

## **BfR schließt Arbeiten zur „Toner“-Problematik mit einer gesundheitlichen Bewertung möglicher Risiken durch Druckeremissionen ab**

Gesundheitliche Bewertung Nr. 014/2008 des BfR vom 31. März 2008

Beim Drucken und Kopieren wird eine Vielzahl leicht-, mittel- und schwerflüchtiger Verbindungen sowie Staubpartikel emittiert. Diese Emissionen aus Büromaschinen und insbesondere aus Laserdruckern und Fotokopierern sind mit ungünstigen gesundheitlichen Effekten bei exponierten Büroangestellten in Zusammenhang gebracht worden.

2005 hatte das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) eine Pilotstudie in Auftrag gegeben, die mögliche Zusammenhänge abklären sollte. Die Studie war als Machbarkeitsstudie konzipiert. Sie wurde am Institut für Innenraum- und Umwelttoxikologie des Universitätsklinikums Gießen durchgeführt, die humanmedizinischen Untersuchungen am Institut für Hygiene und Umweltmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen. Für die Studie wurde zwischen Januar und Oktober 2006 die Raumluft in 63 Büroräumen in Deutschland gemessen, und es wurden 69 der dort arbeitenden Personen untersucht. Zwischenergebnisse und Abschlussbericht der Studie wurden auf der Internetseite des BfR veröffentlicht. Für die meisten der gemessenen raumluftechnischen Parameter waren die Untersuchungsergebnisse unauffällig. Nicht geklärt werden konnte die genaue Zusammensetzung feiner und ultrafeiner Partikel. Um Tonermaterial handelte es sich bei den ultrafeinen Partikeln, deren Konzentration mit der Inbetriebnahme von Laserdruckern und Kopierern vorübergehend signifikant anstieg, offenbar überwiegend nicht. Die gesundheitlichen Beschwerden der Probanden waren unspezifisch und in keinem Fall schwerwiegend. Die Untersuchten wiesen Symptome auf, die dem Sick-Building-Syndrom zugeordnet werden können.

Das BfR hat die Arbeiten zu der sogenannte „Toner-Studie“ jetzt mit einer gesundheitlichen Bewertung abgeschlossen. In diese Bewertung sind neben den Ergebnissen der genannten Pilotstudie auch die Ergebnisse weiterer aktueller, zum Teil noch unveröffentlichter Studien eingeflossen. Sie basiert damit auf dem derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstand. In seiner Bewertung kommt das Institut zu dem Ergebnis, dass gesundheitliche Beeinträchtigungen durch die Exposition gegenüber Emissionen aus Büromaschinen nicht ausgeschlossen werden können. Die Prävalenz für das Auftreten gesundheitlicher Beeinträchtigungen schätzt das BfR als gering ein. Schwerwiegende Gesundheitsschäden sind nach den Daten, die dem BfR bisher vorliegen, von Ärzten nicht beobachtet worden.

Das BfR sieht es als vordringlich an, Studien durchzuführen, die zum Ziel haben, die physikalische und chemische Identität der gemessenen Partikel aufzuklären, und hat dies den zuständigen Ministerien (Bundesministerien für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit sowie für Arbeit und Soziales) empfohlen. Die Ergebnisse der Untersuchungen zu den Partikeln sollten ausgewertet werden, bevor weitere Studien mit kontrollierter humaner Exposition oder epidemiologische Studien erwogen werden.

Unabhängig von den Ergebnissen weiterer Forschung können sich Verbraucher schon heute wirkungsvoll vor Emissionen von Laserdruckern, -kopierern und Multifunktionsgeräten schützen, wenn sie Geräte verwenden, die den „Blauen Engel“ tragen. Um dieses Umweltzeichen zu erlangen, müssen Geräte Mindeststandards einhalten. Hohe und gesundheitlich bedenkliche Benzolgehalte, wie sie in einzelnen Studien beim Druck- und Kopiervorgang gemessen wurden, würden damit vermieden. Abschließend weist das BfR noch einmal auf die Empfehlungen der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin zum Umgang mit Druckern, zur Anschaffung neuer und der nachträglichen Ausrüstung vorhandener Geräte sowie zu den

Anforderungen an den Aufstellort hin. Der externe Link findet sich auf der Internetseite des BfR bei Auswahl des Begriffes "Toner" im A-Z-Index.

## 1 Gegenstand der Bewertung

Beim Druck- und Kopiervorgang laufen komplexe physikalische und chemische Prozesse ab, bei denen chemische Verbindungen und Papierbestandteile unter Einwirkung von Licht und höheren Temperaturen reagieren. Gegenstand der vorliegenden Bewertung des BfR war deshalb die Frage, ob Emissionen aus Laserdruckern, -kopierern und Multifunktionsgeräten ein gesundheitliches Risiko für Verbraucher darstellen könnten. Grundlage für die Bewertung waren die Ergebnisse einer Studie, die zu dieser Fragestellung im Auftrag des BfR durchgeführt und Ende 2007 abgeschlossen wurde, sowie die dem BfR zugängliche aktuelle wissenschaftliche Literatur zu dieser Thematik.

## 2 Ergebnis

Aufgrund der vorliegenden Befunde zur gesundheitlichen Beeinträchtigung von Exponierten kann nicht ausgeschlossen werden, dass es durch die Exposition gegenüber Emissionen aus Büromaschinen zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen kommen kann. Ein klarer Zusammenhang kann allerdings nicht hergestellt werden, da die Datenlage hierfür nicht ausreicht. Die gesundheitlichen Beeinträchtigungen in den dokumentierten Fällen sind nicht schwerwiegend. Eine orientierende Schätzung der Prävalenz, die stark von den gemachten Annahmen abhängt und mit hoher Unsicherheit behaftet ist, ergibt 1,1 Verdachtsfälle auf 10.000 Exponierte.

Es wird empfohlen, Geräte zu verwenden, die den Standard des Umweltzeichens „Blauer Engel“ einhalten (Tabelle 1), da dies der „best practice“ entspricht. Die Empfehlungen der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin zum Umgang mit Druckern, inklusive ihrer Wartung, sowie zur Anschaffung neuer Geräte, zur nachträglichen Ausrüstung vorhandener Geräte und zu den Anforderungen an den Aufstellort sollten berücksichtigt werden.

Weiter wird empfohlen, mit hoher Priorität Studien zur physikalischen und chemischen Identität der Partikel durchzuführen, die bei Druckerbetrieb emittiert werden und deren Quellen aufzuklären, um bestehende Kenntnislücken zu schließen. Eine Studie mit kontrollierter humaner Exposition soll in der Planung auf den dann vorliegenden Erkenntnissen aufbauen. Wenn diese Daten vorliegen, können ggf. notwendig werdende Risiko mindernde Maßnahmen gezielt geplant werden. Über eine epidemiologische Studie mit dem Endpunkt „unspezifische Hyperreagibilität der Atemwege“ sollte nur dann diskutiert werden, wenn nach Abschluss dieser Studien noch immer relevante Kenntnislücken bestehen.

## 3 Begründung

Viele Hersteller können die Standards des Umweltzeichens „Blauer Engel“ einhalten. Das zeigen Messergebnisse, die verschiedene Hersteller dem Bundesinstitut für Risikobewertung Anfang dieses Jahres als Nachweis dafür vorgelegt haben, dass ihre Produkte die in Tabelle 1 aufgeführten Kriterien erfüllen. Der „Blaue Engel“ stellt damit eine Art „best practice“ im Sinne eines technisch machbaren Standards dar.

Die genannten Empfehlungen der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin sind ebenfalls als Hinweise auf eine „best practice“ zu verstehen. Ihre Befolgung ermöglicht einen

individuellen Expositionsschutz auch für Personen, die gesundheitliche Beeinträchtigungen aufweisen.

Angesichts fehlender Informationen zur physikalischen und chemischen Identität der gemessenen Partikel, die bei Druckerbetrieb emittiert werden, und der bislang nicht geklärten Quellen fehlt ein wichtiger Baustein für die Risikobewertung. Hier sieht das BfR Forschungsbedarf.

### **3.1 Risikobewertung**

#### **3.1.1 Mögliche Gefahrenquelle**

Bei Emissionen aus Büromaschinen zur Anfertigung von Papierkopien und Papierausdrucken, wie Laserdrucker, Kopierer und Multifunktionsgeräte, handelt es sich um nicht definierte Gemische aus flüchtigen (Volatile Organic Compounds, VOC), schwerflüchtigen (Semi Volatile Organic Compounds, SVOC) organischen Verbindungen, Ozon und Staub (Wensing, 1999; Nies et al., 2000). Diese Emissionen können aus verschiedenen Quellen stammen. Die Bild- oder Fotoleitertrommel, eine im Betrieb rotierende Walze, ist mit einer Beschichtung versehen, welche zu Beginn des Druckprozesses elektrostatisch aufgeladen wird. Bei diesem Prozess kann Ozon entstehen. Unter der Lichteinwirkung (Spiegelsystem unter Verwendung von Laserlicht) beim „Kopieren“ der Schriftvorlage verringert sich die elektrische Ladung der Trommel, und ein Abbild der Druckseite entsteht. Das elektrisch geladene Tonerpulver wird an den weniger geladenen Stellen angezogen. Elektrostatisch aufgeladenes Papier wird an der Trommel vorbeigeführt und zieht den auf der Trommel haftenden Toner an. Das Papier wird durch eine Fixierwalze gezogen, in welcher der Toner auf dem Papier durch Druck und Hitze fixiert wird. Dabei werden Harzpartikel, die im Toner enthalten sind, geschmolzen (Hohensee et al., 2000). Durch die Hitze können hierbei organische Verbindungen flüchtig werden.

Toner(pulver) ist ein feinkörniges Gemisch verschiedener Komponenten: Harzpartikel, um den Toner auf das Papier fixieren (aufschmelzen) zu können, Farbpigmente (z.B. Carbon Black bzw. farbige Pigmente) und magnetisierbare Metalloxide, die für die elektrostatischen Ladevorgänge notwendig sind (Hohensee et al., 2000), sowie Trennmittel, z.B. sehr feine Stäube aus amorphem Siliciumdioxid, (Barthel et al, 1998 zit. in: Nies et al., 2000). Auch das zum Druck verwendete Papier kann eine Quelle von Partikelemissionen sein (Wilke et al., 2007).

Als Qualitätsmerkmal für Geräte mit Druck-/Kopierfunktionen wurden seit 1996 Umweltkriterienzeichen eingeführt. Die neuesten Vergabekriterien für den sog. „Blauen Engel“ durch den RAL<sup>1</sup> (Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V.) sehen eine definierte Begrenzung der zulässigen Emissionsraten vor (siehe Tabelle 1) (RAL-ZU 122, Ausgabe Juni 2006).

---

<sup>1</sup> Reichtsausschuss für Lieferbedingungen

**Tabelle 1: Zulässige Höchstwerte der nach Anhang 2 ermittelten Emissionsraten**

Stoff	Emissionsrate Druckphase (mg/h)		Emissionsrate Bereitschaftsphase (mg/h)	
	Mehrfarbindruck Summe Bereitschafts- + Druckphase	Schwarzdruck Summe Bereitschafts- + Druckphase	Tischgeräte	Standgeräte (Gerätevolumen > 250 Liter)
TVOC*	18	10	1	2
Benzol	<0,05	<0,05		
Styrol	1,8	1,0		
Ozon	3,0	1,5		
Staub	4,0	4,0		

\* Total Volatile Organic Compounds

### 3.1.2 Gefährdungspotential

Biologische Effekte, von Tonern (nicht von Emissionen) sind in einer Reihe von in-vitro-Versuchen untersucht worden. Die Zusammensetzung der Toner war dabei in den meisten Fällen nicht definiert. Es liegen außerdem Untersuchungsergebnisse aus in-vivo-Versuchen vor, die meist an Ratten durchgeführt wurden, bei denen z.T. unrealistisch hohe Toner-Konzentrationen inhalativ verabreicht worden (Übersicht bei Gminski und Mersch-Sundermann, 2006). Die Befunde sind insofern schwer auf den Menschen übertragbar, als die Zusammensetzung der Toner nicht bekannt ist und die Konzentrationen, bei denen Effekte gesehen wurden, um mehrere Größenordnungen über den Konzentrationen liegen, die bei Messungen unter realen humanen Expositionsbedingungen auftreten. Beispielhaft hierfür ist die Studie von Pott und Roller (2003), bei der 10 x bzw. 20 x 6 mg Test-Tonerstaub in wöchentlichen Abständen direkt in die Luftröhre eingebracht wurde. Auch die Studie von Mohr et al. (2006) hat in dieser Hinsicht Einschränkungen. Bellmann et al. (1992) haben bereits 1992 auf die Problematik des „Overloads“ bei hohen Konzentrationen hingewiesen.

