



Innenraumarbeitsplätze – Vorgehensempfehlung für die Ermittlungen zum Arbeitsumfeld

Innenraumarbeitsplätze – Vorgehensempfehlung für die Ermittlungen zum Arbeitsumfeld

Report der gewerblichen Berufsgenossenschaften,
der Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand und des
Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)

Zusammengestellt von: Nadja von Hahn und Horst Kleine,
Institut für Arbeitsschutz der
Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)

Erarbeitet von: Arbeitsgruppe „Handlungsanleitung Innenräume“
unter Mitarbeit von Ute Bagschik, Isabel Warfolomeow,
Berufsgenossenschaft Holz und Metall; Fritz Börner,
Dietmar Breuer, Yvonne Giesen, Ralf Hertwig,
Thomas von der Heyden, Annette Kolk, Simone Peters,
Harald Siekmann (IFA); Elke Danhamer, Jürgen Fauss,
Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastgewerbe;
Christoph Deininger, Berufsgenossenschaft für Gesundheits-
dienst und Wohlfahrtspflege; Christian Felten, Ulrich Metzdorf,
Berufsgenossenschaft für Transport und Verkehrswirtschaft;
Markus Fischer, Gabriele Franke, Bernhard Küter, Peter Michels,
Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeug-
nisse; Hans-Peter Fröhlich, Berufsgenossenschaft Handel und
Warendistribution; Norbert Kluger, Berufsgenossenschaft der
Bauwirtschaft; Heinz-Dieter Neumann, Unfallkasse Nordrhein-
Westfalen; Sylke Neumann, Jens Petersen, Klaus Pohl,
Verwaltungs-BG; Kirsten Sucker (Institut für Prävention und
Arbeitsmedizin der DGUV – Institut der Ruhr-Universität Bochum
(IPA); Ingrid Thullner, Unfallkasse Hessen

Broschürenversand: bestellung@dguv.de

Publikationsdatenbank: www.dguv.de/publikationen

Umschlagbild: © Nmedia

Herausgeber: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV)
Mittelstraße 51, D – 10117 Berlin
Telefon: 030 288763800
Telefax: 030 288763808
Internet: www.dguv.de
E-Mail: info@dguv.de
– 3., komplett überarbeitete Auflage, September 2013 –

Satz und Layout: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV)

Druck: DCM – Druck Center Meckenheim

ISBN (print): 978-3-86423-065-3
ISBN (online): 978-3-86423-066-0

Kurzfassung

Innenraumarbeitsplätze – Vorgehensempfehlung für die Ermittlungen zum Arbeitsumfeld

Innenraumarbeitsplätze finden sich in ganz unterschiedlichen Arbeitsumgebungen wie Büros, Verkaufsräumen, Krankenhäusern, Schulen, Kindergärten oder Bibliotheken. An solchen Arbeitsplätzen gibt es laut Definition keine Tätigkeiten mit Gefahrstoffen (wie z. B. in einem chemischen Labor) und es handelt sich auch nicht um Lärmbereiche (wie z. B. in einer Werkstatt).

Beschwerden von Beschäftigten an solchen Arbeitsplätzen werden häufig als Sick-Building-Syndrom bezeichnet: Augenbrennen, Kratzen im Hals, verstopfte Nase oder Kopfschmerzen sind die Symptome. Oft lassen sich die Probleme nicht auf eine einzige Ursache zurückführen, sondern bedürfen einer umfassenden Analyse. Neben der Qualität der Atemluft sind u. a. das Raumklima, störende Geräusche, die Beleuchtung, die Arbeitsplatzgestaltung und psychische Faktoren wie z. B. Stress zu berücksichtigen.

Die Vorgehensempfehlung „Innenraumarbeitsplätze – Ermittlungen zum Arbeitsumfeld“ soll in ihrer dritten komplett überarbeiteten Auflage helfen, gesundheitlichen Problemen und Befindlichkeitsstörungen an Innenraumarbeitsplätzen systematisch auf den Grund zu gehen und praxistaugliche Lösungen zu finden. Sie beschreibt ein auf die Praxis zugeschnittenes Konzept zur stufenweisen Ursachenermittlung, das alle wesentlichen Faktoren berücksichtigt, die nach heutigem Kenntnisstand als Ursache für Innenraumprobleme in Erwägung zu ziehen sind. Dabei werden Themenbereiche wie gesundheitliche Beschwerden, Gebäude, Einrichtungen, Arbeitsplatzgestaltung, physikalische, chemische und biologische Einwirkungen sowie psychische Faktoren abgedeckt. Die einzelnen Bausteine enthalten eine Fülle von Informationen für den Anwender, die über den Rahmen der Ermittlung in Beschwerdefällen hinausgehen, aber für das tiefere Verständnis notwendig sind. Zugleich können sie als Grundlage für die Neugestaltung von beschwerdefreien und leistungsfördernden Arbeitsbedingungen in Innenräumen dienen.

Abstract

Indoor workplaces: procedure for investigation of the working environment

Indoor workplaces are found in a wide variety of working environments such as offices, sales areas, hospitals, schools and preschool childcare facilities, and libraries. By definition, tasks involving hazardous substances (such as those encountered in a chemical laboratory) are not performed at such workplaces, nor do they include high-noise areas, such as workshops.

The complaints of employees at such workplaces are frequently described as sick-building syndrome. Symptoms include burning of the eyes, a scratchy throat, blocked nose, and headaches. These problems often cannot be attributed to a single cause, and require comprehensive analysis. Factors such as the room climate, disturbing sounds, lighting, workplace organization, and mental factors such as stress must also be considered, besides the quality of the breathable air.

The present report, “Indoor workplaces: procedure for investigation of the working environment”, now in a third and completely revised edition, is intended to assist in the systematic investigation of health problems and subjective disorders arising at indoor workplaces, and in the identification of practical solutions. It describes a concept, geared to use in the field, for step-by-step identification of the causes, giving consideration to all essential factors which according to present knowledge must be considered possible causes of problems in indoor areas. Topics covered include health complaints, buildings, facilities, workplace organization, physical, chemical and biological hazards, and mental factors. The individual elements contain a wealth of information for the user which extends beyond investigation in response to complaints. This information is required for a greater understanding of the issues and serves at the same time as a basis for the redesign of workplaces in indoor areas such that they enhance performance and do not give rise to complaints.

Résumé

Procédure pour les investigations relatives à l'environnement des postes de travail d'intérieur

Il existe des postes de travail d'intérieur de natures très diverses dans des bureaux, des points de vente, des hôpitaux, des écoles, des jardins d'enfants, des bibliothèques, etc. Par définition, les personnes occupant de tels postes de travail ne manipulent pas de substances dangereuses (comme dans un laboratoire chimique par ex.) et ne sont soumises à aucune nuisance sonore importante (comme dans un atelier par ex.).

Les troubles dont elles souffrent sont souvent désignés par le terme « sick building syndrome », qui se manifeste par les symptômes suivants : yeux qui piquent, gorge qui gratte, nez bouché ou maux de tête. Il arrive fréquemment que ces problèmes ne soient pas imputables à une cause unique mais nécessitent une analyse approfondie. Outre la qualité de l'air, il faut également tenir compte, entre autres, du climat ambiant, des nuisances sonores, de l'éclairage, de l'aménagement du poste de travail et de facteurs psychiques tels que le stress, par exemple.

La troisième édition, entièrement remaniée, de la recommandation « Procédure pour les investigations relatives à l'environnement des postes de travail d'intérieur » doit faciliter la recherche systématique des causes des problèmes de santé et des indispositions rencontrés à des postes de travail d'intérieur et aider à trouver des solutions pouvant être mises en pratique. Dans cette recommandation est décrit un concept pour la détermination par étapes des causes de ces problèmes de santé et indispositions qui est axé sur la pratique et prend en considération tous les facteurs importants pouvant entrer en ligne de compte d'après les connaissances actuelles. Des thèmes tels que problèmes de santé, bâtiment, mobilier, aménagement du poste de travail, environnement physique, chimique et biologique ainsi que facteurs psychiques sont pris en compte. Les différents modules offrent à l'utilisateur une multitude d'informations qui sortent du cadre des investigations faisant suite à des problèmes de santé mais qui sont nécessaires pour une parfaite compréhension, et qui peuvent également servir de base pour l'aménagement de postes de travail d'intérieur n'entraînant pas de problèmes de santé et augmentant le rendement des travailleurs.

Resumen

Puestos de trabajo en espacios interiores; modo de proceder en las investigaciones sobre el entorno laboral

Los puestos de trabajo en espacios interiores se dan en entornos laborales muy distintos, como por ejemplo oficinas, tiendas, hospitales, escuelas, guarderías o bibliotecas. De acuerdo con la definición, en estos puestos de trabajo no se llevan a cabo actividades relacionadas con materias peligrosas (como, por ejemplo, en un laboratorio químico) ni tampoco se encuentran en zonas ruidosas (como, por ejemplo, en una fábrica).

En tales puestos de trabajo, las molestias de los empleados se suelen considerar a menudo un «síndrome del edificio enfermo» (SBS, por sus siglas en inglés): los síntomas suelen ser picor en los ojos, irritación de garganta, congestión nasal o dolor de cabeza. Por lo general, no es posible atribuir estos problemas a una única causa, sino que es necesario llevar a cabo un amplio análisis. Además de la calidad del aire, también se han de tener en cuenta, entre otras cosas, el clima ambiental, los ruidos molestos, la iluminación, la organización del lugar de trabajo y los factores psíquicos, como por ejemplo el estrés.

El modo de proceder recomendado en la tercera edición totalmente revisada de «Puestos de trabajo en espacios interiores; modo de proceder en las investigaciones sobre el entorno laboral» debe ayudar a detectar sistemáticamente los problemas de salud y los trastornos en el estado anímico originados en los puestos de trabajo en espacios interiores y a encontrar soluciones que se puedan llevar a la práctica. Este modo de proceder describe un concepto adaptado a la práctica para la investigación gradual de las causas que tiene en cuenta todos aquellos factores importantes que se deben barajar como causa de los problemas en los espacios interiores conforme al nivel de conocimientos actual. Para ello, se abarcan temas como problemas de salud, edificios, instalaciones, diseño del lugar de trabajo, impacto físico, químico y biológico, así como los factores psíquicos. Cada uno de los módulos contiene una gran cantidad de información para los usuarios que va más allá del marco de investigación en caso de molestias, pero que es necesaria para poder comprenderlo más en profundidad y que, al mismo tiempo, puede servir como base para la remodelación de las condiciones laborales y para crear espacios interiores libre de molestias y que ofrezcan un mayor rendimiento.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einleitung	13
2 Ermittlungen zum Vorkommen und zur Art gesundheitlicher Beschwerden	17
2.1 Allgemeine Hinweise	17
2.2 Gesprächsleitfaden zur Ermittlung der gesundheitlichen Beschwerden	19
2.3 Bewertung.....	20
3 Ermittlungen zum Arbeitsumfeld	21
4 Geruch und Geruchssinn	23
4.1 Das olfaktorische Sinnessystem der Nase.....	23
4.2 Geruchsschwellenwerte aus der Literatur.....	24
4.3 Geruchsempfindungen.....	24
4.4 Der Nocebo-Effekt	25
4.5 Literatur	26
5 Spezielle arbeitsmedizinische Untersuchungen.....	27
6 Gebäude und Einrichtung.....	29
6.1 Gebäudeparameter	29
6.2 Raumlufttechnische Anlagen	30
6.2.1 Klassifizierung von RLT-Anlagen	30
6.2.2 Hinweise zur Ermittlung.....	31
6.2.3 Hinweise zur Auswertung.....	33
6.2.4 Literatur	34

6.3	Beleuchtung in Büroräumen	36
6.3.1	Allgemeine Hinweise	36
6.3.2	Tageslicht.....	36
6.3.3	Gütemerkmale der Beleuchtung	37
6.3.4	Instandhaltung	39
6.3.5	Überprüfung von Beleuchtungsanlagen	40
6.3.6	Literatur	41
6.4	Materialien.....	42
6.4.1	Allgemeine Hinweise	42
6.4.2	Baustoffe und Bauchemikalien	44
6.4.3	Möbel	46
6.4.4	Teppichböden	49
6.4.5	Literatur	51
7	Arbeitsplatz	55
7.1	Arbeitsplatzgestaltung	56
7.1.1	Ermittlung und Beurteilung des Arbeitsplatzes.....	56
7.1.2	Verringerung von Muskel-Skelett-Belastungen	56
7.1.3	Literatur	57
7.2	Laserdrucker und -kopierer.....	59
7.2.1	Staub.....	61
7.2.2	Metalle.....	61
7.2.3	Ozon	61
7.2.4	Flüchtige organische Verbindungen (VOC)	62
7.2.5	Gesamtbeurteilung.....	63
67.2.6	Literatur	64
7.3	Bildschirmgeräte.....	66
7.3.1	Strahlenemission von Bildschirmgeräten.....	66
7.3.2	Robustheit von Bildschirmen gegenüber Beleuchtung	68
7.3.3	Literatur	70
8	Lärm	73
8.1	Allgemeine Hinweise	73
8.2	Regelwerk	73
8.3	Extraurale Wirkungen von Lärm.....	74

8.4	Kennwert und Richtwerte für extraaurale Wirkungen von Geräuschen am Arbeitsplatz	75
8.5	Hinweise zur Durchführung von Messungen.....	77
8.6	Ermittlung des Beurteilungspegels aus Messungen in Teilzeiten	78
8.7	Messunsicherheit.....	79
8.8	Lärm im Bildungsbereich.....	80
8.9	Raumakustische Maßnahmen	80
8.10	Literatur	81
9	Raumklima	83
9.1	Raumklimacheck.....	85
9.2	Raumklimabeurteilung	85
9.3	Literatur	91
10	Elektrostatische und elektromagnetische Felder	93
10.1	Elektrostatische Felder	93
10.2	Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder	96
10.3	Vorschriften und Grenzwerte.....	108
10.4	Zusammenfassung.....	112
10.5	Literatur	113
11	Ionisierende Strahlung (Radon)	115
11.1	Natürliche Strahlenexposition	115
11.2	Radon	115
11.3	Biologische Wirkung.....	117
11.4	Radon an Arbeitsplätzen	118
11.5	Ermittlung	118
11.6	Bewertung.....	119
11.7	Maßnahmen.....	120
11.8	Literatur	121
12	Chemische Einwirkungen	123
12.1	Allgemeine Hinweise zur Ermittlung chemischer Einwirkungen.....	124
12.2	Messung chemischer Einwirkungen	127
12.2.1	Messstrategie	128

12.2.2	MGU-Messprogramm „Innenraummessungen“	130
12.2.3	Bestimmung der Luftwechselzahl	133
12.2.4	Messverfahren für weitere Stoffe	134
12.2.5	Literatur	134
12.3	Beurteilung von chemischen Einwirkungen	137
12.3.1	Richtwerte des Umweltbundesamtes für die Innenraumluft	138
12.3.2	WHO-Leitlinien (Air Quality Guidelines).....	138
12.3.3	Ableitung von Referenzwerten für Einzelstoffe.....	142
12.3.4	Literatur	147
12.4	Spezifische Informationen zu einzelnen Stoffen und Stoffgruppen	149
12.4.1	Kohlendioxid	149
12.4.2	Ozon	151
12.4.3	Formaldehyd	152
12.4.4	Flüchtige organische Verbindungen	152
12.4.5	Quecksilber in Kompaktleuchtstofflampen (Energiesparlampen) und Leuchtstoffröhren	157
12.4.6	Stäube	157
12.4.7	Phthalate	159
12.4.8	Insektizide	160
12.4.9	Pentachlorophenol (PCP) und Lindan als Holzschutzmittel.....	162
12.4.10	Polychlorierte Biphenyle (PCB)	165
12.4.11	Literatur	169
13	Biologische Einwirkungen	175
13.1	Einführung	175
13.2	Vorkommen von biologischen Agenzien.....	175
13.3	Aufnahme und Wirkung von biologischen Agenzien	177
13.4	Ermittlung und Messverfahren	180
13.5	Beurteilung	182
13.6	Präventions- und Sanierungsmaßnahmen	187
13.7	Literatur	188
14	Psychische Faktoren von Innenraumbelastungen	191
14.1	Erhebungsmethoden.....	192
14.2	Methodeneinsatz	192
14.3	Literatur	193

Anhang 1:

Ermittlungen zum Vorkommen und zur Art
gesundheitlicher Beschwerden – Ermittlungsbogen G1..... 195

Anhang 2:

Auswertungsschema zum Ermittlungsbogen G1..... 199

Anhang 3:

Ermittlungen zum Arbeitsumfeld – Ermittlungsbogen G2 207

Anhang 4:

Beispiel zur Bestimmung des Beurteilungspegels..... 213

Anhang 5:

Hilfen zur Quellensuche 215

Anhang 6:

Stichwortverzeichnis..... 223

1 Einleitung

H. Kleine, Sankt Augustin

N. von Hahn, Sankt Augustin

Die vorliegende Vorgehensempfehlung „Ermittlungen zum Arbeitsumfeld an Innenraumarbeitsplätzen“ enthält eine gestufte modular aufgebaute Ermittlungs- und Beurteilungsstrategie bei Problemen an Innenraumarbeitsplätzen. Sie wurde in interdisziplinärer Zusammenarbeit entwickelt und berücksichtigt alle wesentlichen Faktoren, die nach heutigem Stand der Kenntnis als Ursachen für Beschwerden an Innenraumarbeitsplätzen in Erwägung zu ziehen sind. Neben der Qualität der Atemluft sind u. a. das Raumklima, der Lärm, die Beleuchtung, elektromagnetische Felder und ionisierende Strahlung zu berücksichtigen. Daneben sind aber auch psychische und ergonomische Aspekte zu beachten, die häufig als „verdeckte“ Ursachen von Beschwerden anzusehen sind.

Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen zählt zu Innenräumen [1]

Wohnungen mit Wohn-, Schlaf-, Bastel-, Sport- und Kellerräumen, Küchen und Badezimmer; Arbeitsräume bzw. Arbeitsplätze in Gebäuden, die nicht im Hinblick auf Luftschadstoffe arbeitsschutzrechtlichen Kontrollen unterliegen (z. B. Büros, Verkaufsräume); öffentliche Gebäude (Krankenhäuser, Schulen, Kindergärten, Sporthallen, Bibliotheken, Gaststätten, Theater, Kinos und andere Veranstaltungsräume) sowie die Aufenthaltsräume von Kraftfahrzeugen und allen öffentlichen Verkehrsmitteln.

Als Innenraumarbeitsplätze im Sinne dieser Vorgehensempfehlung kommen alle vom Rat von Sachverständigen für Umweltfragen genannten Räume mit Ausnahme von Wohnungen, Kraftfahrzeuginnenräumen und allen öffentlichen Verkehrsmitteln in Betracht, an denen keine Tätigkeiten mit Gefahrstoffen (wie z. B. in einem chemischen Labor) durchgeführt werden und bei denen es sich auch nicht um Lärmbereiche (wie z. B. in einer Werkstatt) handelt. Darüber hinaus können auch Tätigkeiten mit geringer Gefährdung im Sinne der Gefahrstoffverordnung [2] in den Anwendungsbereich der Vorgehensempfehlung fallen. Die Erfüllung der Voraussetzungen ist im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung abzuklären. Für Arbeitsplätze in Gaststätten sind die üblichen Beurteilungsmodelle für die Luftqualität in Innenräumen nicht geeignet und sie werden daher nicht weiter behandelt.

Beschwerden von Beschäftigten an Innenraumarbeitsplätzen werden häufig als Sick-Building-Syndrom bezeichnet: Augenbrennen, Kratzen im Hals, verstopfte Nase oder Kopfschmerzen sind die Symptome. Die Ursachen für Beschwerden an Innenraumarbeitsplätzen sind sehr vielschichtig. Ihnen auf den Grund zu gehen, ist in der Regel schwierig. Die von den betroffenen Personen subjektiv geäußerten Vermutungen über Ursachen führen oft in die falsche Richtung. So werden unter Umständen teure Luftschadstoffmessungen in Auftrag gegeben, obwohl

1 Einleitung

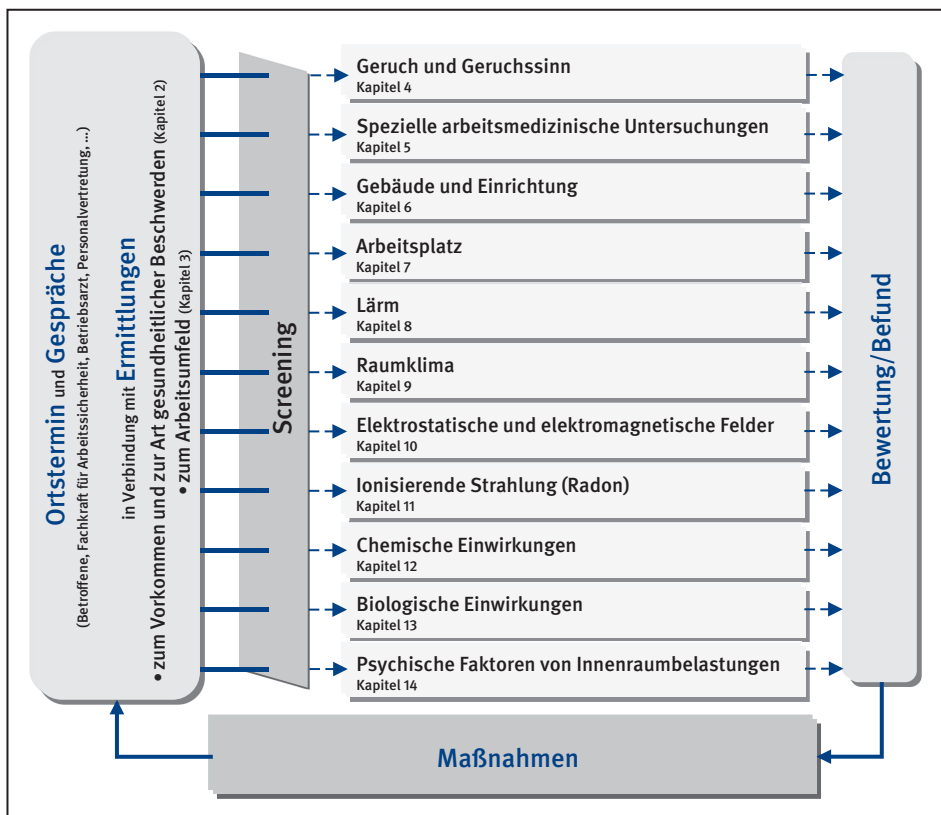
die Ursache der Beschwerden beispielsweise eine unzureichende Beleuchtung ist.

Um die nur begrenzt vorhandenen Mittel und Möglichkeiten zur Ursachenfindung effektiv zu nutzen, ist es erforderlich, die Ermittlungsmethodik zu systematisieren und zu objektivieren. Diese Vorgehensempfehlung sieht in einem ersten Schritt vor, Art und Häufigkeit der Beschwerden zu ermitteln. Gleichzeitig sind erste Ermittlungen zum Arbeitsumfeld notwendig, um die wahrscheinlichen Ursachen der Beschwerden

eingrenzen zu können. Bereits zu diesem Zeitpunkt empfehlen sich auch ein Ortstermin und Gespräche mit den Betroffenen (Abbildung 1). An dem Ortstermin und den Gesprächen sollten u. a. der Betriebsarzt und die Fachkraft für Arbeitssicherheit teilnehmen.

Auf der Basis der Ergebnisse können im Anschluss gezielt spezielle Ermittlungen zu einzelnen Themen unabhängig voneinander ausgewählt werden. Die möglichen Themen sind in Abbildung 1 schematisch angegeben

Abbildung 1:
Gestuftes modular aufgebautes Ermittlungskonzept



und werden in der Vorgehensempfehlung jeweils in gesonderten Kapiteln behandelt. Diese Themenkapitel liefern Hintergrundinformationen, Ermittlungshilfen, Messstrategien und Bewertungsgrundlagen zu unterschiedlichen Parametern, die ursächlich für Beschwerden an Innenraumarbeitsplätzen sein können. Zwischen einigen Themenfeldern bestehen Verknüpfungen, auf die innerhalb der jeweiligen Kapitel hingewiesen wird.

Bei Bedarf sollten zusätzlich entsprechende Fachleute herangezogen werden, da die Themen zum Teil sehr komplex sind. Die in den Themenkapiteln erwähnten Ermittlungsbögen können auf den Internetseiten des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) heruntergeladen werden (www.dguv.de/ifa, Webcode d6274).

Gelegentlich können am Arbeitsplatz auftretende Probleme auf Ursachen im privaten Bereich zurückgeführt werden. In dieser

Vorgehensempfehlung wird versucht, auch solche Ursachen zu erfassen. Die weitere Behandlung fällt in derartigen Fällen jedoch nicht in den Zuständigkeitsbereich der Unfallversicherungsträger und bleibt hier deshalb unberücksichtigt. Denkbar ist natürlich auch der Fall, dass die Ermittlungen keine Lösung des Problems erlauben. Hier müssen dann ebenfalls andere Wege zur Lösung gefunden werden.

Literatur

- [1] Luftverunreinigungen in Innenräumen. Sondergutachten des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen vom Mai 1987. Deutscher Bundestag (1987), Drucksache 11/613
- [2] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) vom 26. November 2010, BGBl. I (2010) Nr. 59, S. 1643-1692; zul. geänd. BGBl. (2013), S. 2514-2534

2 Ermittlungen zum Vorkommen und zur Art gesundheitlicher Beschwerden

J. Petersen, Hamburg

K. Sucker, Bochum

2.1 Allgemeine Hinweise

Beschwerden über gesundheitliche Beeinträchtigungen sind in der Regel Anlass, sich mit der Frage möglicher Belastungen am Arbeitsplatz zu befassen. Sie lassen sich, sofern es sich nicht um Unfälle handelt, in der Regel nicht eindeutig einem einzelnen Ereignis zuordnen. Für gewöhnlich gibt es mehrere auslösende Faktoren und auch das Erleben der gesundheitlichen Beschwerden ist von Person zu Person sehr unterschiedlich. Aus diesen Gründen sind die von den Betroffenen geschilderten Symptome nicht so einfach zu erfassen wie z. B. das Baujahr eines Hauses.

Im Rahmen des ersten Ortstermins können im Gespräch Informationen zur Art der gesundheitlichen Beschwerden, zur Anzahl der Betroffenen und zu den vermuteten Ursachen gesammelt werden, um einen ersten Überblick zu erhalten.

In Tabelle 1 (siehe Seite 18) sind beispielhaft einige mögliche gesundheitliche Beschwerden zu einzelnen Körperbereichen aufgeführt. Die Erfahrung hat gezeigt, dass es hilfreich ist, wenn der Betriebsarzt von Anfang an eingebunden wird.

Zur Vorbereitung des Gesprächs kann der in Abschnitt 2.2 dargestellte **Gesprächsleitfaden** genutzt werden. Mit den Fragen soll versucht werden, bestehende gesundheitliche Beschwerden möglichst arbeitsplatzorientiert zu erfassen. Dabei sollte bewusst darauf geachtet werden, den Betroffenen die Beschwerden durch eine Abfrage der einzelnen Symptome nicht bereits in den Mund zu legen. Ein Gespräch bietet die Möglichkeit, „zwischen den Zeilen“ Informationen zu erhalten, die häufig bei den unter Umständen erforderlichen weiteren Schritten von Bedeutung sind.

Eine umfassendere Ermittlung der gesundheitlichen Beschwerden ermöglicht der **Ermittlungsbogen G1** zur gesundheitlichen Situation am Arbeitsplatz (Anhang I). Ein Auswerteschema sowie eine beispielhafte Auswertung finden sich in Anhang II dieser Vorgehensempfehlung.

Auf der Basis der gewonnenen Erkenntnisse lassen sich gezielt spezielle Ermittlungen zu einzelnen Themen unabhängig voneinander auswählen und bei Bedarf spezielle arbeitsmedizinische Ermittlungen und weitergehende diagnostische Schritte einleiten.

2 Ermittlungen zum Vorkommen und zur Art ...

Tabelle 1:
Übersicht über Körperbereiche und mögliche gesundheitliche Beschwerden,
die von Betroffenen geäußert werden können

Körperbereich	Mögliche gesundheitliche Beschwerden
Augen	Brennen, Jucken, Schmerzen, tränende oder trockene Augen, Rötung, Reizung, Entzündung, Lichtempfindlichkeit, verschwommenes Sehen, Flecken vor den Augen, ...
Hals, Nase, Ohren	Schmerzen, Jucken, Reizung, Entzündung, Trockenheit, Speichelfluss, verstopfte Nase, Nasenbluten, ...
Sonstiges im Bereich des Kopfes	Gefühlsstörungen, Kribbeln, Taubheit, Kopfschmerzen (stechend, bohrend, klopfend, pulsierend), ...
Atemwege/Bronchien	Atemnot, Husten, Schleimbildung, vermehrte Infekte, ...
Herz/Kreislauf	Herzklopfen, Herzrasen, Brustschmerzen, niedriger/hohes Blutdruck, Kreislaufschwäche, ...
Haut	Veränderungen, Verfärbung, Rötung, Entzündung, Schuppung, Ausschlag, Quaddeln, Juckreiz, ...
Verdauung	Appetitlosigkeit, Übelkeit, Erbrechen, ...
Bewegungsapparat	Verspannungen, Schmerzen, Bewegungseinschränkungen, Lähmungen, ...
Nervensystem	Gefühlsstörungen, Taubheit, Kribbeln, Lähmungen, Schwindel, Schwäche, Mattigkeit, Müdigkeit, Konzentrationsstörungen, Reizbarkeit, ...

2.2 Gesprächsleitfaden zur Ermittlung der gesundheitlichen Beschwerden

Liebe Mitarbeiterin, lieber Mitarbeiter!

Einige Ihrer Kolleginnen/Kollegen klagen über gesundheitliche Beschwerden, die sie mit ihrem Arbeitsplatz in Verbindung bringen. Wir gehen dieser Frage nach und wollen klären, ob und wo Gesundheitsstörungen in unserem Betrieb auftreten und ob möglicherweise ein Zusammenhang zu den baulichen Gegebenheiten, den Räumen oder Einrichtungen herzustellen ist.

Wenn wir nach gesundheitlichen Störungen fragen, so interessieren uns natürlich nur Erkrankungen oder gesundheitliche Beschwerden, die im Zusammenhang mit der Arbeit auftreten oder aufgetreten sind, nicht jedoch durch einen Unfall erlittene Gesundheitsstörungen, ererbte Krankheiten oder durch sonstige Lebensumstände erworbene Erkrankungen.

Ihre Angaben sind freiwillig, Ihre Antworten werden ohne Namensnennung anonym erfasst. Wir möchten Sie bitten, möglichst vollständige Angaben zu machen.

1. Haben Sie gesundheitliche Beschwerden, die Sie mit Ihrem Arbeitsplatz in Verbindung bringen? Welche sind das genau?
 2. Welche gesundheitlichen Beschwerden empfinden Sie am schlimmsten?
 3. Wurden Sie wegen dieser Beschwerden schon einmal ärztlich untersucht?
 4. Befinden Sie sich wegen dieser Beschwerden in Behandlung?
 5. Wurden Sie wegen dieser Beschwerden schon einmal krankgeschrieben?
 6. Seit wann treten die gesundheitlichen Beschwerden auf (Monat, Jahr)?
 7. Wann genau treten die Beschwerden auf (z. B. Jahreszeit, Wochentag, Tageszeit)?
 8. Werden die gesundheitlichen Beschwerden bei Abwesenheit vom Arbeitsplatz geringer (z. B. nach Beendigung der Arbeit, am Wochenende, im Urlaub)?
 9. Was glauben Sie ist die Ursache für Ihre gesundheitlichen Beschwerden?
 10. Hat es in der letzten Zeit Veränderungen an Ihrem Arbeitsplatz gegeben (z. B. Renovierung, Änderungen in der Organisationsstruktur des Betriebes/der Abteilung, personelle Veränderungen, Änderungen der Zuständigkeiten etc.)?
 11. Haben Sie Allergien?
 12. Rauchen Sie?
 13. Wie alt sind Sie?
-

2 Ermittlungen zum Vorkommen und zur Art ...

2.3 Bewertung

Nach Ortstermin und Gespräch mit den Betroffenen ist eine erste wichtige Erkenntnis die Anzahl der Betroffenen und der Anteil von betroffenen und nicht betroffenen Raumnutzern.

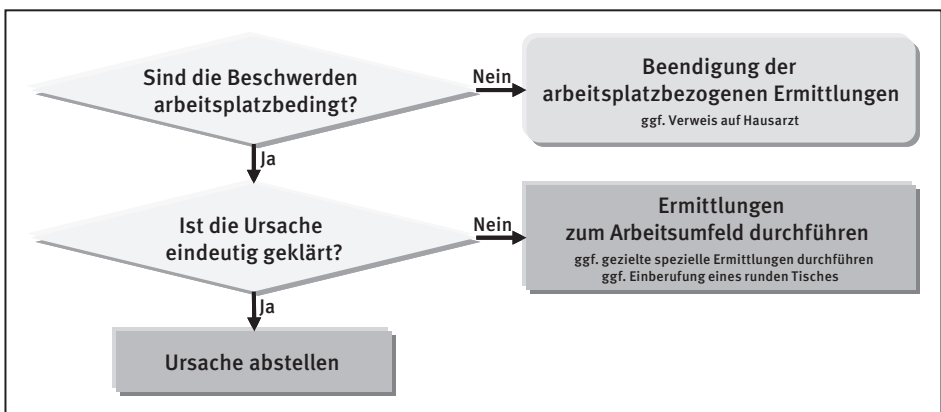
Die Art der gesundheitlichen Beschwerden, insbesondere die am schlimmsten empfundenen, und die Angaben zum Beschwerderückgang bei Abwesenheit vom Arbeitsplatz geben Aufschluss darüber, inwieweit die gesundheitlichen Beschwerden der beruflichen Tätigkeit zugeordnet werden können. Eine gehäufte Nennung einer bestimmten vermuteten Ursache kann einen ersten Hinweis auf die auslösenden Faktoren geben.

Für das weitere Vorgehen ergeben sich die in Abbildung 2 dargestellten Möglichkeiten.

Lässt sich nicht eindeutig klären, ob die gesundheitlichen Beschwerden arbeitsplatzbedingt sind oder nicht, oder ist die Problemlage sehr komplex, empfiehlt es sich, einen „runden Tisch“ mit Vertretern der Betriebsleitung, der betroffenen Mitarbeiter, der Fachkraft für Arbeitssicherheit, des Betriebsarztes und der Personalvertretung einzuberufen. Externe Fachleute wie z. B. eine Aufsichtsperson und ein Arbeitsmediziner der zuständigen Unfallversicherung sollten ebenfalls teilnehmen.

Funktion dieses „runden Tisches“ ist das offene Gespräch über die geschilderten Probleme, deren mögliche Ursachen, die Klärung der jeweiligen Interessen sowie das Absprechen der weiteren Vorgehensweise. Alle Teilschritte sollten gegenüber der Belegschaft offen dargelegt werden. Ein verheimlichender oder konspirativer Umgang mit solchen Problemen erweist sich in der Erfahrung als kontraproduktiv und muss abgelehnt werden.

Abbildung 2:
Weiteres Vorgehen in Abhängigkeit von den Ermittlungsergebnissen



3 Ermittlungen zum Arbeitsumfeld

P. Michels, Köln

H.-D. Neumann, Düsseldorf

Lässt sich aufgrund des Ortstermins, der geführten Gespräche sowie der Ergebnisse der Ermittlungen zum Vorkommen und zur Art gesundheitlicher Beschwerden am Arbeitsplatz auf arbeitsplatzbedingte Beschwerden schließen oder sind solche zumindest nicht sicher auszuschließen, dann sind im nächsten Schritt die wesentlichen Randbedingungen zum Arbeitsumfeld zu ermitteln. Es geht dabei insbesondere um das Gebäude, seine Einrichtung und die technische Ausstattung.

Wurden gesundheitliche Beeinträchtigungen erst ab einem bestimmten Zeitraum festgestellt, stehen diese möglicherweise in einem

Zusammenhang mit Renovierungs- oder Umbaumaßnahmen; auch dies ist zu berücksichtigen.

Die Möglichkeit einer umfassenden Ermittlung zum Arbeitsumfeld bietet der Ermittlungsbogen G2 in Anhang III. Basierend auf den mit ihm erhaltenen Ergebnissen können weniger wahrscheinliche von den eher wahrscheinlichen Ursachen für die genannten Beschwerden getrennt werden. So fällt es im Anschluss leichter, das weitere Vorgehen festzulegen und ggf. die Themen auszuwählen, zu denen gezielt spezielle Ermittlungen erfolgen sollten.

4 Geruch und Geruchssinn

K. Sucker, Bochum

H.-D. Neumann, Düsseldorf

In vielen Fällen ist das Auftreten von Geruch der Auslöser für geäußerte Beschwerden an Innenraumarbeitsplätzen. Die folgenden Hintergrundinformationen sollen helfen, Beschwerden über Geruch richtig zu interpretieren und Möglichkeiten für das weitere Vorgehen aufzeigen.

4.1 Das olfaktorische Sinnessystem der Nase

Unter dem Geruchssinn versteht man ein Sinnessystem, das mithilfe des Geruchsorgans der Wahrnehmung/Empfindung von Geruchsstoffen im Dienste der Umweltorientierung, Nahrungsbeurteilung und Zusammenführung der Geschlechter dient [1].

Die Geruchswahrnehmung [2] beginnt in der Riechschleimhaut. Auf einer Fläche von etwa zwei mal fünf Quadratzentimetern befinden sich zwischen zehn und 30 Millionen Riechsinneszellen. Diese werden im Gegensatz zu allen anderen Nervenzellen etwa alle vier Wochen immer wieder neu gebildet und stehen im direkten Kontakt mit der Außenwelt. Jede Sinneszelle ist immer nur mit einem bestimmten Riechrezeptortyp ausgestattet. Der Mensch besitzt ca. 350 unterschiedliche Riechrezeptoren. Diese Riechrezeptoren weisen ein molekulares Erkennungsvermögen auf. Das bedeutet, dass sie nicht nur auf die Molekülgestalt (Größe, Form), sondern auch auf die chemischen Eigenschaften eines Geruchsmoleküls (Kettenlänge, Anzahl und

Anordnung funktioneller Gruppen etc.) reagieren. Dabei haben sie eine hohe Spezifität (bevorzugte Empfindlichkeit) für bestimmte Molekulareigenschaften, aber auch eine hohe Toleranz gegenüber weiteren chemischen Merkmalen. Daraus ergibt sich, dass ein Rezeptor auf mehrere Geruchsstoffe reagiert und ein einzelner Geruchsstoff durch mehrere Rezeptoren registriert wird.

Am Rezeptor angekommen, löst ein Geruchsstoffmolekül in der Zelle einen elektrischen Impuls aus, der in den Riechkolben im Gehirn weitergeleitet wird. Dort befinden sich kugelige Schaltzentren, die sogenannten Glomeruli (Riechknötchen). In einem Glomerulus werden die Informationen aus ca. 1000 Riechzellen des gleichen Typs gebündelt. Die enorme Bündelung hat den Vorteil, dass die Geruchswahrnehmung weiterhin möglich ist, auch wenn größere Teile der Riechschleimhaut z. B. bei einer Infektion geschädigt werden. Insgesamt gibt es ca. 350 unterschiedliche Glomerulustypen, wobei pro Typ zahlreiche Glomeruli redundant zur Verfügung stehen.

Ähnlich wie in der Musik scheint das olfaktorische System eine Kombination von unterschiedlich stark aktivierten Rezeptoren zu nutzen, um mit den „wenigen“ 350 verschiedenartigen Rezeptortypen (Tönen) die Vielzahl von ca. 10 000 unterschiedlichen Gerüchen (Klängen) identifizieren und unterscheiden zu können.

4 Geruch und Geruchssinn

Ein Geruch selbst besteht wiederum aus einer vielfältigen Kombination chemischer Substanzen. Die Zahl der riechbaren Substanzen ist somit quantitativ kaum festzulegen. Allein der Duft einer Rose besteht aus ca. 500 Einzelkomponenten. Allerdings reichen meist wenige sogenannte Leitsubstanzen aus, um einen Geruch zu erkennen. Die Leitsubstanz für Rosenduft zum Beispiel ist Geraniol. Wer Geraniol riecht, denkt sofort an Rosen – merkt aber auch, dass zum Geruch einer echten Rose noch irgendetwas fehlt.

Das im Riechkolben erzeugte neuronale Aktivierungsmuster wird ins Riechhirn weitergeleitet. Hier werden die Nervenimpulse verrechnet, gebündelt und weitergeleitet. Einer der Informationswege führt vom Riechhirn direkt zum Sitz der Emotionen, zum sogenannten limbischen System. Hier erzeugen die eintreffenden Duftinformationen unmittelbar ein Gefühl. Je nach Geruch kann das zum Beispiel Freude, Angst oder Ekel sein. Ist der Geruch intensiv genug, schickt das Riechhirn Nervenimpulse über den Thalamus in die Riechrinde. Hier entsteht der bewusste Geruchseindruck und man erkennt den Rosenduft.

Für manche Stoffe ist die menschliche Nase sehr empfindlich. Isobutylmethoxy-pyrazin, ein Aromastoff der Peperoni, wird zum Beispiel bereits in einer Konzentration von $0,002 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wahrgenommen [3]. Problematisch wird es, wenn die Konzentration eines Geruchsstoffes so niedrig ist, dass sie messtechnisch nicht erfasst, aber dennoch mit der Nase wahrgenommen werden kann. Die Erfassung und Bewertung von Gerüchen entzieht sich daher oftmals den bekannten chemisch-physikalischen Messverfahren,

wie sie üblicherweise für Luftverunreinigungen zur Anwendung kommen (siehe Abschnitt 12.2).

4.2 Geruchsschwellenwerte aus der Literatur

Die Bewertung von Geruchsschwellenwerten aus der Literatur ist mitunter problematisch. Insbesondere für gut untersuchte Stoffe, für die man eine gewisse Konsistenz der Werte erwarten sollte, zeigt sich oft genau das Gegenteil: Je mehr Geruchsschwellenwerte man in der Literatur für denselben Stoff findet, umso mehr weichen diese voneinander ab, nicht selten sogar über mehrere Größenordnungen. Beispielsweise findet man für die Geruchsschwellen von Anilin in der Literatur Daten von $0,2$ bis $350\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Ursache hierfür liegt nicht nur in unterschiedlichen Messstrategien begründet, sondern auch in der unterschiedlichen Geruchsempfindlichkeit der Menschen. Aus solch starken Streuungen von Literaturwerten resultiert zwangsläufig, dass Aussagen zu derjenigen Konzentration eines Stoffes in der Luft, bei der ein Geruch wahrnehmbar ist, sehr unzuverlässig sein müssen. Bei Stoffen, für die man in der Literatur nur einen einzigen Geruchsschwellenwert findet, kann man demzufolge auch nicht mit Sicherheit davon ausgehen, dass dieser Wert korrekt ist.

4.3 Geruchsempfindungen

Ob man einen Geruch mag oder nicht, ist nicht angeboren, sondern abhängig von der Erfahrung, die man mit diesem Geruch gemacht hat. So treten z. B. kulturelle Unterschiede bei der Empfindung des Geruchs von getrocknetem Fisch auf, der für die

japanische Nase angenehm, für die deutsche Durchschnittsnase dagegen eher nicht angenehm ist.

Unser Geruchssinn ist auch nicht zuverlässig in der Lage, „Gut von Böse“ zu unterscheiden. Der Geruch vieler aromatischer Kohlenwasserstoffverbindungen wird als angenehm empfunden, obwohl sie oftmals bereits in niedrigen Konzentrationen toxische Wirkungen zeigen, während der völlig harmlose Duft mancher deftiger Käsesorten zu massiven Protestreaktionen führen kann.

Beim Riechen werden verschiedene Aromastoffe wie z. B. Vanille aufgenommen, mit weiteren Informationen anderer Sinne verknüpft („Ofen ist noch warm“, „Oma wollte heute backen“ etc.) und schließlich als „Kuchengeruch“ wahrgenommen und abgespeichert. Der gleiche Geruchseindruck kann im Zusammenhang mit anderen Informationen oder bei einer anderen Person als „süßliches Parfüm“ und „unangenehm“ gespeichert werden.

Auf diese Art und Weise werden Gerüche mit Erinnerungen verknüpft und können später das Gefühl von Wohlbefinden oder Unwohlsein auslösen, ohne dass uns die Verbindung zu den früheren Ereignissen in diesem Moment bewusst ist.

Ob ein Geruch als unangenehm und belästigend wahrgenommen wird, hängt nicht nur von der Stoffkonzentration und der Geruchsart oder den individuellen Erfahrungen und den Erinnerungen ab, sondern auch von der Dauer und Häufigkeit (Gewöhnungseffekt) der Wahrnehmung, von der Geruchsempfindlichkeit der Person und zahlreichen weiteren Faktoren.

4.4 Der Nocebo-Effekt

Beim Nocebo-Effekt handelt es sich um die Umkehrung des Placebo-Effektes, der insbesondere aus dem Arzneimittelbereich bekannt ist [4].

Arzneimittel übertragen grundsätzlich zwei Botschaften. Zum einen vermitteln die Wirkstoffe in Arzneimitteln eine chemische Information. Der Wirkstoff reagiert mit Bestandteilen des Organismus und löst Ereignisse aus, die sich in erwünschten oder unerwünschten Wirkungen äußern. Zum anderen vermitteln Arzneimittel ein Signal an den Patienten, dass ihm als Person etwas widerfährt. So ist es möglich, dass selbst im Falle fehlender chemischer Informationen die Erwartung eines positiven Effektes dazu führt, dass eine Besserung der Symptomatik eintritt. Man spricht in diesem Zusammenhang vom Placebo-Phänomen (Deutsch: „Ich werde gefallen“).

Das Negativ des Placebo erscheint als Nocebo (Deutsch: „Ich werde schaden“). Die Menschen erfahren als Nocebo, was sie befürchten. Sie haben körperliche Symptome, deren Ursache sie darin suchen, was ihnen in ihrem Umfeld als naheliegend erscheint. Wie beim Placebo kann dieser Effekt unabhängig von der chemischen Wirkung des Stoffes auftreten. So gibt es Berichte, dass Personen, die sich nach Meldungen über erhöhte Ozonwerte und damit verbundenen Verhaltensempfehlungen als „Betroffene“ fühlen, Bedrohungsängste entwickeln können. Diese Personen berichten über Symptome, die in den Medien als „ozontypisch“ beschrieben werden, wie z. B. Augenreizung, Schluckbeschwerden, erschwerte Atmung, Schmerzen beim tiefen

4 Geruch und Geruchssinn

Einatmen, Kopfschmerz, Schläffheit, Kreislaufbeschwerden. Auffallend ist, dass diese Beschwerden im Bereich von Ozonkonzentrationen beschrieben werden, die vermutlich nicht ausreichen, diese Symptome hervorzurufen.

Fazit

Die Wahrnehmung eines Geruchs lässt keine Rückschlüsse auf seine gesundheitliche Relevanz zu. Auch vom Menschen deutlich empfundener Geruch kann unterhalb der analytischen Nachweisgrenzen für die jeweiligen Einzelsubstanzen liegen; umgekehrt kann nicht jeder potenziell gefährliche Stoff vorab an seinem Geruch erkannt werden. Deswegen sind Meldungen über ungewöhnliche Geruchswahrnehmungen ernst zu nehmen. Sie können ein Hinweis darauf sein, dass die Luftqualität und andere Umgebungsbedingungen am Arbeitsplatz nicht optimal sind.

Die rechtliche Begründung findet sich im Absatz 3.6 „Lüftung“ im Anhang der Arbeitsstättenverordnung [5]. Demnach muss in umschlossenen Arbeitsräumen unter Berücksichtigung der Arbeitsverfahren, der körperlichen Beanspruchung und der Anzahl der Beschäftigten sowie der sonstigen anwesenden Personen ausreichend gesundheitlich zuträgliche Atemluft vorhanden sein. Dies bedeutet die Vermeidung von belästigendem Geruch, soweit es die Natur des Betriebes gestattet. In der Regel dürfen somit auch keine belästigenden Geruchsemissionen von Produkten (z. B. Bauchemikalien) und Geräten (z. B. Laserdrucker, -kopierer) oder Anlagen (z. B. raumluftechnische Anlagen) ausgehen.

4.5 Literatur

- [1] Roche Lexikon Medizin. 5. Aufl. Urban & Fischer, München 2003
- [2] *Hatt, H.*: Geschmack und Geruch. In: *Schmidt, R.F.; Lang, F.* (Hrsg.): Physiologie des Menschen – Mit Pathophysiologie. 30. Aufl. Springer, Berlin 2007, S. 422-438
- [3] *Buttery, R. G.; Seifert, R. M.; Guadagni, D. G.; Ling, L. C.*: Characterization of some volatile constituents of bell peppers. *J. Agric. Food Chem.* 17 (1969) Nr. 6, S. 1322-1327
- [4] *Habermann, E.*: Vergiftet ohne Gift – Glauben und Angst in der Toxikologie. *Skeptiker* (1995) Nr. 3, S. 92-100
- [5] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 12. August 2004. BGBl. I (2004), S. 2179-2189; zul. geänd. durch Artikel 4 der Verordnung vom 19. Juli 2010, BGBl. (2010) S. 960-967

5 Spezielle arbeitsmedizinische Untersuchungen

J. Petersen, Hamburg

K. Sucker, Bochum

Das spezielle arbeitsmedizinische Vorgehen lässt sich in Form von Ermittlungsbögen oder Ablaufdiagrammen nur unzureichend erfassen. Über den Einfluss des Arbeitsplatzes hinaus wird die Gesundheit eines Menschen im Allgemeinen durch Faktoren wie individuelle Konstitution, Vorerkrankungen, häusliche und familiäre Situation oder Lebens- und Konsumgewohnheiten entscheidend beeinflusst. Daher ist in der Regel eine individuelle Vorgehensweise oder diagnostische Klärung notwendig.

Da hierbei schweigepflichtsrelevante Inhalte und persönliche Daten der Betroffenen berührt werden, sollte die Steuerung dieser Untersuchung in die Hände des Betriebsarztes gelegt werden. Dieser kennt die betroffenen Mitarbeiter und ihre gesundheitliche Belastung am Arbeitsplatz sowie deren individuellen Gesundheitszustand. Er kann die Notwendigkeit von weitergehenden Untersuchungen einschätzen und arbeitsmedizinisch begründen. Im Idealfall sollte der Betriebsarzt eng mit dem Hausarzt kooperieren, der wie der Betriebsarzt der ärztlichen Schweigepflicht unterliegt und Kenntnisse über die arbeitsplatzunabhängigen Erkran-

kungen der Betroffenen beisteuern kann. Indem der Betriebsarzt mit den behandelnden Haus- und Fachärzten Informationen und Befunde austauscht (die Entbindung von der ärztlichen Schweigepflicht durch den Betroffenen muss vorliegen), kann er zumeist sehr schnell einschätzen, ob eine arbeitsplatzunabhängige Ursache zu den geschilderten Beschwerden geführt hat. Sofern der Verdacht auf eine Beeinträchtigung durch die Arbeitsumwelt vorliegt, sollten gezielte Untersuchungen nach Rücksprache mit dem Betriebsarzt und unter Berücksichtigung vorliegender Ergebnisse weiterer Ermittlungen erfolgen.

Grundsätzlich muss festgehalten werden, dass eine vollständige Aufzählung aller konkurrierenden und potenziellen Ursachen des komplexen Zustandes eines individuellen Beschwerdebildes nicht möglich ist. Der im Internet verfügbare Ermittlungsbogen S1 (www.dguv.de/ifa, Webcode d6274), der die gesundheitliche Situation außerhalb des Arbeitsplatzes erfassen soll, kann daher nur einige Hinweise auf denkbare und gängige Ursachen geben.

6 Gebäude und Einrichtung

Innenraumprobleme können in entscheidendem Maße sowohl durch die Gestaltung des Gebäudes als auch durch die Einrichtung der Räume verursacht werden. Neben der Konstruktion und der räumlichen Auslegung sind hier insbesondere die Wahl der Baumaterialien sowie die technische Ausstattung von Bedeutung.

6.1 Gebäudeparameter

N. Kluger, Frankfurt am Main

Der im Internet verfügbare Ermittlungsbogen S2 (www.dguv.de/ifa, Webcode d6274) zur Gebäudesituation soll Hinweise darauf geben, ob Beschwerden möglicherweise im Zusammenhang mit dem Gebäude und dessen Nutzung stehen. Grundlage ist die Ermittlung zum Arbeitsumfeld mit dem Ermittlungsbogen G2 (siehe Anhang 3, Seite 207), die in jedem Fall im Vorfeld durchzuführen ist. Beide Ermittlungen erfolgen zweckmäßigerweise in Zusammenarbeit mit für den für die Verwaltung und Bewirtschaftung des Gebäudes zuständigen Personen.

Bei gravierenden Mängeln am Gebäude (z. B. Wasserschäden) sind Fachleute hinzuzuziehen, die auch die erforderlichen Beratungen über Sanierungsmaßnahmen

leisten können. Ergänzungen zu diesem Ermittlungsbogen bieten gezielte spezielle Ermittlungen

- zu raumluftechnischen Anlagen (siehe Abschnitt 6.2),
- zur Beleuchtung (siehe Abschnitt 6.3),
- zur baulichen Raumausstattung und deren Zustand (siehe Abschnitt 6.4),
- zu Möbeln und Raumtextilien (siehe Abschnitt 6.4) und
- zum Reinigungsverhalten (siehe Abschnitt 6.4).

6 Gebäude und Einrichtung

6.2 Raumluftechnische Anlagen

B. Küter, Wiesbaden

G. Franke, Leipzig

T. von der Heyden, Sankt Augustin

Zu den raumluftechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) zählen Einrichtungen zum Lüften und Klimatisieren (Heizen, Kühlen, Befeuchten, Entfeuchten der Zuluft) von Räumen. Während sich die Aufgabe von Heizungsanlagen darauf beschränkt, die Raumluf im Winter zu erwärmen, sollen Lüftungs- und Klimaanlage den Zustand der Raumluf hinsichtlich Reinheit, Temperatur, Feuchte usw. in bestimmten Grenzen konstant halten. Systeme, die der direkten Raumheizung dienen (z. B. Radiatoren, Konvektoren), zählen definitionsgemäß nicht zu den RLT-Anlagen. Ebenso wie RLT-Anlagen beeinflussen sie jedoch in gewisser Hinsicht den Raumlufzustand und die Raumlufqualität.

Gut geplante und regelmäßig gewartete RLT-Anlagen bestimmen in positiver Weise das Raumklima und die Konzentration luftfremder Stoffe in Innenräumen. Dagegen können insbesondere schlecht oder nicht gewartete RLT-Anlagen zu Beschwerden über das Raumklima und zu Geruchsbelästigungen in Innenräumen beitragen. Hygienisch mangelhaft gewartete oder falsch konzipierte Filter, Erhitzer, Kühler oder Luftbefeuchteinheiten können die Ursache für Belastungen durch biologische Agenzien sein.

6.2.1 Klassifizierung von RLT-Anlagen

Die Raumluftechnik ist ein Teilgebiet der Lufttechnik [1]. Sie wird eingeteilt in

- **Freie Lüftung:**
Hier erfolgt die Luftförderung durch Druck- und Temperaturunterschiede im und am Gebäude.
- **Maschinelle oder mechanische Lüftung:**
Hier erfolgt die Luftförderung über Ventilatoren.
- **Hybridlüftung:**
Die freie Lüftung wird hierbei zeitlich begrenzt durch eine maschinelle Lüftung unterstützt oder ersetzt.

Bei der freien Lüftung unterscheidet man verschiedene Lüftungssysteme (siehe Abbildung 3). Allen gemeinsam ist, dass der Luftwechsel von den Wetterbedingungen, den Temperaturverhältnissen im Gebäude sowie der Außentemperatur abhängig ist. Daher ist bei solchen Systemen eine kontrollierte Lüftung nur eingeschränkt möglich.

Bei maschineller Lüftung können dagegen kontrollierte Raumlufzustände unabhängig von der Wetterlage und den Bedingungen in den Gebäuden aufrechterhalten werden. Je nach der Luftbehandlung spricht man von Lüftungs-, Teilklima- oder Klimaanlage (siehe Tabelle 2).

Abbildung 3:
Arten freier Lüftungssysteme

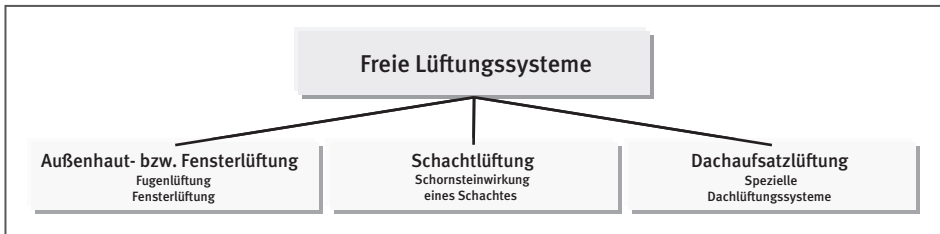


Tabelle 2:
Einteilung der RLT-Anlagen

Art der RLT-Anlage	Luftbehandlung	Kurzbezeichnung
Abluftanlage	keine	---
Lüftungsanlage	Heizen Kühlen Befeuchten Entfeuchten	H K B E
Teilklimaanlage	Heizen und Kühlen Heizen und Befeuchten Heizen und Entfeuchten Kühlen und Befeuchten Kühlen und Entfeuchten Befeuchten und Entfeuchten Heizen, Kühlen und Befeuchten Heizen, Kühlen und Entfeuchten Kühlen, Befeuchten und Entfeuchten Heizen, Befeuchten und Entfeuchten	HK HB HE KB KE BE HKB HKE KBE HBE
Klimaanlage	Heizen, Kühlen, Be- und Entfeuchten	HKBE

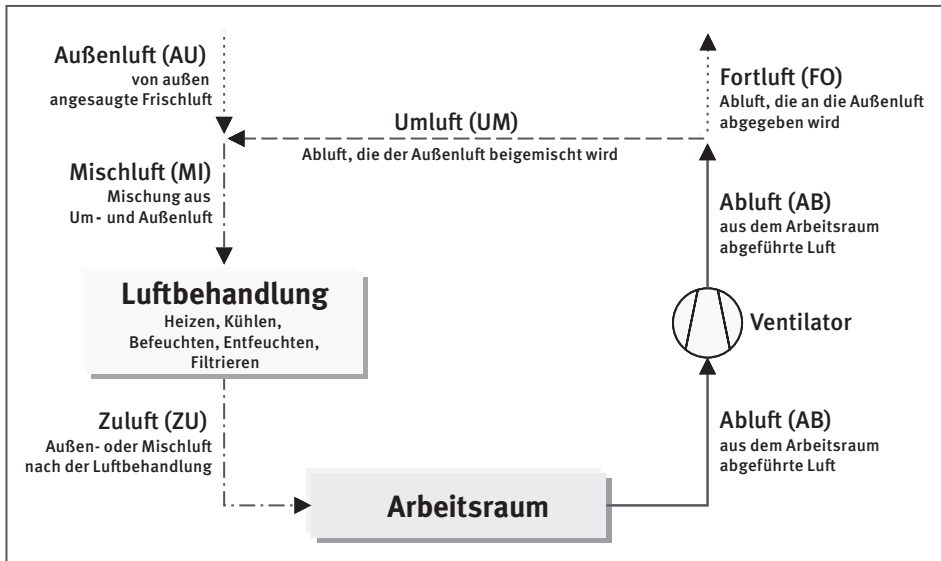
Lüftungs-, Teilklima- und Klimaanlagen werden entweder mit Außenluft (AU) oder zusätzlich zur Außenluft mit einem Anteil von Umluft (UM) im sogenannten Mischluftbetrieb (MI) betrieben (Abbildung 4, siehe Seite 32). In Ausnahmefällen – z. B. in der Aufheizphase außerhalb der Arbeitszeit – können solche Anlagen auch ausschließlich mit Umluft betrieben werden. Man spricht dann von Umluftanlagen.

