

7 Arbeitsplatz

Innenraumarbeitsplätze müssen den Bedürfnissen und Eigenschaften der dort arbeitenden Personen entsprechen. Ist dies nicht der Fall, können sowohl die Arbeitsplatzgestaltung als auch die verwendeten Arbeitsmittel zu Beschwerden bei der Arbeit führen. Der

folgende Abschnitt enthält Hinweise zur Ermittlung und Bewertung des Arbeitsplatzes hinsichtlich seiner Gestaltung und der Auswahl von Arbeitsmitteln, u. a. von Laserdruckern, -kopierern und von Bildschirmgeräten.

7 Arbeitsplatz

7.1 Arbeitsplatzgestaltung

S. Neumann, Hamburg

Wesentliche Anforderungen zur Gestaltung von Innenraumarbeitsplätzen finden sich in der Arbeitsstättenverordnung [1], insbesondere in deren Anhang, und in den entsprechenden Technischen Regeln für Arbeitsstätten [2].

Die Bildschirmarbeitsverordnung [3] enthält die allgemeinen Anforderungen an Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit an Bildschirmgeräten. Sie setzt die europäische Bildschirmrichtlinie [4] in das nationale Recht der Bundesrepublik Deutschland um. Eine Konkretisierung der Anforderungen aus der Bildschirmarbeitsverordnung enthält die BGI 650 „Bildschirm- und Büroarbeitsplätze“ [5]. Generell sollte an Bildschirmgeräten tätigen Beschäftigten eine regelmäßige Untersuchung der Augen und des Sehvermögens durch eine fachkundige Person angeboten werden (DGUV Grundsatz G37 [6]). Eine Reihe weiterer Informationen der Unfallversicherungsträger [7 bis 16] liefert Erläuterungen und Hilfen zu speziellen Themen der Gestaltung von Büroarbeitsplätzen.

7.1.1 Ermittlung und Beurteilung des Arbeitsplatzes

Unter Berücksichtigung der o. g. Richtlinien, Verordnungen und Informationen der Unfallversicherungsträger zur Gestaltung von Büroarbeitsplätzen wurde der im Internet verfügbare spezielle Ermittlungsbogen S7 zur Arbeitsplatzumgebung und zu Arbeitsmitteln (www.dguv.de, Webcode d6274) entwickelt. Anhand dieses Erhebungsbogens

kann geprüft werden, ob Gesundheitsbeschwerden möglicherweise auf eine nicht ergonomische Arbeitsplatzgestaltung zurückzuführen sind.

Auf die Faktoren Beleuchtung, Lärm und Raumklima wird im Ermittlungsbogen nicht weiter eingegangen, da diese Themen ausführlich im Abschnitt 6.3 sowie in den Kapiteln 8 und 9 behandelt werden. Weiterhin werden Aspekte der Arbeitssicherheit wie z. B. die Vermeidung von Stolperstellen nicht berücksichtigt.

Ein Teil der Fragen im Ermittlungsbogen S7 enthält bereits mögliche Lösungsansätze. So werden in den Fragen zu Arbeitsmöbeln, Hard- und Software sowie zur Anordnung von Arbeitsmitteln Hinweise zur Gestaltung des Arbeitsplatzes gegeben.

7.1.2 Verringerung von Muskel-Skelett-Belastungen

Zur Verringerung von Belastungen des Muskel-Skelett-Systems wird empfohlen,

- die Belastung durch ungünstige und einseitige Körperhaltungen (z. B. verdrehte Körperhaltung, lang andauerndes Sitzen) sowie repetitive Bewegungen (z. B. lang anhaltendes Tastaturschreiben) zu verringern, indem die Ausübungszeiten durch Misch Tätigkeiten, eine Erweiterung der Aufgabenbereiche oder ausreichende Pausen verkürzt werden.

- günstige Körperhaltungen und Haltungswechsel durch eine individuell anpassbare und ergonomisch sinnvolle Arbeitsplatz-einrichtung zu fördern.

7.1.3 Literatur

- [1] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 12. August 2004. BGBl. I (2004), S. 2179-2189; zul. geänd. BGBl. I (2010), S. 960-967
- [2] Technische Regeln für Arbeitsstätten. Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Arbeitsstaetten/ASR/ASR.html>
- [3] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit an Bildschirmgeräten (Bildschirmarbeitsverordnung – BildscharbV) vom 4. Dezember 1996. BGBl. I (1996), S. 1843-1845; zul. geänd. BGBl. I (2008), S. 2768
- [4] Richtlinie 90/270/EWG des Rates vom 29. Mai 1990 über die Mindestvorschriften bezüglich der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes bei der Arbeit an Bildschirmgeräten. ABl. EG Nr. L 156 (1990), S. 14; geänd. Richtlinie 2007/30/EG, ABl. EG Nr. L 165 (2007), S. 21
- [5] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Bildschirm- und Büroarbeitsplätze – Leitfaden für die Gestaltung (BGI 650). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg 2012
- [6] DGUV-Grundsatz für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen „Bildschirmarbeitsplätze“ G 37 (mit Kommentar) (BGI 785). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg 2010
- [7] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Büroraumplanung – Hilfen für das systematische Planen und Gestalten von Büros (BGI 5050). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg 2006
- [8] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Sonnenschutz im Büro – Hilfen für die Auswahl von geeigneten Blend- und Wärmeschutzvorrichtungen an Bildschirm- und Büroarbeitsplätzen (BGI 827). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg 2005
- [9] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Beleuchtung im Büro – Hilfen für die Planung der künstlichen Beleuchtung in Büroräumen (BGI 856). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg 2009
- [10] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Laserdrucker – sicher betreiben (BGI 820). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg 2008
- [11] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Klima im Büro – Antworten auf die häufigsten Fragen (BGI 7004). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Sankt Augustin 2007. Carl Heymanns, Köln 2007