Emissionen aus Druckern und Fotokopierern, die eine Vielzahl leicht-, mittel- und schwerflüchtige Verbindungen sowie Staubpartikel enthalten, sind mit ungünstigen gesundheitlichen Effekten beim Menschen in Zusammenhang gebracht worden.

#### 3.1.2.1 Einzelfallberichte

Gallardo und Mitarbeiter (1994) berichten über einen Fall von Siderosilikose; Armbruster und Mitarbeiter (1996) über einen Fall von granulomatöser Pneumonitis. Weitere Einzelfälle mit geringgradigen Gesundheitsstörungen sind bei Gminski und Mersch-Sundermann (2006) beschrieben.

#### 3.1.2.2 Unveröffentlichte Einzelfallberichte

Auf Initiative des BfR wurde die Frage von Gesundheitsstörungen, welche auf eine Exposition gegenüber Tonern zurückgeführt werden, im November 2006 auf einem Treffen der für die Chemikalienbewertung zuständigen Behörden der EU-Mitgliedsstaaten erörtert. Gesundheitliche Störungen waren den zuständigen Chemikalienbehörden anderer Mitgliedsstaaten nicht bekannt. Über den Präsidenten der Europäischen Vereinigung der Gifteinformationszentren und der Klinischen Toxikologischen Gesellschaften (European Association for Poison Control Centres and Clinical Toxicology) hat das BfR außerdem weltweite Ermittlungen bei Vergiftungszentralen durchgeführt. Das BfR erhielt Mitteilungen aus: Edinburgh (keine Fälle), Bordeaux (keine Fälle), Lubljana (keine Fälle), Zimbabwe (keine Fälle), vom Schweizer Toxikologischen Zentrum (einige Fälle mit vorübergehenden leichten Reizsymptomen der Atem-

wege), von der University Salt Lake City, USA („over the years several different individuals with respiratory symptoms“), vom Copenhagen University Hospital (einige Fälle bekannt, „I never have heard about serious harm“), sowie vom spanischen Giftinformationszentrum (36 Fälle mit hauptsächlichem Symptom Reizung der Luftwege).

### 3.1.2.3 Epidemiologische Studien

In einer epidemiologischen Studie wurde eine erhöhte Odds Ratio von 1,74 (95% KI 1,23 - 2,46) für das Auftreten einer Sarkoidose bei Personen gefunden, die jemals einen Fotokopierer benutzt haben, und eine Odds Ratio von 2,88 (95% KI 1,83-4,54) für das Auftreten einer Sarkoidose bei Personen, die Tonerpatronen gewechselt oder Fotokopierer gewartet hatten (Rybicki et al, 2004). Demgegenüber wurde durch Nakadate et al (2006) keine konsistente Beziehung zwischen der Exposition gegenüber Toneremissionen und Wirkungen am Atemtrakt gefunden. In der Studie von Nakadate et al wurden 600 männliche Personen, die in der Tonerproduktion, der Druckerentwicklung und der Maschinenwartung über lange Jahre exponiert waren, einer Querschnittsuntersuchung unterzogen. Dabei wurden die Lungenfunktion geprüft, der Thorax geröntgt und die Symptome (chronischer Husten mit Auswurf, chronische Spastik, Atemnot) erfasst. Fibrotische Lungenveränderungen wurden bei den Personen häufiger beobachtet, die länger als 21 Jahre exponiert waren (OR; 95 CI: 4,66) (1,21 – 17,89). Da sich das Alter der Personen jedoch als Confounder erwies, kann dieser Befund nicht eindeutig beurteilt werden.

### 3.1.2.4 Serien von Einzelfallberichten/Fallsammlungen

An weiteren Effekten wurden unspezifische Symptome der oberen Luftwege wie Schnupfen, Halsschmerzen, Husten, asthmatische Beschwerden, Entzündungen der Augen und der Haut mitgeteilt (siehe bei Gminiki und Mersch-Sundermann, 2006). Negativen Befunden im Patch-Test an 100 nicht vorsensibilisierten Personen (Lin und Mermelstein, 1994) stehen positive Befunde im „Allergo-Cell-Assay“ von Rabe et al (2002) bei 18 Personen gegenüber, die angaben, auf Toner empfindlich zu reagieren. Palm (2006) berichtet über 28 Patienten, die von ihm nach dem Kriterium des Auftretens von Symptomen der Atemwege in zeitlichem Zusammenhang mit einer Tonerstaubexposition ausgewählt worden waren, und welche im Vergleich zu 8 gesunden Kontrollpersonen allergologisch untersucht wurden. Er fand einen hohen Anteil positiver Reaktionen auf Toner, Nickel, Kobalt und Quecksilber.

Eine Fallsammlung, die bislang fachlich nicht ausgewertet werden konnte, liegt bei der Interessengemeinschaft Tonergeschädigter im Bundesverband Bürgerinitiativen Umweltschutz e. V. (ITG e. V.), Arbeitsgruppe Innenraumschadstoffe und Gesundheit, vor. Aus der Publikation von Stelting (2006) geht hervor, dass die Zahl der Meldungen zwischen 1999 und 2004 anstieg, 2004 mit 293 Fällen einen Gipfel erreichte und danach wieder abfiel. Im Jahr 2006 wurden bis September 108 Fälle registriert. Aus der Publikation geht hervor, dass fast 90% der Betroffenen bei den „Organbereichen, die nach Angaben der Betroffenen gesundheitliche Beschwerden machen“ (Stelting, 2006) die Atemwege angegeben haben. In abnehmender Häufigkeit werden Augen (40%), Haut (23%), Nervensystem (23%), Magen-Darm-Trakt (10%) und Bewegungsapparat (6%) in dem Artikel von Stelting (2006) genannt. Einzelheiten zu den Krankheitsbildern werden in der Veröffentlichung nicht beschrieben. Die Arbeit enthält auch Angaben zur Häufigkeit eines hyperreagiblen Bronchialsystems (8%). Unter den mitgeteilten Erkrankungen sind mit 4% der Fälle (40 Fälle) auch Krebserkrankungen. In 13 dieser Fälle wurde die Erkrankung als Leukämie (unspezifiziert) angegeben. Die Fallsammlung wurde kontinuierlich weitergeführt. Am 25. März 2008 lag die Zahl der Fälle bei 1800 (Internetabfrage des BfR unter [www.krank-durch-toner.de/](http://www.krank-durch-toner.de/)).

Eine weitere Fallsammlung liegt dem Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) vor. Nach §16e Chemikaliengesetz haben Ärzte und Berufsgenossenschaften die Pflicht, dem BfR Fäl-

le von Patienten zu melden, bei denen der Verdacht besteht, dass ihre gesundheitlichen Beschwerden auf die Einwirkung gefährlicher Chemikalien zurückzuführen sind. Meldungen zu Fällen, in denen Symptome und gesundheitliche Beschwerden mit Exposition gegenüber Toner in Verbindung gebracht werden, liegen seit 2000 vor. Bis zum 28. Februar 2008 wurden dem BfR 113 Verdachtsfälle gemeldet. Die Bewertung der Fälle erfolgt nach international abgestimmtem Vorgehen. Tabelle 1 und 2 geben den derzeitigen Stand wieder.

**Tabelle 2: Anzahl der pro Jahr gemeldeten und der bewertbaren Fälle seit Meldung des ersten Falls nach §16e ChemG**

Jahr	Anzahl der gemeldeten Fälle	Anzahl der bewertbaren Fälle
2000	1	1
2001	5	5
2002	11	11
2003	6	5
2004	24	24
2005	48	48
2006	4	4
2007	13	13
2008	1	1
Summe	113	112

In 108 von 113 der gemeldeten Fälle reichten die vorliegenden bzw. ermittelten Informationen für eine Bewertung des Schweregrades aus. In 63 Fällen war eine leichte, in 38 Fällen eine mittelschwere Gesundheitsstörung aus der Meldung erkennbar.

**Tabelle 3: Schweregrad der bewertbaren Fälle (nach Persson et al., 1998)**

Jahr	schwer	mittel	leicht	keine	nicht zu beurteilen
2000		0	1	0	0
2001		0	4	1	0
2002		4	6	1	0
2003		2	2	0	1
2004		8	14	1	1
2005		22	21	3	2
2006		1	2	0	1
2007		1	12	0	0
2008		0	1	0	0
Summe	0	38	63	6	5

In 6 Fällen wurde zwar eine Meldung eingereicht, aus der Fallmeldung war aber keine Gesundheitsstörung zu ersehen. In keinem Fall konnte ein Zusammenhang objektiviert werden. In der Mehrzahl der Fälle war ein Zusammenhang nicht zu bewerten. In etwa der Hälfte der Fälle wurde der Zusammenhang als möglich und in 11 Fällen als wahrscheinlich bewertet (Tabelle 4).

**Tabelle 4: Zusammenhangsbewertung (Exposition vs Symptomatik) nach den Kriterien des Bundesinstituts für Arzneimittel und Medizinprodukte (1996)**

Jahr	Objektiviert	wahrscheinlich	möglich	nicht zu beurteilen
2000	0	1	0	0
2001	0	1	4	0
2002	0	3	8	0
2003	0	1	4	0
2004	0	1	17	6
2005	0	2	5	41
2006	0	0	3	1
2007	0	1	11	1
2008	0	1	0	0
Summe	0	11	52	49

### 3.1.2.5 Systematische Untersuchung

Eine systematische Untersuchung von Personen, welche in Büoräumen arbeiten, wurde durch Mersch-Sundermann und Herr (Mersch-Sundermann, 2008) durchgeführt. Die Daten aus dieser Studie umfassen die Ergebnisse von Messungen der Luft in Büroräumen unter Ruhebedingung, unter definierten Druckerbetriebsbedingungen und unter normalen Arbeitsbedingungen sowie medizinische Befunde und Antworten auf Fragebögen. 69 Personen nahmen an der Studie teil. Ihnen wurden Fragebögen zur Erfassung anamnestischer Daten inklusive Unverträglichkeiten, Arbeitsplatzumgebung, Beschwerden, Persönlichkeit, somatoforme Störungen und Lebensqualität, vorgelegt. Neben einer allgemeinen körperlichen Untersuchung wurde eine spirometrische Lungenfunktionsprüfung durchgeführt, Stickstoffmonoxid in der Ausatemluft wurde gemessen und das Blut untersucht (Blutbild, C-reaktives Protein, IgE, RAST-Test gegen häufige Inhalationsallergene, Nahrungsmittelallergene und Schimmelpilze). Die Personen unterzogen sich einem Aufmerksamkeits-Belastungstest. Urin wurde über 24 Stunden gesammelt und daraus Cotinin (ein Metabolit des Nikotins zur Überprüfung der Aussagen zum Raucherstatus) sowie die Ausscheidung der Metalle Cadmium, Nickel und Chrom bestimmt.