6.2.2 Hinweise zur Ermittlung

Bereits bei den Ermittlungen zum Arbeitsumfeld mit dem Ermittlungsbogen G2 wird abgefragt, ob eine RLT-Anlage vorhanden ist (siehe Kapitel 3). Mit dem im Internet verfügbaren speziellen Ermittlungsbogen S3 (www.dguv.de/ifa, Webcode d6274) sollen soweit wie möglich detaillierte Angaben zur Heizungs- und RLT-Anlage erfasst werden,

6 Gebäude und Einrichtung

Abbildung 4:
Bezeichnung der Luftströme bei RLT-Anlagen (maschinelle Lüftung)



um ihre Rolle bei der Raumluftqualität einzuschätzen und das Auffinden von Fehlerquellen zu ermöglichen. Der Ermittlungsbogen gliedert sich in die Abschnitte

- Teil A:
Spezielle Angaben zur RLT-Anlage,
- Teil B:
Spezielle Angaben zu Luftbefeuchtern (soweit vorhanden),
- Teil C:
Spezielle Angaben zur Heizungsanlage.

In der Regel füllt der Betrieb den Ermittlungsbogen aus. Im Rahmen einer anschließenden Begehung sollten die Angaben überprüft und ggf. korrigiert und ergänzt werden. Hilfe-

stellung zu wesentlichen fachlichen Details geben die Abbildungen 3 und 4, die Tabellen 2 und 3 sowie die unten genannte Literatur.

Die Anforderungen an Planung, Ausführung, Abnahme, Betrieb und Instandhaltung von RLT-Anlagen zur Sicherung eines hygienisch einwandfreien Zustandes sind u. a. in den Normen DIN EN 13779 [5] und DIN EN 12599 [6] sowie in der Richtlinie VDI 6022 Blatt 1 [7] enthalten.

Zur Einhaltung der Hygieneanforderungen und zur Instandhaltung der RLT-Anlagen muss geschultes (Betriebs-)Personal diese in regelmäßigen Zeitabständen kontrollieren. Die Zeitintervalle dieser Hygienekontrollen – z. B. alle sechs Monate die Funktion der

Tabelle 3:
Klassifizierung von Luftfiltern nach DIN EN 779 [2]
und DIN EN 1822 [3; 4]

Bezeichnung	Filterklasse
Grobstaubfilter	G1 G2 G3 G4
Mediumfilter	M5 M6
Feinstaubfilter	F7 F8 F9
Schwebstofffilter	E10 E11 E12 H13 H14 U15 U16 U17

Entkeimungsanlage prüfen, alle drei Monate die Luftfilter auf Verschmutzung und Beschädigung (Leckagen) sowie Gerüche prüfen – sind ebenfalls in der Richtlinie VDI 6022 Blatt 1 festgelegt. Die regelmäßigen Hygieneinspektionen der gesamten RLT-Anlage sind bei Anlagen mit Luftbefeuchtung im Abstand von zwei Jahren, bei Anlagen ohne Luftbefeuchtung im Abstand von drei Jahren durch geschultes Personal durchzuführen und zu dokumentieren.

Für eine gute Praxis der Wartung und Instandhaltung von RLT-Anlagen und speziell von Luftbefeuchtern können u. a. auch die Instandhaltungsinformationen der Arbeitsgemeinschaft Instandhaltung Gebäudetechnik (AIG) herangezogen werden [8 bis 10]. Zur Luftbefeuchtung in RLT-Anlagen ist zudem die Informationssammlung „Luftbefeuchtung“ der BG ETEM [11] erhältlich.

6.2.3 Hinweise zur Auswertung

Die Praxis hat gezeigt, dass die Begutachtung und Bewertung von RLT-Anlagen in der Regel Spezialwissen erfordert. Daher sollten Experten einbezogen werden. Trotzdem ist es sinnvoll, bei der Ermittlung den ersten optischen Eindruck zu protokollieren.

Ob die hygienischen Anforderungen an Auslegung und Betrieb von RLT-Anlagen nach der Richtlinie VDI 6022 Blatt 1 [7] eingehalten werden, kann man bereits im Vorfeld überprüfen. Das betrifft u. a. die Luftfilter, die Luftbefeuchter und die Instandhaltung (Wartung, Inspektion, Instandsetzung). So liegen über hygienische Überprüfungen, Reinigung und Desinfektion in der Regel Dokumentationen, z. B. ein Wartungsnachweis oder Betriebstagebuch, vor. Erfahrungsgemäß gibt es häufig auch Protokolle über Luftmengen- und Raumklimamessungen. Sind diese bereits mehrere Jahre alt, sind sie meist nicht mehr aussagefähig. Entscheidend für die Hygieneinspektion ist auch, ob das Personal die erforderliche Qualifikation besitzt (Hygieneschulung Kategorie A, B, C oder RLQ).

Für zentrale RLT-Anlagen fordert die Richtlinie VDI 6022 mindestens einen Filter der Klasse F7 (vgl. Tabelle 3). Bei belasteter Außenluft werden höhere Anforderungen an die Filterklassen gestellt. In besonderen Fällen wird empfohlen, zweistufige Filter mit den Filterklassen F7+F9 zu verwenden (siehe VDI 6022 Blatt 3 [12]).

Bei eventueller Lärmbelastigung durch die RLT-Anlage sind je nach Art des Raumes Richtwerte zwischen 35 und 45 dB(A) (siehe Richtlinie VDI 2081 [13]) zu beachten.

6 Gebäude und Einrichtung

Zur Einhaltung der vorgesehenen Klimaparameter (u. a. mittlere Luftgeschwindigkeit am Arbeitsplatz $< 0,15$ m/s, siehe auch ASR A3.6 „Lüftung“ [14]) wird auf Kapitel 9 „Raumklima“ verwiesen.

Luftbefeuchter sind mit Wasser von Trinkwasserqualität zu betreiben. Im Befeuchterwasser sollte die Gesamtkeimzahl 1000 KBE/ml (KBE: Kolonie bildende Einheiten) nicht überschreiten. Bei Legionellen darf die Gesamtkoloniezahl den Wert von 100 KBE/100 ml nicht übersteigen [7].

6.2.4 Literatur

- [1] DIN EN 12792: Lüftung von Gebäuden – Symbole, Terminologie und graphische Symbole (01.04). Beuth, Berlin 2004
- [2] DIN EN 779: Partikel-Luftfilter für die allgemeine Raumluftechnik – Bestimmung der Filterleistung (10.12). Beuth, Berlin 2012
- [3] DIN EN 1822 Blatt 1: Schwebstofffilter (EPA, HEPA und ULPA) – Teil 1: Klassifikation, Leistungsprüfung, Kennzeichnung (01.11). Beuth, Berlin 2011
- [4] Schwebstofffilter neu genormt – DIN EN 1822. VDMA Luftfilterinformation 06/2011. Hrsg.: Verband Deutsche Maschinen- und Anlagenbau (VDMA), Frankfurt am Main 2011
- [5] DIN EN 13779: Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlagen und Raumkühlsysteme (09.07). Beuth, Berlin 2007
- [6] DIN EN 12599: Lüftung von Gebäuden – Prüf- und Messverfahren für die Übergabe raumluftechnischer Anlagen (01.13). Beuth, Berlin 2013
- [7] VDI 6022 Blatt 1: Raumluftechnik, Raumlufqualität – Hygieneanforderungen an Raumluftechnische Anlagen und Geräte (VDI Lüftungsregeln) (07.11). Beuth, Berlin 2011
- [8] AIG-Information Nr. 4: Luftbefeuchter in raumluftechnischen Anlagen. Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft Instandhaltung Gebäudetechnik (AIG) der Fachgemeinschaft Allgemeine Lufttechnik im Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA), Frankfurt am Main 2004
- [9] AIG-Information Nr. 6: Wartungsschwerpunkte bei Lüftungs- und Klimaanlagen. Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft Instandhaltung Gebäudetechnik (AIG) der Fachgemeinschaft Allgemeine Lufttechnik im Verband deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA), Frankfurt 2001
- [10] AIG-Information Nr. 7: Hygieneanforderungen in der Raumluftechnik. Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft Instandhaltung Gebäudetechnik (AIG) der Fachgemeinschaft Allgemeine Lufttechnik im Verband deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA), Frankfurt am Main 2001
- [11] Informationen zur Luftbefeuchtung (03.12). Hrsg.: Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (BG ETEM), Köln 2012

- [12] VDI 6022 Blatt 3: Raumluftechnik, Raumlufqualität – Beurteilung der Raumlufqualität (07.11). Beuth, Berlin 2011
- [13] VDI 2081 Blatt 1: Geräuscherzeugung und Lärminderung in Raumluftechnischen Anlagen (07.01). Beuth, Berlin 2001
- [14] Technische Regeln für Arbeitsstätten: Lüftung (ASR A3.6). GMBI. (2012) Nr. 6, S. 92-97, geänd. GMBI. (2013) Nr. 16, S. 359

6 Gebäude und Einrichtung

6.3 Beleuchtung in Büroräumen

S. Neumann, Hamburg

6.3.1 Allgemeine Hinweise

Anforderungen zur Gestaltung der Beleuchtung in Arbeitsstätten enthalten die Arbeitsstättenverordnung [1] und die Technische Regel für Arbeitsstätten ASR A3.4 „Beleuchtung“ [2]. Konkretisierungen und Empfehlungen zur Beleuchtung von Büroarbeitsplätzen enthält die BGI 856 „Beleuchtung im Büro“ [3].

Dieser Abschnitt stellt eine Zusammenfassung der wichtigsten Anforderungen der ASR A3.4 und Empfehlungen der BGI 856 dar. Darüber hinaus enthält er Hinweise zur Überprüfung von Beleuchtungsanlagen (siehe Abschnitt 6.3.5). Unterstützend kann auch der im Internet verfügbare spezielle Ermittlungsbogen S4 (www.dguv.de/ifa, Webcode d6274) herangezogen werden.

6.3.2 Tageslicht

Das Tageslicht nimmt bei der Beleuchtung von Innenräumen einen hohen Stellenwert ein. Ein ausreichender Tageslichteinfall in Zusammenhang mit einer möglichst ungehinderten Sichtverbindung nach außen, durch die die Mitarbeiter die äußere Umgebung unverzerrt und unverfälscht wahrnehmen können, wirkt sich positiv auf ihr Wohlbefinden und somit auf ihre Motivation und Produktivität aus.

Büroräume sollen daher über ausreichend große Fensterflächen verfügen. Dies ist der Fall, wenn

- die Fläche der durchsichtigen Fensterflächen mindestens ein Zehntel der Raumgrundfläche beträgt oder
- an den Arbeitsplätzen ein Tageslichtquotient¹ von mindestens 2 % erreicht wird.

Außerdem sind günstige Proportionen und Brüstungshöhen zu beachten, damit die Mitarbeiter möglichst ungehindert nach außen schauen können. Aus diesem Grund sollten die Arbeitsplätze nach Möglichkeit nicht in der Raumtiefe, sondern zur Fensterfront hin angeordnet sein.

Gleichzeitig müssen zur Begrenzung der Blendung und hoher Beleuchtungsstärken² durch Tageslicht am Bildschirm geeignete und verstellbare Sonnenschutzvorrichtungen an den Fenstern angebracht sein (siehe BGI 827 „Sonnenschutz im Büro“ [4]).

Da die Güteermerekmale der Beleuchtung – insbesondere ein ausreichendes Beleuchtungsniveau – auch an tageslichtorientierten Arbeitsplätzen in unmittelbarer Fensternähe nicht während der gesamten Arbeitszeit und zu jeder Jahreszeit durch Tageslicht gewähr-

¹ Der Tageslichtquotient ist das Verhältnis der Beleuchtungsstärke an einem Punkt im Innenraum zur Beleuchtungsstärke im Freien ohne Verbauung bei bedecktem Himmel [2].

² Die Beleuchtungsstärke ist ein Maß für das auf eine Fläche auftreffende Licht und wird in Lux (lx) gemessen [2].

leistet werden kann, ist eine künstliche Beleuchtung erforderlich. Die nachfolgend beschriebenen Gütemerkmale beziehen sich auf die künstliche Beleuchtung, sind aber hinsichtlich ihres Schutzzieles auch auf das Tageslicht anwendbar. Aufgrund der positiven Wirkung des Tageslichts bei gleichzeitiger Sichtverbindung nach außen akzeptieren die Mitarbeiter allerdings auch extremere Ausprägungen des natürlichen Lichtes, z. B. hinsichtlich der Blendung, der Leuchtdichtunterschiede und der Lichtfarbe, und empfinden diese als angenehm.

6.3.3 Gütemerkmale der Beleuchtung

Die Qualität der Beleuchtung wirkt sich einerseits auf das visuelle Leistungsvermögen des Menschen aus. Sie ist entscheidend dafür, wie genau und wie schnell Details, Farben und Formen erkannt werden. Andererseits beeinflusst die Beleuchtung das Aktivitätsniveau und die Leistungsfähigkeit der Mitarbeiter. Bei schlechter Beleuchtung kann es zu visuellen Überbeanspruchungen kommen, die sich durch Kopfschmerzen, tränende und brennende Augen sowie Flimmern vor den Augen bemerkbar machen können.

Um angemessene Lichtverhältnisse für die Sehauflagen am Bildschirmarbeitsplatz zu erzielen, müssen besonders die folgenden lichttechnischen Gütemerkmale beachtet werden:

- Beleuchtungsniveau
- Leuchtdichteverteilung
- Begrenzung der Direktblendung
- Begrenzung der Reflexblendung auf dem Bildschirm und auf anderen Arbeitsmitteln
- Begrenzung der Blendung durch Tageslicht
- Lichtrichtung und Schattigkeit
- Lichtfarbe und Farbwiedergabe sowie
- Flimmerfreiheit

Werden diese Gütemerkmale umgesetzt, dann werden Fehlbeanspruchungen der Beschäftigten weitgehend vermieden. Hierbei ist deren Sehvermögen zu berücksichtigen.

Beleuchtungsniveau

Die künstliche Beleuchtung muss ein ausreichendes Beleuchtungsniveau erbringen. Dies erfordert im Arbeitsbereich „Bildschirm- und Büroarbeit“ eine horizontale Beleuchtungsstärke¹ von mindestens 500 lx. Dieser Wert gilt auch für den Arbeitsbereich „Besprechung“. Im Umgebungsbereich ist eine horizontale Beleuchtungsstärke von mindestens 300 lx notwendig.

¹ Die horizontale Beleuchtungsstärke E_h ist die Beleuchtungsstärke auf einer horizontalen Fläche, z. B. auf einer Arbeitsfläche [2].

6 Gebäude und Einrichtung

Das Beleuchtungsniveau wird neben den horizontalen Beleuchtungsstärken auch von den vertikalen Beleuchtungsstärken¹ sowie der gleichmäßigen Verteilung der Beleuchtungsstärke auf der jeweiligen Bewertungsfläche bestimmt.

Die Anforderungen an die Beleuchtungsstärken sind Mindestwerte. Dies bedeutet, dass die Beleuchtungsanlage bereits beim Erreichen des vorgegebenen Mindestwertes gewartet werden muss (siehe auch Abschnitt 6.3.4 „Instandhaltung“).

Leuchtdichteverteilung

Die Leuchtdichte ist die lichttechnische Kenngröße für die Helligkeit. Zur Erreichung einwandfreier Sehbedingungen ist ein ausgewogenes Leuchtdichteverhältnis im Gesichtsfeld erforderlich. Dies liegt vor, wenn ein Verhältnis der Leuchtdichten

- zwischen Arbeitsfeld (z. B. Papier) und näherem Umfeld (z. B. Arbeitstisch), in der Größenordnung von 3 : 1 sowie
- zwischen ausgedehnten Flächen der Arbeitsumgebung (z. B. Wänden) und dem Arbeitsfeld (z. B. Bildschirm) in der Größenordnung von 10 : 1

erreicht wird. Zu geringe Leuchtdichteunterschiede sind zu vermeiden, da sie einen monotonen Raumeindruck bewirken.

Die Raumbegrenzungsflächen sind ausreichend aufgehellt, wenn durch entsprechende Farbgestaltung die Reflexionsgrade

- der Decke im Bereich von 0,7 bis 0,9,
- der Wände im Bereich von 0,5 bis 0,8 und
- des Bodens im Bereich von 0,2 bis 0,4

liegen. Für Arbeitsflächen, Einrichtungen und Geräte werden Reflexionsgrade im Bereich von 0,2 bis 0,7 sowie Glanzgrade von matt bis seidenmatt (60°-Reflektometerwert ≤ 20) empfohlen.

Begrenzung der Direktblendung

Störende Direktblendung kann durch helle Flächen wie z. B. durch Leuchten, Fenster oder beleuchtete Flächen im Raum oder im Gesichtsfeld auftreten und muss begrenzt werden. Die psychologische Blendung durch Leuchten wird nach dem UGR-(Unified Glare Rating)-Verfahren [5] bewertet. Je niedriger der UGR-Wert, desto geringer ist die Blendung. In Räumen mit Bildschirm- und Büroarbeitsplätzen darf der UGR-Wert unabhängig vom Beleuchtungsniveau nicht größer als 19 sein.

Begrenzung der Reflexblendung

Reflexblendung entsteht durch Spiegelungen hoher Leuchtdichten auf glänzenden Flächen und muss begrenzt werden. Daher sollen an Bildschirmarbeitsplätzen nur gut entspiegelte LCD-Bildschirme eingesetzt werden. Die Reflexblendung auf anderen Arbeitsmitteln wird vermieden, wenn die empfohlenen Glanzgrade (siehe „Leuchtdichteverteilung“) eingehalten werden. Darüber hinaus sollten Papierdokumente und Prospekthüllen matt

¹ Die vertikale Beleuchtungsstärke E_v ist die Beleuchtungsstärke auf einer vertikalen Fläche [2].

sein. Außerdem können die Beleuchtungsart (siehe „Beleuchtungsart“) und eine entsprechende Anordnung der Leuchten dazu beitragen, Reflexblendung zu vermeiden.

Begrenzung der Blendung durch Tageslicht

Um weitgehend Direkt- und Reflexblendung durch Tageslicht zu vermeiden, sollen die Arbeitsplätze möglichst mit Blickrichtung parallel zur Hauptfensterfront angeordnet sein. Eine Aufstellung von Bildschirmen vor den Fenstern kann durch große Leuchtdichteunterschiede zwischen Bildschirm und Arbeitsumgebung zur Direktblendung führen. Nahe gelegene Fenster im Rücken der Benutzer können die Leserlichkeit der Bildschirmanzeige verschlechtern.

Weiterhin müssen zur Begrenzung der Blendung sowie zur Begrenzung zu hoher Beleuchtungsstärken durch Tageslicht geeignete verstellbare Sonnenschutzvorrichtungen an den Fenstern angebracht sein.

Lichtrichtung und Schattigkeit

Am Arbeitsplatz ist eine ausgewogene Schattigkeit anzustreben. Die Beleuchtung soll nicht zu schattenarm sein, da sonst die räumliche Wahrnehmung beeinträchtigt wird. Andererseits ist auch stark gerichtetes Licht, das scharfe sowie lange Schatten bewirkt, zu vermeiden.

Lichtfarbe und Farbwiedergabe

Für die Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen sollten Lampen der Lichtfarben warmweiß oder neutralweiß eingesetzt werden. Lampen mit tageslichtweißer Lichtfarbe sollten erst bei relativ hohen Beleuch-

tungsstärken (≥ 1000 lx) zur Anwendung kommen.

Für eine gute Farbwiedergabe ist darauf zu achten, dass die Lampen mindestens einen Farbwiedergabeindex R_a von 80 aufweisen.

Flimmerfreiheit

Bei künstlicher Beleuchtung können störende Flimmererscheinungen auftreten, die zu Sehstörungen und Ermüdungen führen. Dies wird durch den Einsatz von elektronischen Vorschaltgeräten verhindert.

6.3.4 Instandhaltung

Die Beleuchtungsanlage muss regelmäßig gewartet und gegebenenfalls instand gesetzt werden. Für jede Beleuchtungsanlage sollte daher durch den sachkundigen Planer ein Wartungsplan erstellt werden. Der Wartungsplan legt die zeitlichen Intervalle für die Reinigung und den Austausch von Lampen, die Reinigung der Leuchten und die Renovierung der Raumbooberflächen fest. Der Wartungsplan muss beim Betrieb der Anlage eingehalten werden, damit die Beleuchtungsstärken nicht unter den Wartungswert fallen.

Werden die geforderten Mindestwerte der Beleuchtungsstärke unterschritten, muss die Beleuchtungsanlage gewartet werden. Die Beleuchtungsstärke geht im Verlauf des Betriebs einer Beleuchtungsanlage aufgrund der Alterung und Verschmutzung von Lampen und Leuchten sowie des Raumes zurück. Daher muss bei der Planung der Beleuchtungsanlage von einem höheren mittleren Beleuchtungsstärkewert (Planungswert) ausgegangen werden.

6 Gebäude und Einrichtung

6.3.5 Überprüfung von Beleuchtungsanlagen

Es ist sinnvoll, bereits in der Planungsphase anhand der Planungs- und Berechnungsunterlagen zu prüfen, ob die Anforderungen an die Güteermerekmale der Beleuchtung eingehalten werden. Änderungen an einer bereits installierten Beleuchtungsanlage sind fast immer sehr aufwendig.

Außerdem sollten der vom Planer aufgestellte Wartungsplan eingehalten und die Lampen und Leuchten dementsprechend gereinigt, die Lampen ausgetauscht und die Räume renoviert werden (siehe Abschnitt 6.3.4 „Instandhaltung“). Damit wird erreicht, dass die vorgegebenen Wartungswerte der Beleuchtungsstärken nicht unterschritten werden.

Überprüfungen von bestehenden Beleuchtungsanlagen können dennoch notwendig sein, z. B.

- um unspezifische gesundheitlichen Beeinträchtigungen einzugrenzen,
- wenn die Beschäftigten über Beschwerden klagen, die auf eine unzureichende Beleuchtung zurückgeführt werden können,
- wenn Befürchtungen bestehen, dass die Anforderungen an die Güteermerekmale der Beleuchtung für die Beleuchtungsanlage nicht umgesetzt worden sind, oder
- wenn die im Wartungsplan festgelegten Intervalle verlängert werden sollen.

Die Einhaltung der Anforderungen an die Beleuchtungsstärken können in den Unter-

nehmen durch Sachkundige (z. B. Fachkräfte für Arbeitssicherheit, Betriebsärzte, Technische Aufsichtspersonen) orientierend überprüft und ermittelt werden.

Soll genau beurteilt werden, ob die Anforderungen an die lichttechnischen Güteermerekmale eingehalten sind, sollte ein Sachverständiger mit Messungen nach DIN 5035-6 „Beleuchtung mit künstlichem Licht – Messung und Bewertung“ [6] beauftragt werden. Ebenso wird empfohlen, einen Sachverständigen einzuschalten und ggf. Messungen vornehmen zu lassen, wenn die Beleuchtungsanlage z. B. gegenüber dem Planer oder Errichter der Beleuchtungsanlage oder gegenüber dem Vermieter beanstandet werden soll.

Orientierende Überprüfung der Beleuchtungsstärken

Die Beleuchtungsstärken werden in einem möglichst gleichmäßigen Messrasterabstand von circa 20 bis 50 cm je nach Größe des Raum- oder Arbeitsbereichs mit einem Beleuchtungsstärkemessgerät mindestens der Klasse C (für orientierende Messungen) gemessen.

Die Messebenen liegen

- für die horizontale Beleuchtungsstärke E_h in einer Höhe von 0,75 m und
- für die mittlere vertikale Beleuchtungsstärke E_v in einer Höhe von 1,20 m.

Aus den einzelnen Messwerten ist der Mittelwert der jeweiligen Beleuchtungsstärke zu berechnen. Die mittlere vertikale Beleuchtungsstärke kann mit einem zylindrischen

Sensor gemessen oder durch Messung und Mittelung von vertikalen Beleuchtungsstärken (z. B. in vier Richtungen, die jeweils um 90° versetzt sind) an einem Punkt ermittelt werden.

Bei der Messung der Beleuchtungsstärken ist zu beachten, dass

- Fremdlicht möglichst ausgeschaltet sein muss, d. h., die Messungen ohne Tageslicht in den Dunkelstunden mit geschlossenen Sonnenschutzvorrichtungen vorgenommen werden,
- der Sensor des Messgerätes nicht abgeschattet wird, z. B. durch die messende Person oder höhere Möbel und Einrichtungsgegenstände im Raum,
- die Lampen einen stabilen Betriebszustand erreicht haben, d. h., die Beleuchtungsanlage mindestens 20 Minuten vor der Messung eingeschaltet war,
- übliche Lufttemperaturen vorherrschen, z. B. für Büroräume 20 bis 26 °C, und
- die Betriebsspannung möglichst der Nennspannung entspricht.

Beachtung der Lichtfarbe und Farbwiedergabe

Beim Austausch der Lampen muss darauf geachtet werden, dass neben der Leistungsaufnahme auch die Lichtfarbe und die Farbwiedergabe der Lampen wie in der Planung vorgesehen bleiben. Lichtfarbe und Farbwiedergabe der eingesetzten Leuchtstofflampen gibt ein dreiziffriger Lampencode an, den der

Hersteller auf den Lampen aufbringt. In diesem Code kennzeichnen die erste Ziffer die Farbwiedergabeeigenschaft, die zweite und dritte Ziffer die Lichtfarbe.

6.3.6 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: Beleuchtung (ASR A3.4). GMBL. (2011) Nr. 16, S. 303-317
- [3] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Beleuchtung im Büro – Hilfen für die Planung von Beleuchtungsanlagen von Räumen mit Bildschirm- und Büroarbeitsplätzen (BGI 856). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg 2009
- [4] 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
- [5] DIN EN 12464-1: Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen (08.11). Beuth, Berlin 2011
- [6] DIN 5035-6: Beleuchtung mit künstlichem Licht – Teil 6: Messung und Bewertung (11.06). Beuth, Berlin 2006

6 Gebäude und Einrichtung

6.4 Materialien

N. Kluger, Frankfurt am Main

Die Qualität der Luft in Innenräumen kann wesentlich durch die verwendeten Materialien, die Möblierung und die Anwendung von Reinigungs- und Pflegemitteln beeinflusst werden, da diese gas- oder staubförmige Substanzen freisetzen können. Die bekanntesten Beispiele sind Formaldehyd, der hauptsächlich aus Spanplatten emittiert wird, sowie die zur Holzbehandlung eingesetzten Holzschutzmittel.

Eine Zuordnung von gesundheitlichen Beschwerden zu Schadstoffen in der Raumluft ist in der Regel schwierig, da die Informationen über die eingesetzten Materialien und Produkte nur dürftig sind oder sogar vollständig fehlen. Vor diesem Hintergrund verfolgt dieser Abschnitt der Vorgehensempfehlung zwei Ziele:

- Zum einen sollen Hinweise darauf gegeben werden, welche Substanzen aus bestimmten Materialien (Holzbauplatten, Kleber, Teppichböden, Reinigungsmittel etc.) als staub- oder gasförmige Emissionen freigesetzt werden können. Diese für die genannten Materialien typischen Emissionen können dann mit den möglicherweise bereits in der Raumluft nachgewiesenen Stoffen in Bezug gesetzt werden und zur Identifizierung der Quellen bzw. zur Beseitigung der Ursachen beitragen. Allerdings wird eine Zuordnung von Beschwerden zu einer bestimmten Quelle im Allgemeinen nicht ohne weitere Untersuchungen möglich sein.

- Zum anderen soll dieser Abschnitt dabei helfen, möglichen späteren Beschwerden bereits frühzeitig während der Bauphase und der Einrichtung von Gebäuden effektiv entgegenzuwirken und entsprechende Vermeidungsstrategien zu entwickeln. Um Befindlichkeitsstörungen zu vermeiden, sollte direkt an der Quelle angesetzt werden. Die Belastung der Raumluft mit einer Vielzahl flüchtiger organischer Verbindungen resultiert zu einem nicht unerheblichen Teil aus kontinuierlich emittierenden Quellen mit großer Oberfläche wie Möbeln, Bauteilen, Teppichen etc. Je weniger Schadstoffe die Materialien an die Raumluft abgeben, desto höher wird die Qualität der Innenraumluft sein. Der Auswahl der einzubauenden oder zu verarbeitenden Materialien kommt demnach besondere Bedeutung zu. Emissionsarme Produkte auszuwählen und zu erkennen, ist jedoch nicht immer einfach. In dieser Situation will der vorliegende Abschnitt Hilfestellung geben.

6.4.1 Allgemeine Hinweise

Bei Neubau- und Umbaumaßnahmen sowie im Falle einer Sanierung sollten zur Vermeidung späterer gesundheitlicher Beschwerden der Nutzer von vornherein nur solche Bauchemikalien (Teppichbodenkleber, Farben, Lacke etc.) verwendet werden, von denen eine möglichst geringe Belastung der Innenraumluft ausgeht. Treten dennoch Ausdünstungen in solchen Bereichen auf, kann es hilfreich sein, zu heizen und viel

zu lüften. In vielen Fällen ist die Emissionsrate nach wenigen Monaten nur noch sehr niedrig. Einige Materialien, wie z. B. Spanplatten, können allerdings über diesen Zeitraum hinaus bis hin zu mehreren Jahren Stoffe in relevanten Mengen emittieren.

Maßnahmen und Vorgehensweisen zur Verbesserung der Innenraumluftqualität durch Auswahl entsprechender Materialien ziehen nicht immer gleichzeitig eine Verbesserung des Arbeits- und Gesundheitsschutzes der Verarbeiter von Baustoffen nach sich. So muss beispielsweise aus Gründen des Arbeitsschutzes Parkett- und Bodenlegern empfohlen werden, anstelle der stark lösungsmittelhaltigen, leicht flüchtigen Klebstoffe möglichst lösungsmittelarme oder noch besser lösungsmittelfreie Produkte zu verwenden. Zahlreiche Unfälle mit Schwerstbrandverletzten untermauern diese Forderung. In lösungsmittelarmen Produkten sind aber häufig höher siedende Lösungsmittel (z. B. Glykolether) enthalten. Wegen des geringen Dampfdruckes dieser Substanzen werden aus diesen Produkten kontinuierlich geringe Mengen höher siedender Lösungsmittel an die Innenraumluft abgegeben und belasten diese langfristig.

Um einerseits den Unternehmen der Bauwirtschaft bei der Umsetzung der vielfältigen Vorschriften eine Hilfestellung zu geben, haben die Berufsgenossenschaften der Bauwirtschaft das Gefahrstoff-Informationssystem GISBAU aufgebaut [1]. Ziel und Aufgabe von GISBAU ist es u. a., Auskunft über die Gefährdungen durch Bauchemikalien und geeignete Schutzmaßnahmen zu geben. So hat GISBAU in Zusammenarbeit mit Herstellern für unterschiedliche Produktgruppen (z. B. Verlegewerkstoffe, Epoxidharz-

Beschichtungsstoffe, Oberflächenbehandlungsmittel für Parkett) das Codierungssystem GISCODE entwickelt, mit dem eine Auswahl emissionsarmer Produkte – unabhängig vom Hersteller/Vereitler – möglich ist. Die Produkte werden dazu in Gruppen eingeteilt, die die Gefährdung im Hinblick auf den Arbeits- und Gesundheitsschutz widerspiegeln. Den GISCODE geben die Hersteller in Preislisten, Sicherheitsdatenblättern, Technischen Merkblättern und auf Gebinden an.

Andererseits hat der Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB) eine Vorgehensweise zur gesundheitlichen Bewertung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen aus Bauprodukten herausgegeben [2]. Basierend darauf werden Emissionen aus Bauprodukten mithilfe von Emissionsprüfkammern untersucht. Für Produkte aus Holz und Holzwerkstoffen erfolgen z. B. entsprechende Kammeruntersuchungen insbesondere im Rahmen der Vergabe des Umweltzeichens „Emissionsarme Möbel und Lattenroste aus Holz und Holzwerkstoffen“ RAL-UZ 38 (siehe Abschnitt 6.4.3) [3]. Die Ergebnisse solcher Untersuchungen können sowohl zur Ermittlung der zu erwartenden relevanten Gefahrstoffe in der Raumluft als auch zur Auswahl emissionsarmer Bauprodukte herangezogen werden.

Der erste wesentliche Schritt zur Identifizierung einer Emissionsquelle ist ein Überblick über die in den Innenbereich eingebrachten Materialien und Produkte. Hierbei sollten auch verdeckte Quellen (z. B. Bodenbelagskleber unter Teppichboden) oder nur temporäre Emittenten (z. B. Reinigungsmittel zur regelmäßigen täglichen oder wöchentlichen

6 Gebäude und Einrichtung

Reinigung der Arbeitsräume) bedacht werden. Zur Ermittlung stehen im Internet (www.dguv.de, Webcode d6274) spezielle Ermittlungsbögen zu den Themen

- Gebäudegestaltung und Raumausstattung (S5) sowie
- Gebäudereinigung (S6)

zur Verfügung.

Existieren Informationen über entsprechende Label (GISCODE, EMICODE, RAL-Gütezeichen u. Ä.) für die eingesetzten Materialien und Erzeugnisse, so sollten diese immer in den Ermittlungsbögen angegeben werden, da sie meist Informationen zur Emission liefern können. Häufig sind diese Angaben auch bei der Vorauswahl geeigneter Materialien und Erzeugnisse bei der Erstellung neuer Gebäude und Arbeitsräume hilfreich. Es ist davon auszugehen, dass die Qualität dieser Aussagen in Zukunft zunehmen wird und der Einsatz klassifizierter Materialien zu deutlich geringeren Emissionen führt.

6.4.2 Baustoffe und Bauchemikalien

Die Bauwirtschaft verwendet in großem Umfang Produkte der Bauchemie. Bauchemikalien wie Lacke, Klebstoffe oder Reinigungsprodukte werden eingesetzt, um Arbeiten einfacher, schneller und wirkungsvoller durchzuführen. Viele Bau-, Renovierungs-

und Reinigungsarbeiten sind ohne den Einsatz chemischer Produkte kaum möglich. Für die Herstellung von Bauchemikalien werden oft gefährliche Stoffe eingesetzt, auf deren Verwendung man nicht verzichten kann. Daher zählen Bauchemikalien zu den großflächig im Innenraum vorkommenden potenziellen Quellen für Emissionen von Schadstoffen.

Baustoffe und Bauchemikalien, von denen primär ein Einfluss auf die Innenraumluftqualität erwartet wird, können entsprechend Tabelle 4 in Gruppen eingeteilt werden.

Zu den Bauchemikalien im weiteren Sinne zählen auch Produkte, die im Bereich der Gebäudereinigung eingesetzt werden.

Rückstände von Reinigungsmitteln können die Innenraumluft über längere Zeit durch Verdampfen oder Ausgasen der in ihnen enthaltenen Stoffe belasten. Dies sind oftmals Konservierungsstoffe und Desinfektionsmittel (z. B. Aldehyde) sowie Lösungsmittel (z. B. Glykole, Isopropanol), organische Säuren und Treibgase.

Tabelle 5 (siehe Seite 46) gibt anhand ausgewählter Beispiele erste Hinweise darauf, welche Substanzklassen bei der Verwendung von Bauchemikalien emittiert werden können. In Anhang V findet sich darüber hinaus eine Tabelle, in der Einzelsubstanzen möglichen Quellen zugeordnet werden.

Tabelle 4:
Einteilung von Baustoffen und Bauchemikalien

Gruppe	Materialien
Dämmstoffe	Mineralwolle-Dämmstoffe Organische Dämmstoffe (z. B. Cellulosedämmstoffe) Schaumkunststoffe (z. B. Polyurethane) Sonstige
Holzwerkstoffe	Massivholz Brettschichtholz Plattenförmige Holzwerkstoffe Korkprodukte Anorganische gebundene Rohwerkstoffe Sonstige
Fußbodenbeläge	Glatte Beläge (z. B. PVC, Linoleum, Gummi) Parkett, Laminat Teppiche, Teppichböden Sonstige
Tapeten	Papiertapeten Vinyltapeten Glas- oder Textilfasertapeten Sonstige
Beschichtungs- und Dichtungssysteme	Holzschutzmittel und Beizen Wand- und Deckenfarben Lacke Putz und Spachtelmassen Klebstoffsysteme Dichtungsstoffe Sonstige
Reinigungsmittel	Grundreiniger Unterhaltsreiniger Sanitärreiniger Desinfektionsreiniger Pfleagemittel Sonstige
Schädlingsbekämpfungsmittel	Insektizide Fungizide

6 Gebäude und Einrichtung

Tabelle 5:
Übersicht über Substanzklassen, die bei der Verwendung von Bauchemikalien freigesetzt werden können

Anwendungsbereiche	Stoffgruppen
Beschichtungsarbeiten	Acetate, Alkohole, Amine (z. B. aus Epoxidharzen), Glykole/Glykolether, Ketone, Kohlenwasserstoffe, Phenole
Bodenverlegearbeiten	Acetate, Aldehyde, Alkohole, Pyrrolidone, Isocyanate, Kohlenwasserstoffe, Amine (z. B. aus Epoxidharzen)
Fliesenlegearbeiten	Alkohole, Kohlenwasserstoffe, Amine (z. B. aus Epoxidharzen), Acrylate, Isocyanate
Gebäudereinigung	Aldehyde, Alkohole, Biozide, Fluorverbindungen, Glykole/Glykolether, Tenside, Kohlenwasserstoffe
Holzleime	Acetate, Aldehyde, Alkohole, Ketone, Phenole, Pyrrolidone
Holzschutzmittel	Chromate, Fluorverbindungen, Biozide, Kohlenwasserstoffe
Montageschäume	Ether, Isocyanate, Kohlenwasserstoffe

6.4.3 Möbel

Gerade bei neuen Möbeln ist mit Emissionen zu rechnen. Um das Emissionsverhalten von Möbelbauteilen, kompletten Möbeln und anderen beschichteten Hölzern und Holzwerkstoffen zu untersuchen, stehen heute Prüfkammerverfahren zur Verfügung. Auf einem solchen Verfahren beruht u. a. auch die Vergabegrundlage für das Umweltzeichen RAL-UZ 38 [3]. Die geprüften Produkte

dürfen dabei vorgegebene Emissionswerte für Formaldehyd, für die Gesamtemission organischer Verbindungen im Siedebereich 50 bis 250 °C (entspricht der Summe flüchtiger organischer Verbindungen – TVOC, total volatile organic compounds) sowie für die Gesamtemission organischer Verbindungen im Siedebereich oberhalb von 250 °C nicht überschreiten (Tabelle 6). Beim Einsatz solcher Produkte ist mit wesentlich verringerten Emissionen in den Innenraum zu rechnen.

Tabelle 6:
Maximale Emissionswerte für emissionsarme Möbel und Lattenroste aus Holz und Holzwerkstoffen gemäß RAL-UZ 38 (Stand: Januar 2013) [5]

Verbindung oder Substanz	Emissionswert (3. Tag)	Endwert (28. Tag)
Formaldehyd	–	≤ 0,05 ppm
Summe der organischen Verbindungen im Retentionsbereich C ₆ bis C ₁₆ (TVOC)	≤ 3,0 mg/m ³	≤ 0,4 mg/m ³
Summe der organischen Verbindungen im Retentionsbereich > C ₁₆ bis C ₂₂ (TSVOC)	–	≤ 0,1 mg/m ³

Als Werk- und Hilfsstoffe für die Möbelherstellung lassen sich vier Werkstoffgruppen unterscheiden:

- Holzwerkstoffe
- Klebstoffe
- flüssige Beschichtungsstoffe für Holz und Holzwerkstoffe
- feste Beschichtungsmaterialien (z. B. Folien, Furniere)

Ihr Beitrag zu den Emissionen in die Innenraumluft wird im Folgenden erläutert. Darüber hinaus können Hölzer auch mit Holzschutzmittel imprägniert sein. Nähere Ausführungen hierzu finden sich im Abschnitt 12.4.9 dieser Vorgehensempfehlung.

Holzwerkstoffe

Unter Holzwerkstoffen versteht man alle von Holz abgeleiteten plattenförmigen Werkstoffe. Am häufigsten werden Spanplatten für die Möbelherstellung und den Innenausbau verwendet. Weitere Holzwerkstoffe sind Sperrholz, Hartfaserplatten und MDF-Platten (Medium Density Fiberboard, mittelharte Faserplatte).

Bei der Spanplattenproduktion werden als Kleber v. a. Harnstoff-Formaldehyd-Harze (UF), Melamin-Harnstoff-Formaldehyd-Harze (MUF), Phenol-Formaldehyd-Harze (PF) und „polymeres“ Diphenylmethandiisocyanat (PMDI) eingesetzt. Diese können allein, in Kombinationsverleimung (z. B. Deckschicht PF, Mittelschicht PMDI) und Mischharzverleimung (Mischung verschiedener Harztypen) verwendet werden.

Da zumeist nur geringe Anforderungen an die Feuchtigkeitsbeständigkeit von Spanplatten für den Möbel- und Innenausbau gestellt werden, werden fast ausschließlich mit Harnstoff-Formaldehyd-Harz (UF) gebundene Platten verwendet. Die restlichen Klebstoffe finden zu etwa je 5 % Verwendung. Phenol-Formaldehyd-Harze oder Isocyanate werden bei höheren Anforderungen an die Feuchtigkeitsbeständigkeit eingesetzt (Bauzwecke) oder wenn großer Wert auf extrem niedrige Formaldehydemissionen gelegt wird.

Unter dem Gesichtspunkt der Innenraumluftqualität standen Holzwerkstoffe – vor allem Spanplatten – in den 1980er-Jahren wegen ihrer Formaldehydemission verstärkt im öffentlichen Interesse. Um die Formaldehydemission aus Holzwerkstoffen bewertbar zu machen, wurden Emissionsklassen eingeführt (siehe Tabelle 7). Die Einteilung ist abhängig von der vom Werkstoff unter bestimmten Bedingungen in einen definierten Prüfraum abgegebenen Formaldehydmenge.

Tabelle 7: Emissionsklassen zur Beurteilung der Formaldehydemission aus Werkstoffen

Emissionsklasse	Emittierte Menge an Formaldehyd in ppm
E1	< 0,1
E2	0,1 bis 1,0
E3	1,0 bis 1,4

Bis Mitte der 1980er-Jahre wurden Platten der Klassen E2 und E3 verbaut. Mit der Emission von Formaldehyd aus diesen Spanplatten muss auch noch nach Jahren gerechnet werden. Mittlerweile dürfen in Deutschland

6 Gebäude und Einrichtung

nur noch Produkte mit der Emissionsklasse E1 vertrieben und für den Innenausbau verwendet werden. In Europa sieht dies anders aus, hier dürfen auch Produkte der Emissionsklasse E2 vertrieben werden. Bei ausländischen Herstellern ist daher gezielt auf die Emissionsklasse zu achten.

Im Handel sind darüber hinaus „E0“-Platten erhältlich, die als formaldehydfrei bezeichnet werden. Als Bindemittel werden in solchen Platten Zement, Magnesit oder Gips verwendet. Da jedoch auch der Naturrohstoff Holz geringe Mengen Formaldehyd enthält, dürfte den Bemühungen zur Herstellung „formaldehydfreier“ Holzwerkstoffe eine Grenze gesetzt sein [4].

Diller [5] geht davon aus, dass bei ausschließlicher Verwendung von Spanplatten der Klasse E1 und besser sowie dem Fehlen anderer relevanter Formaldehydquellen der Beurteilungswert für Formaldehyd von $0,1 \text{ ml/m}^3$ (ppm) eingehalten werden kann. Bei größeren Spanplattenflächen und geringem Luftwechsel muss ggf. von einer Überschreitung dieses Beurteilungswertes ausgegangen werden.

Klebstoffe

Bei Möbeln und Bauteilen für den Innenausbau finden aufgrund technischer und ökonomischer Vorteile hauptsächlich Klebstoffe auf der Basis von Ethylen-Vinylacetat und Aminoplasten Verwendung. Schmelzklebstoffe auf der Basis von Ethylen-Vinylacetat werden in der Kantenverleimung eingesetzt. Daneben werden für spezielle Zwecke, z. B. zum Verkleben von Glas oder Metall, geringe Mengen weiterer Klebstoffe verwendet. Polyvinylacetat-Dispensionskleb-

stoffe (PVAC-Klebstoffe) stellen mit Abstand die wichtigsten Klebstoffe für den Möbel- und Innenausbau dar. Dies liegt wohl vor allem an ihren anwendungstechnischen Vorteilen, z. B. dem Aushärten ohne Einwirkung von Wärme.

Flüssige Beschichtungsstoffe für Holz und Holzwerkstoffe

Die prozentuale Verteilung der eingesetzten Holzlacktechnologien zur flüssigen Beschichtung von Holzwerkstoffen schwankt in den europäischen Staaten stark. Neben ein- und zweikomponentigen Polyurethanlacken (1K- und 2K-PUR-Lacke) und säurehärtenden Lacken (SH-Lacke) sind Nitrocelluloselacke (NC-Lacke) mengenmäßig noch immer ein wichtiges flüssiges Beschichtungssystem in der Möbelindustrie. Darüber hinaus werden UV-härtende ungesättigte Polyester- bzw. Acrylatlacke eingesetzt. Es gibt jedoch einen eindeutigen Trend – forciert durch die Richtlinie 1999/13/EG über die Begrenzung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen, die bei bestimmten Tätigkeiten und in bestimmten Anlagen bei der Verwendung organischer Lösungsmittel entstehen [6], und die Richtlinie 2004/42/EG über die Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen aufgrund der Verwendung organischer Lösungsmittel in bestimmten Farben und Lacken [7]: weg von den stark lösungsmittelhaltigen Lacken hin zu festkörperreichen Lacken (Medium Solids/High Solids). Dabei werden die stark lösungsmittelhaltigen Holzlacke wie NC-Lacke, SH-Lacke und 1K-/2K-PUR-Lacke schrittweise durch UV-, Wasserlacke und moderne Beschichtungsverfahren ersetzt. Eine Übersicht über die Zusammensetzung einiger Lacksorten bietet Tabelle 8.

Tabelle 8:
Beispielhafte Zusammensetzung von Lacken für Möbelbeschichtungen (nach [8])

Art des Lackes	Lösungsmittelanteil in %	Zusammensetzung des Lösungsmittels
Nitrocelluloselacke	70 bis 80	30 bis 50 % Ester 20 bis 25 % Aromaten 10 bis 20 % Alkohole 10 bis 15 % Ketone 10 % Alkane
Polyurethan-Stammlacke	70	60 % Ester 20 % Aromaten 20 % Ketone
Polyurethan-Härter	62	90 % Ester 10 % Aromaten
UV-härtende ungesättigte Polyesterlacke	40	98 bis 100 % Aromaten 1 bis 2 % Alkohole 0,5 % Ester
Wasserlacke	11	64 % Alkohole 18 % Aromaten 18 % Ketone

Die Ausgasung der noch im Werkstoff vorhandenen Restmengen an Lösungsmitteln verläuft je nach Stoffgruppe unterschiedlich. So gasen Aromaten in der Anfangsphase etwa doppelt so schnell aus wie Alkohole. Bei Lösungsmittelgemischen, wie sie in den meisten Lacken verwendet werden, kommt es daher zu Verschiebungen zwischen dem relativen Anteil einzelner Substanzen im Rohlack und in der Innenraumluft. Der Anteil der Aromaten beträgt bei vielen Lacken rund 20 %, ihr Anteil an der Gesamtmenge aller leicht flüchtigen organischen Verbindungen in der Innenraumluft aber nur 2 bis 10 %. Der Anteil der Ester und Alkohole in der Luft ist im Gegensatz dazu in der Regel höher als deren Anteil im Lack.

Feste Beschichtungsmaterialien

Um die Möbeloberflächen zu schützen und zur Gestaltung, werden neben flüssigen Beschichtungsstoffen auch feste Beschichtungsmaterialien wie Furniere, Folien und Dekorpapiere eingesetzt. Je nach Art und Technologie der eingesetzten Materialien können hierdurch ebenfalls Lösungsmittel, flüchtige organische Verbindungen (VOC) etc. in die Raumluft entweichen.

6.4.4 Teppichböden

Auch Teppichböden müssen als Träger von Stoffen, die zur Belastung von Innenräumen beitragen können, berücksichtigt werden. Dabei steht die Emission von VOC im Vordergrund.

6 Gebäude und Einrichtung

Die „Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden e.V.“ (GuT) prüft Teppichböden und Teppiche auf gesundheitliche und ökologische Aspekte [9]. Halten die geprüften Bodenbeläge die GuT-Verwendungsverbote z. B. für schwermetallhaltige Farbstoffe ein und erfüllen sie die GuT-Kriterien im Rahmen der Schadstoffprüfung auf gesundheitsgefährdende Stoffe wie z. B. Formaldehyd, Benzol und flüchtige organische Verbindungen, so wird ihnen das GuT-Siegel (Abbildung 5) verliehen.

Abbildung 5:
GuT-Siegel



Teppichkleber

Insbesondere bei der Anwendung von Teppichklebern können Beeinträchtigungen der Raumluftqualität in Innenräumen auftreten. Um dem vorzubeugen, haben Unternehmen der deutschen Klebstoffindustrie die „Gemeinschaft Emissionskontrollierte Verlegewerkstoffe“ (GEV) gegründet. Erklärtes Ziel der Gemeinschaft ist es, in Zusam-

menarbeit mit der Rohstoffindustrie eine neue Produktgeneration „sehr emissionsarmer“ Verlegewerkstoffe zu schaffen, die dem Verbraucher im Hinblick auf den Gesundheitsschutz gewisse Sicherheiten bieten soll.

Darüber hinaus wurde ein gemeinsames Klassifizierungssystem zur Emissionsbewertung erarbeitet, das dem Verbraucher die benötigten Informationen für eine geeignete Produktauswahl liefert. Dem so entstandenen Produktkennzeichnungssystem EMICODE® liegen eine exakt definierte Prüfkammeruntersuchung und strenge Einstufungskriterien zugrunde. Die einheitliche Verwendung von EMICODE® durch die GEV-Mitglieder gibt allen Branchenpartnern Sicherheit bei der Auswahl von Verlegewerkstoffen. Nach EMICODE® werden die Produkte in drei Klassen eingeteilt (Tabelle 9) [10].

Alle nach EMICODE® gekennzeichneten Werkstoffe (Abbildung 6) gelten als emissionskontrollierte Werkstoffe und werden grundsätzlich ohne Zusatz von Lösungsmitteln hergestellt. Krebserzeugende, erbgutverändernde oder fortpflanzungsgefährdende Stoffe oder Stoffe, die im Verdacht einer solchen Wirkung stehen, dürfen in emissionskontrollierten Werkstoffen nicht eingesetzt werden.

Tabelle 9:
Übersicht über die EMICODE®-Klassen

Klasse	Emittierte Menge flüchtiger organischer Verbindungen in µg/m³	
	TVOC nach drei Tagen	TVOC/TSVOC nach 28 Tagen
EMICODE EC 1 ^{PLUS} sehr emissionsarm *)	≤ 750	≤ 60/40
EMICODE EC 1 sehr emissionsarm	≤ 1 000	≤ 100/50
EMICODE EC 2 emissionsarm	≤ 3 000	≤ 300/100

*) Produkte, die nach EMICODE EC 1^{PLUS} bewertet werden, müssen darüber hinaus weitere Anforderungen erfüllen.

TVOC (total volatile organic compounds): Summe der flüchtigen organischen Verbindungen mit einem Siedebereich von 60 bis 250 °C

TSVOC (total semi volatile organic compounds): Summe der flüchtigen organischen Verbindungen mit einem Siedebereich oberhalb von 250 °C

Abbildung 6:
EMICODE®-Siegel



6.4.5 Literatur

- [1] WINGIS Gefahrstoffinformationssystem der Berufsgenossenschaften der Bauwirtschaft. CD-ROM. BC-Verlag, Wiesbaden (jährliche Aktualisierung)
- [2] Vorgehensweise bei der gesundheitlichen Bewertung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC und SVOC) aus Bauprodukten. Hrsg.: Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB), Berlin, aktuellste Fassung
- [3] Grundlage für Umweltzeichenvergabe – Emissionsarme Möbel und Lattenroste aus Holz und Holzwerkstoffen (RAL-UZ 38) (01.13). Hrsg.: RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung, Sankt Augustin 2013

6 Gebäude und Einrichtung

- [4] *Roffael, E.*: Die Formaldehydabgabe von Spanplatten und anderen Holzwerkstoffen. DRW, Leinfelden 1982
- [5] *Diller, W.*: Messtechnik und Bewertung von Formaldehyd und Isocyanaten in Innenräumen. In: Schadstoffbelastung in Innenräumen, Bd. 19. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, Düsseldorf 1992
- [6] Richtlinie 1999/13/EG des Rates vom 11. März 1999 über die Begrenzung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen, die bei bestimmten Tätigkeiten und in bestimmten Anlagen bei der Verwendung organischer Lösungsmittel entstehen. ABl. EG (1999) Nr. L 85, S. 1-22; zul. geänd. Richtlinie 2008/112/EG, ABl. EG (2008) Nr. L 345, S. 68-74
- [7] Richtlinie 2004/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. April 2004 über die Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen aufgrund der Verwendung organischer Lösungsmittel in bestimmten Farben und Lacken und in Produkten der Fahrzeugreparaturlackierung sowie zur Änderung der Richtlinie 1999/13/EG. ABl. EG (2004) Nr. L 143, S. 87-96; zul. geänd. Richtlinie 2010/79/EU, ABl. EU (2010) Nr. L 304, S. 18-19
- [8] *Fischer, M.; Böhm, E.*: Erkennung und Bewertung von Schadstoffemissionen aus Möbellacken. Erich Schmidt, Berlin 1994
- [9] Verantwortung für die Umwelt. Hrsg.: Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden, Aachen
<http://license.gut-ev.de>
- [10] EMICODE. Hrsg.: GEV – Gemeinschaft Emissionskontrollierte Verlegewerkstoffe, Klebstoffe und Bauprodukte, Düsseldorf
<http://www.emicode.com/>

Weiterführende Literatur

Rühl, R.; Kluger, N.: Handbuch Bau-Chemikalien. Ecomed, Landsberg 2006 – Losebl.-Ausg.

Ökologisches Bauen: Energiesparend, emissionsarm und zukunftsfähig? Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF), Springe-Eldagsen 1999

Fischer, M.: Bauprodukte als Schadstoffquelle im Innenraum. *Gesundh.-Ing.* 121 (2000) Nr. 5, S. 246-248

Bischoff, W.; Dompke, M.; Schmidt, W.: Sick Building Syndrome. C. F. Müller, Karlsruhe 1993

European Collaboration Action: Evaluation of VOC Emissions from Building Products. Report No 18. EC. Hrsg.: Joint Research Centre, Ispra 1997

Innenraumbelastungen: Erkennen, Bewerten, Sanieren. Bauverlag, Berlin 1993

Kontrolle von Schadstoffemissionen aus Baumaterialien und anderen im Innenraumbereich eingesetzten Produkten. Umwelt (1993) Nr. 5, S. 206

Tomforde, B.; Kruse, H.: Bewertung der Luftverunreinigung in Innenräumen unter besonderer Berücksichtigung der Baumaterialien. Schriftenreihe des Instituts für Toxikologie der Universität Kiel, Heft 22, Kiel 1992

Verordnung über Verbote und Beschränkungen des Inverkehrbringens gefährlicher Stoffe, Zubereitungen und Erzeugnisse nach dem Chemikaliengesetzes (Chemikalien-Verbotsverordnung – ChemVerbotsV) vom 13. Juni 2003. BGBl. I (2003) S. 867-884; zul. geänd. BGBl. I (2010), S. 1648-1692

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/m^2 [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/m^2 . 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

8 Lärm

R. Hertwig, Sankt Augustin
J. Maue, Sankt Augustin
H.-D. Neumann, Düsseldorf

8.1 Allgemeine Hinweise

Lärm ist ein unerwünschtes Geräusch, das zu einer Belästigung, Störwirkung, Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit, besonderen Unfallgefahren und Gesundheitsschäden führt. Hinter dieser allgemein gültigen Definition verbirgt sich eine Vielzahl von Auswirkungen, die eine Lärmeinwirkung auf den Menschen haben kann. Hierbei unterscheidet man zwischen den auralen und den extraauralen Wirkungen des Lärms.

Unter der auralen Wirkung des Lärms versteht man die vorübergehende Vertäubung oder irreversible Schädigung des Gehörs, die durch eine längerfristige Lärmbelastung mit hohen Schalldruckpegeln oder auch durch ein einzelnes extremes Schallereignis (z. B. einen Knall) verursacht wird. Dabei ist die aurale Wirkung des Lärms nicht vom subjektiven Empfinden des Betroffenen abhängig.

Unter den extraauralen Wirkungen des Lärms werden alle anderen Wirkungen, wie zum Beispiel die Beeinträchtigung der Sprachverständigung und Konzentrationsfähigkeit, aber auch Körperreaktionen wie Stress und Herz-Kreislauf-Reaktionen, verstanden. Zumindest teilweise sind die extraauralen Wirkungen des Lärms auch von der subjektiven Wahrnehmung des Betroffenen abhängig.

Bei der Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz sind sowohl die auralen als auch die extraauralen Wirkungen zu berücksichtigen. Die entsprechenden derzeit gültigen Verordnungen und Richtlinien sind im Abschnitt 8.2 zusammengestellt.

8.2 Regelwerk

In der Arbeitsstättenverordnung [1] werden gemäß Ziffer 3.7 des Anhangs dieser Verordnung folgende Anforderungen zum Schutz gegen Lärm an Arbeitsstätten gestellt:

„In Arbeitsstätten ist der Schalldruckpegel so niedrig zu halten, wie es nach der Art des Betriebes möglich ist. Der Schalldruckpegel am Arbeitsplatz in Arbeitsräumen ist in Abhängigkeit von der Nutzung und den zu verrichtenden Tätigkeiten so weit zu reduzieren, dass keine Beeinträchtigungen der Gesundheit der Beschäftigten entstehen.“

Diese allgemein gehaltene Formulierung stellt eine relativ strenge Anforderung an die Gestaltung von Arbeitsstätten dar. Sie verpflichtet den Unternehmer, jegliche Art der Beeinträchtigung der Gesundheit von Beschäftigten durch Lärm unter Berücksichtigung des Standes der Technik auszuschließen. Damit zielt sie insbesondere auf mögliche extraaurale Wirkungen des Lärms ab.

8 Lärm

Die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung vom 6. März 2007 [2] legt fest, dass der Arbeitgeber im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung auftretende Lärmexpositionen am Arbeitsplatz zu ermitteln und zu bewerten hat. Zum Schutz der Beschäftigten vor einer Lärmgefährdung und somit vor den auralen Wirkungen des Lärms gibt die Verordnung Auslösewerte im Bezug auf den Tages-Lärmexpositionspegel und den Spitzenschalldruckpegel vor. Darüber hinaus werden maximal zulässige Expositionswerte genannt, die die maximale Geräuschbelastung unter dem Gehörschutz beschreiben und unter keinen Umständen überschritten werden dürfen.

Inhaltlich wird im Folgenden auf die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung sowie die zugehörigen Technischen Regeln [3] nicht weiter eingegangen, da sie lediglich das Vorgehen bei Überschreitung des „unteren Auslösewertes“ von $L_{EX,8h} = 80 \text{ dB(A)}$ zum Schutz vor den auralen Wirkungen des Lärms beschreiben. Dies ist an Innenraumarbeitsplätzen nicht zu erwarten.