7 Arbeitsplatz

- [12] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Akustik im Büro – Hilfen für die akustische Gestaltung von Büros (BGI/GUV-I 5141). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg 2012
- [13] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Nutzungsqualität von Software – Grundlegende Informationen zum Einsatz von Software in Arbeitssystemen (BGI 852-1). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg 2003
- [14] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Management und Software – Arbeitshilfen zur Erhöhung der Nutzungsqualität von Software im Arbeitssystem (BGI 852-2). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg 2003
- [15] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Einrichten von Software – Leitfaden und Check für Benutzer (BGI 852-3). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg 2003
- [16] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Software – Kauf und Pflichtenheft – Leitfaden und Arbeitshilfen für Kauf, Entwicklung und Beurteilung von Software (BGI 852-4). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg 2003

7.2 Laserdrucker und -kopierer

T. von der Heyden, Sankt Augustin

Laserdrucker und Kopierer sind aus dem modernen Büroalltag nicht mehr wegzudenken. Millionen Menschen benutzen sie täglich. Immer wieder wurde die Öffentlichkeit in der Vergangenheit durch Meldungen über mögliche Gesundheitsgefahren aufgrund einer vermeintlichen Exposition gegenüber Tonerstaub beim Betrieb von Laserdruckern verunsichert. Daher hat das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA, früher BGIA) in Zusammenarbeit mit der Verwaltungs-Berufsgenossenschaft bereits vor mehr als zehn Jahren mehrere Projekte mit dem Ziel durchgeführt, die aus Laserdruckern und -kopierern frei werdenden Emissionen festzustellen und sie in Bezug auf eine mögliche Gesundheitsgefährdung zu bewerten [1 bis 3]. Neben dem IFA hat auch die Landesgewerbeanstalt Bayern (LGA) in den Jahren 2000 bis 2007 sowohl Emissionsprüfungen an diversen Geräten als auch Tonerprüfungen durchgeführt [4]. Die Ergebnisse dieser Studien haben auch heute noch Gültigkeit, da sich die Technik der Drucker nur unwesentlich verändert hat. Sie zeigen (siehe Ausführungen zu einzelnen Stoffgruppen), dass Laserdrucker und -kopierer keine relevanten Mengen an Stäuben und Gasen freisetzen.

Zur Sicherheit für die Umwelt und den Anwender hat die Jury Umweltzeichen die Vergabegrundlagen RAL-UZ 122 [5] und RAL-UZ 171 [6] für Bürogeräte mit Druckfunktion (Drucker, Kopierer, Multifunktionsgeräte) entwickelt (Abbildung 7). Neben

allgemeinen Anforderungen z. B. an eine recyclinggerechte Konstruktion und an den Stromverbrauch, sowie stoffbezogene Anforderungen an die Toner werden die Geräte insbesondere auch auf ihre Emissionen geprüft. Dabei werden die freigesetzten Mengen an Staub, ultrafeinen Partikeln, Ozon, der Summe flüchtiger organischer Stoffe sowie von Benzol und Styrol in Prüfkammern ermittelt. Als Beurteilungskriterien dienen aktuelle Umwelt- oder Innenraumrichtwerte. Diese liegen weit unter den gültigen Arbeitsplatzgrenzwerten.

Abbildung 7:
„Blauer Engel“ für Bürogeräte mit Druckfunktion (Drucker, Kopierer, Multifunktionsgeräte)



7 Arbeitsplatz

Generell werden die Geräte nur in Verbindung mit dem speziell für das betreffende Gerät vertriebenen Toner und Papier getestet. In der Praxis trifft man jedoch oft Toner von Fremdanbietern und Recyclingtonerkartuschen an, die nicht zusammen mit dem eingesetzten Gerät getestet wurden. Als Qualitäts- und Vergleichskriterium bei der Beschaffung von Tonerkartuschen hat der Fachausschuss Verwaltung deshalb zusätzlich ein Zeichen von DGVU Test für Tonerpulver geschaffen, das den Zusatz „schadstoffgeprüft“ trägt (Abbildung 8) [7]. Ein Toner mit diesem Zeichen erfüllt strenge Anforderungen an die Gehalte an Metallen, flüchtigen organischen Verbindungen und sonstigen Inhaltsstoffen sowie die Partikelgrößen.

Abbildung 8:
Zeichen von DGVU Test mit dem Zusatz „schadstoffgeprüft“



Auch das Papier stellt eine Emissionsquelle dar. Beim Laserdrucker wird es konstruktionsbedingt kurzzeitig auf etwa 150 bis 200 °C aufgeheizt. Dadurch können Stoffe aus dem Papier freigesetzt werden. Die Verabegrundlage für das Umweltzeichen Blauer Engel „RAL-UZ 14“ [8] für Recyclingpapier (Abbildung 9) bezieht sich neben zahlreichen Umweltaspekten auch auf das Potenzial zur Emission von flüchtigen organischen Verbindungen, sofern das untersuchte Papier zum Bedrucken mittels elektrofotografischer Drucker oder Kopierer bestimmt ist („Kopierpapier“).