69 Personen nahmen an der Untersuchung teil und wurden um folgende Angaben gebeten: „Bitte geben Sie an, in welchem Maße Sie von folgenden Beschwerden am Arbeitsplatz betroffen sind oder waren, in welchem Maße Sie die aufgeführten Beschwerden hatten und auf Tonergeräte (z.B. Laserdrucker, Kopierer) zurückführen“. 26 Personen hatten keine tonerbezogenen Beschwerden (bei allen Beschwerden Antwort gar nicht (0)), 36 berichteten von tonerbezogenen Beschwerden (bei mindestens einer Beschwerde Antwort kaum (1), mäßig (2) oder sehr (3)). 7 Personen beantworteten die Frage: „Sind Sie tonergeschädigt?“ mit ja und wurden als Personen mit selbstberichteter tonerbezogener Schädigung eingestuft. Die Einstufung als tonergeschädigt erfolgte unabhängig von der Angabe tonerbezogener Beschwerden.

Mit Ausnahme der Lungenfunktionsprüfung ergaben alle durchgeführten Untersuchungen verwertbare Angaben. Im Bereich Gesundheit gab ein größerer Anteil von Personen ärztlicherseits unerklärte körperliche Beschwerden an, als dies in einer von den Autoren aus der Literatur entnommenen Bezugsgruppe der Fall war. Die Untersuchung von C-reaktivem Protein brachte keinen Hinweis auf Entzündungsprozesse bei den untersuchten Teilnehmern. Das Stickoxid in der Ausatemluft erlaubte keine Unterscheidung zwischen den unterschiedlichen Gruppierungen innerhalb der Studienteilnehmer. Aufgrund der Untersuchung im RAST-Test fielen die Personen mit selbstberichteter Tonerschädigung nicht durch eine erhöhte Allergenisierungsrate auf.

Die Auswertung der Fragebögen ergab bei den Studienteilnehmern einen höheren Prozentsatz an Beschwerden, die unter dem Begriff Sick-Building-Syndrom (SBS) zusammengefasst werden (Schneider, 2003), als in einem finnischen und einem deutschen Vergleichskollektiv von Personen an Büroarbeitsplätzen. In den Untergruppen mit berichteten Tonerbeschwerden und Tonerschädigung bezogen die Studienteilnehmer typische Symptome eines Sick-Building-Syndroms auf eine Exposition gegenüber Tonern, während die Personen der Untergruppe ohne Tonerbeschwerden die gleichen Symptome auf den Arbeitsplatz bezogen. Die Urinausscheidung der erfassten Metalle Cadmium, Chrom und Nickel lag im Bereich (Chrom) bzw. unterhalb (Cadmium, Nickel) des Bereichs für Referenzwerte der Humanbiomonitoring-Kommission (Cadmium, Nickel) oder von Daten des Umweltsurveys von 1990/1992.

In einer Untergruppe von 11 Personen (15,9% der Gesamtgruppe von 69), die alle angaben, Atemnot am Arbeitsplatz zu haben, wurde eine ausführliche Lungenfunktionsanalyse, ein Methacholin-Provokationstest eingeschlossen, durchgeführt. Bei einer Person konnte eine Testung mit Methacholin aufgrund einer zentralen Obstruktion nicht durchgeführt werden. Zwei der Personen mit Atemnot am Arbeitsplatz wiesen ein eindeutig pathologisches Ergebnis mit Hinweis auf eine unspezifische Hyperreagibilität der Atemwege auf. Eine dieser Personen stand unter Medikation mit einem  $\beta$ -Blocker. Diese Gruppe von Medikamenten kann eine unspezifische Hyperreagibilität der Atemwege als unerwünschte Arzneimittelwirkung auslösen. Bei weiteren fünf Personen fanden sich weniger klare pathologische Werte, drei Personen wiesen keine Überschreitung des Normwertes bei der Methacholin-Stimulierung auf.

### 3.1.3 Exposition

Messungen der Exposition von Personen mit Emissionen aus Büromaschinen oder Messungen in Büroräumen liegen derzeit noch in beschränktem Umfang vor. Es werden allerdings insbesondere in Deutschland seit einigen Jahren regelhaft Messungen von Emissionen in Prüfkammern nach vorgegebenen Testmethoden (BAM, 2003), durchgeführt, um das Umweltkriterienzeichen „Blauer Engel“ (RAL, Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V.) zu erlangen.

#### 4.3.1 Emissionsmessungen:

Für den Erwerb des Umweltkriterienzeichens „Blauer Engel“ durch den RAL sind die in Tabelle 1 aufgeführten Parameter unter definierten Bedingungen zu messen, wie sie durch RAL festgelegt sind. Die dabei gemessenen Emissionen werden mittels einer speziellen Formel in Konzentrationen in einem Standardbüroraum umgerechnet (Jungnickel et al., 2003).

In wissenschaftlichen Untersuchungen wurden neben der Erfassung der Gesamtgehalte an flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC) auch weitere Einzelsubstanzen über Benzol und Styrol hinaus bestimmt wie Ethylbenzol, Trimethylbenzol, Toluol, Xylol, Phenol, Cyclohexan, Formaldehyd, Benzaldehyd, Acetophen, Ethylhexanol, o-Hydroxybiphenyl, 1-Methylethylbenzol, Butylhydroxytoluol und Heptan gemessen (Übersicht bei Gminski und Mersch-Sundermann, 2006 und Wilke et al., 2007). Aus gesundheitlicher Sicht sind besonders die hohen Emissionen von Benzol bemerkenswert, die insbesondere in den Arbeiten von Jann und Wilke (2006) sowie Wilke et al. (2007) beschrieben wurden und bis zu 100-fach über den RAL-Kriterien für Benzol lagen. Bei Umrechnung in Raumkonzentrationen werden mit 225 – 450  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Konzentrationen erreicht, die als gesundheitlich bedenklich anzusehen sind.



Im Zusammenhang mit der Diskussion um die chemische Zusammensetzung von Nanopartikeln, die in den letzten Jahren als Emissionen aus Druckern identifiziert wurden, ist der Nachweis von Siloxanen als Bestandteil der VOCs durch Wilke et al. (2007) interessant. Die Siloxane liegen in Form von Decamethylcyclopentasiloxan, Hexamethylcyclotrisiloxan und Octamethylcyclotetrasiloxan vor. In der Arbeit von Wilke et al. (2007) ist weiterhin bemerkenswert, dass die Mehrzahl der beim Druckprozess festgestellten VOCs auch in Druckbereitschaft nachweisbar ist. Gerätematerialien kommen deshalb als Quelle in Frage. Die beim Druckprozess zusätzlich in nennenswerten Konzentrationen auftretenden VOCs sind o-Hydroxybiphenyl, das aus Papier stammt, sowie Benzaldehyd und Ethylhexanol.

In der Untersuchung von verschiedenen Autoren spielt die Messung von Ozon, das wie unter 3.1.1 beschrieben, bei der elektrostatischen Aufladung zu Beginn des Druckprozesses entstehen kann, wegen der gesundheitlichen Bedeutung eine Rolle. Aktuelle Messungen von Jann und Wilke (2006) zeigen auf, dass bei 11 der untersuchten 27 Standgeräte erhebliche Emissionen oberhalb der durch RAL vorgegebenen Emissionsraten (siehe Tabelle 1) zu finden waren. Wegen der raschen Reaktivität von Ozon ist eine Exposition aber eher unwahrscheinlich.

Zur Emission von Stäuben liegen wenige Daten vor. In der Studie von Smola et al. (2002) lagen die Werte unterhalb der Erfassungsgrenze von  $0,6 \text{ mg/m}^3$ . Jann und Wilke sowie Wilke et al. (2007) geben Werte unterhalb von  $2 \text{ mg/h}$  an, woraus sich eine Raumkonzentration von  $0,09 \text{ mg/m}^3$  ( $90 \text{ }\mu\text{g}$ ) Staub ergibt.

Untersuchungen zur Freisetzung feiner und ultrafeiner Partikel bei Betrieb von Laserdruckern wurden von Bake und Moriske (2006) vorgelegt. Der Messbereich von  $0,1 - 10 \text{ }\mu\text{m}$  (feine Partikel) wurde mittels eines API Aerosizers und derjenige zwischen  $5$  und  $350 \text{ nm}$  ( $0,005$  und  $0,35 \text{ }\mu\text{m}$ ) (ultrafeine Partikel) mit Hilfe des Grimm SMPCS+C gemessen. Es wurden 7 Laserdrucker und 1 Tintenstrahldrucker untersucht. Die Untersuchung wurde für den Druck leerer Seiten sowie für bedruckte Seiten durchgeführt. Alleine durch das elektrische Anstellen der Geräte erhöhen sich die Emissionen von Feinstaub; eine weitere Erhöhung erfolgt durch das Durchziehen leerer Seiten durch den Drucker („Drucken leerer Seiten“); in einigen Druckern erhöht sich die Emission von Feinstaub durch das Drucken bedruckter Seiten („volle Seiten“). Der relative Anstieg der Partikelemissionen bei Drucken bedruckter Seiten lag im Vergleich zum Drucken leerer Seiten zwischen  $20$  und  $30\%$ . Da aber auch die relative Standardabweichung  $20$  bis  $30\%$  beträgt, führen die Autoren aus, dass sich bezüglich der Feinstaubemissionen keine signifikanten Erhöhungen beim Drucken bedruckter Seiten im Vergleich zum Drucken leerer Seiten ergeben. Für die Partikelgrößenverteilung der feinen Partikel wird von Bake und Moriske (2006) ein Maximum im Bereich von  $1 \text{ }\mu\text{m}$  angegeben. Im ultrafeinen Bereich, so berichten Bake und Moriske (2006) in ihrer Publikation, wird bei einigen der Drucker bereits bei Inbetriebnahme eine so hohe Emission hervorgerufen, dass die nachfolgenden Messungen keine zusätzliche Erhöhung erkennen lassen. Bei anderen Druckern erhöhte sich die Partikelzahl durch den Druckvorgang. Bei Partikelanzahlen zwischen  $10^9$  und  $10^{11}$  lag in einem Fall das Maximum der Partikelgrößen bei  $65 \text{ nm}$  (schwarzweiß Druck) bzw.  $130 \text{ nm}$  (Farbseiten). Die Autoren vermuten, dass der thermische Prozess ultrafeine Partikel generieren kann.

Ähnlich hohe Emissionen und Partikelgrößenverteilungen wurden auch von He et al. (2007) beschrieben, die die Freisetzung von ultrafeinen Partikeln in  $40\%$  der von ihnen untersuchten Drucker beschreiben. Aus ihren Ergebnissen folgerten sie, dass die Partikelemissionsrate eine Frage des Druckertyps sei und mit der Alterung der Tonerkartusche zu tun habe.

Bereits 2006 hatten Wensing et al. Daten mitgeteilt, die auf eine hohe Emission ultrafeiner Partikel im Bereich  $>7$  nm bis 100 nm schließen ließen. Auch in ihren Untersuchungen unterschieden sich Drucker ( $n=10$  untersuchte Drucker; davon 2 mit sehr geringen Emissionen) im Hinblick auf die Emission ultrafeiner Partikel erheblich. Die Autoren folgerten, dass Kondensationsprozesse von VOC/SVOC-Emissionen des Druckergerätes zur Tröpfchenbildung führen; die Tröpfchen würden dann im Partikelzähler als Partikel erfasst. Wensing et al. weisen darauf hin, dass es sein könnte, dass es sich bei den VOC um Siloxane handelt, die vom erhitzten Fuser freigesetzt worden sein könnten. In diesem Zusammenhang ist der Nachweis von Siloxanen durch Wilke et al. (2007) in der Fraktion der VOC interessant und könnte die Vermutung von Wensing et al. (2006) bestätigen. Uhde et al. (2006) fanden einen Zusammenhang zwischen der Bedeckung des bedruckten Papiers und der Emissionshöhe von Partikeln mit einem Spektrum zwischen 10 und 160 nm (Maximum bei schwarz-weiß Druck bei 100 nm). Unter weiterem Drucken nimmt die Anzahl der Partikel im Bereich zwischen 10 und 160 nm deutlich ab, was ebenfalls einen Hinweis darauf gibt, dass es sich hierbei nicht um Tonerpartikel oder Teile derselben handeln kann.