8.3 Extraaurale Wirkungen von Lärm

Extraaurale, d. h. physiologische oder vegetative sowie psychische Wirkungen von Lärm haben Auswirkungen auf Gesundheit, Sicherheit sowie Leistungsfähigkeit der Beschäftigten. Folgende Wirkungen lassen sich beschreiben:

- Lärm wirkt auf das Zentralnervensystem und löst physiologische Reaktionen aus. Diese können je nach Intensität, zeitlichem Verlauf und Frequenzzusammensetzung der Lärmexposition sowie indi-

vidueller Disposition zu Lärm-Stress-Reaktionen führen. Folgen sind z. B.

- Verengung von Blutgefäßen,
 - Erhöhung des Blutdrucks,
 - Erhöhung der Herzfrequenz,
 - Verringerung des elektrischen Hautwiderstandes,
 - akute Erhöhung des Muskeltonus,
 - vermehrte Ausschüttung von Stresshormonen,
 - Verringerung der Magen- und Darmaktivität,
 - Gesichtsfeldeinschränkung oder
 - verzögerte Signalverarbeitung im Gehirn.
- Lärm kann psychische Reaktionen auslösen wie z. B.
 - Verärgerung,
 - Anspannung,
 - Resignation,
 - Angst oder
 - Nervosität.
 - Lärm kann ferner die
 - Aufmerksamkeit und Konzentration herabsetzen,
 - Sprachkommunikation beeinträchtigen und damit Fehlentscheidungen aufgrund von Missverständnissen verursachen,
 - Fehlerquote erhöhen und
 - Reaktionsleistung verringern.

Für diese extraauralen Lärmwirkungen kann nicht von einem einfachen Dosis-Wirkungs-Zusammenhang ausgegangen werden. Daher ist der Tages-Lärmexpositionspegel für eine Beurteilung von extraauralen Wirkungen nicht geeignet.

8.4 Kennwert und Richtwerte für extraaurale Wirkungen von Geräuschen am Arbeitsplatz

Als Kennwert zur Beurteilung der extraauralen Wirkung von Geräuschen am Arbeitsplatz wird in der Regel der Beurteilungspegel nach DIN 45645 [4] bestimmt. Der Beurteilungspegel setzt sich zusammen aus dem äquivalenten Dauerschallpegel L_{pAeq} einer zu beurteilenden Tätigkeit und ggf. erforderlichen Zuschlägen für die Impulshaltigkeit sowie die Ton- und Informationshaltigkeit des Geräusches. Er berechnet sich nach Gl. (1)

$$L_r = L_{pAeq} + K_I + K_T \quad (1)$$

mit

- L_r : Beurteilungspegel
- L_{pAeq} : äquivalenter Dauerschallpegel
- K_I : Zuschlag für die Impulshaltigkeit
- K_T : Zuschlag für die Ton- und Informationshaltigkeit

Dabei sind folgende Randbedingungen zu beachten:

- Tätigkeiten mit unterschiedlichen Anforderungen während einer Schicht sind getrennt zu beurteilen.
- Arbeitsphasen mit deutlich unterschiedlicher Geräuschbelastung sind getrennt zu beurteilen, wenn die Phase mindestens eine Stunde beträgt.
- Eigengeräusche wie z. B. die eigene Stimme, die Stimme des Gesprächspartners, das Läuten des eigenen Telefons oder Anschlaggeräusche der eigenen Tastatur sind auszublenden.
- Für die Impulshaltigkeit ist ein Zuschlag bis maximal 6 dB zu erheben, sofern ein impulshaltiges Geräusch subjektiv als störend empfunden wird und die Impulshaltigkeit mindestens 3 dB beträgt.
- Für die Ton- und Informationshaltigkeit kann je nach Auffälligkeit ein Zuschlag von 3 dB oder 6 dB erhoben werden.
- Die Zuschläge sind insgesamt auf maximal 6 dB zu begrenzen.

Der Beurteilungspegel unterscheidet sich insofern vom Tages-Lärmexpositionspegel, da letzterer sich auf die Gesamtexposition während einer 8-Stunden-Schicht bezieht und keine Zuschläge enthält.

Nach der Richtlinie VDI 2058 Blatt 3 [5] gibt es bei der Geräuschbeurteilung neben den oben genannten akustisch messbaren Größen auch die in Tabelle 12 (siehe Seite 76) zusammengestellten nicht messbaren Einflussgrößen.

Die in dieser Tabelle genannten tätigkeitsbezogenen Anforderungen sind wesentliche Merkmale bei der Festlegung der für einen Arbeitsplatz zumutbaren Beurteilungspegel. Die Richtlinie VDI 2058 Blatt 3 unterscheidet drei Pegelbereiche mit Beurteilungspegeln von

- maximal 55 dB(A),
- maximal 70 dB(A) und
- mehr als 70 dB(A)

und ordnet diese folgenden drei Tätigkeitskategorien zu:

8 Lärm

Tabelle 12:
Akustisch nicht messbare Einflussgrößen bei der Beurteilung der extraauralen Wirkung von Geräuschen [6]

Personenbezogene Einflussfaktoren	<ul style="list-style-type: none"> • Einstellung zum Geräusch oder Geräuscherzeuger • Einstellung zur Tätigkeit • Grad der Einübung/Erfahrung • körperliche und psychische Voraussetzungen (z. B. Gesundheitszustand, Stressbewältigungs-Potenzial)
Tätigkeitsbezogene Einflussfaktoren	<ul style="list-style-type: none"> • Anforderungen an Aufmerksamkeit und Konzentration • Gedächtnis • Lernfähigkeit • Reaktionsfähigkeit • Ausdauer • Kreativität • Sprachkommunikation
Weitere Einflussfaktoren	<ul style="list-style-type: none"> • Auffälligkeit des Geräusches • Ortsüblichkeit des Geräusches • Vermeidbarkeit des Geräusches • räumliche Änderung der Schallquelle

- *Überwiegend geistige Tätigkeiten – Beurteilungspegel maximal 55 dB(A)*

Dabei handelt es sich um Tätigkeiten mit hoher Komplexität, die schöpferisches Denken, weitreichende Entscheidungen, Problemlösungen und gute Sprachverständlichkeit erfordern, wie z. B.

- Besprechungen oder Lehrtätigkeiten,
- wissenschaftliches Arbeiten oder das Entwickeln von Programmen,
- Untersuchungen oder Operationen durch Ärzte sowie
- Entwerfen, Übersetzen oder Korrigieren von schwierigen Texten.

- *Einfache oder überwiegend mechanisierte Bürotätigkeiten und vergleichbare Tätigkeiten – Beurteilungspegel maximal 70 dB(A)*

Dabei handelt es sich um eingetübte Bürotätigkeiten und Tätigkeiten mit mittlerer Komplexität, die mittlere oder zeitlich begrenzte Konzentrationsleistungen/Anspannung und eine befriedigende Sprachverständlichkeit erfordern oder Tätigkeiten mit ähnlichen wiederkehrenden Aufgaben, wie z. B.

- kommunikationsgeprägte Tätigkeiten, z. B. in einem Callcenter,
- Überwachungs- und Steuerungstätigkeiten, z. B. in einem Leitstand,
- Prüf- und Kontrolltätigkeiten,

- Bedienen von Kunden oder Verkaufen sowie
- schwierige Feinmontagetätigkeiten.
- *Beurteilungspegel größer als 70 dB(A)*

Bei Beurteilungspegeln von mehr als 70 dB(A) sollten nur Tätigkeiten mit geringer Komplexität verrichtet werden. Solche Tätigkeiten erfordern nur eine geringe oder kurzzeitige Konzentration/Anspannung und geringe Sprachverständlichkeit. Es handelt sich vorwiegend um Routinearbeiten oder um Tätigkeiten mit wiederkehrenden Arbeitsinhalten wie z. B.

- handwerkliche Tätigkeiten,
- Tätigkeiten an Fertigungsmaschinen sowie
- Reparatur und Wartung technischer Einrichtungen.

8.5 Hinweise zur Durchführung von Messungen

Der Beurteilungspegel ist in der Regel ortsgebunden zu bestimmen, d. h. am Arbeitsplatz der Person, auf die der Schall einwirkt. Gemessen wird in Ohrhöhe möglichst bei Abwesenheit der Person. Als Ohrhöhe gelten

- für stehende Personen ab Standfläche:
155 cm
- für sitzende Personen ab Sitzfläche:
80 cm

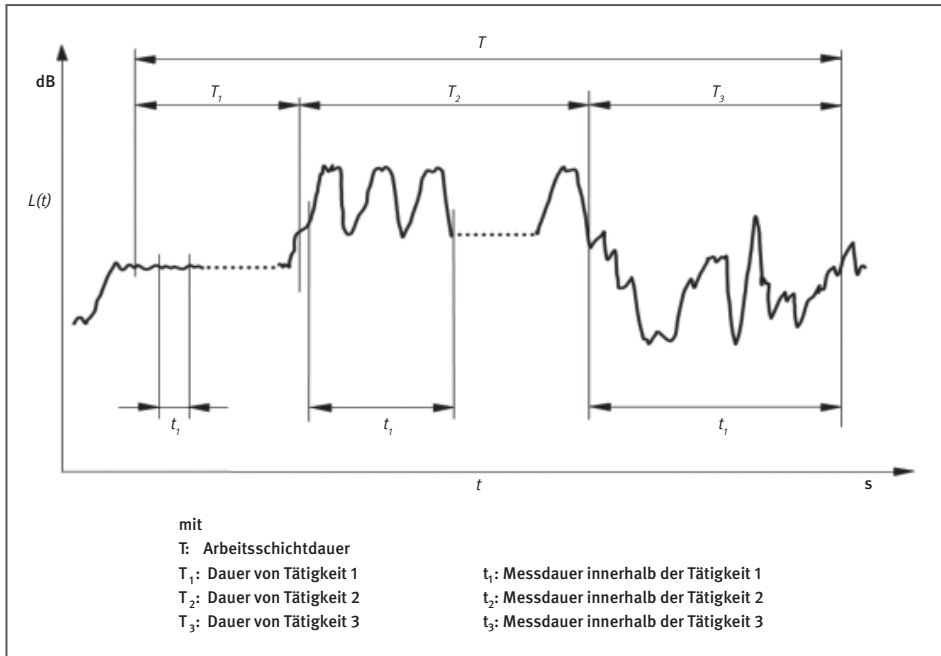
Das Mikrofon sollte möglichst in Blickrichtung der Person am Arbeitsplatz ausgerichtet sein. Ist die Anwesenheit des Beschäftigten am Arbeitsplatz während der Messung erforderlich, so soll das Mikrofon in Ohrnähe des Beschäftigten (Abstand zum Ohr 0,1 bis 0,4 m) so positioniert werden, dass die Geräuscheinwirkung auf das Mikrofon nicht durch den Körper des Beschäftigten behindert wird.

Gemessen wird mit Schallpegelmessern der Genauigkeitsklassen 1 oder 2 nach DIN EN 61672-1 [7]. Vorzugsweise sind Geräte der Klasse 1 einzusetzen. Bei Messungen mit Geräten der Klasse 2 ist eine Messunsicherheit von $\pm 3,0$ dB(A) zu berücksichtigen (siehe auch Abschnitt 8.7 Messunsicherheit).

In der Regel muss der Beurteilungspegel nicht durch eine Geräuschmessung über die gesamte Expositionszeit ermittelt werden. Lässt sich die Mittelungsdauer (Arbeitszeit) in geräuschtypische Teildauern zerlegen, so können geeignete Messdauern festgelegt werden, mit denen die für die entsprechende Teildauer kennzeichnende Schallimmission erfasst wird. Bei konstanten Geräuschen kann eine Messdauer von ca. 20 Sekunden ausreichend sein. Bei periodischen Vorgängen soll sich die Messdauer mindestens über einen typischen Geräuschzyklus erstrecken (siehe Abbildung 10 auf Seite 78).

8 Lärm

Abbildung 10:
Zerlegung einer Arbeitsschicht in mehrere Teilzeiten und beispielhaft gewählte Messdauern
in Anlehnung an DIN EN ISO 9612 [8]



8.6 Ermittlung des Beurteilungspegels aus Messungen in Teilzeiten

Der Beurteilungspegel L_r [4] errechnet sich aus den für die einzelnen Teilzeiten m ermittelten A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegeln $L_{pAeq,m}$ unter Berücksichtigung der jeweiligen Zuschläge und der Teilzeitdauern T_m entsprechend Gleichung (2).

$$L_r = 10 \lg \left[\frac{1}{T} \sum_{m=1}^M T_m \cdot 10^{0,1 \cdot L_{p,m}} \right] \text{ dB(A)} \quad (2)$$

mit:

$$L_{p,m} = L_{pAeq,m} + K_1 + K_T$$

A-bewerteter äquivalenter Dauerschallpegel $L_{pAeq,m}$ für die Teilzeit m zuzüglich der Zuschläge für die Impulshaltigkeit und für die Ton- und Informationshaltigkeit und

T_m : Zeitdauer der Teilzeit m

T : Summe der Zeitdauern für alle Teilzeiten T_m

M : Gesamtzahl der Teilzeiten m

Falls die einzelnen Teilzeiten in prozentualen Anteilen an der gesamten Tätigkeitsdauer ermittelt werden, lässt sich alternativ Gleichung (3) zur Berechnung des Beurteilungspegels heranziehen

$$L_r = 10 \lg \left[\sum_{m=1}^M \frac{x_m}{100} \cdot 10^{0,1 \cdot L_{p,m}} \right] \text{ dB(A)} \quad (3)$$

mit:

$$L_{p,m} = L_{pAeq,m} + K_l + K_r$$

A-bewerteter äquivalenter Dauerschallpegel $L_{pAeq,m}$ für die Teilzeit m zuzüglich der Zuschläge für die Impulshaltigkeit und für die Ton- und Informationshaltigkeit und

x_m : prozentualer Anteil der Teilzeit m an der gesamten Tätigkeitsdauer T

M : Gesamtzahl der Teilzeiten m

8.7 Messunsicherheit

Wie bereits im Abschnitt 8.5 angemerkt, ist bei der Bestimmung des Beurteilungspegels eine Messunsicherheit zu berücksichtigen. Sie hängt sowohl von der Qualität der verwendeten Messtechnik (Genauigkeitsklasse) als auch von der Qualität der Erfassung (Repräsentativität) ab. Insbesondere bei Beurteilungspegeln in der Nähe von vorgegebenen Schallpegelwerten (z. B. Richtwerten nach VDI 2058 Blatt 3 [5]) ist die Messunsicherheit von Bedeutung, da von ihr abhängt, ob über eine Unter- oder Überschreitung der Richtwerte entschieden werden kann.

Gemäß DIN 45645-2 [4] werden im Sinne einer Konvention folgende vereinfachende Festlegungen für den Vergleich mit vorgegebenen Schallpegelwerten getroffen:

a) *Der ermittelte Beurteilungspegel wird direkt mit dem vorgegebenen Schallpegelwert verglichen, d. h., für den Vergleich wird eine Unsicherheit von 0 dB angesetzt, falls*

- *ein Schallpegelmesser der Klasse 1 eingesetzt wurde und*
- *die Unsicherheit bei der Erfassung der längerfristig typischen (repräsentativen) Schallimmission bei der Tätigkeit kleiner als 3 dB abgeschätzt werden kann.*

b) *Der ermittelte Beurteilungspegel wird für den Vergleich mit dem vorgegebenen Schallpegelwert mit einer Unsicherheit von 3 dB angesetzt, falls*

- *ein Schallpegelmesser der Klasse 2 eingesetzt wurde und/oder*
- *die Unsicherheit bei der Erfassung der längerfristig typischen (repräsentativen) Schallimmission bei der Tätigkeit kleiner als 6 dB abgeschätzt werden kann.*

Lässt sich entsprechend Fall a) die Unsicherheit von 0 dB erreichen, kann man in jedem Fall eindeutig entscheiden, ob der vorgegebene Schallpegelwert eingehalten wird.

Falls entsprechend Fall b) nur die Unsicherheit von 3 dB erreicht wird, ist beim Vergleich des ermittelten Beurteilungspegels mit vorgegebenen Schallpegelwerten jeweils zu prüfen, ob der vorgegebene Schallpegelwert unterhalb, innerhalb oder oberhalb des durch die festgelegte Unsicherheit beschrie-

8 Lärm

benen Pegelbereiches ($L_r - 3 \text{ dB}$) bis ($L_r + 3 \text{ dB}$) liegt.

Liegt der vorgegebene Schallpegelwert unterhalb dieses Pegelbereiches, wird die Vorgabe überschritten; liegt er oberhalb des Pegelbereiches, wird die Vorgabe unterschritten. Liegt der vorgegebene Schallpegelwert innerhalb des Pegelbereiches, ist keine eindeutige Entscheidung möglich.

8.8 Lärm im Bildungsbereich

Zur Beurteilung von Lärm im Bildungsbereich ist die vorgestellte Beurteilungsweise nicht immer einfach umzusetzen. Die Ausblendung von Eigengeräuschen ist im Einzelfall schwierig, da z. B. zur Beurteilung der Lärmbelastung einer Lehrkraft im Unterricht die eigene Stimme und die zum Thema gehörende Kommunikation mit den Schülern auszublenden sind. Dabei kann eine klare Trennung zwischen Eigengeräusch und Störgeräusch problematisch oder gar unmöglich sein. Einfacher ist die Vorgehensweise bei differenziertem Unterricht, in dem sich verschiedene Gruppen in einem Klassenraum beschäftigen. In diesem Fall müsste die Messung an einem unbesetzten Gruppentisch erfolgen, um den von den anderen Gruppen erzeugten Schallpegel beurteilen zu können.

Neben der Lärmbelastung ist in Bildungseinrichtungen die Sprachverständlichkeit ein wichtiges Kriterium. Diese wird durch einen zu langen Nachhall in Räumen maßgeblich beeinträchtigt. In Räumen von Bildungseinrichtungen ist somit auch die Nachhallzeit ein wichtiger Beurteilungsmaßstab. Maßgeblich ist hier die DIN 18041 „Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen“ [9]. Diese Norm empfiehlt für Unterrichtssituationen

in Räumen mit einem Raumvolumen von ca. 200 bis 250 m³ eine Nachhallzeit von maximal 0,5 bis 0,6 Sekunden im besetzten Zustand. Im unbesetzten Zustand soll dieser Wert nicht um mehr als 0,2 Sekunden überschritten werden. Für die Nutzung des Raums durch Personen mit eingeschränktem Hörvermögen wird eine bis zu 20 % kürzere Nachhallzeit empfohlen.

8.9 Raumakustische Maßnahmen

Reflexionen an den Raumbegrenzungsflächen (der Decke, den Wänden und dem Boden) verstärken Geräusche in Räumen. Das Ausmaß der Verstärkung hängt wesentlich von der Größe des Raumes und von der Beschaffenheit der Raumbegrenzungsflächen ab. Harte geschlossene Oberflächen wie Beton, Mauerwerk, Glas, Holz usw. reflektieren Schall sehr stark, während poröse Materialien wie Mineralfaserplatten, Akustikschaumplatten und zahlreiche spezielle Akustikmaterialien den Schall absorbieren und so die Reflexion bis zu 100 % verhindern. Stattet man Räume mit solchen Schall absorbierenden Materialien aus, senkt dies die Lärmbelastung der Beschäftigten und reduziert gleichzeitig die Nachhallzeit.

Ausführliche Informationen über die akustisch günstige Gestaltung von Büroräumen und die zu erwartende Wirkung verschiedener Maßnahmen sind in einer Broschüre der Verwaltungs-Berufsgenossenschaft „Akustik im Büro“ zusammengestellt [10].

8.10 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] Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen (Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung – Lärm-VibrationsArbSchV) vom 6. März 2007. BGBl. I (2007), S. 261-277; zul. geänd. BGBl. I (2010), S. 960
- [3] Technische Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung: Lärm (TRLV Lärm). GMBL. (2010) Nr. 18-20, S. 359-405
- [4] DIN 45645-2: Ermitteln von Beurteilungspegeln aus Messungen – Teil 2: Ermittlung des Beurteilungspegels am Arbeitsplatz bei Tätigkeiten unterhalb des Pegelbereichs der Gehörgefährdung (09.12). Beuth, Berlin 2012
- [5] VDI 2058 Blatt 3: Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung unterschiedlicher Tätigkeiten (02.99). Beuth, Berlin 1999
- [6] *Maue, J.H.*: Lärmmessung im Betrieb. Erich Schmidt, Berlin 2011
- [7] DIN EN 61672-1: Elektroakustik – Schallpegelmesser – Teil 1: Anforderungen (10.03). Beuth, Berlin 2003
- [8] DIN EN ISO 9612: Akustik – Bestimmung der Lärmexposition am Arbeitsplatz – Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 (Ingenieurverfahren) (09.09). Beuth, Berlin 2009
- [9] DIN 18041: Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen (05.04). Beuth, Berlin 2004
- [10] VBG-Fachinformation: Akustik im Büro – Hilfen für die akustische Gestaltung von Büros (BGI/GUV-I 5141). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg 2012

Weiterführende Literatur

VDI 2569: Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro (01.90). Beuth, Berlin 1990 (Neufassung in Vorbereitung)

DIN 45645-1: Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen – Teil 1: Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft (07.96). Beuth, Berlin 1996

Probst, W.: Bildschirmarbeit – Lärmminde- rung in kleinen Büros. In: Arbeitswissen- schaftliche Erkenntnisse Nr. 123. Hrsg.: Bun- desanstalt für Arbeitsschutz und Arbeits- medizin (BAuA), Dortmund 2003 – Losebl.- Ausg.

Maue, J.H.: 0 Dezibel + 0 Dezibel = 3 Dezibel. Einführung in die Grundbegriffe und die quantitative Erfassung des Lärms. Erich Schmidt, Berlin 2009

8 Lärm

IFA-Handbuch – Sicherheit und Gesundheitschutz am Arbeitsplatz. 2. Aufl.
Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallver-

sicherung, Berlin. Erich Schmidt, Berlin –
Losebl.-Ausg. 2003
www.ifa-handbuchdigital.de

9 Raumklima

C. Felten, Hamburg

H.-D. Neumann, Düsseldorf

T. von der Heyden, Sankt Augustin

Das Raumklima hat großen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit, das Wohlbefinden und die Gesundheit des Menschen. Dabei sind für das Klimaempfinden (zu warm, angenehm, zu kalt usw.) grundsätzlich zwei wesentliche Gesichtspunkte von Bedeutung:

- die Umgebungsbedingungen wie Raumklima, Raumgestaltung, Gebäudestruktur usw. sowie
- der körperliche und seelische Zustand des Menschen bzw. seine physischen und psychischen Belastungen

Der menschliche Körper kann sich je nach Energieumsatz in gewissen Grenzen den wechselnden Zuständen des Raumklimas anpassen. Werden diese Grenzen überschritten, gerät der Wärmehaushalt des Menschen aus dem Gleichgewicht. Dies führt zu einer erhöhten Beanspruchung des Herz-Kreislauf-Systems. Als deren Folge können kurzzeitige Störungen, z. B. Kreislaufstörungen, Unwohlsein, oder – bei länger andauernder Belastung – Erkrankungen auftreten.

Trotz einer guten Gesamtklimabewertung können auch einzelne Klima- oder Belastungsfaktoren bei Über- oder Unterschreitung gewisser Grenzbereiche kurzfristiges Unbehagen oder bei längerer Einwirkung Erkrankungen fördern oder hervorrufen. Ein Beispiel hierfür sind Zuglufterscheinungen.

Entsprechend dem Klimaempfinden unterscheidet man folgende Klimabereiche (Abbildung 11, siehe Seite 84):

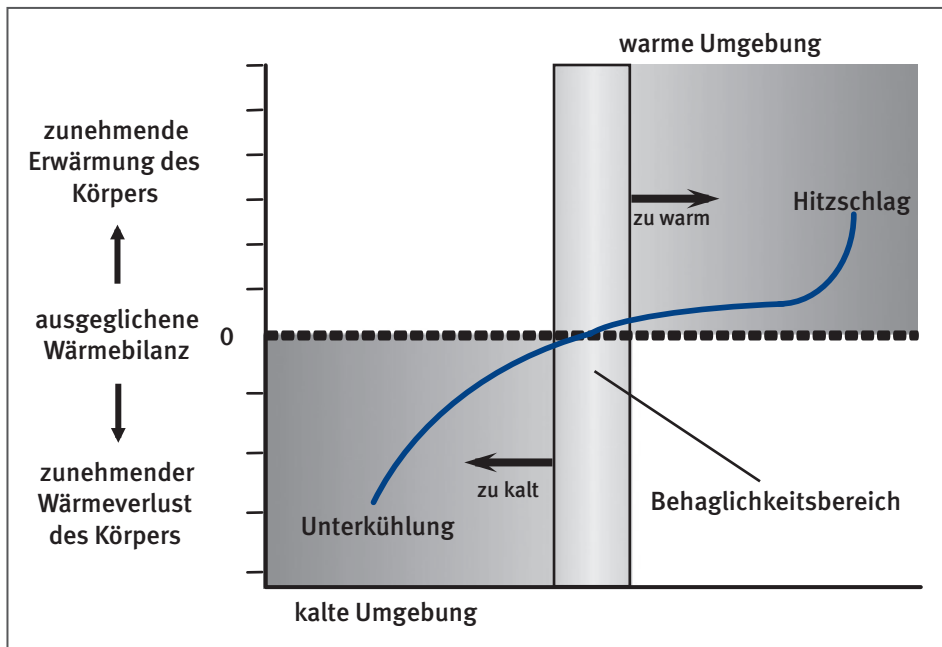
- Kältebereich
- Behaglichkeitsbereich
- Warmbereich und
- Hitzebereich

Der Behaglichkeitsbereich beschreibt Bedingungen, unter denen sich die Mehrheit der Beschäftigten wohlfühlt. Er beschreibt die Klimaanforderungen und Belastungssituationen, die üblicherweise an Innenraum-arbeitsplätzen vorliegen sollten, und ist als ein weitgehend thermisch neutraler Bereich anzusehen. Weitere Belastungsfaktoren sind nicht vorhanden. Der Wärmeaustausch zwischen dem menschlichen Körper und der Umgebung steht hier annähernd im Gleichgewicht. Im Idealfall sind die Wärmezu- und -abfuhr ausgeglichen.

Im Warmbereich (z. B. in Hallenbädern) liegen Belastungssituationen und/oder klimatische Verhältnisse vor, die zu erhöhten Schweißabgaben und Beanspruchungen des Herz-Kreislauf-Systems führen. Bei längeren Einwirkungen ergeben sich Störungen des Klimaempfindens. Der Warmbereich beschreibt somit Belastungssituationen, die

9 Raumklima

Abbildung 11:
Übersicht über die Klimabereiche (prinzipieller Verlauf der Klimaempfindung)



nicht unmittelbar zu gesundheitlichen Schäden führen, jedoch die Leistungsfähigkeit des Menschen herabsetzen.

Arbeiten im Kälte- und Hitzebereich sind eine Extrembelastung und auf das absolute Mindestmaß zu begrenzen. Hier sind besondere Maßnahmen notwendig. Daher werden diese Bereiche nachfolgend nicht behandelt.

Beurteilungsgrundlagen

Hilfen zur Beurteilung und Anforderungen an das Raumklima findet man in folgenden Bestimmungen:

- BGI/GUV-I 7003 – Beurteilung des Raumklimas [1]

- BGI 7004 – Klima im Büro: Antworten auf die häufigsten Fragen [2]
- Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR A3.6 – Lüftung [3]
- Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR A3.5 – Raumtemperatur [4]
- DIN EN ISO 7730 – Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit [5]

- DIN EN ISO 7726 – Umgebungsklima – Instrumente zur Messung physikalischer Größen [6]
- DIN 33403 – Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung – Teil 2: Einfluss des Klimas auf den Wärmehaushalt des Menschen [7]
- DIN 33403 – Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung – Teil 3: Beurteilung des Klimas im Warm- und Hitzebereich auf der Grundlage ausgewählter Klimasummenmaße [8]
- DIN 33403 – Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung – Teil 5: Ergonomische Gestaltung von Kältearbeitsplätzen [9]

9.1 Raumklimacheck

Zur orientierenden Einschätzung des Raumklimas reicht es meist aus, die Lufttemperatur und -feuchte zu bestimmen. Dies gilt unter der Voraussetzung, dass keine wesentlichen Wärmestrahlungsquellen (z. B. Sonneneinstrahlung oder Deckenheizung) oder kalte Flächen (z. B. Wand- oder Deckenkühlung) vorhanden sind. Bei Zuglufterscheinungen ist zusätzlich die Luftgeschwindigkeit zu bestimmen.

Gemäß der Technischen Regel für Arbeitsstätten ASR A3.5 – Raumtemperatur [4] müssen Arbeitsplätze mit hoher relativer Luftfeuchte, Wärmestrahlung oder Luftgeschwindigkeit gesondert betrachtet werden. Diese Klimagrößen sind dann zusätzlich einzeln oder gegebenenfalls nach einem Klimasummenmaß zu bewerten.

Der im Internet verfügbare spezielle Ermittlungsbogen S9 (www.dguv.de, Webcode d6274) soll bei der orientierenden Einschätzung des Raumklimas helfen. Bei Über- oder Unterschreitung der in Abschnitt 9.2 genannten Werte für die Raumlufttemperatur und die relative Luftfeuchte sind weitergehende Ermittlungen erforderlich, zu denen ein Fachmann herangezogen werden sollte. Die dann notwendige Beurteilung des Raumklimas wird im Folgenden erläutert.

9.2 Raumklimabeurteilung

Das Raumklima am Arbeitsplatz ist im Wesentlichen durch die physikalischen Größen

- Lufttemperatur,
- Strahlungstemperatur,
- Luftgeschwindigkeit und
- relative Luftfeuchte

und die individuellen Faktoren

- körperliche Aktivität (Tätigkeit) und
- Isolationswert der Kleidung

gekennzeichnet. DIN EN ISO 7730 [5] eröffnet anhand einer rechnerischen Verknüpfung der raumklimatischen Parameter, der Aktivität und der Bekleidung die Möglichkeit, das Behaglichkeitsempfinden in Räumen zu skalieren und die voraussichtliche Zahl Unzufriedener anzugeben. Bevor auf diese Klimasummenmaße näher eingegangen wird, werden zunächst die Vorgaben für einzelne Parameter vorgestellt.

9 Raumklima

Lufttemperatur

In Arbeitsräumen muss die Lufttemperatur in Anlehnung an die ASR A3.5 [4] mindestens die in Tabelle 13 aufgeführten Werte aufweisen.

Tabelle 13:
Lufttemperaturen in Arbeitsräumen
in Abhängigkeit von der Arbeitshaltung und
der Arbeitsschwere nach ASR A3.5

Überwiegende Arbeitshaltung	Arbeitsschwere		
	leicht	mittel	schwer
Sitzen	+20 °C	+19 °C	–
Stehen, Gehen	+19 °C	+17 °C	+12 °C

Diese Mindesttemperaturen sind während der gesamten Arbeitszeit zu gewährleisten. Darüber hinaus soll die Lufttemperatur +26 °C nicht überschreiten. Bei Außentemperaturen über +26 °C gilt eine Stufenregelung mit den Stufen 26/30/35 °C:

- bis 26 °C:
Sollbereich
- > 26 °C bis 30 °C:
Tolerierung mit Maßnahmen wie Sonnenschutz, Reduzierung thermischer Lasten und ggf. zusätzliche organisatorische Maßnahmen
- > 30 °C bis 35 °C:
Wirksame Maßnahmen zur Reduzierung der Beanspruchung erforderlich; technische und organisatorische Maßnahmen haben Vorrang vor persönlichen Maßnahmen (TOP)

- > 35 °C:
ohne TOP-Maßnahmen nicht als Arbeitsraum geeignet, wie Hitzearbeit zu behandeln

Neben der Höhe der Lufttemperatur ist auch der vertikale Temperaturgradient in der Aufenthaltszone für das Behaglichkeitsempfinden von Bedeutung. Die Differenz der Lufttemperatur zwischen Kopf und Fußgelenken soll 3 °C nicht überschreiten („kühler Kopf und warme Füße“) [5].

Strahlungstemperatur-Asymmetrie

Unterschiedliche Temperaturen der Umschließungsflächen (z. B. kalte Fensterflächen, warme Decken) können zu lokalem Unbehagen führen. Die Differenz zwischen Decken- und Fußbodentemperatur sollte maximal bei 5 °C liegen, diejenige zwischen kalten Fenstern und der gegenüberliegenden Fläche bei maximal 10 °C [5].

In diesem Zusammenhang sei auch erwähnt, dass sowohl zu warme als auch zu kalte Fußböden als unbehaglich empfunden werden. Die Fußbodentemperatur soll zwischen 19 und 29 °C liegen [5].

Operative Raumtemperatur

Die Wirkung der Lufttemperatur und der Strahlungstemperatur wird in der Regel durch die operative Raumtemperatur als Summenmaß beschrieben, die häufig verkürzt auch nur als Raumtemperatur bezeichnet wird. Sie berechnet sich nach folgender Näherungsgleichung [6]:

$$t_o = 1/2 \left[t_a + \bar{t}_r \right] \quad (1)$$

mit

t_o : örtliche operative Raumtemperatur in °C

t_a : örtliche Lufttemperatur in °C

\bar{t}_r : mittlere örtliche Strahlungstemperatur
in °C

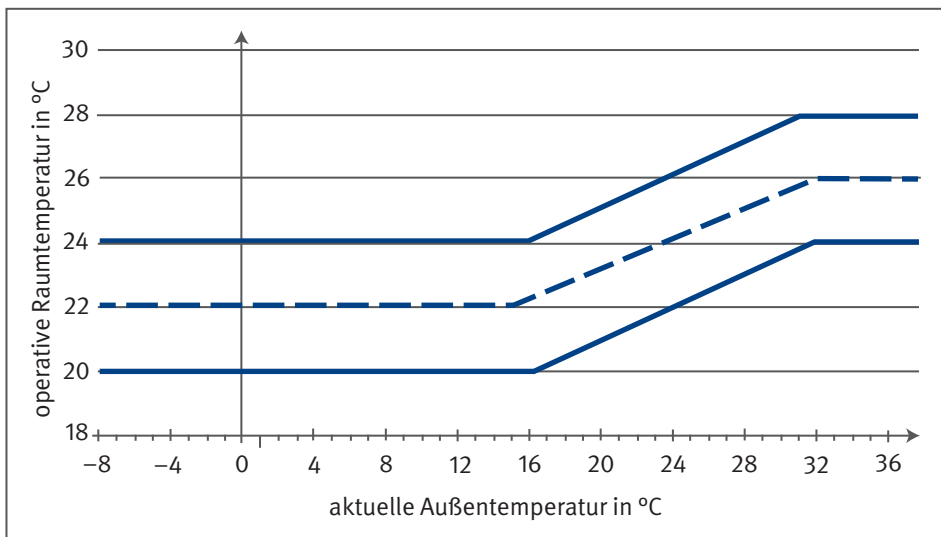
Ist die Strahlungstemperatur der Raumbegrenzungsflächen annähernd gleichmäßig, kann die Bestimmung der Strahlungstemperatur vernachlässigt werden. Die operative Raumtemperatur entspricht dann annähernd der Lufttemperatur. Direkte Sonneneinstrahlung, große kalte Fenster, schlecht isolierte Wände, kalte oder warme Maschinen können eine unregelmäßige Verteilung der Strahlungstemperatur in einem Raum verursachen.

Die operative Raumtemperatur ist in den Höhen 0,1, 1,1 und 1,7 m über dem Fußboden für stehende Mitarbeiter und in den Höhen 0,1, 0,6 und 1,1 m über dem Fußboden für sitzende Mitarbeiter [6] zu ermitteln, z. B. mit einem Globe-Thermometer.

In Abbildung 12 ist die empfohlene operative Raumtemperatur in Abhängigkeit von der aktuellen Außentemperatur als gestrichelte Linie dargestellt. Es gilt ein Toleranzbereich von ± 2 °C. Die angegebenen Werte gehen von einer geringen Aktivität der Raumnutzer (1,2 met, siehe Aktivität) aus und gelten für Bekleidungswiderstände zwischen 0,3 und 1 clo (siehe Bekleidungswiderstand).

Abbildung 12:

Operative Raumtemperatur in Abhängigkeit von der aktuellen Außentemperatur [10]



9 Raumklima

Luftgeschwindigkeit

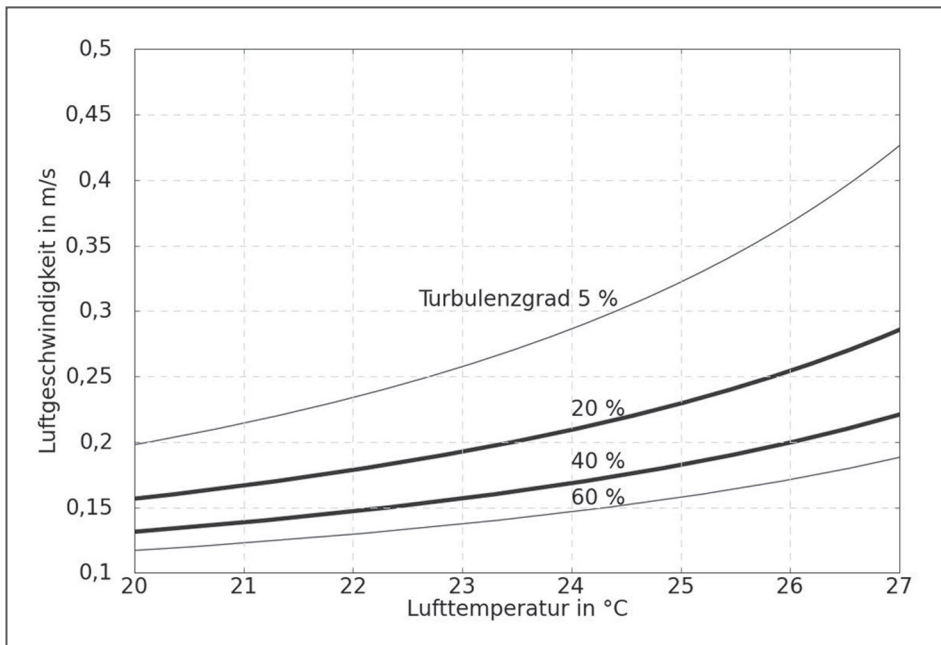
Die thermische Behaglichkeit wird in besonderem Maße von der Luftbewegung im Aufenthaltsbereich mitgeprägt. Für die Luftgeschwindigkeitsmessung ist ein richtungsunabhängiges Messgerät zu verwenden. Die Luftgeschwindigkeit ist in den Höhen 0,1, 1,1 und 1,7 m über dem Fußboden für stehende Mitarbeiter und in den Höhen 0,1, 0,6 und 1,1 m über dem Fußboden für sitzende Mitarbeiter zu messen [6].

Die Grenzwerte der Luftgeschwindigkeit im Behaglichkeitsbereich sind abhängig von der Lufttemperatur und vom Turbulenzgrad

der Strömung und ergeben sich aus Abbildung 13 [10].

Die Beschäftigten dürfen keiner unzumutbaren Zugluft ausgesetzt sein. Hierauf muss auch bei der Auslegung raumlufttechnischer Anlagen geachtet werden. Zuglufterscheinungen sind überwiegend von der Lufttemperatur, der Luftgeschwindigkeit in Kombination mit dem Turbulenzgrad (Luftgeschwindigkeitsverteilung mit der Zeit) und der Art der Tätigkeit abhängig. Bei einer Lufttemperatur von +20 °C tritt bei einer mittleren Luftgeschwindigkeit unter 0,15 m/s und einem Turbulenzgrad von 40 % üblicherweise keine unzumutbare Zugluft auf [3].

Abbildung 13:
Mittlere Luftgeschwindigkeiten als Funktion von Temperatur und Turbulenzgrad der Luft im Behaglichkeitsbereich bei leichten sitzenden Tätigkeiten und normaler Bürokleidung [10]



Luftfeuchte

Die relative Luftfeuchte soll die in Tabelle 14 aufgeführten Werte nicht überschreiten [3].

Tabelle 14:
Empfohlene maximale relative Luftfeuchte
in Abhängigkeit von der Lufttemperatur

Lufttemperatur in °C	Relative Luftfeuchte in %
20	80
22	70
24	62
26	55

Bei hoher relativer Luftfeuchte können an kalten Wänden feuchte Stellen auftreten. Dort sind die Wachstums- und Lebensbedingungen für Mikroorganismen verbessert. Dadurch können Schimmelpilzsporen in der Atemluft vermehrt auftreten und zu allergischen Erkrankungen wie Asthma und allergischem Schnupfen sowie zu allergischen Hauterkrankungen führen. Kalte und feuchte Räume begünstigen rheumatische Schübe bei Rheumatikern.

In den Wintermonaten kann der Wassergehalt in der Außenluft zwischen 2 und 3 g/kg trockener Luft liegen. Dies entspricht bei 0 °C einer relativen Luftfeuchte von etwa 60 %. Wird diese Luft auf 20 °C erwärmt, stellt sich eine relative Luftfeuchte von weniger als 20 % ein. Bei sehr niedrigen Außentemperaturen können sogar Werte von weniger als 10 % auftreten. Immer wieder werden verschiedene Beschwerden wie Austrocknen der Schleimhäute u. Ä. beschrieben. Aus einer umfassenden Literaturstudie [11] ergab sich jedoch, dass es keine ein-

deutigen Beschwerdebilder und somit keine eindeutigen Empfehlungen zu einer Untergrenze der relativen Luftfeuchte geben kann. Lediglich bei erkrankten Personen, die z. B. unter Neurodermitis leiden, konnte eine Verschlechterung des Krankheitsbildes bei geringer relativer Luftfeuchte festgestellt werden.

Daher ist im Einzelfall zu prüfen, ob die Luftfeuchte für die geäußerten Beschwerden verantwortlich ist. Falls die Luft befeuchtet werden soll, sollte die relative Luftfeuchte mindestens 30 % betragen. In DIN EN 13779 [12], die Auslegungskriterien für (Teil-)Klimaanlagen beschreibt, werden – sofern keine individuellen Parameter für den Einzelfall festgelegt werden – Vorschläge für die Auslegung von Befeuchtungsanlagen gemacht. Dabei werden Energiefragen, klimatische Bedingungen im Winter/Sommer, Kondensationsrisiken und Regelungsmöglichkeiten der Raumluftfeuchte berücksichtigt. Dort heißt es: „*Beispielsweise können 6 g/kg absolute Feuchte als Wintermindestwert und/oder 12 g/kg absolute Feuchte als Sommerhöchstwert festgelegt werden.*“ Diese Werte sind vor allem technisch begründet.

Aktivität

Die Gesamtwärmeabgabe einer Person wird von ihrer körperlichen Aktivität bestimmt. Die dazu notwendige Energie wird durch den Stoffwechsel freigesetzt. Als Einheiten für die Aktivität werden Watt, Watt pro m² Körperoberfläche (bezogen auf 1,8 m² Körperoberfläche) und met (metabolism) verwendet. 1 met entspricht der Stoffwechselrate für eine in Ruhe befindliche sitzende Person.

9 Raumklima

In Anhang B der DIN EN ISO 7730 [5] sind die Energieumsätze für verschiedene körperliche Tätigkeiten angegeben (siehe Tabelle 15).

Bekleidung

Die Möglichkeit der Wärmeabgabe des Körpers ist abhängig vom Isolationswert der Kleidung. Den Isolationswert gibt man nach DIN EN ISO 7730 [5] in der Einheit „clo“

(clothing) an. Dabei entspricht 1 clo einem Wert von $0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. Tabelle 16 zeigt Beispiele für Isolationswerte in Anlehnung an DIN EN ISO 7730.

Beurteilung des Raumklimas anhand von Klimasummenmaßen

Für eine umfassende Bewertung der Behaglichkeit werden der PMV- und der PPD-Index

Tabelle 15:
Energieumsätze verschiedener körperlicher Tätigkeiten nach DIN EN ISO 7730 [5]

Aktivität	Energieumsatz	
	in W/m^2	in met
Angelehnt	46	0,8
Sitzend, entspannt	58	1,0
Sitzende Tätigkeit (Büro, Wohnung, Schule, Labor)	70	1,2
Stehende, leichte Tätigkeit (Einkaufen, Labor, leichte Industriearbeit)	93	1,6
Stehende, mittelschwere Tätigkeit (Verkaufstätigkeit, Hausarbeit, Maschinenbedienung)	116	2,0

Tabelle 16:
Isolationswerte verschiedener Bekleidungen in trockenem Zustand [5]

Bekleidungskombination	Isolationswert	
	in clo	in $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$
Nackt	0	0
Shorts	0,06	0,009
Slip, T-Shirt, Shorts, leichte Socken, Sandalen	0,3	0,050
Unterhose, Hemd mit kurzen Ärmeln, leichte Hose, leichte Socken, Schuhe	0,5	0,080
Unterhose, Hemd, Latzhose, Socken, Schuhe	0,8	0,125
Unterwäsche mit kurzen Ärmeln und Beinen, Hemd, Hose, Jacke, Socken, Schuhe	1,0	0,155
Unterwäsche mit kurzen Ärmeln und Beinen, Hemd, Hose, Weste, Jacke, Mantel, Socken, Schuhe	1,5	0,230

zugrunde gelegt (PMV = predicted mean vote; dt: vorausgesagtes mittleres Votum; PPD = predicted percentage of dissatisfied; dt: vorausgesagter Anteil Unzufriedener). Der PMV-Index sagt den Mittelwert der Meinung einer großen Gruppe von Personen voraus.

Der PPD-Index gibt darüber hinaus an, mit wie viel Prozent Unzufriedener bei einem bestimmten PMV zu rechnen ist. Bei einem Wert für PMV = 0 wird das Raumklima in der Regel vom Menschen als thermisch neutral (behaglich) empfunden (siehe Tabelle 17).

Tabelle 17:
Klimaempfinden korreliert mit Klimaindizes PMV und PPD [5]

Empfinden	heiß	warm	etwas warm		neutral		etwas kühl	kühl	kalt
PMV	+ 3	+ 2	+ 1	+ 0,5	0	- 0,5	- 1	- 2	- 3
PPD in %	99	75	25	10	5	10	25	75	99

Es gibt keinen Zustand des Raumklimas, mit dem alle Personen zufrieden sind. Der minimale PPD-Index liegt daher bei 5 % Unzufriedenheit, d. h., 5 % der befragten Personen sind mit der Klimasituation unzufrieden. Nach DIN EN ISO 7730 wird der PPD-Index in drei Stufen (A, B, C) von Unzufriedenheit mit 6, 10 und 15 % eingeteilt. In der Regel sollte eine Unzufriedenheit von nicht mehr als 10 % angestrebt werden.

Bestimmen lassen sich die PMV- bzw. PPD-Indizes mit speziellen Messgeräten und EDV-Programmen sowie mithilfe der Tabellen im Anhang der DIN EN ISO 7730.

9.3 Literatur

- [1] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Beurteilung des Raumklimas (BGI/GUV-I 7003). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2010
- [2] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Klima im Büro: Antworten auf die häufigsten Fragen (BGI/GUV-I 7004). Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin. Carl Heymanns, Köln 2007
- [3] Technische Regeln für Arbeitsstätten: Lüftung (ASR A3.6). GMBL. (2012) Nr. 6, S. 92-97
- [4] Technische Regeln für Arbeitsstätten: Raumtemperatur (ASR A3.5). GMBL. (2010) Nr. 35, S. 751-753
- [5] DIN EN ISO 7730: Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit (05.06). Beuth, Berlin 2006

9 Raumklima

- [6] DIN EN ISO 7726: Umgebungsklima – Instrumente zur Messung physikalischer Größen (04.02). Beuth, Berlin 2002
- [7] DIN 33403-2: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung – Teil 2: Einfluß des Klimas auf den Wärmehaushalt des Menschen (08.00). Beuth, Berlin 2000
- [8] DIN 33403-3: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung – Teil 3: Beurteilung des Klimas im Warm- und Hitzebereich auf der Grundlage ausgewählter Klimasummenmaße (07.11). Beuth, Berlin 2011
- [9] DIN 33403-5: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung – Teil 5: Ergonomische Gestaltung von Kältearbeitsplätzen (01.97). Beuth, Berlin 1997
- [10] DIN EN 15251: Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik (12.12), Beuth, Berlin 2012
- [11] *von Hahn, N.:* „Trockene Luft“ und ihre Auswirkungen auf die Gesundheit – Ergebnisse einer Literaturstudie. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 67 (2007) Nr. 3, S. 103-107
- [12] DIN EN 13779: Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlagen und Raumkühlsysteme (09.07). Beuth, Berlin 2007

10 Elektrostatische und elektromagnetische Felder

F. Börner, Sankt Augustin
M. Fischer, Köln

10.1 Elektrostatische Felder

Statische Elektrizität kann entstehen, wenn zwei unterschiedliche Materialien aneinander gerieben und anschließend getrennt werden (Reibungselektrizität). Beim Reiben entsteht Wärme, die dazu führt, dass sich an der Oberfläche der beiden Materialien die Materialstruktur kurzzeitig ändert. Das hat zur Folge, dass Elektronen von der einen Oberfläche zur anderen wandern. Auf beiden Oberflächen entsteht hierdurch ein Ladungsüberschuss gleicher Größe, aber mit entgegengesetztem Vorzeichen. Können diese Ladungen durch die Trennung der Oberflächen nicht abfließen, d. h. sich nicht ausgleichen, entsteht ein elektrisches Feld, das als statische Elektrizität bezeichnet wird.

Die Größe und Polarität des Feldes hängen ab von

- der Art der beteiligten Materialien, insbesondere ihrer relativen Stellung in der elektrochemischen Spannungsreihe,
- der Intensität des Vorgangs Berühren/Trennen,
- der Oberflächenleitfähigkeit und
- den Umgebungsbedingungen (z. B. der relativen Luftfeuchte).

Aufladungsvorgänge entstehen überall dort, wo Berührungen und Bewegungen zwischen unterschiedlichen nicht leitfähigen Materialien auftreten. Vorzugsweise ist dies möglich zwischen synthetischen Materialien, z. B. beim

- Begehen eines Kunststoffeppichs,
- Teilen eines Stoffes,
- Abziehen eines Bandes von einer Rolle,
- Zerkleinern, Versprühen und Zerstäuben von Materialien und
- Strömen von Stoffen, z. B. Flüssigkeiten oder Stäube, an Wänden entlang.

Personen können sich beim Bewegen oder durch Ladungsverschiebungen (Influenz) aufladen. Kleidungsstücke mit nicht ausreichender Leitfähigkeit begünstigen die Aufladung. Beim Berühren aufgeladener Gegenstände kann eine Aufladung auch durch Ladungsübertragung erfolgen. Einen Überblick über die Spannungen, die durch elektrostatische Aufladungen bei typischen Bürotätigkeiten erzeugt werden, gibt Tabelle 18 (siehe Seite 94).

10 Elektrostatische und elektromagnetische Felder

Tabelle 18:
Spannungswerte, die durch elektrostatische Aufladungen erzeugt werden können

Tätigkeit	Spannung in V
Laufen über einen Teppichboden	1 500 bis 35 000
Laufen über einen unbehandelten Vinylbodenbelag	250 bis 12 000
Arbeiten an einem Arbeitstisch	700 bis 6 000
Papierbogen in einen Umschlag aus Vinyl stecken	600 bis 7 000
Aufheben einer Plastiktüte von einem Arbeitstisch	1 200 bis 20 000

Eine Voraussetzung für elektrostatische Aufladungen ist, dass der Oberflächenwiderstand der beteiligten Materialien mehr als 109 W beträgt und die relative Luftfeuchte unter 45 % liegt.

Falls aufgeladene Gegenstände oder Personen geerdete elektrisch leitfähige Stoffe oder andere Personen berühren oder sich diesen soweit annähern, dass aufgrund der Höhe der elektrischen Feldstärke Funken entstehen, können elektrostatische Entladungen auftreten. Faktoren, von denen der Entladungsvorgang abhängt, sind u. a. die

- Höhe der elektrostatischen Spannung,
- Annäherungsgeschwindigkeit des elektrostatisch geladenen Objektes an das leitfähige oder geerdete Objekt,
- Umgebungsbedingungen, z. B. Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchte, Staubpartikel, sowie
- Geometrie und Oberflächenbeschaffenheit der Objekte.

Die bekanntesten alltäglichen Entladungseffekte sind Entladungsfunken an Türgriffen, Treppengeländern und Autokarosserien sowie das Knistern oder sogar Funken beim Ausziehen eines Kleidungsstücks aus einem synthetischen Stoff.

Gefahren durch elektrostatische Felder

Für den Menschen stellen elektrostatische Felder im Allgemeinen keine Gefahr dar. Den Aufladungsvorgang bemerkt der Mensch nicht. Jedoch besteht die Gefahr des Erschreckens und hierdurch ausgelöster Fehlhandlungen, wenn sich Personen oder mobile Objekte wie z. B. Stühle, Gerätewagen, Druckertische oder Reinigungsgeräte nach einer elektrostatischen Aufladung schlagartig wieder entladen.

Der Mensch nimmt eine Entladung elektrostatischer Energie von mehr als etwa $5 \cdot 10^{-4}$ J spürbar wahr. Das entspricht bei einer typischen Körperkapazität zwischen Mensch und Erde von 100 bis 250 pF einer Entladungsspannung von 2 000 bis 3 100 V. In Büros kann eine solche Spannung schon bei normalen Tätigkeiten überschritten werden (siehe hierzu Tabelle 18).

Damit Gefährdungen durch elektrostatische Entladungen ausgeschlossen werden können, sollte die über den menschlichen Körper übertragene Energie 350 mJ oder die über den Körper übertragene Ladung 50 μC nicht überschreiten. Bei Entladungen an elektronischen Geräten reichen diese vom Menschen gespeicherten Energien aus, um Halbleiterbauteile im Inneren des Gerätes zu zerstören. Insbesondere kann eine auf wenige Volt aufgeladene Person bei direktem Kontakt mit dem Anschluss eines Halbleiterbauelementes irreparable Schäden an diesem Element erzeugen. So genügen beispielsweise Entladungsspannungen von

- 100 V, um eine Information auf einem magnetischen Datenträger zu löschen,
- 50 V, um einen Funken zu erzeugen, der explosive Gase entzünden kann,
- 5 V, um die hoch empfindlichen Leseköpfe von Hard Disks zu beschädigen.

Neben diesen direkten Schädigungen können elektrostatische Aufladungen auch Partikelansammlungen auf glatten Oberflächen hervorrufen. Die Folge können z. B. verschmutzte Bildschirme und Staubablagerungen sein.

Schutz vor statischer Elektrizität

Die Praxis zeigt, dass elektrostatische Aufladungen niemals ganz zu vermeiden sind. Häufig sind diese sogar so groß, dass Schutzschaltungen in elektronischen Geräten sie nicht mehr vollständig ableiten können. Aus diesem Grund ist es notwendig, Vorkehrungen zu treffen, um elektrostatische Aufladungen zu reduzieren oder abzuleiten. Dies kann man durch folgende Maßnahmen erreichen:

- Kontaktflächen verringern:

Elektrostatische Aufladungen können verringert werden, wenn die Kontaktfläche verkleinert oder verändert wird, z. B. durch Aufrauen der Oberfläche (Mattieren). Häufig wird diese Maßnahme bei Folien oder Folienprodukten, z. B. bei Klarsichthüllen, angewendet.

- Erden:

Bei sachgemäßem Erden wird die vorhandene Ladung schnell abgeleitet. Dabei muss darauf geachtet werden, dass der Ableitwiderstand kleiner als $10^9 \Omega$ ist. Ein sachgemäßes Erden erreicht man durch Verlegen von leitfähigen oder statisch ableitenden Bodenbelägen, Erden leitfähiger Möbel und Arbeitsflächen sowie Ausrüsten von Stühlen und Transportmitteln mit leitfähigen Rollen oder Rädern.

- Oberflächenwiderstand verringern sowie relative Luftfeuchte erhöhen:

Für Innenraumarbeitsplätze kommt ein Verringern des Oberflächenwiderstandes durch Ionisieren der Luft oder Erhöhen der Luftfeuchte als Maßnahme meist nicht infrage. Die Ionisierung der Umgebungsluft ist nur lokal möglich. Ihre Wirkung setzt erst ab einer Mindestspannung ein. Die Anwendung ist nur an industriellen Arbeitsplätzen sinnvoll, wenn elektrostatische Aufladungen stören. Bei einer Erhöhung der Luftfeuchtigkeit sind die in dieser Vorgehensempfehlung beschriebenen Anforderungen an das Raumklima (siehe Kapitel 9) zu beachten.

10 Elektrostatische und elektromagnetische Felder

Schon bei der Auswahl von Materialien sollte der Schutz vor statischer Elektrizität beachtet werden, damit Maßnahmen vermieden werden können.

10.2 Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder

Der Mensch ist in seiner heutigen Umgebung von natürlichen und technisch erzeugten elektrischen, magnetischen oder elektromagnetischen Feldern (EM-Feldern) umgeben. Natürliche Felder sind z. B. das Erdmagnetfeld oder bei Gewitter auftretende elektrische Felder. Technisch erzeugte Felder sind mit der Erzeugung, der Verteilung und dem Verbrauch elektrischer Energie verbunden.

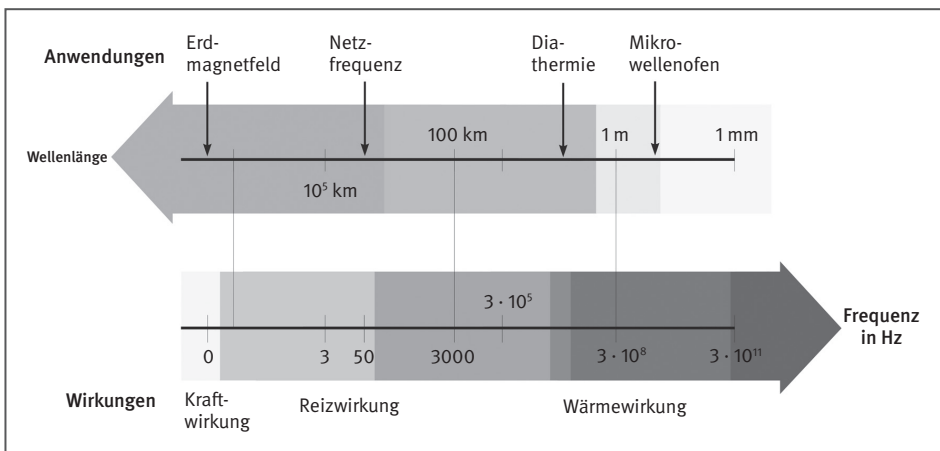
An Arbeitsplätzen können höhere EM-Felder dann auftreten, wenn diese z. B. zur Bearbeitung von Werkstücken bestimmungsgemäß eingesetzt werden (Erwärmungsanlagen,

Schmelzöfen etc.). Solche Arbeitsplätze werden in diesem Beitrag nicht behandelt.

An Innenraumarbeitsplätzen können EM-Felder nur in der direkten Umgebung von dort betriebenen elektrischen Geräten und Anlagen auftreten. Diese Felder sind hinsichtlich der Intensität allerdings wesentlich geringer als die bei der Bearbeitung von Werkstücken genutzten Felder. Häufig werden jedoch Befürchtungen geäußert, dass die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern auch an diesen Arbeitsplätzen zu nachteiligen Wirkungen führen könnte.

Das Frequenzspektrum von EM-Feldern reicht von Gleichfeldern mit der Frequenz 0 Hz bis zu Wechselfeldern mit Frequenzen von bis zu 300 GHz. Eine Einteilung von EM-Feldern in verschiedene Frequenzbereiche und ihre Anwendungen sowie Wirkungen zeigt beispielhaft Abbildung 15.

Abbildung 15:
Frequenzspektrum elektromagnetischer Felder und ihre Wirkungen



Gleichfelder sind zeitunabhängig. Das elektrische und das magnetische Gleichfeld sind getrennt zu betrachten. Elektrische und magnetische Gleichfelder haben an Innenraumarbeitsplätzen praktisch keine Bedeutung. In der Nähe von Permanentmagneten können jedoch aktive Körperhilfsmittel wie z. B. Herzschrittmacher, Defibrillatoren, Insulinpumpen oder Hörgeräte beeinflusst werden.