Bei sehr intensivem Betrieb von Laserdruckern oder beim gleichzeitigen Betrieb mehrerer Geräte wird grundsätzlich empfohlen, diese außerhalb des Büroarbeitsraums aufzustellen.

Abbildung 9:
„Blauer Engel“ für Recyclingpapier



7.2.1 Staub

Bei den Untersuchungen des BGIA (heute IFA) und der LGA konnten keine relevanten Emissionen von Tonerstaub nachgewiesen werden. In den Vergabegrundlagen RAL-UZ 122 und RAL-UZ 171 wird eine Emissionsrate von 4,0 mg/h Staub – zumeist Papierstaub – als zulässiger Höchstwert während der Druckphase angegeben.

7.2.2 Metalle

Die meisten Schwarztoner enthalten zu einem Viertel bis zu einem Drittel der Masse Eisen in Form von Eisenoxid. Jeweils im Promillebereich konnten bei den im BGIA durchgeführten Untersuchungen Verbindungen von Titan, Strontium, Kupfer und Zink nachgewiesen werden.

Farbtoner enthalten meist geringe Mengen Kupfer und Titan. Außerdem fand das IFA (ehemals BGIA) die Metalle Chrom, Eisen, Zink, Zinn und Strontium in verschiedenen Farbtonern. Cobalt und Nickel, die speziell wegen ihrer sensibilisierenden Eigenschaften problematisch sind, enthielten die Toner entweder nicht oder nur in Spuren.

Für die Vergabe des Test-Zeichens mit dem Zusatz „schadstoffgeprüft“ wurden in den „Grundsätzen für die Prüfung und Zertifizierung von Tonerpulver schwarz und farbig für Laserdrucker und Kopiergeräte“ die in Tabelle 10 aufgelisteten Maximalgehalte für verschiedene Metalle im Tonerpulver festgelegt [7].

Noch weitergehende Anforderungen werden nach den Vergabegrundlagen für das Umweltzeichen Blauer Engel RAL-UZ 122 und

Tabelle 10:
Grenzwerte für Metalle in Tonern zur Erlangung des DGUV Test-Zeichens mit dem Zusatz „schadstoffgeprüft“

Metall	Grenzwert in mg/kg
Cadmium	5,0
Cobalt	25
Nickel	70
Blei	25
Quecksilber	2,0
Chromat (als Chrom)	1,0
Zinnorganische Verbindungen (als Zinn)	5,0

RAL-UZ 171 formuliert: Danach dürfen Toner keine Stoffe enthalten, die Quecksilber-, Cadmium-, Blei-, Nickel- oder Chrom(VI)-Verbindungen als konstitutionelle Bestandteile enthalten. Ausgenommen sind hochmolekulare Nickel-Komplexverbindungen als Farbmittel. Herstellungsbedingte Verunreinigungen durch Schwermetalle wie z. B. Kobalt- und Nickeloxide sind so gering wie technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar zu halten: Für sie gilt ein Minimierungsgebot [5; 6].

7.2.3 Ozon

In der Regel setzen moderne Laserdrucker kein Ozon frei. So arbeiten moderne Schwarz-Weiß-Laserdrucker heute überwiegend mit ozonfreier Technologie; sie benötigen demzufolge keinen Ozonfilter. Bei Schwarz-Weiß- sowie Farbgeräten mit ozonbildender Technologie werden bei intaktem Ozonfilter nur sehr geringe Ozonmengen freigesetzt, die für den Menschen als unbedenklich betrachtet werden können. Dies gilt jedoch nur dann, wenn der Ozonfilter wirk-

7 Arbeitsplatz

sam ist, was eine regelmäßige Gerätewartung mit entsprechendem Filteraustausch voraussetzt. Wird diese Wartung vernachlässigt, können wesentlich höhere Ozonkonzentrationen auftreten. Das betrifft in besonderem Maße ältere Geräte [1; 4]. Für die Vergabe der Umweltzeichen Blauer Engel nach RAL-UZ 122 und RAL-UZ 171 darf die Emissionsrate von Ozon während der Druckphase einen Wert von 1,5 mg/h bei Schwarz-Weiß-Geräten und 3 mg/h bei Farbgeräten nicht übersteigen. Bei der Beurteilung der von Laserdruckern während des Druckvorgangs gebildeten Ozonkonzentrationen ist zu berücksichtigen, dass sich Ozon an Wänden und anderen Oberflächen zu Sauerstoff zersetzt. Dieser Prozess verläuft mit einer Halbwertszeit von etwa 30 Minuten, d. h., nach einer halben Stunde ist nur noch die Hälfte der ursprünglichen Ozonmenge vorhanden. Bei fortlaufender Nachlieferung von Ozon (Geräteemission, Außenluft) entsteht ein Gleichgewicht zwischen Ozonbildung und -zerfall.