Im Bereich von Partikelgrößen  $>0,3$   $\mu\text{m}$  (typische Tonerpartikel haben eine Größe von 1-10 bzw. 15  $\mu\text{m}$ ) maßen Wensing et al. (2006) nur sehr geringe Partikelanzahlen von 0,79 bis 8,94 Partikeln/ $\text{cm}^3$ . Die geringe Partikelanzahl im Bereich von  $\text{PM}_{2,5}$  wird auch durch Untersuchungen von Uhde et al. (2006) bestätigt. Beide Autoren sind der Auffassung, dass daher Tonerpartikel keinen relevanten Beitrag zu den Emissionen aus Druckern liefern können und weisen auch auf die Partikelgrößenverteilung mit einem Maximum bei 1  $\mu\text{m}$  in der Arbeit von Bake und Moriske (2006) hin, die ebenfalls einen relevanten Beitrag von Tonerpartikeln unwahrscheinlich erscheinen lässt. In der Application Note PER-001 bei TSI, einem Hersteller von Messgeräten (Scanning Mobility Particle Sizer TM, SMPSTM und Aerodynamic Particle Size®), wird aufgezeigt, dass über 90% der Partikel kleiner als 50 nm im Durchmesser sind (TSI, 2008).

In Untersuchungen zur Staubcharakteristik (Wilke et al., 2007) konnten Partikel in der Größe von  $11,4 \times 12,7$   $\mu\text{m}$ ,  $6,43 \times 6,36$   $\mu\text{m}$  und  $2,61 \times 1,0$   $\mu\text{m}$  auf den eingesetzten Glasfaserfiltern nachgewiesen werden. Tonerpartikel, die auf die Filter gestreut wurden, wiesen Durchmesser in einem vergleichbaren Bereich zwischen 4,63 und 10,3  $\mu\text{m}$  auf. Auf bedrucktem Papier wiesen die Partikel Größen zwischen 95,8 und 424 nm auf, sind damit größer als die von TSI (2008) beschriebenen Partikel, die nach Druckauftrag emittiert werden. Dass es sich bei den Partikeln um Toner handelt, wurde durch Vergleich mittels energiedispersiver Röntgenspektroskopie (energy dispersive X-ray spectroscopy, EDX) von Toner auf Papier mit reinem Toner zu belegen versucht. Dabei ließ sich Eisen im Spektrum auf dem bedruckten Papier nachweisen. Bei anderen Elementen ist die Zuordnung (Papier oder Toner) weniger klar. Quantitative Aussagen zum Anteil möglicher Tonerpartikel an den Staubemissionen lassen sich aus den Befunden von Wilke et al. (2007) nicht ableiten, und insofern mögen ihre Befunde nicht unbedingt im Widerspruch zu den Messungen von Wensing et al. (2006), Uhde et al. (2006) und Application Note PER-001 (TSI, 2008) stehen.

**Zusammengefasst** ergeben sich aus Kammeruntersuchungen gravimetrisch erfassbare Staubemissionen, die in der Regel in einem Bereich liegen, der einer Staubkonzentration im Raum von  $90$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Staub entspricht. Über die Zusammensetzung des Staubs und seiner Partikelverteilung liegen erste Untersuchungen vor, die jedoch keine eindeutigen Rückschlüsse auf die Quellen zulassen. Untersuchungen aus den letzten beiden Jahren haben auf die Emission von ultrafeinen Partikeln beim Druckvorgang aufmerksam gemacht. Auch die Herkunft dieser Partikel ist bislang nicht geklärt; sie dürften jedoch eher nicht aus Tonerpartikeln bestehen bzw. entstehen.

Messungen in Büroräumen, also nicht unter den experimentellen Bedingungen einer Kammer, wurden bislang nicht in großem Umfang durchgeführt. Untersuchungen aus den USA und aus Taiwan in Kopierläden (Stefaniak et al., 2000; Lee et al., 2006) sind für die Arbeitsverhältnisse in Deutschland nicht zielführend. Ihre Ergebnisse sollen daher nicht weiter erörtert werden. Auch die 20 Jahre alte Studie von Hansen und Andersen (1986) soll wegen der heutigen Verhältnisse nicht mehr widerspiegelnden Bedingungen nicht betrachtet werden. In der Studie von Müller und Wrappler (2001) ergaben sich in Räumen mit Kopierern und einem Raum mit Drucker im Vergleich zu einem Raum ohne Bürogeräte geringere Staubmengen. Insofern lässt sich aus dieser Studie keine Schlussfolgerung zur Belastung durch Stäube durch den Betrieb von Büromaschinen ableiten.

Die Befunde aus der Studie von Mersch-Sundermann (2008) erbrachten in diesem Hinblick neue Ergebnisse. Mittels Partikelzähler im Bereich  $\geq 0,23$  bis  $\geq 20 \mu\text{m}$  wurden in 55 von 63 Büroräumen an vier verschiedenen Standorten Messungen vorgenommen. Wiewohl die Umrechnung von Partikeln in Gewicht mit einer Dichte von  $2,2 \text{ g/cm}^3$  nicht über jeden Zweifel erhaben ist, sind die Ergebnisse doch verwertbar. Die so bestimmten Staubmengen zeigten einen geringen Anstieg des Medianwertes von  $57 \mu\text{g/m}^3$  unter Ruhebedingungen in den Räumen auf  $68,4 \mu\text{g/m}^3$  unter Druckbedingungen, ohne gleichzeitige Anwesenheit von Personen in den Büroräumen. Bei Anwesenheit der Büromitarbeiter in den Räumen (sog. Arbeitsbedingungen) lag der Medianwert bei  $74,2 \mu\text{g/m}^3$ . Über die Zusammensetzung und die Herkunft des Staubs lassen sich aus den Untersuchungen keine Aussagen ableiten; es wurden jedoch orientierende Untersuchungen in der Rasterelektronenmikroskopie (REM) und Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) durchgeführt, die weiter unten im Text vorgestellt werden. Eine im BfR durchgeführte Auswertung der von Mersch-Sundermann (2008) zur Verfügung gestellten Rohdaten für die Staubfraktion zwischen 1 und  $10 \mu\text{m}$ , dem Bereich der Größe von Tonerpartikeln, ergab einen im Mittel geringfügigen Anstieg von 38 auf  $46 \mu\text{g/m}^3$ ; in 33 der 55 Räume gab es einen Anstieg und in 22 der Räume einen Abfall der Staubkonzentration (Tabelle 5). Insofern kann auch aus dieser Auswertung kein Rückschluss auf die Art und Herkunft der Partikel gezogen werden.

**Tabelle 5: Vergleich der Emissionen im Bereich 1 – 10  $\mu\text{m}$  (BfR-Auswertung von Rohdaten der Studie Mersch-Sundermann (2008))**

Standort (A-D) Raum-Nummer	Ruhebetrieb (RB) $\mu\text{g/m}^3$ gemittelter Wert über 1 min	Druckbetrieb (DB) $\mu\text{g/m}^3$ gemittelter Wert über 1 min	Arbeitsbetrieb $\mu\text{g/m}^3$ gemittelter Wert über 1 min	DB im Vergleich zu RB
A 1	83	77	62	Abfall
A 2	33	60	78	Anstieg
A 3	29	27	62	Abfall
A 4	44	54	80	Anstieg
A 5	45	49	76	Anstieg
A 6	28	38	59	Anstieg
A 7	21	32	58	Anstieg
A 8	13	20	42	Anstieg
A 9	46	56	76	Anstieg
A 10	5	30	37	Anstieg
A 11	26	25	31	Abfall
A 12	39	47	51	Anstieg
B 13	42	30	22	Abfall
B 14	41	24	65	Abfall
B 15	37	25	38	Abfall

B 16	37	28	45	Abfall
B 17	32	29	27	Abfall
B 18	24	17	17	Abfall
B 19	51	45	24	Abfall
B 20	42	58	71	Anstieg
B 21	73	58	66	Abfall
B 22	23	29	53	Anstieg
B 23	46	37	26	Abfall
B 24	37	56	64	Anstieg
B 25	22	27	32	Anstieg
B 26		58	44	Unvollständiger Datensatz
C 27	45	81		Anstieg Unvollständiger Datensatz
C 28	17	16	23	Abfall
C 29	48	91	59	Anstieg
C 30				Keine Daten vorhanden
C 31	43	60	20	Anstieg
C 32	68	87	55	Anstieg
C 33	22	41	31	Anstieg
C 34	25	64	75	Anstieg
C 35	40	61	62	Anstieg
C 36	70	69	58	Abfall
C 37	91	69	58	Abfall
D 38	41	44	30	Anstieg
D 39	27	25	41	Abfall
D 40				Keine Daten vorhanden
D 41				Keine Daten vorhanden
D 42	31	50	32	Anstieg
D 43	39	51	27	Anstieg
D 44	40	40	31	Abfall
D 45	58	68	138	Anstieg
D 46	27	41	37	Anstieg
D 47	25	45		Anstieg Datensatz unvollständig
D 48	37	36	26	Abfall
D 49	21	34		Anstieg Datensatz unvollständig
D 50				Keine Daten vorhanden
D 51				Keine Daten vorhanden
D 52				Keine Daten vorhanden
D 53	47	65	45	Anstieg
D 54	46	43	42	Abfall
D 55	12	33	20	Anstieg
D 56	43	38	39	Abfall
D 57				Keine Daten

				vorhanden
D 58	42	38	39	Abfall
D 59	49	63	16	Anstieg
D 60	36	66	35	Anstieg
D 61	41	31	28	Abfall
D 62	34	55	55	Anstieg
D 63	47	48	40	Anstieg
Mittelwert	38	46	47	
Standardabweichung	17	18	22	

In 31 der 63 Räume wurden zusätzlich Messungen zur Erfassung von Partikeln mit einem aerodynamischen Durchmesser von 0,01 bis 1  $\mu\text{m}$  (10 – 1000 nm) durchgeführt. Es ergaben sich im Median 6 503 Partikel/ $\text{cm}^3$  unter Ruhebedingungen, 18 060 Partikel/ $\text{cm}^3$  unter Druckbedingungen und 15 539 Partikel/ $\text{cm}^3$  unter Arbeitsbedingungen. Wegen der hohen Standardabweichung der Mittelwerte waren die Unterschiede nicht signifikant. In einigen Fällen steigt die Partikelzahl im Bereich zwischen 10 und 1000 nm nach Initiierung eines Druckauftrags um einen Faktor von 4-6 an, um dann unter fortlaufendem Druck von bedrucktem Papier wieder zum Ausgangswert zurückzukehren. Ähnliche Befunde sind auch von He et al. (2007) aus Büroräumen mitgeteilt worden und entsprechen den Befunden von Bake und Moriske (2006), Wensing et al. (2006) sowie Uhde et al. (2006) in Kammerversuchen. In wissenschaftlichen Diskussionen wurde für dieses Phänomen der Begriff „initial burst“ geprägt.

Zur Natur des Staubes wurden in der Studie von Mersch-Sundermann (2008) einige wenige zusätzliche Untersuchungen mittels REM, TEM und EDX-Flächenspektren durchgeführt. Aus dem Nachweis von Eisen kann der Rückschluss gezogen werden, dass sich auf den Filtern auch Tonermaterial befunden haben muss. Auffällig ist, dass mit dieser Methode nur sehr geringe Partikelzahlen ermittelt wurden und dass sich die mit dieser Methode ermittelten Teilchenzahlen von den mittels Kondensationspartikelzähler ermittelten Teilchenzahlen um den Faktor 10 bis 100 unterschieden, wobei höhere Messwerte im Kondensationspartikelzähler gemessen wurden. Die Differenz lässt nach Ansicht von Mersch-Sundermann (2008) die Vermutung zu, dass über die Kondensationspartikelzählung primär keine Partikel, sondern flüchtige Agglomerate, z.B. aus flüchtigen organischen Verbindungen, die eventuell nur temporär gebildet werden, erfasst wurden.

