

Innenraumarbeitsplätze – Vorgehensempfehlung für die Ermittlungen zum Arbeitsumfeld

Report der gewerblichen Berufsgenossenschaften,
der Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand
und des Berufsgenossenschaftlichen
Instituts für Arbeitsschutz – BGI A



**Bundesverband
der Unfallkassen**



HVBG

Hauptverband der
gewerblichen
Berufsgenossenschaften

Zusammengestellt von:	Nadja von Hahn und Horst Kleine Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA
Erarbeitet:	von der Arbeitsgruppe „Handlungsanleitung Innenraumluftqualität“ unter Mitarbeit von Bert Aengenvoort, BGIA; Elisabeth Arnold, Verwaltungs-BG; Ute Bagschik, Maschinenbau- und Metall-BG; Axel Barig, BGIA; Fritz Börner, BGIA; Dietmar Breuer, BGIA; Christoph Deininger, BG für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege; Eckehard Droll, BG der chemischen Industrie; Suresh Duggal, BG Nahrungsmittel und Gaststätten; Gerald Eckhardt, BGAG; Christian Felten, BG für Fahrzeughaltungen; Markus Fischer, BG der Feinmechanik und Elektrotechnik; Hans-Peter Fröhlich, Großhandels- und Lagerei-BG; Manfred Giebner, BG der Gas-, Fernwärme- und Wasserwirtschaft; Ralf Hertwig, BGIA; Ulrike Hoehne-Hückstädt, BGIA; Norbert Kluger, BG BAU; Annette Kolk, BGIA; Bernhard Küter, BG Druck und Papierverarbeitung; Ulrich Metzdorf, BG für Fahrzeughaltungen; Kai Lüken, BGIA; Peter Michels, BG der Feinmechanik und Elektrotechnik; Sylke Neumann, BGlicher Fachausschuss Verwaltung; Heinz-Dieter Neumann, Gemeindeunfallversicherungsverband Westfalen-Lippe; Wolfgang Pfeiffer, BGIA; Klaus Pohl, Verwaltungs-BG; Harald Siekmann, BGIA; Thomas Smola, BGIA; Klaus-Werner Stahmer, BG der Feinmechanik und Elektrotechnik; Isabel Warfolomeow, BG Metall Süd; Gitte Weber, BG Druck und Papierverarbeitung; Matthias Weigl, BG Nahrungsmittel und Gaststätten
Redaktion:	Zentralbereich des Berufsgenossenschaftlichen Instituts für Arbeitsschutz – BGIA, Sankt Augustin HVBG, Sankt Augustin
Herausgeber:	Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG) Alte Heerstraße 111, D-53754 Sankt Augustin Telefon: 0 22 41 / 2 31 - 01 Telefax: 0 22 41 / 2 31 - 13 33 Internet: www.hvbg.de 2., vollständig überarbeitete Auflage – Juli 2005
Satz und layout:	HVBG, Kommunikation
Druck:	Druckerei Plump GmbH, Rheinbreitbach
ISBN	3-88383-681-8

Kurzfassung

Laut Angaben der Weltgesundheitsorganisation klagen 20 bis 30 Prozent aller in Büros Beschäftigten über Symptome wie Brennen der Augen, Kratzen im Hals, verstopfte Nase oder Kopfschmerzen. In den Medien werden diese Beschwerden gelegentlich unter Begriffen wie „Sick-Building-Syndrom“, „Building related Illness“ oder auch „Multiple chemische Sensitivität“ aufgegriffen. Die betriebs- und volkswirtschaftlichen Verluste durch diese typischen Bürokrankheiten gehen in die Milliarden – eine Belastung also nicht nur für die Betroffenen, sondern auch für die Wirtschaft!

Der vorliegende Report enthält eine auf die Praxis zugeschnittene, gestuft modulare Ermittlungs- und Beurteilungsstrategie zur Behandlung von Fällen mit Innenraumproblemen. Die Vorgehensweise berücksichtigt alle wesentlichen Faktoren, die nach dem heutigen Stand der Kenntnis als Ursache für Innenraumprobleme in Erwägung zu ziehen sind.

Die dabei zugrunde gelegte Strategie sieht in der ersten Stufe im Rahmen einer

Grunderhebung eine Eingrenzung des Problems auf wahrscheinliche Ursachen vor. Die Grunderhebung beinhaltet die Erhebung der auftretenden Beschwerden und Ermittlungen zum Arbeitsumfeld. In weiteren Stufen folgen danach gezielte Erhebungen zur Ursachenaufklärung. Dabei sollen durch ein entsprechendes „Screening“ die Weichen für weitere Ermittlungen (Spezialerhebungen) gestellt werden, und zwar zu den folgenden Themen: gesundheitliche Beschwerden, Gebäude/Einrichtungen, physikalische, chemische und biologische Einwirkungen sowie psychische Faktoren.

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 sinnvoll erscheinen und zugleich als Grundlage für die Neugestaltung von beschwerdefreien und leistungsfördernden Arbeitsbedingungen in Innenräumen dienen können.

Abstract

According to information from the World Health Organisation, 20 to 30 percent of all office workers complain of symptoms such as stinging eyes, scratchy throats, stuffed noses or headaches. The media occasionally categorises these complaints as "sick-building syndrome", "building-related illness", or even "multiple chemical sensitivity". Losses to company profits and to the economy as a whole run into the billions as a result of these typical office illnesses – losses not only for the individuals concerned, but for the economy as well!

The present report contains an identification and assessment strategy adapted to the workplace level with a modular structure to treat cases of complaints resulting from indoor environments. This procedure considers all the key factors that should be examined – in line with the most up-to-date information – as possible causes for indoor environment problems. The underlying strategy

applied here allows the probable causes to be identified by means of a basic survey. The basic survey covers the complaints occurring as well as investigations into the working environment. The succeeding steps consist of specific surveys in order to identify the relevant risk factors in the workplace under investigation. Within this procedure, appropriate screening can provide the basis for further investigations (special surveys) on the following subjects: health complaints, building and furnishings/equipment, physical, chemical, biological, and psychological factors. The individual modules contain a wealth of information for the user. While exceeding the framework of complaint identification, this information can be meaningfully applied in gaining a more profound understanding of a case situation. At the same time, it can also serve as the basis for redesigning working conditions within interiors in order to alleviate complaints and to promote productivity.

Résumé

Selon les indications fournies par l'Organisation mondiale de la Santé, 20 à 30 pour cent des personnes employées dans un bureau se plaignent de symptômes d'irritation des yeux, de grattements dans la gorge, de nez bouché ou de maux de tête. Les médias abordent de temps en temps ces troubles en leur donnant le nom de «Sick-Building-Syndrom», «Building related Illness» ou de «sensibilité chimique multiple». Les pertes d'exploitation et pertes économiques générées par ces maladies de bureau typiques se chiffrent à des milliards – ce qui représente donc une charge non seulement pour la personne concernée, mais également pour l'économie dans son ensemble!

Le présent rapport comporte une stratégie de diagnostic et d'évaluation adaptée à la pratique, modulaire et échelonnée, visant à traiter les pathologies causées par le confinement des bureaux. La méthode prend en compte tous les facteurs essentiels qui, selon l'état actuel des connaissances, doivent être considérés comme la cause des problèmes générés par le confinement des bureaux.

La première étape de cette stratégie sur laquelle se fonde le rapport prévoit, dans le cadre d'un examen de base, une limitation du problème à ses causes probables. L'examen de base recense les troubles se manifestant et les recherches concernant l'environnement de travail. D'autres étapes prévoient ensuite la réalisation de relevés ciblés visant à déterminer les causes. Dans ce cadre, les jalons pour d'autres examens (relevés spécifiques) doivent être posés par le biais d'un «Screening» adapté, et ce concernant les thèmes suivants: troubles de santé, bâtiment/aménagements, effets physiques, chimiques et biologiques, facteurs psychologiques.

Les différents éléments constitutifs contiennent une foule d'informations pour l'utilisateur, qui s'étend au-delà de la détection de troubles puisqu'ils semblent intéressants pour une compréhension plus approfondie et qu'ils peuvent constituer, en même temps, la base pour une restructuration de conditions de travail, ne constituant plus un environnement propice aux troubles mais étant, à l'inverse, favorable pour le travail dans des locaux intérieurs.

Resumen

Según informaciones de la Organización Mundial de la Salud, el 20 a 30 por ciento de todos los empleados de oficina se quejan de síntomas como ardor de los ojos, irritación de la garganta, nariz obstruida o dolor de cabeza. En los medios de comunicación, estas quejas son tematizadas ocasionalmente bajo términos como «síndrome del edificio enfermo», «enfermedad ligada al edificio» o también «sensibilidad química múltiple». ¡Las pérdidas, tanto de las empresas como macroeconómicas, causadas por estas enfermedades típicas del trabajo de oficina, se elevan a miles de millones – por lo tanto, una carga no sólo para los afectados, sino también para la economía en general!

El presente informe contiene una estrategia de investigación y evaluación modular escalonada, adaptada a la práctica, para el tratamiento de casos de problemas de ambientes interiores. La metodología considera todos los factores esenciales que han de incluirse como causa de los problemas de ambientes interiores de acuerdo con los conocimientos actuales.

La estrategia de base prevé, en una primera fase y en el marco de una encuesta básica, una limitación del problema a las causas probables. La encuesta básica comprende la recogida de informaciones sobre las molestias surgidas e investigaciones con respecto al ambiente de trabajo. En las fases subsiguientes, se recogen informaciones específicas para identificar las causas. Mediante un «screening» correspondiente, se pretende poner las bases para investigaciones adicionales (encuestas específicas) referentes a los siguientes temas: problemas de salud, edificio/instalaciones, efectos físicas, químicas y biológicas, factores psíquicos.

Los diversos módulos contienen una gran cantidad de informaciones para el usuario, que van más allá de la investigación de casos de quejas, pero que parecen importantes para una comprensión más profunda y que, al mismo tiempo, pueden servir como base para una nueva configuración de las condiciones de trabajo en ambientes interiores, sin molestias y favorables a un buen rendimiento.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	13
1 Einleitung	15
2 Grunderhebung	19
2.1 Erhebung der Beschwerden	20
2.1.1 Allgemeine Hinweise	20
2.1.2 Ermittlung.....	20
2.1.2.1 Grunderhebungsbogen G1 (Einzelerhebungsbogen) zur gesundheitlichen Situation am Arbeitsplatz	23
2.1.2.2 Grunderhebungsbogen G2 (Kollektiverhebungsbogen) zur gesundheitlichen Situation am Arbeitsplatz	27
2.1.3 Bewertung	30
2.2 Grunderhebung zum Arbeitsumfeld (Grunderhebungsbogen G3)	38
2.3 Geruch und Geruchssinn	45
2.3.1 Allgemeine Hinweise	45
2.3.2 Beurteilung von Geruchsmissionen	47
2.3.3 Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Geruch und Geruchssinn“	50
3 Spezialmodule	51
3.1 Gesundheitliche Beschwerden – Spezielle arbeitsmedizinische Untersuchungen	52
3.2 Gebäude und Einrichtung	53
3.2.1 Gebäudeparameter	54
3.2.2 Raumluftechnische Anlagen	55

Inhaltsverzeichnis

	Seite
3.2.2.1	Klassifizierung von RLT-Anlagen 55
3.2.2.2	Hinweise zur Ermittlung 57
3.2.2.3	Hinweise zur Auswertung 59
3.2.2.4	Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Raumlufttechnische Anlagen“ 60
3.2.3	Materialien 61
3.2.3.1	Allgemeine Hinweise zur Ermittlung 61
3.2.3.2	Erfassung von Produktemissionen 63
3.2.3.3	Spezielle Baumaterialien 70
3.2.3.4	Identifizierung der Quellen 72
3.2.3.5	Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Materialien“ 73
3.2.4	Arbeitsmittel 75
3.2.4.1	Laserdrucker und -kopierer 75
3.2.4.2	Strahlenemission von Bildschirmgeräten 83
3.2.4.3	Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Arbeitsmittel“ 90
3.3	Arbeitsplatzgestaltung 93
3.3.1	Allgemeine Hinweise 93
3.3.2	Erläuterungen zur Beurteilung 93
3.3.3	Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Arbeitsplatzgestaltung“ 94
3.4	Physikalische Einwirkungen 96
3.4.1	Lärm 96
3.4.1.1	Allgemeine Hinweise 96
3.4.1.2	Hinweise zur Durchführung der Messung 99
3.4.1.3	Hinweise zur Berechnung und Bewertung des Beurteilungspegels 101
3.4.1.4	Geräuschemissionskennwerte typischer Büromaschinen 102
3.4.1.5	Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Lärm“ 102
3.4.2	Raumklima 104
3.4.2.1	Raumklimacheck (Spezialerhebungsbogen S9) 104
3.4.2.2	Raumklimabeurteilungen 105

3.4.2.3	Luffeuchte und ihr Einfluss auf Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit	116
3.4.2.4	Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Raumklima“	120
3.4.3	Beleuchtung in Büroräumen	122
3.4.3.1	Allgemeine Hinweise	122
3.4.3.2	Tageslicht	122
3.4.3.3	Gütemerkmale der Beleuchtung.....	123
3.4.3.4	Planung von Beleuchtungsanlagen in Büroräumen.....	127
3.4.3.5	Instandhaltung	135
3.4.3.6	Überprüfung von Beleuchtungsanlagen	137
3.4.3.7	Spezialerhebungsbogen S10 zur Beleuchtung	141
3.4.3.8	Erläuterung wichtiger Begriffe	143
3.4.3.9	Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Beleuchtung“	146
3.4.4	Elektrostatik und elektromagnetische Felder.....	148
3.4.4.1	Elektrostatik	148
3.4.4.2	Elektromagnetische Felder	153
3.4.4.3	Vorschriften und Grenzwerte	171
3.4.4.4	Zusammenfassung	175
3.4.4.5	Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Elektrostatik und elektromagnetische Felder“	176
3.4.5	Ionisierende Strahlung (Radon).....	179
3.4.5.1	Allgemeine Hinweise	179
3.4.5.2	Ermittlung.....	182
3.4.5.3	Bewertung	183
3.4.5.4	Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Ionisierende Strahlung“	186
3.5	Chemische Einwirkungen	188
3.5.1	Ermittlungen bei chemischen Einwirkungen	188
3.5.1.1	Stäube und Rauche	192
3.5.1.2	Kohlendioxid	195

Inhaltsverzeichnis

	Seite
3.5.1.3	Ozon 196
3.5.1.4	Formaldehyd..... 197
3.5.1.5	Flüchtige organische Verbindungen 198
3.5.1.6	Polychlorierte Biphenyle (PCB) 199
3.5.1.7	Pentachlorphenol (PCP), Lindan und Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT) als Holzschutzmittel 202
3.5.1.8	Pyrethroide 206
3.5.1.9	Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Ermittlungen bei chemischen Einwirkungen“ 207
3.5.2	Messung chemischer Einwirkungen..... 210
3.5.2.1	Messstrategie..... 210
3.5.2.2	Sondermessprogramm „Innenraumstudie Büro“ 214
3.5.2.3	Weitere BGIA-Messverfahren 216
3.5.2.4	Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Messung chemischer Einwirkungen“ 219
3.5.3	Beurteilung von chemischen Einwirkungen..... 221
3.5.3.1	Allgemeine Anmerkungen zur Bewertung der Luftqualität an Innenraumarbeitsplätzen 221
3.5.3.2	Stäube..... 224
3.5.3.3	Kohlendioxid 226
3.5.3.4	Ozon 226
3.5.3.5	Formaldehyd..... 226
3.5.3.6	Flüchtige organische Verbindungen 227
3.5.3.7	Weitere Stoffe..... 244
3.5.3.8	Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Beurteilung von chemischen Einwirkungen“ 245
3.6	Biologische Einwirkungen 248
3.6.1	Allgemeines..... 248
3.6.1.1	Einführung 248

	Seite
3.6.1.2	Vorkommen und Wirkung 249
3.6.2	Ermittlung und Messverfahren 257
3.6.2.1	Vorgehensweise 257
3.6.2.2	Messungen 257
3.6.3	Beurteilung..... 259
3.6.3.1	Allgemeine Beurteilungskriterien 259
3.6.3.2	Beurteilungswerte 259
3.6.4	Präventions- und Sanierungsmaßnahmen..... 265
3.6.5	Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Biologische Einwirkungen“ 267
3.7	Faktoren psychischer Arbeitsbelastung 271
3.7.1	Einführung 271
3.7.2	Erhebungsmethoden 273
3.7.3	Methodeneinsatz 273
3.7.4	Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Faktoren psychischer Arbeitsbelastung“ 275
4	Stichwortverzeichnis 277
Anhang:	
	Übersicht über die Erhebungsbögen 289

Vorwort

Es gilt heute als unumstritten, dass das Arbeitsumfeld in Innenräumen für das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit der Menschen von hoher Bedeutung ist und dass sich Mängel der Luftqualität negativ auf die Gesundheit auswirken können. Moderne Technologien, neue technische Systeme der Heizung und der Lüftung, aber auch neue Materialien beim Bau und Innenausbau haben die Emissionsquellen und die Lüftungsbedingungen in Innenräumen in den letzten Jahren wesentlich verändert.