7.2.4 Flüchtige organische Verbindungen (VOC)

Jeder Laserdrucker oder -kopierer setzt während des Druck- oder Kopiervorgangs flüchtige organische Verbindungen (VOC) frei. Dies ist technisch begründet und nach dem heutigen Stand der Technik kaum vermeidbar. Deshalb ist für die Beurteilung der Laserdrucker nicht die Frage, ob flüchtige organische Verbindungen freigesetzt werden, entscheidend, sondern die Art und Menge der freigesetzten Verbindungen. Für die Vergabe des Umweltzeichens Blauer Engel sind nach RAL-UZ 122 und RAL-UZ 171 folgende Höchstwerte als Emissionsrate für die Summe flüchtiger organischer Ver-

bindungen (total volatile organic compounds, TVOC) erlaubt:

- 10/18 mg/h (sw-/Farb-Gerät) während der Druckphase

Die Vergabegrundsätze für das Test-Zeichen der DGUV mit dem Zusatz „schadstoffgeprüft“ legen für Toner einen Maximalgehalt an TVOC von 1000 mg/kg fest.

Im Mittelpunkt der Kritik steht vor allem die bei einem Druckvorgang mögliche Freisetzung von Benzol, das als krebserzeugend eingestuft ist [9]. Viele Schwarz-Weiß-Laserdrucker wie auch Farblaserdrucker setzen überhaupt kein Benzol frei. Bei einigen Geräten sind jedoch Benzolemissionen nachweisbar. Sehr umfangreiche Untersuchungen zur Benzolfreisetzung aus Laserdruckern führte die Landesgewerbeanstalt (LGA) Bayern durch. Untersucht wurden

- die Benzolgehalte von Tonern:
Bei 585 untersuchten Tonern lag der arithmetische Mittelwert bei 3 mg/kg und der Medianwert bei < 0,1 mg/kg.
- die Benzolemissionsraten von Laserdruckern und -kopierern:
Bei 266 untersuchten Geräten lag der arithmetische Mittelwert bei 0,09 mg/h und der Medianwert bei 0,04 mg/h.

Zu Beginn der Untersuchungen durch das LGA im Jahre 2000 wurde Benzol noch häufig detektiert. In späteren Jahren der Untersuchung (bis 2007) konnte Benzol nur noch selten nachgewiesen werden. Die von der LGA durchgeführten Untersuchungen wie auch entsprechende Untersuchungen des IFA belegen, dass bei den meisten Geräten

keine oder nur unbedeutende Mengen von Benzol freigesetzt werden, die sich meist im Bereich der allgemeinen Benzol-Umweltbelastung bewegen.

Für die Vergabe der Umweltzeichen Blauer Engel nach RAL-UZ 122 und RAL-UZ 171 liegt der zulässige Höchstwert für Benzol bei einer Emissionsrate von 0,05 mg/h während der Druckphase. Die Vergabegrundsätze des Test-Zeichens der DGUV für Toner mit dem Zusatz „schadstoffgeprüft“ begrenzen den Maximalgehalt von Benzol auf 1 mg/kg.

Das ebenfalls freigesetzte Styrol stuft die Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft in die Krebskategorie 5 ein. Das bedeutet, dass seine „Wirkungsstärke (...) als so gering erachtet wird, dass bei Einhaltung des MAK-Wertes kein nennenswerter Beitrag zum Krebsrisiko für den Menschen zu erwarten ist“ [10]. Die bei den Messungen im BGIA festgestellten Konzentrationen liegen unter einem Zweihundertstel des AGW. Allerdings wurden bei wenigen Geräten Überschreitungen des Innenraum-Richtwertes I des Umweltbundesamtes ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) festgestellt [11].

Die LGA Bayern untersuchte auch die Styrol-emission. Für die 266 Geräte in den Jahren 2000 bis 2007 lag der arithmetische Mittelwert der Styrolemissionsrate bei 0,9 mg/h und der Medianwert bei 0,27 mg/h.

Für die Vergabe des Umweltzeichens Blauer Engel liegt der zulässige Höchstwert für Styrol bei einer Emissionsrate von 1,0/1,8 mg/h (sw-/Farb-Gerät) während der Druckphase. Für die Vergabe des Test-Zeichens der DGUV für Toner mit dem Zusatz „schadstoffgeprüft“

dürfen Toner maximal 40 mg/kg Styrol enthalten.

Weitere flüchtige organische Verbindungen wie Toluol, Xylole, Ethylbenzol und Trimethylbenzole geben die Geräte in unterschiedlicher Menge ab, wobei jedoch alle gemessenen Konzentrationen mehrere Größenordnungen unter den gültigen Arbeitsplatzgrenzwerten liegen.

7.2.5 Gesamtbeurteilung

Aus den Untersuchungen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Moderne Laserdrucker und -kopierer setzen während des Druckvorgangs keine relevanten Mengen von Tonerstaub frei. Deshalb kann man bezüglich einer Aufnahme von Tonerstaub über die Atemwege nicht von einem erhöhten gesundheitlichen Risiko ausgehen. Besteht die Möglichkeit, dass z. B. bei der Kassettenbefüllung Tonerstaub in die Atemluft gelangt, sind entsprechende Absaugungen vorzusehen.
- Hautkontakt mit Toner tritt bei vorschriftsmäßigem Tonerkassettenwechsel in der Regel nicht auf. Ist bei bestimmten Geräten ein Kontakt mit Toner nicht auszuschließen, so sollten beim Kassettenwechsel Schutzhandschuhe getragen werden. Sollte es dennoch zum Hautkontakt kommen, so sind die Tonerspuren mit kaltem Wasser und Seife zu beseitigen. Personen, die intensiveren Kontakt mit Toner haben können (Servicepersonal, Kassettenrecycling), sollten auf jeden Fall durch das Tragen von Schutzhandschuhen einen direkten Kontakt ausschließen.