Der Bereich der niederfrequenten elektromagnetischen Felder umfasst alle Frequenzen zwischen 0 Hz und 30 kHz. Aufgrund der niedrigen Frequenzen sind das elektrische und das magnetische Feld praktisch entkoppelt und können getrennt voneinander betrachtet werden. Daraus folgt, dass das elektrische Feld nur von der Spannung U und das magnetische Feld nur von der Stromstärke I abhängt. Bei Anlagen und Geräten mit hohen Betriebsströmen überwiegt im Allgemeinen das magnetische Feld, während bei Anlagen mit hohen Spannungen das elektrische Feld dominiert.

Auftretende niederfrequente Felder werden im Wesentlichen von der Lage der elektrischen Leitungen und Geräte bestimmt. Dabei verringern sich sowohl die elektrische als auch die magnetische Feldstärke mit zunehmender Entfernung von der Feldquelle. Je nach Lage und Form des stromführenden Leiters weist die magnetische Feldstärke die in Abbildung 16 (siehe Seite 98) gezeigte Abhängigkeit vom Abstand zur Feldquelle auf.

Veränderungen des elektrischen Feldes sind durch leitfähige Materialien, die das Feld verzerren und abschirmen, leicht möglich. Das magnetische Feld kann dagegen nur mit

sehr hohem Aufwand reduziert werden. Es durchdringt nicht magnetische Stoffe nahezu ungehindert [2].

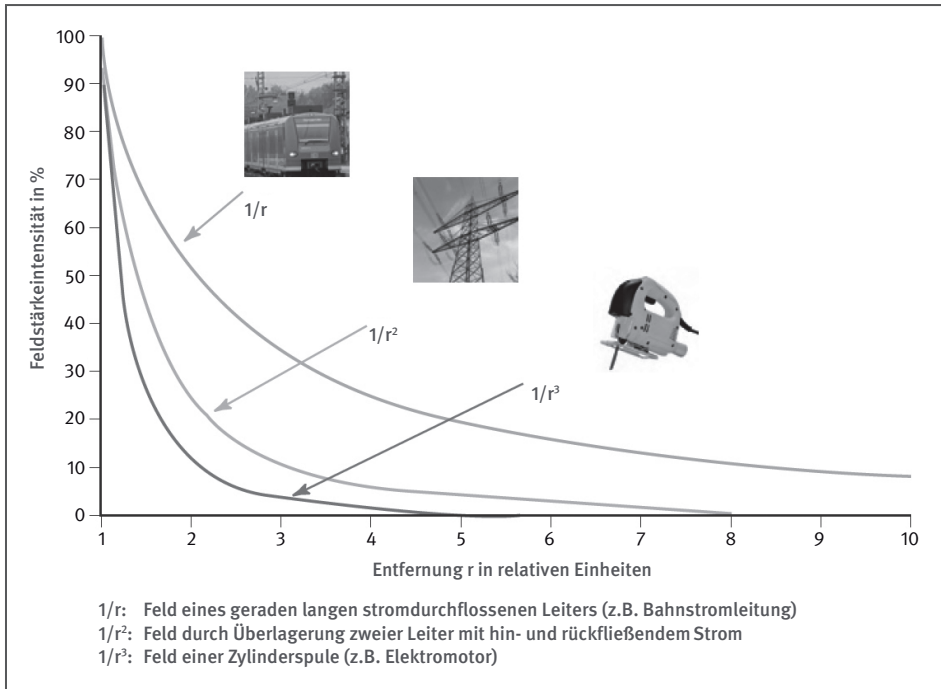
Der Hochfrequenzbereich beginnt bei Frequenzen über 30 kHz und erstreckt sich bis zum Ende des Mikrowellenbereichs bei 300 GHz. In diesem Frequenzbereich ist eine getrennte Betrachtung der elektrischen und magnetischen Feldkomponenten nicht möglich. Beide Feldkomponenten sind hier eng miteinander verknüpft. Die Felder können sich von ihrer Quelle, z. B. von einer Antenne, ablösen und über große Entfernungen ausbreiten. Man spricht dann von elektromagnetischen Wellen. Im Gegensatz zu anderen Wellen benötigen elektromagnetische Wellen kein Träger- und Ausbreitungsmedium. Sie können sich somit auch im luftleeren Raum ausbreiten. Ihre Ausbreitungsgeschwindigkeit ist identisch mit der Lichtgeschwindigkeit ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s). Dabei wird in Ausbreitungsrichtung elektromagnetische Energie transportiert. Ein Maß für die Energieströmung ist die Leistungsflussdichte in der Einheit W/m^2 . Anstelle der Leistungsflussdichte verwendet man auch die Begriffe Leistungsdichte, Energieflussdichte oder Strahlungsdichte.

Wirkungen von EM-Feldern

Die Wirkungen von EM-Feldern werden in direkte und indirekte Wirkungen unterschieden. Als direkte Wirkungen niederfrequenter elektrischer Felder werden im menschlichen Körper Verschiebestrome induziert und elektrische Feldstärken im Gewebe induziert. In starken elektrischen Feldern können auch Effekte an der Hautoberfläche wie Kribbeln und Aufstellen der Körperhaare auftreten. Niederfrequente magnetische Felder indu-

10 Elektrostatistische und elektromagnetische Felder

Abbildung 16:
Abnahme der Magnetfeldstärke verschiedener Quellen mit der Entfernung
(Quelle: Landesamt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg [1], Shutterstock)



zieren im menschlichen Körper Wirbelströme und elektrische Feldstärken im Gewebe. Die im Körper/Gewebe influenzierten oder induzierten Ströme und/oder Feldstärken können bei Überschreitung bestimmter Schwellenwerte Nerven- und Muskelzellen anregen. In Tabelle 19 sind beispielhaft Wirkungen auf den menschlichen Körper in Abhängigkeit von der Körperstromdichte aufgeführt.

Nach heutigem wissenschaftlichem Kenntnisstand sind nachteilige Wirkungen auf den menschlichen Körper bei induzierten

elektrischen Feldstärken von 50 mV/m und elektrischen Stromdichten von weniger als 10 mA/m² nicht zu erwarten [3 bis 5].

Hochfrequente elektromagnetische Felder können dagegen zu einer Erwärmung des menschlichen Körpers führen. Treffen elektromagnetische Wellen auf den menschlichen Körper, so wird ein Teil der Wellen reflektiert, ein anderer Teil dringt in den Körper ein und wird dort absorbiert. Die Eindringtiefe hängt von der Gewebeart und von der Frequenz des elektromagnetischen Feldes ab. Die Energie

Tabelle 19:
Wirkungen im Körper in Abhängigkeit von der Stromdichte

Stromdichte in mA/m ²	Wirkungen
< 1	Keine gesicherten biologischen Effekte
1 bis 10	Keine bestätigten Wirkungen; nicht gesicherte Berichte über individuelles Unbehagen
10 bis 100	Gut bestätigte Effekte; optische Sinneseindrücke; Nervensystemeffekte; Berichte über beschleunigte Knochenbruchheilung
100 bis 1 000	Gesundheitsgefahren möglich; Reizschwellen; Veränderung der Erregbarkeit des zentralen Nervensystems bestätigt
> 1 000	Schädigung möglich; Herzkontraktionen möglich, Herzkammerflimmern

der im Körper absorbierten Strahlung wird in Wärme umgewandelt. Damit ist eine Erhöhung der Körpertemperatur verbunden. Diese tritt zunächst an der Stelle auf, an der die Strahlung absorbiert wurde. Durch Wärmeleitung und durch das thermische Regelsystem des Körpers kann sich eine Temperaturerhöhung aber auch auf andere Körperbereiche ausdehnen. Das Regelsystem des Körpers versucht, die Körperkern-temperatur bei 37 °C konstant zu halten. Eine starke Erhöhung der Körperkern-temperatur kann zu Schäden führen, eine Erhöhung über 42 °C führt zum Tod. Um Schädigungen zu vermeiden, muss die Absorption elektromagnetischer Felder im menschlichen Körper so begrenzt werden, dass daraus keine Temperaturerhöhung von mehr als 1 °C folgt.

Ein Maß für die Absorption der Energie hochfrequenter elektromagnetischer Felder im Körper ist die spezifische Absorptionsrate SAR, die in der Einheit W/kg angegeben wird.

Neben diesen wissenschaftlich gesicherten direkten Wirkungen von EM-Feldern werden

in der Öffentlichkeit weitere mögliche Wirkungen diskutiert, deren Existenz bislang jedoch nicht nachgewiesen wurde. Diese reichen u. a. von Unwohlsein über Kopfschmerzen, Schlafstörungen, Beeinflussung des Hormonsystems bis hin zur Entstehung von Krebs. Mit dem Hinweis auf solche vermuteten Wirkungen wird häufig eine Reduzierung der zulässigen Werte für elektromagnetische Felder gefordert. Meist wird auch nicht mehr von elektromagnetischen Feldern gesprochen, sondern der Begriff „Elektrosmog“ gebraucht. Damit soll sprachlich deutlich gemacht werden, dass elektromagnetische Felder überall in der normalen Umgebung vorhanden sind und als ein potenzielles Risiko angesehen werden.

Die Strahlenschutzkommission überprüft ständig den aktuellen Stand der Erkenntnisse und veröffentlicht diesen u. a. auch auf ihren Internetseiten [6]. Sie unterscheidet kausale Zusammenhänge zwischen der Einwirkung elektromagnetischer Felder und dem Auftreten bestimmter Effekte in Hinweis, Verdacht und Nachweis. Hinweise gibt

10 Elektrostatische und elektromagnetische Felder

es auf eine Reihe von Wirkungen, für zwei Wirkungen durch niederfrequente elektromagnetische Felder gibt es einen Verdacht. Einen wissenschaftlich gesicherten Nachweis gibt es aber außer für die zuvor beschriebenen direkten Wirkungen nicht.

Zu den indirekten Wirkungen gehören Kraftwirkungen auf ferromagnetische Materialien und die Beeinflussung elektronischer Geräte. Kraftwirkungen treten z. B. in der direkten Umgebung von Kernspintomografen auf. Sie haben an Innenraumarbeitsplätzen aber keine Bedeutung. Eine weitere indirekte Wirkung ist die Beeinflussung von aktiven Körperhilfsmitteln.

Neben aktiven Körperhilfsmitteln können auch andere elektronische Geräte durch elektrische, magnetische oder elektromagnetische Felder gestört werden. Eine häufig auftretende Beeinflussung war die Störung von Röhrenmonitoren (CRT-Geräten) durch magnetische Felder. Bei den heutzutage hauptsächlich genutzten TFT-Bildschirmen tritt sie nicht auf.

Vorkommen von EM-Feldern an Innenraumarbeitsplätzen

Die meisten Geräte an oder in der Nähe von Innenraumarbeitsplätzen erzeugen elektrische und magnetische Felder entsprechend der Netzfrequenz von 50 Hz. Elektrische Geräte hoher Leistung rufen nicht zu vernachlässigende magnetische Felder hervor. Darüber hinaus treten magnetische Felder auch in der direkten Umgebung von Kleintransformatoren auf. Die elektrischen Feldstärken von Geräten in Innenräumen sind sehr gering und können daher vernachlässigt werden.

In Tabelle 20 sind für den Niederfrequenzbereich beispielhaft Feldquellen und deren Feldemissionen in verschiedenen Abständen angegeben. Anhand dieser Werte kann die Relevanz möglicher Feldquellen an Innenraumarbeitsplätzen beurteilt und die wesentlichen Feldquellen können von den unwesentlichen unterschieden werden.

10 Elektrostatische und elektromagnetische Felder

Tabelle 20:
Beispiele für niederfrequente elektrische und magnetische Felder von Elektrogeräten [7; 8]

Gerät	Frequenz in Hz	Abstand in cm	Elektrische Feldstärke in V/m	Magnetische Flussdichte in μT
Bohrmaschine	50	3	–	400 bis 800
		30	–	2 bis 3,5
		100	–	0,08 bis 0,2
Computer (PC)	50	3	–	0,5 bis 3,0
		30	–	< 0,01
Diaprojektor	–	3	–	240
		30	–	4,5
		100	–	0,15
Fernsehgerät	15 k	30	1 bis 10	0,2
		3	--	2,5 bis 50
	50	30	60	0,04 bis 2
		100	–	0,01 bis 0,15
Geschirrspüler	50	3	–	3,5 bis 20
		30	–	0,6 bis 3
		100	–	0,07 bis 0,3
Halogenlampe (Niedervolt)	–	3	–	25 bis 80
		30	--	0,6 bis 1,7
Heizlüfter	–	30	–	10 bis 20
Heizofen	–	3	–	10 bis 180
		30	–	0,15 bis 5
		100	–	0,01 bis 0,25
Kaffeemaschine	50	3	–	1 bis 25
		30	60	0,1 bis 0,2
Küchenherd	–	3	–	1 bis 50
		30	–	0,15 bis 0,5
		100	–	0,01 bis 0,04
Kühlschrank	50	3	–	0,5 bis 1,7
		30	120	0,01 bis 0,25
		100	–	< 0,01
Ladestation für Handfunkgeräte	50	30	–	1,5

10 Elektrostatische und elektromagnetische Felder

Tabelle 20:
(Fortsetzung)

Gerät	Frequenz in Hz	Abstand in cm	Elektrische Feldstärke in V/m	Magnetische Flussdichte in μT
Leuchtstofflampe	–	3	–	40 bis 400
		30	–	0,5 bis 2
		100	–	0,02 bis 0,25
Luftbefeuchter	–	30	–	10 bis 20
PC-Monitor	–	3	–	0,5 bis 10
		30	–	0,45 bis 1,0
		100	–	< 0,01 bis 0,03
Radio (tragbar)	–	3	–	16 bis 56
		100	–	< 0,01
Staubsauger	50	3	–	200 bis 800
		30	50	2 bis 20
		100	–	0,13 bis 2
Tauchsieder (1 kW)	–	3	–	12
		30	–	0,1
		100	–	< 0,01
Tischlampe (60 W)	–	3	–	0,1 bis 0,2
		30	5	0,01
Uhr (Netzbetrieb)	50	3	–	300
		30	30	2,25
		100	–	< 0,01
Videorekorder	–	3	–	1,5
		30	–	< 0,1
		100	–	< 0,1
Wasserkochtopf (1 kW)	–	3	–	5,4
		30	–	0,08
		100	–	< 0,01

Arbeitsplätze in Innenräumen können auch in der Nähe von Energieversorgungs- und Energieverteilungsanlagen liegen (siehe Abbildung 17). Messungen an verschiedenen Anlagen haben ergeben, dass die zulässigen Werte der Unfallverhütungsvorschrift BGV B11 [9] bei Weitem nicht erreicht werden. Dies gilt ebenso für Leitungen der elektrischen Hausinstallation. Bei Verteilungsanlagen in Büroräumen kann es jedoch zu Beeinflussungen von IT-Systemen kommen.

In der Nähe von erdverlegten Niederspannungs- und Mittelspannungskabeln werden zulässige Werte für das elektrische und magnetische Feld aufgrund der Erdverlegung und wegen des damit verbundenen Abstands zu den Kabeln im Allgemeinen weit unterschritten.

Elektrische und magnetische Felder sind in der Umgebung von Freileitungen vom Abstand zur Leitung, von der Höhe der Spannung und des fließenden Stromes abhängig.

Aufgrund der Höhe der Leitungssysteme und des bezüglich der elektrischen Sicherheit geforderten Mindestabstands zu den Leitungen werden die zulässigen Werte der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte bei Weitem nicht erreicht. Direkt unterhalb von Freileitungen (ohne Bebauung) sind elektrische Feldstärken von einigen kV/m möglich. Bei Stromstärken von 1 kA wurden magnetische Flussdichten bis zu 20 mT festgestellt. Demgegenüber liegen die niedrigsten zulässigen Werte nach BGV B11 „Elektromagnetische Felder“ [9] für das elektrische Feld bei 6,6 kV/m und für das magnetische Feld bei 424 mT. Im Bereich der Öffentlichkeit sind 5 kV/m und 100 μ T nach der 26. BImSchV [12] zulässig. Elektrische Felder werden zudem durch Bebauung, Bäume, Sträucher sowie jegliche leitfähige Materialien verzerrt bzw. abgeschirmt. Daher ist an Innenraumarbeitsplätzen unterhalb von Freileitungen nicht mit elektrischen und magnetischen Feldstärken, die für eine Gefährdung von Personen relevant sind, zu rechnen.

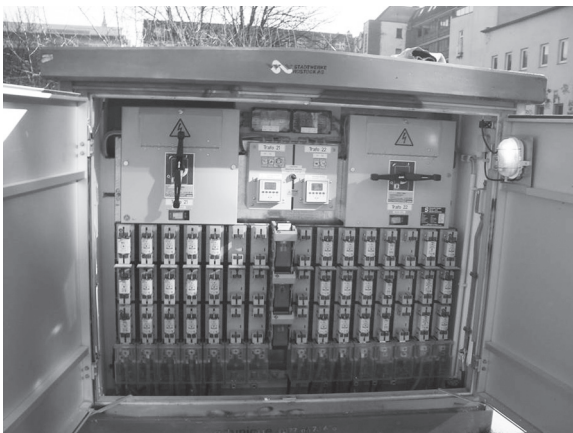


Abbildung 17:
Beispiel für eine
Energieverteilungsanlage

10 Elektrostatistische und elektromagnetische Felder

Hochfrequente Felder treten z. B. an Innenraumarbeitsplätzen auf, wenn Funkanwendungen genutzt werden. Beispiele für hochfrequente elektromagnetische Feldquellen sowie die jeweils zulässigen Werte sind in Tabelle 21 aufgelistet.

Emission elektromagnetischer Felder durch ausgewählte Geräte

- **Monitore:**
PC-Monitore erzeugen u. a. nieder- und hochfrequente elektromagnetische Felder. Die Feldemission ist jedoch so gering, dass die zulässigen Werte nach BGV B11 weit unterschritten werden. Eine Gefährdung von Personen tritt daher bei der Arbeit an einem PC-Bildschirm nicht auf.
- **Wireless-LAN-Systeme:**
Wireless Local Area Networks (WLAN) sind lokale Datennetze, die über Funk Datenübertragungen zwischen Geräten
- **Mobilfunkstationen:**
Für die moderne Informations- und Kommunikationstechnik baute man in der Bundesrepublik Deutschland in den letzten Jahren ein System aus fest installierten und mobilen Funkanlagen auf (Abbildung 18). Einen Überblick über die verschiedenen Netze und deren charakteristische Daten für ortsfeste Sendefunkanlagen des Mobilfunks gibt Tabelle 22.

Tabelle 21:
Beispiele für Expositionen durch hochfrequente elektromagnetische Felder an Innenraumarbeitsplätzen und die maximal zulässigen Werte (Expositionsbereich 2 nach BGV B11) [10; 11]

Feldquelle		Abstand	Typische Werte der Exposition	Zulässige Werte
Diebstahlsicherungseinrichtung		im Überwachungsbereich	$< 2 \text{ mW/m}^2$	$4,5 \text{ W/m}^2$
Mikrowellen-Kochgerät		5 cm zum Gerät	$0,62 \text{ W/m}^2$	10 W/m^2
Mobilfunk	Basisstation	50 m	$0,06 \text{ W/m}^2$	je nach Frequenzband 4,45 bis 10 W/m^2
	Handy	3 cm von Antenne	$< 2 \text{ W/kg}$	2 W/kg
HF-Belastung in Wohnräumen in der Nähe von Mobilfunksendern		keine Angabe	$3 \mu\text{W/m}^2$ bis $5,2 \text{ mW/m}^2$	2 W/m^2



Abbildung 18:
Sendefunkanlagen für den Mobilfunk

Tabelle 22:
Kommunikationsnetze und charakteristische Daten ortsfester Sendefunkanlagen (Basisstationen)
für den Mobilfunk

Kommunikationsnetz	Trägerfrequenz in MHz	Eingespeiste Antennenleistung	Bemerkungen
D-Netz	890 bis 960	10 W typisch 50 W möglich	digital gepulst 217 Hz
E-Netz	1 710 bis 1 880	10 W	digital gepulst 217 Hz
UMTS	1 920 bis 2 170	20 bis 40 W	FDMA ²⁾ und TDMA ³⁾ Technik
Tetra (BOS)	380 bis 395	bis 40 W ERP ¹⁾	TDMA ³⁾ (vier Zeitschlitz pro Träger)
Tetrapol	70 bis 520	bis 50 W	Frequenzmultiplex FDMA ²⁾
Cityruf	470	100 W	regionale Rufanzeige
Analoger Bündelfunk Öffentlicher Bereich	410 bis 430	bis 200 W ERP ¹⁾	geschlossene Benutzer- gruppen
Digital Mobile Radio (DMR)	136 bis 174 403 bis 470	bis 40 W	TDMA ³⁾ (zwei Zeitschlitz pro Träger)
Wireless LAN (WLAN)	2 400 bis 2 480 5 100 bis 5 800	< 100 mW EIRP ⁴⁾ < 1 W EIRP ⁴⁾	–

¹⁾ ERP: *Effective radiated power (Strahlungsleistung bezogen auf einen Halbwellendipol)*

²⁾ FDMA: *Frequency Division Multiple Access*

³⁾ TDMA: *Time Division Multiple Access*

⁴⁾ EIRP: *Effective isotropical radiated power (Strahlungsleistung bezogen auf einen isotropen Kugelstrahler)*

10 Elektrostatische und elektromagnetische Felder

Für den Betrieb ortsfester Sendefunkanlagen des Mobilfunks (Basisstationen) benötigt der Betreiber eine Standortbescheinigung. Die Standortbescheinigung wird von der Bundesnetzagentur erteilt, wenn sichergestellt ist, dass an dem betreffenden Standort die zulässigen Werte zum Schutz von Personen in elektromagnetischen Feldern eingehalten werden. Hierbei werden die zulässigen Werte der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV) [12] zugrunde gelegt. Unter Berücksichtigung der vor Ort vorhandenen Feldstärken legt die Bundesnetzagentur einzuhaltende Mindestabstände (Sicherheitsabstände) zu den Sendeanlagen fest und weist diese in der Standortbescheinigung aus. Es sind geeignete Maßnahmen (z. B. Umzäunung, Absperrung) zu ergreifen, um sicherzustellen, dass der geforderte Sicherheitsabstand von unbefugten Personen eingehalten wird.

Wegen der Zugangsbeschränkung zu stationären Sendefunkanlagen und des größeren Abstandes werden an Innenraumarbeitsplätzen, in deren Nähe sich Mobilfunkbasisstationen befinden, die maximal zulässigen Werte der 26. BImSchV in jedem Fall eingehalten. Eine Gefährdung von Beschäftigten an Innenraumarbeitsplätzen ist daher durch Mobilfunkstationen nicht zu erwarten.

- Mobilfunkgeräte:

Mobilfunkgeräte (z. B. Handys) arbeiten mit variablen Sendeleistungen. In Fahrzeuge fest eingebaute Mobilfunkgeräte senden mit Sendeleistungen bis zu 8 W, Handys senden mit Spitzenleistungen bis zu 2 W.

Bei der Benutzung von Mobiltelefonen wird ein Teil der Hochfrequenzenergie vom Kopf absorbiert. Wie viel von der Energie im Kopf aufgenommen wird, hängt von der Bauform des Gerätes, der Art der Benutzung, vom Antennentyp, von der Position der Antenne zum Kopf, von der Frequenz und von der Sendeleistung ab.

Für Mobilfunkgeräte ist heute eine spezifische Absorptionsrate SAR von 2 W/kg einzuhalten [3]. Bei Einhaltung dieses Wertes ist nach heutigem wissenschaftlichen Kenntnisstand nicht mit gesundheitlichen Beeinträchtigungen zu rechnen.

- DECT-Anlagen:

DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) ist ein Mobilfunkstandard, der den Zugang zu einem Mobilfunknetz definiert. De facto ist er aber ein Standard für schnurlose Telefone. Er beschreibt ein Mobilfunksystem, das mindestens aus einer Sendefunkstation (Basisstation) und einer Mobilfunkstation, d. h. einem Schnurlostelefon besteht. In einem DECT-System können mehrere Basisstationen/ Repeater (Abbildung 19) und Schnurlostelefone verwendet werden, sodass z. B. eine größere Fläche (Gebäudekomplex) versorgt werden kann oder mehrere Telefongespräche gleichzeitig geführt werden können.

In Europa wurde das System für den Frequenzbereich 1 880 bis 1 900 MHz definiert. Ein DECT-System hat theoretisch eine maximale Sendeleistung von 250 und eine gemittelte Sendeleistung von ca. 10 mW. Für die Nutzung des Schnurlostelefons gelten die gleichen Kriterien wie



Abbildung 19:
Access Point für DECT-Anlagen

für die Nutzung eines Handys. Jedoch ist die Sendeleistung von Schnurlostelefonen deutlich geringer als die von Handys. Für Personen an Innenraumarbeitsplätzen ist eine Gefährdung durch DECT-Anlagen nicht gegeben.

- Mikrowellen-Kochgeräte (Mikrowellenherde):

In Mikrowellen-Kochgeräten wird zur Erwärmung von Lebensmitteln Hochfrequenzenergie erzeugt. Die Hochfrequenzenergie wird von den Lebensmitteln absorbiert und in Wärmeenergie umgewandelt. Im Allgemeinen wird hierzu eine Frequenz von 2 455 MHz verwendet. Abschirmmaßnahmen sorgen dafür, dass die zulässigen Werte außerhalb des Gerätes eingehalten werden.

Nach Untersuchungen des Bundesamtes für Strahlenschutz liegen die Leistungsdichte-Messwerte für die „Leckstrahlung“ an Haushalts-Mikrowellenherden bei 1 % des zulässigen Emissionsgrenzwertes [13]. Da die emittierte Leistungsdichte mit zunehmendem Abstand abnimmt (in 30 cm Entfernung sind nur noch etwa 5 bis 10 % der an der Oberfläche des Gerätes gemessenen Leistungsdichte wirksam), ist bei einem intakten Gerät sichergestellt, dass die zulässigen Werte der BGV B11 von 10 W/m^2 für den Expositionsbereich 2 beim Einsatz eines Mikrowellenherdes an Innenraumarbeitsplätzen nicht überschritten werden. Bei offensichtlichen Defekten in der Abschirmung (z. B. bei defekten Türdichtungen) kann dies jedoch nicht garantiert werden. Daher ist darauf zu achten, dass keine defekten Mikrowellengeräte verwendet werden.

10.3 Vorschriften und Grenzwerte

In Deutschland gibt es Regelungen zum Schutz vor elektrischen, magnetischen oder elektromagnetischen Feldern sowohl für den Bereich der Öffentlichkeit als auch im Bereich des Arbeitsschutzes.

26. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz

Im Bereich der Öffentlichkeit ist die im Jahr 1997 erlassene 26. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz (Verordnung über elektromagnetische Felder), kurz 26. BImSchV [12], heranzuziehen. Diese enthält Anforderungen zum Schutz der Allgemeinheit und Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch elektromagnetische Felder.

Die Verordnung gilt für die Errichtung und den Betrieb von Nieder- und Hochfrequenzanlagen, die gewerblichen Zwecken dienen oder im Rahmen wirtschaftlicher Unternehmungen Verwendung finden. Niederfrequenzanlagen im Sinne der Verordnung sind ortsfeste Anlagen zur Umspannung und Fortleitung von Elektrizität:

- Freileitungen und Erdkabel der Frequenz 50 Hz und einer Spannung von 1 000 V oder mehr
- Bahnstromfern- und Bahnstromoberleitungen einschließlich Umspann- und Schaltanlagen mit einer Frequenz von 16,67 oder 50 Hz
- Elektroumspannanlagen einschließlich Schaltfelder mit einer Frequenz von 50 Hz und einer Oberspannung von 1 000 V oder mehr

Hochfrequenzanlagen im Sinne der 26. BImSchV sind ortsfeste Sendefunkanlagen mit einer Sendeleistung von 10 W EIRP (äquivalente isotrope Strahlungsleistung) oder mehr im Frequenzbereich von 10 MHz bis 300 GHz. Funkanlagen mit Sendeleistungen > 10 W werden auf der Grundlage des Gesetzes über Funkanlagen und Telekommunikationsendeinrichtungen (FTEG) in Betrieb genommen. Das Verfahren der Inbetriebnahme wird in der Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder (BEMFV) beschrieben. Diese Anlagen sind grundsätzlich so zu errichten und zu betreiben, dass in ihrem Einwirkungsbereich Grenzwerte nicht überschritten werden.

Auch die zu betrachtenden Bereiche sind nach 26. BImSchV definiert. Die Verordnung erfasst primär Bereiche in Gebäuden oder auf Grundstücken, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind. Unbeschadet dessen findet die Verordnung Anwendung bei besonders schutzbedürftigen Bereichen. Hierunter fallen z. B. Krankenhäuser, Schulen, Kindergärten, Spielplätze oder ähnliche Einrichtungen. Keine Anwendung findet die Verordnung bei der Tätigkeit von Beschäftigten, d. h. im Bereich des Arbeitsschutzes.

Unfallverhütungsvorschrift „Elektromagnetische Felder“

Im Bereich des Arbeitsschutzes ist die Unfallverhütungsvorschrift BGV B11 „Elektromagnetische Felder“ [9] anzuwenden. Sie wird durch die zugehörige UVT-Regel BGR B11 [14] konkretisiert und erläutert. Die BGV B11 gilt, soweit Beschäftigte elektri-

schen, magnetischen oder elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich 0 Hz bis 300 GHz ausgesetzt sind.

Bei der Überprüfung von Arbeitsstätten auf mögliche Expositionen gegenüber elektrischen, magnetischen oder elektromagnetischen Feldern muss der Unternehmer Expositionsbereiche (Einwirkungsbereiche) festlegen, die auftretenden elektromagnetischen Felder ermitteln und mit den zulässigen Werten vergleichen. Die Ermittlung der Exposition hat dabei durch einen Sachkundigen zu erfolgen und kann durch Berechnung, Messung, Berücksichtigung von Herstellerangaben oder Vergleich mit anderen Anlagen vorgenommen werden.

Nach BGV B11 wird zwischen Expositionsbereich 2, Expositionsbereich 1 und dem Bereich erhöhter Exposition unterschieden (Abbildung 20).

Der Expositionsbereich 2 umfasst alle Bereiche, in denen keine speziellen Zugangsregelungen getroffen werden. Somit sind auch Innenraumarbeitsplätze, die allgemein zugänglich sind, diesem Bereich zuzuordnen. Hier gelten die niedrigsten zulässigen Werte für Arbeitsplätze. Höhere Werte sind im Expositionsbereich 1 zulässig. Er umfasst alle kontrollierten Bereiche.

Neben den beiden genannten Expositionsbereichen gibt es einen Bereich erhöhter Exposition, in dem unter Anwendung besonderer Maßnahmen die zulässigen Werte des Expositionsbereichs 1 kurzzeitig überschritten werden dürfen.

Abbildung 20:
Expositionsbereiche nach BGV B11 [9]



Zulässige Werte nach BGV B11

Zulässige Werte wurden international so festgelegt, dass biologisch relevante Wirkungen oder Effekte hinsichtlich einer möglichen Schädigung, Gefährdung oder Belästigung ausgeschlossen sind. Da die Wirkungen elektromagnetischer Felder frequenzabhängig sind, sind auch die zulässigen Werte in Abhängigkeit von der Frequenz festgelegt. Zulässige Werte werden in sogenannten Basiswerten und in davon abgeleiteten Werten angegeben.

10 Elektrostatische und elektromagnetische Felder

Basiswerte sind die Stromdichte in der Einheit A/m^2 , die spezifische Absorptionsrate (SAR) in der Einheit W/kg , die Leistungsdichte in der Einheit W/m^2 oder die Gewebefeldstärke in der Einheit V/m . Sie (siehe auch BGV B11 [9]) gründen auf physikalischen, biologischen und medizinischen Erkenntnissen und sind international anerkannt und empfohlen [4].

Der Nachweis der Basiswerte ist messtechnisch sehr aufwendig. Daher wurden für die Praxis zulässige Werte der Feldgrößen (die elektrische Feldstärke und die magnetische Flussdichte/Feldstärke) von den Basiswerten

abgeleitet. Bei Einhaltung der so abgeleiteten Werte ist sichergestellt, dass auch die Basiswerte im Körper eingehalten werden. Die zulässigen Werte der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte nach BGV B11 sind in den Abbildungen 21 und 22 dargestellt.

In Tabelle 23 sind die zulässigen Werte für die energietechnisch wichtige Frequenz 50 Hz aufgeführt; die Werte gelten für Ganzkörperexpositionen. An Innenraumarbeitsplätzen werden die zulässigen Werte für den Expositionsbereich 2 in der Regel nicht überschritten.

Abbildung 21:
Zulässige Werte der elektrischen Feldstärke E in den Expositionsbereichen 1 und 2 sowie im Bereich erhöhter Exposition nach BGV B11 [9]

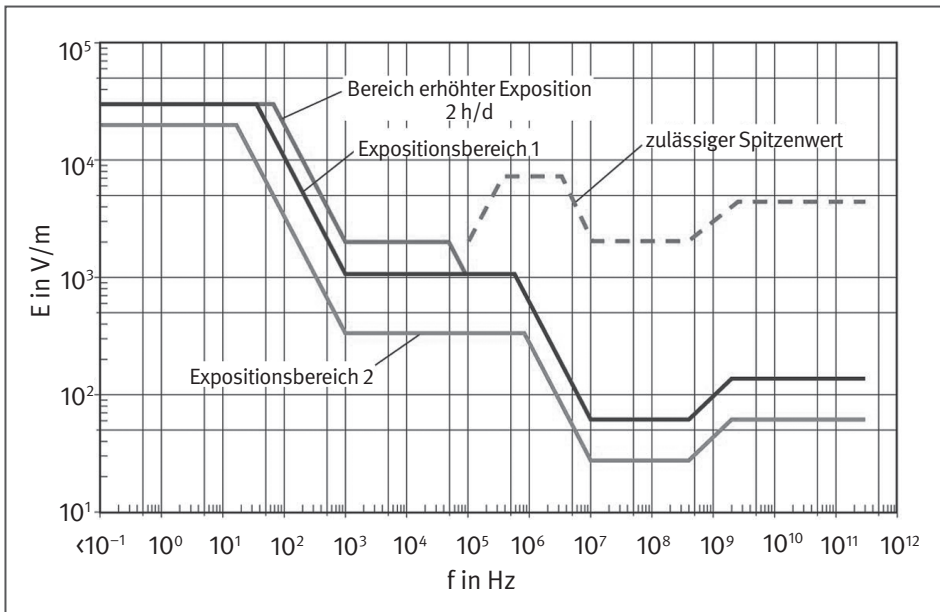


Abbildung 22:
Zulässige Werte der magnetischen Flussdichte B in den Expositionsbereichen 1 und 2
sowie im Bereich erhöhter Exposition nach BGV B11 [9]

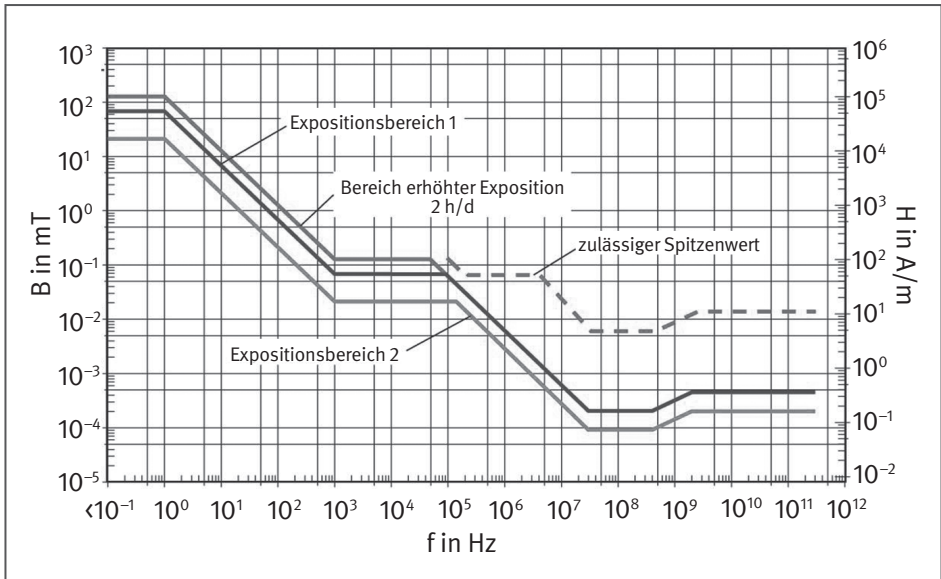


Tabelle 23:
Zulässige Werte nach BGV B11 [9] bei der Frequenz 50 Hz

Expositionsbereich	Zulässiger Wert der elektrischen Feldstärke in kV/m	Zulässiger Wert der magnetischen Flussdichte in mT
Expositionsbereich 2	6,7	0,42
Expositionsbereich 1	21,2	1,36
Bereich erhöhter Exposition	30,0	2,54

10 Elektrostatische und elektromagnetische Felder

Erforderliche Maßnahmen nach BGV B11

An Innenraumarbeitsplätzen, an denen die für den Expositionsbereich 2 geltenden zulässigen Werte nicht überschritten werden, sind keine Maßnahmen erforderlich. Übliche Geräte der Bürokommunikation und der Büroarbeit (insbesondere Bildschirmgeräte), Elektrowerkzeuge, Haushaltsgeräte, Elektroanlagen in Gebäuden sowie Motoren, Antriebe etc. mit geringen Anschlussleistungen liegen mit ihren Emissionswerten so niedrig, dass die zulässigen Werte des Expositionsbereichs 2 (siehe Abschnitt „Vorkommen elektromagnetischer Felder“) unterschritten werden.

In unmittelbarer Umgebung industrieller Anlagen mit hohen elektrischen Leistungen ist jedoch nicht auszuschließen, dass die zulässigen Werte nach BGV B11 überschritten werden. Ist dies der Fall, sind nach BGV B11 [9] Maßnahmen erforderlich. Dazu zählen z. B. die Erstellung von Betriebsanweisungen, Unterweisungen, Kennzeichnung und Zugangskontrollen.

Zulässige Werte für Personen mit aktiven Körperhilfsmitteln

Auch wenn an Innenraumarbeitsplätzen die zulässigen Werte für den Expositionsbereich 2 unterschritten werden, können aktive Körperhilfsmittel wie z. B. Herzschrittmacher durch elektromagnetische Felder beeinflusst werden. In diesem Fall ist eine spezielle Gefährdungsbeurteilung und gegebenenfalls eine entsprechende Kennzeichnung erforderlich (siehe Abbildung 23).



Abbildung 23:
Verbot für Personen mit
Herzschrittmachern

Beeinflussungen aktiver Implantate hängen von verschiedenen Parametern wie z. B. der eingestellten Empfindlichkeit, der Bauart und Verlegeart der Elektroden sowie der Störfestigkeit des Implantates ab. Daher ist bei der Bewertung an Arbeitsplätzen grundsätzlich eine Einzelfallentscheidung unter Zugrundelegung der eingestellten Parameter (eingetragen im Herzschrittmacherpass) und der Herstellerangaben durchzuführen. Mögliche Beeinflussungen von Körperhilfsmitteln durch EM-Felder sowie die notwendige Gefährdungsbeurteilung beschreibt die BGI/GUV-I 5111 „Beeinflussung von Implantaten durch elektromagnetische Felder – Eine Handlungshilfe für die betriebliche Praxis“ [15].

10.4 Zusammenfassung

An Innenraumarbeitsplätzen können elektrostatische Aufladungen auftreten. Im Allgemeinen stellen die hierdurch erzeugten elektrostatischen Felder für die Beschäftigten keine Gefahr dar. Es kann jedoch zu Entladungsvorgängen kommen, die zu Schreckreaktionen führen. Auch können elektronische Bauteile durch elektrische Entladungen beschädigt werden. Elektrostatische Aufladungen sollten daher an Innenraumarbeitsplätzen so weit wie möglich vermieden werden. Als Maßnahmen kommen hierzu die

Auswahl geeigneter Materialien, die Verringerung von Kontaktflächen und die Erdung infrage.

An Innenraumarbeitsplätzen können auch elektrische, magnetische oder elektromagnetische Felder auftreten. An Büroarbeitsplätzen werden sie durch die dort üblichen Büro- und Elektrogeräte erzeugt. Deren Emission von elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern ist jedoch gering. Die maximal zulässigen Werte für die Felder werden in Büroräumen in aller Regel eingehalten und eine Gefährdung von Personen ist dort nicht zu erwarten.

Auch an Innenraumarbeitsplätzen, die sich in der Umgebung von Energieversorgungs- und Energieverteilungsanlagen befinden, ist eine Überschreitung zulässiger Werte auszuschließen. Für Träger aktiver Körperhilfsmittel (z. B. Herzschrittmacher) kann eine individuelle Gefährdungsbeurteilung erforderlich sein.

10.5 Literatur

- [1] Elektromagnetische Felder im Alltag. Hrsg.: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), Karlsruhe 2010
- [2] *Haubrich, H.J.*: Der Mensch im elektrischen und magnetischen Niederfrequenzfeld. ETZ 115 (1994) Nr. 3, S. 128-133
- [3] Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and elektromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Physics 74 (1998) Nr. 4, S. 494-522
- [4] Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. Health Physics 96 (2009) Nr. 4, S. 504-514
- [5] Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). Health Physics 99 (2010) Nr. 6, S. 818-836
- [6] Strahlenschutzkommission der Bundesregierung www.ssk.de
- [7] *Brüggemeyer, H.; Dickob, H.; Eggert, S.; Fischer, M.; Friedrich, G.; Heinrich, H.; Krause, N.; Möbius, U.; Reidenbach, H.-D.; Ruppe, I.; Wolf, F.*: Leitfaden „Nicht-ionisierende Strahlung“ – Elektromagnetische Felder. Hrsg.: Fachverband für Strahlenschutz, Köln 2005
- [8] CD 006 – Elektromagnetische Felder (Mini-Disc). Hrsg.: Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienherzeugnisse, Köln 2008
- [9] Berufsgenossenschaftliche Vorschrift: Elektromagnetische Felder (BGV B11). Hrsg.: Berufsgenossenschaft der Gas-, Fernwärme und Wasserwirtschaft, Köln 2001
- [10] Strahlenthemen – Mobilfunk und Sendetürme. Hrsg.: Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Salzgitter 2012
- [11] *Silny, J.*: Exposition der Allgemeinbevölkerung durch hochfrequente elektromagnetische Felder – Plausibilität der gesundheitlichen Unbedenklichkeit. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Verkehr

10 Elektrostatische und elektromagnetische Felder

- der Republik Österreich. Aachen 1999
http://www.spoe-badsauerbrunn.at/artikel/1-2003/wirelesslan17022003/studie_WLAN.pdf
- [12] Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV) vom 16. Dezember 1996. BGBl. I (1996), S. 1966-1968
- [13] Bundesamt für Strahlenschutz
www.bfs.de
- [14] Berufsgenossenschaftliche Regeln: Elektromagnetische Felder (BGR B11) (10.01). Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin, Carl Heymanns, Köln 2006
- [15] Berufsgenossenschaftliche Information: Beeinflussung von Implantaten durch elektromagnetische Felder, eine Handlungshilfe für die betriebliche Praxis (BGI/GUV-I 5111). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2012
- Weiterführende Literatur**
- Armbrüster, H.; Grünberger, G.:* Elektromagnetische Wellen im Hochfrequenzbereich. Hüthig und Pflaum, München 1978
- Berndt, H.:* Elektrostatik – Ursachen, Wirkungen, Schutzmaßnahmen, Messungen, Prüfungen, Normung. VDE, Berlin 2009
- Empfehlung 1999/519/EG des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz-300 GHz). ABl. EG Nr. L 199 (1999), S. 59-70
- Haase, H.:* Statische Elektrizität als Gefahr. Verlag Chemie, Weinheim 1972
- Habiger, E.:* Elektromagnetische Verträglichkeit – Grundzüge ihrer Sicherstellung in der Geräte- und Anlagentechnik. Hüthig, Heidelberg 1998
- Eggert, S.; Siekmann, H.:* Normung im Bereich der nichtionisierenden Strahlung. KAN-Bericht 9. Hrsg.: Kommission Arbeitsschutz und Normung, Sankt Augustin 2000
- Lüttgens, G.; Boschung, P.:* Elektrostatische Aufladungen, Ursachen und Beseitigung. Expert, Grafenau 1980
- Tobisch, R.; Irrnich, W.:* Mobilfunk im Krankenhaus. Schiele und Schön, Berlin 1999
Fachverband für Strahlenschutz e.V.
www.fs-ev.de
- Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP).
www.icnirp.org

11 Ionisierende Strahlung (Radon)

H. Siekmann, Sankt Augustin;
aktualisiert von T. Ludwig, Köln

11.1 Natürliche Strahlenexposition

Der Mensch ist ständig einer geringen ionisierenden Strahlung durch natürliche Strahlenquellen ausgesetzt. Diese natürliche Umgebungsstrahlung hat im Wesentlichen folgende Ursachen:

- Inhalation radioaktiver Stoffe, vor allem von Radon und seinen Folgeprodukten
- Aufnahme radioaktiver Stoffe mit der Nahrung (Essen, Trinken)
- Strahlung aus der Umgebung, z. B. aus den Baustoffen von umgebenden Wänden und Decken sowie
- Strahlung aus dem Weltall

Im Mittel beträgt die Strahlenexposition der Bevölkerung in Deutschland durch natürliche Strahlenquellen circa 2,1 Millisievert (mSv) im Jahr. Davon entfällt etwa die Hälfte auf die Inhalation von Radon und Radonfolgeprodukten. Zur natürlichen Strahlenexposition kommt eine Dosis von durchschnittlich noch einmal ungefähr 2 mSv im Jahr hinzu, die durch die Anwendung künstlicher Strahlenquellen, hauptsächlich in der Medizin, hervorgerufen wird. Die mittlere Strahlendosis der Bevölkerung ändert sich über Jahre hinweg nur geringfügig. Die Strahlendosis von Einzelpersonen kann jedoch vom Mittelwert erheblich abweichen – einmal durch regio-

nale Unterschiede der natürlichen Umgebungsstrahlung, vor allem aber durch medizinische Therapie und Diagnostik. Das Bundesumweltministerium veröffentlicht jährlich einen Bericht über die aktuelle Strahlenexposition der Bevölkerung [1].

11.2 Radon

Der größte Teil der Dosis durch natürliche Strahlenquellen wird durch das radioaktive Edelgas Radon und seine Folgeprodukte hervorgerufen. Radon ist weder geruchlich wahrnehmbar noch sonst mit menschlichen Sinnesorganen erfassbar. Es ist in unserer Umgebung, also auch in Büros oder büroähnlichen Räumen, ständig in mehr oder weniger großer Konzentration vorhanden. Radon ist Teil der natürlichen Zerfallsreihen von Uran und Thorium. Die Konzentrationen von Uran und Thorium (und damit auch von Radon) im Untergrund hängen dabei von der geologischen Struktur des Bodens ab. Eine hohe Aktivitätskonzentration in der Bodenluft liegt z. B. in bestimmten Gegenden des Erzgebirges, des Bayerischen Waldes und des Schwarzwaldes vor.

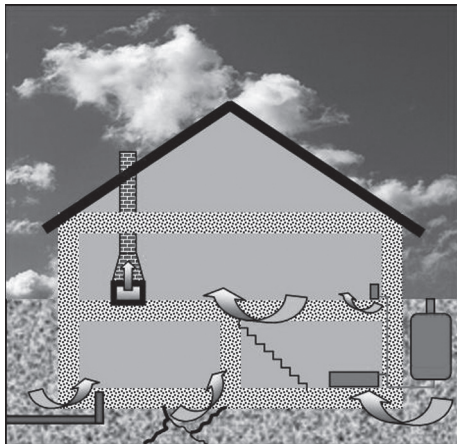
Radon ist bei normalen Umgebungsbedingungen (Temperatur und Druck) gasförmig. Außerdem kann es auch gelöst im Wasser über große Strecken transportiert werden. Durch Konvektion und Diffusion kann es aus dem Erdboden in die Atmosphäre gelangen. Daraus resultiert ein geringer Anteil von

11 Ionisierende Strahlung (Radon)

Radon in der Luft. Eine Übersichtskarte über die Radonkonzentrationen in der Bodenluft hat das Bundesamt für Strahlenschutz veröffentlicht [2]. Typische Werte liegen in der Größenordnung einiger Kilobecquerel pro Kubikmeter (kBq/m^3).

Radongas kann nicht nur in die Außenluft, sondern auch in Keller von Gebäuden gelangen (siehe Abbildung 24). Durch geringe Druckunterschiede, die besonders in der Heizperiode auftreten, kann Radon aus den Kellern in die darüber liegenden Stockwerke aufsteigen.

Abbildung 24:
Eindringen von Radon aus dem Untergrund in den Keller und in höhere Stockwerke;
Quelle: Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse,
Fachgruppe Strahlenschutz



In den Räumen eines Gebäudes hängt die Höhe der Radonkonzentration u. a. von folgenden Faktoren ab:

- Geologie des Untergrundes

Mit zunehmendem Uran- und Thoriumgehalt im Boden steigt auch die Radonkonzentration. Die Beweglichkeit des Radons im Boden ist abhängig von der Durchklüftung.

- Stockwerk, in dem sich der jeweilige Raum befindet

Ausgehend vom Kellergeschoss nimmt die Radonkonzentration nach oben hin ab.

- Bauweise

Durch Undichtigkeiten in der Bodenplatte, in den Kellerwänden (z. B. durch Durchbrüche für Leitungen) und durch Fugen dringt Radongas in das Gebäude ein.

- Lüftung

Bei einer künstlichen Belüftung ist mit einer geringeren Radonkonzentration zu rechnen als bei einer natürlichen Belüftung.

Die Radonkonzentration in einem Raum zeigt zusätzlich einen jahreszeitlichen und einen tageszeitlichen Gang. Sie hängt auch von Wetterparametern wie Temperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und Windrichtung ab.

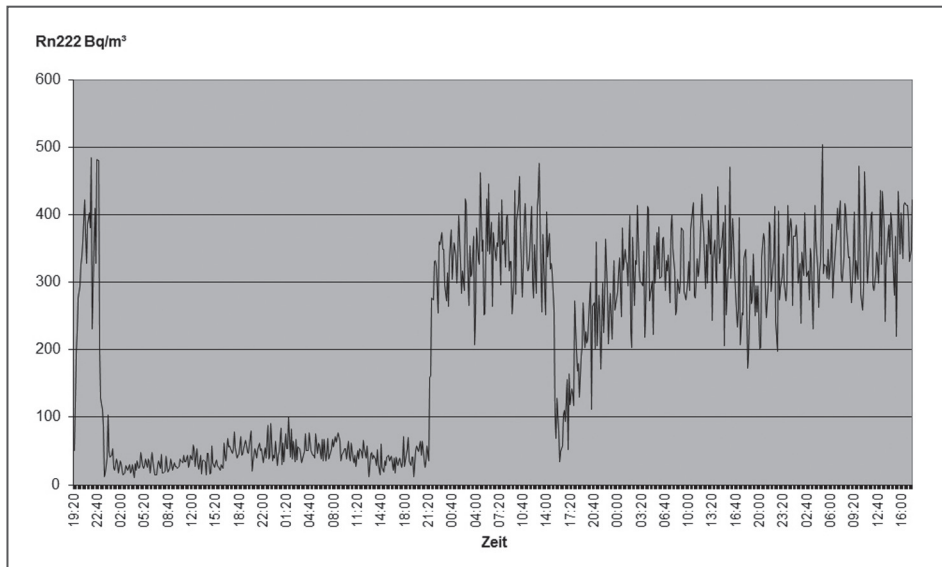
Typische Werte in Gebäuden liegen zwischen wenigen Bq/m³ und einigen hundert Bq/m³. Ein Beispiel für den Verlauf der Radonkonzentration in einem Büroraum über mehrere Stunden ist in Abbildung 25 dargestellt. Man kann deutlich den Einfluss des Lüftungsverhaltens ablesen. Die Radonkonzentration sinkt von zunächst rund 450 Bq/m³ nach Öffnen der Fenster auf durchschnittlich rund 50 Bq/m³. Nach Schließen der Fenster steigt sie relativ rasch wieder auf den ursprünglichen Wert.

11.3 Biologische Wirkung

Atmet man Radon ein, so wird es als Edelgas nicht im Körper aufgenommen, sondern wieder ausgeatmet. Die eigentliche Strahlen-

exposition stammt daher nur zu einem geringen Teil vom Radon selbst, sondern vielmehr von seinen nicht gasförmigen Zerfallsprodukten wie z. B. Polonium 218, Blei 214, Wismut 214 und Polonium 214. Diese Zerfallsprodukte lagern sich in der Luft an feinste Aerosole an und können mit diesen eingeatmet und im Körper absorbiert werden. Die Aussendung ionisierender Strahlung aus den Radonfolgeprodukten führt dann zu einer Strahlenexposition des Körpers, und zwar hauptsächlich in der Lunge. Die Höhe dieser Lungendosis ist auch von dem Verhältnis der Radonaktivität zur Folgenuklid-Aktivität abhängig. Man spricht in diesem Zusammenhang vom sogenannten Gleichgewichtsfaktor. Normalerweise liegt dieser bei einem Wert von etwa 0,4, d. h.,

Abbildung 25: Verlauf der Radonkonzentration in einem Büroraum über mehrere Stunden, Messung der Fachgruppe Strahlenschutz der Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse



11 Ionisierende Strahlung (Radon)

die Aktivitätskonzentration der Folgenuklide beträgt etwa 40 % der Aktivitätskonzentration des Radons.

Diese Strahlenexposition verursacht keine unmittelbare Schädigung. Akute Symptome treten durch das Einatmen von Radon und Radonfolgeprodukte nicht auf. Es kann jedoch zu Strahlenspätchäden, vor allem zu Lungenkrebs, kommen. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten solcher Schädigungen hängt u. a. von der Höhe der aufgenommenen Radonfolgeprodukt-Aktivität und damit auch von der Radonkonzentration in der Umgebungsluft ab. Die Strahlenschutzkommission schätzt das Risiko durch Radon wie folgt ein: Steigt die Radonkonzentration um 100 Bq/m^3 , so wird mit rund 10 % mehr Lungenkrebsfällen als ohne Radon gerechnet [3].

11.4 Radon an Arbeitsplätzen

An einer Reihe von Arbeitsplätzen ist aufgrund der besonderen Bedingungen in den Betrieben mit erhöhten Radonkonzentrationen in der Luft zu rechnen. Dazu gehören Arbeitsplätze in Untertagebergwerken, in Radonheilbädern und in Anlagen zur Wassergewinnung. Für diese Arbeitsplätze besteht nach der Strahlenschutzverordnung [4] eine Verpflichtung, die Strahlenexposition durch Radon und seine Folgeprodukte zu ermitteln, festgelegte Grenzwerte einzuhalten und gegebenenfalls Maßnahmen zur Verringerung der Radon- und Radonfolgeproduktkonzentration zu ergreifen.

Für Arbeitsplätze in Büros und büroähnlichen Räumen besteht keine gesetzliche Verpflichtung zur Ermittlung der Strahlenbelastung durch Radon und zur Einhaltung von Grenz-

werten. Im Allgemeinen ist in Büros auch nur mit einer geringen Strahlenexposition zu rechnen, die der mittleren natürlichen Umgebungsstrahlung entspricht. Es gibt jedoch auch Fälle, in denen in Büros die Radonkonzentration erhöht ist und über dem Mittelwert liegt.

11.5 Ermittlung

Sofern es Hinweise darauf gibt, dass in einem Büro oder einem büroähnlichen Raum eine erhöhte Radonkonzentration vorliegen könnte, sollte diese genauer ermittelt werden. Die Ermittlung umfasst eine Vorermittlung und eine Messung.

In der Vorermittlung ist zunächst zu klären, ob tatsächlich mit einer erhöhten Radonkonzentration gerechnet werden muss. Hierbei sind die folgenden Punkte zu bewerten:

- Aktivitätskonzentration in der Bodenluft

Sofern die Bodenluft des Untergrundes, auf dem das Gebäude steht, eine hohe Radonkonzentration enthält, ist eine Voraussetzung für eine hohe Radonkonzentration im Gebäude gegeben. Das Bundesamt für Strahlenschutz veröffentlicht eine Karte, der die Radonkonzentration in der Bodenluft in Deutschland zu entnehmen ist [2]. Mithilfe dieser Karte kann man ermitteln, ob ein zu beurteilendes Gebäude in einem Gebiet mit erhöhter Radonaktivität liegt.

- Lage des Raums im Gebäude

Je tiefer ein Raum in einem Gebäude liegt, mit um so höherer Radonkonzentration ist zu rechnen. Dies gilt z. B. für Räume im

Keller oder in Tiefgeschossen, aber auch für Räume im Erdgeschoss eines Gebäudes, das keinen Keller hat. Je höher ein Raum in einem Gebäude liegt, desto geringer ist die Radonkonzentration. In den höheren Stockwerken eines Hochhauses ist mit eher geringen Radonkonzentrationen zu rechnen.

- Raumlüftung

Die Radonkonzentration kann höher sein, wenn der Raum nur über eine natürliche Belüftung verfügt. Auch das Fehlen von Fenstern, die geöffnet werden können, behindert den Luftaustausch und erhöht die Radonkonzentration. Bei einer künstlichen Lüftung ist die Radonkonzentration im Raum eher als niedrig anzunehmen.

Ist nach der Vorermittlung damit zu rechnen, dass eine erhöhte Radonkonzentration vorliegt, oder ist dies zumindest nicht auszuschließen, dann sollte die Radonkonzentration durch eine Messung genau bestimmt und das Ergebnis durch Vergleich mit den Richtwerten bewertet werden. Hinweise zur Durchführung von Radonmessungen gibt eine von der Strahlenschutzkommission veröffentlichte Broschüre [5].

11.6 Bewertung

Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) hat Empfehlungen für die maximal einzuhaltende Radonkonzentration veröffentlicht. Auf dieser Grundlage gab die Strahlenschutzkommission in Deutschland wiederholt eigene Empfehlungen zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon heraus. Die Empfehlung von 1994 enthält „Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung

der Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Gebäuden“ [6]. Die darin genannten Richtwerte der Radonkonzentrationen in Wohnungen sind als Mittelwerte über den Zeitraum eines Jahres zu verstehen:

- Eine Radonkonzentration von 250 Bq/m^3 gilt als oberes Ende des Normalbereichs der Radonkonzentration in Wohngebäuden der Bundesrepublik Deutschland. Bei Werten im Normalbereich werden Maßnahmen nicht als notwendig erachtet.
- Der Bereich zwischen 250 und 1000 Bq/m^3 gilt als Ermessensbereich für einfache Maßnahmen zur Reduzierung der Exposition gegenüber Radon. Zusätzlich werden Hinweise darauf gegeben, welche Maßnahmen durch wen (Bewohner, Fachfirmen) durchgeführt werden können.
- Der Bereich über 1000 Bq/m^3 gilt als Sanierungsbereich. Hier sollte die Radonkonzentration in jedem Fall reduziert werden, auch wenn dazu aufwendigere Maßnahmen erforderlich sind.

Für Arbeitsplätze mit erhöhten natürlichen Strahlenexpositionen enthält die Strahlenschutzverordnung Vorgaben und rechtliche Anforderungen [4]. Wie bereits ausgeführt, fallen normale Büroarbeitsplätze nicht darunter. Dennoch kann man entsprechende Analogieschlüsse ziehen.