Klagen über Mängel im Arbeitsumfeld in bestehenden Gebäuden und das Bestreben, bei der Neuerstellung von Arbeitsräumen arbeitsbedingte Gesundheitsgefahren zu vermeiden sowie gesundheits- und leistungsfördernde Bedingungen zu schaffen, führten zu einer wachsenden Zahl von Anfragen der Betriebe bei den Berufsgenossenschaften, den Unfallversicherungsträgern der öffentlichen Hand und beim Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitsschutz – BGI. Fragen traten dabei nicht nur in den klassischen Verwaltungsbereichen, sondern branchenübergreifend auf, da es wohl keinen Gewerbebezweig gibt, der ohne Büro- oder vergleichbare Arbeitsplätze auskommen kann.

Um den Problembereich systematisch anzugehen, entwickelte ein interdisziplinär

zusammengesetzter Arbeitskreis aus Vertretern verschiedener Berufsgenossenschaften und der Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand Ende 2000 den ersten Report „Innenraumarbeitsplätze – Vorgehensempfehlung für die Ermittlungen zum Arbeitsumfeld“. Damals konnten nicht alle für Innenraumarbeitsplätze relevanten Themen behandelt werden. Die nun vorliegende vollständig überarbeitete Fassung versucht, die vorhandenen Lücken zu schließen.

Nach allgemeiner Erfahrung hängen das Wohlbefinden des Menschen an seinem Arbeitsplatz und dementsprechend auch mögliche Beschwerden nicht allein von der Qualität der Atemluft ab. Daher bestand innerhalb des Arbeitskreises von Anfang an Einvernehmen darüber, dass ein über die reine Luftqualität und entsprechende Gefahrstofffragen hinausgehender erweiterter Ansatz zu wählen war. Dabei wurde insbesondere an medizinische, ergonomische und psychische Aspekte gedacht, um damit zugleich dem inzwischen mit dem Sozialgesetzbuch VII „erweiterten Präventionsauftrag“ der Berufsgenossenschaften in Richtung auf die „Verhütung arbeitsbedingter Gesundheitsgefahren“ uneingeschränkt entsprechen zu können.

Die hier vorgelegte Ausarbeitung des Arbeitskreises richtet sich an Aufsichtsper-

Vorwort

sonen der Berufsgenossenschaften und der Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand, Betriebsärzte, Sicherheitsfachkräfte oder auch sonstige Personen, die sich mit Innenraumproblemfällen zu befassen haben. Sie enthält eine Konzeption für eine geeignete Vorgehensweise im Einzelfall sowie eine Fülle von Informationen für den Anwender, die über den Rahmen der alleinigen Ermittlung in Beschwerdefällen hinausgehen. Die Vorgehensempfehlung kann deshalb zugleich denjenigen als Informationsquelle dienen, die Arbeitsplätze so gestalten

wollen, dass Beschwerden von vornherein vermieden werden.

Die Ausarbeitung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie ist für die praktische Anwendung konzipiert und bedarf einer ständigen Überprüfung, damit eine Weiterentwicklung ermöglicht wird, u.a. auch im Hinblick auf Initiierung weiterer wissenschaftlicher Studien. Kritik und Anregungen sind daher ausdrücklich erwünscht und zu richten an das Berufsgenossenschaftliche Institut für Arbeitsschutz – BGIA.

1 Einleitung

Die vorliegende Vorgehensempfehlung „Ermittlungen zum Arbeitsumfeld an Innenraumarbeitsplätzen“ enthält eine gestufte modulare Ermittlungs- und Beurteilungsstrategie zur Behandlung von Fällen mit Innenraumproblemen. 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. Beispielhaft können eine unzureichende Lüftung, Gefahrstoffemissionsquellen oder ein schlechtes Raumklima genannt werden. Daneben sind aber auch psychische und ergonomische Aspekte zu beachten, die häufig als „verdeckte“ Ursachen von Beschwerden anzusehen sind.

Insgesamt muss das Thema „Arbeitsumfeld an Innenraumarbeitsplätzen“ als außerordentlich komplex eingestuft werden. Daher ist es angesichts der Vielzahl von Einflussfaktoren im Einzelfall schwer, einen geeigneten Einstieg in die Bearbeitung eines Falles zu finden. Der Einfachheit halber wird häufig allein nach den subjektiv geäußerten Vermutungen der Beschwerdeführer über Ursachenzusammenhänge vorgegangen. Das kann dazu führen, dass zunächst gezielt aufwändige Gefahrstoffmessungen vorgenommen werden, ohne dass damit auch nur der geringste Beitrag zur Lösung des Problems geleistet wird, weil in Wirklichkeit ganz andere Ursachen vorliegen.

Um eine effektive Ausnutzung der nur begrenzt vorhandenen Mittel und Möglichkeiten zu erreichen, ist es deshalb erforderlich, eine Systematisierung und Objektivierung in die Ermittlungsmethodik zu bringen. Die Strategie dieser Vorgehensempfehlung sieht daher gemäß Abbildung 1 (siehe Seite 16) in der ersten Stufe im Rahmen einer Grunderhebung eine Eingrenzung des Problems auf wahrscheinliche Ursachen vor. In weiteren Stufen folgen danach gezielte spezielle Erhebungen zur Ursachenaufklärung. Dabei sollen durch ein entsprechendes „Screening“ die Weichen für weitere Ermittlungen nach Möglichkeit auf eines der folgenden Themen gerichtet werden:

- Gesundheitliche Beschwerden
- Gebäude/Einrichtung
- Arbeitsplatzgestaltung
- Physikalische Einwirkungen
- Chemische Einwirkungen
- Biologische Einwirkungen
- Psychische Faktoren

Diese Themen sind in Abbildung 1 schematisch angegeben und in der Vorgehensempfehlung jeweils als gesondertes Kapitel der Spezialerhebungen aufgeführt. Führen die Ermittlungsergebnisse nach einem Spezialmodul bereits zur Lösung eines Problems,

1 Einleitung

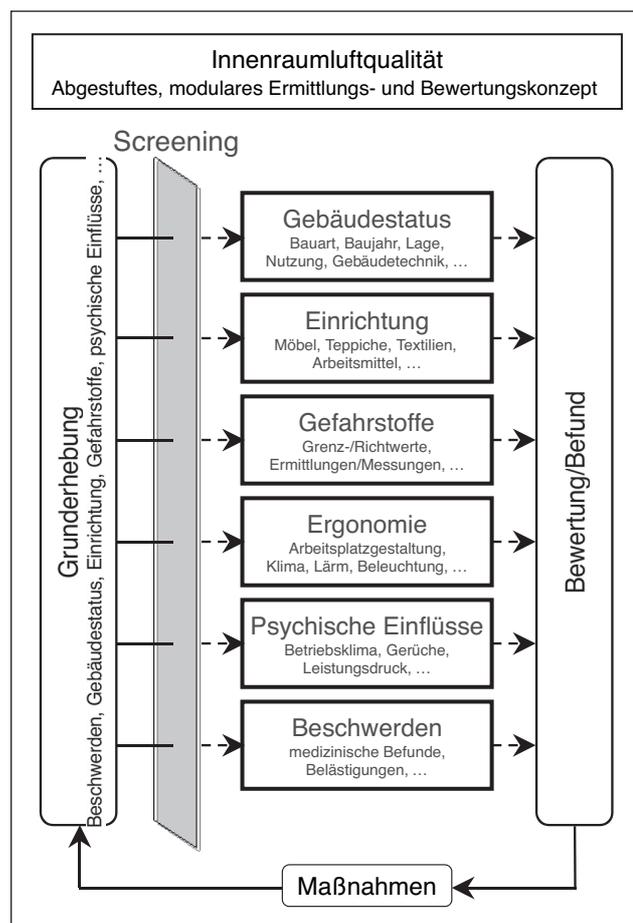


Abbildung 1:
Abgestuftes modulares
Ermittlungskonzept

dann können weitere Untersuchungen nach anderen Spezialmodulen selbstverständlich entfallen. Ist das nicht der Fall, sind weitere möglichst gezielte Untersuchungen vorzu-

sehen. Zwischen den Spezialmodulen bestehen deshalb Verknüpfungen, die durch entsprechende Verweise innerhalb der jeweiligen Kapitel hergestellt werden.

Denkbar ist natürlich auch der Fall, dass die Ermittlungen keine Lösung des Problems erlauben. Hier müssen dann andere Wege zur Lösung gefunden werden.

Das Spezialmodul „Gesundheitliche Beschwerden“ ist bewusst sehr kurz gehalten und enthält lediglich einige Hinweise für Möglichkeiten zum weiteren Vorgehen. Grundsätzlich gehören solche Ermittlungen in die Hand des Mediziners, der seine weiteren Ermittlungen vom Einzelfall abhängig machen wird und deshalb keine entsprechenden Hinweise benötigt. Ähnlich ist die Lage bei psychischen Faktoren; auch hier ist im Einzelfall der Psychologe gefordert.

Im Übrigen gilt auch für die anderen Spezialmodule, dass bei Bedarf entsprechende Fachleute heranzuziehen sind, z.B. Experten für Gefahrstoffmessungen. Da die Spezialerhebungen sehr komplex und möglichst mithilfe von Experten zu bearbeiten sind, wurden die zugehörigen Fragebögen bis auf wenige Ausnahmen aus diesem Report ausgelagert. Sie können auf den Internetseiten des BGIA unter der Adresse <http://www.hvbg.de/bgia>, Webcode: 1506447 sowohl als Microsoft-Word-Datei als auch als PDF-Datei heruntergeladen werden.

Gelegentlich können am Arbeitsplatz auftretende Probleme auf Ursachen im privaten

Bereich zurückgeführt werden. In dieser Vorgehensempfehlung wird versucht, solche Ursachen zu erfassen. Die weitere Behandlung fällt in derartigen Fällen jedoch nicht in den Zuständigkeitsbereich der Unfallversicherungsträger und bleibt hier deshalb unberücksichtigt.

Obwohl nicht als besonderer Baustein ausgewiesen, ist die Ortsbegehung ein wesentliches Element aller Ermittlungen zu Beschwerden über Mängel an Innenraumarbeitsplätzen. In der Regel sollte sie zum ersten Mal im Rahmen der Grunderhebung erfolgen und so weit wie möglich mit Gesprächen mit den Betroffenen und Verantwortlichen verbunden werden. Die Notwendigkeit gezielter Begehungen, zum Beispiel in Verbindung mit der Überprüfung der Arbeitsplatzgestaltung oder der Inspektion der Klimaanlage, ergibt sich meist aus den weiteren Phasen des Vorgehens.

Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen hat in seinem Sondergutachten Innenräume wie folgt definiert:

„Wohnungen mit Wohn-, Schlaf-, Bastel-, Sport- und Kellerräumen; Arbeitsräume bzw. Arbeitsplätze in Gebäuden, die nicht im Hinblick auf Luftschadstoffe arbeitsschutzrechtlichen Kontrollen unterliegen (z.B. Büros, Verkaufsräume), und Arbeitsplätze in öffentlichen Gebäuden (Krankenhäuser, Schulen,

1 Einleitung

Kindergärten, Sporthallen, Bibliotheken, Gaststätten, Theater, Kinos und andere Veranstaltungsräume) sowie die Aufenthaltsräume von Kraftfahrzeugen und alle öffentlichen Verkehrsmittel.“

Innenräume im Sinne der Vorgehensempfehlung sind alle in dieser Definition genannten Räume mit Ausnahme von Wohnungen, Kraftfahrzeuginnenräumen und allen öffentlichen Verkehrsmitteln. Für Arbeitsplätze in Gaststätten, die nach der ursprünglichen Definition ebenfalls zu den Innenräumen zu zählen sind, sind die üblichen Beurteilungsmodelle für die Luftqualität in Innenräumen nicht geeignet.

In den Anwendungsbereich der Vorgehensempfehlung fallen auch Tätigkeiten mit gerin-

ger Gefährdung (Schutzstufe 1) im Sinne der Gefahrstoffverordnung. Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung ist abzuklären, ob die Voraussetzungen hierzu erfüllt sind.

Es ist zu beachten, dass während der abschließenden redaktionellen Bearbeitung dieses Reports die Arbeitsstättenverordnung grundlegend neu gefasst wurde. Für die zur alten Arbeitsstättenverordnung gehörenden Arbeitsstättenrichtlinien gilt eine Übergangsfrist bis zum Vorliegen entsprechender Regeln für Arbeitsstätten, jedoch längstens bis zu sechs Jahre. Insofern stehen die hier getroffenen Aussagen unter dem Vorbehalt notwendiger Anpassungen bei Bekanntmachung von Regeln für Arbeitsstätten.

2 Grunderhebung

Treten an Arbeitsplätzen Beschwerden im Zusammenhang mit einer möglicherweise unzureichenden Qualität der Innenraumbedingungen auf, sind in einem ersten Schritt die Abschätzung der Prävalenz und Art der Beschwerden, der technischen Charakterisierung des Gebäudes und der Arbeitsplätze sowie eine erste Prüfung des Pflege- und Wartungszustandes von Gebäude und raumluftechnischen Anlagen notwendig. Bereits zu diesem Zeitpunkt empfiehlt sich die Einberufung eines so genannten „runden Tisches“ mit Vertretern der Betriebsleitung, des betroffenen Personals, des Betriebsrates, der Fachkraft für Arbeitssicherheit, ggf. Wartungstechnikern und vor allen Dingen des Betriebsarztes. Externe Fachleute wie z.B. Technische Aufsichtsbeamte und Arbeitsmediziner der zuständigen Berufsgenossenschaft sollen ebenfalls teilnehmen.

Funktion dieses „runden Tisches“ ist das offene Gespräch über die anstehenden 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, konspirativer“ Umgang mit solchen Problemen erweist sich in der Erfahrung als kontraproduktiv und muss aus medizinischen und ethischen Gründen abgelehnt werden.

Die folgenden Grunderhebungen sollen bei der Abschätzung der Prävalenz und Art von Beschwerden, bei der technischen Charakterisierung des Gebäudes und der Arbeitsplätze sowie bei einer ersten Prüfung des Pflege- und Wartungszustandes von Gebäude und raumluftechnischen Anlagen helfen. Basierend auf den dabei gewonnenen Informationen können im Anschluss bestimmte Spezialmodule für das weitere Vorgehen unabhängig voneinander ausgewählt werden. Die Erhebungsbögen können auf den Internetseiten des BGI/A unter der Adresse <http://www.hvbg.de/bgia>, Webcode: 1506447 sowohl als Microsoft-Word-Datei als auch als PDF-Datei heruntergeladen werden.

2 Grunderhebung

2.1 Erhebung der Beschwerden

E. Arnold, Mainz

2.1.1 Allgemeine Hinweise

Wenn sich als Ergebnis des „runden Tisches“ Hinweise ergeben, dass den Beschwerden tatsächlich ein Innenraumproblem zugrunde liegt, sollte in der ersten Stufe eine Erhebung der Beschwerden vorgenommen werden. Dafür sind Erhebungsbögen vorgesehen, die für die Anwendung sowohl durch den technischen Sachverständigen als auch den Mediziner geeignet sind. Es kann sowohl eine individuelle Befragung einzelner Beschäftigter als auch ganzer Gruppen stattfinden.

Da die Erhebung der Beschwerden auf diese Art zumeist nicht zu einem eindeutigen Ergebnis führt, sollten die Befunde in einem weiteren Schritt durch spezielle arbeitsmedizinische Erhebungen und weitergehende Diagnostik ergänzt werden. Die Erfahrung hat gezeigt, dass es sehr hilfreich ist, wenn der Betriebsarzt des betroffenen Unternehmens von Anfang an eng eingebunden wird.

2.1.2 Ermittlung

Gesundheitliche Missempfindungen oder Beschwerden stellen in aller Regel den Auslöser dar, sich mit der Frage möglicher Belas-

tungen am Arbeitsplatz zu befassen. Deshalb sollen die Angaben der Erhebungsbögen G1 bzw. G2 dazu dienen, hierzu einen Überblick zu verschaffen.