7 Arbeitsplatz

- Die Ozonbildung durch Laserdrucker ist heute kein Problem mehr, da viele Geräte bereits mit völlig ozonfreier Technologie arbeiten. Bei ozonbildenden Geräten ist die vorschriftsmäßige Wartung des Ozonfilters von entscheidender Bedeutung. Bei verbrauchten Ozonfiltern können höhere Ozonwerte auftreten. Sehr empfindliche Personen sind auf jeden Fall gut beraten, nach Geräten mit ozonfreier Technologie Ausschau zu halten. Bei ohnehin anstehendem Austausch eines Laserdruckers sollten Geräte mit ozonfreier Technologie bevorzugt werden.
- Flüchtige organische Verbindungen (VOC) setzen alle Laserdrucker in unterschiedlichen Mengen frei. Die gemessenen Konzentrationen liegen mehrere Größenordnungen unter den gültigen Arbeitsplatzgrenzwerten. Auch die wesentlich strengeren Umwelt- sowie Innenraumrichtwerte werden eingehalten (Ausnahme: Mögliche Überschreitung des Innenraumrichtwertes I für Styrol). Für den krebserzeugenden Stoff Benzol lagen die emittierten Mengen im Bereich der allgemeinen Benzol-Umweltbelastung. Da für die krebserzeugende Wirkung von Benzol kein Schwellenwert angegeben werden kann, sind die Geräte- und Tonerhersteller gleichwohl aufgefordert, die Technologie so weiterzuentwickeln, dass kein Benzol mehr emittiert wird.

7.2.6 Literatur

- [1] *Smola, T.; Georg, H.; Hohensee, H.:* Gesundheitsgefahren durch Laserdrucker? Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 62 (2002) Nr. 7/8, S. 295-301
- [2] *Hohensee, H.; Flowerday, U.; Oberdick, J.:* Zum Emissionsverhalten von Farbfotokopiergeräten und Farblaserdruckern. Bericht über das Forschungsprojekt „Farbtoner“. Die BG (2000) Nr. 11, S. 659-661
- [3] *Nies, E.; Blome, H.; Brüggemann-Priesshoff, H.:* Charakterisierung von Farbtonern und Emissionen aus Farbfotokopierern/Farblaserdruckern. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 60 (2000) Nr. 11/12, S. 435-441
- [4] *Jungnickel, F.; Kubina, A.:* Emissionen aus Laserdruckern. Hrsg.: Landesgewerbeanstalt Bayern, Nürnberg 2007 http://lga.de/lga/de/aktuelles/veroeffentlichungen_emissionen_laserdrucker.shtml
- [5] Vergabegrundlage für Umweltzeichen – Bürogeräte mit Druckfunktion (Drucker, Kopierer, Multifunktionsgeräte) RAL-UZ 122. Hrsg.: RAL – Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung, Sankt Augustin 2011
- [6] Vergabegrundlage für Umweltzeichen – Bürogeräte mit Druckfunktion (Drucker, Kopierer, Multifunktionsgeräte) RAL-UZ 171. Hrsg.: RAL – Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung, Sankt Augustin 2012

- [7] Grundsätze für die Prüfung und Zertifizierung von Tonerpulver schwarz und farbig für Laserdrucker und Kopiergeräte (09.06). Hrsg.: Fachausschuss Verwaltung, Prüf- und Zertifizierungsstelle im DGUV Test, Hamburg 2006
- [8] Vergabegrundlage für Umweltzeichen – Recyclingpapier RAL-UZ 14. Hrsg.: RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung, Sankt Augustin 2013
- [9] *Jungnickel, F.; Kubina, A.; Fischer, H.:* Benzolemissionen aus Laserdruckern und Kopierern. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 63 (2003) Nr. 5, S. 193-196
- [10] MAK- und BAT-Werte-Liste 2011: Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und Biologische Arbeitsstofftoleranzwerte. Hrsg.: Deutsche Forschungsgemeinschaft. Wiley-VCH, Weinheim 2011
- [11] Richtwerte für die Innenraumluft: Stryol. BGBl. (1998) Nr. 9, S. 392-398

7.3 Bildschirmgeräte

*P. Schäfer, Ludwigsburg,
H. Siekmann, Sankt Augustin*

An Computerarbeitsplätzen sind hauptsächlich zwei Arten von Bildschirmgeräten im Einsatz. Dies sind zum einen Flüssigkristalldisplays (englisch: liquid crystal display, LCD), die häufig auch als TFT-Bildschirme (englisch: thin film transistor, TFT) oder – wegen ihrer geringen Bautiefe – als Flachbildschirme bezeichnet werden. Die zweite Art von Bildschirmgeräten sind Kathodenstrahl- oder CRT-Geräte. Hierbei handelt es sich um Monitore, die zur Erzeugung der Bilder eine Kathodenstrahlröhre (englisch: cathode ray tube, CRT) benutzen. Diese Geräte spielen bei Neuanschaffungen heute keine große Rolle mehr.

Grundsätzlich kann auch die eigentlich belastungsarme Arbeit an Bildschirmen zu Belastungen führen. Dies kann z. B. durch hohe Konzentration bei der Arbeit, lange ermüdende Tätigkeit, Sehprobleme, schlechte Beleuchtung, Blendung, nicht ergonomische Gestaltung des Arbeitsplatzes usw. hervorgerufen werden. Hierdurch können Belastungssymptome wie Müdigkeit, Augenbeschwerden, Kopfschmerzen, Verspannungen, Rückenprobleme usw. entstehen (siehe hierzu die entsprechenden Abschnitte im Report). Um diese zu verhindern, müssen Bildschirmarbeitsplätze entsprechend der Bildschirmarbeitsverordnung [1] gesundheitsgerecht eingerichtet werden. Konkrete Hinweise zur Umsetzung der Verordnung enthält die BGI 650 „Bildschirm- und Büroarbeitsplätze – Leitfaden für die Gestaltung“ [2].

