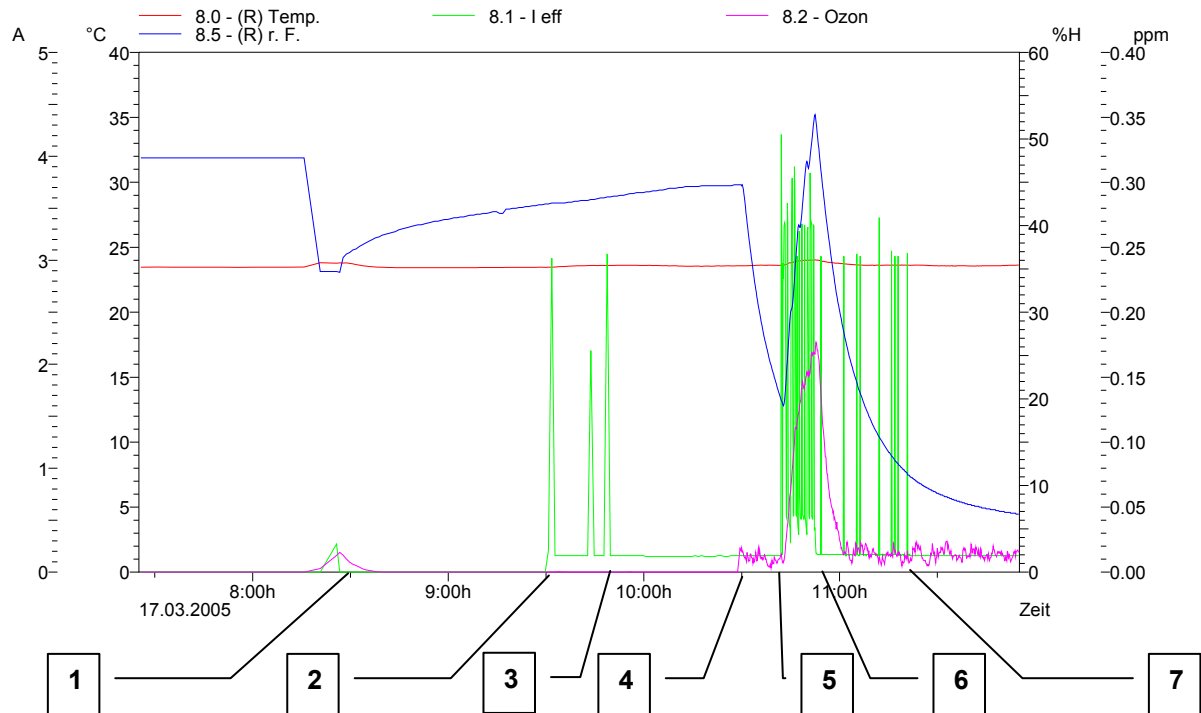


**8.4 Druckvorlage für die Prüfung von Farbgeräten, 20% Flächendeckung,**

Die Druckvorlage ist abrufbar unter <http://www.ps.bam.de/RALUZ122>.



## 8.5 Beispiel für den Verlauf von Klima, Stromverbrauch und Ozonkonzentration während einer Prüfung



- 1 Beladung (8:25 Uhr bis 8:30 Uhr)
- 2 Beginn Bereitschaftsphase (9:30 Uhr)
- 3 Energiesparmodus tritt in Kraft
- 4 Luftwechselumstellung, Absenkung der Luftfeuchtigkeit
- 5 Beginn Druckphase
- 6 Ende Druckphase
- 7 Energiesparmodus tritt in Kraft

## 8.6 Beispiel für ein erprobtes VOC - Messverfahren (vgl. [2], [5])

Probenahmerohre: Tenax TA (Rohrlänge 178 mm, AD 6 mm, ID 4 mm, 200 mg Tenax TA (60-80 mesh) mit Glaswollstopfen); Probenahmevervolumen > 1,0 l (100 ml/min). Vor der Probenahme sind die Tenax-Rohre mit in Methanol gelöstem internen Standard zu spiken.

Die Kalibrierung erfolgt, indem die Kalibriersubstanzen, gelöst in Methanol, auf Tenax-Rohre aufgegeben (gespikt) werden, und zur Simulation einer Probenahme mit einem Liter synthetischer Luft oder Stickstoff (Reinheit 5.0) gespült wird, wobei das vom Spiken auf dem Tenax verbliebene Methanol desorbiert wird.