Der Erhebungsbogen G1 ist anzuwenden bei individueller Befragung einzelner Beschäftigter. Ist es aus taktischen, firmenpolitischen oder anderen Gründen nicht empfehlenswert, jeden einzelnen Mitarbeiter zu seinem Befinden zu befragen, sollte die Erhebung durch die Geschäftsführung und/oder den Betriebsrat gruppenbezogen stattfinden. Für die gruppenbezogene Erhebung und Dokumentation ist der Erhebungsbogen G2 vorgesehen.

Gesundheitliche Probleme lassen sich – wenn es sich nicht um Unfälle handelt – meistens nicht eindeutig einem einzelnen Ereignis zuordnen. Für gewöhnlich liegt ihre Ursache in einem multifaktoriellen Geschehen; auch das jeweilige Erleben der Beschwerden ist individuell sehr unterschiedlich. Aus diesen Gründen sind die von den Betroffenen geschilderten Symptome leider nicht so einfach abzufragen wie z.B. das Baujahr eines Hauses.

Mit den vorliegenden Erhebungsbögen soll versucht werden, bestehende Beschwerden möglichst arbeitsplatzorientiert zu erfassen. Dabei wurde bewusst Wert darauf gelegt, den Betroffenen die Beschwerden nicht durch

Ankreuzmöglichkeiten bereits in den Mund zu legen, sondern die freie Formulierung der Mitarbeiter möglichst zu übernehmen. Dieses Vorgehen bietet darüber hinaus noch die Gelegenheit, Informationen „zwischen den Zeilen“ zu erhalten, die häufig bei den eventuell erforderlichen weiteren Schritten von Bedeutung sind. In diesem Zusammenhang sollte auch die Angabe „Am schlimmsten empfinde ich ...“ gesehen werden, die nach den bisherigen Erfahrungen der Autoren auch

wertvolle Hinweise auf allgemeine organisatorische Probleme der betroffenen Unternehmen geben kann.

Da die Erhebungsbögen in der Regel nicht von Medizinern angewandt werden, sind in Tabelle 1 beispielhaft einige mögliche gesundheitliche Beschwerden zu einzelnen Körperbereichen aufgeführt. Selbstverständlich können die beklagten Symptome auch andere sein.

2 Grunderhebung

Tabelle 1:
Übersicht über mögliche gesundheitliche Beschwerden an verschiedenen Körperbereichen

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, Halsweh, Jucken, Reizung, Entzündung, Trockenheit, Speichelfluss, verstopfte Nase, Nasenbluten, ...
Sonstiges im Bereich des Kopfes	Gefühlsstörungen, Kribbeln, Taubheit, Kopfschmerzen (stechend, bohrend, klopfend, pulsierend), Haarausfall, ...
Atemwege/Bronchien	Atemnot, Asthma, Husten, Schleimbildung, vermehrte Infekte, ...
Herz/Kreislauf	Herzklopfen, Herzrasen, Brustschmerzen, niedriger/hoher Blutdruck, Kreislaufschwäche, ...
Haut	Veränderungen, Verfärbung, Rötung, Entzündung, Schuppung, Ausschlag, Quaddeln, Juckreiz, ...
Verdauung	Appetitlosigkeit, Übelkeit, Erbrechen, Blähungen, Durchfall, Verstopfung, Stuhlverfärbung, Bauchschmerzen, ...
Bewegungsapparat	Verspannungen, Schmerzen, Beschwerden/Schwellung von Muskeln, Sehnen, Gelenken, Bewegungseinschränkungen, Lähmungen, ...
Nervensystem	Gefühlsstörungen, Taubheit, Kribbeln, Lähmungen, Schwindel, Schwäche, Mattigkeit, Müdigkeit, exzessives Schlafbedürfnis, Schlaflosigkeit, Konzentrationsstörungen, Reizbarkeit, ...

2 Grunderhebung

2.1.2.1 Grunderhebungsbogen G1 (Einzelerhebungsbogen) zur gesundheitlichen Situation am Arbeitsplatz

Erhebungsbogen G1 Grunderhebung – Gesundheitliche Situation am Arbeitsplatz	
Liebe Mitarbeiterin, lieber Mitarbeiter!	
<p>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 Erhebungsbogen klären, ob und wo Gesundheitsstörungen in unserem Betrieb auftreten und ob möglicherweise ein Zusammenhang zu den baulichen Gegebenheiten, den Räumen oder Einrichtungen herzustellen ist. Die Teilnahme an dieser Aktion ist natürlich freiwillig; eine verwertbare Aussage ist allerdings nur zu erwarten, wenn sich möglichst viele der Mitarbeiter/-innen daran beteiligen.</p> <p>Wenn hier nach gesundheitlichen Störungen gefragt wird, so interessieren natürlich nur Erkrankungen oder Beschwerden, die im Zusammenhang mit der Arbeit auftreten oder aufgetreten sind, nicht jedoch schicksalhafte Gesundheitsstörungen oder ererbte Krankheiten. In Zweifelsfragen sollten Sie sich mit Ihrem Betriebsarzt besprechen.</p> <p>Wir bitten Sie, möglichst vollständige Angaben zu machen.</p> <p>Die Fragen in dieser Erhebung werden ohne Namensnennung anonym erfasst.</p>	
Betrieb (Name, Anschrift):	.....
Betriebsteil:	.....
Datum der Erhebung:	.....
Nummer des Erhebungsbogens:	.....
1 Persönliche Daten	
1.1 Geben Sie bitte Ihr Geschlecht an.	
<input type="checkbox"/> männlich	<input type="checkbox"/> weiblich
1.2 Wie alt sind Sie?	
<input type="checkbox"/> unter 20 Jahre	
<input type="checkbox"/> 20 bis 29 Jahre	
<input type="checkbox"/> 30 bis 39 Jahre	
<input type="checkbox"/> 40 bis 49 Jahre	
<input type="checkbox"/> 50 bis 59 Jahre	
<input type="checkbox"/> 60 Jahre und älter	

2 Grunderhebung

Erhebungsbogen G1 Grunderhebung – Gesundheitliche Situation am Arbeitsplatz	
1.3	Rauchen Sie? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja
1.4	Haben Sie gesundheitliche Beschwerden, die Sie mit Ihrem Arbeitsplatz in Verbindung bringen? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja
Wenn Sie diese Frage mit „nein“ beantwortet haben, können Sie die Frageblöcke 2 bis 6 überspringen.	
2	Angaben zu auftretenden Beschwerden
2.1	Haben Sie Augenbeschwerden? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, und zwar
2.2	Haben Sie Hals-, Nasen- oder Ohrenbeschwerden? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, und zwar
2.3	Haben Sie Beschwerden im sonstigen Bereich des Kopfes? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, und zwar
2.4	Haben Sie Atemwegsbeschwerden bzw. Beschwerden an den Bronchien? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, und zwar
2.5	Haben Sie Herz-/Kreislaufbeschwerden? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, und zwar
2.6	Haben Sie Beschwerden an der Haut? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, und zwar
2.7	Haben Sie Beschwerden im Bereich der Verdauungsorgane? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, und zwar
2.8	Haben Sie Beschwerden am Bewegungsapparat (z.B. Rücken, Nacken, Schultern, Gelenke)? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, und zwar
2.9	Haben Sie Beschwerden im Bereich des Nervensystems (z.B. Müdigkeit, Erschöpfung)? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, und zwar

Erhebungsbogen G1
Grunderhebung – Gesundheitliche Situation am Arbeitsplatz

2.10 Haben Sie sonstige Beschwerden?
 Nein Ja, und zwar

3 Welche Beschwerden/Belastungen empfinden Sie am schlimmsten?

4.1 Wurden Sie wegen dieser Beschwerden schon einmal ärztlich untersucht?
 Nein Ja, und zwar

4.2 Befinden Sie sich zurzeit wegen dieser Beschwerden in Behandlung?
 Nein Ja, und zwar

5 Wurden Sie wegen dieser Beschwerden schon einmal krankgeschrieben?
 Nein Ja, einmal Ja, öfter

6.1 Seit wann treten die Beschwerden auf?
 Jahr: Monat:

6.2 Wann treten die Beschwerden auf?
 Frühjahr Montag ganztägig
 Sommer Dienstag vormittags
 Herbst Mittwoch nachmittags
 Winter Donnerstag abends
 Freitag nachts
 Samstag
 Sonntag

6.3 Sehen Sie einen Zusammenhang zwischen einem bestimmten Ereignis und den Beschwerden
 (z.B. Krankheit, Renovierung)?
 Nein Ja, und zwar

7 Haben Sie Allergien?
 Nein Ja, und zwar

8 In welcher Art Büro arbeiten Sie?
 Einzelbüro Büro mit Arbeitsplätzen

2.1.2.2 Grunderhebungsbogen G2 (Kollektiverhebungsbogen) zur gesundheitlichen Situation am Arbeitsplatz

Erhebungsbogen G2 Kollektiverhebung – Gesundheitliche Situation am Arbeitsplatz	
Liebe Mitarbeiterin, lieber Mitarbeiter!	
<p>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 Erhebungsbogen klären, ob und wo Gesundheitsstörungen in unserem Betrieb auftreten und ob möglicherweise ein Zusammenhang zu den baulichen Gegebenheiten, den Räumen oder Einrichtungen herzustellen ist. Die Teilnahme an dieser Aktion ist natürlich freiwillig; eine verwertbare Aussage ist allerdings nur zu erwarten, wenn sich möglichst viele der Mitarbeiter/-innen daran beteiligen.</p> <p>Wenn hier nach gesundheitlichen Störungen gefragt wird, so interessieren natürlich nur Erkrankungen oder Beschwerden, die im Zusammenhang mit der Arbeit auftreten oder aufgetreten sind, nicht jedoch schicksalhafte Gesundheitsstörungen oder ererbte Krankheiten. In Zweifelsfragen sollten Sie sich mit Ihrem Betriebsarzt besprechen.</p> <p>Bitte geben Sie jeweils an, wie viele Mitarbeiter die entsprechenden Beschwerden äußern!</p> <p>Wir bitten Sie, möglichst vollständige Angaben zu machen.</p>	
Betrieb (Name, Anschrift):	.....
Betriebsteil:	.....
Datum der Erhebung:	.....
Gesamtzahl der Befragten:	.....
1 Angaben zu auftretenden Beschwerden	
1.1 Treten Augenbeschwerden auf?	
<input type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> Ja, und zwar Anzahl der betroffenen Mitarbeiter:
1.2 Treten Hals-, Nasen- oder Ohrenbeschwerden auf?	
<input type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> Ja, und zwar Anzahl der betroffenen Mitarbeiter:

2 Grunderhebung

Erhebungsbogen G2 Kollektiverhebung – Gesundheitliche Situation am Arbeitsplatz	
1.3	Treten Beschwerden im sonstigen Bereich des Kopfes auf? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, und zwar Anzahl der betroffenen Mitarbeiter:
1.4	Treten Atemwegsbeschwerden bzw. Beschwerden an den Bronchien auf? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, und zwar Anzahl der betroffenen Mitarbeiter:
1.5	Treten Herz-/Kreislaufbeschwerden auf? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, und zwar Anzahl der betroffenen Mitarbeiter:
1.6	Treten Beschwerden an der Haut auf? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, und zwar Anzahl der betroffenen Mitarbeiter:
1.7	Treten Beschwerden im Bereich der Verdauungsorgane auf? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, und zwar Anzahl der betroffenen Mitarbeiter:
1.8	Treten Beschwerden am Bewegungsapparat (z.B. Rücken, Nacken, Schultern, Gelenke) auf? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, und zwar Anzahl der betroffenen Mitarbeiter:
1.9	Treten Beschwerden im Bereich des Nervensystems (z.B. Müdigkeit, Erschöpfung) auf? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, und zwar Anzahl der betroffenen Mitarbeiter:
1.10	Treten sonstige Beschwerden auf? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, und zwar Anzahl der betroffenen Mitarbeiter:
2	Wurden dem Unternehmen bereits ärztliche Befunde/Atteste vorgelegt? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, und zwar
3	Besteht im betroffenen Bereich ein erhöhter Krankenstand? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja

Erhebungsbogen G2
Kollektiverhebung – Gesundheitliche Situation am Arbeitsplatz

- 4.1 Seit wann treten die Beschwerden auf?
 Jahr: Monat:
- 4.2 Steht der Beginn der Beschwerden im Zusammenhang mit einem bestimmten Ereignis?
 Nein Ja, und zwar
- 5 Um welche Art Büro handelt es sich?
 Einzelbüro Büro mit Arbeitsplätzen
- 6 Wie viele der Raumnutzer sind von Befindlichkeitsstörungen betroffen?
 Personen Anteil Prozent
- 7 Fühlen sich die Mitarbeiter bei der Arbeit gestört
 (z.B. durch Lärm, Gerüche, Klima, Beleuchtung, Rauchen)?
 Nein Ja, und zwar
- 8 Hat es in der letzten Zeit Änderungen in der Organisationsstruktur des Betriebes/der Abteilung,
 personelle Umbesetzungen, Änderungen der Zuständigkeiten o.Ä. gegeben?
 Nein Ja, und zwar
- 9 Werden die Beschwerden bei Abwesenheit vom Arbeitsplatz geringer?
 Nein Ja, und zwar
- 10 Führen die Mitarbeiter Ihre Beschwerden am Arbeitsplatz auf bestimmte äußere Einwirkungen
 (z.B. Lärm, Schadstoffe, Klima, Strahlung) zurück?
 Nein Ja, und zwar
- 11 Könnten die Beschwerden auch durch eine besondere Beanspruchung
 oder besonders hohe Arbeitsbelastung hervorgerufen sein?
 Nein Ja, und zwar
- 12 Könnten die Beschwerden auf das Betriebsklima zurückzuführen sein?
 Nein Ja, und zwar

2 Grunderhebung

2.1.3 Bewertung

In der Regel sind die Einzelerhebungsbögen sorgfältig getrennt auszuwerten. Bei größeren Gruppen ist es jedoch häufig sinnvoll, sich einen Überblick über die Verteilung der gesundheitlichen Störungen oder Beschwerden zu verschaffen. Dazu können die Auswerteschemata in den Tabellen 2 bis 4 (siehe Seite 31 ff.) genutzt werden.

Durch die Ermittlung der Häufigkeitsverteilungen (siehe Tabelle 2) können die Schwerpunkte der Beschwerden ermittelt werden, wobei zu beachten ist, dass Antworten zu den einzelnen Fragen untereinander in Verbindung stehen können (z.B. Irritationen an Augen und an Hals, Nase und Ohren oder Klagen im Bereich des Kopfes mit solchen am Nervensystem). Werden die Erhebungsbögen auch von Raumnutzern ohne Beschwerden ausgefüllt, so besteht u.a. auch die Möglichkeit, Aussagen zur Häufigkeit der Beschwerden abzuleiten.

Angaben zum Beschwerderückgang (Frage 11 bzw. 9 in den Erhebungsbögen G1 und G2) geben Aufschluss darüber, inwieweit die Beschwerden der beruflichen Tätigkeit direkt zugeordnet werden können (siehe Tabelle 3). Die Antworten auf

Frage 13 (G1) bzw. 11 (G2) nach einem möglichen Zusammenhang zwischen den Beschwerden und einer besonderen Beanspruchung oder besonders hoher Arbeitsbelastung deuten häufig auf psychosoziale Aspekte hin.

Als besonders wertvoll hat sich die gemeinsame Auswertung der Fragen

- ❑ 3 (G1) nach den Beschwerden/Beanspruchungen, die am schlimmsten empfunden werden,
- ❑ 9 (G1) bzw. 7 (G2) nach Störfaktoren bei der Arbeit (z.B. durch Lärm, Gerüche, Klima, Beleuchtung, Rauchen) und
- ❑ 12 (G1) bzw. 10 (G2) nach einem Zusammenhang zwischen den Beschwerden und bestimmten äußeren Einwirkungen (z.B. Lärm, Schadstoffe, Klima, Strahlung)

herausgestellt, da sich aus ihr meist die Schwerpunkte der gesundheitlichen Beschwerden ableiten lassen und erste Hinweise auf die Ursachen gegeben werden (siehe Tabelle 4).

In den Tabellen 5, 6 und 7 (siehe Seite 34 ff.) ist eine beispielhafte Auswertung dargestellt.