Eine Radonkonzentration von 1000 Bq/m^3 entspricht bei einer Arbeitszeit von 2000 Stunden im Jahr und einem Gleichgewichtsfaktor von 0,4 einer daraus resultierenden Dosis von ungefähr 6 mSv pro Jahr. Oberhalb

11 Ionisierende Strahlung (Radon)

dieses Dosiswerts ist für die in Anlage XI der Strahlenschutzverordnung genannten Arbeitsplätze eine Anzeige an die Behörde zu erstatten. Für den Personenkreis, der in den genannten Arbeitsfeldern tätig ist, gilt ein Grenzwert von 20 mSv pro Jahr. Liegt die jährliche Radonexposition unterhalb von $6\,000\,000\text{ Bq}\cdot\text{h}/\text{m}^3$, so ist von einer Einhaltung dieses Grenzwertes auszugehen [4]. Dies entspricht bei 2 000 Stunden Aufenthaltszeit am Arbeitsplatz einer durchschnittlichen Radonkonzentration von $3\,000\text{ Bq}/\text{m}^3$. Man muss jedoch auch berücksichtigen, dass in Gegenden mit erhöhter Radonkonzentration neben der beruflich bedingten Strahlenexposition durch Radon auch die im privaten Bereich anfallende Radonexposition zur Dosis beiträgt.

Um dem Minimierungsgebot der Strahlenschutzverordnung Rechnung zu tragen, wird empfohlen, für Arbeitsplätze die gleichen Maßstäbe wie für Wohnungen anzulegen und keine erhöhten Radonkonzentrationen zuzulassen. In Gegenden mit hoher Radonaktivität sollten deshalb auch für Arbeitsplätze Radonkonzentrationen zwischen 250 und $1\,000\text{ Bq}/\text{m}^3$ als Ermessensbereich und Radonkonzentrationen über $1\,000\text{ Bq}/\text{m}^3$ als Sanierungsbereich angesehen und bei Bedarf Sanierungsmaßnahmen ergriffen werden.

11.7 Maßnahmen

Maßnahmen zur Verringerung der Strahlenexposition durch Radon können z. B. sein:

- Änderung der Nutzung eines überdurchschnittlich radonbelasteten Raumes

Zum Beispiel könnten Räume in Tiefgeschossen als Büroräume aufgegeben und – soweit dies möglich ist – zu Lagerräumen umfunktioniert werden.

- Gasdichte Abdichtung von Bodenplatten, Kellerwänden, Durchbrüchen und Fugen
- Verbesserung der Lüftung durch Erhöhung des Luftwechsels

Dazu gehören häufigeres und intensiveres Lüften bei natürlicher Lüftung und die Installation einer künstlichen Lüftung.

- Absaugung von Radongas im Kellergeschoss oder unter dem Gebäude (Drainage-Lüftung)

Einige einfache Maßnahmen wie z. B. häufigeres Lüften können Raumnutzer selbst durchführen und sind schon sehr wirkungsvoll. Für aufwendigere Maßnahmen müssen Fachfirmen hinzugezogen werden. Welche Maßnahme im Einzelfall geeignet ist, hängt u. a. von der Höhe der Radonkonzentration und von den baulichen Gegebenheiten ab. Detaillierte Hinweise zu Radonschutzmaßnahmen finden sich im Internetangebot des Bundesamts für Strahlenschutz [7]. In Gebieten mit hoher Radonbodenkonzentration sind bereits beim Bau geeignete Maßnahmen einzuplanen.

11.8 Literatur

- [1] Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung – Jahresbericht 2009. Hrsg.: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Bonn 2010
- [2] Die Radonkarte Deutschlands. Hrsg.: Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Salzgitter
www.bfs.de/de/ion/radon/radonboden/radonkarte.html
- [3] Einfluss der natürlichen Strahlenexposition auf die Krebsentstehung in Deutschland – Stellungnahme der Strahlenschutzkommission. Hrsg.: Strahlenschutzkommission, Bonn 2008
- [4] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) vom 20. Juli 2001. BGBl. I (2001), S. 1714-1836; zul. geändert. BGBl. I (2012), S. 212
- [5] Leitfaden zur Messung von Radon, Thoron und ihren Zerfallsprodukten. Hrsg.: Strahlenschutzkommission, Bonn 2002
- [6] Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Gebäuden – Stellungnahme der Strahlenschutzkommission. Hrsg.: Strahlenschutzkommission, Bonn 1994
- [7] <http://www.bfs.de/de/ion/radon>

Weiterführende Literatur

- Radon. Information zu einem strahlenden Thema. Hrsg.: Bundesamt für Gesundheit der Schweiz. EDMZ, Bern 1999
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
www.bmu.de
- Kemski, J.; Klingel, R.:* Informationsseite zum Thema Radon und Radioaktivität
www.radon-info.de
- Strahlenschutzkommission
www.ssk.de

12 Chemische Einwirkungen

Gesundheitliche Beschwerden an Innenraumarbeitsplätzen werden häufig unmittelbar mit dem Auftreten gesundheitsgefährlicher Stoffe in der Atemluft in Zusammenhang gebracht. Klassische Beispiele sind Formaldehyd oder Holzschutzmittel.

Vermutungen oder auch Hinweise zum Auftreten gefährlicher Stoffe können sich beispielsweise auf Geruchswahrnehmungen (hierzu Kapitel 4), akute Beschwerden oder auch medizinische Befunde sowie Pressemeldungen stützen. Ein Nachweis über das tatsächliche Auftreten entsprechender Stoffe ist damit aber nicht erbracht.

Bevor in solchen Fällen Gefahrstoffmessungen vorgenommen werden, die in der Regel mit hohem technischen und personellen Aufwand verbunden sind, ist durch entsprechende Ermittlungen (Abschnitt 12.1) abzuklären, ob der Verdacht, dass es sich um

eine Gefahrstoffbelastung handelt, begründet ist. Vielfach können dann ohne Gefahrstoffmessungen allein aufgrund der Ermittlungsergebnisse Entscheidungen über erforderliche Maßnahmen (z. B. Sanierung) getroffen werden.

Abhängig vom Ergebnis der Ermittlungen ist über das weitere Vorgehen zu entscheiden. Lässt sich der Verdacht auf Gefahrstoffexposition nicht bestätigen, sind andere Ursachen für die Beschwerden zu suchen. Erhärtet sich der Anfangsverdacht, dass Gefahrstoffe in der Luft am Arbeitsplatz vorliegen, können basierend auf den Ermittlungsergebnissen gezielte Gefahrstoffmessungen nach Abschnitt 12.2 angesetzt werden.

Zur Beurteilung von Messergebnissen gibt Abschnitt 12.3 allgemeine Hinweise, Informationen zu einzelnen Stoffen und Stoffgruppen finden sich in Abschnitt 12.4.

12.1 Allgemeine Hinweise zur Ermittlung chemischer Einwirkungen

U. Bagschik, Düsseldorf

J. Fauss, Mannheim

H. Fröhlich, Mannheim

K. Pohl, Mainz

Eine Vielzahl von Quellen kann Luftverunreinigungen in Innenräumen hervorrufen. Tabelle 24 gibt einen Überblick über mögliche Quellen und die wichtigsten von ihnen emittierten Stoffe. Als Ergänzung sei u. a. auf Abschnitt 6.4 „Materialien“ verwiesen, in dem materialbezogene Hinweise gegeben werden. Bei der Ermittlung helfen auch die dem Abschnitt 6.4 zugeordneten und im Internet verfügbaren speziellen Ermittlungs-

bögen zu den Themen Gebäudegestaltung und Raumausstattung (S5) sowie Gebäudereinigung (S6) (www.dguv.de, Webcode d6274).

Spezifische stoffbezogene Hinweise enthält Abschnitt 12.4. In Anhang V findet sich darüber hinaus eine Tabelle mit häufig nachgewiesenen Stoffen und ihren möglichen Quellen.

Tabelle 24:

Quellen von Luftverunreinigungen in Innenräumen und die wichtigsten von ihnen emittierten Stoffe in Anlehnung an DIN EN ISO 16000 Blatt 1 [1]

Quelle/ Ursache	Vorgang/ Aktivität	Verwendete Produkte, Quellen im engeren Sinne	Emittierte Stoffe
Biologische Quellen			
z. B. Mensch, Tiere, Insekten, Milben	Atmung		Kohlendioxid, Wasserdampf, körpereigene Geruchs- stoffe, Geruchsstoffe aus Lebensmitteln
	Transpiration		Wasserdampf, Geruchsstoffe
	Verdauung, Ausscheidungsvorgang		z. B. Darmgase, Geruchsstoffe, Ausscheidungen, Zersetzungsprodukte
	Haarausfall, Hautabschilferung		

Quelle/ Ursache	Vorgang/ Aktivität	Verwendete Produkte, Quellen im engeren Sinne	Emittierte Stoffe
Zimmerpflanzen	Ausdünstung, Schimmelpilzbefall	Substrat	Terpene und andere Geruchsstoffe, Wasser- dampf, mikrobielle VOC
Bausubstanz/Gebäudeausrüstung			
Baukörper und -material	Produktverarbeitung, Ausgasung, Alterung, Abrieb, Zersetzung, Schimmelpilzbefall	Baustoffe, Bauten- und Korrosionsschutz- mittel, Isolierstoffe, Dichtungsmaterialien, Farben, Betonzusätze	gas- und partikelförmige Stoffe wie z. B. Lösungs- mittel, Weichmacher, Holzschutzmittel, Flammschutzmittel, Fasern (Asbest, Mineralwolle), Radon (z. B. aus Granit), Amine, Ammoniak, mikrobielle VOC
Raumlufttechnische Anlage	Betrieb und Wartung	Wäscher, Filter, Isolier- und Dichtungs- materialien, Ablagerungen, Wärmetauscher	Staub, Fasern, Biozide, Geruchsstoffe
Raumausstattung, Einrichtungsgegen- stände	Produktverarbeitung, Renovierung, Ausgasung	Möbel, Fußboden- beläge, Heimtextilien, Lacke und Anstrich- mittel, Tapeten	Monomere und Oligomere aus Kunst- stoffen, Harzen, Oberflächenbeschich- tung, Klebern (z. B. Formaldehyd); Fasern, Lösungsmittel, Weichmacher, Stabili- satoren, Biozide (z. B. Pyrethroide)
Aktivitäten im Innenraum			
Nutzung als Büro	Bürobetrieb	Büroartikel, EDV-Geräte, Kopierer	organische Lösungs- mittel, schwer flüchtige organi- sche Stoffe (Weich- macher, Flammschutz- mittel), Tonerbestand- teile, Ozon
Hygiene und Körper- pflagemittel	Körperpflege, kosmetische Behandlung	Kosmetische Mittel und Bedarfsgegenstände	Lösungsmittel, Treibgase, Duftstoffe, anorgani- sche und organische Aerosole (Farbstoffe, Pigmente, Lacke, Harze), Haloforme

12 Chemische Einwirkungen

Quelle/ Ursache	Vorgang/ Aktivität	Verwendete Produkte, Quellen im engeren Sinne	Emittierte Stoffe
Raumpflege	Reinigungs- und Pflegemaßnahmen; Schädlingsbekämpfung	Wasch- und Putzmittel, Polituren, Desinfektionsmittel, Schädlingsbekämpfungsmittel	Wasser, Ammoniak, Chlor, organische Lösungsmittel (z. B. Ethanol), Bakterizide (Formaldehyd), Insektizide (Organophosphate, Pyrethroide, Carbamate) und Chlorverbindungen; Hausstaub
Koch- und Heizvorgänge	Verbrennungsprozesse (Heizen, Kochen), Betrieb von offenen Feuerstellen (z. B. auch Kerzen)	Kohle, Heizöl, Gas, Holz, Lebensmittel	Gas (Stadtgas, Flaschengas, Erdgas), Heizöldampf, Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Wasserdampf, Schwebstaub, Kohlenwasserstoffe und viele andere organische Stoffe (Verbrennungs- und Schwelprodukte)
Außenluft			
Emissionen durch menschliche Aktivitäten	Lüftung, Infiltration und Diffusion durch die Gebäudehülle hindurch	Gewerbe-/Industriebetriebe, Verkehr, Hausbrand, Landwirtschaft, Brände im Freien, Deponien, Altlasten,	Anorganische und organische Gase und Aerosole (z. B. Lösungsmittel, Ammoniak, Geruchsstoffe, polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe)
Biogene und geogene Emissionen	Lüftung, Eindringen von Bodenluft, Staubaufwirbelung	Blühende Pflanzen, Uranvorkommen im Boden, Meerwassersprühnebel, Bodenresuspensionen, natürliche Verrottung	Pollen, Radon, Methan u. a. flüchtige organische Verbindungen (Kohlenwasserstoffe, Organohalogenverbindungen), Geruchsstoffe, Stäube, Meersalz
Lebewesen	Ausscheidungen	Darmgase, Geruchsstoffe Ausscheidungen, Zersetzungsprodukte	Ammoniak und Schwefelverbindungen

Literatur

- [1] DIN EN ISO 16000-1: Innenraumluftverunreinigungen – Teil 1: Allgemeine Aspekte der Probenahmestrategie (06.06). Beuth, Berlin 2006

12.2 Messung chemischer Einwirkungen

D. Breuer, Sankt Augustin
 Y. Giesen, Sankt Augustin
 H.-D. Neumann, Düsseldorf
 S. Peters, Sankt Augustin

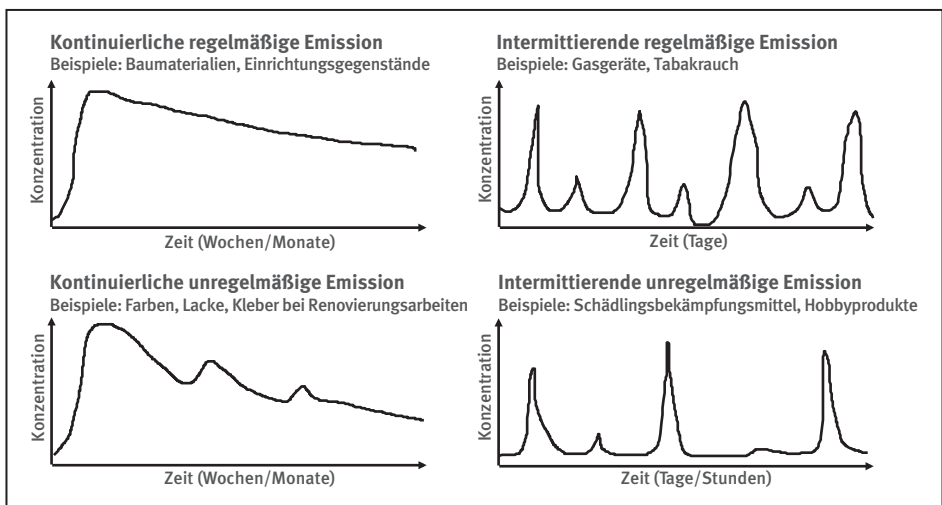
In Innenräumen ist eine kontinuierliche Schadstoffüberwachung wie bei industriellen Arbeitsplätzen in der Regel nicht möglich. Messungen vor Ort sollten mit handlichen und den betrieblichen Ablauf wenig störenden Geräten durchgeführt werden.

Für Schadstoffe in Innenräumen gibt es zahlreiche Quellen (vgl. Abschnitt 12.1), die sich in ihrem Emissionscharakter deutlich unterscheiden können. So gibt es

- kontinuierliche Quellen, die Schadstoffe über einen langen Zeitraum abgeben können (z. B. Baumaterialien oder Einrichtungsgegenstände), sowie
- intermittierende Quellen, die zu kurzzeitigen Spitzenbelastungen mit Schadstoffen führen können (z. B. Reinigungsmittel, früher auch Tabakrauch).

In Abbildung 26 sind beispielhaft die Emissionscharakteristika einiger Quellen dargestellt.

Abbildung 26:
 Emissionscharakteristika einiger Quellen für Luftverunreinigungen in Innenräumen [1]



12 Chemische Einwirkungen

Für die Wahl der Messstrategie ist es wichtig, den Emissionscharakter der Schadstoffquelle zu kennen. So eignen sich für die Probenahme von Schadstoffen aus kontinuierlichen Quellen besonders Passivsammler, während für Schadstoffe, die durch diskontinuierliche Quellen freigesetzt werden, aktiv sammelnde Messsysteme die günstigere Lösung darstellen.

Ein zentrales Problem bei der Durchführung von Schadstoffmessungen in Innenräumen ist die Vielzahl der möglichen Schadstoffe und Quellencharakteristika. So sollten wenn möglich im Rahmen der Ermittlungen zu Gefahrstoffen neben Informationen über die Emissionscharakteristik bereits Hinweise auf die Art und den Ort der Quelle sowie einen möglichen Schadstoff gesammelt werden. Aus diesen Kenntnissen können dann Ort, Dauer, Häufigkeit und Anzahl der Messungen festgelegt werden.

Haben die Ermittlungen keine konkreten Hinweise zu den Gefahrstoffen ergeben, können orientierende Messungen basierend auf dem MGU-Messprogramm „Innenraummessungen“ (siehe Abschnitt 12.2.2) erfolgen. Das Messprogramm umfasst flüchtige organische Verbindungen und Aldehyde sowie Kohlendioxid.

In allen Stadien der Messungen kann das Resultat sein, dass

- die Quelle identifiziert und beseitigt werden konnte oder
- keine erhöhten Schadstoffbelastungen zu ermitteln waren.

In Fällen, in denen keine erhöhten chemischen Belastungen festzustellen sind, ist auf weitere Messungen zu verzichten. Werden Belastungen durch Schadstoffe nachgewiesen, so sind diese zu beurteilen und gegebenenfalls Maßnahmen zu ergreifen. Die Maßnahmen müssen dem Einzelfall angepasst sein und die weitere Vorgehensweise ist festzulegen. Bei Bedarf können weiterführende Messungen gemäß Richtlinienreihe VDI 4300 [2] sowie Teilen der Normenreihe DIN (EN) ISO 16000 „Innenraumluftverunreinigungen“ [3] durchgeführt werden.

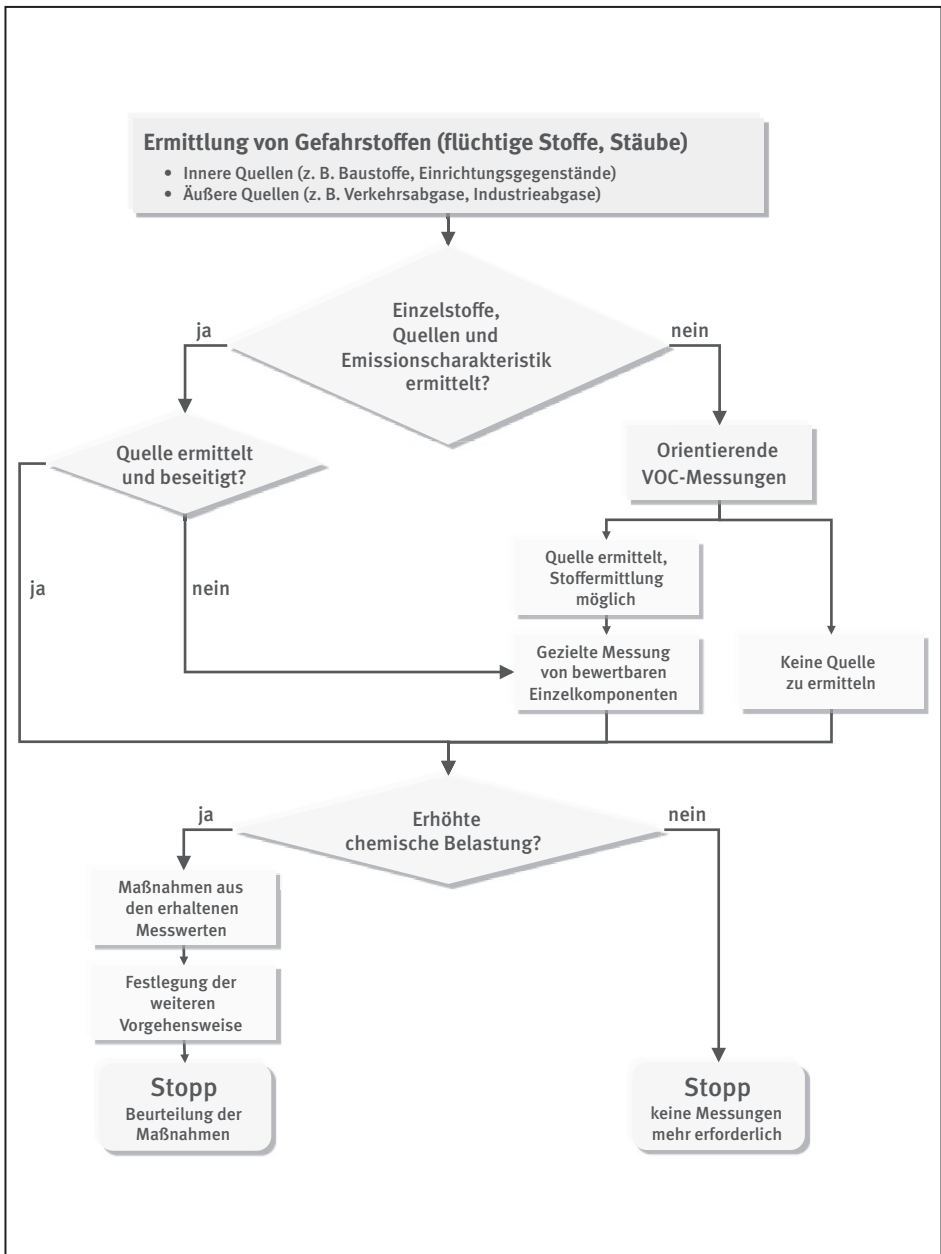
In Abbildung 27 wird die mögliche Vorgehensweise bei Schadstoffmessungen dargestellt. Innenraummessungen sind nach diesem Schema in vielen Fällen durchführbar.

12.2.1 Messstrategie

Die Dauer der Probenahme muss darauf abgestimmt sein, den gesuchten Stoff zu identifizieren und zu quantifizieren. Neben der zeitlichen Abhängigkeit der Messung sind auch die örtlichen Gegebenheiten zu berücksichtigen. Im Rahmen der Messung sind sämtliche Umgebungsbedingungen (Temperatur, Luftfeuchte, Luftbewegung, Ort der Messung etc.) zu erfassen.

Bei Gebäuden mit raumlufttechnischen Anlagen sind Kenntnisse über Zu- und Abluft in jedem Falle zu berücksichtigen. In derartigen Gebäuden ist es häufig möglich, dass sich eine Schadstoffquelle nicht unmittelbar in dem Raum befindet, in dem die Messung stattfindet, sondern außerhalb.

Abbildung 27:
Ermittlung von Gefahrstoffen (Prinzipschema)



12 Chemische Einwirkungen

Die Art des Raums spielt ebenfalls eine wichtige Rolle. In großen Räumen (z. B. Großraumbüros) sind die geeigneten Messbedingungen anders als in kleineren Büroräumen.

Die Wahl des Probenahmeortes ist von besonderer Bedeutung. Im Allgemeinen wird die Mitte eines Raumes als günstiger Messort angesehen. Die Probenahme sollte in Höhe des Atembereichs erfolgen, bei sitzender Tätigkeit 1 bis 1,5 m oberhalb des Fußbodens. In Großraumbüros kann es sinnvoll sein, an mehreren Stellen zu messen. Gleiches gilt, wenn innerhalb eines Raums Konzentrationsgradienten auftreten können.

Bei Kurzzeitmessungen muss darauf geachtet werden, dass sich die Randbedingungen während der Probenahme (z. B. durch das Öffnen von Fenstern) nicht gravierend ändern. Langzeitmessungen sollten möglichst unter üblichen Arbeitsbedingungen durchgeführt werden. Verwendet man Passivsammler als Langzeit-Probenahmeeinrichtung, muss man immer auf die Luftbewegung und die Position im Raum achten, ansonsten kann es z. B. in Zimmerecken zu Minderbefunden kommen.

In jedem Fall sind die Randbedingungen der Messung auf den Messort abzustimmen. Eine Entscheidung über die Probenahme-strategie kann erst im Rahmen einer Begehung vor Ort gefällt werden. Zur Probenahme-strategie an Arbeitsplätzen erarbeitet derzeit eine Arbeitsgruppe der Deutschen Forschungsgemeinschaft ein Grundsatzpapier.

12.2.2 MGU-Messprogramm „Innenraummessungen“

Seit mehr als zehn Jahren werden im Messsystem Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (MGU) Messdaten zu Gefahrstoffen bei Innenraumuntersuchungen erhoben. Die zugehörigen Messverfahren im MGU [4; 5] wurden in Anlehnung an DIN EN ISO 16017-1 [6] entwickelt und eingeführt. Es handelt sich dabei um Messverfahren zur Ermittlung der Konzentrationen von

- flüchtigen organischen Verbindungen (VOC, volatile organic compounds) gemäß [4],
- Aldehyden, insbesondere Formaldehyd, gemäß [5] und
- Kohlendioxid.

Für die flüchtigen organischen Verbindungen werden sowohl deren Summenkonzentration (TVOC, total volatile organic compounds) als auch – soweit möglich – die Konzentrationen bestimmter Einzelstoffe analytisch ermittelt. Im Laufe der Jahre wurde die Liste der untersuchten Einzelstoffe von ursprünglich 25 auf 40 erweitert. Notwendig wurden die Ergänzungen einerseits durch die Berücksichtigung von Einzelstoffen, die im Zuge des Messprogramms „Innenraummessungen“ wiederholt in Proben nachgewiesen wurden. Andererseits wurden Stoffe wie Naphthalin und aromatenarme Kohlenwasserstoffgemische (Kettenlänge C_9 bis C_{14}), für die in der Zwischenzeit Richtwerte der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden aufgestellt wurden, in das Untersuchungsprogramm aufgenommen.

Probenahme

Zur Vorbereitung der Messung der Konzentrationen von flüchtigen organischen Verbindungen sowie Aldehyden werden nach vorangegangener intensiver Lüftung (15 Minuten) der natürlich belüfteten Innenräume Türen und Fenster für einen Zeitraum von mindestens acht Stunden (am einfachsten über Nacht) geschlossen.

Die Probenahme erfolgt im Anschluss bei weiterhin geschlossenen Türen und Fenstern. Es ist darauf zu achten, dass nach dem Lüften in den Räumen bis zum Abschluss der Messungen nicht geraucht wird. Während der Messung kann in den Räumen weiter gearbeitet werden.

Bei der Untersuchung von Räumen, die über eine Raumluftechnische Anlage (RLT-Anlage) belüftet werden, ist die Anlage vor der Probenahme drei Stunden lang bei den für den Raum üblichen Betriebsbedingungen zu betreiben.

In Analogie dazu soll nach DIN EN ISO 16000-1 auch in Räumen verfahren werden, für die Lüftungsanweisungen vorliegen (zum Beispiel in Schulen und Kindergärten). Demnach ist dort vor der Messung ein vollständiger und typischer Nutzungszyklus abzuwarten. Dieser würde im Schulbetrieb üblicherweise maximal eine Schulstunde betragen. Da sich durch diese Art der Lüftung die Konzentrationen im Raum deutlich verringern, würde eine Suche nach der Ursache für eine mangelnde Luftqualität infolge baulicher oder einrichtungstechnischer Quellen, wie sie ansonsten in natürlich belüfteten Räumen notwendig wäre, deutlich erschwert. In Schulen und Kindertageseinrichtungen

ließe sich so jedes Problem „weglüften und wegmessen“ [7]. Dieses sollte aber gerade in Bereichen, in denen sich Kinder und Jugendliche aufhalten, nicht der Standard sein. Daher wird empfohlen, zum Aufspüren der Quelle auch diese Räume mindestens acht Stunden vor der Probenahme geschlossen zu halten.

Erfolgt die Innenraummessung aufgrund von Klagen über die Raumluftqualität, ist es sinnvoll, eine Parallelmessung in einem unbelasteten Vergleichsraum (Raum ohne Beschwerden) durchzuführen, um raumspezifische Unterschiede zu erkennen und mögliche Quellen zu identifizieren. Der Vergleichsraum liegt möglichst in räumlicher Nähe und weist eine vergleichbare Größe und Nutzung wie der belastete Raum auf.

Als weitere Referenzmessung dient die Messung der Konzentration von flüchtigen organischen Verbindungen und Aldehyden in der Außenluft. Sind in mehreren belasteten Räumen Messungen vorgesehen und finden diese Messungen an unterschiedlichen Tagen statt, so ist eine Außenluftreferenzmessung für jeden Messtag ratsam. Die Außenluftmessung wird in der Nachbarschaft des untersuchten Gebäudes, möglichst in gleicher Höhe, durchgeführt. Ein ausreichender Abstand vom Gebäude (> 2 m) ist anzustreben.

Zur Bestimmung der VOC-Konzentration werden Thermodesorptionsröhrchen TENAX TA über einen Zeitraum von 30 min mit einem Luftvolumenstrom von 4 l/h (66,6 ml/min) beaufschlagt. Im Anschluss daran erfolgt die Aldehydprobenahme über 1 h bei einem Volumenstrom von 80 l/h (1,333 l/min) mit dem Probenträger Waters Sep-Pak XpoSure.

12 Chemische Einwirkungen

Die Probenahme zur Bestimmung der Aldehyde soll nicht gleichzeitig mit der Probenahme der VOC erfolgen, da die verwendeten Waters-Sep-Pak-Probenträger Acetonitril enthalten, das bei der Messung in die Raumluft und damit auf den Probenträger TENAX TA gelangen kann.

Die Kohlendioxidkonzentrationen können sowohl mit Prüfröhrchen in Verbindung mit einer vom Prüfröhrchenhersteller empfohlenen Handpumpe als auch mit direkt anzeigenden Messgeräten bestimmt werden. Die Prüfröhrchen dienen hauptsächlich dazu, sich einen ersten Überblick über die normale Situation im Raum zu verschaffen. Um zu überprüfen, ob in einem Raum hinsichtlich der Kohlendioxidkonzentration hygienisch einwandfreie Bedingungen herrschen, ist eine kontinuierliche Messung über einen längeren Zeitraum mit einem direkt anzeigenden Messgerät unter normalen Nutzungsbedingungen und mit der üblichen Personenbelegung durchzuführen. Die Messung wird gestartet, nachdem der Raum einmal kräftig durchgelüftet wurde, sodass sich als Ausgangspunkt die Kohlendioxidkonzentration der Außenluft ergibt. Die Randbedingungen, z. B. Fensteröffnungen und Personenanzahl, sind in der Datenerfassung zu dokumentieren.

Die Messung erfolgt in Atemhöhe der Beschäftigten ca. 1 bis 1,5 m über dem Fußboden und in einem Abstand von mindestens 1 bis 2 m von den Wänden entfernt. Es ist darauf zu achten, dass das Messergebnis nicht durch die Atemluft einer in der Nähe befindlichen Person (gilt auch für den Probenehmer) beeinflusst wird. Für kleinere Räume bis 50 m² reicht in der Regel eine Probenahmestelle aus. Als Referenzmessung wird eine Außenluftmessung am gleichen Tag durchgeführt.

Finden die Messungen in einem Innenraum statt, ohne dass sich dort während der Messung Personen aufhalten, so entfällt die CO₂-Messung, soweit nicht Hinweise auf CO₂-Quellen im Raum vorliegen.

Analytik

Zur Analyse der VOC werden die TENAX-TA-Röhrchen erhitzt, wodurch die gesammelten Stoffe desorbieren. Die anschließende Analyse erfolgt gaschromatografisch. Für die Quantifizierung wird ein Flammenionisationsdetektor (FID) eingesetzt. Generell werden quantitativ die in Tabelle 25 angegebenen Stoffe basierend auf einer Einzelstoffkalibrierung bestimmt.

Die quantitative Auswertung wird anhand von Kalibrierkurven vorgenommen. Zur Bestimmung weiterer Einzelstoffe wird eine Toluolkalibrierung verwendet. Die Identifizierung erfolgt in diesem Fall mithilfe eines Massenspektrometers. Die Liste der zu analysierenden Stoffe wird fortlaufend an die Liste der Substanzen mit Innenraumluftwertwerten des Umweltbundesamtes angepasst. Außerdem werden häufig über die Toluolkalibrierung nachgewiesene Stoffe in die Liste aufgenommen.

Die Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC) umfasst alle Stoffe, die im Gaschromatogramm nach einer Trennung auf einer unpolaren Kapillarsäule zwischen den Signalen von n-Hexan und n-Hexadecan erscheinen. Zusätzlich wird die Konzentration von Butanon und Ethylacetat einbezogen.

Zur Bestimmung der Aldehyde werden die Waters-Sep-Pak-Kartuschen zunächst mit Acetonitril eluiert. Die qualitative und quan-

Tabelle 25:
Übersicht über die untersuchten VOC und Aldehyde

Stoffgruppe	Einzelstoffe
Alkane	n-Heptan, n-Octan, n-Nonan, n-Decan, n-Undecan, n-Dodecan, n-Tridecan, n-Tetradecan, n-Pentadecan, n-Hexadecan
Aromaten	Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol (alle Isomere), 1,2,3-Trimethylbenzol, 1,2,4-Trimethylbenzol, 1,3,5-Trimethylbenzol (Mesitylen), Styrol, Naphthalin, Phenol
Alkohole	Butan-1-ol, 2-Ethylhexan-1-ol
Ketone	Butanon, Acetophenon ¹⁾
Ester	Ethylacetat, n-Butylacetat, 2-Butoxyethylacetat, 2-(2-Butoxyethoxy)ethylacetat
Glykole/Glykolether	2-Butoxyethanol, 2-(2-Butoxyethoxy)ethanol, 2-Phenoxyethanol
Terpene/Sesquiterpene	α -Pinen, 3-Karen, Limonen, (+)-Longifolen
Aldehyde	Formaldehyd, Acetaldehyd, Propionaldehyd ¹⁾ , Acrylaldehyd (Acrolein), Butyraldehyd, Furfural, Glyoxal, Glutaral (Glutardialdehyd), Hexanal ²⁾
Siloxane	Hexamethylcyclotrisiloxan, Octamethylcyclotetrasiloxan, Decamethylcyclopentasiloxan, Dodecamethylcyclohexasiloxan ¹⁾

¹⁾ Methode in Vorbereitung

²⁾ Hexanal wird im Gegensatz zu den anderen Aldehyden mit dem VOC-Verfahren bestimmt

titative Bestimmung erfolgt mittels High performance liquid chromatography (HPLC). Die quantitative Auswertung wird anhand von Kalibrierkurven vorgenommen. Nach aktuellem Stand werden die in Tabelle 25 aufgelisteten Aldehyde als Einzelkomponenten angegeben. Zur Bewertung der Messergebnisse siehe Abschnitt 12.3.

12.2.3 Bestimmung der Luftwechselzahl

Für eine Beurteilung der Luftqualität in Innenräumen ist die Luftwechselzahl eine wichtige Größe. Die Luftwechselzahl ergibt sich aus dem Luftaustausch im Raum als Zuluftvolumenstrom bezogen auf das Raumvolumen. Ein ausreichender Luftaustausch sorgt für genügend Zufuhr von Frischluft in die Innen-

räume, einen Abtransport von Schad- und Geruchsstoffen und einen Schutz vor Schäden durch zu hohe Luftfeuchtigkeit. Der Luftaustausch in einem Raum, der nur über natürliche Lüftung verfügt, erfolgt über Fenster, Türen und Undichtigkeiten in der Gebäudehülle.

Bestimmung

Eine Möglichkeit zur Bestimmung des Luftwechsels liefert die Konzentrations-Abklümmethode nach VDI 4300 Blatt 7 [8] und DIN EN ISO 12569 [9]. Dabei wird die Luftwechselzahl aus dem Konzentrationsabfall eines Indikatorgases (z. B. Schwefelhexafluorid) über die Zeit berechnet. Dieses Verfahren ist nur für Räume anwendbar, in denen eine

12 Chemische Einwirkungen

vollständige Durchmischung der Luft angenommen werden kann. Zur Bestimmung der Luftwechselzahl wird der zu vermessende Raum mit einer bestimmten Menge an Schwefelhexafluorid versetzt. Das Gas muss gleichmäßig im Raum verteilt werden. Anschließend wird die Konzentration des Indikatorgases zu verschiedenen Zeitpunkten ermittelt. Aus dem zeitlichen Verlauf der Konzentrationsabnahme kann die Luftwechselzahl berechnet werden.

Anwendung

Die Schadstoffkonzentration in Innenräumen ist neben anderen Faktoren von der Quellstärke, der Luftwechselzahl und dem Raumvolumen abhängig. Werden die Schadstoffkonzentration in einem Innenraum und die Luftwechselzahl unter gleichen Lüftungsbedingungen bestimmt, kann die Quellstärke nach folgender Formel berechnet werden:

$$q = (\beta - \beta_0) \cdot n \cdot V_R$$

mit

q: Quellstärke in mg/h

β : Schadstoffkonzentration im Innenraum in mg/m³

β_0 : Schadstoffkonzentration in der Außenluft in mg/m³

n: Luftwechselzahl in 1/h

V_R : Raumvolumen in m³

Die Kenntnis der Quellstärke und der Luftwechselzahl ermöglicht z. B. eine bessere Vergleichbarkeit der gemessenen Schadstoffkonzentrationen in belasteten Räumen und unbelasteten Vergleichsräumen.

Die Probenahme des Indikatorgases Schwefelhexafluorid zur Bestimmung der Luftwechselzahl kann gleichzeitig mit der in Abschnitt 12.2.2 beschriebenen Probenahme zur Bestimmung von VOC und Aldehyden erfolgen.

12.2.4 Messverfahren für weitere Stoffe

In der Regel entwickelt das IFA Messverfahren nicht als Innenraummessverfahren. Zielsetzung der meisten Messverfahren des IFA ist es, die Einhaltung von Arbeitsplatzgrenzwerten nach den Maßgaben der TRGS 402 [10] zu überwachen. Diese Messverfahren sind für eine Messdauer von bis zu acht Stunden ausgelegt. Die in Innenräumen empfohlenen Richtwerte können in der Regel mit diesen Messverfahren nicht überwacht werden. Insbesondere Langzeitmessungen sind nicht möglich, da z. B. mit Passivsammlern nur wenige Erfahrungen vorliegen. Zur Messung einzelner Stoffe oder Stoffgruppen sei auch auf Abschnitt 12.4 verwiesen.

12.2.5 Literatur

- [1] Seifert, B.; Ullrich, D.: Methodologies for evaluating sources of VOC in homes. Atmosph. Environm. (1987) Nr. 21, S. 395-404
- [2] VDI 4300: Messung von Innenraumluftverunreinigungen

Blatt 1: Allgemeine Aspekte der Messstrategie (12.95). Beuth, Berlin 1995

Blatt 2: Messstrategie für polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH), polychlorierte Dibenzo-p-dioxine (PCDD), polychlorierte Dibenzofurane (PCDF) und polychlorierte Biphenyle (PCB) (12.97). Beuth, Berlin 1997

Blatt 4: Messstrategie für Pentachlorphenol (PCP) und γ -Hexachlorcyclohexan (Lindan) in der Innenraumluft (08.97). Beuth, Berlin 1997

Blatt 7: Bestimmung der Luftwechselzahl in Innenräumen (07.01). Beuth, Berlin 2001

Blatt 9: Messstrategie für Kohlendioxid (CO_2) (08.05). Beuth, Berlin 2005

Blatt 11: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Messstrategie für die Erfassung von luftgetragenen Partikeln im Innenraum – Partikel mit Äquivalentdurchmesser $2,5 \mu\text{m}$ (Entwurf 12.11). Beuth, Berlin 2011

[3] DIN EN ISO 16000-1: Innenraumluftverunreinigungen

Teil 1: Allgemeine Aspekte der Probenahmestrategie (06.06). Beuth, Berlin 2006

Teil 2: Probenahmestrategie für Formaldehyd (06.06). Beuth, Berlin 2006

Teil 3: Messen von Formaldehyd und anderen Carbonylverbindungen – Probenahme mit einer Pumpe (01.13). Beuth, Berlin 2013

Teil 4: Bestimmung von Formaldehyd – Probenahme mit Passivsammlern (11.12). Beuth, Berlin 2012

Teil 5: Probenahmestrategie für flüchtige organische Verbindungen (VOC) (05.07). Beuth, Berlin 2007

Teil 6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern, Probenahme auf Tenax TA, thermische Desorption und Gaschromatographie mit MS/FID (11.12). Beuth, Berlin 2012

Teil 12: Probenahmestrategie für polychlorierte Biphenyle (PCB), polychlorierte Dibenzo-p-dioxine (PCDD), polychlorierte Dibenzofurane (PCDF) und polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) (08.08). Beuth, Berlin 2008

Teil 13: Bestimmung der Summe gasförmiger und partikelgebundener dioxinähnlicher Biphenyle (PCB) und polychlorierter Dibenzo-p-dioxine/Dibenzofurane (PCDD/PCDF) – Probenahme auf Filtern mit nachgeschalteten Sorbenzien (03.10). Beuth, Berlin 2010

Teil 14: Bestimmung der Summe gasförmiger und partikelgebundener polychlorierter dioxinähnlicher Biphenyle (PCB) und polychlorierter Dibenzo-p-dioxine/Dibenzofurane (PCDD/PCDF) – Extraktion, Reinigung und Analyse mit hochauflösender Gaschromatographie/Massenspektrometrie (03.12). Beuth, Berlin 2012

Teil 15: Probenahmestrategie für Stickstoffdioxid (NO_2) (04.09). Beuth, Berlin 2009

Teil 26: Probenahmestrategie für Kohlendioxid (CO_2) (11.12). Beuth, Berlin 2012

- [4] *Breuer, D.; Friedrich, C.; Moritz, A.:* VOC (Volatile Organic Compounds, flüchtige organische Verbindungen) (Kennzahl 8936). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 45. Lfg. X/10. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin. Erich Schmidt, Berlin 1989 – Losebl.-Ausg.
www.ifa-arbeitsmappdigital.de/8936

12 Chemische Einwirkungen

- [5] *Assenmacher-Maiworm, H.; Hahn, J.-U.*: Aldehyde (Kennzahl 6045). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 39. Lfg. XI/07. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin. Erich Schmidt, Berlin 1989 – Losebl.-Ausg.
www.ifa-arbeitsmappedigital.de/6045
- [6] DIN EN ISO 16017-1: Innenraumluft, Außenluft und Luft am Arbeitsplatz – Probenahme und Analyse flüchtiger organischer Verbindungen durch Sorptionsröhrchen/thermische Desorption/Kapillar-Gaschromatographie – Teil 1: Probenahme mit einer Pumpe (10.01). Beuth, Berlin 2001
- [7] *Neumann, H.D.*: Luftqualität und Lüftung in Schulen. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 71 (2011) Nr. 11/12, S. 495-497
- [8] VDI 4300 Blatt 7: Bestimmung der Luftwechselzahl in Innenräumen (07.01). Beuth, Berlin 2001
- [9] DIN EN ISO 12569: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden und Werkstoffen – Bestimmung des spezifischen Luftvolumenstroms in Gebäuden – Indikatorgasverfahren (03.13). Beuth, Berlin 2013
- [10] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition (TRGS 402). GMBI. (2010) Nr. 12, S. 231; ber. GMBI. (2011) Nr. 9, S. 175

12.3 Beurteilung von chemischen Einwirkungen

H. Kleine, Sankt Augustin

H.-D. Neumann, Düsseldorf

K. Pohl, Mainz

N. von Hahn, Sankt Augustin

Die Bewertung der Luftqualität an Innenraumarbeitsplätzen wie Büros gibt immer wieder Anlass zur Diskussion über die heranzuziehenden Beurteilungswerte.

Im Allgemeinen dienen zur Beurteilung einer möglichen Gesundheitsgefährdung des Menschen beim Auftreten von Gefahrstoffen in seiner Atemluft Grenzwerte, die entsprechend dem jeweiligen Anwendungsbereich definiert sind. Für die in der Arbeitswelt vorkommenden gefährlichen Stoffe nach Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) [1] sind Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) in der TRGS 900 [2] festgelegt. Diese AGW gelten jedoch nur an solchen Arbeitsplätzen, an denen im Sinne der Gefahrstoffverordnung Tätigkeiten mit den betreffenden Gefahrstoffen durchgeführt werden oder diese bei den Tätigkeiten entstehen. Für Innenraumarbeitsplätze, die nicht in den Geltungsbereich der Gefahrstoffverordnung fallen, sind keine Arbeitsplatzgrenzwerte festgesetzt.

Stattdessen sind hier die allgemeinen Angaben zur Lüftung nach Anhang 3.6 der Arbeitsstättenverordnung [3] zu befolgen. Demnach muss in Arbeitsräumen ausreichend gesundheitlich zuträgliche Atemluft vorhanden sein. Diese Forderung gilt nach der Technischen Regel für Arbeitsstätten ASR A3.6 Lüftung [4] dann als erfüllt, wenn die Luftqualität im Wesentlichen der Außenluftqualität entspricht.

Die für den Außenluftbereich festgelegten Immissionswerte oder andere Beurteilungswerte sind für den Innenraumbereich jedoch nicht ohne Weiteres anwendbar, da sie z. B. auf den Schutz empfindlicher Pflanzen oder Tiere und nicht auf den Schutz des Menschen ausgerichtet sein können. In der Praxis bereitet die Ermittlung der Außenluftqualität immer dann Probleme, wenn die Außenluft belastet ist und trotzdem als Vergleichsmaßstab für die Innenraumluft herangezogen werden soll.

Derzeit werden in Deutschland daher zur Beurteilung der Exposition an Innenraumarbeitsplätzen Werte sehr unterschiedlicher Art und Herkunft herangezogen. Diese Werte sind – anders als die Grenzwerte für Arbeitsplätze – nicht in einer einheitlichen verbindlichen Regel zusammengefasst und haben insbesondere auch keine einheitliche rechtliche Relevanz. So besitzen praktisch alle für Innenräume aufgestellten Werte lediglich den Charakter einer Empfehlung. Die wichtigsten für die Innenraumluft herangezogenen Beurteilungswerte werden im Folgenden vorgestellt. In der aktuellen Grenzwertliste des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) [5] finden sich darüber hinaus die wichtigsten Beurteilungswerte für die Außenluft. Zur Beurteilung einzelner Stoffe und Stoffgruppen sei auch auf Abschnitt 12.4 verwiesen.

12 Chemische Einwirkungen

12.3.1 Richtwerte des Umweltbundesamtes für die Innenraumluft

Die allgemein für Innenräume einschließlich Wohnräume abgeleiteten und toxikologisch begründeten Richtwerte der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden [6] erfüllen am ehesten die Kriterien für eine valide Beurteilung der Luftqualität an Innenraumarbeitsplätzen. Unterschieden wird zwischen dem Richtwert II (RW II) und dem Richtwert I (RW I):

„Der Richtwert II (RW II – Gefahrenrichtwert) ist ein wirkungsbezogener Wert, der sich auf die gegenwärtigen toxikologischen und epidemiologischen Kenntnisse zur Wirkungsschwelle eines Stoffes unter Einführung von Unsicherheitsfaktoren stützt. Er stellt die Konzentration eines Stoffes dar, bei deren Erreichen bzw. Überschreiten unverzüglich zu handeln ist. Diese höhere Konzentration kann, besonders für empfindliche Personen bei Daueraufenthalt in den Räumen, eine gesundheitliche Gefährdung sein. Je nach Wirkungsweise des Stoffes kann der Richtwert II als Kurzzeitwert (RW II K) oder Langzeitwert (RW II L) definiert sein.

Der Richtwert I (RW I – Vorsorgerichtwert) beschreibt die Konzentration eines Stoffes in der Innenraumluft, bei der bei einer Einzelstoffbetrachtung nach gegenwärtigem Erkenntnisstand auch dann keine gesundheitliche Beeinträchtigung zu erwarten ist, wenn ein Mensch diesem Stoff lebenslang ausgesetzt ist. Eine Überschreitung ist allerdings mit einer über das übliche Maß hinausgehenden, unerwünschten Belastung verbunden.

Aus Gründen der Vorsorge sollte auch im Konzentrationsbereich zwischen Richtwert I und II gehandelt werden, sei es durch technische und bauliche Maßnahmen am Gebäude (handeln muss in diesem Fall der Gebäudebetreiber) oder durch verändertes Nutzerverhalten. RW I kann als Zielwert bei der Sanierung dienen.“

Im Gegensatz zu den auf acht Stunden bezogenen Arbeitsplatzgrenzwerten handelt es sich bei den Richtwerten üblicherweise um Langzeitwerte (24 Stunden an sieben Tagen pro Woche), die auch für Kinder und Kranke gelten. Ihre Anwendung ist dadurch eingeschränkt, dass es derzeit nur für eine sehr begrenzte Anzahl von Einzelstoffen Richtwerte gibt (siehe Tabelle 26).

12.3.2 WHO-Leitlinien (Air Quality Guidelines)

Im Jahre 2009 veröffentlichte die Weltgesundheitsorganisation (WHO) erstmals Leitlinien für die Innenraumluftqualität zum Schutz der öffentlichen Gesundheit vor Gesundheitsrisiken durch Feuchtigkeit und damit verbundenem Wachstum von Mikroorganismen [7]. Diese Leitlinien wurden im Jahre 2010 durch weitere Leitlinien für einige häufig in der Innenraumluft vorkommende Chemikalien ergänzt (siehe Tabelle 27 auf Seite 141) [8].

Tabelle 26:
Übersicht über die bis Mai 2013 aufgestellten Richtwerte für die Innenraumluft [6]

Verbindung	Richtwert II ¹⁾ in mg/m ³	Richtwert I ¹⁾ in mg/m ³	Jahr der Festlegung
2-Furaldehyd	0,1	0,01	2011
Aldehyde, C ₄ bis C ₁₁ (gesättigt, azyklisch, aliphatisch)	2	0,1	2009
Alkylbenzole, C ₉ bis C ₁₅	1	0,1	2012
Benzaldehyd	0,2	0,02	2010
Benzylalkohol	4	0,4	2010
C ₉ bis C ₁₄ -Alkane/Isoalkane (aromatenarm)	2	0,2	2005
Dichlormethan	2 (24 h)	0,2	1997
Diethylenglykolbutylether (DEGBE)	1	0,4	2013
Diethylenglykoldimethylether (DEGDME)	0,3	0,03	2013
Diethylenglykolmethylether (DEGME)	6	2	2013
Diethylenglykolmonoethylether (DEGMEE)	2	0,7	2013
Diisocyanate	Siehe Erläuterungen ²⁾		2000
Dipropylenglykolmethylether (DPGME)	7	2	2013
Ethylbenzol	2	0,2	2012
Ethylenglykolbutylether (EGBE)	1	0,1	2013
Ethylenglykolbutyletheracetat (EGBEA)	2	0,2	2013
Ethylenglykolhexylether (EGHE)	1	0,1	2013
Ethylenglykolmonoethylether (EGEE)	1	0,1	2013
Ethylenglykolmonoethyletheracetat (EGEEA)	2	0,2	2013
Ethylenglykolmonomethylether (EGME)	0,2	0,02	2013
Ethylhexanol	1	0,1	2013
Kohlenmonoxid	60 (½ h) 15 (8 h)	6 (½ h) 1,5 (8 h)	1997
Kresole	0,05	0,005	2012
Methylisobutylketon	1	0,1	2013
Monozyklische Monoterpene (Leitsubstanz d-Limonen)	10	1	2010
Naphthalin	0,020	0,002	2004
Pentachlorphenol (PCP)	0,001	0,0001	1997
Phenol	0,2	0,02	2011

12 Chemische Einwirkungen

Verbindung	Richtwert II ¹⁾ in mg/m ³	Richtwert I ¹⁾ in mg/m ³	Jahr der Festlegung
2-Propylenglykol-1-ethylether (2PG1EE)	3	0,3	2013
2-Propylenglykol-1-methylether (2PG1ME)	10	1	2013
2-Propylenglykol-1-tertbutylether (2PG1tBE)	3	0,3	2013
Quecksilber (als metallischer Dampf)	0,00035	0,000035	1999
Stickstoffdioxid (NO ₂)	0,35 (30 Min-Wert) 0,06 (7 Tage-Wert)	–	1998
Styrol	0,3	0,030	1998
Terpene, bicyclisch (Leitsubstanz α-Pinen)	2	0,2	2003
Toluol	3	0,3	1996
Tris(2-chlorethyl)phosphat (TCEP)	0,05	0,005	2002
Zyklische Dimethylsiloxane D3-D6 (Summenrichtwert)	4	0,4	2011

¹⁾ Üblicherweise handelt es sich um Langzeitwerte. Davon abweichende Mittelungszeiträume sind in Klammern angegeben, z. B. 24 Stunden (h).

²⁾ Die Festlegung eines Richtwertes II für Diisocyanate (DI) erachtete die Arbeitsgruppe nicht als sinnvoll (s. Erläuterung in der Veröffentlichung): Die anfänglich höhere Konzentration in der Raumluft bei der Verarbeitung von Diisocyanate-haltigen Lacken und Klebern (Konzentration im Bereich des MAK-Wertes) sinkt rasch ab und nach Beendigung des Aushärtvorgangs ist nicht mit einer Dauerbelastung zu rechnen. Generell sollte beim Verarbeiten DI-haltiger Produkte gut gelüftet werden.

Tabelle 27:
Zusammenfassung der WHO-Leitlinien für ausgewählte Schadstoffe in der Innenraumluft [9]

Stoff	Leitlinien
Benzol	<ul style="list-style-type: none"> • Es kann kein unbedenklicher Wert für die Exposition vorgeschlagen werden. • Das Unit-Risk¹⁾ für Leukämie beträgt $6 \cdot 10^{-6}$ pro $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft. • Die Benzolkonzentrationen in der Luft, die mit einem zusätzlichen Lebenszeit-Risiko²⁾ von 1/10 000, 1/100 000 und 1/1 000 000 verbunden sind, betragen jeweils 17, 1,7 und 0,17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
Formaldehyd	0,1 mg/m^3 (30-minütiger Durchschnitt)
Kohlenmonoxid	<ul style="list-style-type: none"> • 15 Minuten: 100 mg/m^3 • 1 Stunde: 35 mg/m^3 • 8 Stunden: 10 mg/m^3 • 24 Stunden: 7 mg/m^3
Naphthalin	0,01 mg/m^3 (Jahresdurchschnitt)
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	<ul style="list-style-type: none"> • Es kann kein Schwellenwert festgelegt werden und jede Innenraumexposition wird als gesundheitsrelevant erachtet. • Das Unit-Risk für Lungenkrebs durch PAK-Gemische wird auf $8,7 \cdot 10^{-5}$ pro ng/m^3 Benzo[a]pyren (B[a]P) geschätzt. • Die entsprechenden Konzentrationen, die bei lebenslanger B[a]P-Exposition zu einem erhöhten Lebenszeit-Risiko für Krebs von 1/10 000, 1/100 000 und 1/1 000 000 führen, betragen jeweils etwa 1,2, 0,12 und 0,012 ng/m^3.
Radon	<ul style="list-style-type: none"> • Das zusätzliche Lebenszeit-Risiko für den Tod durch radoninduzierten Lungenkrebs (bis zum Alter von 75 Jahren) wird für lebenslange Nichtraucher auf $0,6 \cdot 10^{-5}$ pro Bq/m^3 und für Raucher (15 bis 24 Zigaretten am Tag) auf $15 \cdot 10^{-5}$ Bq/m^3 geschätzt; bei ehemaligen Rauchern liegt das Risiko dazwischen und hängt von der Zeit ab, die seit dem Aufhören vergangen ist. • Die Radonkonzentrationen, die mit einem zusätzlichen Lebenszeit-Risiko von 1/100 und 1/1 000 einhergehen, betragen bei Rauchern jeweils 67 bzw. 6,7 Bq/m^3 und bei lebenslangen Nichtrauchern 1 670 bzw. 167 Bq/m^3.
Stickstoffdioxid	<ul style="list-style-type: none"> • 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ein-Stunden-Durchschnitt) • 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Jahresdurchschnitt)
Trichlorethen	<ul style="list-style-type: none"> • Geschätztes Unit-Risk von $4,3 \cdot 10^{-7}$ pro $\mu\text{g}/\text{m}^3$. • Die Konzentrationen an Trichlorethen in der Luft, die mit einem erhöhten Lebenszeit-Risiko von 1/10 000, 1/100 000 und 1/1 000 000 einhergehen, betragen jeweils 230, 23 und 2,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
Tetrachlorethen	0,25 mg/m^3 (Jahresdurchschnitt)

¹⁾ Unit-Risk: Risiko, bei einer lebenslangen Exposition gegenüber einer Konzentration von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an Krebs zu erkranken

²⁾ Lebenszeit-Risiko: Wahrscheinlichkeit, im Laufe der durchschnittlichen Länge eines Lebens an z. B. Krebs zu erkranken.

12 Chemische Einwirkungen

12.3.3 Ableitung von Referenzwerten für Einzelstoffe

Für Stoffe, für die es bislang keine Richtwerte gibt, können statistisch abgeleitete Referenzwerte zur Bewertung herangezogen werden. Entsprechend einer international anerkannten Konvention wird der 95-Perzentilwert eines hinreichend großen Datenkollektivs als Referenzwert bezeichnet. Dabei wird ohne toxikologische Bewertung angenommen, dass der in den untersuchten Räumen angetroffene und nicht zu Erkrankungen und Beschwerden Anlass gebende „Normalzustand“ allgemein akzeptiert werden kann. Referenzwerte ermöglichen – im Gegensatz zu den Richtwerten – keine Beurteilung der gesundheitlichen Gefährdung. Sind die Referenzwerte unterschritten, bedeutet das also nicht zwangsläufig, dass keine gesundheitliche Gefährdung vorliegt. Umgekehrt kann aus einer Überschreitung dieser Werte nicht automatisch auf eine Gefährdung geschlossen werden [10].

Eine wesentliche Überschreitung des Wertes kann jedoch ein Hinweis darauf sein, dass in dem Raum Emissionsquellen vorhanden sind, die möglicherweise zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen können. Voraussetzung für die Anwendung von Referenzwerten ist die Vergleichbarkeit der Referenzräume und des jeweils betrachteten Innenraums. Als ausschlaggebende Parameter der Vergleichbarkeit sind die Ausstattung und die Nutzung des Innenraums, das Messverfahren und die Messstrategie hervorzuheben.

Referenzwerte zur Beurteilung von Innenraumarbeitsplätzen (z. B. Büros)

Im Jahre 2004 wurden basierend auf Messdaten der Unfallversicherungsträger erstmals Referenzwerte zur Beurteilung von Innenraumarbeitsplätzen (Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte, IRW) veröffentlicht [11]. Diese Werte wurden im Jahr 2010 überprüft und anhand einer erneuten statistischen Auswertung aller bis September 2010 in der Expositionsdatenbank MEGA des IFA dokumentierten Messdaten aktualisiert [12].

Für die statistische Auswertung wurden dabei nur Messdaten betrachtet, die stationär in Büroräumen ohne maschinelle Lüftung bestimmt wurden und bei denen die Probenahmedauer den Vorgaben der Messverfahren [13; 14] entsprach. Da in der Regel mehr als 700 Messwerte pro Verbindung ausgewertet wurden, ist eine statistische Absicherung gewährleistet. Entgegen der international geltenden Konvention ziehen die Träger der gesetzlichen Unfallversicherung im Sinne der Prävention zur Ableitung von Referenzwerten die niedrigeren 90-Perzentile anstelle der 95-Perzentile heran. Generell wurden die Werte auf zwei Nachkommastellen gerundet. Die 2011 abgeleiteten Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte sind in Tabelle 28 zusammengestellt. Sie gelten nur bei Anwendung des im Abschnitt 12.2.2 beschriebenen MGU-Messprogramms „Innenraummessungen“ einschließlich der zugehörigen Messstrategie.