### Analysensystem:

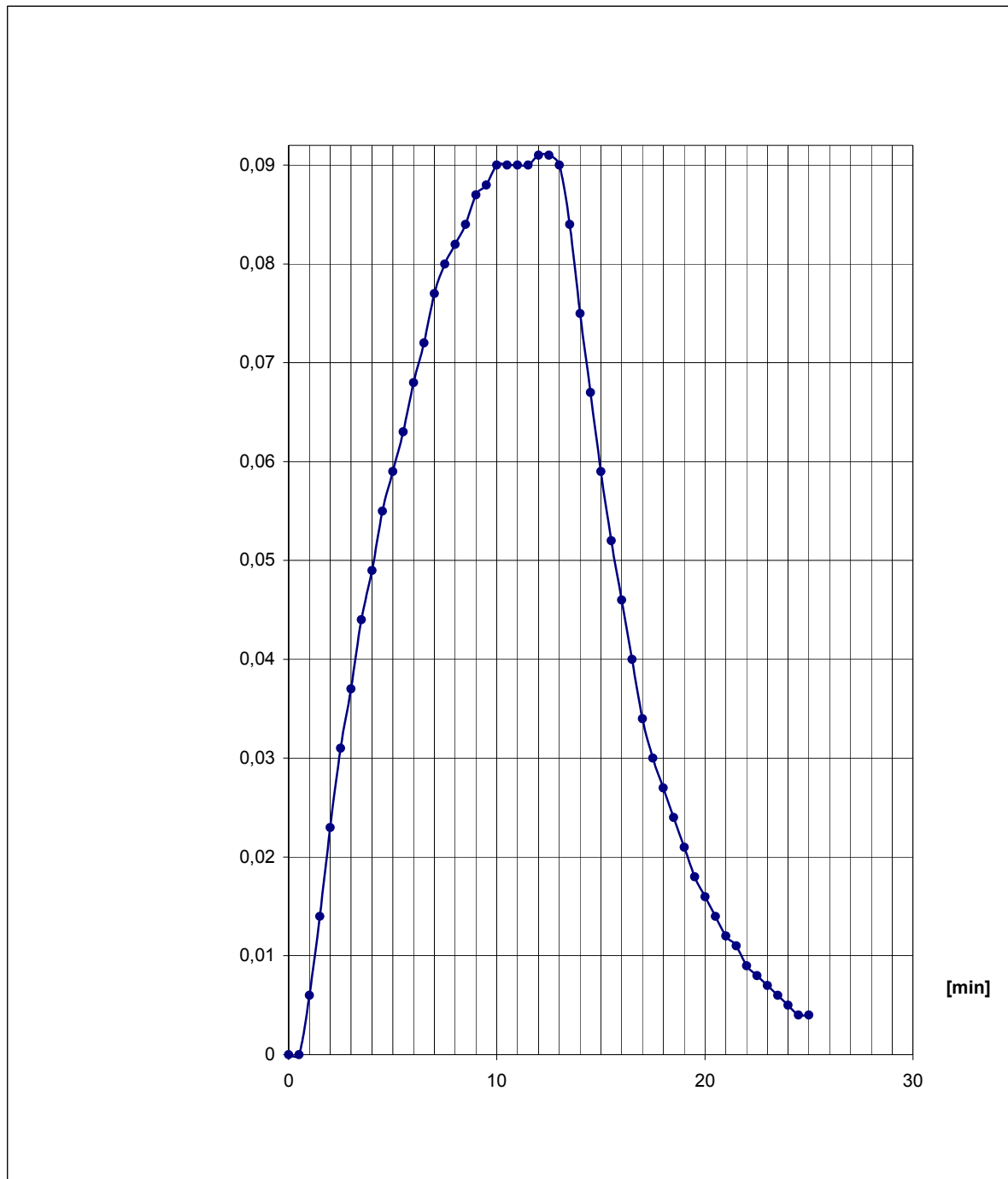
Thermodesorption / Kaltaufgabesystem Gerstel TDS-2 / KAS-3 (Programm 40 - 280 °C mit 40 Kmin<sup>-1</sup>, halten 5 min bei 280 °C / Kryofokussierung bei minus 150 °C, Aufheizen mit 10 Ks<sup>-1</sup> auf 290 °C / He-Fluss 35 mlmin<sup>-1</sup>)

HP GC 5890 II + HP-MSD 5972 (Säule HP 1; 60 m; 0,25 mm; 0,25 µm; Temperaturprogramm 40 °C für 4 min, 5 Kmin<sup>-1</sup> auf 140°C, 10 Kmin<sup>-1</sup> auf 240 °C, 25 Kmin<sup>-1</sup> auf 290 °C, halten für 3 min / MSD: scan 25 - 400; 1,9 scans / sec; 300 °C; NBS - 75K - Datenbank)

### Auswahl auftretender Verbindungen

|                                         |                       |
|-----------------------------------------|-----------------------|
| Acetophenon                             | n-Propylbenzol        |
| n-Alkane (C10-C16)                      | Phenol                |
| Benzaldehyd                             | Propylenglykol        |
| Benzol                                  | Siloxane (z.B. D3-D6) |
| BHT (2,6-Di-tert.-Butyl-4-Methylphenol) | Styrol                |
| Ethylbenzol                             | Toluol                |
| Ethylhexanol                            | Trimethylbenzole      |
| ungesättigte Aldehyde (C6-C10)          | Xylol                 |
| n-Butanol                               |                       |

### 8.7 Verlauf der Ozonkonzentration während des Druckens bei hoher Konzentration (Angaben in ppm)



Für die Berechnung der Emissionsrate wird die Ozonhalbwertszeit aus der abfallenden Flanke (nach Beendigung des Druckvorganges) des Ozonkonzentrationsverlaufs bestimmt.