2 Grunderhebung

Tabelle 5:
Beispiel für eine Auswertung mit dem Auswerteschema zu den Erhebungsbögen
„Gesundheitliche Situation am Arbeitsplatz“ – Teil I

Nummer des Erhebungsbogens	Anzahl der Personen				Beschwerden treten auf									Summe der Beschwerden
	mit gesundheitlichen Beschwerden		ohne gesundheitliche Beschwerden		an den Augen	an Hals, Nase oder Ohren	im sonstigen Bereich des Kopfes	an den Atemwegen oder Bronchien	am Herz-/Kreislaufsystem	an der Haut	im Bereich der Verdauungsorgane	am Bewegungsapparat	im Bereich des Nervensystems	
	m ¹⁾	w ²⁾	m ¹⁾	w ²⁾										
1		X				X		X			X		X	4
2		X			X									1
3		X			X	X								2
4	X				X		X	X					X	4
5		X			X	X	X	X				X	X	6
6			X		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
7				X	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
8		X			X		X					X		3
9	X				X	X		X					X	4
10		X			X	X		X				X		4
11	X					X		X				X		3
Summe der Personen	3	6	1	1	7	6	3	6	0	0	1	4	4	
Prozentualer Anteil der Personen	27	55	9	9	64	55	27	55	0	0	9	36	36	

¹⁾ m – männlich

²⁾ w – weiblich

Tabelle 6:
 Beispiel für eine Auswertung mit dem Auswerteschema zu den Erhebungsbögen
 „Gesundheitliche Situation am Arbeitsplatz“ – Teil II

Nummer des Erhebungsbogens	Anzahl der Personen				Werden die Beschwerden bei Abwesenheit vom Arbeitsplatz geringer?		Werden die Beschwerden durch besondere Belastung oder besonders hohe Arbeitsbelastung hervorgerufen? Wenn ja: durch ...
	mit gesundheitlichen Beschwerden		ohne gesundheitliche Beschwerden		ja	nein	
	m ¹⁾	w ²⁾	m ¹⁾	w ²⁾			
1		X			X		Stress
2		X				X	Stress
3		X			X		Stress
4	X				X		Stress
5		X			X		physische Belastung
6			X		keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe
7				X	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe
8		X			X		nein
9	X					X	nein
10		X			X		Stress
11	X				X		physische Belastung
Summe der Personen	3	6	1	1	7	2	5-mal Stress 2-mal physische Belastung
Prozentualer Anteil der Personen	27	55	9	9	64	18	

¹⁾ m – männlich

²⁾ w – weiblich

2 Grunderhebung

Tabelle 7:
Beispiel für eine Auswertung mit dem Auswerteschema zu den Erhebungsbögen
„Gesundheitliche Situation am Arbeitsplatz“ – Teil III

Nummer des Erhebungsbogens	Anzahl der Personen				Am schlimmsten werden empfunden ...	Wodurch fühlen sich die Mitarbeiter gestört?	Werden die Beschwerden auf äußere Einwirkungen zurückgeführt? Wenn ja: durch ...
	mit gesundheitlichen Beschwerden		ohne gesundheitliche Beschwerden				
	m ¹⁾	w ²⁾	m ¹⁾	w ²⁾			
1		X			Augenbeschwerden, Haarausfall	Luft	Raumluft
2		X			Haarausfall	Luft und Klima	Raumluft
3		X			Atemwegsbeschwerden	Rauchen	Raumluft, Staub
4	X				Kopfschmerzen	Beleuchtung	keine Angabe
5		X			Atemwegsbeschwerden	Lärm, Gerüche, Rauch	Raumluft
6			X		keine Angabe	Lärm	keine Angabe
7				X	keine Angabe	Lärm und Klima	keine Angabe
8		X			Kopfschmerzen	Luft	keine Angabe
9	X				Kopfschmerzen	Lärm und Rauch	Raumluft, Rauch
10		X			Rückenbeschwerden	Rauchen	Raumluft, Rauch
11	X				Atemwegsbeschwerden	Rauchen	Raumluft, Rauch
Summe der Personen	3	6	1	1	3-mal Kopfschmerzen 3-mal Atemwegsbeschwerden 2-mal Haarausfall 1-mal Rückenbeschwerden	5-mal Rauchen 4-mal Luft 3-mal Lärm 2-mal Klima	7-mal Raumluft 3-mal Rauch 1-mal Staub

¹⁾ m – männlich

²⁾ w – weiblich

Je nach Ergebnis der Erhebung der Beschwerden ergeben sich für das weitere Vorgehen folgende Möglichkeiten:

- ❑ Beschwerden sind arbeitsplatzbedingt, die Ursache ist eindeutig geklärt
→ Ursache abstellen
- ❑ Beschwerden sind arbeitsplatzbedingt, die Ursache ist nicht eindeutig geklärt
→ weiter mit der Grunderhebung zum Arbeitsumfeld
- ❑ die Ursache der Beschwerden ist nicht geklärt
→ weiter mit der Grunderhebung zum Arbeitsumfeld
- ❑ Beschwerden sind unabhängig vom Arbeitsplatz
→ Abbruch der arbeitsplatzbezogenen Erhebung, ggf. Verweis an den Hausarzt

2 Grunderhebung

2.2 Grunderhebung zum Arbeitsumfeld (Grunderhebungsbogen G3)

Lässt sich aufgrund der Ergebnisse der Grunderhebungen zur gesundheitlichen Situation am Arbeitsplatz auf arbeitsplatzbedingte Beschwerden schließen oder sind solche zumindest nicht sicher auszuschließen, dann sind im zweiten Schritt einige wesentliche Randbedingungen

zum Arbeitsumfeld zu erheben. Es geht dabei insbesondere um das Gebäude, seine Einrichtung und die technische Ausstattung. Die Ergebnisse dieser Grunderhebung mit dem Erhebungsbogen G3 werden benötigt, um weniger wahrscheinliche von den eher wahrscheinlichen Ursachen der Beschwerden trennen und im Rahmen anschließender Spezialerhebungen gezielt weiter ermitteln zu können.

**Erhebungsbogen G3
Grunderhebung – Arbeitsumfeld**

Liebe Bearbeiterin, lieber Bearbeiter!

Innenraumprobleme können durch das Gebäude, seine Einrichtung und die technische Ausstattung mitverursacht werden. Diese Erhebung soll helfen, die Ursachen für die gesundheitlichen Beeinträchtigungen einzugrenzen. Wir bitten Sie, möglichst vollständige Angaben zu machen.

Betrieb (Name, Anschrift):

Betriebsteil:

Arbeitsplatz:

Datum der Erhebung:

1 Allgemeine Gebäudedaten

1.1 Wann wurde das Gebäude errichtet?
.....

1.2 Wer war der Architekt?
.....

2 Angaben zur Gebäudegröße

2.1 Wie viele Beschäftigte arbeiten in dem Gebäude?
.....

2.2 Geben Sie die Geschosszahl des Gebäudes an.
.....

2.3 Liegen ein Gebäudeplan oder Bauunterlagen vor?
 Nein Ja, liegt bei..... (siehe Anlage)
ggf. Anfrage bei der
zuständigen Baubehörde

2 Grunderhebung

Erhebungsbogen G3 Grunderhebung – Arbeitsumfeld		
3 Angaben zur allgemeinen Gebäudenutzung Bitte machen Sie möglichst vollständige Angaben!		
Stockwerk/Etage	Art der Nutzung	Bemerkungen
4 Angaben zur Gebäudelage		
4.1 Wo befindet sich das Gebäude? Fügen Sie, wenn möglich, einen Umgebungsplan oder eine Skizze bei!		
<input type="checkbox"/> in der Innenstadt <input type="checkbox"/> in einem Industriegebiet <input type="checkbox"/> in einem Gewerbegebiet <input type="checkbox"/> in einem Wohngebiet <input type="checkbox"/> in einem Mischgebiet <input type="checkbox"/> an einer viel befahrenen Straße/Autobahn <input type="checkbox"/> sonstige Lage, und zwar		
4.2 Gibt es Industrieanlagen in unmittelbarer Nähe des Gebäudes? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, und zwar		
4.3 Sind Abluftkamine oder andere äußere Schadstoffquellen in der Umgebung des Gebäudes bekannt? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, und zwar		
4.4 Gibt es lärmintensive Betriebe in unmittelbarer Nähe des Gebäudes? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, und zwar		

**Erhebungsbogen G3
 Grunderhebung – Arbeitsumfeld**

5 Angaben zu den Arbeitsbereichen oder Gebäudeteilen, in denen Beschwerden von Mitarbeitern vorliegen

5.1 Wie werden die Arbeitsbereiche/Gebäudeteile genutzt?

Arbeitsbereich/Gebäudeteil	Art der Nutzung (z.B. Bildschirmarbeitsplatz)	Bemerkungen

5.2 Wurden die Arbeitsbereiche oder umliegende Gebäudeteile in der Vergangenheit anders genutzt?

- Nein
 Ja

Bitte tragen Sie Art und Zeitraum der Nutzung in die unten stehende Tabelle ein.

Arbeitsbereich/Gebäudeteil	Art der Nutzung	von	bis	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

2 Grunderhebung

Erhebungsbogen G3 Grunderhebung – Arbeitsumfeld	
5.5	Liegt störende Sonneneinstrahlung vor? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja Tageszeit: Zeitdauer: Bemerkungen: (z.B. Blendung, Wärmeempfindung)
6	Angaben zur technischen Ausstattung der Arbeitsbereiche
6.1	Angaben zur Gebäudelüftung
6.1.1	Werden die Räume natürlich (über Fenster) belüftet? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja Bemerkungen:
6.1.2	Sind die Fenster individuell zu öffnen? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja Bemerkungen:
6.1.3	Werden die Räume künstlich belüftet? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja Bemerkungen: (z.B. Lüftungsanlage, Klimaanlage)
6.2	Angaben zur Gebäudetemperierung
6.2.1	Wie werden die Räume/Arbeitsbereiche beheizt? <input type="checkbox"/> Heizkörper im Raum (Radiatoren, Konvektoren) <input type="checkbox"/> Fußbodenheizung <input type="checkbox"/> Lüftungstechnische Anlage/Klimaanlage <input type="checkbox"/> Sonstige, und zwar (z.B. Decken-, Wandheizung)

Erhebungsbogen G3
Gründerhebung – Arbeitsumfeld

6.2.2 Wie wird das Raumklima (Lufttemperatur, Luftfeuchte) geregelt?

- individuelle Regelung
- zentrale Regelung
- Sonstige, und zwar
- Regelung der Lufttemperatur im
 - Sommer
 - Winter
- Regelung der Luftfeuchte
- Bemerkungen:
(z.B. Regelbereich zu klein, Regelung träge)

6.2.3 Werden die Räume oder Gebäudeteile gekühlt?

- Nein
- Ja, und zwar durch
 - Luftkühlanlage/Klimaanlage
 - Kühldecke
 - Betonkernkühlung
 - Sonstige, und zwar

6.3 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

6.4 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
- (Bitte geben Sie Art und Anzahl an.)

2 Grunderhebung

Erhebungsbogen G3 Grunderhebung – Arbeitsumfeld	
7	Wurden Gebäuderenovierungen, An- und Umbauten vorgenommen? <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja
Bitte tragen Sie Art und Umfang der Gebäudeänderungen in die unten stehende Tabelle ein.	
Zeitraum	Art und Umfang der Gebäudeänderungen (z.B. Anstriche, zusätzliche Fenster, Wärmedämmung, Abdichtungen, Asbestsanierung)

2.3 Geruch und Geruchssinn

I. Warfolomeow, Mainz
H.-D. Neumann, Münster
T. Smola, Sankt Augustin

2.3.1 Allgemeine Hinweise

Das Sinnessystem der Nase

Unter dem Geruchssinn versteht man ein

„Sinnessystem, das – mithilfe des Geruchsorgans – der Wahrnehmung/Empfindung von Duftstoffen dient im Dienste der Umweltorientierung und Nahrungsbeurteilung, aber auch der Zusammenführung der Geschlechter“ [1].

Der Geruchssinn ist einer der ältesten, wenn nicht sogar der älteste Sinn des Menschen überhaupt und eng mit dem limbischen System verbunden. Das limbische System, das den Hirnstamm ringförmig umgibt, bildet als Teil des zentralen Nervensystems einen der ältesten Bereiche des Gehirns. Es ist eng mit vegetativen (nicht dem Willen unterworfenen) Organfunktionen verknüpft, regelt Emotionen sowie das Triebverhalten und ist wahrscheinlich auch für das Gedächtnis von Bedeutung. Mithilfe dieser Verbindung von Sinneszellen mit dem Nervensystem wurde über den Geruch eine schnelle

instinktive Einschätzung der Umgebung und gegebenenfalls eine unbewusste reflexartige Flucht- oder Vermeidungsreaktion möglich. Dass diese Funktion des Geruchssinns beim Menschen noch rudimentär vorhanden ist, belegen redensartige Wendungen wie „Den kann ich nicht riechen!“ oder „Die Sache stinkt mir!“.

Im Laufe der Evolution hat der Geruchssinn allerdings als rasch einsetzendes Warnsystem beim Menschen an Bedeutung verloren. Dies spiegelt sich in der vergleichsweise kleinen Leistungsfähigkeit des Geruchssinns des Menschen, z.B. gegenüber dem des Hundes, wider. Bei den in der Schleimhaut der Nasenhöhle gelegenen Geruchsrezeptoren (Riechepithelien) handelt es sich um primäre Sinneszellen, d.h. die Geruchssignale werden über eigene Nervenleitungen direkt dem Stammhirn zugeleitet und nicht vorverarbeitet wie beispielsweise beim Sehen, Hören oder Schmecken. Die Größe der Riechepithelien und die Anzahl der darin vorhandenen Riechzellen entspricht der Leistungsfähigkeit des Geruchssinns. So liegen im 5 cm² großen Riechepithel des Menschen nur circa 10 Millionen Rezeptoren, wohingegen sich im 85 cm² großen Geruchsepithel des Hundes ungefähr 230 Millionen Sinneszellen befinden [2]. Diese Tatsache macht man sich unter anderem beim Einsatz von Spürhunden zunutze.

2 Grunderhebung

Reizverarbeitung

Die Zahl der riechbaren Substanzen wird auf circa eine Million geschätzt. Die subjektive Wahrnehmung von Gerüchen und ihre damit verbundene Beurteilung als gut oder schlecht ist allerdings äußerst unterschiedlich. Zum einen ist dies durch die weitere Reizverarbeitung im Gehirn bedingt. Die gemeldeten Empfindungen werden mit früher schon gemachten Empfindungen verglichen und zur bewussten Wahrnehmung gedeutet. Dazu ein Beispiel:

Über die Riechepithelien werden verschiedene Aromastoffe wie z.B. Vanille aufgenommen und mit weiteren Informationen anderer Sinne verknüpft („Ofen ist noch warm“, „Oma wollte heute backen“ etc.) und schließlich als „Kuchengeruch“ gedeutet bzw. wahrgenommen. Der gleiche Geruchseindruck könnte im Zusammenhang mit anderen Informationen oder bei einer anderen Person jedoch zu der Wahrnehmung „süßliches Parfüm“ führen.

Zum anderen wird die Entscheidung über die Wertigkeit eines Geruches davon beeinflusst, mit welchen Erinnerungen wir ihn verknüpfen. Trat in der Vergangenheit häufiger ein angenehmes Erlebnis mit einem bestimmten Geruch gemeinsam auf, haben

wir „gelernt“, diese Eigenschaft auch dem Geruch zuzuschreiben. In gleicher Weise beurteilen wir manche Gerüche als schlecht. Auf diese Art und Weise kann später der Geruch alleine das Gefühl von Wohlbefinden oder Unwohlsein auslösen, ohne dass uns die Verbindung zu den früheren Ereignissen bewusst ist.

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

Hinzu kommt, dass die belästigende Wirkung von Geruchsimmissionen nicht nur von der Geruchsart, sondern auch sehr stark von der individuellen Geruchsempfindlichkeit (Männer und Frauen nehmen Gerüche unterschiedlich wahr; bestimmte Duftstoffe können von manchen Menschen überhaupt nicht wahrgenommen werden), der körperlichen und psychischen Verfassung des Betroffenen, der Dauer und Häufigkeit des Geruchs (Gewöhnungseffekt), der Nutzung des betroffenen Raumes und letztendlich von der Immissionskonzentration abhängt.