**Zusammengefasst** ergeben sich aus Untersuchungen in Büroräumen Staubemissionen, die in einem Bereich von 60 bis 80  $\mu\text{g}$  Staub/ $\text{m}^3$  Luft liegen. Über die Zusammensetzung des Staubs und seiner Partikelverteilung liegen erste Untersuchungen vor, die jedoch nicht eindeutig auf die Quellen schließen lassen. Eine begrenzte Anzahl von Studien hat gefunden, dass Emissionen von ultrafeinen Partikeln (im Bereich zwischen 5 und 1000 nm) beim Druckvorgang vorkommen. Die Herkunft dieser Partikel ist bislang ebenfalls nicht geklärt; sie dürften jedoch eher nicht aus Tonerpartikel bestehen bzw. entstehen.

Auffällig ist die hohe Variabilität der Messergebnisse je nach untersuchtem Drucker innerhalb eines Labors (He et al., 2007); ob Papiersorte, Trocknungsgrad und Herkunft des Toners/der Tonerkartusche eine Rolle spielen könnte, wurde ansatzweise untersucht, ohne dass sich ein abschließendes Bild ergäbe. Die Ergebnisse unterschiedlicher Labors lassen sich nur schwer miteinander vergleichen.

Damit bleiben Fragen zur physikalischen und chemischen Charakterisierung des Staubs und seiner Fraktionen sowie der Staubquellen beim Druckvorgang offen.

### 3.1.4 Risikocharakterisierung

Zu der Problematik der gesundheitlichen Beschwerden nach Emissionen durch Büromaschinen tragen die Ergebnisse der epidemiologischen Studie von Rybicki et al. (2006) nicht weiter bei. Sie sind darüber hinaus in der Studie von Nakadate et al. (2006) nicht repliziert worden. Im Übrigen wurde das Krankheitsbild nicht histopathologisch bestätigt, eine Forderung, die von einigen Autoren aufgestellt wird (Iannuzzi et al., 2007).

Wesentliche Erkenntnisse sind aus der systematischen Untersuchung von Mersch-Sundermann (2008) und der Fallsammlung des BfR abzuleiten. Danach handelt es sich um nicht schwerwiegende Gesundheitsstörungen, die kein neues Beschwerdebild darstellen. Das Beschwerdemuster entspricht vielmehr dem des bereits länger beschriebenen Sick-Building-Syndroms (Bischof und Wiesmüller, 2007; Schneider, 2003; Seppänen und Fish, 2002). Ob die angegebenen Störungen des gesundheitlichen Befindens mit Emissionen aus Büromaschinen in kausalem Zusammenhang stehen, lässt sich aus den vorliegenden Daten nicht abschließend beantworten. Das Sick-Building-Syndrom ist seit Mitte der 70er Jahre, als noch keine Laserdrucker und nur vereinzelt Kopiermaschinen existierten, bei Personen, die in Büroräumen arbeiten, beschrieben worden. Ohne dass eine kausale Zuordnung vorgenommen werden konnte, sind eine Reihe von Faktoren als mit diesem Syndrom in Zusammenhang stehend diskutiert worden (Übersicht: siehe Bischof und Wiesmüller, 2007). Welche Rolle mögliche Geruchsbelästigungen jenseits gesundheitlicher Schädigungen spielen, wurde von Wolkoff et al. (2006) ausführlich beschrieben.

Der Nachweis einer unspezifischen bronchialen Hyperreaktivität in der Studienpopulation von Mersch-Sundermann (2008) erlaubt keine Rückschlüsse auf den Auslöser. In einer europäischen Studie lag der Prozentsatz der bronchialen Hyperreaktivität zwischen 3,4 und 27,9 % (Heinrich et al., 2002). In der Schweizer SAPALDIA-Kohortenstudie (Swiss Study on Air Pollution and Lung Diseases in Adults), die an Personen zwischen 18 und 60 Jahren durchgeführt wurde, lag die Prävalenz bei 17% (Brutsche et al., 2006). Darüber hinaus fällt der hohe Anteil von ehemaligen Rauchern in der untersuchten Gruppe der Studienpopulation von Mersch-Sundermann (2008) auf und weist auf ein mögliches verursachendes Agens hin, das als Auslöser interpretiert werden kann. Rauchen ist mit bronchialer Hyperreaktivität assoziiert, und in einer Reihe von Studien bildeten sich die Veränderungen nach Rauchabstinienz nicht zurück (Burney et al., 1987; Woolcock et al., 1987; Chinn et al., 2005, Buzko et al., 1984; Israel et al., 1984; Simonsson et al., 1982).

Aus den dem Bundesinstitut für Risikobewertung vorliegenden 113 Fällen, die nach §16e ChemG gemeldet wurden, zieht das Institut den Schluss, dass in einem Teil der Fälle ein Zusammenhang „möglich“ scheint und in wenigen Fällen „wahrscheinlich“. Letzteres bedeutet, dass eine Exposition vorhanden war und dass das Auftreten von Symptomen im Zusammenhang mit der Exposition berichtet wurde. Allerdings ist der Schweregrad der dem BfR mitgeteilten Gesundheitsstörungen in keinem Fall als schwerwiegend eingestuft worden. Zwei Drittel der Fälle wiesen leichtgradige, ein Drittel mittelgradige gesundheitliche Beeinträchtigungen auf.

Andere Autoren, denen diese Daten allerdings nicht zugänglich waren, haben aus den ihnen vorliegenden Berichten von Einzelfällen keinen überzeugenden Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber Emissionen aus Büromaschinen und gesundheitlichen Beschwerden erkennen können (Ewers und Nowack, 2006a, 2006b)

Angaben zur Häufigkeit des Auftretens einer gesundheitlichen Beeinträchtigung bei Exponierten gegenüber Emissionen aus Büromaschinen sind in der Literatur nicht veröffentlicht. Eine orientierende Schätzung kann aber anhand der vorliegenden Fallsammlungszahlen erfolgen. Hierfür wird die Fallsammlung der Interessensgemeinschaft Toner geschädigter e.V., welche die größte Anzahl von Fällen enthält, herangezogen. Sie umfasst aktuell 1800 Fälle (Internetrecherche des BfR vom 25. März 2008 unter [www.krank-durch-toner.de/](http://www.krank-durch-toner.de/)). Aus der Antwort auf eine Bundestagsanfrage zu der Problematik „Emissionen durch Drucker und Gesundheitsstörungen“ vom Ende 2006 sind Verkaufszahlen von Druckern in Deutschland bekannt (Deutscher Bundestag, 2007). Die Industrie gibt darin an, dass in den Jahren 2005 und 2006 je rund 8 Millionen Drucker verkauft wurden. Nimmt man eine/n Exponierte/n pro Drucker an und nimmt man an, dass ein Ersatz von Druckern frühestens nach zwei Jahren erfolgt, so ergibt sich als untere Grenze für die Exponierten in Deutschland eine Zahl von 16 Millionen Personen. Legt man diese Zahlen zugrunde, resultiert eine orientierende Schätzung der Prävalenz von 1,1 Verdachtsfällen auf 10.000 Exponierte. Diese orientierende Schätzung wird stark durch Annahmen bestimmt, gibt aber einen Rahmen für die Größenordnung. Auch eine spezifische, bei Behörden in Europa und über eine Fachgesellschaft weltweit durchgeführte Abfrage lieferte keinen Anhalt dafür, dass anderswo Erkenntnisse vorliegen, nach denen gesundheitliche Störungen in höherer Häufigkeit auftreten (Deutscher Bundestag, 2007).

Flüchtige organische Verbindungen wurden in Kammerversuchen wie auch in Büroräumen nachgewiesen. Ergebnisse aus Kammermessungen mit einer größeren Anzahl von Geräten wurden von Jann und Wilke (2006) vorgestellt; weitere Untersuchungsergebnisse finden sich in dem Bericht von Wilke et al. (2007). Wilke et al. (2007) weisen darauf hin, dass sich VOCs auch in Druckbereitschaft nachweisen lassen und folgern daraus, dass neben Papier und Toner material auch Emissionen aus Gerätebauteilen eine Rolle spielen. Aus einer nicht geringen Zahl der von der Bundesanstalt für Materialprüfung untersuchten Geräte sind gesundheitlich bedenkliche Konzentrationen von Benzol beim Druck emittiert worden. Bei Umrechnung auf einen Standardraum ergibt sich ein Benzolgehalt, der deutlich über dem liegt, der in der Innenraumluft im Rahmen des repräsentativen Kinder-Umwelt-Surveys (KUS) des Umweltbundesamtes gemessen wurde (Umweltbundesamt, 2008). Bei der Untersuchung von Standgeräten traten Ozonemissionen in erheblichem Umfang auf (Wilke et al., 2007). Im Vergleich zu dem Untersuchungsumfang bei Wilke et al. (2007) sind die von anderen Autoren untersuchten Gerätezahlen eher gering und die Ergebnisse möglicherweise auch nicht mehr aktuell (z.B. Smola et al., 2002; Nies et al. 2000). Aber auch Jungnickel et al. (2006) haben eine große Zahl von Büromaschinen untersucht und die Bedeutung von Benzol dabei herausgestellt.

Ältere Untersuchungen sollen nicht in die Betrachtung einbezogen werden, da sie möglicherweise nicht mehr den aktuellen Stand der Technik wiedergeben.

Als Qualitätsmerkmal für Geräte mit Druck-/Kopierfunktionen wurden seit 1996 Umweltkriterienzeichen eingeführt. Die neuesten Vergabekriterien für den sog. „Blauen Engel“ durch den RAL (Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V.) sehen eine definierte Begrenzung der zulässigen Emissionsraten, insbesondere des Benzols vor (siehe Tabelle 1) (RAL-ZU 122, Ausgabe Juni 2006). Es ist nicht zu erwarten, dass diese Emissionen nennenswerte gesundheitliche Probleme hervorrufen, wiewohl für Benzol keine sichere Konzentration angegeben werden kann (Risk Assessment Report der EU, 2008).

Die Ergebnisse der Messungen von VOC-Konzentrationen in Büroräumen lassen aus der Studie Mersch-Sundermann (2008) erkennen, dass keines der VOC bedenkliche Konzentrationen erreicht und dass keine Ozonkonzentrationen, die gesundheitlich bedenklich wären,

auftraten. Wenn auch in einzelnen Fällen ein Anstieg von Benzol und Styrol in der Druckphase gemessen wurde, erreichen diese Konzentrationen niemals bedenkliche Höhen.

Die Messung von Staub ist in den Vergabekriterien für das Umweltkennzeichen „Blauer Engel“ mit geregelt (siehe Tabelle 1). Die Messung, gravimetrisch durchgeführt, lässt nicht erkennen, aus welcher Quelle der Staub kommt und welche Zusammensetzung er aufweist. Neuere Untersuchungen in Expositionskammern zu der Partikelzusammensetzung, einschließlich der ultrafeinen Partikel wurden vorgelegt (Bake und Moriske, 2006; He et al., 2007; Jann und Wilke, 2006; Uhde et al., 2006; Wensing et al., 2006; Wilke et al., 2007). Messungen in Büroräumen haben diese Untersuchungen bestätigt und Befunde unter realistischen Bedingungen geliefert (Mersch-Sundermann, 2008).

Messungen des Gesamtstaubs, gravimetrisch durchgeführt an einer Zahl von 30 unterschiedlichen Tischgeräten und 27 Standgeräten, ergaben geringe Mengen unterhalb von 2 mg/h, was bei Umrechnung einer Raumkonzentration von  $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$  entsprechen würde (Jann und Wilke, 2006). Gravimetrische Bestimmungen des Staubs wurden in der Studie von Mersch-Sundermann (2008) nicht durchgeführt.

Die in der Studie Mersch-Sundermann (2008) gemessenen Konzentrationen an Partikeln mit aerodynamischem Durchmesser von  $\geq 0,23$  bis  $\geq 20 \mu\text{m}$  waren vergleichbar mit den Messwerten anderer Untersucher. Link et al. (2004) fanden in Schulen mediane  $\text{PM}_{2,5}$ -Gehalte bei  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und ultrafeine Partikelkonzentrationen mit Maximalwerten von bis zu  $287.000$  Partikeln/ $\text{cm}^3$ ; in der Studie von Fromme fanden sich in bayrischen Schulen im Median  $5660$  Partikel/ $\text{cm}^3$  (Größe:  $10\text{-}500 \text{ nm}$ ) (Fromme et al., 2006; 2007). Eine ausführliche Darstellung findet sich im Bericht für die Länder-Arbeitsgruppe „Umweltbezogener Gesundheitsschutz“ (Fromme et al., 2007).