7.3.1 Strahlenemission von Bildschirmgeräten

Je nach Bauart werden in Bildschirmgeräten elektrische und magnetische Felder sowie verschiedene Arten von Strahlung erzeugt. Wie in Kapitel 10 dieser Vorgehensempfehlung näher erläutert, gehen dabei sowohl von CRT- als auch von LCD-Bildschirmen nur sehr geringe Emissionen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder aus. Auch die Emissionen weiterer Strahlungsarten (siehe unten) sind gering. Befürchtungen über Gesundheitsgefährdungen durch die Strahlenemissionen von Bildschirmen sind daher unbegründet. Dies gilt für alle Anwendungen von Bildschirmen an Arbeitsplätzen, also auch beim Einsatz mehrerer oder vieler Monitore in einem Raum, bei der Aufstellung von Monitoren an gegenüberliegenden Arbeitsplätzen und bei der Arbeit von Schwangeren an Bildschirmen.

Im Gegensatz zu LCD-Bildschirmen tritt bei CRT-Bildschirmen oft das Problem auf, dass sie durch elektromagnetische Felder, z. B. von der hausinternen Stromverteilung, gestört werden. Es kann zu Flimmern sowie Helligkeits- und Farbveränderungen kommen. CRT-Bildschirme sind besonders anfällig, da sie schon von Magnetfeldern geringer Stärke gestört werden können. Dazu reicht beispielsweise bei empfindlichen Geräten schon eine magnetische Flussdichte von circa $0,4 \mu\text{T}$ (z. B. durch eine vorbeifahrende S-Bahn) aus.

Treten Beeinflussungen von CRT-Bildschirmen an Arbeitsplätzen auf, äußern die Beschäftigten häufig Befürchtungen darüber, dass die vorhandenen elektromagnetischen Felder auch Personen schädigen könnten. Da aber schon Feldstärken weit unterhalb der Grenzwerte für den Personenschutz zur Erzeugung von Störungen ausreichen, sind solche Befürchtungen unbegründet.

Im Gegensatz zu LCD-Bildschirmen können bei CRT-Bildschirmen in einem Abstand von 30 cm zur Bildschirmoberfläche auch elektrostatische Feldstärken von bis zu 7 000 V/m auftreten [3]. Neuere CRT-Bildschirme erzeugen geringere Feldstärken. Nach der Berufsgenossenschaftlichen Vorschrift (BGV) B11 „Elektromagnetische Felder“ [4] darf in statischen Feldern eine elektrische Feldstärke von 20 000 V/m nicht überschritten werden. Dieser Wert wird bei der Arbeit an CRT-Monitoren eingehalten. Durch die Aufladung können Staubpartikel aus der Luft angezogen werden, falls die Ladungen nicht – wie bei modernen Geräten üblich – abgeführt werden.

Ionisierende Strahlung

Umfangreiche Untersuchungen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) sowie Messungen des Kernforschungszentrums Karlsruhe haben ergeben, dass die Belastung durch ionisierende Strahlung an CRT-Bildschirmen in der Regel um etwa zwei Größenordnungen unterhalb der natürlichen Strahlenbelastung, der jeder Mensch ständig ausgesetzt ist, liegt [3; 5]. Bei den Untersuchungen wurde auch auf der Rückseite der Monitore gemessen. Dies ist insbesondere für die Arbeit in Büroräumen mit mehreren Beschäftigten von Bedeutung, wenn sich

ein Anwender jeweils in direkter Nähe zur Rückseite eines gegenüberliegenden Monitors aufhält. Auch dort liegt die zusätzliche Belastung durch die Röntgenstrahlung aus den Bildschirmgeräten weit unterhalb der natürlichen Strahlenbelastung.

LCD-Bildschirme erzeugen aufgrund der Technik zur Bilderzeugung keine ionisierende Strahlung.

Optische Strahlung

Optische Strahlung wird in Ultraviolett-Strahlung (UV), sichtbare Strahlung (Licht) und Infrarot-Strahlung (IR) unterschieden. Die Strahlung im sichtbaren Spektralbereich ist hierbei die erwünschte Form, da die Anzeigefunktion der Bildschirme über das sichtbare Licht erfolgt.

Bei CRT-Bildschirmgeräten werden alle drei genannten Strahlungsarten im Inneren der Geräte erzeugt, wenn der Elektronenstrahl der Röhre auf die fluoreszierende Schicht auftrifft. IR-Strahlung wird darüber hinaus auch von der Kathodenheizung der Bildröhre erzeugt.