Nocebo-Effekt

Beim Nocebo-Effekt [3] handelt es sich um die Umkehrung des Placebo-Effektes, der insbesondere aus dem Arzneimittelbereich bekannt ist. Arzneimittel übertragen grundsätzlich zwei verschiedene Botschaften. Zum einen vermitteln chemische 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 liefern Arzneimittel aber auch eine zweite psychosoziale Botschaft. Dabei handelt es sich nicht um eine chemische Nachricht, die durch Rezeptoren entschlüsselt und weitergegeben wird, sondern um ein Signal an den Patienten, dass ihm als Person etwas widerfährt. Diese psychosozialen Nachrichten werden als Teil eines Bildes der Umwelt wahrgenommen, das sich jeder Mensch selbst bildet. So ist es möglich, dass selbst im Falle fehlender chemischer Informationen die Erwartung eines positiven Effektes dazu führt, dass eine Änderung der Symptomatik eintritt. Man spricht in diesem Zusammenhang vom Placebo-Phänomen (zu deutsch: „Ich werde gefallen“).

Das Negative des Placebo erscheint als Nocebo (zu deutsch: „Ich werde schaden“). Die Menschen erfahren als Nocebo, was

sie befürchten, also zunächst Störungen ihrer Befindlichkeit. Sie greifen auf das ihnen nächstliegende zurück, wie z.B. auf Missbefindlichkeiten aus ihrem unmittelbaren Erfahrungsbereich. Wie beim Placebo kann dieser Effekt unabhängig von der chemischen Wirkung des Stoffes auftreten. So können auch riechende Gase oder Dämpfe im Umfeld der Betroffenen unter dem Aspekt der beschriebenen Geruchswahrnehmung und Informationsverarbeitung eine besondere Rolle spielen.

2.3.2 Beurteilung von Geruchsmissionen

Bewertung von Geruchsmissionen

Die Erfassung und Bewertung von Geruchsmissionen entzieht sich oftmals den bekannten chemisch-physikalischen Messverfahren wie sie üblicherweise für Luftverunreinigungen zur Anwendung kommen (siehe Abschnitt 3.5.2). Geruchsbelästigungen werden meist schon durch sehr niedrige Konzentrationen verursacht und sind häufig – analytisch erschwerend – auch durch eine Vielzahl von verschiedenen Substanzen gekennzeichnet. Geruchsschwellenwerte umfassen eine Spanne von bis zu acht Zehnerpotenzen:

2-Isobutyl-3-methoxypyrazin, ein Aromastoff, wird zum Beispiel bereits in einer Konzen-

2 Grunderhebung

tration von $0,000002 \text{ mg/m}^3$ wahrgenommen. Im Vergleich dazu wird Dichlormethan – ein Stoff, der im Verdacht steht, Krebs erzeugend zu sein – erst ab etwa 700 mg/m^3 bemerkt. Die Geruchsschwelle für MVOC (microbial volatile organic compounds; leichtflüchtige organische Substanzen mikrobiellen Ursprungs), die im Zusammenhang mit Schimmelpilzbefall in Gebäuden diskutiert werden, bewegt sich sogar nur im Nanogramm-Bereich.

Praktisch bedeutet dies, dass Gerüche, die wir mit dem Geruchssinn wahrnehmen, messtechnisch häufig nicht erfassbar sind.

Geruchsschwellenwerte aus der Literatur

Problematisch ist mitunter die Bewertung von Geruchsschwellenwerten aus der Literatur. 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 Anilin in der Literatur Daten von $0,0002 \text{ mg/m}^3$ bis 350 mg/m^3 . Die Ursache hierfür liegt nicht nur in unterschiedlichen Messstrategien begründet, sondern auch im unterschiedlichen Geruchsempfinden der Menschen.

Aus solch starken Streuungen von Literaturwerten resultiert zwangsläufig, dass Aussagen zur Konzentration eines Stoffes in der Luft bei Geruchswahrnehmung 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.

Olfaktometrie

Da die chemische Analyse bei der „Geruchsmessung“ das Empfinden des Menschen nicht nachstellen kann, wurde eine standardisierte Methode entwickelt. Bei der so genannten Olfaktometrie wird die menschliche Nase als Sensor verwendet. So können

- ❑ die Geruchsschwelle bzw. die Geruchsstoffkonzentration,
- ❑ die Geruchsintensität (Stärke der Geruchsempfindung) und
- ❑ die hedonische Geruchswirkung (Bewertung des Geruchs nach angenehm oder unangenehm)

ermittelt werden.

Bei der olfaktorischen Geruchsmessung werden in der Regel Gasproben in geruchs-

neutrale Beutel überführt und innerhalb von 24 Stunden an ein so genanntes Olfaktometer angeschlossen. Das Olfaktometer dient dazu, die Gasprobe zu verdünnen. Diese verdünnte Probenluft wird Probanden, die anhand spezieller Kalibriermessungen ein „durchschnittliches“ Riechvermögen nachgewiesen haben, im Wechsel mit geruchsneutraler Luft zugeführt. Durch schrittweises Herabsetzen der Verdünnung steigt die Konzentration der Geruchsluft. Die Probanden signalisieren, sobald sie einen Geruch wahrnehmen.

Diese Verdünnungsprozedur wird für jede Probe dreimal durchgeführt. Anschließend wird aus der jeweiligen Anzahl der Verdünnungen der arithmetische Mittelwert errechnet. Die Verdünnungszahl entspricht somit der gesuchten Geruchsstoffkonzentration. Sie wird in der Einheit „Geruchseinheit pro Kubikmeter“ (GE/m^3) angegeben.

1 GE/m^3 ist folglich die Geruchsstoffkonzentration, bei der die Hälfte der Probanden gerade noch einen Unterschied zwischen Neutralluft und der geruchsbeladenen Probenluft feststellen können. 50 GE/m^3 bedeutet, dass diese Luft 50-fach verdünnt werden muss, wenn sie gerade noch wahrgenommen werden soll.

Das messtechnische Verfahren der Olfaktometrie ist in der Norm DIN EN 13725

„Luftbeschaffenheit – Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie“ [4] ausführlich beschrieben.

Fazit

Die individuelle Bewertung 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 macht sich nicht jede Gefahr vorab durch Geruch bemerkbar.

Nach Absatz 3.6 „Lüftung“ im Anhang der Arbeitsstättenverordnung [5] ist „in Arbeitsbereichen ausreichend gesundheitlich zuträgliche Atemluft zu gewährleisten“. 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. Drucker, Kopierer) sowie Anlagen (z.B. raumluftechnische Anlagen) ausgehen.

Auch das in Mode gekommene Verdampfen sogenannter Aromäöle in Duftlampen und raumluftechnischen Anlagen ist nicht unproblematisch. Hierdurch können Sensibilisierungen entstehen und nachfolgend allergische Reaktionen bis hin zu asthmatischen Anfällen ausgelöst werden. Aus diesem Grund sollte von einer Odorierung der Zuluft von raumluftechnischen Anlagen abgesehen werden.

2 Grunderhebung

2.3.3 Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Geruch und Geruchssinn“

[1] Roche Lexikon Medizin. 5. Aufl. Urban & Fischer, München 2003

[2] *Becker, U.; Ganter, S.; Just, C.*
(Hrsg.): Herder Lexikon der Biologie.
Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 1994

[3] *Habermann, E.*: Vergiftet ohne Gift –
Glauben und Angst in der Toxikologie.
Skeptiker (1995) Nr. 3, S. 92-100

[4] DIN EN 13725: Luftbeschaffenheit –
Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration
mit dynamischer Olfaktometrie (07.03).
Beuth, Berlin 2003

[5] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeits-
stättenverordnung – ArbStättV) vom
12. August 2004. BGBl. I (2004), S. 2179

3 Spezialmodule

Die folgenden Spezialmodule liefern Hintergrundinformationen, Erhebungshilfen, Messstrategien sowie Bewertungsgrundlagen zu unterschiedlichen Parametern, die ursächlich für gesundheitliche Beschwerden an Innenraumarbeitsplätzen sein können. Zunächst sollten anhand der in Abschnitt 2 dargestellten Grunderhebungen erste Hinweise auf die Ursachen ermittelt werden. Basierend auf diesen Informationen können bestimmte Spezialmodule für das weitere Vorgehen unabhängig voneinander ausgewählt werden. Führen die Ermittlungsergebnisse nach einem Spezialmodul bereits zur Lösung eines Problems,

können weitere Untersuchungen nach anderen Spezialmodulen entfallen. Ist das nicht der Fall, sind weitere möglichst gezielte Untersuchungen vorzusehen. Zwischen den Spezialmodulen bestehen Verknüpfungen, die durch entsprechende Verweise innerhalb der einzelnen Abschnitte hergestellt werden. Die in den jeweiligen Abschnitten angesprochenen Erhebungsbögen können auf den Internetseiten des BGIA unter der Adresse <http://www.hvbg.de/bgia>, Webcode: 1506447 sowohl als Microsoft-Word-Datei als auch als PDF-Datei heruntergeladen werden.

3 Spezialmodule

3.1 Gesundheitliche Beschwerden – Spezielle arbeitsmedizinische Untersuchungen

E. Arnold, Mainz

Das spezielle arbeitsmedizinische Vorgehen lässt sich in Form von Erhebungsbögen oder Flow-Charts nur unzureichend erfassen. Über den Einfluss des Arbeitsplatzes hinaus wird die Gesundheit eines Menschen im Allgemeinen durch die individuelle Konstitution, die Vorerkrankungen, die häusliche und familiäre Situation sowie die Lebens- und Konsumgewohnheiten entscheidend beeinflusst. Daher sind in vielen Fällen eine individuelle Vorgehensweise und diagnostische Klärung notwendig.

Weil hierbei sowohl schweigepflichtsrelevante Belange als auch Bereiche der Intimsphäre 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 oftmals deren individuellen Gesundheitszustand. Er kann normalerweise sehr gut 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 Erkrankungen 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 Schädigung durch die Arbeitsumwelt vorliegt, sollten gezielte Untersuchungen nach Rücksprache mit dem Betriebsarzt und unter Berücksichtigung ggf. vorliegender Ergebnisse anderer Erhebungsmodule (z.B. Gebäudeerhebung: „jetziger Büroarbeitsplatz wurde vor Umbau anderweitig, z.B. als Reifenlager, genutzt“, „unterhalb des Büroarbeitsplatzes befindet sich ein Öltank“ o.Ä.) erfolgen.

Grundsätzlich muss klargestellt werden, dass eine vollständige Aufzählung aller konkurrierenden und potenziellen Ursachen des komplexen Zustandes eines individuellen Beschwerdebildes nicht möglich ist. Daher können mithilfe des Erhebungsbogens S1 nur einige Hinweise auf denkbare und gängige Möglichkeiten gegeben werden.

3 Spezialmodule

3.2 Gebäude und Einrichtung

Innenraumprobleme können in entscheidendem Maße sowohl durch die Gestaltung des Gebäudes als auch durch die Einrichtung der Räume mitverursacht werden. Mit dem Spezialmodul „Gebäude“ sollen in Ergänzung des Erhebungsbogens zum Arbeitsumfeld (G3) der Grunderhebung (siehe Abschnitt 2.2) zusätzliche wesentliche Parameter ermittelt werden. Dazu gehören neben der Konstruktion und räumlichen Auslegung insbesondere auch die Wahl

der Baumaterialien sowie die technische Ausstattung.

Zur raumluftechnischen Anlage, zu eingesetzten Materialien (bauliche Raumausstattung wie Bodenbeläge und Tapeten, Möbel und Raumtextilien sowie Reinigungs- und Pflegemittel) und zu ausgewählten Arbeitsmitteln stehen spezielle Abschnitte und Erhebungsbögen zur Verfügung, die die Ergebnisse aus dem Spezialmodul „Gebäude“ weiter vertiefen sollen (siehe Abschnitte 3.2.2, 3.2.3 und 3.2.4).

3 Spezialmodule

3.2.1 Gebäudeparameter

N. Kluger, Frankfurt am Main

Der Erhebungsbogen S2 zur Gebäudesituation soll Hinweise geben, ob Beschwerden möglicherweise im Zusammenhang mit dem Gebäude und dessen Nutzung stehen. Grundlage für diese Erhebung ist die Grunderhebung mit dem Erhebungsbogen G3, die auf jeden Fall im Vorfeld durchzuführen ist. Bei der Erhebung kann es hilfreich sein, die Haustechnik mit einzubeziehen.

Bei gravierenden Mängeln am Gebäude (z.B. Wasserschäden) ist anzuraten, eine fachkundige Person hinzuzuziehen. Für Sanierungsmaßnahmen sollte fachlicher Rat eingeholt werden. Eine Ergänzung zu diesem Erhebungsbogen bieten die Sondererhebungen zu raumluftechnischen Anlagen (Abschnitt 3.2.2), zur baulichen Raumausstattung und deren Zustand (Abschnitt 3.2.3), zu Möbeln und Raumtextilien (Abschnitt 3.2.3), zum Reinigungsverhalten (Abschnitt 3.2.3) und zur Beleuchtung (Abschnitt 3.4.3).

3.2.2 Raumluftechnische Anlagen

*W. Pfeiffer, Sankt Augustin
B. Küter und G. Weber, Wiesbaden*

Zu den raumluftechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) zählen Einrichtungen zum Heizen, Lüften und Klimatisieren von Räumen. Während sich die Aufgabe von Heizungsanlagen darauf beschränkt, die Raumluf im Winter zu erwärmen, haben Lüftungs- und Klimaanlage die Aufgabe, den Zustand der Raumluf hinsichtlich Reinheit, Temperatur und Feuchte usw. in bestimmten Grenzen konstant zu halten.

Gut geplante und regelmäßig gewartete RLT-Anlagen bestimmen in positiver Weise das Klima und die Konzentration luftfremder Stoffe in Innenräumen. Dagegen können insbesondere schlecht oder nicht gewartete RLT-Anlagen zu Geruchsbelästigungen in Innenräumen beitragen oder Luftbefeuchter die Ursache für Belastungen durch biologische Agenzien darstellen.

Die unterschiedlichen 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 bzw. die Raumlufqualität.

3.2.2.1 Klassifizierung von RLT-Anlagen

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

- freie Lüftung: Hier erfolgt die Luftförderung durch Druckunterschiede im und am Gebäude.
- maschinelle oder mechanische Lüftung: Hier erfolgt die Luftförderung über Ventilatoren.

Bei der freien Lüftung unterscheidet man verschiedene Lüftungssysteme (siehe Abbildung 2 auf Seite 56). Allen gemeinsam ist, dass der Luftwechsel alleine von den Witterungsbedingungen und von den Temperaturverhältnissen im Gebäude sowie von der Außentemperatur abhängig ist. Daher ist bei solchen Systemen eine kontrollierte Lüftung nicht 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-, von Teilklima- oder von Klimaanlage (siehe Tabelle 8 auf Seite 56).

Lüftungs-, Teilklima- und Klimaanlage werden entweder mit Außenluft (AU) oder zusätzlich zur Außenluft mit Umluf (UM) im so genannten Mischlufbetrieb (MI) betrieben. In

3 Spezialmodule

Abbildung 2:
Arten freier Lüftungssysteme

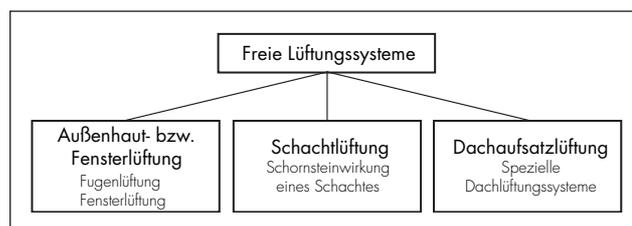


Tabelle 8:
Einteilung der RLT-Anlagen

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

seltener Ausnahmefällen (z.B. in der Aufheizphase außerhalb der Arbeitszeit) können solche Anlagen auch ausschließlich mit Umluft betrieben werden. Man spricht dann generell von Umluftanlagen (vgl. Abbildung 3).

bogen S3 sollen so weit wie möglich detaillierte Angaben zur Heizung und RLT-Anlage erfasst werden, damit eine qualitative Einschätzung ihrer Rolle bei der Raumluftqualität und das Auffinden von Fehlerquellen möglich ist. Der Erhebungsbogen gliedert sich in die Abschnitte:

3.2.2.2 Hinweise zur Ermittlung

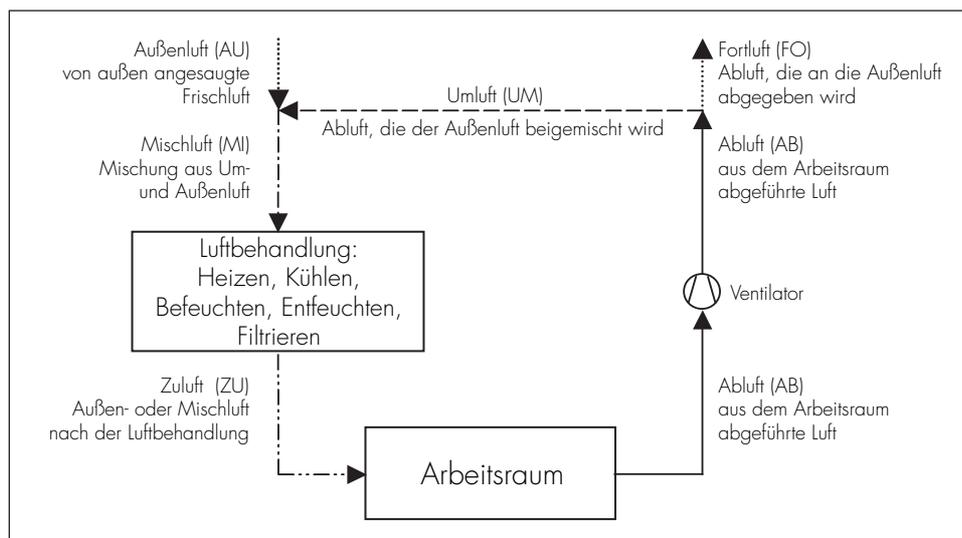
Bereits in der Grunderhebung wird im Rahmen des Erhebungsbogens zum Arbeitsumfeld G3 abgefragt, ob eine RLT-Anlage vorhanden ist. Mit dem Spezialerhebungs-

Teil A – Spezielle Angaben zur RLT-Anlage

Teil B – Spezielle Angaben zu Luftbefeuchtern (soweit vorhanden)

Teil C – Spezielle Angaben zu Heizanlagen

Abbildung 3:
Bezeichnung der Luftströme bei RLT-Anlagen (maschinelle Lüftung)



3 Spezialmodule

Die Erhebungsbögen werden in der Regel vom Betrieb ausgefüllt. Im Rahmen einer anschließenden Begehung sollten die Angaben überprüft und ggf. korrigiert und ergänzt werden. Hilfestellung zu wesentlichen fachlichen Details geben die Abbildungen 2 und 3, die Tabellen 8 und 9 sowie die in Abschnitt 3.2.2.4 genannte Literatur.