Die DFG hat angenommen, dass ein Effekt auf das Bronchialsystem ab  $4\text{-}6 \text{ mg}/\text{m}^3$  zu erwarten ist und hat einen Wert von  $1,5 \text{ mg}/\text{m}^3$  als maximale Arbeitsplatzkonzentration für eine Feinstaubfraktion mit einer Staubbichte von  $1$  bis  $2 \text{ g}/\text{cm}^3$  vorgeschlagen (DFG 1997).

In einer Übersicht hat Englert (2004) den Kenntnisstand zu gesundheitlichen Auswirkungen von Partikelemissionen dargestellt. Zwischenzeitlich sind jedoch eine Reihe epidemiologischer Studien veröffentlicht worden, die zusammengefasst den Zusammenhang zwischen Partikeln in der Außenluft ( $\text{PM}_{2,5}$  bzw.  $\text{PM}_{10}$ ) und kardiovaskulären Erkrankungen eindeutig beschreiben (Diez Roux et al., 2008; Gehring et al., 2006; Hoek et al., 2002; Hoffmann et al., 2007; Laden et al., 2000; Miller et al., 2007; Peters et al., 2004; Pope et al., 2006), so dass davon ausgegangen werden kann, dass eine Erhöhung der Exposition gegenüber  $\text{PM}_{2,5}$  und  $\text{PM}_{10}$  mit einem erhöhten Risiko an kardiovaskulären Ereignissen einhergeht. Als Mechanismus ist die Entstehung einer Atherosklerose (Diez Roux et al., 2008; Hoffmann et al., 2007) auf dem Boden entzündlicher Veränderungen (Inoue et al., 2006; Pope et al., 2001; Pope et al., 2004; Scapellato und Lotti, 2007) wahrscheinlich. Dass die in verschiedenen Studien in der Außenluft gemessenen Partikel oder auch die experimentell verwendeten Nanopartikel/Carbonnanotubes (Inoue et al., 2006) mit den Partikeln in Innenräumen vergleichbar sind, wird bezweifelt (Cyrus et al., 2004). Somit lassen sich die in den epidemiologischen Studien ermittelten Befunde nicht auf die Situation in Innenräumen anwenden.

Es bleibt festzuhalten, dass die Datenlage zur physikalischen und chemischen Beschaffenheit der Partikel bislang nicht aufgeklärt ist. Eine Aussage zur gesundheitlichen Bedeutung im Sinne einer Risikobewertung ermöglichen die in der Studie von Mersch-Sundermann (2008) vorgelegten Gewichts- und Partikelanzahlmessungen daher nicht. Bislang ist auch nicht aufgeklärt, aus welcher Quelle/aus welchen Quellen diese Feinpartikel stammen.



Eine begrenzte Anzahl von Studien hat gefunden, dass Emissionen von ultrafeinen Partikeln (im Bereich zwischen 5 und 1000 nm) beim Druckvorgang vorkommen. Die Herkunft dieser Partikel ist bislang nicht geklärt; sie dürften jedoch eher nicht aus Tonerpartikel bestehen bzw. entstehen. Im Studienbericht von Mersch-Sundermann (2008) wird über raster- und transmissionselektronenmikroskopische Befunde an wenigen Proben berichtet. Danach wird anhand ähnlicher Spektren davon ausgegangen, dass einige der Nano-Partikel als Freisetzung aus Tonermaterial aufgefasst werden können. Jedoch ist anzumerken, dass es sich hierbei um eine sehr geringe Anzahl von Partikeln handelt. Die Mehrzahl der Partikel im Spektrum 10 – 1000 nm, nämlich zwischen 90 und 99%, werden elektronenmikroskopisch nicht erfasst. Auch dieser Befund lässt vermuten, dass es sich um flüchtiges Material handelt, das primär nicht-substanzielle Partikel darstellt, sondern flüchtige Agglomerate (Mersch-Sundermann, 2008, siehe auch Wensing et al., 2006; Wilke et al., 2007).

Auffällig ist die hohe Variabilität der Messergebnisse je nach untersuchtem Drucker innerhalb eines Labors (He et al., 2007). Ob Papiersorte, Trocknungsgrad und Herkunft des Toners/der Tonerkartusche eine Rolle spielen können, wurde ansatzweise untersucht, ohne dass sich ein abschließendes Bild ergäbe. Die Ergebnisse unterschiedlicher Labors lassen sich nur schwer miteinander vergleichen.

Eine gesundheitliche Bewertung dieser ultrafeinen Partikel kann nicht erfolgen, da bislang weder die physikalische Beschaffenheit noch die chemische Zusammensetzung geklärt sind.

### **3.2 Handlungsrahmen/Maßnahmen**

Aufgrund der vorliegenden Befunde zur gesundheitlichen Beeinträchtigung von Exponierten kann nicht ausgeschlossen werden, dass es durch die Exposition gegenüber Emissionen aus Büromaschinen zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen kommen kann. Ein klarer Zusammenhang kann aber nicht hergestellt werden, da die Datenlage hierfür nicht ausreicht. Die gesundheitlichen Beeinträchtigungen in den dokumentierten Fällen sind nicht schwerwiegend. Eine orientierende Schätzung der Prävalenz ergibt 1,1 Verdachtsfälle auf 10.000 Exponierte.

Risikomindernde Maßnahmen könnten darin bestehen, die vorhandene Exposition zu vermindern. Filter, welche die Emissionen von Partikeln reduzieren, werden seit einiger Zeit auf dem Markt angeboten. Aus der vorliegenden Information zur Emissionsminderung geht allerdings hervor, dass der Effekt zumindest bei einem untersuchten Filter eher gering war (Wensing et al., 2008). Bislang ist auch völlig ungeklärt, welche der Komponenten der Emission eine mögliche ungünstige Wirkung haben könnte. Die derzeitige Sach- und Datenlage ermöglicht es nicht, eine Risiko mindernde Maßnahme vorzuschlagen, die sich auf eine Risikobewertung stützt.

Individualpräventive Maßnahmen hat die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) empfohlen und bekannt gemacht (BAuA, 2006). Das Bundesinstitut für Risikobewertung weist auf seiner Webseite ebenfalls auf diese Empfehlung hin.

Die Kriterien zur Vergabe des Umweltzeichens „Blauer Engel“ setzen einen bestimmten Standard für eine geringe Emission an VOCs, insbesondere von Benzol. Die Höhe der gravimetrisch erfassbaren Staubemissionen wird ebenfalls auf ein niedriges Maß reduziert. Daher wird empfohlen, dass Büromaschinen diesen Standard einhalten sollten. Offensichtlich ist dies einer großen Anzahl von Herstellern möglich.

Beide Empfehlungen können als Anwendung von „best practice“ im Sinne eines technisch machbaren Standards angesehen werden.

Wegen der bestehenden Erkenntnislücken sind aus Sicht des Bundesinstituts für Risikobewertung weitere Studien erforderlich, um das gesundheitliche Risiko durch Emissionen aus Büromaschinen besser einschätzen zu können. Diese Empfehlung wird auch in der Studie ausgesprochen, die das BfR in Auftrag gegeben und finanziell unterstützt hat (Mersch-Sundermann, 2008). Die von Mersch-Sundermann (2008) im Abschlussbericht vorgeschlagenen Studien gewichtet das BfR im Hinblick auf Prioritäten bei der Durchführung wie folgt:

### 3.2.1 Beschaffenheit der feinen und ultrafeinen Partikel

Studien, die zum Ziel haben, die physikalische und chemische Identität der gemessenen Partikel aufzuklären, sind aus Sicht des Bundesinstituts für Risikobewertung wesentlich, um aus ihren Ergebnissen die Planung von Studien zu Wirkungen sinnvoll zu ermöglichen. Diese Studien sollten mit hoher Priorität durchgeführt werden. Diese Empfehlung steht im Einklang mit den Schlussfolgerungen, welche die Autoren aus der noch unveröffentlichten Studie der Bundesanstalt für Materialprüfung ziehen (Wilke et al., 2007).

### 3.2.2 Kontrollierte humane Exposition

Eine Studie mit kontrollierter humaner Exposition durchzuführen, bevor physikalische und chemische Identität der gemessenen Partikel aufgeklärt sind, scheint nicht sinnvoll, da sie nicht planbar ist. Eine solche Studie sollte erst dann durchgeführt werden, wenn die entsprechenden Daten vorliegen, um sowohl eine realitätsnahe Exposition zu simulieren als auch die entsprechenden klinischen Endpunkte an den vorliegenden Daten zu orientieren.

### 3.2.3 Zellbiologische Effektparameter und Wirkung der feinen und ultrafeinen Partikel in in-vitro-Versuchen:

Im Hinblick auf die Durchführung derartiger Untersuchungen ist in jüngster Zeit, insbesondere in der Diskussion um die sachgerechte Ermittlung von Effekten von Nanopartikeln, erhebliche Skepsis geäußert worden. Es wird in Frage gestellt, ob sich die Ergebnisse entsprechender Untersuchungen auf die Situation beim Menschen übertragen lassen.

### 3.2.4 Kasuistikstudie:

Die vorgeschlagene Kasuistikstudie beinhaltet eine umfassende Untersuchung jeder einzelnen und jedes einzelnen Betroffenen, die/der sich als Fall bei der Interessengemeinschaft der Tonergeschädigten e.V. gemeldet hat. Ein vorheriger Versuchsplan mit Standardisierung der Untersuchungen sowie einer vorab festgelegten Zusammenhangsbewertung ist erforderlich. Bei 1800 Fällen ist der Standardisierungs- und Untersuchungsaufwand erheblich. Um eine Zusammenhangsbewertung zu ermöglichen, muss auch eine Verifizierung der Exposition durchgeführt werden. Eine solche Kasuistikstudie bietet aufgrund ihrer Anlage keine Möglichkeit, eine Prävalenzschätzung vorzunehmen und ist daher als Grundlage für Maßnahmen wenig geeignet.

### 3.2.5 Epidemiologie:

Eine umfassende epidemiologische Studie ist theoretisch geeignet, mögliche Einflüsse von Emissionen aus Büromaschinen, insbesondere von Laserdruckern, zu erfassen. Praktisch wirft eine solche Studie erhebliche logistische und finanzielle Probleme auf.

### 3.2.5.1 Endpunkt gesundheitliche Beeinträchtigungen

Wie bereits ausgeführt gehen Experten für die am häufigsten angegebenen gesundheitlichen Beeinträchtigungen, welche sich in Beschwerden der oberen Atemwege sowie in Müdigkeit, Kopfschmerz und anderen, in medizinischer Terminologie als unspezifisch anzusehenden Beschwerden äußerten, von einer Prävalenz zwischen 1 und 10% in der Allgemeinbevölkerung aus. Aus der Antwort auf eine Bundestagsanfrage zu der Problematik „Emissionen durch Drucker und Gesundheitsstörungen“ vom Ende 2006 sind Verkaufszahlen von Druckern in Deutschland bekannt. Die Industrie gibt an, dass in den Jahren 2005 und 2006 je rund 8 Millionen Drucker und Multifunktionsgeräte verkauft wurden (Bundestagsdrucksache 16/3919). Unter der plausiblen Annahme, dass Drucker und Multifunktionsgeräte nicht eher als alle zwei Jahre erneuert werden, bedeutet dies, dass in Deutschland mindestens 16 Millionen solcher Geräte benutzt werden. Nimmt man lediglich eine/n Exponierte/n pro Drucker an, so ergibt sich als untere Grenze für die Anzahl der Exponierten in Deutschland die Zahl 16 Millionen. Dieser Zahl stehen 1800 Fälle nach der Statistik der Interessengemeinschaft Tonergeschädigter (Internetabfrage: [www.krank-durch-toner.de/](http://www.krank-durch-toner.de/) vom 25.03.2008) gegenüber. Daraus resultiert eine Prävalenz von 1,1 Verdachtsfällen auf 10.000 Exponierte. Bei Annahme einer Prävalenz von 1% unspezifischer Beschwerden in der Allgemeinbevölkerung und der durch die Veröffentlichung von Stelling (2006) gestützten Annahme, dass alle beim ITG e.V. vorliegenden Fälle ebenfalls sick-building-syndrom-Beschwerden aufweisen, bestünde in der Gruppe der Exponierten eine im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung um 1,1 Fälle auf 10.000 Exponierte höhere Prävalenz. Damit müssten 11 Millionen Personen in die Studie einbezogen werden, um eine angemessene Power (Macht) der Studie zu garantieren.