Tabelle 28:
Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte der Unfallversicherungsträger

Verbindung	Innenraumarbeitsplatz-Referenzwert in mg/m ³
TVOC	1
Kohlenwasserstoffgemische, aliphatische (C ₉ bis C ₁₄)	0,07
Alkane	
n-Heptan	0,02
n-Octan	0,01
n-Nonan	0,01
n-Decan	0,01
n-Undecan	0,02
n-Dodecan	0,01
n-Tridecan	0,01
n-Tetradecan	0,01
n-Pentadecan	0,01
Aromatische Verbindungen	
Toluol	0,04
Ethylbenzol	0,01
o-Xylol	0,01
m-Xylol	0,02
p-Xylol	0,01
1,2,4-Trimethylbenzol	0,01
Styrol	0,01
Alkohole	
Butan-1-ol	0,04
2-Ethylhexan-1-ol	0,02
Ketone	
Butanon	0,01
Ester	
Ethylacetat	0,02
n-Butylacetat	0,02
Ether	
2-Butoxyethanol	0,01
2-Phenoxyethanol	0,01

12 Chemische Einwirkungen

Verbindung	Innenraumarbeitsplatz-Referenzwert in mg/m ³
Terpene	
α-Pinen	0,02
Limonen	0,03
3-Karen	0,01
Aldehyde	
Formaldehyd	0,06
Acetaldehyd	0,05
Hexanal	0,03
Siloxane	
Hexamethylcyclotrisiloxan (D3)	0,03
Octamethylcyclotetrasiloxan (D4)	0,02
Decamethylcyclopentasiloxan (D5)	0,06

Referenzwerte zur Beurteilung von Klassenräumen

In den Jahren 2004 bis 2009 wurden die Konzentrationen von Aldehyden und VOC in unbelasteten Klassenräumen von Schulen in Nordrhein-Westfalen erhoben [15]. Insgesamt wurden 421 Räume in 119 Schulen

untersucht. Das Messverfahren und die Analytik sind vergleichbar mit dem MGU-Messprogramm „Innenraummessungen“. Aus den Messdaten wurden in Analogie zum Verfahren der Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte Klassenraum-Referenzwerte abgeleitet [16]. Diese sind in Tabelle 29 zusammengestellt.

Tabelle 29:
Kassenraum-Referenzwerte der Unfallversicherungsträger [16]

Verbindung	Klassenraum-Referenzwert in mg/m ³
TVOC	0,68
Kohlenwasserstoffgemische, aliphatische (C ₉ bis C ₁₄)	0,03
Alkane	
n-Heptan	0,01
n-Undecan	0,01
n-Dodecan	0,01
n-Tridecan	0,01
Aromatische Verbindungen	
Toluol	0,03
Ethylbenzol	0,01
Xylol (alle Isomere)	0,02
m-Xylol	0,01
1,2,4-Trimethylbenzol	0,01
Styrol	0,01
Phenol	0,01
Alkohole	
Butan-1-ol	0,03
2-Ethylhexan-1-ol	0,02
Ketone	
Butanon	0,01
Ester	
Ethylacetat	0,01
n-Butylacetat	0,01
Ether	
2-Butoxyethanol	0,02
2-(2-Butoxyethoxy)ethanol	0,03
2-Phenoxyethanol	0,02
Terpene	
α-Pinen	0,02
Limonen	0,02
3-Karen	0,01

12 Chemische Einwirkungen

Verbindung	Klassenraum-Referenzwert in mg/m ³
Aldehyde	
Formaldehyd	0,06
Acetaldehyd	0,05
Hexanal	0,02
Siloxane	
Hexamethylcyclotrisiloxan (D3)	0,03
Octamethylcyclotetrasiloxan (D4)	0,02
Decamethylcyclopentasiloxan (D5)	0,02

Referenzwerte anderer Institutionen

Neben den Unfallversicherungsträgern gibt es weitere Institutionen, die Referenzwerte zur Beurteilung der Innenraumluft erarbeitet haben [17 bis 19]. Diese Untersuchungen wurden in verschiedenartigen Innenräumen einschließlich Wohnräumen vorgenommen und liegen z. T. Jahrzehnte zurück. Unabhängig von der Frage der Übertragbarkeit dieser Daten auf Büroarbeitsplätze ist zu beachten, dass sich während dieser Zeit erhebliche Änderungen in der Ausstattung und Nutzung

von Innenräumen ergeben haben, die auch Auswirkungen auf die Luftbelastung haben; man denke nur an neue Materialien zur Innenausstattung oder an veränderte Reinigungsmethoden. Erschwerend kommt hinzu, dass auch die bei diesen Studien eingesetzten Messverfahren und -strategien nicht einheitlich sind. Die Vergleichbarkeit als wesentliche Voraussetzung für die Anwendung von Referenzwerten ist damit für diese Werte nur eingeschränkt erfüllt. Sie können deshalb nur unter Vorbehalt für Innenraum-arbeitsplätze herangezogen werden.

12.3.4 Literatur

- [1] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) vom 26. November 2010. BGBl. (2010) Nr. 59, S. 1643-1692; zul. geänd. BGBl. (2013), S. 944
- [2] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900). BArbBl. (2006) Nr. 1, S. 41-55; zul. geänd. GMBL. (2013) Nr. 17, S. 363-364
- [3] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 12. August 2004. BGBl. (2004), S. 2179-2189; zul. geänd. BGBl. (2010), S. 960-967
- [4] Technische Regeln für Arbeitsstätten: Lüftung (ASR A3.6). GMBL. (2012) Nr. 6, S. 92-97
- [5] *Pflaumbaum, W., et al*: Grenzwerteliste 2013 – Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz. IFA-Report 1/2013. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2013
- [6] Gesundheit und Umwelthygiene. Richtwerte für die Innenraumluft. Hrsg.: Umweltbundesamt (UBA), Dessau-Roßlau 2013.
www.umweltbundesamt.de/gesundheit/innenraumhygiene/richtwerte-irluft.htm
- [7] WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould. Hrsg.: World Health Organization (WHO), Kopenhagen 2009
- [8] WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. Hrsg.: World Health Organization (WHO), Kopenhagen 2010
- [9] WHO Leitlinien für Innenraumluftqualität: ausgewählte Schadstoffe – Zusammenfassung. Hrsg.: World Health Organization (WHO), Kopenhagen 2011
- [10] Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten – Handreichung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz 50 (2007) Nr. 7, S. 990-1005
- [11] *Schlechter, N.; Pohl, K.; Barig, A.; Kupka, S.; Gabriel, S.; Van Gelder, R.; Lichtenstein, N.; Hennig, M.*: Beurteilung der Raumluftqualität an Büroarbeitsplätzen. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 64 (2004) Nr. 3, S. 95-99
- [12] *von Hahn, N.; Van Gelder, R.; Breuer, D.; Hahn, J. U.; Gabriel, S.; Kleine, H.*: Ableitung von Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerten. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 71 (2011) Nr. 7/8, S. 314-322
- [13] *Breuer, D.; Friedrich, C.; Moritz, A.*: VOC (Volatile Organic Compounds, flüchtige organische Verbindungen) (Kennzahl 8936). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 45. Lfg. X/10. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin. Erich Schmidt, Berlin 1989 – Losebl.-Ausg.
www.ifa-arbeitsmappedigital.de/8936

12 Chemische Einwirkungen

- [14] *Assenmacher-Maiworm, H.; Hahn, J.-U.:* Aldehyde (Kennzahl 6045). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 39. Lfg. XI/07. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin. Erich Schmidt 1989 – Losebl.-Ausg.
www.ifa-arbeitsmappedigital.de/6045
- [15] *Neumann, H. D.:* Luftqualität und Lüftung in Schulen. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 71 (2011) Nr. 11/12
- [16] *Neumann, H. D.; Buxtrup, M.; von Hahn, N.; Koppisch, D.; Breuer, D.; Hahn, J.-U.:* Vorschlag zur Ableitung von Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerten in Schulen. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 72 (2012) Nr. 7/8, S 291-297
- [17] Kinder-Umwelt-Survey (KUS) 2003/06 – Innenraumluft – Flüchtige organische Verbindungen in der Innenraumluft in Haushalten mit Kindern in Deutschland. Hrsg.: Umweltbundsamt (UBA), Berlin 2010
- [18] AGÖF-Orientierungswerte für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft. Stand 10.2008. Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF), Springe-Eldagesen 2008
<http://www.agoef.de/agoef/oewerte/orientierungswerte.html>
- [19] *Schleibinger, H.; Hott, U.; Marchl, D.; Plieninger, P.; Braun, P.; Rüden, H.:* Ziel- und Richtwerte zur Bewertung der VOC-Konzentrationen in der Innenraumluft – ein Diskussionsbeitrag. Umweltmed. Forsch. Prax. 7 (2002) Nr. 3, S. 139-147

12.4 Spezifische Informationen zu einzelnen Stoffen und Stoffgruppen

U. Bagschik, Düsseldorf

J. Fauss, Mannheim

H. Fröhlich, Mannheim

H. Kleine, Sankt Augustin

H.-D. Neumann, Düsseldorf

K. Pohl, Mainz

I. Thullner, Frankfurt am Main

T. von der Heyden, Sankt Augustin

N. von Hahn, Sankt Augustin

12.4.1 Kohlendioxid

In Innenräumen stellt der Mensch durch seine Atmung in der Regel die Hauptemissionsquelle für Kohlendioxid (CO_2) dar. Selbst unter ungünstigen Bedingungen wie z. B. bei geringer Luftwechselrate werden dadurch jedoch keine toxisch relevanten CO_2 -Konzentrationen erreicht. Da die Emission von Geruchsstoffen in der Regel proportional zur CO_2 -Abgabe des Menschen ist, bildet die CO_2 -Konzentration einen brauchbaren Indikator für die Raumluftqualität, soweit nicht weitere CO_2 -Emissionsquellen oder andere Geruchsquellen vorhanden sind. Gleichzeitig ist sie auch ein Maß für die Effektivität der Raumlüftung.

Neben den in Abschnitt 12.2.2 beschriebenen Messungen mit Prüfröhrchen oder direkt anzeigenden Messgeräten kann die CO_2 -Konzentration in Innenräumen auch aus der CO_2 -Abgabe des Menschen in Abhängigkeit von der Anzahl anwesender Personen, ihren Tätigkeiten und dem Luftwechsel (Lüftungseffektivität) berechnet werden [1]. Bei leichten Tätigkeiten beträgt die CO_2 -Abgabe des Menschen ungefähr 20 000 ml/h. Mit diesem Wert kann man die maximal sich

einstellende CO_2 -Konzentration nach Gl. (1) (siehe gegenüberliegende Seite) berechnen.

Beträgt z. B. das Raumvolumen eines von zwei Personen genutzten Büros 100 m^3 und wird für dieses Büro eine natürliche Luftwechselrate λ von $0,5 \text{ h}^{-1}$ angenommen, dann beträgt die erreichbare CO_2 -Konzentration – unter Berücksichtigung einer mittleren Außenluftkonzentration an CO_2 von 400 ml/m^3 [2] – maximal 1200 ml/m^3 (siehe Gleichung 2 auf der gegenüberliegenden Seite).

Als Beurteilungsmaßstab gilt allgemein, dass eine Konzentration von

$0,1 \text{ Volumen-\% CO}_2$
(1000 ppm bzw. 1800 mg/m^3)

(*Pettenkoferzahl*, siehe z. B. [3; 4]) nicht überschritten werden sollte. Im Jahr 2008 hat die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte aus Interventionsstudien folgende gesundheitlich-hygienisch begründeten Leitwerte für die Momentankonzentration von CO_2 abgeleitet, die inzwischen auch in die ASR A3.6 eingeflossen sind [2]:

12 Chemische Einwirkungen

- Kohlendioxidkonzentration unter 1000 ppm = hygienisch unbedenklich
- Kohlendioxidkonzentration zwischen 1000 und 2000 ppm = hygienisch auffällig
- Kohlendioxidkonzentration über 2000 ppm = hygienisch inakzeptabel

Demnach soll bei Überschreitung der Momentankonzentration von 1000 ppm Kohlendioxid gelüftet werden. Bei Überschreitung eines Wertes von 2000 ppm muss gelüftet werden. Reichen die Lüftungsmaßnahmen (ggf. Einführung eines Lüftungsplans) nicht aus, um den Leitwert von 2000 ppm zu unterschreiten, so sind weitergehende organisatorische, lüftungstechnische oder bauliche Maßnahmen erforder-

lich. Hierzu zählen z. B. die Verringerung der Personenzahl im Raum oder der Einbau einer technisch geregelten Lüftung.

Kohlendioxidbelastung in Klassenräumen

Auch in Klassenräumen ist CO₂ in der Regel die bedeutendste Luftverunreinigung. Dies bestätigt eine Studie der Unfallkasse Nordrhein-Westfalen mit Messungen in 111 Schulen und 379 Klassenräumen [5]. So nimmt in Gegenwart von Schülern die CO₂-Konzentration in einem Klassenraum während einer Schulstunde, in der nicht gelüftet wird, deutlich zu (Abbildung 28). Die Stoßlüftung in der Pause kann zwar die CO₂-Konzentration kurzzeitig unter den Leitwert von 1000 ppm absenken, aber schon nach wenigen Minuten mit geschlossenen Fenstern wird dieser Wert wieder überschritten.

$$x_{\text{CO}_2} = \frac{n \cdot m_{\text{CO}_2}}{\lambda \cdot V_R} + x_{\text{CO}_2, \text{außen}} = \frac{n \cdot 20\,000 \frac{\text{ml}}{\text{h}}}{\lambda \cdot V_R} + x_{\text{CO}_2, \text{außen}} \quad (1)$$

mit

x_{CO_2} : CO₂-Konzentration in ml/m³

m_{CO_2} : CO₂-Emissionsrate pro Person in ml/h

λ : Luftwechselrate in h⁻¹

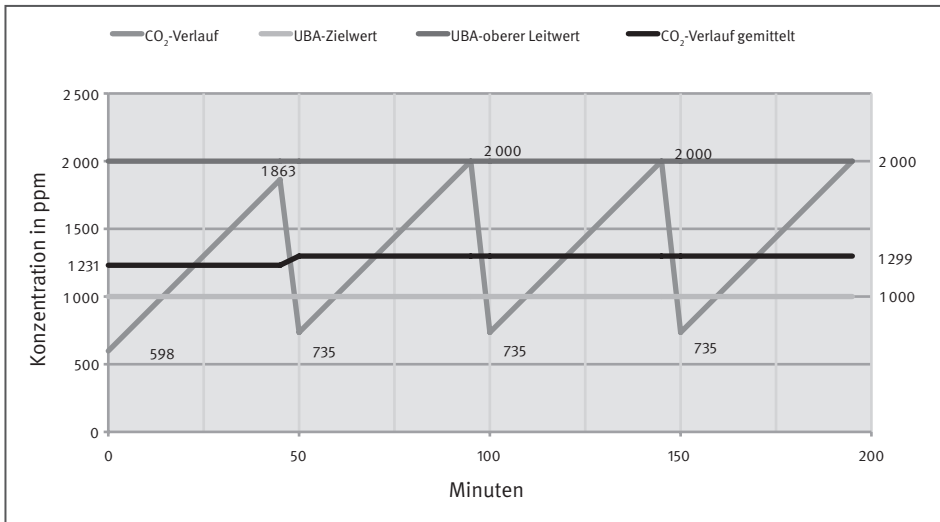
V_R : Raumvolumen in m³

$x_{\text{CO}_2, \text{außen}}$: CO₂-Außenluftkonzentration in ml/m³

n : Anzahl der Personen im Raum

$$x_{\text{CO}_2} = \frac{2 \cdot 20\,000 \frac{\text{ml}}{\text{h}}}{0,5 \text{ h}^{-1} \cdot 100 \text{ m}^3} + x_{\text{CO}_2, \text{außen}} = 800 \frac{\text{ml}}{\text{m}^3} + 400 \frac{\text{ml}}{\text{m}^3} = 1\,200 \frac{\text{ml}}{\text{m}^3} \quad (2)$$

Abbildung 28:
Verlauf der mittleren CO₂-Belastung in Klassenräumen mit Stoßlüftung nach jeder Schulstunde



Erst durch ein weiteres Stoßlüften zur Hälfte der Unterrichtsstunde oder durch ständiges Lüften mit gekippten Fenstern während der Unterrichtsstunde kann der Leitwert dauerhaft eingehalten werden. Dabei ist für die Kipp Lüftung nicht unbedingt eine große Fensterfläche erforderlich. Im Winterhalbjahr reicht zum Erhalt einer hygienisch unbedenklichen Luftqualität im Mittel eine freie Fensteröffnung von ca. 1 m². Im Sommerhalbjahr sorgt eine mittlere Fensteröffnung von 1,8 m² dafür, dass die CO₂-Konzentration im Unterricht nur geringfügig ansteigt.

Auch durch mechanische Lüftungen, sei es in Form einer zentralen Lüftungs- oder Klimaanlage im Gebäude oder in Form einer raumbezogenen Lösung, lassen sich Konzentrationen von 1000 ppm CO₂ dauerhaft einstellen.

12.4.2 Ozon

Für die Belastung von Innenräumen mit Ozon ist der Eintrag aus der Außenluft über die Lüftung (z. B. geöffnete Fenster) entscheidend. Die Bildung von Ozon durch den Betrieb von Laserdruckern und -kopierern stellt heute kein Problem mehr dar (siehe Abschnitt 7.2.3).

Ozon wird in der Außenluft durch Sonneneinstrahlung und fotochemische Smogreaktionen gebildet. Über die Lüftung, insbesondere über geöffnete Fenster und Türen, kann es aus der Außenluft in Innenräume gelangen. In technischen Lüftungsanlagen dagegen wird Ozon bereits auf dem Weg zum Arbeitsbereich im Filter und in den Rohrleitungen teilweise wieder abgebaut. In Innenräumen zerfällt Ozon mit einer Halbwertszeit von ungefähr 30 Minuten

12 Chemische Einwirkungen

u. a. durch Reaktionen mit anderen flüchtigen Stoffen.

Die Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Luftqualität und saubere Luft für Europa [6] legt zum Schutz der menschlichen Gesundheit als höchsten 8-Stunden-Mittelwert eines Tages für Ozon einen Wert von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fest.

Dieser darf an höchstens 25 Tagen im Jahr überschritten werden. Darüber hinaus gelten für den Ein-Stunden-Wert eine Informationsschwelle von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ab der die Bevölkerung unterrichtet werden muss, und eine Alarmschwelle von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Besonders bei sonnigem Hochsommerwetter sind hohe Konzentrationen und damit eine Überschreitung der Beurteilungswerte nicht ausgeschlossen. Es empfiehlt sich bei entsprechenden Wetterlagen, Fenster und Türen weitgehend geschlossen zu halten, damit keine zu hohe Belastung der Innenräume mit Ozon aus der Außenluft eintritt. Dabei ist es grundsätzlich besser, für kurze Zeit stoßweise zu lüften und danach Fenster und Türen wieder zu schließen.

12.4.3 Formaldehyd

Formaldehyd ist eine Grundchemikalie, die in der chemischen Industrie als kostengünstige Ausgangssubstanz vielfältig eingesetzt wird. Sie findet u. a. Verwendung bei der Herstellung von Pheno- und Aminoplasten, die z. B. als Leim in Spanplatten, Sperrholzplatten und Holzleimplatten eingesetzt werden (siehe Abschnitt 6.4.3).

Weitere für den Innenraum relevante Formaldehydquellen sind Harnstoff-Formaldehydharz-Ortsschäume, Lacke (hier vor allem

säurehärtende Siegelacke bei Parkettböden und Möbeln), Furniere, Textilien, Teppichböden, bindemittelhaltige Fasermatten etc. Darüber hinaus ist Formaldehyd in wässrigen Zubereitungen als Desinfektions- und Konservierungsmittel enthalten und auch in Körperpflegemitteln, Putz- und Wischmitteln nachweisbar.

Im Jahre 2004 hat eine Arbeitsgruppe der Internationalen Krebsforschungsagentur (International Agency for Research on Cancer, IARC) Formaldehyd in die Stufe 1 „carcinogenic to humans“ eingestuft [7; 8]. Daraufhin schlug das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) im Frühjahr 2006 als „sichere Konzentration“ (Safe Level) im Hinblick auf die krebserzeugende Wirkung von Formaldehyd beim Menschen eine Luftkonzentration von $0,1 \text{ ppm}$ ($0,12 \text{ mg}/\text{m}^3$) vor [9]. Dem schloss sich im Herbst 2006 die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte an [10].

Die WHO schlägt einen 30-Minuten-Durchschnittswert von $0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$ ($0,08 \text{ ppm}$) vor, um die Mehrheit der Bevölkerung vor sensorischen Irritationen zu schützen [11]. Empfohlen wird bei langfristiger Exposition, eine Konzentration von $0,06 \text{ mg}/\text{m}^3$ ($0,05 \text{ ppm}$) nicht zu überschreiten [12].

12.4.4 Flüchtige organische Verbindungen

Die flüchtigen organischen Verbindungen (volatile organic compounds, VOC) lassen sich gemäß Tabelle 30 klassifizieren.

Tabelle 30:
Klassifikation von VOC in Anlehnung an die Weltgesundheitsorganisation [13]

Klassifikation	Abkürzung	Siedebereich in °C
Sehr flüchtige organische Verbindungen Very volatile organic compounds	VVOC	< 0 bis 50-100
Flüchtige organische Verbindungen Volatile organic compounds	VOC	50-100 bis 240-260
Schwer flüchtige organische Verbindungen Semivolatile organic compounds	SVOC	240-260 bis 380-400
Partikuläre Verbindungen Organic compounds associated with particulate (organic) matter	POM	> 380

Während die sehr flüchtigen und flüchtigen organischen Verbindungen nahezu ausschließlich in der Raumluft nachgewiesen werden, findet man die schwer flüchtigen organischen Verbindungen wie Biozide und Phthalate sowie die partikelgebundenen Stoffe (POM) zu überwiegenden Anteilen im sedimentierten Hausstaub und an Schwebstaub gebunden. Eine adäquate Beurteilungsgrundlage kann hierbei nur eine Untersuchung des abgelagerten Staubs ergeben.

Die luftgetragenen VOC sind durch eine außerordentliche Vielzahl von Stoffen charakterisiert, die sich in folgende Substanzklassen unterteilen lassen:

- aliphatische Kohlenwasserstoffe
- aromatische Kohlenwasserstoffe
- Alkohole
- Ketone
- Ester, vorwiegend Acetate und Acrylate

- Glykolverbindungen, sowohl Glykolester als auch Glykolether
- Terpene
- Siloxane (D3- bis D6-Siloxan)

Auch Aldehyde zählen zu den VOC. Aufgrund ihrer separaten Analytik werden sie jedoch häufig gesondert erwähnt.

In Innenräumen gibt es eine Vielzahl potenzieller Quellen für flüchtige organische Verbindungen. Diese lassen sich in drei Kategorien einteilen:

- gebäudebezogene Quellen
- auf die menschliche Aktivität bezogene Quellen und
- außenluftbezogene Quellen

Als gebäudebezogene Quellen für VOC kommen nahezu alle Materialien infrage, die in modernen Bauten Verwendung finden. Das Stoffspektrum spiegelt dabei Veränderungen

12 Chemische Einwirkungen

in der Zusammensetzung der verwendeten Materialien wider. So werden in Zukunft vermehrt Dicarbonsäuredimethylester (DBE) nachgewiesen werden können – eine Substanzgruppe, die als Ersatz für herkömmliche Lösungsmittel fungiert. Auch bisher emissionsarme Materialien wie Bausteine, Mörtel und andere Konstruktionselemente enthalten heute kunststoff- und lösungsmittelhaltige Zuschlagstoffe. Weitere Quellen können Wandverkleidungen, Bodenbeläge, Isolationsmaterialien, Dichtmassen, Möbel, Farben, Lacke und Lösungsmittel für den Innenausbau sein (siehe Abschnitt 6.4).

Durch menschliche Aktivitäten werden VOC in Form von Reinigungs- und Pflegemitteln sowie durch Kosmetika, Desinfektionsmittel, Pflanzenschutzmittel und Tabakrauch eingebracht. Auch ein Eintrag von VOC über die Außenluft ist möglich (z. B. Straßenverkehr).

Ermittlung

Bei der Ermittlung möglicher VOC-Quellen ist zunächst zu prüfen, ob in jüngerer Zeit Renovierungsarbeiten durchgeführt oder neue Möbel, Geräte etc. aufgestellt wurden (siehe hierzu Ermittlungsbogen G2 in Anhang III). In solchen Fällen gelingt es häufig, durch ausgedehntes Lüften in Kombination mit einem Ausheizen der Räume die VOC-Konzentrationen zu senken. Auch die Verwendung spezieller Reinigungsmittel oder Raumdüfte muss als Quelle überprüft werden. Hinweise auf Einträge von außen enthält der Ermittlungsbogen G2 ebenfalls, in dem u. a. auf die Lage des Gebäudes eingegangen wird.

Ein wichtiger Parameter zur Beurteilung der Innenraumluftqualität ist die Summe der VOC im Siedebereich 50 bis 260 °C (siehe

Tabelle 30), die als TVOC (total volatile organic compounds) bezeichnet wird. Der Siedebereich umfasst weitestgehend die Stoffe, die analytisch auf einer unpolaren Säule im Elutionsbereich zwischen n-Hexan und n-Hexadecan detektierbar sind [14].

Obwohl gesicherte Dosis-Wirkungs-Beziehungen fehlen und TVOC-Konzentrationen sich nicht als alleiniges Kriterium für eine gesundheitliche Bewertung der Innenraumluftqualität eignen, lassen sich dennoch anhand der TVOC-Konzentrationen Beeinträchtigungen durch VOC in der Innenraumluft bewerten. So ist beispielsweise festzustellen, dass die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Reizwirkungen und Geruchswahrnehmungen mit steigender TVOC-Konzentration zunimmt. Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte empfiehlt, für die Beurteilung der TVOC-Konzentration das fünfstufige Konzept von *Seifert* aus dem Jahre 1999 heranzuziehen (siehe Tabelle 31) [14]. In der Regel muss im Rahmen der VOC-Bewertung Folgendes geklärt werden:

- Liegen Richtwertüberschreitungen vor (siehe hierzu Abschnitt 12.3.1)?
- Liegen auffällige Referenzwertüberschreitungen vor (siehe hierzu Abschnitt 12.3.3)?
- Sind die raumklimatischen Bedingungen (Luftwechsel, Temperatur, Luftfeuchte) einwandfrei (siehe hierzu Kapitel 9)?

In Anhang V findet sich eine Tabelle mit möglichen Quellen für Einzelstoffe.

Tabelle 31:
Hygienische Bewertung von TVOC-Werten und daraus resultierende Empfehlungen für Maßnahmen [14]

Stufe	Konzentration in mg/m ³	Hygienische Bewertung	Empfehlungen
1	≤ 0,3	Hygienisch unbedenklich in der Regel keine Beschwerden	Keine weiteren Maßnahmen
2	> 0,3 bis 1	Hygienisch noch unbedenklich, soweit keine Richtwertüberschreitungen für Einzelstoffe oder Stoffgruppen vorliegen. In Einzelfällen Beschwerden oder Geruchswahrnehmungen, z. B. nach kleineren Renovierungsmaßnahmen oder Neumöblierungen in den letzten Wochen	Ausreichend Lüften besonders nach Renovierungsarbeiten VOC-Quellen ermitteln (z. B. Begehung des Raums), Verwendung von Putz- und Reinigungsmitteln überprüfen, Nachmessungen zur Kontrolle von Richtwertüberschreitungen unter Nutzungsbedingungen
3	> 1 bis 3	Hygienisch auffällig Nutzung bei Räumen, die regelmäßig genutzt werden, nur befristet akzeptabel (< 12 Monate) Innerhalb von ca. sechs Monaten sollte die TVOC-Konzentration deutlich unter den anfangs gemessenen TVOC-Wert abgesenkt werden. Fälle mit Beschwerden oder Geruchswahrnehmungen, z. B. nach größeren Renovierungsarbeiten	Richtwertüberschreitungen umgehend durch Nachmessung unter Nutzungsbedingungen kontrollieren Auffällige Referenzwertüberschreitungen auf gesundheitliche Relevanz prüfen In jedem Fall: Quellensuche durchführen und Lüftungsverhalten überprüfen: intensiv lüften und ggf. Nutzungs- und Lüftungsbedingungen festlegen Kontrollmessung bzw. Nachmessung nach ca. einem Monat empfohlen (unter Nutzungsbedingungen)
4	> 3 bis 10	Hygienisch bedenklich Nutzung bei Räumen, die regelmäßig genutzt werden, nur befristet akzeptabel (< 1 Monat) Die TVOC-Konzentration sollte innerhalb eines Monats unter 3 mg/m ³ abgesenkt werden. Fälle mit Häufung von Beschwerden oder Geruchswahrnehmungen, z. B. nach größeren Renovierungsarbeiten	Richtwertüberschreitungen umgehend durch Nachmessung unter Nutzungsbedingungen kontrollieren Auffällige Referenzwertüberschreitungen auf gesundheitliche Relevanz prüfen. Toxikologische Bewertung von Einzelstoffen oder Stoffgruppen erforderlich In jedem Fall: Quellensuche durchführen und intensiv lüften und ggf. Nutzungs- und Lüftungsbedingungen festlegen und geeignete Minimierungsmaßnahmen veranlassen. Ein ggf. notwendiger Aufenthalt ist nur mit zeitlicher Beschränkung pro Tag über einen vom Gesundheitsamt vorzugebenden maximalen Zeitraum (pro Tag stundenweise/zeitlich befristet) tolerabel.

12 Chemische Einwirkungen

Stufe	Konzentration in mg/m ³	Hygienische Bewertung	Empfehlungen
			Kontrollmessung bzw. Nachmessung nach ca. einem Monat empfohlen (unter Nutzungsbedingungen) Liegt nach einem Monat trotz der beschriebenen Bemühungen die TVOC-Konzentration weiterhin über 3 mg/m ³ , so sind adäquate Sanierungsmaßnahmen in die weitere Planung aufzunehmen.
5	> 10	Hygienisch inakzeptabel. Raumnutzung möglichst vermeiden. Ein Aufenthalt ist allenfalls pro Tag stundenweise/zeitlich befristet zulässig. Bei Werten oberhalb von 25 mg/m ³ ist eine Raumnutzung zu unterlassen. Die TVOC-Konzentration sollte innerhalb eines Monats unter 3 mg/m ³ abgesenkt werden. In der Regel Beschwerden und Geruchswahrnehmungen, z. B. nach Fehlanwendungen, Unfällen.	Richtwertüberschreitungen umgehend durch Nachmessung unter Nutzungsbedingungen kontrollieren. Auffällige Referenzwertüberschreitungen auf gesundheitliche Relevanz prüfen. Toxikologische Bewertung von Einzelstoffen oder Stoffgruppen erforderlich. In jedem Fall: Quellensuche durchführen und intensiv lüften sowie Nutzungs- und Lüftungsbedingungen festlegen und geeignete Minimierungsmaßnahmen veranlassen. Ein ggf. notwendiger Aufenthalt ist nur mit zeitlicher Beschränkung pro Tag über einen vom Gesundheitsamt vorzugebenden maximalen Zeitraum (pro Tag stundenweise/zeitlich befristet) tolerabel. Kontrollmessung bzw. Nachmessung nach ca. einem Monat empfohlen (unter Nutzungsbedingungen). Wird durch Minimierungsmaßnahmen 10 mg/m ³ im betrachteten Zeitraum zwar unterschritten, eine Konzentration von 3 mg/m ³ allerdings weiterhin überschritten, gelten die Maßnahmeempfehlungen wie unter Stufe 4. Liegt nach einem Monat trotz der beschriebenen Bemühungen die TVOC-Konzentration weiterhin über 10 mg/m ³ , so sollte die Raumnutzung unterbleiben, und es sind adäquate Sanierungsmaßnahmen zu veranlassen.

12.4.5 Quecksilber in Kompaktleuchtstofflampen (Energiesparlampen) und Leuchtstoffröhren

Quecksilber ist in geringen Mengen in Kompaktleuchtstofflampen (Energiesparlampen) und Leuchtstoffröhren enthalten. Der Einsatz von Quecksilber ist für den Beleuchtungsprozess beim Betrieb dieser Leuchtmittel notwendig. Die in Leuchtmitteln eingesetzte Menge an Quecksilber ist in der Europäischen Union durch die Richtlinie 2002/95/EG zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten [15] begrenzt und gibt den Herstellern eine weitere Reduzierung vor. Seit Januar 2012 muss der Hersteller den Quecksilbergehalt im Leuchtmittel auf der Verpackung vermerken.

Während des bestimmungsgemäßen Gebrauchs von Leuchtmitteln wird kein Quecksilber freigesetzt. Beim Wechsel oder bei sonstigen Handhabungen von Energiesparlampen oder Leuchtstoffröhren, z. B. beim Sammeln von Altlampen, besteht jedoch die Gefahr, dass Leuchtmittel beschädigt werden. Kommt es zum Bruch von Leuchtmitteln, können Quecksilberdämpfe freigesetzt werden [16].

Messungen des Umweltbundesamtes an neuen auf dem Markt befindlichen Energiesparlampen haben gezeigt, dass nach dem Zerbrechen einer Lampe, der vollständigen Entsorgung der Bruchstücke und anschließendem sofortigem Lüften des Raumes keine nennenswerten Quecksilberkonzentrationen auftreten [17]. Folglich ist nicht mit Gesundheitsrisiken durch Quecksilber zu rechnen.

Um eine mögliche Quecksilberexposition so niedrig wie möglich zu halten, ist darauf zu achten, dass die zu beschaffenden Leuchtmittel einen möglichst niedrigen Quecksilbergehalt haben. Defekte Leuchtmittel sollten nicht in heißem Zustand ausgewechselt werden. Beim Bruch heißer Leuchtmittel ist die Quecksilberdampffreisetzung größer als im kalten Zustand. Altlampen dürfen nicht im Hausmüll, sondern müssen über eine geeignete Sammelstelle (Wertstoffhof, Einzelhandel) möglichst zerstörungsfrei entsorgt werden.

12.4.6 Stäube

Bis zu 50 % der im Innenraum auftretenden Stäube stammen aus der Außenluft. Daneben kommen in genutzten Räumen als Quellen für Stäube u. a. Anhaftungen an Schuhen und Kleidung der Raumnutzer, mechanisches Auf- und Verwirbeln von sedimentierten Partikeln (z. B. durch Staubsaugen, Handhabung von Papier) sowie der Einsatz von Arbeitsmitteln infrage. In Abhängigkeit von der Nutzung variieren die Staubkonzentration und -zusammensetzung in Innenräumen stark [18]. So geben starke Staubablagerungen bei sonst üblichen Reinigungsgewohnheiten oder der Umgang mit großen Papiermengen wie z. B. in Archiven und bei der Vervielfältigung Hinweise auf eine erhöhte Staubkonzentration in der Raumluft.

Von Ausnahmen abgesehen haben Stäube keine schädigende oder belästigende Wirkung, sofern die Innenraumluftkonzentration in der Größenordnung der Außenluftkonzentration liegt. Zu berücksichtigen ist allerdings eine mögliche Anlagerung von schwer flüchtigen organischen Verbindungen (SVOC),

12 Chemische Einwirkungen

Bioziden, PAK, Weichmachern u. a. an die Stäube, und eine damit ggf. verbundene belästigende, reizende oder gesundheits-schädigende Wirkung [19].

Zur Beurteilung möglicher Gesundheits-gefahren durch Staubbelastungen zieht man von der Partikelgröße abhängige Staubfraktionen heran. Die im Arbeitsschutz üblicher-weise verwendeten Fraktionen „einatem-barer Staub“ (E-Fraktion) und „lungengän-giger Staub“ (Alveolarfraktion, A-Fraktion) stimmen nicht exakt überein mit den im Bereich des Umweltschutzes gebräuchlichen Fraktionen PM_{10} (particulate matter) und $PM_{2,5}$. Darunter versteht man in erster Nähe-rung die Summe aller Schwebstaubpartikeln mit einem Durchmesser von bis zu 10 und bis zu 2,5 μm [20].

Für Innenraumarbeitsplätze wird empfohlen, zur Beurteilung von Staubbelastungen die im Umweltschutz definierten Fraktionen $PM_{2,5}$ und PM_{10} heranzuziehen, da die Konzentra-tionen hauptsächlich durch die Außenluft bedingt sind und hierfür entsprechende Beurteilungswerte zur Verfügung stehen. So schlägt die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innen-raumrichtwerte vor, bei Abwesenheit von Verbrennungsprozessen (z. B. Tabakrauch) als Beurteilungswert für Feinstaub der Frak-tion $PM_{2,5}$ den von der WHO als Tageswert festgelegten Wert von 25 $\mu g/m^3$ heranzuzie-hen [18].

Für die Fraktion PM_{10} schlägt die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte dagegen keinen Bewertungsmaßstab vor. Sie begrün-det dies damit, dass für diese Fraktion die Konzentrationen in Innenräumen deutlich über denjenigen in der Außenluft liegen. Dies bedeutet, dass die Hauptquellen für

diese Partikelfraktion im Innenraum zu suchen sind. Da die Zusammensetzung dieser Fraktion nicht näher bekannt ist, kann keine abschließende Bewertung erfolgen [18].

Generell sollte darauf geachtet werden, dass die Staubkonzentration bezogen auf die PM_{10} -Fraktion nicht über dem EU-Staubgrenz-wert für die Luft der Troposphäre von 50 $\mu g/m^3$ liegt [21].

Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumricht-werte empfiehlt zur Reduzierung der Staub-belastung in Innenräumen, diese ausrei-chend zu lüften. Außerdem sollten bekannte Feinstaubquellen konsequent aufgespürt und minimiert werden [18].

Faserstäube

Unter Wirkungsaspekten sind faserförmige Stäube gesondert zu betrachten. Dies sind in Innenräumen vornehmlich textile Fasern, z. B. von Raumtextilien oder Kleidung, sowie natürliche oder künstliche Mineralfasern, z. B. aus thermischen Isolierungen. Asbest-fasern haben heute in Innenräumen keine Bedeutung mehr, sofern die Vorgaben zur Bewertung der Dringlichkeit von Sanierungs-maßnahmen entsprechend der Asbestricht-linie [22] und zum Schutz der Beschäftigten sowie Dritter im Zusammenhang mit Sanie-rungsmaßnahmen entsprechend TRGS 519 [23] beachtet werden.

Faserförmige Stäube gelten dann als gesund-heitsgefährlich, wenn sie einatembar und „biobeständig“ sind. Fasern gelten nach einer WHO-Definition als einatembar bei einer Länge $> 5 \mu m$, einem Durchmesser $< 3 \mu m$ und einem Verhältnis Länge zu Durch-

messer > 3 : 1 (WHO-Fasern). Die Biobeständigkeit ist abhängig vom Fasermaterial: Seit 1998 dürfen Künstliche Mineralfasern (KMF), wie sie in Mineralwolle-Dämmstoffen zum Einsatz kommen, nur verkauft werden, wenn die Halbwertszeit ihrer Biolöslichkeit (Abbau im Körper durch körpereigene Substanzen) unter 40 Tagen liegt.

Faserstaubexpositionen durch Mineralwolle-Dämmstoffe sind möglich, wenn diese unmittelbar mit der Raumluft in Verbindung stehen (offene Systeme wie z. B. Schallschluckplatten auf Lamellen) und insbesondere durch Erschütterungen oder höhere Luftgeschwindigkeiten beaufschlagt werden. Nur dann ist ggf. auch eine messtechnische Abklärung der Situation sinnvoll.

Die gelegentlich diskutierte irritative Wirkung von KMF ist mit größeren Fasern als WHO-Fasern verbunden und kommt nur dann in Betracht, wenn Mineralwolle-Dämmstoffe nicht ordnungsgemäß eingebaut wurden oder die Kaschierung altersbedingt Beschädigungen aufweist und sich Faserstäube sichtbar ablagern. Nach Walker et al. [24] besteht aus gesundheitlicher Sicht kein Grund, sachgerecht eingebaute alte Mineralwolle-Dämmstoffe (KMF) zu entfernen.

Eine deutlich höhere Gefährdung geht von Asbestfaserstäuben aus. Besteht in dem betroffenen Gebäude der Verdacht auf Freisetzung von Asbestfasern, so sind die weiteren Ermittlungen auf der Basis der bekannten Vorgehensweisen, wie sie z. B. in [25] ausführlich beschrieben sind, durchzuführen und ein ggf. notwendiges Sanierungskonzept ist unter Berücksichtigung der „Asbest-Richtlinie“ [22] zu erstellen.

Tabakrauch in Innenraumarbeitsplätzen

Tabakrauch in der Raumluft ist als krebs-erzeugend beim Menschen eingestuft. Arbeitnehmer haben einen Rechtsanspruch auf einen rauchfreien Arbeitsplatz. In § 5 Absatz 1 der Arbeitsstättenverordnung [26] heißt es:

„Der Arbeitgeber hat die erforderlichen Maßnahmen zu treffen, damit die nicht-rauchenden Beschäftigten in Arbeitsstätten wirksam vor den Gesundheitsgefahren durch Tabakrauch geschützt sind.“

Um den vom Gesetzgeber geforderten Nicht-raucherschutz umzusetzen, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Der wirksamste Nicht-raucherschutz ist ein allgemeines Rauchverbot im Gebäude. Nach Umsetzung des Rauchverbotes kann Tabakrauch als Quelle bei der Ermittlung der Luftverunreinigung in Innenräumen vernachlässigt werden.

Zur Belastung mit Tabakrauch an Arbeitsplätzen haben die UV-Träger 2011 einen Report veröffentlicht, in dem Expositionssituationen an Innenraumarbeitsplätzen ausführlich behandelt sind [27].

12.4.7 Phthalate

Phthalate werden nach wie vor in großem Maßstab hergestellt. So beträgt ihre jährliche Produktion in Westeuropa derzeit etwa eine Million Tonnen, wobei ca. 90 % als Weichmacher bei der PVC-Herstellung eingesetzt werden [28]. Im Innenraum können sie in kunststoffhaltigen Bodenbelägen, als Zusatz- oder Hilfsstoffe auch in Baumaterialien wie Beton, Beschichtungen oder Dichtungsmassen sowie in Kondensatoren,

12 Chemische Einwirkungen

Tapeten oder auch Textilien vorkommen. Aufgrund ihrer Eigenschaften als Lösungsvermittler sind Phthalate ferner in Farben, Lacken, Klebstoffen sowie in Kosmetika und Körperpflegeprodukten enthalten.

Sind im Rahmen der VOC-Analytik die Gehalte von Butanol und/oder 2-Ethylhexanol ungewöhnlich hoch, kann dies ein Hinweis auf erhöhte Phthalatkonzentrationen sein, da erstere Stoffe aus den Weichmachern Di-n-butylphthalat (DBP) und Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP) durch Hydrolyse freigesetzt werden können.

Im Innenraum dominiert üblicherweise das DEHP, das im Rahmen diverser Studien in der Luft von Wohnungen im unteren $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -Bereich gefunden wurde [28]. Im Hausstaub von Wohnungen werden üblicherweise Summengerhalte an Phthalaten von bis zu 1000 mg/kg nachgewiesen, wobei neben der Hauptkomponente DEHP verstärkt längerkettige „Ersatz-Phthalate“ wie z. B. Diisononylphthalat vertreten sind [29].

Phthalate als Weichmacher können aufgrund ihrer hormonellen und reproduktionstoxischen Eigenschaften insbesondere ein Problem im Staub von Kindertagesstätten darstellen. So ist dessen durchschnittliche Phthalatbelastung gegenüber dem Wohnungstaub um mehr als das Dreifache erhöht [30]. Quellen sind meist Einrichtungsgegenstände aus Weich-Polyvinylchlorid (PVC), etwa PVC-Fußböden, Vinyltapeten, Turnmatten, Tischdecken aus Plastik oder Möbelpolster aus Kunstleder, wohingegen z. B. die Verwendung der bisher üblichen Phthalate in Kinderspielzeug bereits seit längerer Zeit verboten ist.

Zur Senkung der Phthalatkonzentration hat das Umweltbundesamt (UBA) den Kindertagesstätten empfohlen, auf Weich-PVC zu verzichten. Stattdessen sollten Kindertagesstätten und auch Eltern auf Produkte setzen, die keine der als „besorgniserregend“ gelisteten Weichmacher enthalten [31]. Händler und Vertrieber sind dabei verpflichtet, den Konsumenten auf Nachfrage Auskunft zu erteilen. Eltern und Kitas sollten dieses Recht nutzen. Das UBA hat ein Musterschreiben vorbereitet, mit dem man gezielt beim Handel nachfragen kann [32].

12.4.8 Insektizide

Insektizide, also Mittel zur Bekämpfung von Schadinsekten, kommen zwar vorrangig in der Land- und Forstwirtschaft zum Einsatz, sie werden in großem Maße jedoch auch in Innenräumen für folgende Zwecke eingesetzt:

- als Holz- und Textilschutzmittel (z. B. Permethrin in Wollteppichen)
- zum Schutz vor Stechmücken (Elektroverdampfer, Sprays)
- gegen Schädlingsbefall an Pflanzen
- zur Therapie parasitärer Hauterkrankungen bei Mensch und Tier sowie
- zur Entseuchung bei Schädlingsbefall (z. B. Kakerlaken, Silberfischchen)

Folgende Substanzklassen spielen derzeit bei der Anwendung im Innenraum eine Rolle:

- Pyrethroide

Mehr als die Hälfte aller im Innenraum ausgebrachten Insektizide enthalten Pyrethroide als Wirkstoffe. Sie werden u. a. unter den Namen Permethrin, Cypermethrin, Cyfluthrin, Deltamethrin, Allethrin oder Tetramethrin geführt. Ihre Wirkung auf den Menschen wird in letzter Zeit immer wieder diskutiert. Zielorgan für Pyrethroidwirkungen ist – bei Insekten wie bei Warmblütern – das Nervensystem. Beim Menschen können infolge unsachgemäßer Handhabung akute Vergiftungen auftreten, wobei auch eine Penetration der Stoffe durch die Haut diskutiert wird. Das chronisch-neurotoxische Potenzial wird eher als gering eingeschätzt. Im Gegensatz zum Naturstoffgemisch Pyrethrum sind die Pyrethroide aufgrund ihres Absorptionsverhaltens, ihres niedrigen Dampfdrucks und ihrer hohen Fotostabilität sehr persistent, sodass belastete Innenräume unter Umständen dekontaminiert werden müssen [33].

- Phosphorsäureester

Eine weitere, weit verbreitete Klasse von Insektiziden sind die Phosphorsäureester – auch Organophosphate genannt. Die in Innenräumen dominierenden Vertreter sind Dichlorvos, Chlorpyrifos und Diazinon. Sie sind unter anderem in vielen haushaltsüblichen Insektiziden enthalten, die meist versprüht oder als Pulver ausgebracht werden. Weit verbreitet ist Dichlorvos als Inhaltsstoff von Insektenstrips, da sich diese Substanz infolge ihres relativ

hohen Dampfdrucks gleichmäßig im Raum verteilt. Dieser Wirkstoff wurde mittlerweile aufgrund neuerer Erkenntnisse zu seinen Stoffeigenschaften von der Liste der zugelassenen Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe gestrichen. Alle Phosphorsäureester zeichnen sich durch eine hohe akute Warmblütertoxizität aus. Angriffspunkt ist wie bei den Pyrethroiden das Nervensystem, jedoch erfolgt hier eine Hemmung wichtiger, an der Muskelsteuerung beteiligter Enzyme. Unter anderem wird auch der Abbau eines pyrethroidspaltenden Enzyms gehemmt, was zu einer Wirkungsverstärkung führt, wenn Phosphorsäureester zusammen mit Pyrethroiden angewendet werden.

- Carbamate

Carbamate spielen in Insektizidprodukten außerhalb des Agrarbereichs eher eine untergeordnete Rolle. Ihr Wirkmechanismus gleicht demjenigen der Organophosphate, wenn auch in einer abgeschwächten Ausprägung. Als Hauptvertreter ist Propoxur zu nennen, das meist in Kombination mit Wirkstoffen aus den beiden anderen Kategorien zur Anwendung gelangt.

Allen Insektiziden ist gemeinsam, dass sie auch längere Zeit nach ihrer Ausbringung durch unterschiedliche Prozesse wie Verdampfung, Desorption von Oberflächen oder staubgebunden in die Innenraumluft abgegeben werden. Die Belastungsdauer variiert unter Praxisbedingungen von wenigen Tagen (z. B. Pyrethrum) bis zu mehreren Wochen (Dichlorvos) und Monaten oder länger (Deltamethrin, Permethrin).

12 Chemische Einwirkungen

Da sich viele Insektizide im Staub anreichern, kann die Analytik von abgelagertem Staub wichtige Hinweise auf die im Innenraum ausgebrachten Stoffe und Aufwandmengen liefern. So werden zur Analyse von Pyrethroiden in Innenräumen Luft-, Schwebstaub-, Hausstaub- und Wischproben genommen.

Für Luftproben sind spezielle Filterköpfe aus Polyurethanschaum geeignet, wobei Schwebstaub auf einem vorgeschalteten Glasfaserfilter abgetrennt wird. Hausstaub wird mit konventionellen Staubsaugern gesammelt; zur Untersuchung gelangen dabei ausgewählte Siebfraktionen mit einer oberen Korngröße von 2 mm oder 63 µm. Bei Wischproben wird eine definierte Fläche mithilfe eines Lösungsmittelhaltigen Wischmaterials (meist Watte) abgewischt.

12.4.9 Pentachlorphenol (PCP) und Lindan als Holzschutzmittel

Chemische Holzschutzmittel dienen mit ihren bioziden Wirkstoffen dem präventiven Holzschutz. Dabei unterscheidet man zwischen Fungiziden gegen Holz zerstörende und Holz verfärbende Pilze sowie Insektiziden gegen Holz zerstörende Insekten. Von besonderer Bedeutung für die Luftqualität in Innenräumen, insbesondere aufgrund des Umfangs ihrer Anwendung, ihrer toxischen Wirkung und des Emissionsverhaltens, sind die Holzschutzmittel Pentachlorphenol (PCP) und Lindan.

Pentachlorphenol

PCP wurde aufgrund seines breiten Wirkungsspektrums zur Bekämpfung von Bakterien, Pilzen, Hausschwamm, Algen, Schnecken und Insekten eingesetzt. Bei

den Holzschutzmitteln stand es als Fungizid im Vordergrund. Darüber hinaus wurde PCP in der Textil- und Lederindustrie verwendet, z. B. für Markisen und Zeltstoffe. Seit Ende der 1960er-Jahre bis 1978 war es für den großflächigen Innenanstrich zugelassen. Dabei kam fast ausschließlich technisches, mit Dioxinen und Furanen erheblich verunreinigtes PCP zur Anwendung. Die Verunreinigungen betragen bis zu 0,3 %.

In den alten Bundesländern Deutschlands wurde, nachdem die Anwendung in Innenräumen bereits 1986 untersagt worden war, die Produktion von PCP 1989 verboten [34].

Lindan

Die gleiche Bedeutung wie PCP unter den Fungiziden hatte Lindan unter den insektiziden Holzschutzmitteln. Seit 1983 besteht Lindan zu mindestens 99 % aus dem insektizid wirksamen γ -Hexachlorcyclohexan. Es war das am meisten eingesetzte Insektizid im chemischen Holzschutz, wurde mittlerweile aber weitgehend durch Ersatzstoffe wie Pyrethroide (siehe Abschnitt 12.4.8) verdrängt.

Lindan wurde meist mit dem Wirkstoff PCP (siehe oben) oder auch DDT (Dichlordiphenyltrichlorethan) kombiniert. Das Gemisch aus Lindan und DDT wurde in der ehemaligen DDR unter dem Namen „Hylotox 59“ bis 1988 insbesondere auf Dachböden und z. T. auch in Innenräumen eingesetzt. Restbestände an Hylotoxpräparaten durften noch bis Ende Juni 1991 verbraucht werden. Lindan darf mittlerweile EU-weit seit September 2006 in Innenräumen nicht mehr eingesetzt werden [35].

Da die Wirkstoffe der Holzschutzmittel über viele Jahre aus den behandelten Materialien freigesetzt werden, sind diese ebenso wie ein Großteil der unter 12.4.8 beschriebenen Insektizide in vielen Innenräumen nachweisbar. Zielführend sind hierbei neben Luftprobenahmen auch Untersuchungen der behandelten Materialien und des Hausstaubs.

Ermittlung

Um die Belastung durch Holzschutzmittel zu ermitteln, sind zunächst Zeitpunkt, Art und Menge der Verwendung des Holzschutzmittels festzustellen. In Anlehnung an die PCP-Richtlinie [36] wird dann wie folgt verfahren:

- Ist nach der Ermittlung die Verwendung eines PCP-haltigen Holzschutzmittels auszuschließen, sind keine weiteren Maßnahmen erforderlich.
- Bei begründetem Verdacht auf Verwendung von PCP-haltigen Holzschutzmitteln wird in Abweichung von der PCP-Richtlinie zunächst der Quotient aus der behandelten Holzoberfläche und dem Raumvolumen bestimmt. Weitere Schritte sind nur dann erforderlich, wenn dieser Quotient $> 0,2 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ist.
- Bei Überschreitung des Quotienten ist eine Staubanalyse von Frischstaub oder Altstaub erforderlich. Der zur Staubanalyse gesammelte sogenannte Frischstaub, der ca. eine Woche alt ist, wird mit Staubsaugern aufgenommen. Altstaub, d. h., länger abgelagerter Staub, wie er sich z. B. hinter Verkleidungen u. Ä. befinden kann, wird lediglich passiv gesammelt, z. B. mit Pinsel und Spatel.

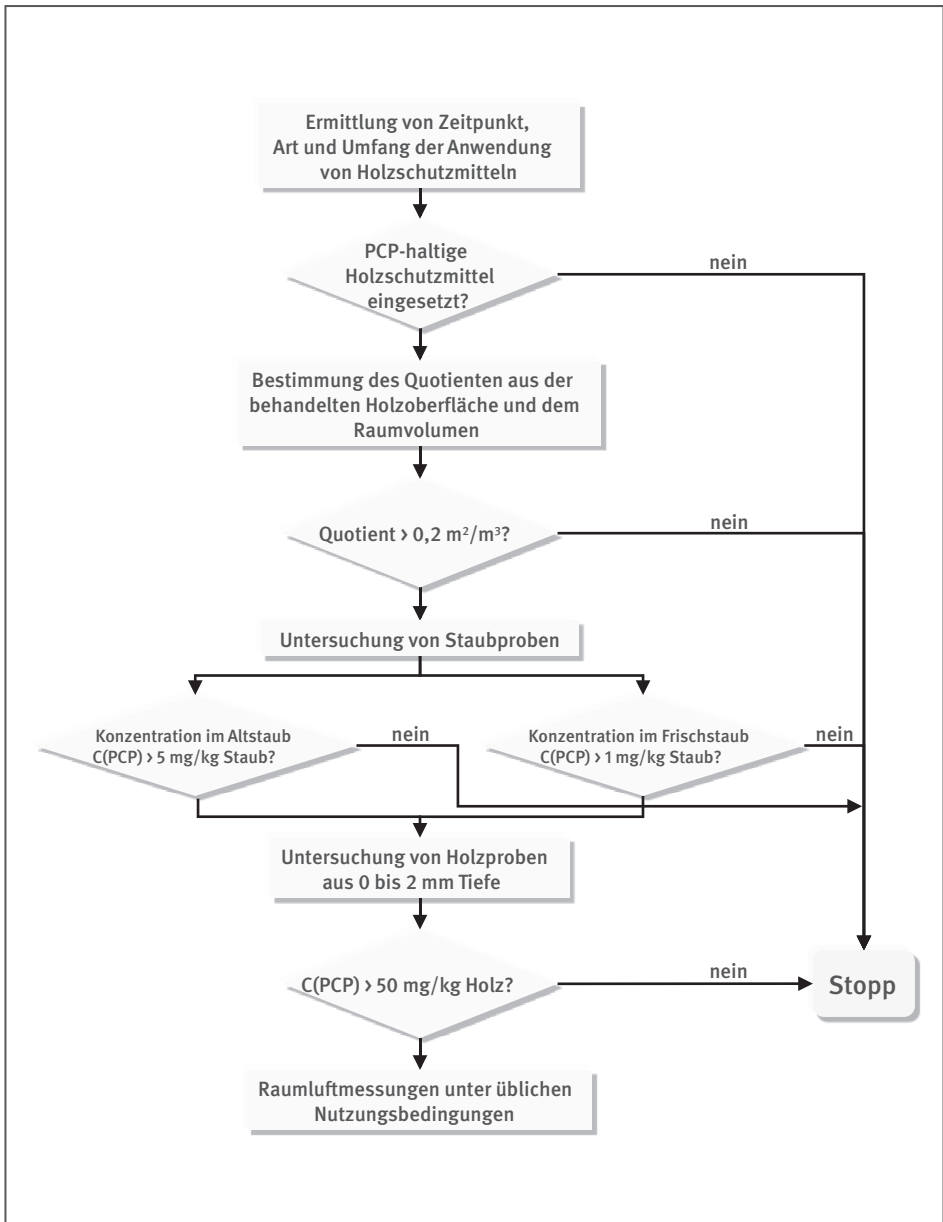
- Ergeben sich Konzentrationen von mehr als 1 mg PCP/kg Frischstaub oder mehr als 5 mg PCP/kg Altstaub, entnimmt man im nächsten Schritt Materialproben aus 0 bis 2 mm Tiefe des in Betracht kommenden Holzes. Bei den früher üblichen Verfahren des Holzschutzes war PCP im Wesentlichen nur im Randbereich des Holzes zu finden.
- Ergibt sich hierbei ein Wert von mehr als 50 mg PCP/kg Holz, so ist das Jahresmittel der Raumluftbelastung zu ermitteln. Eine Sanierung wird nach der PCP-Richtlinie dann für erforderlich gehalten, wenn die Konzentration im Jahresmittel mehr als $1 \mu\text{g PCP/m}^3$ Luft beträgt.

Die einzelnen Schritte sind in Abbildung 29 nochmals dargestellt. Ein analoges Vorgehen kann auch für Lindan erfolgen.

Für den Sonderfall, dass sich Personen über einen längeren Zeitraum regelmäßig mehr als acht Stunden am Tag in Innenräumen aufhalten, in denen nutzungsbedingt auch Expositionen über Staub und Lebensmittel etc. zu erwarten sind – z. B. Kindertagesstätten oder Heime –, ist weiter zu prüfen, ob die im Jahresmittel zu erwartende Raumluftbelastung über dem Sanierungszielwert von $0,1 \mu\text{g PCP/m}^3$ Luft liegt [37]. Bei Einhaltung dieses Wertes ist nicht von einer Gesundheitsgefährdung auszugehen. Bei Raumluftbelastungen zwischen $0,1$ und $1,0 \mu\text{g PCP/m}^3$ Luft sind Blut- und Urinuntersuchungen zur Entscheidung heranzuziehen [37]. Zur weiteren Vorgehensweise sei auf die PCP-Richtlinie [36] verwiesen.

12 Chemische Einwirkungen

Abbildung 29:
Ablaufschema zur Ermittlung von PCP-Belastungen durch Holzschutzmittel im Innenraum
(in Anlehnung an die PCP-Richtlinie [36])



12.4.10 Polychlorierte Biphenyle (PCB)

Seit etwa 1950 wurden PCB außer in Kondensatoren von Leuchtstoffleuchten und anderen geschlossenen Anwendungen in großem Umfang auch als Weichmacher in einer Reihe offener Anwendungen eingesetzt. Eine solche offene Anwendung von PCB ist insbesondere bei Gebäuden zu befürchten, die bis zum Ende der 1970er-Jahre erbaut wurden. Nach dem derzeitigen Kenntnisstand ist eine offene Anwendung von PCB bei Gebäuden, die nach 1980 erbaut wurden, nicht zu erwarten.

Offen angewendete PCB können insbesondere in dauerelastischen Fugendichtungsmassen enthalten sein als

- Gebäudetrennfugen,
- Bewegungsfugen zwischen Betonfertigteilelementen,
- Anschlussfugen (Fenster, Türzargen),
- Glasanschlussfugen an Fenstern,
- Fugen im Sanitärbereich (selten).