Tabelle 9:
Klassifizierung von Luftfiltern nach DIN EN 779 [2]

Neue Filterklasse	Alte Filterklasse	Bezeichnung
G 1 G 2 G 3 G 4	EU 1/A EU 2/B ₁ EU 3/B ₂ EU 4/B ₂	Grobstaubfilter
F 5 F 6 F 7 F 8 F 9	EU 5 EU 6 EU 7 EU 8 EU 9	Feinstaubfilter
EU 10 EU 11 EU 12 EU 13 bis 17	Q R S –	Schwebstofffilter

Erfahrungsgemäß liegen für die Luftmengenmessung ebenso wie für Raumklimamessungen häufig Messprotokolle vor. Sind diese Messungen jedoch bereits mehrere Jahre alt, so sind sie meist nicht mehr aussagefähig. Für eine gute Praxis der Wartung und Instandhaltung von RLT-Anlagen und speziell von Luftbefeuchtern können u.a. die Instandhaltungsinformationen der Arbeitsgemeinschaft Instandhaltung Gebäudetechnik (AIG) herangezogen werden [3 bis 5]. Über hygienische Überprüfungen, Reinigung und Desinfektion liegen in der Regel entsprechende Dokumentationen (z.B. Wartungsnachweis oder Betriebstagebuch) vor.

Die Anforderungen an Planung, Ausführung, Betrieb und Instandhaltung von RLT-Anlagen für Büro-, Versammlungs- und vergleichbare Aufenthaltsräume zur Sicherung eines hygienisch einwandfreien Zustandes sind in der VDI-Richtlinie 6022 Blatt 1 [6] enthalten.

Zur Einhaltung der Hygieneanforderungen und zur Instandhaltung der RLT-Anlagen müssen diese in regelmäßigen kurzen Zeitabständen durch geschultes Betriebspersonal kontrolliert werden. Die Zeitintervalle (z.B. monatlich die Funktion der Entkeimungsanlage prüfen, alle sechs Monate Ventile prüfen) dieser Hygienekontrollen sind ebenfalls in der VDI-Richtlinie 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 (VDI-Richtlinie 6022 Blatt 2 [7]).

Zur Beurteilung der RLT-Anlagen sollten diese Richtlinien herangezogen werden. Einige wesentliche Aspekte werden durch die Erhebungsbögen bereits erfasst. Die Anforderungen an RLT-Anlagen in Arbeitsräumen sind in der VDI-Richtlinie 6022 Blatt 3 [8] zu finden. Speziell für den Bereich Druck und Papierverarbeitung ist ein Informations-Ordner „Luftbefeuchtung“ [9] erhältlich.

3.2.2.3 Hinweise zur Auswertung

Die Praxis hat gezeigt, dass für die Begutachtung und Bewertung von RLT-Anlagen in der Regel Spezialwissen erforderlich ist. Daher sollten entsprechende Experten einbezogen werden. Ob die hygienischen Anforderungen an die Auslegung und den Betrieb von RLT-Anlagen nach der VDI-Richtlinie 6022 Blatt 1 eingehalten werden, kann bereits im Vorfeld überprüft werden. Das betrifft u.a. die Luftfilter, die Luftbefeuchter und die Instandhaltung (Wartung, Inspektion, Instandsetzung).

Die VDI-Richtlinie empfiehlt bei zwei Filterstufen für die erste Stufe mindestens einen Filter der Klasse F 5, möglichst jedoch F 7,

und für die zweite Stufe mindestens F 7, möglichst jedoch F 9 (vgl. Tabelle 9). Bei einstufiger Filterung ist mindestens die Filterklasse F 7 einzusetzen, da dieser Filter auch zu etwa 90 Prozent das Eindringen von Pollen verhindert. Beim gleichzeitigen Vorliegen von Kühldecken sollte mindestens die Filterstufe F 9 zur Anwendung kommen.

Luftbefeuchter sind mit Wasser von Trinkwasserqualität zu betreiben. Im Befeuchterwasser sollte die Gesamtkeimzahl 1 000 KBE/ml (KBE: Kolonie bildende Einheiten) nicht überschreiten. Bei Legionellen darf die Gesamtkeimzahl den Wert von 1 KBE/ml nicht übersteigen (siehe hierzu auch Abschnitt 3.6 „Biologische Einwirkungen“).

Bei Instandhaltungsarbeiten genügt es häufig zu prüfen, ob eine entsprechende Dokumentation der hygienischen Überprüfungen nach der VDI-Richtlinie vorliegt und ob das Personal die entsprechende Qualifikation besitzt (Hygieneschulung Kategorie A oder B).

Bei eventueller Lärmbelästigung durch die RLT-Anlage sind je nach Art des Raumes Richtwerte zwischen 35 und 45 dB(A) (siehe VDI-Richtlinie 2081 [10]) zu beachten. Zur Einhaltung der vorgesehenen Klimaparameter (u.a. Luftgeschwindigkeit am Arbeitsplatz kleiner 0,2 m/s, siehe auch DIN 1946 Blatt 2 [11]) wird auf Abschnitt 3.4.2 „Raumklima“ verwiesen.

3 Spezialmodule

3.2.2.4 Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Raumluftechnische Anlagen“

- [1] DIN EN 12792: Lüftung von Gebäuden – Symbole, Terminologie und grafische Symbole (01.04). Beuth, Berlin 2004
- [2] DIN EN 779: Partikel-Luftfilter für die allgemeine Raumluftechnik – Bestimmung der Filterleistung (05.03). Beuth, Berlin 2003
- [3] AIG-Information Nr. 4: Luftwäscher. Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft Instandhaltung Gebäudetechnik (AIG) der Fachgemeinschaft Allgemeine Lufttechnik im Verband deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA), Frankfurt 2003
- [4] AIG-Information Nr. 6: Wartungsschwerpunkte bei Lüftungs- und Klimaanlageanlagen. Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft Instandhaltung Gebäudetechnik (AIG) der Fachgemeinschaft Allgemeine Lufttechnik im Verband deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA), Frankfurt 2003
- [5] 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 2003
- [6] VDI 6022 Blatt 1: Hygienische Anforderungen an Raumluftechnische Anlagen – Büro- und Versammlungsräume (07.98). Beuth, Berlin 1998
- [7] VDI 6022 Blatt 2: Hygienische Anforderungen an Raumluftechnische Anlagen – Anforderungen an die Hygieneschulung (12.99). Beuth, Berlin 1999
- [8] VDI 6022 Blatt 3: Hygiene-Anforderungen an Raumluftechnische Anlagen in Gewerbe- und Produktionsbetrieben (11.02). Beuth, Berlin 2002
- [9] Informationen zur Luftbefeuchtung. Hrsg.: Berufsgenossenschaft Druck und Papierverarbeitung, Wiesbaden 2004
- [10] VDI 2081 Blatt 1: Geräuscherzeugung und Lärminderung in Raumluftechnischen Anlagen (07.01). Beuth, Berlin 2001
- [11] DIN 1946-2: Raumluftechnik; Gesundheitstechnische Anforderungen (VDI-Lüftungsregeln) (01.94). Beuth, Berlin 1994

3.2.3 Materialien

*N. Kluger, Frankfurt am Main
P. Michels, Köln*

Dieser Abschnitt enthält Hinweise zur Ermittlung und Bewertung der in Innenräumen eingesetzten Materialien, die als Baustoffe und für die Innenausstattung Verwendung finden. Darüber hinaus wird der Einsatz von Reinigungs- und Pflegemitteln betrachtet.

3.2.3.1 Allgemeine Hinweise zur Ermittlung

Die Qualität der Luft in Innenräumen kann wesentlich durch die verwendeten Materialien, die Möblierung und die Anwendung von Reinigungs- und Pflegemitteln beeinflusst werden, die gas- oder staubförmige Substanzen freisetzen können. In neuen und renovierten Gebäuden ist ihr Anteil an den Immissionen häufig erheblich. Bei Ausdünstungen in solchen Bereichen hilft es, die Heizung anzustellen und viel zu lüften. In den meisten Fällen ist die Emissionsrate nach wenigen Monaten nur noch sehr gering. Einige Materialien, wie z.B. Spanplatten, können allerdings über diesen Zeitraum hinaus bis hin zu mehreren Jahren Stoffe in relevanten Mengen emittieren.

Bestimmte Stoffe wurden in der Vergangenheit im Zusammenhang mit Befindlichkeitsstörungen gesehen. Die bekanntesten Beispiele hierfür sind Formaldehyd, der hauptsächlich aus Spanplatten emittiert wird, sowie die zur Holzbehandlung eingesetzten Holzschutzmittel. Eine Zuordnung von gesundheitlichen Beschwerden und Gefahren 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 erste 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 gebracht werden. Dies kann zur Identifizierung der Quellen und zur Beseitigung der Ursachen beitragen. Allerdings wird eine Zuordnung von Beschwerden zu einer bestimmten Quelle im Allgemeinen nicht ohne weitere Untersuchungen möglich sein.

3 Spezialmodule

- Zum anderen soll dieser Abschnitt dabei helfen, möglichen späteren Beschwerden bereits frühzeitig während des Baus und der Einrichtung von Gebäuden effektiv entgegenzuwirken und entsprechende Vermeidungsstrategien zu entwickeln. Zur Vermeidung von Befindlichkeitsstörungen sollte direkt an der Quelle angesetzt werden. Das optimale Schutzkonzept packt das Übel an der Wurzel. Die Belastung der Raumluft mit einer Vielzahl flüchtiger organischer Verbindungen resultiert zu einem nicht unerheblichen Teil aus kontinuierlich emittierenden Quellen mit großer Oberfläche wie Möbel, Bauteile, Teppiche 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 bzw. zu erkennen, ist jedoch nicht immer einfach. In dieser Situation will der vorliegende Abschnitt Hilfestellung geben.

An dieser Stelle soll auch auf die Problematik hingewiesen werden, dass Maßnahmen und Vorgehensweisen zur Verbesserung der Innenraumluftqualität durch Auswahl entsprechender Materialien nicht immer gleichzeitig eine Verbesserung des Arbeits- und Gesundheitsschutzes der Verarbeiter

von Baustoffen und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten in Innenräumen nach sich ziehen.

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.

Der Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB) hat eine Vorgehensweise zur gesundheitlichen Bewertung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC, volatile organic compounds, und SVOC, semi-volatile organic compounds) aus Bauprodukten herausgegeben [1]. Die dort festgelegte Vorgehensweise zur Emissionsermittlung findet allgemeine Zustimmung, während die Bewertungskriterien stark umstritten sind. Vor diesem Hintergrund kann die sich daraus ableitende Eignung von Bauprodukten zwar generell mit

zur Auswahl der Erzeugnisse herangezogen werden, es sollte aber immer eine kritische Betrachtung erfolgen.

3.2.3.2 Erfassung von Produktmissionen

Baustoffe/Bauchemikalien

Baustoffe und Bauchemikalien, von denen primär ein Einfluss auf die Innenraumluftqualität erwartet wird, können entsprechend Tabelle 10 (siehe Seite 64) in verschiedene Gruppen eingeteilt werden.

Die moderne Bauwirtschaft verwendet in großem Umfang und mit steigender Tendenz Produkte der Bauchemie. Immer häufiger werden Bauchemikalien wie Lacke, Klebstoffe oder Reinigungsprodukte verwendet, um Arbeiten einfacher, schneller und wirkungsvoller durchzuführen. Viele Bau-, Renovierungs- und Reinigungsarbeiten sind ohne den Einsatz chemischer Produkte kaum möglich.

Für die Herstellung moderner Bauchemikalien werden oft gefährliche Stoffe eingesetzt, auf deren Verwendung auch zukünftig nicht verzichtet werden kann. Daher zählen Bauchemikalien zu den großflächig im Innenraum vorkommenden potenziellen Quellen für Emissionen von Schadstoffen.

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 11 (siehe Seite 65) gibt anhand ausgewählter Beispiele erste Hinweise, welche Substanzklassen bei der Verwendung von Bauchemikalien emittiert werden können. Als Hilfestellung für die Zuordnung von Substanzen, die bei einer Untersuchung der Raumluft gefunden wurden, zu bestimmten Quellen sei auf Tabelle 42 im Abschnitt 3.5.3.6 (siehe Seite 242) verwiesen.

Möbel und Raumtextilien

Gerade bei neuen Möbeln und Raumtextilien ist mit Emissionen zu rechnen. Als Werk- und Hilfsstoffe für die Möbelherstellung lassen sich vier Werkstoffgruppen unterscheiden:

- Holzwerkstoffe
- Klebstoffe
- flüssige Beschichtungsmittel für Holz und Holzwerkstoffe
- feste Beschichtungsmaterialien

3 Spezialmodule

Tabelle 10:
Einteilung von Baustoffen und Bauchemikalien

Gruppe	Materialien
Dämmstoffe	Mineralwolle-Dämmstoffe organische Dämmstoffe (z.B. Cellulosedämmstoffe) Schaumkunststoffe 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 Pflegemittel Sonstige

Tabelle 11:
Übersicht über Substanzklassen, die bei der Verwendung von Bauchemikalien freigesetzt werden können

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

Holzwerkstoffe

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

Technisch wichtige Klebstoffe für die Spanplattenproduktion sind Harnstoff-Form-

aldehyd-Harze (UF), Melamin-Harnstoff-Formaldehyd-Harze (MUF), Phenol-Formaldehyd-Harze (PF) und „polymeres“ Diphenylmethandiisocyanat (PMDI). 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) gebun-

3 Spezialmodule

dene 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 80er-Jahren wegen ihrer Formaldehydemission verstärkt im öffentlichen Interesse. Um die Formaldehydemission aus Holzwerkstoffen bewertbar zu machen, wurden die so genannten „E“-Klassen (siehe Tabelle 12) eingeführt. Die Einteilung ist abhängig von der vom Werkstoff unter bestimmten Bedingungen in einen definierten Prüfraum abgegebenen Formaldehydmenge, der „Ausgleichskonzentration“ in einem Prüfraum.

Tabelle 12:
„E“-Klassen zur Beurteilung der Formaldehydemission aus Werkstoffen

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

Bis Mitte der 80er-Jahre wurden Platten der Klassen E2 und E3 verbaut. Mit der Emission von Formaldehyd aus diesen Spanplatten muss auch noch nach Jahren gerechnet werden. Seit Mitte der 80er-Jahre werden hauptsächlich formaldehydarme Produkte (Spanplatten der Klasse E1) verwendet.