### 3.2.5.2 Endpunkt unspezifische Hyperreagibilität der Atemwege

Im Hinblick auf die unspezifische Hyperreagibilität der Atemwege wird die Prävalenz aus der von Mersch-Sundermann vorgelegten Studie nicht als hoch eingeschätzt, da bei Rückrechnung der Prävalenz auf die gesamte untersuchte Gruppe von 69 Personen der Prozentsatz bei Einbeziehung auch derjenigen mit grenzgradigem Befund mit 7 von 69 = 10% berechnet wird. Im Vergleich zur europäischen Allgemeinbevölkerung, in welcher eine Prävalenz für die unspezifische Hyperreagibilität der Atemwege von 3,4 bis 27,9 % (Heinrich et al., 2002) gefunden wurde, wären jeweils 2000 bis 5000 Exponierte und Nicht-Exponierte zu untersuchen, um eine erhöhte Prävalenz bei Exponierten gegenüber Emissionen von Büromaschinen nachzuweisen.

### 3.2.5.3 Endpunkt Herz-Kreislaufkrankungen

Im Hinblick auf einen möglichen Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber Feinstaub und Herz-Kreislaufkrankungen sind bisher ausschließlich Studien mit Messungen der Feinstaubbelastung in der Außenluft veröffentlicht worden. Da der Aufenthalt in Büroräumen lediglich einen Teil des Tages ausmacht und die Luft in Innenräumen bei üblicher Lüftung auch durch die Außenluft bestimmt wird, können hierfür keine Abschätzungen über erforderliche Fallzahlen vorgenommen werden. Die Umfänge publizierter Studien mit dem Nachweis eines Effektes für Feinstäube in der Außenluft liegen bei einer nicht kardiovaskulär vorerkrankten Bevölkerung bei 5172 Personen (Diez Roux et al., 2008), 12.865 Personen (Pope et al., 2006) und 65.893 Personen (Miller et al., 2007).

### 3.2.5.4 Endpunkt Abfall der Variabilität der Herzfrequenz:

Eine Studie an Patienten mit chronischer Herzinsuffizienz (Nolan et al., 1998) zeigte, dass der Abfall der Variabilität der Herzfrequenz, ab einem bestimmten Ausmaß mit einer erhöhten Mortalität an Herz-Kreislaufkrankungen einhergeht. Dieser Parameter wurde deshalb als möglicher Prädiktor bei vorerkrankten Patienten bestätigt. In der Studie von Pope et al. (2004) an 88 Nichtrauchern im Alter zwischen 54 und 89 Jahren war ein kurzfristiger Anstieg

der Feinstaubbelastung von etwa  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$   $\text{PM}_{2,5}$  mit einem ähnlich hohen Abfall der Variabilität assoziiert, wie sie bei der Patientengruppe mit Herzinsuffizienz gefunden wurde (Nolan et al., 1998). Pope et al. (2004) kommentieren diesen Befund wie folgt „but it is unknown how these acute declines in HRV may reflect increased risk for adverse cardiovascular events“ (aber es ist nicht bekannt, in welcher Weise diese kurzfristigen Abfälle der Herzfrequenzvariabilität ein erhöhtes Risiko für Herz-Kreislaufereignisse widerspiegeln). In der von Mersch-Sundermann vorgelegten Studie stieg die Menge des  $\text{PM}_{2,5}$ -Feinstaubes in den Büroräumen von etwa  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  unter Ruhebetrieb um etwa  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bei Druckbetrieb und etwa  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bei Arbeitsbetrieb an. Insofern besteht ein Unterschied von einem Faktor 10 in dem Anstieg der  $\text{PM}_{2,5}$ -Feinstaubmenge in der Studie, in welcher ein Effekt, noch dazu mit unbekannter Relevanz für Herz-Kreislaufereignisse, gefunden wurde (Pope et al., 2004) und dem Anstieg, der in der von Mersch-Sundermann vorgelegten Studie gemessen wurde. Aus diesem Grunde erscheint es wenig aussichtsreich, in einer Studie mit realistischen Expositionsbedingungen durch Druckbetrieb überhaupt Effekte messen zu können. Zusätzlich ist die Bedeutung eines solchen Befundes bei arbeitsfähigen Büromitarbeitern ohne chronische Herzschwäche ungeklärt.

Es erscheint insofern wenig sinnvoll, eine solche Studie durchzuführen.

### Zusammenfassung der Handlungsempfehlung

Es wird empfohlen, dass Geräte den Standard des Umweltzeichens „Blauer Engel“ einhalten. Ferner wird auf die Empfehlungen der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin zum Umgang, inklusive Wartung von Druckern sowie zur Anschaffung neuer Geräte, zu der nachträglichen Ausrüstung vorhandener Geräte und zu den Anforderungen an den Aufstellort hingewiesen.

Es sind zusätzlich Untersuchungen erforderlich, um das mögliche bevölkerungsbezogene gesundheitliche Risiko von Emissionen aus Büromaschinen abzuklären und gezielt Risiko mindernde Maßnahmen empfehlen zu können. Die durch Mersch-Sundermann (2008) vorgeschlagenen Studien sind nicht alle geeignet, dieses Ziel zu erreichen. Im Hinblick auf die Studiendurchführung werden folgende Empfehlungen gegeben.

1. Studien, die zum Ziel haben, die physikalische und chemische Identität der gemessenen Partikel aufzuklären, sind aus Sicht des Bundesinstituts für Risikobewertung wesentlich, um aus ihren Ergebnissen die Planung von Studien zu Wirkungen sinnvoll zu ermöglichen. Diese Studien sollten mit hoher Priorität durchgeführt werden.
2. Eine Studie mit kontrollierter humaner Exposition durchzuführen, bevor physikalische und chemische Identität der gemessenen Partikel aufgeklärt sind, wird als nicht sinnvoll eingeschätzt, weil sie nicht sinnvoll planbar ist. Eine solche Studie sollte erst dann durchgeführt werden, wenn die entsprechenden Daten vorliegen, um die Planung der Expositionsstudie hinsichtlich der Expositionsatmosphäre und klinischer Endpunkte an den vorliegenden Daten orientieren sowie ggf. zu treffende Risikominderungsmaßnahmen gezielt planen zu können.
3. Eine umfassende epidemiologische Studie ist theoretisch eine geeignete Studienform, um mögliche Einflüsse von Emissionen aus Büromaschinen, insbesondere Laserdruckern, zu erfassen. Aus Praktikabilitäts- und inhaltlichen Gründen ist ausschließlich eine Studie mit dem Endpunkt „unspezifische Hyperreagibilität der Atemwege“ diskutabel. Auch für diese Studie ist der Aufwand mit mehreren Tausend Studienteilnehmern, die einer spezifischen Untersuchung zugeführt werden müssen, hoch und stellt extreme Anforderungen an Lo-

gistik und finanzielle Mittel. Auch mit einer solchen Studie kann wegen einer fehlenden Dosis-Wirkungsbeziehung nicht geklärt werden, ob tatsächlich Emissionen aus den Bürogeräten mit dem in der Studie potentiell aufgetretenen Effekt verknüpft sind. Eine solche Studie ist deshalb nicht sinnvoll, solange weitere Informationen zu der physikalischen und chemischen Identität der gemessenen Partikel und Studienergebnisse aus der kontrollierten humanen Exposition nicht vorliegen. Solange nicht eindeutig geklärt ist, von welchen Anteilen der Emissionen der Effekt ausgehen könnte, fehlt der Planung gezielter, Risikomindernder Maßnahmen die fachliche Basis.

4. Studien mit zellbiologischen Effektparametern und Untersuchungen der Wirkung der feinen und ultrafeinen Partikel in in-vitro-Versuchen sind wegen der erheblichen fachlichen Skepsis, ob die Ergebnisse entsprechender Untersuchungen sich auf die Situation beim Menschen übertragen lassen, wenig zielführend.
5. Die Durchführung einer Kasuistikstudie wird nicht empfohlen, da sie aufgrund ihrer Anlage keine Möglichkeit bietet, eine Prävalenzschätzung vorzunehmen und daher als Grundlage für Maßnahmen wenig geeignet ist.

#### 4 Referenzen

Armbruster C, Dekan G, Hovorka A (1996): Granulomatous pneumonitis and mediastinal lymphadenopathy due to photocopier toner dust. *Lancet* 348 (9028), 690

Bake D, Moriske HJ (2006): Untersuchungen zur Freisetzung feiner und ultrafeiner Partikel beim Betrieb von Laserdruck-Geräten. *Umweltmed Forsch Prax* 11, 301-30

BAM, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (2003): Test method for the determination of emissions from hardcopy devices with respect to awarding the environmental label for office devices. RAL-UZ62, RAL-UZ85 and RAL-UZ114, Appendix to RAL-UZ62, 85, 114

BAuA, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2006): Sicherer Umgang mit Tonerstäuben. Kopiergeräte und Drucker im Büro.  
[www.baua.de/nn\\_27840/de/Publikationen/Faltblaetter/F43,xv=vt.pdf](http://www.baua.de/nn_27840/de/Publikationen/Faltblaetter/F43,xv=vt.pdf)

Bellmann B, Muhle H, Creutzenberg O, Mermelstein R (1992): Irreversible pulmonary changes induced in rat lung by dust overload. *Environ Health Perspect* 97, 189-191

Bischof W, Wiemüller G A (2007): Das Sick Building Syndrom (SBS) und die Ergebnisse der Pro-KlimA-Studie. *Umweltmed Forsch Prax* 12, 23-42

Blauer Engel (2006) Basic Criteria for the Award of the environmental label for Copiers RAL-UZ 62, Printers RAL-UZ85 and Multifunctional Devices RAL-UZ 114, [www.blauer-engel.de/englisch/vergabe/download\\_uz\\_e/e-UZ-62.zip,/e-UZ-85.zip,e-UZ-114.zip](http://www.blauer-engel.de/englisch/vergabe/download_uz_e/e-UZ-62.zip,/e-UZ-85.zip,e-UZ-114.zip)

Brutsche MH, Downs SH, Schindler C, Gerbase MW, Schwartz J, Frey M et al. (2006): Bronchial hyperresponsiveness and the development of asthma and COPD in asymptomatic individuals: SAPALDIA cohort study. *Thorax* 61 (8), 671-677

Buczko GB, Day A, Vanderdoelen JL, Boucher R, Zamel N (1984): Effects of cigarette smoking and short-term smoking cessation on airways responsiveness to inhaled methacholine. *Am Rev Respir Dis* 129 (1), 12-14

- Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (1996): Bewertung eines Einzelfallberichts : Bewertung des Zusammenhangs zwischen Exposition und Symptomatik entsprechend der Anzeige von Nebenwirkungen , Wechselwirkungen mit anderen Mitteln und Arzneimittelmisbrauch nach § 29 Abs. 1 Satz 2 bis 8 AMG
- Burney PGJ, Britton JR, Chinn S, Tattersfield AE et al. (1987): Descriptive epidemiology of bronchial reactivity in an adult population: results from community study. *Thorax* 42, 32-44
- Chinn S, Jarvis D, Lucynska CM, Ackermann-Liebrich U, Anto JM, Cerveri I et al. (2005): An increase in bronchial responsiveness is associated with continuing or restarting smoking. *Am J Respir Crit Care Med* 172 (8), 956-961
- Cyrys D, Pitz M, Bischof W, Wichmann HE, Heinrich J (2004): Relationship between indoor and outdoor levels of fine particle mass, particle number concentrations and black smoke under different ventilation conditions. *J Expos Anal Environ Epidemiol* 14 (4), 275-283
- Deutscher Bundestag (2007): Kleine Anfrage der Abgeordneten Sylvia Kolting-Uhl u.a. Drucksache 16/3919
- Deutsche Forschungsgemeinschaft (1997): Allgemeiner Staubgrenzwert. Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründungen von MAK-Werten. Wiley-VCH, Weinheim
- Diez Roux AV, Auchincloss AH, Franklin TC et al (2008): Long-term exposure to ambient particulate matter and prevalence of subclinical atherosclerosis in the multi-ethnic study of atherosclerosis. *Am J Epidemiol* 167, 667-675
- Englert N (2004): fine particles and human health – a review of epidemiological studies. *Fox Lett* 149, 235-242
- EU (2008): Risk Assessment Report der EU, Rapporteur: Deutschland
- Ewers U, Nowack D (2006): Gesundheitsgefährdung durch Emissionen aus Laserdruckern und Kopiergeräte. *Handbuch der Arbeitsmedizin*, Hrsg. Konietzko, Dupuis, Letzel, Nowak, Springer Verlag, Heidelberg 43Erg. 9106, 1-9
- Ewers U, Nowak D (2006): Erkrankungen durch Emissionen aus Laserdruckern und Kopiergeräten. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft*, 66 (5), 203-210
- Fromme H, Dietrich S, Kiranoglu M et al. (2006): Frische Luft an bayerischen Schulen. Untersuchungen zur Verbesserung der Luftqualität. Vorläufiger Abschlussbericht. Oberschleißheim
- Fromme H, Twardella D, Dietrich S et al. (2007): Particulate matter in the indoor air classrooms – exploratory results from Munich and surrounding. *Atmos Environ* 41, 854-866
- Fromme H, Gabrio T, Lahrz T, Sagunski H, Dietrich S, Link B, Grams H, Twardella D (2007): Exposition durch Feinstaub in Innenräumen und ihre gesundheitliche Bewertung. Bericht für die Länder-Arbeitsgruppe umweltbezogener Gesundheitsschutz (LAUG)
- Gallardo MP, Romero P, Sanchez-Quevedo MC, Lopez-Cabellero JJ (1994): Siderosilicosis due to photocopier toner dust. *Lancet* 344 (8919), 412-413

- Gehring U, Heinrich J, Krämer U et al. (2006): Long-term exposure to ambient air pollution and cardiopulmonary mortality in women. *Epidemiology* 2006 17 (5), 545-551
- Gminski R, Mersch-Sundermann V (2006): Gesundheitliche Bewertung der Exposition gegenüber Tonerstäuben und gegenüber Emissionen aus Laserdruckern und Kopiergeräten – aktueller Erkenntnisstand. *Umweltmed Forsch Prax* 11, 269-300
- Hansen T B, Andersen B (1986): Ozone and other pollutants from photocopying machines. *Am Ind Hyg Assoc J* 47, 659-665
- He C, Morawska L, Taplin L (2007): Particle emission characteristics of office printers. *Environ Sci & Technol* 41, 6039-6045
- Heinrich J, Richter K, Freye C et al. (2002): European Community Respiratory Health Survey in Adults (ECRHS), *Pneumologie* 56, 297-303
- Hoek G, Brunekreef B, Goldbohm S et al. (2002): Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. *Lancet* 360 (9341), 1203-1209
- Hoffmann B, Moebus S, Möhlenkamp S et al. (2007): Residential exposure to traffic is associated with coronary atherosclerosis. *Circulation* 116 (5), 489-496
- Hohensee H, Flowerday U, Oberdick J (2002): Zum Emissionsverhalten von Farbfotokopiergeräten und Farblaserdruckern. *Die BG* 11, 1-4
- Inoue K, Takano H, Yanagisawa R et al. (2006): Effects of nano particles on cytokine expression in murine lung on the absence or presence of allergen. *Arch Toxicol* 80, 614-619
- Iannuzzi M C, Rybicki B A, Teirstein A S (2007): Sarcoidosis. *N Engl J Med* 357, 2153-2165
- Israel RH, Ossip-Klein DJ, Poe RH, Black P, Gerrity E et al (1988): Bronchial provocation tests before and after cessation of smoking. *Respirator* 54 (4), 247-254
- Jann O, Wilke O (2006): Emissionen aus Laserdruckern und –kopierern. *Umweltmed Forsch Prax* 11(4), 309-317
- Jungnickel F, Kubina A, Fischer H (2003): Benzolemissionen aus Laserdruckern und Kopierern. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft*, 63(5), 193-196
- Jungnickel F, Wildermann R, Maciej B, Fischer H (2006): Analysen von Tonern und deren gesundheitliche Bewertung. *Umweltmed Forsch Prax* 11(4), 319-323
- Laden F, Neas LM, Dockery DW et al. (2000): Association of fine particulate matter from different sources with daily mortality in six U.S. cities. *Environ Health Perspect* 108, 941-947
- Lee CW, Dai YT, Chien C H et al (2005) Characteristics and health impacts of volatile organic compounds in photocopy centers. *Environ Res* 100, 139-149
- Lin GHY, Mermelstein R (1994): Acute toxicity studies of Xerox reprographic toners. *J Amer Coll Toxicol* 13, 2-20

Link B, Gabrio T, Zöllner I et al. (2004) Feinstaubbelastung und deren gesundheitliche Wirkung bei Kindern. Bericht des Landesgesundheitsamtes Baden-Württemberg

Mersch-Sundermann V H (2008) Pilotstudie: Evaluierung möglicher Beziehungen zwischen Emissionen aus Büromaschinen, insbesondere aus Fotokopierern und Laserdruckern, und Gesundheitsbeeinträchtigungen bzw. Gesundheitsschäden bei exponierten Büroangestellten. Bericht an das Bundesinstitut für Risikobewertung.  
[http://www.bfr.bund.de/cm/252/pilotstudie\\_evaluierung\\_moeglicher\\_beziehungen\\_zwischen\\_emissionen\\_aus\\_bueromaschinen\\_abschlussbericht.pdf](http://www.bfr.bund.de/cm/252/pilotstudie_evaluierung_moeglicher_beziehungen_zwischen_emissionen_aus_bueromaschinen_abschlussbericht.pdf)

Miller KA, Siscovich DS, Sheppard L et al. (2007): Long-term exposure to air pollution and incidence of cardiovascular events in women. *N Engl J Med* 356, 447-458

Mohr U, Ernst H, Roller M, Pott F (2006): Pulmonary tumor types in wistar rats of the so-called 19-dust study. *Exp Toxicol Pathol* 58, 13-20

Müller H, Wappler I (2001): Asthma bronchiale durch Tonerstaub ? Hrsg: Landesamt für Soziales und Familie (LASF) des Freistaates Thüringen,  
[http://th.osha.de/publications/merkblaetter/merkbl\\_tonerstaub.pdf](http://th.osha.de/publications/merkblaetter/merkbl_tonerstaub.pdf)

Nakadate T, Yamano Y, Adachi C et al. (2006): A cross sectional study of the respiratory health of workers handling printing toner dust. *Occup Environ Med* 63, 244-249

Nies E, Blome H, Brüggemann-Priesshoff H (2002): Charakterisierung von Farbtonern und Emissionen aus Farbkopierern/Farblaserdruckern. *Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft* 60 (11/12), 435-441

Palm J (2006): Untersuchungen zu Unverträglichkeitsuntersuchungen gegenüber Tonerstaub aus Laserdruck-Geräten, *Umweltmed Forsch Prax* 11(4), 324-328

Persson HE, Sjöberg GK, Haines JA, Pronczuk de Garbino J (1998): Poisoning Severity Score, *Clinical Toxicology* 36(3), 205-213

Peters A, von Klot S, Heier M et al. (2004) Cooperative Health Research in the Region of Augsburg Study Group: Exposure to traffic and the onset of myocardial infarction. *N Engl J Med* 35(17), 1721-1730

Pope CA III (2001): Particular air pollution, C-reactive protein and cardiac risk. *Eur Heart J* 22, 1149-1150

Pope III AC, Matthew L et al. (2004): Ambient particulate air pollution, heart rate variability, and blood markers of inflammation in a panel of elderly subjects. *Environ Health Perspect* 112 (3), 339-345

Pope CA III, Muhlestein JB, Maytt T et al. (2006): Ischemic heart disease triggered by short-term exposure to fine particulate air pollution. *Circulation* 114, 2443-2448

Rabe U, Haase D, Köhnlein J (2002): Intoleranzreaktionen auf Tonerstaub. Nachweis mit der AllergoCell®-Methode. *Umweltmedizin in Forschung und Praxis* 7, 214-215

Rybicki BA, Amend KL, Maliarik MJ, Ianuzzi MC (2004): Photocopier exposure and risk of sarcoidosis in African-American sibs. *Sarcoidosis Vasc Diffuse Lung Dis* 21 (1), 49-55



- Scapellato ML, Lotti M (2007): Short-term effects of particulate matter: an inflammatory mechanism? *Crit Rev in Toxicology* 37, 461-487
- Seppänen O, Fish WJ (2002): Relationship of SBS-Systems and ventilation system type in office buildings. In: *Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate – Indoor Air 2002*. Monterey, California, 437-442
- Schneider T (2003): What symptoms can tell about building-related causes. *Scand J Work Environ Health* 29 (6), 407-409
- Stefaniak A B, Breyse P N, Murray M P et al (2000): An evaluation of employee exposure to volatile organic compounds in three photocopy centers. *Environ Res* 83, 162-173
- Stelling HJ (2006): Krank durch Toner- Erfahrungen mit einer Nanopathologie. *Umweltmed Forsch Prax* 11 (4), 329-337
- Simonsson BG, Rolf C (1982): Bronchial reactivity to methacholine in ten non-obstructive heavy smokers before and up to one year after cessation of smoking. *Eur J Respir Dis* 63 (6), 526-534
- Smola T, Georg H, Hohensee (2002): Gesundheitsgefahren durch Laserdrucker? Ergebnisse des VBG-BIA-Projekts „Schwarz-Weiß-Laserdrucker“. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* 62, 295-301
- TSI (2008) Printer Emission Measurements at TSI, Application Note PER-001  
<http://www.tsi.com/documents /PER-001-Printer-Emissions-Measurmnts.pdf>
- Uhde E, He C, Wensing M (2006): Characterisation of ultra-fine particle emissions from a laser printer. *Proceedings of Healthy Buildings 2006, Lisboa, Portugal, Vol. II*, 479-482
- Umweltbundesamt (2008): Vergleichswerte für flüchtige organische Verbindungen (VOC und Aldehyde) in der Innenraumluft von Haushalten in Deutschland. *Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch Gesundheitsschule* 51, 109-112
- Wensing M, Pinz G, Bednarek M et al. (2006): Particle measurements of hardcopy devices. *Proc Healthy Buildings, Lisboa, Portugal Vol. II*, 461-464
- Wensing M, Schripp T, Delins W et al. (2008): Ultra-fine particle release from hardcopy devices: influence of different parameters, sources, characterization and efficiency of filter accessories. *Indoor Air Conference*, submitted
- Wilke O, Jann O, Brödner D et al. (2007): 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. *Bundesanstalt für Materialprüfung, unveröffentlichter Bericht, UFOPLAN 20495373*
- Wolkoff P, Wilkins CK, Clausen PA, Nielsen GD (2006): Organic compounds in office environments – sensory irritation, odor, measurements and the role of reactive chemistry. *Indoor Air* 16, 7-19

Woolcock AJ, Peat JK, Salome CM, Yan K, Anderson SD, Schoeffel RE et al. (1987): Prevalence of bronchial hyperresponsiveness and asthma in a rural adult population. *Thorax* 42 (5), 361-368