Darüber hinaus können

- Anstrichstoffe,
- Klebstoffe,
- Deckenplatten (als Weichmacher oder Flammenschutzmittel),
- Kunststoffe und
- Kabelummantelungen

PCB enthalten.

Eine der häufigsten Anwendungen in diesem Bereich war die Verwendung als Weichmacher in Fugendichtungsmassen auf der Basis eines Polysulfidkunstharzes. Als Weichmacher wurden Produkte verwendet, die 30 bis 60 Gew.-% Chlor enthielten. Diese Weichmacher wurden z. B. unter den Handelsnamen Clophen, Arodor, Kanechlor und Fenchlor in den Verkehr gebracht.

Die bis etwa 1975 in offenen Anwendungen eingesetzten PCB-haltigen Produkte können bis heute zu PCB-Raumluftbelastungen führen, deren Höhe von der Art der PCB, von deren Menge im jeweiligen Produkt, von der Art des PCB-kontaminierten Materials, der Menge und Beschaffenheit PCB-haltiger Produkte im Raum, den Klimabedingungen des Raumes, den Oberflächentemperaturen der Bauten und den Witterungsbedingungen abhängt. Im Laufe der Zeit können in solchen Räumen auch nicht PCB-haltige Bauteile oder Gegenstände durch PCB-haltige Stoffe kontaminiert werden und ihrerseits wieder zur Raumluftverunreinigung beitragen. Daher muss zwischen Primärquellen und Sekundärquellen unterschieden werden.

„Primärquellen sind Produkte, denen die PCB gezielt zur Veränderung der Produkteigenschaften zugesetzt wurden. Solche Produkte, z. B. Fugendichtungsmassen oder Beschichtungen, enthalten in der Regel mehr als 0,1 Gewichtsprozent PCB und können nach den bisher vorliegenden Erfahrungen deutlich erhöhte PCB-Raumluftbelastungen verursachen. Neben dem PCB-Gehalt besitzen das Verhältnis von kontaminierter Oberfläche zu Raumvolumen sowie die Art des PCB-Gemisches einen entscheidenden Einfluss auf die resultierende Raumluftbelastung“ [38].

12 Chemische Einwirkungen

Mögliche Primärquellen für PCB in der Innenraumluft sind nach VDI 4300 Blatt 2 [39]

- defekte Kondensatoren, z. B. in Leuchten,
- defekte Transformatoren,
- Farb- und Lackanstriche mit Flammschutzmitteln,
- in Kunststoff verwendete Weichmacher, z. B. Dichtungsmaterial für Dehnungsfugen im Betonfertigbau,
- im Betonbau verwendetes Schalöl sowie
- Staubeintrag von Emittenten und Altlasten.

„Sekundärquellen sind Bauteile (z. B. Wände, Decken) oder Gegenstände (z. B. Mobiliar oder Ausstattungsgegenstände wie Teppichböden oder Gardinen), die PCB meist über längere Zeit aus der belasteten Raumluft aufgenommen haben. Sie vermögen die an der Oberfläche angelagerten PCB nach und nach wieder in die Raumluft freizusetzen. Großflächige Sekundärkontaminationen können – selbst nach vollständigem Entfernen der Primärquellen – erhöhte PCB-Raumluftkonzentrationen aufrechterhalten“ [38].

Nicht ausreichend tief entfernte Primärquellen oder nicht ausreichend entfernte Sekundärquellen können noch Jahre nach der Sanierung zu erhöhten Raumluftbelastungen führen.

Ermittlung

Ein erster Schritt für die Ermittlung möglicher PCB-Quellen ist die Überprüfung des Alters des möglicherweise PCB-haltigen Bauproduktes oder Elektronikbauteils (siehe hierzu Grunderhebungsbogen G2 im Anhang III). Dabei kann in der Regel von nachstehenden Angaben ausgegangen werden:

- seit 1978 keine offene Anwendung mehr (Inkrafttreten der PCB-Richtlinie)
- seit 1981 kein PCB in Leuchtenkondensatoren und anderen Kondensatoren mehr
- seit 1983 keine Herstellung mehr
- seit 1989 generelles Verbot (PCB-Verbotsverordnung [40])

Lassen sich PCB-Belastungen in Gebäuden dadurch nicht ausschließen, sollte methodisch wie folgt weiter vorgegangen werden:

- Begehung durch sachkundige Personen, repräsentative Probenahme und Analyse verdächtiger Materialien (einschließlich exakter Dokumentation)
- repräsentative Raumluftprobenahme (einschließlich Begründung und Dokumentation der Probenahmestrategie)
- Erstellung eines Schadstoffkatasters (Materialproben, Schichtenprofile, Luftproben) als Grundlage für die Erstellung eines Sanierungskonzeptes sowie zur Ermittlung der Belastungssituation des Gesamtgebäudes

Die so gewonnenen Ergebnisse sind anschließend zu bewerten.

Bewertung der PCB-Belastung und der Dringlichkeit von Sanierungsmaßnahmen

Das gesundheitliche Risiko für die Nutzer von PCB-belasteten Räumen steigt mit der PCB-Konzentration in der Raumluft, in Abhängigkeit von der Nutzungsart und der Aufenthaltsdauer im Raum.

Die Dringlichkeit einer Sanierung wird anhand der durch das frühere Bundesgesundheitsamt und die Arbeitsgemeinschaft der Leitenden Medizinalbeamten der Länder (AGLMB) durchgeführten toxikologischen Bewertung von PCB in der Innenraumluft dauerhaft genutzter Räume [38] bewertet:

- „Raumluftkonzentrationen unter 300 ng PCB/m³ Luft sind als langfristig tolerabel anzusehen (Vorsorgewert).
- Bei Raumluftkonzentrationen zwischen 300 und 3 000 ng PCB/m³ Luft ist die Quelle der Raumluftverunreinigung aufzuspüren und unter Beachtung der Verhältnismäßigkeit mittelfristig zu beseitigen. Zwischenzeitlich ist durch regelmäßiges

Lüften sowie gründliche Reinigung und Entstaubung der Räume eine Verminderung der PCB-Konzentration anzustreben. Der Zielwert liegt bei weniger als 300 ng PCB/m³ Luft (Sanierungsleitwert).

- Bei Raumluftkonzentrationen oberhalb von 3 000 ng PCB/m³ Luft sind akute Gesundheitsgefahren nicht auszuschließen (Interventionswert für Sofortmaßnahmen). Bei entsprechenden Befunden sollen unverzüglich Kontrollanalysen durchgeführt werden. Bei Bestätigung des Wertes sind in Abhängigkeit von der Belastung zur Vermeidung gesundheitlicher Risiken in diesen Räumen unverzüglich Maßnahmen zur Verringerung der Raumluftkonzentrationen von PCB zu ergreifen. Der Zielwert liegt auch hier bei weniger als 300 ng PCB/m³ Luft.“

Obwohl gesicherte eindeutige Zusammenhänge zwischen den PCB-Gehalten der Dichtungsmaterialien und der PCB-Raumluftkonzentration bisher nicht abgeleitet werden konnten, lässt sich aufgrund von Literaturangaben eine Grobabschätzung der PCB-Raumluftkonzentration vornehmen (siehe Tabelle 32) [41].

Tabelle 32: Orientierungswerte für PCB-Raumluftkonzentrationen in Abhängigkeit vom PCB-Gehalt im Dichtungsmaterial [41]

Clophentyp ¹⁾	Maximale PCB-Konzentration im Dichtungsmaterial in %	PCB-Raumluftkonzentration in µg/m ³
A 40	maximal 21	ca. 0,2 bis 6,0
A 50	maximal 35	ca. 0,2 bis 2,5
A 60	maximal 47	max. 0,55

¹⁾ technisches PCB-Gemisch der Fa. Bayer

12 Chemische Einwirkungen

Darüber hinaus ist bei großflächigen Primärquellen wie z. B. Farbanstrichen, Brandschutzanstrichen oder Deckenplatten, die oftmals ein hochchloriertes PCB-Gemisch (Chlophen A 50/60) enthalten, auch die Direktaufnahme über die Haut und oral durch kontaminierte Partikel aus Abrieb zu beachten. Mit dem PCB-Gehalt im Material steigt gleichzeitig in der Regel auch der Dioxin- und Furangehalt [38].

Empfehlungen für die Sanierung von Gebäuden

Eine Sanierung PCB-belasteter Gebäude hat zum Ziel, die Raumluftbelastung durch PCB-haltige Produkte dauerhaft zu senken. Dies kann z. B. durch Entfernen, Abtrennen oder Beschichten PCB-haltiger Produkte geschehen. Die Beschichtung von Primärquellen hat sich bislang jedoch nicht bewährt.

Sanierung von Primärquellen

Für eine dauerhafte Sanierung von PCB-belasteten Räumen kommt in der Regel nur das Entfernen der Primärquellen wie z. B. Dichtungsmassen, Anstriche oder Deckenplatten in Betracht. Die im Folgenden aufgeführten Verfahren haben sich in der Praxis bewährt. Damit sind andere Verfahren, die zu gleichwertigen Ergebnissen führen, nicht ausgeschlossen. Nicht geeignet ist allerdings die Heißbehandlung PCB-haltiger Materialien, z. B. durch Flammstrahlen, sowie die Anwendung von Verfahren, bei denen eine Erhitzung PCB-haltiger Materialien auf $> 100\text{ °C}$ auftritt.

Dauerelastische Dichtungsmassen werden ausschließlich mit staubarm arbeitenden Werkzeugen oder von Hand entfernt und in

für die Entsorgung geeigneten Behältern gesammelt. Hinterfüllmaterial soll entfernt werden. Anfallender Staub wird am Entstehungsort mit einem geeigneten Staubsauger, z. B. der Staubklasse H, aufgenommen. Die Fugenflanken sollten soweit möglich unter Berücksichtigung der statischen Erfordernisse entsprechend der PCB-Eindringtiefe entfernt werden. Sie sind ebenso wie Dichtungsmassen von Hand oder mit staubarm arbeitenden Werkzeugen und Techniken unter ständiger Absaugung oder in geschlossenen Verfahren zu entfernen. Ist ein Entfernen der Fugenflanken nicht möglich, sind diese vollständig von allen anhaftenden Dichtungsmassenresten zu befreien und mit geeigneten diffusionshemmenden Beschichtungen zu versehen. Nach Beschichtung der Anschlussbereiche und Einbringen von neuem Hinterfüllmaterial wird neu verfugt.

Großflächige Primärquellen wie Anstriche oder Beschichtungen sind staubfrei unter ständiger Absaugung oder in geschlossenen Systemen zu entfernen. Hinsichtlich ggf. verbliebener Restkontaminationen ist wie bei der Behandlung von Sekundärquellen beschrieben zu verfahren.

Demontierbare Primärquellen wie Deckenplatten sind nach vorheriger Reinigung ohne Freisetzung von Stäuben, ggf. unter Absaugung, auszubauen.

Sanierung von Sekundärquellen

Lässt sich durch die Maßnahmen bei der Sanierung von Primärquellen die PCB-Raumluftkonzentration nicht unter den Sanierungsleitwert von 300 ng PCB/m^3 Luft absenken, ist darüber hinaus die

Sanierung von Sekundärquellen erforderlich.

Die Sanierung von Sekundärquellen sollte wie bei Primärquellen durch Entfernen erfolgen. Wird diese Methode nicht gewählt, lassen sich PCB-Raumluftbelastungen aus kontaminierten Bauteilen auch durch staubarmes Abtragen der Oberflächen dieser Teile unter ständiger Absaugung oder in geschlossenen Systemen, z. B. durch Abbeizen von Farbbeschichtungen und Beschichtungen der Oberflächen, hinreichend vermindern. Hierfür sind nach derzeitigem Kenntnissstand z. B. diffusionshemmende Isoliertapeten, hoch abgebundene Latexdispersionsfarben, insbesondere solche auf Acrylatbasis, oder zweikomponentige Epoxidharz- und Polyurethanbeschichtungen geeignet.

Sekundärquellen können aber auch luftdicht gegen die Raumluft abgeschottet werden, z. B. durch dauerhaft dichte Verkleidungen. Diese müssen jedoch für eine spätere getrennte Entsorgung gekennzeichnet und dokumentiert werden. Ein derartiges Vorgehen erfordert dauerhaft dichte Abschlüsse auch gegenüber angrenzenden Bauteilen und bedarf hinsichtlich seiner bauphysikalischen und raumklimatischen Folgewirkungen sorgfältiger Prüfung.

Kontaminierte Gegenstände wie Mobiliar, Teppiche oder Gardinen sollten gründlich gereinigt und vor Wiederverwendung hinsichtlich ihrer Restkontamination überprüft werden.

Der Langzeiterfolg dieser Maßnahmen ist durch Messungen zu belegen.

Reinigung

Nach Abschluss der Sanierung wird der gesamte Sanierungsbereich einer Feinreinigung unterzogen, wobei zunächst sämtliche Oberflächen von Bauteilen und Einrichtungen mit einem geeigneten Staubsauger gereinigt werden. Im Anschluss daran erfolgt eine Feuchtreinigung sämtlicher dafür infragekommender Flächen sowie des weiterzuverwendenden Mobiliars. Die Reinigung findet manuell mit handelsüblichen Reinigungsmitteln statt. Hochdruckreiniger eignen sich nicht, da die Reinigungsflüssigkeit nicht vollständig erfasst werden kann.

Erfolgskontrolle

Eine Messung der PCB-Konzentration in der Raumluft nach einer in der PCB-Richtlinie festgelegten Messstrategie belegt den Erfolg der Sanierung.

12.4.11 Literatur

- [1] *Eickmann, U.*: Berechnungsverfahren und Modellbildung in der Arbeitsbereichsanalyse. BIA-Report 3/01. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 2001
- [2] Bekanntmachung des Umweltbundesamtes: Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz. 51 (2008) Nr. 11, S. 1358-1369
- [3] *Witthauer, J.; Horn, H.; Bischof, W.*: Raumluftqualität. C. F. Müller, Karlsruhe 1993

12 Chemische Einwirkungen

- [4] Ventilation for acceptable indoor air quality. Hrsg.: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) (1989) Vol. 62
- [5] *Neumann, H.-D.*: Luftqualität und Lüftung in Schulen. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 71 (2011) Nr. 11/12, S. 495-497
- [6] Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa. ABl. EG (2008) Nr. L 152, S. 1-44
- [7] IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol. Vol. 88. Hrsg.: International Agency for Research on Cancer (IARC), Lyon 2006
<http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol88/index.php>
- [8] *Cogliano, V. J.; Grosse, Y.; Baan, R. A.; Straif, K.; Secretan, M. B.; El Ghissassi, F.*: Meeting Report: summary of IARC Monographs on Formaldehyde, 2-Butoxyethanol, and 1-tert-Butoxy-2-propanol. Environm. Health Perspect. 113 (2005) Nr. 9, S. 1205-1208
- [9] *Schulte, A.; Bernauer, U.; Madle, S.; Mielke, H.; Herbst, U.; Richter-Reichhelm, H.-B.; Appel, K.-E. Gundert-Remy, U.*: Assessment of the carcinogenicity of formaldehyde. BfR Wissenschaft. Hrsg.: Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), Berlin 2006
www.bfr.bund.de/cm/350/assessment_of_the_carcinogenicity_of_formaledehyde.pdf
- [10] Empfehlung des Umweltbundesamtes. Krebs erzeugende Wirkung von Formaldehyd – Änderung des Richtwertes für die Innenraumluft von 0,1 ppm nicht erforderlich. Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz 49 (2006) S. 1169
www.umweltbundesamt.de/gesundheits/innenraumhygiene/Formaldehyd.pdf
- [11] WHO Air Quality Guidelines for Europe. 2. Aufl. Hrsg.: Weltgesundheitsorganisation (WHO), Genf 2001
- [12] *Agar, J. P.; Gording, D. A.; Hartley, M. R.; Hope, L. A. E.; Michell, R. M.; Powell, C. B.*: Air Quality Monitoring Report – Richmond Primary School Environment Protection Authority. Adelaide, Juli 2001, S. 10
- [13] Indoor air quality – organic pollutants. Euro Reports and Studies 111. Hrsg.: Weltgesundheitsorganisation (WHO), Kopenhagen 1989
- [14] Bekanntmachung des Umweltbundesamtes: Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten. Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz 50 (2007) Nr. 7, S. 990-1005
www.umweltbundesamt.de/gesundheits/innenraumhygiene/innenraumluftkontaminationen.pdf

- [15] Richtlinie 2002/95/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 2003 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten. ABl. EG (2003) Nr. L 37, S. 19-23; zul. geändert. durch Beschluss 2011/534/EU, ABl. EG (2011) Nr. L 234, S. 44-45
- [16] *Thullner, I.; Buchwald, K.-E.; Wegscheider, W.; Hohenberger, L.:* Quecksilberemissionen bei der Sammlung und Entsorgung von Leuchtmitteln. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 73 (2013) Nr. 1/2, S. 14-24
- [17] Energiesparlampen in der Diskussion. Hrsg.: Umweltbundesamt (UBA), Dessau-Roßlau 2011
- [18] Bekanntmachung des Umweltbundesamtes: Gesundheitliche Bedeutung von Feinstaub in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz 51 (2008) Nr. 11, S. 1370-1378
www.umweltbundesamt.de/gesundheitspublikationen/ad-hoc/feinstaub_2008.pdf
- [19] *Nilson, A.; Kihlström, E.; Lagesson, V.; Wessen, B.; Szponar, B.; Larsson, L.; Tagesson, C.:* Microorganisms and Volatile Organic Compounds in Airborne Dust from Damp Residences. In: Indoor Air 2002 – Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Monterey, 30. Juni bis 5. Juli 2002, Vol. IV, S. 713-718
- [20] *Mattenklott, M.; Höfert, N.:* Stäube an Arbeitsplätzen und in der Umwelt – Vergleich der Begriffsbestimmungen. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 69 (2009) Nr. 4, S. 127-129
- [21] Richtlinie 2008/50/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa. ABl. EG (2008) Nr. L 152, S. 1-44
- [22] Richtlinie für die Bewertung und Sanierung schwach gebundener Asbestprodukte in Gebäuden (Asbest-Richtlinie) (01.96). MBl. NRW (1997) Nr. 51, S. 1067-1084
- [23] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Asbest: Abbruch-, Sanierungs- oder Instandhaltungsarbeiten (TRGS 519). Ausg. 1/2007. GMBL. (2007) Nr. 6/7, S. 122-163; ber. GMBL. (2007) Nr. 18, S. 398
- [24] *Walker, G.; Ostendorp, G.; Heinzow, B.:* Künstliche Mineralfasern (KMF) und Feinstaub in Schulen und Kindergärten. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 72 (2012) Nr. 3, S. 89-93
- [25] *Hempfling, R.; Stubenrauch, S.:* Schadstoffe in Gebäuden. Blottner, Taunusstein 1999
- [26] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 12. August 2004. BGBl. (2004), S. 2179-2189; zul. geändert. BGBl. (2010), S. 960-967

12 Chemische Einwirkungen

- [27] Breuer, D.; Kühn, R.; Weigl, M.; Eickmann, U.; Weiß, T.; Blome, H.; von der Heyden, T.; Schneider, W.: Passivrauchen am Arbeitsplatz. DGUV-UVT-Report 1/2011. 2. Aufl. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2011
- [28] Fromme, H.; Körner, W.; Gruber, L.; Heitmann, D.; Schlummer, M.; Völkel, W.; Bolte, G.: Exposition der Bevölkerung gegenüber Phthalaten – Ergebnisse der INES-Studie. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 70 (2010) Nr. 3, S. 77-81
- [29] Nagorka, R.; Conrad, A.; Scheller, C.; Süßenbach, B.; Moriske, H.J.: Weichmacher und Flammschutzmittel im Hausstaub – Teil 1: Phthalate (A). Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 70 (2010) Nr. 3, S. 70-76
- [30] Viele Kitas stark mit Weichmachern belastet – BUND fordert Verbot der Schadstoffe im Umfeld von Kindern. Hrsg.: Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND), Berlin 2011
http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/pdfs/chemie/20110321_chemie_weichmacher_kitas_hintergrund.pdf
- [31] Plastikweichmacher in Kindertagesstätten. Presseinformation (2011) Nr. 17, Umweltbundesamt (UBA), Berlin 2011
- [32] <http://www.reach-info.de/dokumente/musterbrief.doc>
- [33] Winter, G.; Hoffmann, G.: Zur Dekontamination von insektizidbelasteten Flächen nach Entwesungen in Innenräumen. Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz 43 (2000) Nr. 9, S. 698-714
- [34] Pentachlorphenolverbotsverordnung (PCP-V) vom 12. Dezember 1989. BGBl. 1989, S. 2235-2237
- [35] Verordnung (EG) Nr. 850/2004 des europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über persistente organische Schadstoffe und zur Änderung der Richtlinie 79/117/EWG. ABl. EG (2004) Nr. L 229, S. 5-22
- [36] Richtlinie für die Bewertung und Sanierung Pentachlorphenol (PCP)-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden (PCP-Richtlinie). MBl. NW (1997), S. 1058-1066
- [37] Richtwerte für die Innenraumluft: Pentachlorphenol. Bundesgesundheitsbl. (1997) Nr. 7, S. 234-236
- [38] Richtlinie für die Bewertung und Sanierung PCB-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden (PCB-Richtlinie NRW). MBl. NRW (1996), S. 1260-1268
- [39] VDI 4300 Blatt 2: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Meßstrategie für polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH), polychlorierte Dibenzo-p-dioxine (PCDD), polychlorierte Dibenzofurane (PCDF) und polychlorierte Biphenyle (PCB) (12.97). Beuth, Berlin 1997

[40] Verordnung zum Verbot von polychlorierten Biphenylen, polychlorierten Terphenylen und zur Beschränkung von Vinylchlorid (PCB-, PCT-, VC-Verbotsverordnung) vom 18.07.1989. BGBl. I (1989) S. 1482-1485

[41] *Balfanz, E.; Fuchs, J.; Kieper, H.*: Innenraumlufthuntersuchungen auf polychlorierte Biphenyle (PCB) im Zusammenhang mit dauerelastischen Dichtungsmassen. In: Schadstoffbelastung in Innenräumen. S. 205-212. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, Düsseldorf 1992

13 Biologische Einwirkungen

C. Deininger, Würzburg

E. Danhamer, Mannheim

A. Kolk, Sankt Augustin

I. Warfolomeow, Mainz

13.1 Einführung

Gesundheitliche Probleme wie z. B. Augen-tränen, Nies- und Hustenreiz, Unwohlsein oder auch unangenehme Gerüche werden oftmals mit dem Vorhandensein von Organismen wie z. B. Schimmelpilzen, Bakterien, Milben oder deren Stoffwechsel- und Ausscheidungsprodukten in Verbindung gebracht. Häufig wird dabei eine mikrobiologische Belastung der Raumluft auf den Betrieb von Klimaanlage oder erkennbare oder vermutete Feuchteschäden im Gebäude zurückgeführt und zur Aufklärung der Ursache eine Messung gefordert.

Zur Verbesserung der Arbeitsplatzsituation notwendige Maßnahmen können jedoch oftmals bereits nach einer Begehung des Arbeitsplatzes durch Sachverständige und Beseitigung der Ursachen auch ohne Messungen eingeleitet werden. Ergibt sich dennoch die Notwendigkeit von Messungen, muss eine an die Fragestellung angepasste Messplanung erfolgen.

Dieses Kapitel bündelt den Kenntnisstand der Unfallversicherungsträger zu Ermittlungen im Zusammenhang mit Innenraumproblemen durch „biologische Einwirkungen“. Es werden beispielhafte Empfehlungen zur Vorgehensweise bei der Beurteilung von

Innenraumarbeitsplätzen mit Blick auf das Vorkommen von biologischen Agenzien ausgesprochen. Der Schwerpunkt liegt auf Untersuchungsergebnissen und Erfahrungen aus messtechnischen Ermittlungen bei Feuchteproblemen durch bauliche Mängel und vorangegangene Wasserschäden sowie hygienischen Untersuchungen an raumlufttechnischen Anlagen [1] (siehe hierzu auch Abschnitt 6.2 Raumlufttechnische Anlagen).

13.2 Vorkommen von biologischen Agenzien

Biologische Agenzien kommen überall in der Umwelt vor. Sie gewährleisten als Bestandteil der menschlichen Haut- und Schleimhautflora einen natürlichen Schutz vor Krankheitserregern. Mikroorganismen an Innenraumarbeitsplätzen werden auch vom Menschen selbst, z. B. beim Ausatmen oder beim Abschilfern von Hautschuppen, in die Umgebung abgegeben. Diese natürliche Keimemission, die auch potenziell pathogene Mikroorganismen enthalten kann oder auch die Ausscheidung von pathogenen Mikroorganismen durch kranke Personen, ist jedoch nicht Gegenstand dieser Vorgehensempfehlung. Aufgrund der bislang nicht eindeutig gesicherten wissenschaftlichen Datenlage werden auch keine Ein-

13 Biologische Einwirkungen

wirkungen von mikrobiologischen Stoffwechselprodukten, z. B. MVOCs und Mykotoxine, bzw. Zellbestandteilen wie Endotoxinen berücksichtigt.

Mögliche Ursachen und Quellen für biologische Agenzien an Innenraumarbeitsplätzen sind in Tabelle 33 aufgelistet.

Bei Arbeitsplatzbelastungen durch biologische Einwirkungen in Innenräumen kommt den raumluftechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) häufig eine besondere Bedeutung zu. In Tabelle 34 sind mögliche Quellen für biologische Agenzien bei RLT-Anlagen und daraus entstehende hygienische Probleme zusammengefasst. Atemwegserkrankungen treten aufgrund verbesserter Hygienevorschriften für die Wartung von RLT-Anlagen [2] heutzutage nur noch selten auf.

Tabelle 33:
Beispiele für eine mögliche Herkunft von biologischen Agenzien an Innenraumarbeitsplätzen

Ursache/Quelle	Folgen
Außenluft	
Landwirtschaftliche Betriebe, Kompostier-/ Wertstoffsortieranlagen, Abwassertechnische Anlagen in unmittelbarer Nachbarschaft	Eintrag von Mikroorganismen aus der Umwelt z. B. durch freie Lüftung über Fenster, Türen oder die Außenluftansaugung von RLT-Anlagen
Innenraumluf	
unzureichend gepflegte Blumentöpfe, Hydrokulturen; Überlagerung von Biomüll	Besiedlung durch Mikroorganismen (z. B. fauliges Wasser in Blumentöpfen), insbesondere Ansiedlung von Schimmelpilzen
Tauwasserniederschlag aufgrund von Wärmebrücken; Bauschäden z. B. durch Wassereintritt oder aufgrund der Baukonstruktion	bei entsprechender Feuchtigkeit: Besiedlung von Tapeten, Papier, Pappe, Trockenbauwänden, Dämmstoffen, Mauerwerk, Holz, Fugen mit Mikroorganismen, vor allem Schimmelpilzen
unzureichender Abtransport von Feuchtigkeit bei fehlerhafter Lüftung	siehe Tauwasserniederschlag
Verunreinigungen wie z. B. verschüttete Lebensmittel oder Haare, Hautschuppen im Staub	Wachstumsgrundlage für verschiedene Mikroorganismen an Ort und Stelle; siehe Tauwasserniederschlag zusätzlich Besiedlung durch Hausstaubmilben insbesondere von gepolsterten Bürostühlen oder Teppichen

Tabelle 34:
Mögliche Quellen von biologischen Agenzien an Innenraumarbeitsplätzen durch fehlerhaft installierte bzw. betriebene raumlufttechnische Anlagen [2]

Quelle	Folgen
Außenluftansaugung Ansaug- und Umluftfilter fehlen Absperrgitter vor Ansaugöffnung fehlen	Ansaugen von Mikroorganismen und Stäuben aus Quellen in der Umwelt wie z. B. landwirtschaftlichen Betrieben, Anlagen zur Aufbereitung von Abfall oder Abwasser oder zur Kompostierung; Kurzschluss von Nebeln aus Kühltürmen und Rückkühlwerken; Zugang für Tiere, Tierkot in Außenluftleitungen
Fortluftaustritt	Wiederansaugen von belasteter Abluft; Kurzschluss zwischen Außenluft und Fortluft
Luftbefeuchter Abscheidebleche Ventilatoren	Besiedlung des Umlaufwassers mit Mikroorganismen, Bildung von Biofilmen auf geeigneten Oberflächen
Luftkühler Wärmerückgewinner	Besiedlung des Kondenswassers mit Mikroorganismen; Bildung von Biofilmen auf geeigneten Oberflächen
Luftleitungen	Besiedlung von Staubablagerungen und Kondenswasser mit Mikroorganismen
Luftfilter	hoher Staubanfall, Eintrag von Mikroorganismen oder mikrobiellen Bestandteilen in die Raumluft
Wartung und Instandsetzung	Staubfreisetzung, Eintrag von Mikroorganismen oder mikrobiellen Bestandteilen in die Raumluft bei unsachgemäßer Ausführung

13.3 Aufnahme und Wirkung von biologischen Agenzien

Für eine Exposition gegenüber biologischen Agenzien an Innenraumarbeitsplätzen ist vorrangig eine Aufnahme über die Atemwege von Bedeutung. Andere Aufnahmewege werden in diesem Abschnitt nicht berücksichtigt. Aufgrund ihrer geringen Größe können die meisten biologischen Agenzien eingeatmet werden. Dies gilt insbesondere für die

Hauptkomponenten mikrobieller Aerosole wie Luftsporen von Schimmelpilzen und für Bakterienzellen bzw. Bruchstücke der Bakterienzellwand, für die größtenteils auch Lungengängigkeit vorausgesetzt werden kann. In Tabelle 35 (siehe Seite 178) sind die Größenverhältnisse von biologischen Agenzien und verschiedenen Partikeln biologischer Herkunft angegeben, die Bestandteile eines einatembaren Bioaerosols sein können.

13 Biologische Einwirkungen

Tabelle 35:
Größenordnung von möglichen Bioaerosolbestandteilen (nach [3])

Biologischer Partikel	Aerodynamischer Durchmesser in μm
Viren	0,02 bis 0,03
Actinomyceten, Luftsporen	0,5 bis 1,5
Bakterien	0,2 bis 10
Schimmelpilze, Luftsporen	2 bis 8
Moossporen	5 bis 30
Pilzzellen, Pilzfäden	10
Amöben	10 bis 40
Milben, Kot-, Körperpartikel	10 bis 40
Farnsporen	20 bis 60
Pollen	5 bis 250
Mikrobiologische Zellwandbestandteile (z. B. Endotoxine, Glucane)	deutlich kleiner als die jeweiligen Organismen

Zum Vergleich:
Partikel $> 100 \mu\text{m}$ inhalierbar, $> 10 \mu\text{m}$ tracheo-bronchialgängig, $> 4 \mu\text{m}$ alveolengängig (Johannesburger Konvention)

Die Zusammenhänge zwischen dem Vorhandensein biologischer Agenzien an Innenraumarbeitsplätzen und der Entstehung von Erkrankungen sind vielfach noch nicht geklärt.

Nach derzeitigem Kenntnisstand wird jedoch angenommen, dass vor allem Allergiker und Personen mit chronischen Atemwegs- und Hauterkrankungen durch den Aufenthalt in feuchten und/oder schimmelbelasteten Innenräumen gefährdet sind. Von den schimmelpilzassoziierten Gesundheitsstörungen haben allergische Reaktionen und Schleimhautirritationen von Augen und Atemwegen wahrscheinlich die größte Bedeutung [4].

Allergische Wirkungen

Ob ein Mensch eine Allergie entwickelt, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Dies sind

- die allergologische Relevanz, d. h. die Stärke des sensibilisierenden Potenzials des Allergens,
- die individuelle Veranlagung des Menschen,
- die Höhe der Allergenkonzentration in der Atemluft,
- die Dauer und Häufigkeit der Exposition sowie
- zusätzliche verstärkende Bedingungen wie das gleichzeitige Vorkommen von anderen allergenen Substanzen.

Eine Sensibilisierung stellt noch keine Erkrankung dar, bildet aber die Grundlage für die spätere Entwicklung und Ausprägung

einer Allergie. Für die Entstehung einer Sensibilisierung sind in der Regel hohe und länger andauernde Allergenkontakte erforderlich. Bei bereits sensibilisierten Personen können schon geringe Mengen von Allergenen allergische Reaktionen auslösen.

Allergische Wirkungen von Schimmelpilzen und Actinomyceten

Für eine Allergieauslösung in besonderem Maße von Bedeutung sind die Luftsporen von Actinomyceten und Schimmelpilzen. Actinomyceten sind grampositive¹ Bakterien mit „schimmelpilzartigem“ Wachstum, die deshalb auch als „Strahlenpilze“ bezeichnet werden. Nach Feuchteschäden können Baumaterialien ein vielfältiges Spektrum unterschiedlicher Actinomyceten in teilweise hohen Konzentrationen aufweisen [5]. Ihre Luftsporen gelangen aus diesen Materialien jedoch nicht ohne Weiteres in nachweisbaren Konzentrationen in die Innenraumluft.

Die bislang an schimmelpilzbelasteten Innenraumarbeitsplätzen in der Luft gemessenen Allergenmengen sind im Vergleich zu mikrobiell hoch belasteten Arbeitsbereichen wie z. B. in der Landwirtschaft oder Wertstoffsortierung deutlich niedriger. Die Gefahr einer Sensibilisierung kann nicht völlig ausgeschlossen werden ist jedoch eher gering.

Die Häufigkeit von Schimmelpilzallergien lag bei Personen mit Atemwegssymptomen in verschiedenen Studien zwischen 1 und 10 %

und bei Personen mit einer Neigung zu allergischen Überempfindlichkeitsreaktionen (Atopikern) bei bis zu 30 %. Ungefähr 5 % der Bevölkerung sollen gegen Schimmelpilze sensibilisiert sein.

Abgesicherte Ursachen-Wirkungs-Zusammenhänge bei Schimmelpilzbelastungen wurden bislang nur für hoch belastete Arbeitsplätze hinsichtlich Allergien, Infektionen und Atemwegserkrankungen beschrieben. Nach den „Guidelines on Dampness and Mould“ der WHO liegt eine ausreichende Evidenz für einen Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein von Schimmelpilzen/Feuchtigkeit im Innenraum und dem Auftreten von Symptomen wie Asthma, bestimmten Atemwegsbeschwerden und respiratorischen Infektionen vor. Das Vorhandensein von übermäßiger Feuchtigkeit und/oder Schimmelpilzen im Innenraum ist demnach als potenzielle Gefährdung anzusehen [6]. Richtwerte für gesundheitlich bedenkliche Schimmelpilzkonzentrationen im Innenraum können aus diesen Erkenntnissen jedoch nicht abgeleitet werden. Es besteht lediglich die Möglichkeit, die Gefährdung der Raumnutzer grob einzustufen, wobei die individuelle Veranlagung der Betroffenen, mit einer Erkrankung zu reagieren, berücksichtigt werden muss – wie z. B. im Falle von Allergikern, Personen mit eingeschränkter Immunabwehr oder Personen mit chronischen Atemwegserkrankungen [7].

¹ Gramfärbung bezeichnet nach dem Namen ihres Erfinders (Hans Christian Gram, 1884) ein bakteriologisches Färbeverfahren. Grampositive Bakterien behalten aufgrund ihrer mehrschichtigen Zellwandstruktur den Farbstoff und erscheinen lichtmikroskopisch blauviolett. Gramnegative Bakterien geben dagegen den Farbstoff aufgrund ihrer nur einschichtigen Zellwandstruktur wieder ab und erscheinen lichtmikroskopisch hellrot.

13 Biologische Einwirkungen

Allergische Wirkungen von Milben

Milben kommen u. a. in Matratzen, Bettzeug und textilen Polstermöbeln vor. Die optimalen Klimabedingungen für die Entwicklung der meisten Milbenarten liegen bei etwa 25 °C Raumtemperatur und circa 70 % relativer Luftfeuchte. Über das Vorkommen von Milbenallergenen an Innenraumarbeitsplätzen liegen derzeit nur wenige Studien vor. Als Ergebnis einer Untersuchung von 14 Büroräumen, in denen die Mitarbeiter über Beschwerden im Sinne eines Sick-Building-Syndroms klagten, schlagen *Janko et al.* eine regelmäßige Reinigung der gepolsterten Bürostühle vor [8]. Um das Vorliegen einer Belastung durch Milbenallergene abzuklären, werden bisher abgelagerte Stäube untersucht. Messverfahren zum Milben-(Allergen)-Nachweis sind in der Literatur beschrieben [9].

Bisher werden Luftproben zur Erfassung einer Belastung durch Allergene am Arbeitsplatz vorrangig mithilfe des Filtrationsverfahrens gewonnen. Ein neu entwickeltes Probenahmeverfahren soll im Rahmen eines Forschungsprojektes des IFA getestet werden [10].

Irritative und toxische Wirkungen

Zu den irritativen bzw. irritativ-toxischen Beschwerdebildern im Zusammenhang mit einer Exposition gegenüber biologischen Agenzien gehört die Mucous Membrane Irritation (MMI) [11]. Sie tritt bei mittleren Schimmelpilzkonzentrationen ($> 10^3$ Sporen /m³ Luft) auf und wird auch im Innenraum beobachtet [4; 10; 12]. Mögliche Symptome der MMI sind unspezifische Reizungen der Schleimhäute der

Augen, z. B. Brennen oder Tränen, der Nase, z. B. Niesreiz, Sekretion und Obstruktion der Nasennebenhöhlen und des Rachens, z. B. Trockenheitsgefühl oder Räspern.

Infektionen

Das Infektionspotenzial von an Innenraumarbeitsplätzen vorkommenden biologischen Agenzien ist gering. Infektionen mit z. B. Schimmelpilzen treten nur bei einer verschlechterten Abwehrlage bei exponierten Personen auf. Infektionen durch Bakterien an Innenraumarbeitsplätzen sind ebenfalls äußerst selten. Sie werden oftmals mit kontaminierten raumlufttechnischen Anlagen, hier insbesondere mit Legionellen, in Verbindung gebracht. Im Rahmen von Untersuchungen der Unfallversicherungsträger konnten bislang im Befeuchterwasser von RLT-Anlagen keine Legionellen nachgewiesen werden [1].

13.4 Ermittlung und Messverfahren

Um die Notwendigkeit einer aufwendigen mikrobiologischen Untersuchung abzuklären, müssen zunächst die Beschwerden aufgenommen werden. Anschließend sind die Bedingungen im Arbeitsumfeld (Gebäude, Räume, Einrichtung usw.) auf einen möglichen Zusammenhang mit den Beschwerden zu prüfen. Dabei sind Informationen zu erheben, wie sie beispielhaft für Schimmelpilze in dem im Internet verfügbaren speziellen Ermittlungsbogen S10 (www.dguv.de, Webcode d6274) zusammengestellt sind. Im Vorfeld einer solchen Ermittlung sollten in jedem Fall das Arbeitsumfeld erkundet (siehe Ermittlungsbogen G2 in Anhang III) und Fragen zur Gebäudesituation mit dem im Internet verfügbaren

Ermittlungsbogen S2 (www.dguv.de, Webcode d6274) geklärt werden.

Bei vielen Ermittlungen ist aufgrund der vorliegenden Informationen und des visuellen Befunds auch ohne Messung eine abschließende Beurteilung des Falles möglich. Dies gilt insbesondere dann, wenn ein visuell eindeutiger Befund eines Schimmelpilz- oder Feuchteschadens vorliegt und sich daraus ein offensichtlicher Handlungsbedarf ableiten lässt.

In Fällen, in denen eine Begehung nicht ausreicht, um die vorliegenden Verhältnisse zu klären, kann u. a. aus folgenden Gründen eine mikrobiologische Probenahme erforderlich werden:

- wenn Handlungsbedarf aus Gründen der Gesundheitsvorsorge besteht, z. B. um eine notwendige Sanierung anzustoßen,
- in Fällen, in denen die Keimemissionsquellen nicht eindeutig sind, z. B. Kontamination von RLT-Anlagen, oder
- im Rahmen von Berufskrankheiten-Feststellungsverfahren.

Das weitere Vorgehen hängt u. a. davon ab, ob sichtbare Veränderungen im Raum wie z. B. Schimmelpilzbefall oder Wasserränder wahrzunehmen sind, und wird an zwei Fallbeispielen erläutert:

Fallbeispiel 1

Es werden gesundheitliche Beeinträchtigungen im Zusammenhang mit dem Aufenthalt in bestimmten Räumen geäußert. Es liegen keine sichtbaren Veränderungen wie z. B.

Schimmelpilzbefall oder Wasserränder vor; häufig besteht jedoch eine subjektive Geruchswahrnehmung.

In solchen Fällen geht man zunächst dem Geruch nach. Riecht es nach chemischen Substanzen wie z. B. Lösungsmitteln, Farben, Klebern, Gummi, Karton oder frisch behandeltem Holz ist keine mikrobiologische Messung erforderlich. Zur weiteren Ursachenermittlung sei hier auf Kapitel 12 „Chemische Einwirkungen“ verwiesen.

Riecht es dagegen nach Substanzen, die typisch für die Stoffwechselaktivität von Mikroorganismen sind, z. B. modrig, faulig, schimmelig oder alkoholisch-gärend, so sollte man bei einer Ortsbegehung versuchen, die Geruchsquelle zu finden. Möglicherweise liegt ein verdeckter Schaden vor, z. B. hinter Verkleidungen, Einbauschränken, in Doppelböden oder abgehängten Decken. Auch fauliges Wasser in Blumentöpfen kommt als Geruchsquelle infrage.

Findet man trotz intensiver Ermittlungen keine Geruchsquelle und bleibt der Verdacht auf eine Belastung durch biologische Agenzien weiter bestehen, so können orientierende mikrobiologische Messungen veranlasst werden. Dazu können folgende mikrobiologischen Messverfahren herangezogen werden:

- Luftmessung

Ermittlung der Schimmelpilz-Sporenzahl (Partikelsammlung, z. B. mit einem Partikelsammler PS 30, „Holbach-Sammler“) im Vergleich zur Schimmelpilz-Gesamtkoloniezahl (Siebplattenimpaktor, z. B. Microbial Air Sampler MAS) und zu den jeweiligen Referenzwerten in der Außen-

13 Biologische Einwirkungen

luft oder in augenscheinlich unbelasteten Räumen.

Standardisierte Messverfahren für eine Luftprobenahme von Bakterien, Actinomyceten und Schimmelpilzen werden in verschiedenen Quellen beschrieben [13 bis 18].

- Beprobung von Oberflächen

Abklatschproben („Rodac-Platten“) möglichst in Verbindung mit Klebefilmabrisspräparaten im Vergleich zu nicht verdächtigen Flächen.

Weiterhin möglich: Materialfeuchtebestimmung (siehe [19])

Eine Bestimmung der vorkommenden Schimmelpilzarten erfolgt im Rahmen von orientierenden Untersuchungen in der Regel nicht. Aussagen zur individuellen Gesundheitsgefährdung oder zum konkreten Sanierungsbedarf können aus diesen Ergebnissen nicht abgeleitet werden. Sie zeigen lediglich an, ob an dem untersuchten Standort Schimmelpilze vorhanden sind und wenn ja, in welcher Größenordnung.

Fallbeispiel 2

Es liegen sichtbare Verfärbungen wie z. B. Schimmelpilze oder Wasserränder vor, die mit gesundheitlichen Beschwerden bei den Beschäftigten in Zusammenhang gebracht werden.

Ist die Verfärbung der Wand offensichtlich auf eindringende Feuchtigkeit zurückzuführen, sind zur Erhaltung der Bausubstanz erforderliche Gegenmaßnahmen notwendig.

Eine mikrobiologische Messung oder Probenahme ist in solchen Fällen nicht erforderlich. In begründeten Einzelfällen kann mithilfe von Abklatschproben oder durch die Untersuchung einer Materialprobe bestimmt werden, ob es sich bei den Verfärbungen um Schimmelpilze handelt oder auch, welche Schimmelpilzarten vorliegen. Hinweise zum standardisierten Vorgehen bei der Probenahme von Materialproben sind in der Literatur beschrieben [16; 19].

13.5 Beurteilung

Da an Innenraum Arbeitsplätzen keine Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen stattfinden, ist für die Beurteilung der Arbeitsplatzsituation nicht die Biostoffverordnung [20], sondern die Arbeitsstättenverordnung ausschlaggebend [21].

Der Arbeitskreis „Qualitätssicherung – Schimmelpilze in Innenräumen“ am Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg in Stuttgart hat ein umfangreiches Grundsatzpapier zu dieser Thematik erarbeitet [19]. Die Veröffentlichung „Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, Qualitätsmanagement“ beschreibt verschiedene Probenahmeverfahren und die Beurteilung von Untersuchungsergebnissen solcher Proben aus hygienischer Sicht.

Auch die Kommission Innenraumlufthygiene des Umweltbundesamtes veröffentlichte im Dezember 2002 einen „Schimmelpilz-Leitfaden“, der sich mit der Beurteilung von Schimmelpilzproblematiken in Innenräumen auseinandersetzt [12]. Ob ein sichtbarer Schimmelpilzbefall ein gesundheitliches Risiko für Raumnutzer darstellt, kann demnach nicht allgemeingültig beurteilt werden.

Unter Einbeziehung des Betriebsarztes sollte geklärt werden, ob bei guter Lüftung in solchen Räumen bis zur Sanierung weitergearbeitet werden kann.

Beurteilung von Materialproben bezüglich Schimmelpilzen

Aus langjährigen Untersuchungen des IFA sowie der Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW) und den auf der Bewertung dieser Ergebnisse beruhenden Erfahrungen bei der Beurteilung von Innenraumproblemen im Zusammenhang mit dem Auftreten von Schimmelpilzen wurden die in den Tabellen 36 und 37 wiedergegebenen Vorschläge für Bewertungsschemata aufgestellt [22]. Gesundheitliche

Beschwerden finden in diesem Zusammenhang keine Berücksichtigung.

Bei Sanierungen nach Wasserschäden ohne Ursachenbeseitigung (z. B. Erneuerung von Tapete/Putz, Aufbringen eines fungizidhaltigen Anstrichs o. Ä.) treten nach wenigen Wochen erneut Schimmelpilzgehalte im Baumaterial auf.

Idealerweise sollten bei der Untersuchung von Materialien neben Proben des verdächtigen Materials auch Proben von neuwertigem/unbenutztem Material oder aus vergleichbaren Räumen, in denen entsprechende gesundheitliche Probleme nicht bestehen, untersucht werden. Ergebnisse aus der Untersuchung dieser Vergleichs-

Tabelle 36:
Bewertungsschema für Untersuchungsergebnisse von Materialproben aus Innenräumen [22]

Gesamt-Schimmelpilze in KBE *)/g Material	Bewertung
$< 10^3$	normale Hintergrund- bis geringe Schimmelpilzbelastung, in der Regel keine Feuchteprobleme
10^3 bis 10^5	starke Schimmelpilzbelastung Vorhandensein von Feuchteproblemen/Wasserschäden etc.
10^6 bis 10^8	sehr starke Schimmelpilzbelastung Vorhandensein von Feuchteproblemen/Wasserschäden etc.

*) KBE = Kolonie bildende Einheit

Tabelle 37:
Bewertungsschema für sichtbar mit Schimmelpilz befallene Flächen in Innenräumen [19]

Sichtbar mit Schimmelpilz befallene Flächen	Bewertung
$< 20 \text{ cm}^2$	geringfügiger Schaden
$< 0,5 \text{ m}^2$	mittlerer Schaden
$> 0,5 \text{ m}^2$	großer Schaden

13 Biologische Einwirkungen

proben dienen dann als Beurteilungsgrundlage (Referenz) für die zu bewertenden Materialien.

Mit Klebefilmabrissspräparaten kann man einen aktiven Pilzbefall von sogenannten Aufflugsporen auf Flächen unterscheiden und damit auf einen akuten Schimmelpilzbefall hinweisen. Dies ist mit Abklatschuntersuchungen nicht möglich.

In die Bewertung sollten weiterhin die Artenspektren der Schimmelpilze aus den verschiedenen Materialproben einbezogen werden, da so beispielsweise Aussagen über das Vorhandensein von Feuchteschäden getroffen werden können. Schimmelpilzarten, die für eine sehr hohe Materialfeuchte charakteristisch sind, oder Schimmelpilzarten mit erhöhtem pathogenem Potenzial müssen bei der Bewertung einer Innenraumsituation besonders berücksichtigt werden. Als Schimmelpilze mit hohem Zeigerwert für Feuchteschäden in Innenräumen werden beispielsweise die nachfolgend aufgeführten Gattungen und Arten beschrieben [19]:

- *Acremonium spp.*
- *Aspergillus penicillioides*
- *Aspergillus restrictus*
- *Aspergillus versicolor*
- *Chaetomium spp.*
- *Phialophora spp.*
- *Scopulariopsis brevicaulis/fusca*
- *Stachybotrys chartarum*

- *Tritirachium album* und
- *Trichoderma spp.*

Weitere Schimmelpilzarten, die im Zusammenhang mit Feuchteschäden in Innenräumen besonders häufig auftreten, sind z. B. *Penicillium chrysogenum* und *Cladosporium sphaerospermum*.

Beurteilung des Vorkommens von Schimmelpilzen in Luftproben

Biologische Agenzien, die an Innenraumarbeitsplätzen in Konzentrationen auftreten, die mehr als eine Zehnerpotenz die natürliche Hintergrundbelastung überschreiten, d. h. über dem Mikroorganismengehalt der Außenluft oder eines als Referenz geeigneten vergleichbaren Innenraumes liegen, sind als Hinweis auf eine mögliche Belastung zu bewerten.

Während der Nachweis einer hohen Anzahl von einschlägigen Schimmelpilzarten in Materialproben aus Innenräumen ein deutlicher Hinweis auf Feuchteschäden ist, muss im Falle von Luftproben eine besondere Prüfung der Schimmelpilzquellen erfolgen, da die Pilzsporen in der Luft diffus verteilt sind und aus verschiedenen Quellen stammen können.

Mit der Sporensammlung können auch solche Schimmelpilzsporen erfasst werden, die im Labor nicht kultivierbar sind und deshalb bei der Koloniezahlbestimmung nicht nachgewiesen werden können.

Die Bestimmung der Sporenkonzentration und der Gesamtkoloniezahl in der Luft kann immer nur den momentanen Zustand zum

Zeitpunkt der Messung abbilden. Schimmelpilze geben ihre Sporen jedoch nicht gleichmäßig in die Raumluft ab, d. h., die Messergebnisse können eine Schimmelpilzexposition in der Raumluft sowohl unter- als auch überschätzen.

In Deutschland existieren derzeit keine verbindlichen Grenzwerte oder Richtkonzentrationen zur Beurteilung der Luft an Innenraumarbeitsplätzen hinsichtlich biologischer Messgrößen. Zur Charakterisierung der mikrobiellen Belastung der Luft in Innenräumen wird empfohlen, die Kriterien „Referenzaußenluftwert“ und „Normale Innenraumluftbelastung“ heranzuziehen. Nach Absatz 3.6 „Lüftung“ im Anhang der Arbeitsstättenverordnung [21] ist *„in Arbeitsbereichen ausreichend gesundheitlich zuträgliche Atemluft zu gewährleisten“*. Dies ist in Räumen mit offensichtlichem Schimmelpilzbefall nicht sichergestellt, da eine Freisetzung von Schimmelpilzsporen und somit eine inhalative Belastung der Atemluft durch Schimmelpilze nicht ausgeschlossen werden kann. Auch Messergebnisse von Luftproben mit negativen Befunden dürfen nicht darüber hinwegtäuschen, dass jederzeit ein Sporenflug erfolgen kann.

In Tabelle 38 (siehe Seite 186) sind die bei betrieblichen Messungen der Unfallversicherungsträger und des IFA in der Außenluft gemessenen Mikroorganismenkonzentrationen für eine allgemeine Orientierung dargestellt.

In der wärmeren Jahreszeit kann durch stärkeren Schimmelpilzsporenflug die Konzentration in der Außenluft und damit auch in der Innenraumluft höhere Werte annehmen, wenn zur freien Lüftung die Fenster und/oder Türen geöffnet werden. So sind Werte im Bereich von mehreren Tausend KBE an Schimmelpilzen pro m³ Außenluft in diesen Monaten keine Besonderheit (vgl. auch [16]).

Besteht die Vermutung, dass externe Quellen eine Schimmelpilzquelle im Innenraum (z. B. Außenluft oder Eintrag aus einem anderen Betriebsbereich) überlagern, so kann der Vergleich der Artenspektren in den jeweiligen Luftproben dies ggf. klären.

Tabelle 39 (siehe Seite 187) enthält den Vorschlag eines Bewertungsschemas für Ergebnisse von Schimmelpilzmessungen in der Innenraumluft [22].

Weitere Vorschläge für Bewertungsschemata enthalten die Leitfäden des LGA Stuttgart und des Umweltbundesamtes [12; 19; 24; 25].

13 Biologische Einwirkungen

Tabelle 38:
Konzentrationen von Schimmelpilzen und Bakterien in der Außenluft [23]

Monat	Anzahl aus- gewerteter Ergebnisse	Minimum	Arithmetischer Mittelwert	Median	Maximum
Schimmelpilze in KBE/m³					
Januar	54	4	195	188	1 286
Februar	60	28	314	132	3 457
März	59	10	551	157	17 571
April	57	4	812	809	25 715
Mai	51	4	2 201	1 005	28 571
Juni	59	26	1 715	2 429	10 512
Juli	79	316	4 189	2 243	26 280
August	59	328	3 208	937	26 280
September	58	1	1 330	850	10 000
Oktober	86	143	1 244	372	10 512
November	40	57	646	471	3 500
Dezember	3	202	436	188	634
Bakterien in KBE/m³					
Januar	25	4	232	57	2 886
Februar	15	28	367	71	3 571
März	26	10	178	61	945
April	29	4	98	43	630
Mai	9	4	804	1 115	1 555
Juni	19	28	198	154	943
Juli	25	33	268	143	1 055
August	18	57	429	229	2 985
September	20	28	565	157	8 000
Oktober	20	30	229	123	1 429
November	10	30	158	150	339

Tabelle 39:
Bewertungsschema für Ergebnisse mikrobiologischer Luftmessungen in Innenräumen [22]

Bestimmungsparameter in KBE/m ³ Luft	Bewertungskriterium	Ergebnis der Bewertung
Gesamtschimmelpilze und/oder Schimmelpilzartenspektrum	Innenraumlufte weist signifikant höheren Schimmelpilzsporengehalt auf als Außenluft und/oder signifikant unterschiedliche Artenspektren in Innenraumlufte und Außenluft *)	Hinweis auf eine Schimmelpilzbelastung im Raum
Vorkommen spezieller Zeigerarten (siehe oben)	Vorhandensein solcher Arten	Hinweis auf Feuchteproblematik
Vorkommen pathogener Arten	Vorhandensein solcher Arten	aus allgemeinen hygienischen Gründen nicht akzeptabel

*) Bezüglich typischer Außenluft-Spezies wie z. B. *Cladosporium* sind bei Werten dieser Gattung in der Innenraumlufte, die beim 1,5-Fachen der Außenluft liegen, Innenraumquellen nicht auszuschließen, und bei Werten, die beim 2-Fachen der Außenluft liegen, Innenraumquellen wahrscheinlich zu machen [19]

13.6 Präventions- und Sanierungsmaßnahmen

„Schimmel am Gebäude stellt einen Mangel dar, auch wenn er die Gesundheit nicht konkret gefährdet“ lautet ein Grundsatzurteil des Bundesgerichtshofs [26].

Neben den in diesem Kapitel aufgezeigten Aspekten finden sich in verschiedenen Quellen weitere allgemeine Hinweise und Empfehlungen für Präventions- und Sanierungsmaßnahmen, um Gefährdungen durch Schimmelpilze in Innenräumen zu vermeiden [12; 19; 24; 25; 27].

Bei großflächigen, komplizierten und/oder immer wiederkehrenden Schäden durch Schimmelpilzbefall sollte ein qualifizierter Bausachverständiger hinzugezogen werden.

Im Rahmen der Sanierung können mehrere Gewerke betroffen sein. So nützt das Ausbessern einer Wand mit Wasserschaden wenig, wenn der zugrunde liegende Schaden, z. B. ein undichtes Dach, eine defekte Wasserleitung oder eine Wärmebrücke, nicht vorab beseitigt wird.

Das größte Risiko, mit Schimmelpilzen von entsprechend belasteten Baumaterialien in Kontakt zu kommen, besteht für die mit der Sanierung der Flächen beauftragten Personen. Umfangreiche Informationen zur Gesundheitsgefährdung durch biologische Arbeitsstoffe bei der Gebäudesanierung und zu Schutzmaßnahmen, die eine entsprechende Belastung der Beschäftigten verhindern sollen, können der BGI 858 entnommen werden [28].