Darüber hinaus sind „E0“-Platten im Handel, die als formaldehydfrei bezeichnet werden. Als Bindemittel werden in solchen Platten Zement, Magnesit oder Gips verwendet. Da jedoch auch der Naturrohstoff Holz selbst geringe Mengen Formaldehyd enthält, dürfte den Bemühungen zur Herstellung „formaldehydfreier“ Holzwerkstoffe eine Grenze gesetzt sein [2].

Möbel aus Spanplatten stellen eine der wichtigsten Quellen für Formaldehyd in Innenräumen dar (siehe auch Abschnitt 3.5.1.4). Seit 1986 dürfen keine Möbel mehr verkauft werden, die mehr als $0,1 \text{ ml/m}^3$ (ppm) Formaldehyd zur Innenraumluftbelastung beitragen. *Diller* [3] geht davon aus, dass bei ausschließlicher Verwendung von Spanplatten der Klasse E1 und besser sowie dem Fehlen anderer relevanter Formaldehydquellen der Beurteilungswert 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-Dispersionsklebstoffe (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 Beschichtungsmittel für Holz- und Holzwerkstoffe

Nitrocelluloselacke (NC-Lacke) stellen mengenmäßig immer noch das bedeutendste flüssige Beschichtungssystem in der Möbelindustrie dar. Neben NC-Lacken werden UV-härtende ungesättigte Polyester- bzw. Acrylatlacke eingesetzt. Es gibt jedoch einen eindeutigen Trend weg von den stark lösungsmittelhaltigen Lacken zu festkörperreichen Lacken (Medium Solids/High Solids) sowie Wasserlacken. Eine Übersicht über die Zusammensetzung einiger Lacksorten bietet Tabelle 13 (siehe Seite 68).

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.

Beschichtete Holzwerkstoffe und Möbel

Um das Emissionsverhalten von Möbelbauteilen, kompletten Möbeln und anderen beschichteten Hölzern und Holzwerkstoffen zu untersuchen, stehen heute Prüfkammerverfahren zur Verfügung. Zur Vergabe des Umweltzeichens nach RAL-UZ 38 wird nach einem solchen Verfahren sowohl die Emission von Formaldehyd als auch die gesamte Emission flüchtiger organischer Verbindungen (TVOC, total volatile organic compounds) gemessen [4]. Werden die fixierten Anforderungen an geringe Emissionen erfüllt, so erfolgt die Einstufung als „Emissionsarme

3 Spezialmodule

Tabelle 13:
Beispielhafte Zusammensetzung von Lacken für Möbelbeschichtungen nach [5]

Art des Lackes	Lösungsmittelanteil	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

Produkte aus Holz und Holzwerkstoffen“. Beim Einsatz solcher Produkte ist mit wesentlich verringerten Emissionen in den Innenraum zu rechnen.

Spezielle Hinweise zur Ermittlung

Eine Vielzahl der Stoffe, die entscheidend zur Luftqualität in Innenräumen beitragen, sind

Gefahrstoffe mit den im § 3a des Chemikaliengesetzes [6] beschriebenen Eigenschaften. Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung muss ein Unternehmer u.a. prüfen, ob nicht Stoffe/Produkte mit einem geringeren gesundheitlichen Risiko eingesetzt werden können. Hieraus ergeben sich bereits Ansätze zur Verbesserung der Innenraumluftqualität.

So sollten bei Neubau- und Umbaumaßnahmen sowie im Falle einer Sanierung zur Vermeidung späterer Befindlichkeitsstörungen bei Nutzern möglichst von vornherein nur solche Bauchemikalien (Teppichbodenkleber, Farben, Lacke etc.) verwendet werden, von denen eine möglichst geringe Belastung der Innenraumluft ausgeht.

Um den Unternehmen der Bauwirtschaft bei der Umsetzung der vielfältigen Vorschriften eine Hilfestellung zu geben, haben die Berufsgenossenschaften der Bauwirtschaft das Gefahrstoff-Informationssystem GISBAU aufgebaut [7]. Ziel und Aufgabe von GISBAU ist es u.a., Auskunft über die Gefährdungen durch Bauchemikalien und geeignete Schutzmaßnahmen zu liefern.

So hat GISBAU in Zusammenarbeit mit den Herstellern von Klebstoffen und Vorstrichen für den Bodenbereich ein Codierungssystem (GISCODE) entwickelt, mit dem die Auswahl lösungsmittelfreier (emissionsarmer) Produkte – unabhängig vom Hersteller/Vertreiber – möglich ist. Die Verlegewerkstoffe wurden dazu in Gruppen eingeteilt, in denen die Gefährdung im Hinblick auf den Arbeits- und Gesundheitsschutz widerspiegelt wird (vgl. Tabelle 14).

Der GISCODE wird von den Herstellern in Preislisten, Sicherheitsdatenblättern, Tech-

Tabelle 14:
Übersicht über die GISCODEs für Verlegewerkstoffe

GISCODE	Produktgruppe
Dispersions-Verlegewerkstoffe	
D1	lösungsmittelfrei
D2	lösungsmittelarm, aromatenfrei
D3	lösungsmittelarm, toluolfrei
D4	lösungsmittelarm, toluolhaltig
D5	lösungsmittelhaltig, aromatenfrei
D6	lösungsmittelhaltig, toluolfrei
D7	lösungsmittelhaltig, toluolhaltig
stark lösungsmittelhaltige Verlegewerkstoffe	
S1	aromaten- und methanolfrei
S2	toluol- und methanolfrei
S3	aromatenfrei
S4	methanolfrei
S5	toluolfrei und methanolhaltig
S6	toluolhaltig
Epoxidharzprodukte	
RE0	Epoxidharzdispersionen
RE1	lösungsmittelfrei, sensibilisierend
RE2	lösungsmittelarm, sensibilisierend
RE2.5	lösungsmittelhaltig
RE3	lösungsmittelhaltig, sensibilisierend
Polyurethan-Verlegewerkstoffe	
RU1	lösungsmittelfrei
RU2	lösungsmittelarm
RU3	lösungsmittelhaltig
RU4	stark lösungsmittelhaltig
Spachtelmassen	
CP1	auf Calciumsulfatbasis
zementhaltige Produkte	
ZP1	chromatarm
ZP2	nicht chromatarm

3 Spezialmodule

nischen Merkblättern und auf Gebinden angegeben.

3.2.3.3 Spezielle Baumaterialien

Teppichböden

Träger von Stoffen, die zur Belastung von Innenräumen beitragen können, sind Teppichböden. Dabei steht die Emission von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) im Vordergrund (siehe Abschnitt 3.5.1.5).

Die „Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichböden e.V.“ (GuT) prüft Teppichböden und Teppiche auf gesundheitliche und ökologische Aspekte. 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 so genannte GuT-Siegel (siehe Abbildung 4) verliehen.

Teppichkleber

Insbesondere bei der Anwendung von Teppichklebern können Beeinträchtigungen der Raumluftqualität in Innenräumen auftreten. Um dem vorzubeugen, haben Unternehmen

Abbildung 4:
GuT-Siegel



der deutschen Klebstoffindustrie die „Gemeinschaft Emissionskontrollierte Verlegewerkstoffe“ (GEV) gegründet. Erklärtes Ziel der Gemeinschaft ist es, in Zusammenarbeit 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 Produkt-Kennzeichnungssystem 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 (siehe Tabelle 15) [8].

Alle nach EMICODE® gekennzeichneten Werkstoffe (vgl. Abbildung 5) gelten als emissionskontrollierte Werkstoffe und werden grundsätzlich ohne Zusatz von Lösungsmitteln hergestellt. Krebs erzeugende, erbgutverändernde oder fortpflanzungsgefährdende Stoffe bzw. Stoffe, die im Verdacht einer solchen Wirkung stehen, dürfen in emissionskontrollierten Werkstoffen nicht eingesetzt werden.

Abbildung 5:
EMICODE®-Siegel



Tabelle 15:
Übersicht über die EMICODE®-Klassen

Klasse	Emittierte Menge flüchtiger organischer Verbindungen	
EC 1 – sehr emissionsarm	Klebstoffe	< 500 µg/m ³
	Vorstriche	< 100 µg/m ³
	Spachtelmassen	< 200 µg/m ³
EC 2 – emissionsarm	Klebstoffe	500 bis 1 500 µg/m ³
	Vorstriche	100 bis 300 µg/m ³
	Spachtelmassen	200 bis 600 µg/m ³
EC 3 – nicht emissionsarm	Klebstoffe	> 1 500 µg/m ³
	Vorstriche	> 300 µg/m ³
	Spachtelmassen	> 600 µg/m ³

3 Spezialmodule

Holzschutzmittel (Lindan, PCP)

Siehe hierzu Abschnitt 3.5.1.7.

*Faserstäube
(Asbest, Mineralwollgedämmstoffe)*

Siehe hierzu Abschnitt 3.5.1.1

3.2.3.4 Identifizierung der Quellen

Der erste wesentliche Schritt zur Identifizierung der 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 (täglich/wöchentlich) Reinigung der Arbeitsräume, bedacht werden. Zur Ermittlung stehen die Erhebungsbögen

- bauliche Raumausstattung und deren Zustand (S4)
- Möbel und Raumtextilien (S5)
- Reinigung (S6)

zur Verfügung.

In zunehmendem Maß werden die Emissionen aus Bauprodukten auch mithilfe von Emissionsmesskammern untersucht. Für Produkte aus Holz- und Holzwerkstoffen erfolgen z.B. entsprechende Kammeruntersuchungen insbesondere im Rahmen der Vergabe des Umweltzeichens „Emissionsarme Produkte aus Holz- und Holzwerkstoffen“ RAL-UZ 38 (siehe Abschnitt über „Beschichtete Holzwerkstoffe und Möbel“ auf Seite 67). Die Ergebnisse solcher Untersuchungen können sowohl zur Ermittlung der zu erwartenden relevanten Gefahrstoffe in der Raumluft als auch zur Auswahl emissionsarmer Bauprodukte herangezogen werden.

Existieren Informationen über entsprechende Label (GISCODE, EMICODE, RAL-Gütezeichen u.Ä.) für die eingesetzten Materialien und Erzeugnisse, so sollten diese immer in den Erhebungsbögen 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.

3.2.3.5 Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Materialien“

[1] 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 2004

[2] *Roffael, E.*: Die Formaldehydabgabe von Spanplatten und anderen Holzwerkstoffen. DRW, Leinfelden 1982

[3] *Diller, W.*: Messtechnik und Bewertung von Formaldehyd und Isocyanaten in Innenräumen. In: Schadstoffbelastung in Innenräumen, Bd. 19. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft, Düsseldorf 1992

[4] Grundlage für Umweltzeichenvergabe – Emissionsarme Produkte aus Holz und Holzwerkstoffen (RAL-UZ 38) (04.02). Hrsg.: RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung, Sankt Augustin 2002

[5] *Fischer, M.; Böhm, E.*: Erkennung und Bewertung von Schadstoffemissionen aus Möbellacken. Erich Schmidt, Berlin 1994

[6] Gesetz zum Schutz vor gefährlichen Stoffen (Chemikaliengesetz – ChemG) vom 20. Juni 2002. BGBl. I (2002), S. 2090; zul. geänd. am 25.11.2003, BGBl. I (2003), S. 2304

[7] WINGIS Gefahrstoffinformationssystem der Berufsgenossenschaften der Bauwirtschaft. CD-ROM. BC-Verlag, Wiesbaden (jährliche Aktualisierung)

[8] www.emicode.de

Weiterführende Literatur

[9] *Rühl, R.; Kluger, N.*: Handbuch der Bauchemikalien. Ecomed, Landsberg 1995 – Losebl.-Ausg.

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

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

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

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

[14] Innenraumbelastungen: Erkennen, Bewerten, Sanieren. Bauverlag, Berlin 1993

3 Spezialmodule

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

[16] *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

[17] 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; zul. geänd. BGBl. I (2003), S. 2343

3.2.4 Arbeitsmittel

Dieser Abschnitt enthält Hinweise zur Ermittlung und Bewertung der beim Einsatz bestimmter Arbeitsmittel in Innenräumen entstehenden Gefährdungen.

3.2.4.1 Laserdrucker und -kopierer

T. Smola, Sankt Augustin

Laserdrucker und -kopierer sind aus dem modernen Büroalltag nicht mehr wegzudenken. Millionen Menschen benutzen täglich diese Geräte. In letzter Zeit wurde die Öffentlichkeit jedoch durch Meldungen über mögliche Gesundheitsgefahren beim Betrieb von Laserdruckern aufgrund einer möglichen Exposition gegenüber Tonerstaub verunsichert. Aus diesem Grund wurden von verschiedenen Institutionen entsprechende Untersuchungen vorgenommen. Auch das Berufsgenossenschaftliche Institut für Arbeitsschutz – BGIA hat in Zusammenarbeit mit der Verwaltungs-Berufsgenossenschaft zwei Projekte durchgeführt, deren Ziel die Feststellung der aus Laserdruckern und -kopierern frei werdenden Emissionen und die Bewertung in Bezug auf eine mögliche Gesundheitsgefährdung war [1 bis 3].

Für die Beurteilung, ob von Laserdruckern und -kopierern gesundheitliche Gefahren ausgehen, stehen folgende Fragen im Mittelpunkt:

- Welche gesundheitsgefährdenden Komponenten sind in den Tonern enthalten?
- Welche Stoffe und welche Mengen dieser Stoffe werden beim Betrieb von Laserdruckern freigesetzt?

Da jedem Laserdrucker oder -kopierer ständig Toner zugeführt wird, besteht die Möglichkeit, dass Toner in Form von Stäuben emittiert wird. Der Toner wird während des Druckvorgangs erhitzt, sodass auch Zersetzungsprodukte des Toners, z.B. flüchtige organische Stoffe (TVOC) emittiert werden können. Weiterhin ist bekannt, dass speziell ältere Geräte während des Druckvorgangs Ozon emittierten.

Staubfreisetzung

Bei den Untersuchungen des BGIA wie auch bei Emissionsuntersuchungen anderer Stellen [4; 5] konnten keine relevanten Emissionen von Tonerstaub nachgewiesen werden. In der Vergabegrundlage für das Umweltzeichen Blauer Engel „RAL-UZ 85“ wird eine Emissionsrate von 4,0 mg/h Staub als

3 Spezialmodule

zulässiger Höchstwert während der Druckphase angegeben [6].

Metalle

Die meisten Schwarztoner enthalten zu einem Viertel bis 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 wurden bei den BGIA-Untersuchungen die Metalle Chrom, Eisen, Zink, Zinn und Strontium in verschiedenen Farbtonern gefunden. Cobalt und Nickel, die speziell wegen ihrer sensibilisierenden Eigenschaften problematisch sind, waren entweder nicht oder nur in Spuren in den Tonern enthalten.

Der Fachausschuss Verwaltung hat ein BG-PRÜFZERT-Zeichen mit dem Zusatz „schadstoffgeprüft“ eingeführt, in dessen „Grundsätzen für die Prüfung und Zertifizierung von Tonerpulver für Laserdrucker und Kopiergeräte“ Maximalgehalte für verschiedene Metalle im Tonerpulver festgelegt sind (vgl. Tabelle 16) [7].

Noch weitergehende Anforderungen werden nach der Vergabegrundlage für das Umwelt-

zeichen Blauer Engel „RAL-UZ 85“ [6] formuliert. Danach dürfen in Tonern keine Stoffe enthalten sein, die Quecksilber-, Cadmium-, Blei-, oder Chrom(VI)-Verbindungen als konstitutionelle Bestandteile enthalten. Herstellungsbedingte Verunreinigungen durch Schwermetalle wie z.B. Cobalt und Nickel sind so gering wie technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar zu halten, d.h. für sie gilt ein Minimierungsgebot.

Tabelle 16:
Grenzwerte für Metalle in Tonern zur Erlangung des BG-PRÜFZERT-Zeichens mit dem Zusatz „schadstoffgeprüft“

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

¹⁾ Bei Unterschreitung dieses Wertes kann die spezifische Bestimmung von sechswertigem Chrom entfallen.

Ozon

In der Regel sind moderne Laserdrucker bezüglich der Ozonfreisetzung nicht problematisch. 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 wirksam 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; 5]. Für die Vergabe des Umweltzeichens Blauer Engel nach RAL-UZ 85 [6] darf die Emissionsrate von Ozon während der Druckphase einen Wert von 2,0 mg/h 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 (Geräte-

emission, Außenluft) entsteht ein Gleichgewicht zwischen Ozonbildung und Ozonzerfall.