Die in den CRT-Monitoren erzeugte UV-Strahlung wird praktisch vollständig im Röhrenglas absorbiert. Die außen auf der Bildschirmoberfläche noch messbare Intensität ist daher sehr gering [6]. So liegt z. B. die maximal gemessene Bestrahlungsstärke im UV-A-Bereich unter 10 mW/m² [7]. Die Werte für UV-B-Strahlung liegen um drei bis sechs Größenordnungen darunter. Für eine Arbeitsschicht von acht Stunden entspricht die UV-A-Bestrahlung weniger als 288 J/m². Dieser Wert ist mit dem von der Internationalen Kommission für den Schutz vor nichtionisie-

7 Arbeitsplatz

render Strahlung (ICNIRP) empfohlenen Grenzwert für das Auge von $10\,000\text{ J/m}^2$ [8 bis 10] zu vergleichen. Die Emission von UV-Strahlung aus CRT-Bildschirmen führt daher nicht zur Gefährdung von Personen.

Die von CRT-Monitoren zur Informationsdarstellung emittierte sichtbare Strahlung liegt in ihrer Intensität weit unterhalb derjenigen, die zur Schädigung der Augen führen könnte.

Die Emission von IR-Strahlung aus den CRT-Bildschirmgeräten ist ebenfalls vernachlässigbar gering [6]. So liegt die gemessene Bestrahlungsstärke bei 200 mW/m^2 [7], wohingegen der empfohlene ICNIRP-Grenzwert $100\,000\text{ mW/m}^2$ beträgt [11]. Damit sind auch durch IR-Strahlenemissionen keine gesundheitlichen Gefährdungen zu erwarten.

Bei LCD-Bildschirmen treten neben der gewünschten sichtbaren Strahlung auch UV- und IR-Strahlungsanteile auf. Ihre Intensität ist jedoch gering und entspricht etwa der Intensität von UV- und IR-Strahlenemissionen aus üblichen Leuchtstoffröhren. Somit treten auch bei LCD-Bildschirmen weder durch den sichtbaren Strahlungsanteil noch durch UV- und IR-Strahlungsemissionen Gefährdungen für die Benutzer auf.

7.3.2 Robustheit von Bildschirmen gegenüber Beleuchtung

Bildschirme haben eine Oberfläche aus optisch durchsichtigem Material und reflektieren einen Teil des auftreffenden Lichtes. Dies erfolgt gerichtet als Spiegelungen (z. B. bei unbehandelten Bildschirmoberflächen) oder gestreut (z. B. bei aufgerauten Bildschirmoberflächen).

Störende Reflexionen und Spiegelungen erschweren die Arbeit an Bildschirmgeräten, weil sich der Zeichenkontrast verringert und damit die Erkennbarkeit der Zeichen verschlechtert. Außerdem muss der Benutzer eine erhöhte Aufmerksamkeit darauf verwenden, die Bildschirminformation trotz störender Reflexionen und Spiegelungen eindeutig aufzunehmen. Je deutlicher solche Spiegelbilder sind, umso belastender wirken sie sich auf den Benutzer aus. Aus diesem Grund sollten nur entspiegelte Bildschirme verwendet werden. Bereits bei der Beschaffung von Bildschirmen ist es deshalb sehr wichtig, auf deren gute Entspiegelung zu achten. Dies gilt besonders für Notebooks, die oft unter nicht idealen Beleuchtungsbedingungen benutzt werden.

Früher wurden gemäß DIN EN ISO 9241-7 [12] und DIN EN ISO 13406-2 [13] Bildschirme in ihren Reflexionseigenschaften, für Positiv- und Negativdarstellung getrennt, in drei Reflexionsklassen eingeteilt. Die heute gültige Norm DIN EN ISO 9241-307 [14] sieht dagegen die bisherigen Reflexionsklassen nicht mehr vor. Stattdessen gibt sie Prüfbedingungen an, unter denen die Reflexionen des Bildschirms messtechnisch ermittelt werden (Tabelle 11). Entsprechend enthalten Zertifikate zur geprüften Sicherheit (GS) heutzutage folgende Angaben:

Lichtquelle mit großflächiger Öffnung = 200 cd/m^2

und

Lichtquelle mit kleinflächiger Öffnung = $2\,000\text{ cd/m}^2$, dies entspricht der alten Reflexionsklasse I

Ein so entspiegelter Bildschirm kann bedenkenlos in allen Büroumgebungen eingesetzt werden und wird deshalb uneingeschränkt empfohlen.

Weil die Reflexionseigenschaften von Bildschirmen darstellungsabhängig sind, gibt es eventuell unterschiedliche Angaben für Positiv- und Negativdarstellung. Ist das nicht der Fall, wird der Bildschirm entweder nur für Positiv- oder Negativdarstellung angeboten oder er hat in beiden Darstellungsarten die gleichen Reflexionseigenschaften.

In Ergänzung zu diesen Antireflexionsmaßnahmen bewirkt die Darstellung dunkler Zeichen auf hellem Untergrund (Positivdarstellung), dass sich nicht ganz vermeidbare

Reflexionen und Spiegelungen weniger störend auswirken und eine flexiblere Aufstellung innerhalb der Arbeitsumgebung ermöglicht wird.