13 Biologische Einwirkungen

13.7 Literatur

- [1] *Pohl, K.; Kolk, A.; Arnold, E.; Raulf-Heimsoth, M.*: Endotoxine und Bakterien im Befeuchterwasser von Raumlufttechnischen Anlagen in Büroräumen. *Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft* 67 (2007) Nr. 5, S. 215-219
- [2] VDI 6022-1: Raumlufttechnik, Raumluftqualität – Blatt 1: Hygieneanforderungen an Raumlufttechnische Anlagen und Geräte (VDI-Lüftungsregeln) (07.11). Beuth, Berlin 2011
- [3] *Linsel, G.*: Bioaerosole – Entstehung und biologische Wirkungen. In: Tagungsband Sicherer Umgang mit biologischen Arbeitsstoffen und Zytostatika. Braunschweig, 12. bis 13. März 2001
- [4] Empfehlung des Robert Koch-Instituts: Schimmelpilzbelastung in Innenräumen – Befunderhebung, gesundheitliche Bewertung und Maßnahmen. *Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz* 50 (2007) Nr. 10, S. 1308-1323
- [5] *Szewzyk, R.*: Schimmelpilze sind nicht die einzigen Übeltäter bei Feuchteschäden in Wohnungen. *Telegramm: umwelt + gesundheit* 2 (2009). Hrsg.: Umweltbundesamt (UBA), Dessau-Roßlau 2009 www.umweltbundesamt.de/gesundheit/telegramm/Ausgabe02-2009.pdf
- [6] WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould. Hrsg.: World Health Organization (WHO), Kopenhagen 2009
- [7] *Gabrio, T.; Schmolz, G.; Szewzyk, R.*: Schimmelpilze und schwere Grunderkrankungen – welches Risiko ist damit verbunden? *Umweltmed. Forsch. Prax.* 15 (2010) Nr. 2, S. 69-70
- [8] *Janko, M.; Gould, D.; Vance, L.; Stengel, C.; Flack, J.*: Dust mite allergens in the office environment. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 56 (1995) Nr. 11, S. 1133-1140
- [9] *Virtanen, T. I.; Mäntijärvi, R. A.*: Airborne allergens and their quantification and effect on the development of allergy in occupational environments. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 9 (1994) Nr. 1, S. 65-70
- [10] *Stephan, U.; Putz, S.*: Probenahme und Quantifizierung von antigenen und allergenen Schimmelpilzproteinen in der Luft. *Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft* 72 (2012) Nr. 6, S. 274-281
- [11] *Herr, C. E. W.; Eikmann, T.; Heinzow, B.; Wiesmüller, G. A.*: Umweltmedizinische Relevanz von Schimmelpilzen im Lebensumfeld. *Umweltmed. Forsch. Prax.* 15 (2010) Nr. 2, S. 76-83
- [12] Leitfaden zur Vorbeugung, Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen („Schimmelpilz-Leitfaden“). Hrsg.: Umweltbundesamt (UBA), Innenraumlufthygienekommission, Berlin 2002

- [13] *Kolk, A.*: Verfahren zur Bestimmung der Bakterienkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (Kennzahl 9430). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 32. Lfg. IV/04. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin. Erich Schmidt, Berlin – Losebl.-Ausg. 1989
www.ifa-arbeitsmappedigital.de/9430
- [14] Verfahren zur Bestimmung der Aktinomyzetenkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (Filtration). KAN-Bericht 13. 2. Aufl. Hrsg.: Kommission Arbeitsschutz und Normung (KAN), Sankt Augustin 1999
www.kan.de/de/publikationen/kan-berichte.html
- [15] *Kolk, A.*: Verfahren zur Bestimmung der Schimmelpilzkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (Kennzahl 9420). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 30. Lfg. 4/03. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin. Erich Schmidt, Berlin – Losebl.-Ausg. 1989
www.ifa-arbeitsmappedigital.de/9420
- [16] VDI 4300-10: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Blatt 10: Messstrategie zum Nachweis von Schimmelpilzen im Innenraum (07.08). Beuth, Berlin 2008
- [17] DIN ISO 16000-16: Innenraumluftverunreinigungen – Teil 16: Nachweis und Auszählung von Schimmelpilzen – Probenahme durch Filtration (12.09), Beuth, Berlin 2009
- [18] DIN ISO 16000-18: Innenraumluftverunreinigungen – Teil 18: Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen – Probenahme durch Impaktion (01.12). Beuth, Berlin 2012
- [19] Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, Qualitätsmanagement. Hrsg.: Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg, Stuttgart 2004
- [20] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen (Biostoffverordnung – BioStoffV) vom 27. Januar 1999. BGBl. I (1999), S. 50-60; zul. geänd. BGBl. I (2008), S. 2768
- [21] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 12. August 2004. BGBl. I (2004), S. 2179-2189; zul. geändert BGBl. I (2010), S. 960-967
- [22] *Deininger, C.*: Schimmelpilzproblematik in Innenräumen von Mitgliedsbetrieben der BGW. Schriftliche Arbeit als Teil der Prüfung zur Aufsichtsperson. BGW Präventionsdienste Würzburg Oktober 2001
- [23] *Kolk, A.; Van Gelder, R.; Schneider, G.; Gabriel, S.*: Mikrobiologische Hintergrundwerte in der Außenluft – Auswertung der BGIA-Expositionsdatenbank MEGA. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 69 (2009) Nr. 4, S. 130-136
- [24] Handlungsempfehlung für die Sanierung von mit Schimmelpilzen befallenen Innenräumen. Hrsg.: Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg, Stuttgart 2006

13 Biologische Einwirkungen

- [25] Leitfaden zur Ursachensuche und Sanierung bei Schimmelpilzwachstum in Innenräumen („Schimmelpilzsanierungsleitfaden“). Hrsg.: Umweltbundesamt (UBA), Innenraumlufthygienekommission, Berlin 2005
- [26] Grundsatzurteil Bundesgerichtshof Az. VII ZR 274/04 (06/2006)
- [27] *Bieberstein, H.*: Schimmelpilz in Wohnräumen – Was tun? Bieberstein, Radebeul 2009
- [28] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Handlungsanleitung Gesundheitsgefährdungen durch biologische Arbeitsstoffe bei der Gebäudesanierung (BGI 858). Carl Heymanns, Köln 2006

14 Psychische Faktoren von Innenraumbelastungen

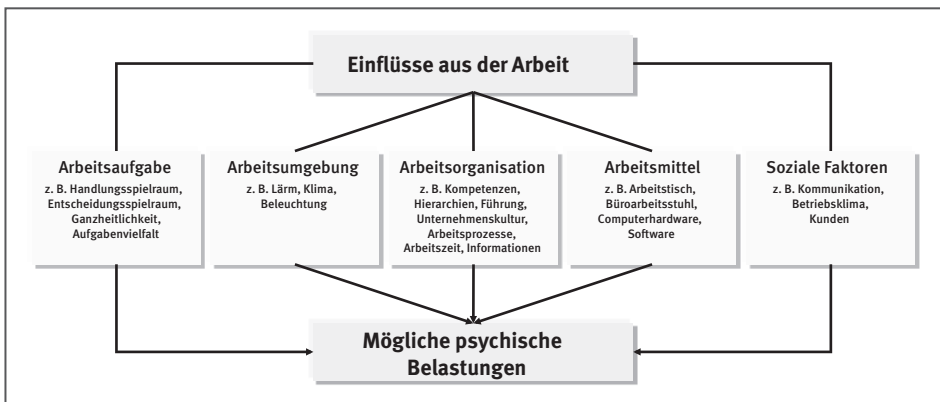
J. Petersen, Hamburg
K. Sucker, Bochum

Zum besseren Verständnis der psychischen Belastung an Innenraumarbeitsplätzen und psychischer Faktoren von Innenraumbelastungen sind einheitliche Begriffsklärungen von psychischen Belastungen und Beanspruchungen erforderlich. Diese sind in DIN EN ISO 10075-1 [1] festgelegt. Danach werden psychische Belastungen als „die Gesamtheit aller erfassbaren Einflüsse, die von außen auf den Menschen zukommen und psychisch auf ihn einwirken“ definiert. Einfach erklärt, wirken auf den Beschäftigten Einflüsse aus der Arbeit ein, die an der Arbeitsaufgabe, der

Arbeitsumgebung, der Arbeitsorganisation, den Arbeitsmitteln oder sozialen Faktoren liegen können (Abbildung 30).

Psychische Belastungen und daraus möglicherweise resultierende Fehlbeanspruchungen können aber nicht nur aus der Arbeit, sondern aus dem gesamten Lebensumfeld eines Menschen resultieren. Dies macht es schwierig, arbeitsbedingte von im außerberuflichen Umfeld vorhandenen Belastungen, wie sie beispielsweise bei familiären Problemen auftreten, zu trennen.

Abbildung 30:
Einflüsse der Arbeit auf den Menschen und daraus resultierende mögliche psychische Belastung und Fehlbeanspruchung



14 Psychische Faktoren von Innenraumbelastungen

Psychische Belastungen können sowohl zu positiven (Lern- oder Trainingseffekte, Aktivierung) als auch negativen Beanspruchungsfolgen (Monotonie, psychische Sättigung, psychische Ermüdung und Stress) führen. Ein und dieselbe Belastung kann bei verschiedenen Personen zu unterschiedlichen Beanspruchungen führen. Im Falle negativer Auswirkungen werden Belastungen meist als Stressoren und Beanspruchungen als Stress(-reaktionen) bezeichnet. Ob aus einer Belastung beeinträchtigende oder anregende Effekte resultieren, hängt unter anderem von den Ressourcen ab, die einer Person zur Verfügung stehen.

Beschwerden und Befindlichkeitsstörungen bei Beschäftigten unterliegen einem komplexen Ursachengefüge, in dem Noxen, Attributionen und stressbedingte Fehlbelastungen eine Rolle spielen. Überschneidungen mit dem Multiple Chemical Sensitivity Syndrom (MCS), dem Sick Building Syndrom (SBS) und der Building Related Illness (BRI) sind möglich und differenzialdiagnostisch abzugrenzen. Für die Ausprägung von Beschwerden und deren Wahrnehmung sind folgende personenbezogene Faktoren bekannt:

- Risikowahrnehmung
- Ängstlichkeit
- Somatisierungsstörungen
- (Fehl-)Attribution
- Fehlbeanspruchung

Gruppendynamische Prozesse können die Ausprägung und Verbreitung von Beschwerden und Symptomen erheblich beeinflussen,

im Übrigen können tatsächlich vorliegende organische Erkrankungen die Ursache sein. Vor einer aufwendigen und möglicherweise kontraproduktiven Messung von möglichen chemischen, biologischen oder physikalischen Einwirkungen ist deshalb immer dieser Aspekt zu berücksichtigen. Das gehäufte Auftreten von Beschwerden nach umfangreichen Renovierungsarbeiten, Umzügen oder innerbetrieblichen Umstrukturierungen ist möglicherweise bei fehlendem Nachweis einer schädigenden Exposition auf die oben angesprochenen Faktoren zurückzuführen.

14.1 Erhebungsmethoden

Eine Orientierung über das Vorhandensein von Fehlbeanspruchungsfolgen und ihnen zugrunde liegenden arbeitsplatzspezifischen Merkmalen ermöglichen die in der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) entwickelten Checklisten zur Erfassung von Fehlbeanspruchungsfolgen (ChEF) [2]. Sie decken die Dimensionen „Stress“, „Psychische Ermüdung“, „Monotonie“ und „Psychische Sättigung“ ab und bestehen aus jeweils 15 bis 18 Aussagen zur Selbst- und Fremdeinschätzung. Die Checklisten geben einen differenzierenden Überblick über mögliche beeinträchtigende Folgen psychischer Belastung bei der Ausführung von Arbeitstätigkeiten. Der Zeitaufwand pro Person beträgt etwa 20 bis 30 Minuten für alle vier Listen, sie sind zu einer ersten groben Erfassung der genannten Merkmale zu empfehlen.

14.2 Methodeneinsatz

Da es sich bei den ChEF um ein orientierendes Verfahren handelt, ergeben sich für den Anwenderkreis folgende praktische Konsequenzen:

- Eine umfassende Beurteilung des Beanspruchungsniveaus einzelner Personen ist nicht möglich. Dem Anwender sollen lediglich Hinweise auf mögliche Ansatzpunkte für eine Veränderung von Arbeitstätigkeiten geboten werden.
- Eine Auswertung der ausgefüllten Fragebögen sollte in erster Linie qualitativ erfolgen.
- Als Grundvoraussetzung für den Einsatz der ChEF in der betrieblichen Praxis gilt das Einverständnis aller Verantwortlichen und Beteiligten (Unternehmer, Führungskräfte, Beschäftigte, Personalvertretung).

Für jede Arbeitstätigkeit erfolgt eine gesonderte Einschätzung. Dabei können auch solche Arbeitstätigkeiten, die an verschiedenen Arbeitsplätzen ausgeführt werden, als Einheit ausgewertet werden. Ebenso ist eine Bewertung von Tätigkeiten möglich, die mehrere Beschäftigte ausüben. Das Zutreffen der in den Checklisten aufgeführten Merkmale wird mit ja oder nein eingeschätzt. Nicht einschätzbare Merkmale werden nicht angekreuzt. Für die Fremdeinschätzung z. B. durch Technische Aufsichtspersonen und die Selbsteinschätzung durch die Beschäftigten bestehen gesonderte Listen. Zum Vergleich von Selbst- und Fremdeinschätzung sind zusätzlich Arbeitsblätter enthalten.

Bei der Anwendung der ChEF gibt es Fragebögen zur Selbsteinschätzung, die Mitarbeiter ausfüllen, und Fragebögen zur Fremd-

einschätzungen, die untersuchende Personen anwenden. Auf den Fragebögen zur Fremdeinschätzung sind diejenigen Felder geschwärzt, die sich auf Leistungs- und Erlebensmerkmale beziehen und somit nicht beobachtbar sind. Aus den Vergleichen von Fremd- und Selbsteinschätzungen mithilfe der Arbeitsblätter ergeben sich dann mögliche Ansatzpunkte zur Optimierung arbeitsplatzspezifischer Merkmale. Sollte es aus bestimmten Gründen nicht möglich sein, sowohl Fremd- als auch Selbsteinschätzungen vorzunehmen, können die jeweiligen Erhebungsarten auch für sich allein Anwendung finden.

Eine Übersicht über geeignete weiterführende Verfahren liefert die Tool-Box der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), die im Internet unter der Adresse www.baua.de, Rubrik Informationen für die Praxis, abzurufen ist.

14.3 Literatur

- [1] DIN EN ISO 10075-1: Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung – Teil 1: Allgemeines und Begriff (11.00). Beuth, Berlin 2000
- [2] Checklisten zur Erfassung von Fehlbeanspruchungsfolgen. Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund
www.baua.de/de/Informationen-fuer-die-Praxis/Handlungshilfen-und-Praxisbeispiele/ChEF.html

Anhang 1: Ermittlungen zum Vorkommen und zur Art gesundheitlicher Beschwerden – Ermittlungsbogen G1 –

Ermittlungen zum Vorkommen und zur Art gesundheitlicher Beschwerden – Ermittlungsbogen G1 –

Liebe Mitarbeiterin, lieber Mitarbeiter!

Einige Ihrer Kolleginnen/Kollegen klagen über gesundheitliche Beschwerden, die sie mit ihrem Arbeitsplatz in Verbindung bringen. Wir gehen dieser Frage nach und wollen mit diesem Ermittlungsbogen klären, ob und wo Gesundheitsstörungen in unserem Betrieb auftreten und ob möglicherweise ein Zusammenhang zu den baulichen Gegebenheiten, den Räumen oder Einrichtungen herzustellen ist.

Wenn hier nach gesundheitlichen Störungen gefragt wird, so interessieren natürlich nur Erkrankungen oder gesundheitliche Beschwerden, die im Zusammenhang mit der Arbeit auftreten oder aufgetreten sind, nicht jedoch durch einen Unfall erlittene Gesundheitsstörungen, ererbte Krankheiten oder durch sonstige Lebensumstände erworbene Erkrankungen. In Zweifelsfragen sollten Sie sich mit Ihrem Betriebsarzt besprechen.

Die Teilnahme an dieser Aktion ist freiwillig, die Antworten werden ohne Namensnennung anonym erfasst. Wir bitten Sie, möglichst vollständige Angaben zu machen. Eine verwertbare Aussage ist nur zu erwarten, wenn sich möglichst viele der Mitarbeiter/-innen an der Befragung beteiligen.

Betrieb (Name, Anschrift):

Betriebsteil:

Datum der Erhebung:

Nummer des Ermittlungsbogens:

Ermittlungen zum Vorkommen und zur Art gesundheitlicher Beschwerden – Ermittlungsbogen G1 –
1 Haben Sie gesundheitliche Beschwerden, die Sie mit Ihrem Arbeitsplatz in Verbindung bringen? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, und zwar Wenn Sie diese Frage mit „Nein“ beantwortet haben, fahren Sie bitte mit Frage 5 fort.
2 Welche gesundheitlichen Beschwerden empfinden Sie am schlimmsten?
3 Angaben zur ärztlichen Behandlung 3.1 Wurden Sie wegen dieser Beschwerden schon einmal ärztlich untersucht? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, und zwar 3.2 Befinden Sie sich zurzeit wegen dieser Beschwerden in Behandlung? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, und zwar 3.3 Wurden Sie wegen dieser Beschwerden schon einmal krankgeschrieben? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, und zwar (Häufigkeit und Dauer angeben)
4 Angaben zum zeitlichen Auftreten der Beschwerden 4.1 Seit wann treten die Beschwerden auf? Monat und Jahr angeben 4.2 Wann genau treten die Beschwerden auf? z. B. Jahreszeit, Wochentag oder Tageszeit angeben 4.3 Werden die Beschwerden bei Abwesenheit vom Arbeitsplatz geringer? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, und zwar <input type="checkbox"/> nach Beendigung der Arbeit <input type="checkbox"/> am Wochenende <input type="checkbox"/> im Urlaub 4.4 Was glauben Sie ist die Ursache für Ihre gesundheitlichen Beschwerden?

Ermittlungen zum Vorkommen und zur Art gesundheitlicher Beschwerden
– Ermittlungsbogen G1 –**5 Angaben zum Arbeitsplatz**

5.1 Wie sieht Ihr Arbeitsplatz aus?

- Einzelbüro
 Büro mit Arbeitsplätzen
 Sonstiges, und zwar mit Arbeitsplätzen

5.2 Fühlen Sie sich bei der Arbeit gestört?

(z. B. durch Lärm, Gerüche, Klima, Beleuchtung)?

- Nein Ja, und zwar

5.3 Hat es in der letzten Zeit Veränderungen an Ihrem Arbeitsplatz gegeben?

- Nein Ja, und zwar
- Renovierung
 - Änderungen in der Organisationsstruktur des Betriebes
 - Änderungen in der Organisationsstruktur der Abteilung
 - personelle Änderungen
 - Änderungen der Zuständigkeiten
 - sonstige Änderungen, und zwar

6 Persönliche Angaben

6.1 Geben Sie bitte Ihr Geschlecht an.

- männlich weiblich

6.2 Wie alt sind Sie?

- unter 20 Jahre
 20 bis 29 Jahre
 30 bis 39 Jahre
 40 bis 49 Jahre
 50 bis 59 Jahre
 60 Jahre und älter


6.3 Haben Sie Allergien?

- Nein Ja, und zwar

6.4 Rauchen Sie?

- Nein Ja

Anhang 2: Auswertungsschema zum Ermittlungsbogen G1

In der Regel sind die Ermittlungsbögen sorgfältig getrennt auszuwerten. Bei größeren Gruppen ist es jedoch häufig sinnvoll, sich einen Überblick über die Verteilung der gesundheitlichen Beschwerden zu verschaffen. Dazu kann folgendes Auswertungsschema genutzt werden: 

Anhang 2

Nummer des Ermittlungsbogens	Anzahl der Personen ohne/mit gesundheitlichen Beschwerden				Welche Beschwerden treten auf?	Am schlimmsten werden empfunden ...	Beschwerden treten auf seit ...
	ohne		mit				
	mw ¹⁾	w ²⁾	m ¹⁾	w ²⁾			
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			

¹⁾ m: männlich

²⁾ w: weiblich

Bewertung:

Durch die Ermittlung der Häufigkeitsverteilung können die Schwerpunkte der Beschwerden ermittelt werden. Angaben zum Beschwerderückgang geben Aufschluss darüber, inwieweit die Beschwerden der beruflichen Tätigkeit direkt zugeordnet werden können. Werden die Erhe-

bungsbögen auch von Raumnutzern ohne Beschwerden ausgefüllt, besteht die Möglichkeit, ergänzende Aussagen zu Störungen bei der Arbeit sowie zu Veränderungen am Arbeitsplatz zu erhalten.

Als besonders wertvoll hat sich die gemeinsame Auswertung der Fragen

Werden die Beschwerden bei Abwesenheit vom Arbeitsplatz geringer?		Vermutete Ursachen	Störung am Arbeitsplatz durch ...	In letzter Zeit traten folgende Veränderungen am Arbeitsplatz auf ...
Nein	Ja			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			

- nach den gesundheitlichen Beschwerden, die am schlimmsten empfunden werden (Frage 2),
 - nach mögliche Ursachen für die gesundheitlichen Beschwerden (Frage 4.4),
 - nach Störfaktoren bei der Arbeit (z. B. durch Lärm, Gerüche, Klima, Beleuchtung) (Frage 5.2) und
 - nach Veränderungen am Arbeitsplatz (Frage 5.3)
- herausgestellt, da sich aus ihnen meist die Schwerpunkte der gesundheitlichen Beschwerden ableiten lassen und erste Hinweise auf die Ursachen gegeben werden.

Anhang 2

Beispiel für eine Auswertung:

Nummer des Ermittlungsbogens	Anzahl der Personen ohne/mit gesundheitlichen Beschwerden				Welche Beschwerden treten auf?	Am schlimmsten werden empfunden ...	Beschwerden treten auf seit ...
	ohne		mit				
	mw	w	m	w			
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	verstopfte Nase, vermehrte Infekte, Übelkeit, Haarausfall	Haarausfall	5 Monaten
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	trockene Augen, Haarausfall	trockene Augen, Haarausfall	3 Monaten
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	trockene Augen, verstopfte Nase	verstopfte Nase	6 Monaten
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trockene Augen, Kopfschmerzen, vermehrte Infekte	Kopfschmerzen	6 Monaten
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	trockene Augen, verstopfte Nase, Kopfschmerzen, vermehrte Infekte, Verspannungen	vermehrte Infekte	6 Monaten
6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	trockene Augen, Kopfschmerzen, Verspannungen	Kopfschmerzen	6 Monaten
9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	trockene Augen, verstopfte Nase, vermehrte Infekte, Kopfschmerzen	Kopfschmerzen	4 Monaten
10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	trockene Augen, verstopfte Nase, vermehrte Infekte, Verspannungen, Rückenbeschwerden	Rückenbeschwerden	

Werden die Beschwerden bei Abwesenheit vom Arbeitsplatz geringer?		Vermutete Ursachen	Störung am Arbeitsplatz durch ...	In letzter Zeit traten folgende Veränderungen am Arbeitsplatz auf ...
Nein	Ja			
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Stress, Raumluft	Luftqualität	neue Arbeitsorganisation
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Stress, Raumluft	Luftqualität, Klima	neue Arbeitsorganisation verbunden mit neuem Büro
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Stress, Raumluft, Staub	Luftqualität	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Stress	Beleuchtung	neues Büro
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	physische Belastung, Raumluft	Lärm, Gerüche	neue Arbeitsorganisation verbunden mit neuem Büro
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Lärm	neue Arbeitsorganisation verbunden mit neuem Büro
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Lärm, Klima	neue Arbeitsorganisation verbunden mit neuem Büro
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Luftqualität	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Raumluft	Lärm, Luftqualität	neue Arbeitsorganisation verbunden mit neuem Büro
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Stress, Raumluft	Luftqualität	

Anhang 2

Nummer des Ermittlungsbogens	Anzahl der Personen ohne/mit gesundheitlichen Beschwerden				Welche Beschwerden treten auf?	Am schlimmsten werden empfunden ...	Beschwerden treten auf seit ...
	ohne		mit				
	mw	w	m	w			
	10 %	10 %	20 %	60 %	7 x trockene Augen 5 x verstopfte Nase und vermehrte Infekte 4 x Kopfschmerzen 2 x Haarausfall 1 x Übelkeit 1 x Rückenbeschwerden		

Werden die Beschwerden bei Abwesenheit vom Arbeitsplatz geringer?		Vermutete Ursachen	Störung am Arbeitsplatz durch ...	In letzter Zeit traten folgende Veränderungen am Arbeitsplatz auf ...
Nein	Ja			
60 %	20 %	6 x Stress 6 x Raumluft	6 x Luftqualität 4 x Lärm 2 x Klima 1 x Beleuchtung	6 x neue Arbeitsorganisation 6 x neues Büro

Die beispielhafte Auswertung deutet darauf hin, dass die Beschäftigten – u. a. ausgelöst durch eine neue Arbeitsorganisation – unter vermehrtem Stress leiden. Der Umzug in neue Büros führt zu Unbehaglichkeitsempfinden. Als weitere Schritte empfiehlt sich, zunächst gezielte Gespräche mit den Betroffenen und deren Vorgesetzten zu führen, um zu klären, wie die Arbeitsorganisation verbessert und Stress vermieden werden kann. In einem weiteren Schritt könnten gezielte spezielle Ermittlungen zur Luftqualität, zum Lärm und zur Beleuchtung in den Büros der Betroffenen durchgeführt werden, die diese Punkte als störend angegeben haben.

Anhang 3: Ermittlungen zum Arbeitsumfeld – Ermittlungsbogen G2 –

Ermittlungen zum Arbeitsumfeld		Ermittlungsbogen G2																		
<p>Liebe Bearbeiterin, lieber Bearbeiter!</p> <p>Innenraumprobleme können durch das Gebäude, seine Einrichtung und die technische Ausstattung mit verursacht werden. Diese Erhebung soll helfen, die Ursachen für die gesundheitlichen Beeinträchtigungen einzugrenzen. Wir bitten Sie, möglichst vollständige Angaben zu machen.</p>																				
<p>Betrieb (Name, Anschrift): Betriebsteil: Arbeitsplatz: Erhebung durch: Datum der Erhebung:</p>																				
<p>1 Allgemeine Gebäudedaten Wann wurde das Gebäude errichtet?</p>																				
<p>2 Angaben zur Gebäudegröße</p> <p>2.1 Wie viele Beschäftigte arbeiten im Gebäude?</p> <p>2.2 Geben Sie die Geschoszahl des Gebäudes an.</p> <p>2.3 Liegen ein Gebäudeplan oder Bauunterlagen vor? (ggf. Anfrage bei der zuständigen Baubehörde) <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja (wenn möglich bitte beifügen)</p>																				
<p>3 Angaben zur allgemeinen Gebäudenutzung</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;">Stockwerk/Etage</th> <th style="width: 33%;">Art der Nutzung</th> <th style="width: 33%;">Bemerkungen</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>			Stockwerk/Etage	Art der Nutzung	Bemerkungen															
Stockwerk/Etage	Art der Nutzung	Bemerkungen																		

Ermittlungen zum Arbeitsumfeld	Ermittlungsbogen G2																								
<p>4 Angaben zur Gebäudelage</p> <p>4.1 Wo befindet sich das Gebäude?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> in der Innenstadt <input type="checkbox"/> in einem Industrie- oder Gewerbegebiet <input type="checkbox"/> in einem Mischgebiet <input type="checkbox"/> in einem Wohngebiet <input type="checkbox"/> an einer viel befahrenen Straße/Autobahn/Bahntrasse <input type="checkbox"/> sonstige Lage, und zwar <p>Fügen Sie, wenn möglich, einen Umgebungsplan oder eine Skizze bei!</p> <p>4.2 Gibt es Industrieanlagen in unmittelbarer Nähe des Gebäudes?</p> <p><input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, und zwar</p> <p>4.3 Sind Abluftkamine/äußere Schadstoffquellen in der Umgebung des Gebäudes bekannt?</p> <p><input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, und zwar</p> <p>4.4 Gibt es lärmintensive Betriebe in unmittelbarer Nähe des Gebäudes?</p> <p><input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, und zwar</p>																									
<p>5 Angaben zu den Arbeitsbereichen oder Gebäudeteilen, in denen Beschwerden von Mitarbeitern vorliegen</p> <p>5.1 Wie werden die Arbeitsbereiche/Gebäudeteile genutzt?</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <th style="width: 25%; padding: 5px;">Arbeitsbereich/ Gebäudeteil</th> <th style="width: 25%; padding: 5px;">Größe der Räume</th> <th style="width: 30%; padding: 5px;">Art der Nutzung (z.B. Bildschirmarbeitsplatz)</th> <th style="width: 20%; padding: 5px;">Bemerkungen</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="height: 20px;"></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="height: 20px;"></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="height: 20px;"></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="height: 20px;"></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="height: 20px;"></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>		Arbeitsbereich/ Gebäudeteil	Größe der Räume	Art der Nutzung (z.B. Bildschirmarbeitsplatz)	Bemerkungen																				
Arbeitsbereich/ Gebäudeteil	Größe der Räume	Art der Nutzung (z.B. Bildschirmarbeitsplatz)	Bemerkungen																						

Ermittlungen zum Arbeitsumfeld

Ermittlungsbogen G2

5.2 Wurden Arbeitsbereiche/umliegende Gebäudeteile in der Vergangenheit anders genutzt?

- Nein Ja, und zwar

Bitte tragen Sie Art und Zeitraum der Nutzung in die folgende Tabelle ein.

Arbeitsbereich/ Gebäudeteil	Art der Nutzung	Zeitraum	Bemerkungen

5.3 Werden von außen einwirkende Gerüche im Arbeitsbereich wahrgenommen?

- Nein Ja, und zwar

5.4 Werden von außen einwirkend Lärm oder Vibrationen im Arbeitsbereich wahrgenommen?

- Nein Ja, und zwar

5.5 Liegt störende Sonneneinstrahlung vor?

- Nein Ja

Tageszeit:

Zeitdauer:

Bemerkungen (z. B. Blendung, Wärmeempfindung):

6 Angaben zur Gebäudelüftung

6.1 Werden die Räume natürlich (über Fenster) belüftet?

- Nein Ja

Bemerkungen:

6.2 Sind die Fenster individuell zu öffnen?

- Nein Ja

Bemerkungen:

Ermittlungen zum Arbeitsumfeld	Ermittlungsbogen G2
<p>6.3 Werden die Räume technisch belüftet?</p> <p><input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Nur technische Zu- und Abluft <input type="checkbox"/> Klimaanlage <input type="checkbox"/> Mit Luftbefeuchtung</p> <p>Bemerkungen:</p> <p>6.4 Falls vorhanden: Wird die Lüftungs-/Klimaanlage regelmäßig überprüft?</p> <p><input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, durch <input type="checkbox"/> Dokumentation liegt vor</p>	
<p>7 Angaben zur Gebäudetemperierung</p>	
<p>7.1 Wie werden die Räume/Arbeitsbereiche beheizt?</p> <p><input type="checkbox"/> Heizkörper im Raum (Radiatoren, Konvektoren) <input type="checkbox"/> Fußbodenheizung <input type="checkbox"/> Decken- oder Wandheizung <input type="checkbox"/> Lüftungstechnische Anlage/Klimaanlage <input type="checkbox"/> Sonstige, und zwar</p>	
<p>7.2 Wie wird das Raumklima (Lufttemperatur, Luftfeuchte) geregelt?</p> <p><input type="checkbox"/> Keine Regelung <input type="checkbox"/> Individuelle Regelung <input type="checkbox"/> Zentrale Regelung <input type="checkbox"/> Sonstige Regelung, und zwar <input type="checkbox"/> Regelung der Lufttemperatur im <input type="checkbox"/> Sommer <input type="checkbox"/> Winter <input type="checkbox"/> Regelung der Luftfeuchte</p> <p>Bemerkungen (z. B. Regelbereich zu klein, Regelung ist träge):</p>	
<p>7.3 Werden die Räume oder Gebäudeteile gekühlt?</p> <p><input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, und zwar durch</p> <p><input type="checkbox"/> Luftkühlanlage/Klimaanlage <input type="checkbox"/> Kühldecke <input type="checkbox"/> Betonkernkühlung <input type="checkbox"/> Sonstige, und zwar</p>	

Ermittlungen zum Arbeitsumfeld

Ermittlungsbogen G2

8 Angaben zur technischen Ausstattung der Arbeitsbereiche

8.1 Welcher Art ist die Beleuchtung in den Arbeitsbereichen?

- Tageslicht
 Ständige künstliche Beleuchtung zu jeder Jahres- und Tageszeit
 Künstliche Beleuchtung wird nur bei Bedarf eingeschaltet
 Sonstige, und zwar

8.2 Befinden sich Geräte, Maschinen oder andere Einrichtungen (z. B. Drucker, Kopierer) im Arbeitsbereich, von denen störende Emissionen (z. B. Lärm, Gerüche) ausgehen?

- Nein Ja, und zwar (Anzahl und Art)

8.3 Werden diese Betriebseinrichtungen regelmäßig gewartet und geprüft?

- Nein Ja, und zwar durch
 Dokumentation liegt vor

9 Angaben zu Gebäudeänderungen

9.1 Wurden Gebäuderenovierungen, An- oder Umbauten vorgenommen?

- Nein Ja

Bitte tragen Sie Art und Umfang der Änderungen in die folgende Tabelle ein.

Zeitraum	Art und Umfang der Gebäudeänderungen (z. B. Anstriche, Bodenverlegungen, zusätzliche Fenster, Wärmedämmung, Abdichtungen, Asbestsanierung)

9.2 Werden oder wurden im Raum bestimmte Produkte verwendet?

- Nein Ja
- Reinigungsmittel
 - Desinfektionsmittel
 - Raumluftverbesserer
 - Insektizide, Fungizide, Schädlingsbekämpfungsmittel
 - Sonstige, und zwar

Anhang 4:

Beispiel zur Bestimmung des Beurteilungspegels

In einem Meisterbüro innerhalb einer mechanischen Werkstatt (abgetrennte Kabine mit Fenstern) lassen sich in Abhängigkeit von der jeweiligen Produktion und Auslastung der Maschinen drei Phasen unterscheiden:

Phase 1: Grundgeräusch (Hydraulik, Lüftung, Leerlauf)
ca. 15 % der Arbeitsschicht

Phase 2: größter Teil der Bearbeitungsmaschinen in Betrieb
ca. 80 % der Arbeitsschicht

Phase 3: größter Teil der Bearbeitungsmaschinen und Schlagschere in Betrieb
ca. 5 % der Arbeitsschicht

Die einzelnen Phasen werden als Teilzeiten angenommen und die Geräuschbelastungen separat ermittelt:

1. Teilzeit

Für das Grundgeräusch wird ein äquivalenter Dauerschallpegel $L_{pAeq,m}$ von 47,2 dB(A) ermittelt (Mittelwert aus zwei Messungen). Da ein Hydraulikaggregat einen auffälligen Einzelton verursacht, wird ein Zuschlag für die Ton- und Informationshaltigkeit von 3 dB(A) festgelegt.

2. Teilzeit

Beim üblichen Betrieb der Bearbeitungsmaschinen wird ein äquivalenter Dauerschallpegel $L_{pAeq,m}$ von 61,8 dB(A) ermittelt (Mittelwert aus zwei Messungen). Das Geräusch wird nicht als tonhaltig empfunden, d. h., es sind keine Zuschläge zu berücksichtigen.

3. Teilzeit

Die Schlagschere wird über den Tag verteilt in unregelmäßigen Abständen eingesetzt. Da die Ergebnisse der ersten beiden Messungen des äquivalenten Dauerschallpegels um 2,4 dB(A) differieren, werden insgesamt vier Messungen in der Kabine durchgeführt. Daraus errechnet sich ein mittlerer äquivalenter Dauerschallpegel $L_{pAeq,m}$ von 67,4 dB(A). Gleichzeitig wird jeweils der Impulzzuschlag K_1 bestimmt, der sich im Mittel zu 4,3 dB(A) ergibt.

Anhang 4

Der Beurteilungspegel lässt sich nach der Formel

$$L_r = 10 \lg \left(\sum_{m=1}^M \frac{x_m}{100} 10^{0,1 \cdot L_{p,m}} \right) \text{ dB(A)}$$

berechnen. Um diesen Rechengang anschaulich darzustellen, sind die einzelnen Teilzeitpegel und die prozentual angegebenen Zeiten in Tabelle 40 zusammengestellt.

Tabelle 40:
Berechnung des Beurteilungspegels aus Teilzeitpegeln

Tätigkeit m	Teilzeitpegel $L_{p,m}$ in dB(A)	Teilzeitdauer x_m in %	Formelgröße $\frac{x_m}{100} 10^{0,1 \cdot L_{p,m}}$
1	$47,2 + 3 = 50,2$	15	$15,71 \cdot 10^3$
2	$61,8 + 0 = 61,8$	80	$1\,210,85 \cdot 10^3$
3	$67,4 + 4,3 = 71,7$	5	$739,55 \cdot 10^3$
		Σ	$1\,966,11 \cdot 10^3$

Nach der Summation der einzelnen Geräuschanteile in der letzten Spalte der Tabelle lässt sich daraus durch Logarithmierung und Multiplikation mit 10 ein Beurteilungspegel L_r von ca. 63 dB(A) errechnen:

$$L_r = 10 \lg (1\,966,11 \cdot 10^3) \text{ dB} = 62,9 \text{ dB(A)}$$

Mit Blick auf die Richtlinie VDI 2058-3 (siehe Abschnitt 8.4 der Vorgehensempfehlung) ist der Arbeitsplatz in der Meisterkabine also für „einfache oder überwiegend mechanisierte Bürotätigkeiten“ geeignet.

Anhang 5: Hilfen zur Quellensuche

Tabelle 41 gibt einen Überblick über die im Rahmen des MGU-Messprogramms „Innenraummessungen“ routinemäßig erfassten flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) und ihre möglichen Quellen im Innenraum. Sie erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und soll lediglich erste Anhaltspunkte liefern.

Tabelle 41:
Mögliche Quellen für die mit dem MGU-Messprogramm „Innenraummessungen“ routinemäßig untersuchten Substanzen in der Innenraumluft [1]

Substanz/ Substanzgruppe	Mögliche Quellen und Hauptverwendungen	Geruchswahrnehmung
Kohlenwasserstoffgemische, aliphatische (C ₉ bis C ₁₄) [2]	Lösungsmittel in Farben, Lacken und anderen Beschichtungsmitteln; Mittel in chemischen Reinigungen; zur Auto-, Schuh- und Bodenpflege; Möbelpolitur; Nebenbestandteil in Wasserlacken	benzinartig, gering
Alkane		
n-Heptan	Lösungsmittel für (schnelltrocknende) Lacke und Klebstoffe	schwach, benzinartig
n-Octan	Lösungsmittel (z. B. Lackverdünner); in Acrylprodukten	benzinartig
n-Nonan	zur Herstellung von Tensiden; Benzin-, Brennstoff- und Lampenölinhaltsstoff; Lösungsmittel	benzinartig
n-Decan	Lösungsmittel enthalten in Benzin	benzinartig
n-Undecan	enthalten in Benzin	benzinartig
n-Dodecan	enthalten in Benzin	benzinartig
n-Tridecan	enthalten in Benzin, Heizöl, Farben, Lacken	benzinartig
n-Tetradecan	enthalten in Erdöl	benzinartig
n-Pentadecan	enthalten in Benzin, Heizöl, Farben, Lacken	benzinartig
n-Hexadecan	enthalten in Vaseline, in Benzin und Erdöl	benzinartig

Anhang 5

Substanz/ Substanzgruppe	Mögliche Quellen und Hauptverwendungen	Geruchswahrnehmung
Aromatische Verbindungen		
Benzol	Lösungs- und Reinigungsmittel; Antiklopfmittel in Kraftstoffen; früher als Lösungsmittel für Kautschuklacke, Wachse, Harze und Öle	aromatisch
Toluol [3]	In der Nachbarschaft von Toluol emittierenden Betrieben (Druckereien, Tankstellen) sowie in Räumen, die unmittelbar an Garagen angrenzen, ist generell mit erhöhten Toluolkonzentrationen zu rechnen. in toluolhaltigen Baumaterialien; in frischen Druckerzeugnissen; Lösungsmittel (als Ersatz für Benzol) in Farben, Lacken (z. B. auch Nagellack), Klebstoffen, Möbelpflegemitteln, Gummi, Fetten	blumig, stechend
Ethylbenzol	Lösungsmittel in Farben und Anstrichmitteln; enthalten in polymeren Materialien wie Fußboden- belägen und -rückenmaterialien	aromatisch
o-Xylol m-Xylol p-Xylol	Technische Xylolemische enthalten meist die drei Isomeren o-Xylol (20 bis 24 Vol%), m-Xylol (42 bis 48 Vol%), p-Xylol (16 bis 20 Vol%) und zusätzlich Ethylbenzol (10 bis 11 Vol%). Lösungsmittel in Natur- und Kunstharzen, Fetten, Wachsen; enthalten in Ottokraftstoffen; zur Herstellung von Lacken, Farben, Druckfarben, Klebstoffen, Bautenschutzmitteln, Insektiziden etc.	aromatisch
1,2,3-Trimethyl- benzol 1,2,4-Trimethyl- benzol 1,3,5-Trimethyl- benzol (Mesitylen)	zur Herstellung von Arzneimitteln und Farbstoffen; Zwischenprodukt bei der Herstellung von Riechstoffen	aromatisch
Styrol [4]	Wegen eines verbleibenden Gehaltes an Restmono- meren können zahlreiche Verbraucherprodukte (z. B. Haushaltsgeräte, Verpackungen, Teppichböden) die Innenraumluft mit Styrol verunreinigen. Lösungsmittel und Reaktionspartner für ungesättigte Polyesterharze; Einschlussmittel für anatomische Präparate; zur Herstellung von Polystyrol (für Verpackungen, Dämmstoffe, Bauteile etc.) und Polystyrol-Copoly- meren mit Acrylnitril, Butadien, Maleinsäureanhydrid usw. sowie Thermoplasten	süßlich Gewöhnung an den Geruch geruchsintensiv

Substanz/ Substanzgruppe	Mögliche Quellen und Hauptverwendungen	Geruchs- wahrnehmung
Naphthalin [5]	in Mottenkugeln und Insektiziden; aus teerbeschichteten Feuchtigkeitssperren, aus Rieselsperren (unterhalb von Schüttungen) oder aus Fugen im Parkett, das mit Teer verklebt worden war; vereinzelt aus Kautschukbodenbelägen; aus Leckagen von Mineralöltankanlagen in Keller-räumen; Naphthalin wird in einigen europäischen und außer-europäischen Ländern zur Konservierung von Natur-produkten (z. B. Leder, Naturborsten) eingesetzt.	nach Mottenpulver und Teer geruchsintensiv
Phenol [6]	Die früher in Deutschland weit verbreitete Anwendung von Phenol als Desinfektionsmittel z. B. in Wäsche-reien oder Pflegeprodukten ist seit mehr als einem Jahrzehnt aufgegeben worden. Lösungsmittel; zur Herstellung von Phenolharzen, Weichmachern, Antioxidantien, Seifen, Shampoos, Klebstoffen, Schmierstoffen, Farbstoffen u. a.	durchdringender Geruch geruchsintensiv
Alkohole		
Butan-1-ol	Lösungsmittel in Lacken, Farben, Harzen, Gummi; Zersetzungsprodukt durch Hydrolyse von Weich-machern, daher Hinweis auf Feuchteschäden oder hohe Bauwerksrestfeuchte (Hydrolyse von Dibutyl-phthalat)	ethanolisch Gewöhnung an den Geruch
2-Ethylhexan-1-ol	Lösungsmittel für Fette, Wachse, Öle und Harze; Dispergiermittel für Pigmente; Weichmacher; Zersetzungsprodukt durch Hydrolyse des gängigsten Weichmachers DEHP, daher Hinweis auf Feuchte-schäden oder hohe Bauwerksrestfeuchte	alkoholisch geruchsintensiv
Hexan-1-ol [7]	Vorkommen z. B. in Tapeten, Teppichböden, Heizkörper-Verdunsterröhrchen	süßlich
Ketone		
Butanon	Lösungsmittel für Vinylharze und Nitrocelluloselacke; Vergällungsmittel für Ethanol	acetonähnlich
4-Methylpentan-2-on	Lösungsmittel; enthalten in Beschichtungsstoffen auf der Binde-mittelbasis von Cellulosenitrat u. a. Naturharzen und Kunstharzen sowie Epoxidharzen; enthalten in Druckfarben als Lösungsmittel für Farb-stoffe und Bindemittel	angenehm Gewöhnung an den Geruch

Anhang 5

Substanz/ Substanzgruppe	Mögliche Quellen und Hauptverwendungen	Geruchswahrnehmung
Ester	Lösungsmittel in Lacken und Klebern, Parfums und Geruchsverbesserern	angenehmer, fruchtiger Geruch
Ethylacetat	Hauptbestandteil vieler Speziallösungsmittel; zur Herstellung von Nagellack und Nagellackentferner; zur Aromatisierung von Likören, Bonbons, Limonaden und Arzneimittelzubereitungen; wichtiges Lösungsmittel bei der Herstellung von Cellophan, Celluloid, Collodiumwolle, Lacken, Kunstharz usw.	fruchtig (typischer „Uhu“-Geruch)
n-Butylacetat	Lösungsmittel für Lacke; Extraktionsmittel; zur Herstellung von Essenzen, Fleckenwasser, Glanzpapier, Nagelpflegemittel; enthalten in Abbeizern, Bauchemikalien	fruchtig
Acrylate (Ester der Acrylsäure)	überwiegend als Methylmethacrylat in Acrylharzen, Klebstoffen oder Dichtmassen	stechend
Glykolether und -ester		
2-Butoxyethanol	Lösungsmittel für Druckfarben; Verdünnungsmittel; Veredelungsmittel; zur Herstellung von Lacken	schwach ätherisch
2-Butoxyethylacetat	enthalten in Flexo-, Tief- und Siebdruckfarben; verwendet für Leder- und Textildruck	schwach esterartig
2-(2-Butoxyethoxy)-ethanol	enthalten in Mitteln zur Oberflächenreinigung, Bohr- und Schneidölen, Schäumen zur Brandbekämpfung; zur Herstellung von Weichmachern	schwach, fruchtig, fast geruchlos
2-(2-Butoxyethoxy)-ethylacetat	enthalten in Druckfarben, Kugelschreiberpasten, Außen-/Innenfarben und Kunstharzputzen, Holzbeizen, Möbelpolituren und Reinigungsmitteln	fruchtig
2-Phenoxyethanol	Lösungsmittel in Tinten, Kugelschreiberpasten, Druckpasten und Stempelfarben; Fixativ für Parfums und Seifen; zur Herstellung von Weichmachern, Luftverbesserern	schwach aromatisch
Terpene		
α -Pinen [8]	flüchtiger Bestandteil des Harzöls von Nadelhölzern; Hauptkomponente des Terpentinöls; verwendet als Lösungsmittel in Oberflächenbehandlungsmitteln und Klebern, in Haushaltsprodukten (z. B. Schuhcremes, Bodenreinigungsmittel); verwendet als Duftzusatz in Kosmetika; natürlicher Bestandteil pflanzlicher Lebensmittel (z. B. Orangen, Zitronen, Karotten); enthalten in Arzneimitteln	kiefernartig

Substanz/ Substanzgruppe	Mögliche Quellen und Hauptverwendungen	Geruchswahrnehmung
Limonen [9]	enthalten in Zitrusöl, aber auch in vielen anderen ätherischen Ölen etwa von Fenchel und Kümmel, sowie in vielen Nahrungspflanzen; verwendet als Lösungsmittel in der Lackindustrie und im Heimwerker- und Haushaltsbereich z. B. als Abbeizmittel, Pinselreiniger, Lasur, Pflegemittel, Politur; verwendet als Duftstoff im Kosmetikbereich; verwendet zur Aromatisierung von Lebensmitteln; in ätherischen Ölen zur medizinischen Verwendung bei der Behandlung von Erkältungskrankheiten; erhöhte Werte treten u. a. beim Schälen von Zitrusfrüchten (um 2 mg/m ³) auf; enthalten in Alkydharzlacken (Öllacken), Schuhcremes, Bohnerwachsen	angenehm, zitrusähnlich
3-Karen	flüchtiger Bestandteil des Harzöls von Nadelhölzern; verwendet als Lösungsmittel in Oberflächenbehandlungsmitteln und Klebern, in Haushaltsprodukten (z. B. Schuhcremes, Bodenreinigungsmittel); verwendet als Duftzusatz in Kosmetika; natürlicher Bestandteil pflanzlicher Lebensmittel (z. B. Orangen, Zitronen, Karotten); enthalten in Arzneimitteln	angenehm süßlich
Aldehyde	Linoleum, Alkydharzlacke, Leinölfirnis und andere trocknende Öle, Bodenbeläge aus PVC, Duftöle, Parfums, Koch- und Backdämpfe	
Formaldehyd	Hilfsmittel in der Textil-, Leder-, Pelz-, Papier- und Holzindustrie; Konservierungsmittel und Desinfektionsmittel in Medizin und Technik; verwendet überwiegend zur Harzherstellung mit Harnstoff (Klebstoffe mit Spanplatten), Phenolen und Melamin; wasserfreier, reiner Formaldehyd dient zur Herstellung thermoplastischer Kunststoffe	
Acetaldehyd	Aromastoff für frischen Fruchtgeschmack, u. a. in alkoholischen Getränken; Nebenprodukt der alkoholischen Gärung z. B. bei der Teigbereitung; menschliches Stoffwechselprodukt; Entstehung durch Abbauprozesse z. B. Eiweißabbau im Hausstaub	stechend
Propionaldehyd	zur Herstellung von Kunststoffen, Weichmachern, Kautschuk-Hilfsprodukten, Vulkanisationsbeschleunigern, Phenolharzen, Demulgiermitteln, Aroma- und Duftstoffen, Agrochemikalien, Schädlingsbekämpfungsmitteln und Arzneimitteln	stechend
Butyraldehyd	zur Herstellung von Kunstharzen, Weichmachern, Lösungsmitteln, synthetischen Gerb- und Riechstoffen, Vulkanisationsbeschleunigern	stechend

Anhang 5

Substanz/ Substanzgruppe	Mögliche Quellen und Hauptverwendungen	Geruchswahrnehmung
Glutaral (Glutardialdehyd)	Konservierungsmittel zur Desinfektion von Geräten und Instrumenten in der kosmetischen Industrie und der Medizin; Härter für Gelatine; Gerbmittel in der Lederverarbeitung; Hydrophobierungsmittel für Papier, Tapeten etc.	scharfer unangenehmer Geruch
Höhere Aldehyde wie Pentanal, Hexanal (Capronaldehyd), Heptanal, Octanal, Nonanal oder Decanal [10]	Inhaltsstoffe von natürlichem Holz, demzufolge z. B. enthalten in Parkett oder Alkydharzprodukten infolge von Sekundäremission auftretend, durch Fettsäureabbau in Harzen und Ölen; daher in Linoleum, Naturöl-Produkten (vor allem auf Leinölbasis) und Klebern enthalten; Hexanal ist in vielen Innenräumen der Hauptaldehyd	fettig, ranzig oder stechend, sehr geruchsintensiv (bes. Octanal, Nonanal und Decanal)
Siloxane [11]	enthalten in zahlreichen Verbraucherprodukten wie zum Beispiel Haar- und Körperpflegemitteln, Kosmetika, Wasch- und Reinigungsmitteln, Möbelpolituren, in Schnullern und Backformen sowie in Elektronikbauteilen; enthalten in Fugendichtmassen, Farben, Lacke, Papiermaterialien oder Textilien; D5 stellt in der Regel das Siloxan mit der höchsten Konzentration dar	kaum wahrnehmbarer Geruch

Literatur

- [1] GESTIS-Stoffdatenbank – Gefahrstoff-informationssystem der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin
www.dguv.de/ifa/stoffdatenbank
- [2] *Sagunski, H.; Mangelsdorf, I.*: Richtwerte für die Innenraumluft: Aromatenarme Kohlenwasserstoffgemische ($C_9 - C_{14}$). Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz 48 (2005) Nr. 7, S. 803-812
- [3] *Sagunski, H.*: Richtwerte für die Innenraumluft: Toluol. Bundesgesundheitsbl. (1996) Nr. 11, S. 416-421
- [4] Richtwerte für die Innenraumluft: Styrol. Bundesgesundhbl. (1998) Nr. 9, S. 392-398
- [5] *Sagunski, H.; Heger, W.*: Richtwerte für die Innenraumluft: Naphthalin. Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz 47 (2004) Nr. 7, S. 705-712
- [6] Richtwerte für Phenol in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz 54 (2011) Nr. 11, S. 1262-1268
- [7] *Wolkoff, P.*: Volatile organic compounds – Sources, emissions, and the impact on indoor air quality. Int. J. Indoor Air and Climate (1995) Nr. 3, S. 1-73
- [8] *Sagunski, H.; Heinzow, B.*: Richtwerte für die Innenraumluft: Bicyclische Terpene (Leitsubstanz α -Pinen). Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz 46 (2003) Nr. 4, S. 346-352
- [9] Richtwerte für monocyclische Monoterpene (Leitsubstanz d-Limonen) in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz 53 (2010) Nr. 11, S. 1206-1215
- [10] Richtwerte für gesättigte azyklische aliphatische C_4 bis C_{11} -Aldehyde in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz 52 (2009) Nr. 6, S. 650-659
- [11] Richtwerte für zyklische Dimethylsiloxane in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz 54 (2011) Nr. 3, S. 388-398

Anhang 6: Stichwortverzeichnis

Symbole

2-Ethylhexanol..... 160

A

Acetat..... 133, 218
Acrylat..... 153, 218
Actinomyceten..... 179, 182
AgBB..... 43
Air Quality Guidelines..... 138
Aldehyd..... 130, 132, 133, 139, 144, 146, 153, 219, 220
Alkan..... 133, 139, 143, 145, 215
Alkohol..... 49, 133, 143, 145, 217
Allergie..... 178
arbeitsmedizinische Untersuchung..... 27
Arbeitsmittel..... 56
Arbeitsplatzgestaltung..... 56
Arbeitsplatzgrenzwert..... 137, 138
Arbeitsplatzumgebung..... 56
Arbeitsraum..... 32
Arbeitsumfeld..... 21, 207
aromatische Verbindung..... 25, 49, 133, 143, 145, 216
Asbest..... 158, 159
Außenluftqualität..... 137

B

Bakterien..... 175, 177, 179, 182, 186
Bauchemikalie..... 43, 44
Bauprodukt..... 43
Baustoff..... 44
Behaglichkeitsbereich..... 83

Anhang 6

Bekleidung	90
Beleuchtung	36
Beleuchtungsanlage	39, 40
Beleuchtungsniveau	37
Beleuchtungsstärke	36, 37, 38, 40, 69
Benzo[a]pyren	141
Benzol	62, 64, 141, 216
Beschichtungsstoff	48
Beurteilungspegel.....	75, 77, 78, 79, 213
Bildschirmarbeitsplatz.....	66
Bildschirmbeleuchtungsstärke.....	70
Bildschirmdarstellung.....	69
Bildschirmgerät	66, 100, 104, 112
Bildungsbereich	80
Biozid	158
Blendung.....	38, 39
Bodenverlegearbeit	46
Butanol.....	160

D

DDT	162
DECT-Anlage	106
Desinfektionsmittel	44
Dicarbonsäuredimethylester	154
Dioxin	168
Drucker.....	59, 151

E

Einrichtung	21, 207
elektrisches Feld.....	101
Elektrogerät	101
elektromagnetisches Feld	67, 96, 108, 113
elektrostatische Aufladung	93, 94, 112
elektrostatisches Feld	67, 93, 112
EMICODE®	50
Emissionsquelle	43
Energiesparlampe.....	157
Energieumsatz.....	90
Energieverteilungsanlage.....	103
Entspiegelung.....	68

Ergonomie	56
Ester.....	49, 133, 143, 145, 218
Ethylen-Vinylacetat	48
extraaurale Lärmwirkung.....	74

F

Faserstaub.....	158
Fehlbeanspruchung	191
Feinstaub	158
Fensterfläche	36
Feuchteschaden	175, 179, 183, 184, 217
Fliesenlegearbeit	46
flüchtige organische Verbindung.....	152, 215
Formaldehyd.....	46, 47, 130, 141, 152, 219
freie Lüftung	30
Freileitung	103, 108
Fungizid.....	162
Funkanwendung	104
Furan	168
Fußbodentemperatur	86

G

Gebäude.....	21, 207
Gefahrenrichtwert.....	138
Gefahrstoffquelle.....	124
Geräusch	80
Geruch.....	24, 26, 175, 181
Geruchsschwellenwert.....	24
Geruchssinn	23, 25
Geruchsstoff.....	124, 133, 149
gesundheitliche Beschwerden	17, 195, 200
GISBAU.....	43
GISCODE.....	43
Glanzgrad	38
Glykolether und -ester.....	218
Glykole/Glykolether.....	133
Glykolether.....	139
Gütemerkmale der Beleuchtung.....	37
GuT-Siegel	50

Anhang 6

H

Handy.....	106
Harnstoff-Formaldehyd-Harz	47
Heizungsanlage	30, 32
Helligkeit	38
Herzschrittmacher	112
Holz.....	43
Holzleim	46
Holzschutzmittel.....	46, 162
Holzwerkstoff.....	46, 47
Hybridlüftung.....	30
Hygieneinspektion.....	33
Hylotox	162

I

Innenraum.....	13
Innenraumarbeitsplatz.....	13
Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte.....	142, 143
Innenraummessung.....	131
Insektizid.....	160, 162, 163
ionisierende Strahlung.....	67, 115

K

Keton.....	133, 143, 145, 217
Kindergarten.....	108
Kindertageseinrichtung.....	131
Kindertagesstätte	160, 163
Klassenraum-Referenzwert.....	144
Klebstoff.....	44, 48
Klimaanforderung	83
Klimaanlage.....	30, 175
Klimaempfinden	83
Klimaparameter	34
Klimasummenmaß.....	85, 90
Kohlendioxid	130, 132, 149, 150
Konservierungsstoff.....	44
Kopierer.....	59, 151
Körperhilfsmittel.....	112
künstliche Mineralfasern	159

L

Lack.....	44, 48
Lärm	73, 80
Lärmbelästigung.....	33
Lärmbelastung.....	73, 80
Lärmexpositionspegel.....	74
Laserdrucker.....	59, 151
Legionellen.....	180
Leuchtdichte.....	38
Lichtfarbe	39, 41
Limonen	219
Lindan	162
Lösungsmittel.....	43, 44, 49
Luftbefeuchter	32, 33, 34
Luftbehandlung	32
Luftfeuchte	89, 94
Luftfilter.....	33
Luftgeschwindigkeit.....	88
Lufttemperatur.....	86, 87
Luftverunreinigung.....	124
Luftwechselzahl.....	133

M

magnetisches Feld	101
maschinelle Lüftung	30
Messstrategie	128
Mikroorganismen.....	89, 175, 181, 185
Mikrowellenherd.....	107
Milbe	175, 180
Möbel.....	46
Mobilfunk	105, 106
Mobilfunkstation	104, 106
Monitor	66, 100, 104, 112
Monotonie.....	192
Montageschaum.....	46
Mucous Membrane Irritation	180
Multiple Chemical Sensitivity Syndrom.....	192
Muskel-Skelett-Belastung	56

Anhang 6

N

Nachhallzeit	80
Naphthalin	139, 141, 217
Nitrocelluloselack	48
Notebook.....	68

O

optische Strahlung.....	67
Organophosphat.....	161
Ortstermin	17
Ozon.....	61, 64, 151

P

PAK.....	141, 158
Papier.....	60
Passivsammler	130
PCB	165
Pentachlorphenol	162
Permethrin.....	160
Pettenkoferzahl	149
Phenol.....	139, 217
Phosphorsäureester.....	161
Phthalat.....	153, 159
Pinen.....	218
PMV-Index	91
Polyurethanlack.....	48
PPD-Index.....	91
psychische Belastung	191
psychische Ermüdung.....	192
psychischer Faktor	191
psychische Sättigung.....	192
Pyrethroid.....	161, 162

Q

Quecksilber	140, 157
Quellensuche	215
Quellstärke.....	134

R

Radon.....	115, 116, 118, 141
RAL-UZ 14.....	60
Raumakustik.....	80
Raumklima	83
Raumklimacheck	85
Raumluftqualität.....	26, 30, 42, 131, 133, 137, 138, 149, 154
raumluftechnische Anlage	30, 88, 175, 176, 180
Raumlüftung.....	149
Raumtemperatur.....	86
Referenzwert.....	142, 146
Reflexion	68
Reflexionsgrad.....	38
Reflexionsklasse.....	68
Reinigungsmittel.....	44
Richtwert	138, 139
runder Tisch.....	20

S

Schadstoff.....	127
Schadstoffkonzentration.....	134
Schadstoffmessung.....	128
Schadstoffquelle	124, 128
Schalldruckpegel.....	73
Schallpegelmesser	77, 79
Schallpegelwert.....	79
Schimmelpilz.....	89, 175, 177, 179, 182, 184, 186
Schnurlostelefon	106
Schule	80, 108, 131, 144, 150
Sensibilisierung.....	178, 179
Sick-Building-Syndrom.....	13, 192
Siloxan	133, 140, 144, 146, 220
Spanplatte.....	47
spezifische Absorptionsrate.....	99, 106
Spiegelung	68
Sprachverständlichkeit	80
Staub	61, 153, 157, 160, 162, 163
Störfaktor	201
Strahlenexposition	115, 117, 118, 120

Anhang 6

Strahlungstemperatur	86, 87
Stress	192
Stressor	192
Styrol	63, 64, 140, 143, 145, 216

T

Tabakrauch	159
Tageslichtquotient	36
technische Ausstattung	21, 207
Teppichboden	49
Teppichkleber	50
Terpen	140, 144, 145, 218
Terpen/Sesquiterpen	133
Toluol	140, 143, 145, 216
Toner	60, 61, 63
Tonerstaub	59, 61, 63
TVOC	46, 51, 62, 130, 132, 143, 145, 154, 155

U

Umluftanlage	31
Umweltzeichen	43

V

Verdauung	18
VOC	62, 64, 130, 132, 144, 152, 154
VOC-Quellen	154
Vorsorgerichtwert	138

W

Wasserschaden	175
Weichmacher	158, 159, 165, 217
WHO-Leitlinien	138, 141
Wireless-LAN-System	104

X

Xylol	143, 145, 216
-------------	---------------

Z

Zugluft..... 88

**Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung e.V. (DGUV)**

Mittelstraße 51
10117 Berlin
Telefon: 030 288763800
Fax: 030 288763808
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de