Weiterhin sollte beachtet werden, dass die Unterscheidbarkeit von Farben, d. h., der Farbabstand zwischen zwei Farben, mit zunehmender Beleuchtung des Bildschirms durch die Umgebungsbeleuchtung schlechter wird, insbesondere bei gut entspiegelten Bildschirmen. Dies trifft auch auf Leuchtdichten und Kontraste zu, allerdings in schwächerer Ausprägung. Deshalb geben Hersteller inzwischen an, für welche Beleuchtungsstärke auf dem Bildschirm dieser geeignet ist. In technischen Datenblättern und GS-Zertifikaten wird dazu die

Tabelle 11:
Reflexionsklassen gemäß DIN EN ISO 9241-307
und alte Reflexionsklassen gemäß DIN EN ISO 13406-2

Reflexionsklassen nach DIN EN ISO 9241-307 Leuchtdichte von gerichtet reflektierten Lichtquellen in cd/m ²	Passende Umgebung	Alte Reflexions- klasse nach DIN EN ISO 13406-2
$L_{\text{großfl}} = 200$ und $L_{\text{kleinfl}} = 2\ 000$	Bildschirme dieses Typs können in jeder Büroumgebung eingesetzt werden.	I
$L_{\text{großfl}} = 200$ oder $L_{\text{kleinfl}} = 2\ 000$	Bei diesen Bildschirmen ist bei nicht idealen Beleuchtungsbedingungen oder fensternaher Aufstellung der Geräte eventuell mit störenden Reflexionen auf dem Bildschirm zu rechnen.	II
$L_{\text{großfl}} = 125$ oder $L_{\text{kleinfl}} = 200$	Bei diesen Bildschirmen sind Störungen durch Reflexionen in der Regel so stark, dass diese Geräte für Büroarbeit in normalen Büroumgebungen nicht infrage kommen.	III

großfl = großflächige Lichtquelle

kleinfl = kleinflächige Lichtquelle

7 Arbeitsplatz

vorgesehene Bildschirmbeleuchtungsstärke in Lux angegeben. Es handelt sich hierbei um die maximal zulässige Beleuchtungsstärke auf dem Bildschirm durch die Umgebungsbeleuchtung. Die tatsächliche Beleuchtungsstärke auf einem Bildschirm kann durch Auflegen eines Beleuchtungsstärkemessers (Messkopf nach außen!) direkt am jeweiligen Arbeitsplatz gemessen werden.

Damit Bildschirme auch an fensternahen Arbeitsplätzen noch unterscheidbare Farben liefern, werden Bildschirme empfohlen, für die vorgesehene Bildschirmbeleuchtungsstärken von mindestens 1500 bis 2000 lux ausgewiesen werden. Spiegelnde Bildschirme sind zwar unempfindlicher gegenüber hohen Beleuchtungsstärken, aber wegen der stärkeren Reflexionen für Büroumgebungen nicht geeignet (siehe oben).

Zusätzliche auf den Bildschirm angebrachte Filter verschlechtern häufig die Darstellung und sollten deshalb nur nach sorgfältiger Abwägung aller Einflussfaktoren Verwendung finden. So sollte z. B. ein Helligkeitsverlust nach Anbringen eines Filters durch Nachregelung der Bildschirmhelligkeit ausgeglichen werden können.

7.3.3 Literatur

- [1] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit an Bildschirmgeräten (Bildschirmarbeitsverordnung – BildscharbV) vom 4. Dezember 1996. BGBl. I (1996), S. 1843-1845; zul. geänd. BGBl. I (2008), S. 2768
- [2] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Bildschirm- und Büroarbeitsplätze – Leitfaden für die Gestaltung (BGI 650). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg 2012
- [3] Handbuch Nichtionisierende Strahlung. Hrsg.: Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik (BGFE), Köln 1999 – Losebl.-Ausg.
- [4] Berufsgenossenschaftliche Vorschriften für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit: Elektromagnetische Felder (BGV B 11) (06.01). Carl Heymanns, Köln 2001
- [5] *Lauterbach, U.*: Strahlenexposition durch Datensichtgeräte. In: PTB-Berichte – Serie Dosimetrie Nr. 10. Hrsg.: Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig 1984
- [6] *Bittighofer, P. M.*: Strahlenemissionen aus Bildschirmgeräten. *Arbeitsmed. Sozialmed. Präventionsmed.* 23 (1988) Nr. 11, S. 269-274
- [7] *Marriott, I. A.; Stuchly, M. A.*: Health aspects of work with visual display terminals. *J. Occup. Med.* 28 (1986) Nr. 9, S. 833-848

- [8] International Commission on Non-ionizing Radiation Protection: Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (Incoherent Optical Radiation). Health Physics 49 (1985) Nr. 2, S. 331-340
- [9] International Commission on Non-ionizing Radiation Protection: Proposed Change to the IRPA 1985 Guidelines on Limits of Exposure to Ultraviolet Radiation. Health Physics 56 (1989) Nr. 6, S. 971-972
- [10] International Commission on Non-ionizing Radiation Protection: Guidelines on UV radiation exposure. Health Physics 71 (1996) Nr. 6, S. 978
- [11] International Commission on Non-ionizing Radiation Protection: Guidelines on Limits of Exposure to broadband incoherent optical radiation (0,38 to 3 μm). Health Physics 73 (1997) Nr. 3, S. 539-554
- [12] DIN EN ISO 9241-7: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten – Teil 7: Anforderungen an visuelle Anzeigen bezüglich Reflexionen (12.98). Beuth, Berlin 1998 (zurückgezogen)
- [13] DIN EN ISO 13406-2: Ergonomische Anforderungen für Tätigkeiten an optischen Anzeigeeinheiten in Flachbauweise – Teil 2: Ergonomische Anforderungen an Flachbildschirme (12.03). Beuth, Berlin 2003 (zurückgezogen)
- [14] DIN EN ISO 9241-307: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 307: Analyse- und Konformitätsverfahren für elektronische optische Anzeigen (06.09). Beuth, Berlin 2009