Flüchtige organische Verbindungen (VOC)

Jeder Laserdrucker oder -kopierer setzt während des Druck- bzw. 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 85 [6] folgende Höchstwerte für Emissionsraten von TVOC erlaubt:

- ❑ 10 mg/h während der Druckphase
- ❑ 1 mg/h bei Tischgeräten in der Bereitschaftsphase bzw.
- ❑ 3 mg/h bei Standgeräten in der Bereitschaftsphase

Die Vergabegrundsätze für das BG-PRÜF-ZERT-Zeichen mit dem Zusatz „schadstoffgeprüft“ legen für Toner einen Maximalgehalt an TVOC von 1.000 mg/kg fest [7].

Im Mittelpunkt der Kritik steht vor allem die bei einem Druckvorgang mögliche Freisetzung von **Benzol**, das als krebserzeugend eingestuft ist [8]. Viele Schwarz-Weiß-Laser-

3 Spezialmodule

drucker wie auch Farblaserdrucker setzen überhaupt kein Benzol frei. Bei einigen Geräten sind jedoch Benzolemissionen nachweisbar. Für die Vergabe des Umweltzeichens Blauer Engel nach RAL-UZ 85 [6] liegt der zulässige Höchstwert für Benzol bei einer Emissionsrate von 0,05 mg/h während der Druckphase. Die Vergabe-grundsätze für das BG-PRÜFZERT-Zeichen mit dem Zusatz „schadstoffgeprüft“ begrenzen den Maximalgehalt von Benzol im Toner auf 1 mg/kg [7].

Sehr umfangreiche Untersuchungen zur Benzolfreisetzung aus Laserdruckern sind von der Landesgewerbeanstalt (LGA) Bayern durchgeführt worden [4]. Untersucht wurden

- die Benzolgehalte von Tonern:
Von 173 untersuchten Tonern hatten 93 einen Benzolgehalt über 0,1 mg/kg und davon wiederum 13 Toner einen Benzolgehalt über 10 mg/kg.
- die Benzolemissionsraten von Laserdruckern und Kopierern:
Von 65 untersuchten Geräten zeigten elf Geräte Benzolemissionsraten über 0,1 µg/min (0,006 mg/h), davon sechs Geräte über 5 µg/min (0,3 mg/h). Der Medianwert aller Messungen lag unter 0,1 µg/min.

Die von der LGA durchgeführten Untersuchungen wie auch entsprechende Untersuchungen des BGIA belegen, dass bei den meisten

Geräten keine oder nur unbedeutende Benzolfreisetzungen auftreten, die sich meist im Bereich der allgemeinen Benzol-Umweltbelastung bewegen.

Weitere flüchtige organische Verbindungen, wie Toluol, Xylole, Ethylbenzol und Trimethylbenzole, werden von den Geräten in unterschiedlicher Menge abgegeben, wobei jedoch alle gemessenen Konzentrationen mehrere Größenordnungen unter den gültigen Arbeitsplatzgrenzwerten liegen. Auch die wesentlich strengeren Umweltrichtwerte werden nicht überschritten (siehe Abschnitt 3.5.3.6).

Das ebenfalls freigesetzte **Styrol** wird von der MAK-Kommission der Deutschen Forschungsgemeinschaft in die Krebskategorie 5 eingestuft. 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 [9]. Die bei den Messungen im BGIA festgestellten Konzentrationen liegen mehr als 200-fach unter dem MAK-Wert. Allerdings wurden bei wenigen Geräten Überschreitungen des Innenraumrichtwertes I des Umweltbundesamtes (30 µg/m³) festgestellt (siehe Abschnitt 3.5.3.6 auf Seite 227). Für die Vergabe des Umweltzeichens Blauer Engel nach [6] liegt der zulässige Höchstwert für Styrol bei einer Emissionsrate von 1,0 mg/h während der Druckphase. Für die Vergabe des BG-PRÜF-

ZERT-Zeichens mit dem Zusatz „schadstoffgesprüht“ dürfen Toner maximal 40 mg/kg Styrol enthalten. Derselbe Wert gilt jeweils auch für Toluol, Ethylbenzol und Xylol [7].

Von der LGA Bayern wurden ebenfalls umfangreiche Untersuchungen zur Styrol-emission durchgeführt. Von den 65 untersuchten Geräten zeigten vier Geräte Emissionsraten über 100 µg/min (6 mg/h); der Medianwert aller Messungen lag bei 6 µg/min (0,36 mg/h) [4].

Gesamtbeurteilung

Aus den Untersuchungen lassen sich die folgenden 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 einmal zum Hautkontakt kommen, so sind die Toner-

spuren mit kaltem Wasser und Seife zu beseitigen. Personen, die intensiveren Kontakt mit Toner haben können (Servicepersonal, Kassettenrecycling), sollten auf jeden Fall durch Schutzhandschuhe direkten Kontakt ausschließen.

- ❑ 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) werden von allen Laserdruckern in unterschiedlichen Mengen freigesetzt. 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.

3 Spezialmodule

Die Untersuchungen im BGIA haben gezeigt, dass die Geräteemissionen, verglichen mit aktuellen Grenzwerten, als äußerst gering anzusehen sind, untereinander aber Unterschiede aufweisen. Für Anwender, die nur äußerst geringe Emissionen tolerieren möchten, hat der Fachausschuss Verwaltung ein Gütesiegel für Laserdrucker entwickelt, das BG-PRÜFZERT-Zeichen mit dem Zusatz „ergonomisch, emissionsarm“ (siehe Abbildung 6). Die Festlegung der zugehörigen Grenzwerte erfolgte im Hinblick auf eine allgemeine Belastungsminimierung im Sinne des Arbeitsschutzgesetzes sehr progressiv. Sofern vorhanden, wurden aktuelle Umwelt- oder Innenraumrichtwerte als Kriterien herangezogen, die weit unter den gültigen Arbeitsplatzgrenzwerten liegen.

In der Regel werden Drucker nur in Verbindung mit dem speziell für das betreffende Gerät vertriebenen Toner getestet. In der Praxis trifft man jedoch auch oft Toner von Fremdanbietern bzw. 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 BG-PRÜFZERT-Zeichen für Tonerpulver geschaffen, das den Zusatz „schadstoffgeprüft“ trägt (siehe Abbildung 7) [7]. Ein Toner mit diesem Zeichen erfüllt bestimmte Anforderungen bezüglich

Abbildung 6:
BG-PRÜFZERT-Zeichen mit dem Zusatz
„ergonomisch, emissionsarm“

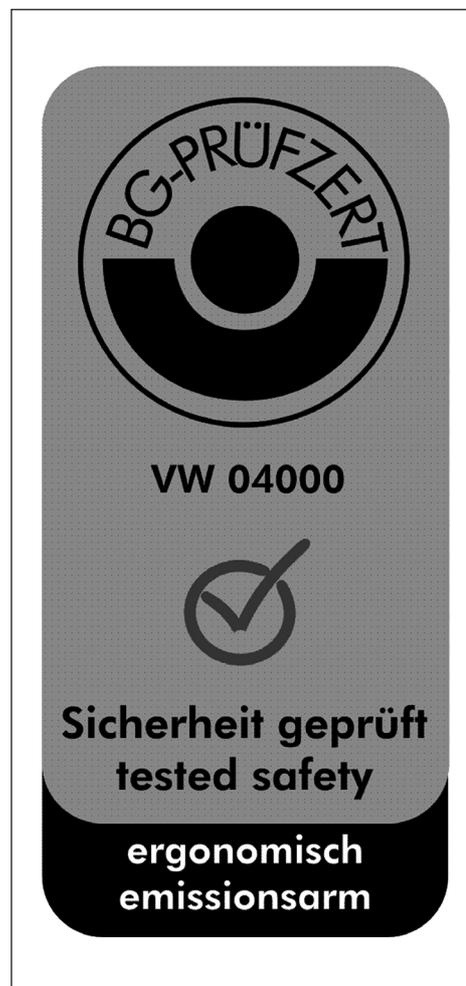


Abbildung 7:
BG-PRÜFZERT-Zeichen mit dem Zusatz
„schadstoffgeprüft“



der Gehalte an Metallen und flüchtigen organischen Verbindungen (siehe oben) sowie bezüglich sonstiger Inhaltsstoffe und den Partikelgrößen.

Vom LGA wird ebenfalls ein Zertifikat „LGA-schadstoffgeprüft“ (Abbildung 8, siehe Seite 82) vergeben [10]. In den Zertifizierungskriterien sind Grenzwerte für Tonerpulver festgelegt, die aus einschlägigen Richtwerten abgeleitet wurden. Es müssen sowohl die Kriterien für den Toner als auch die für die Emissionsprüfung eingehalten werden.

Auch der Blaue Engel [6] kann für Laserdrucker vergeben werden (Abbildung 9, siehe Seite 82). Die Vergabegrundlagen für dieses Umweltzeichen beziehen sich jedoch nicht nur auf die Emissionen aus Laserdruckern oder auf Tonerinhaltsstoffe, sondern umfassen auch zahlreiche andere Umweltaspekte wie recyclinggerechte Konstruktion, Materialanforderungen, Druckerpapier u.a. Die Toner für diese Geräte dürfen keine Stoffe mit folgenden Einstufungen enthalten:

- krebserzeugend Kategorie 1, 2 oder 3 (R45, R49, R40 oder nach TRGS 905)
- erbgutverändernd Kategorie 1, 2 oder 3 (R46, R68 oder nach TRGS 905)
- fortpflanzungsgefährdend Kategorie 1, 2 oder 3 (R60 bis R64 oder nach TRGS 905)

3 Spezialmodule

Abbildung 8:
„LGA-schadstoffgeprüft“ für Toner



Abbildung 9:
„Blauer Engel“ für Laserdrucker und -kopierer



- sehr giftig beim Einatmen oder bei Berührung mit der Haut (R26, R27)
- sensibilisierend beim Einatmen (R42)
- sensibilisierend bei Hautkontakt (R43 – Gehalt oberhalb 1 %)
- Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition (R48)

Weitere Kriterien betreffen z.B. die enthaltenen Schwermetalle sowie die Emissionen an TVOC, Benzol, Styrol, Ozon und Staub (siehe oben).

In einigen Veröffentlichungen zur Tonerproblematik wird der Eindruck vermittelt, dass Laserdrucker generell eine Gesundheitsgefahr darstellen, weil sie große Mengen gesundheitsschädigender Stoffe freisetzen

[5; 11]. Solche Darstellungen führen zur Verunsicherung der Öffentlichkeit und tragen kaum zu einer sachgerechten Auseinandersetzung mit möglichen gesundheitlichen Risiken bei. Der entscheidende Mangel solcher Veröffentlichungen besteht darin, dass der Schluss einer Gesundheitsgefährdung allein aus dem Nachweis des Vorhandenseins bestimmter Stoffe gezogen wird (z.B. verschiedene Metalle). Man muss jedoch berücksichtigen, dass viele Stoffe ständig in der Umwelt vorhanden sind und dass diese mit entsprechend empfindlichen Nachweisverfahren natürlich auch überall nachgewiesen werden können. Das Vorhandensein eines Stoffes, auch oberhalb der allgemeinen Umweltbelastung, ist aber keinesfalls ausreichend; entscheidend ist die Dosis, die aufgenommen werden kann. Diesbezüglich kann man nach dem heutigen Stand der Kenntnisse davon ausgehen, dass beim normalen Betrieb von modernen Laserdruckern und -kopierern kein erhöhtes Risiko einer Gesundheitsgefährdung zu befürchten ist. Zum selben Ergebnis gelangen auch etliche Stellungnahmen z.B. von Berufsgenossenschaften, Druckerherstellern, Verbänden und Fachzeitschriften (siehe z.B. [12 bis 15]).

Bei sehr intensivem Betrieb von Laserdruckern oder beim gleichzeitigen Betrieb mehrerer Geräte wird generell empfohlen, diese außerhalb des Büroarbeitsraums aufzustellen. Werden mehrere Geräte ständig zu Produk-

tionszwecken verwendet, so gelten die oben gemachten Aussagen nur eingeschränkt; diese Situation muss gesondert beurteilt werden.

3.2.4.2 Strahlenemission von Bildschirmgeräten

B. Aengenvoort, F. Börner, H. Siekmann, Sankt Augustin

An Computerarbeitsplätzen sind hauptsächlich zwei verschiedene Arten von Bildschirmgeräten im Einsatz. Dies sind einmal die so genannten Kathodenstrahl- oder CRT-Geräte. Hierbei handelt es sich um Monitore, die zur Erzeugung der Bilder eine Kathodenstrahlröhre (englisch: cathode ray tube, CRT) benutzen.

Die zweite Art von Bildschirmgeräten sind die so genannten Flüssigkristalldisplays (englisch: liquid crystal display, LCD). Häufig wird dieser Monitortyp auch als TFT-Bildschirm (englisch: thin film transistor, TFT) oder – wegen seiner geringen Bautiefe – als Flachbildschirm bezeichnet.

Je nach Bauart werden in Bildschirmgeräten elektrische und magnetische Felder sowie verschiedene Arten von Strahlung erzeugt. Inwieweit diese Felder und Strahlungen von den Geräten nach außen emittiert werden

3 Spezialmodule

und auf Personen einwirken können, wird im Folgenden erläutert.

Ionisierende Strahlung

Bei CRT-Bildschirmen treffen die im Hochspannungsfeld beschleunigten Elektronen auf den Leuchtstoff der Bildschirminnenwand und werden dort abgebremst. Dabei entsteht Röntgenstrahlung, die so genannte Bremsstrahlung. Die Energie der Röntgenstrahlung ist aufgrund der vergleichsweise niedrigen Röhrenspannung (circa 5 kV bis 40 kV) gering, wodurch die Geräte nicht unter die Genehmigungspflicht der Röntgenverordnung [16] fallen. Es handelt sich dabei um eine so genannte weiche Röntgenstrahlung, die beim Eindringen in ein Material stark absorbiert wird. Die Röntgenstrahlung, die in CRT-Bildschirmen auftritt, wird in der circa 1 cm dicken Glaswand der Röhre fast vollständig absorbiert und dringt nicht nach außen.

Umfangreiche Untersuchungen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) sowie Messungen des Kernforschungszentrums Karlsruhe haben ergeben, dass die Belastung durch ionisierende Strahlung an Bildschirmen in der Regel um etwa zwei Größenordnungen unterhalb der natürlichen Strahlenbelastung, der jeder ständig ausgesetzt ist, liegt [17; 18]. Bei den Unter-

suchungen wurden auch Messungen auf der Rückseite der Monitore vorgenommen. Dies ist insbesondere für die Arbeit in Büroräumen mit mehreren Beschäftigten von Bedeutung, in denen 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.

Früher geäußerte Befürchtungen, dass bei schwangeren Frauen, die an Bildschirmen arbeiten, ein erhöhtes Risiko für Fehlgeburten und für Missbildungen der Föten bestehen könnte, haben sich nicht bestätigt [19; 20]. In den bisher durchgeführten wissenschaftlichen Untersuchungen wurde kein erhöhtes Risiko festgestellt [20].

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

Elektrostatische Felder

Bei CRT-Bildschirmen werden in der Kathodenstrahlröhre statische elektrische Felder erzeugt. In einem Abstand von 30 cm zur Bildschirmoberfläche können daher elektrostatiche Feldstärken von bis zu 7 000 V/m auftreten [17]. Neuere CRT-Bildschirme

erzeugen geringere Feldstärken. Nach der Berufsgenossenschaftlichen Vorschrift (BGV) B11 „Elektromagnetische Felder“ [21] 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.

Die in der Kathodenstrahlröhre eines CRT-Monitors beschleunigten Elektronen treffen auf die Innenwand des Glaskolbens. Der Glaskolben lädt sich dadurch elektrostatisch auf. Durch die Aufladung können Staubpartikel aus der Luft angezogen werden, falls die Ladungen nicht wie bei modernen Geräten üblich abgeführt werden.

Bei LCD-Bildschirmen treten keine wesentlichen elektrostatischen Felder auf. Ebenso ist bei ihnen nicht mit elektrostatischen Aufladungen zu rechnen.

Elektromagnetische Felder

Bei CRT-Bildschirmen dienen Spulen zur Ablenkung und Fokussierung des Elektronenstrahls. Durch sie werden magnetische Felder generiert. Felder niedriger Frequenzen werden durch die Stromversorgung erzeugt, während Felder mittlerer und hoher Frequenzen durch verschiedene Schaltkreise im Inneren des Bildschirmgerätes hervorgerufen werden.

Messungen im Niederfrequenzbereich (bis 30 kHz) zeigen, dass die Stärke der Magnetfelder aus CRT-Bildschirmgeräten vergleichbar mit den magnetischen Feldstärken in der Umgebung üblicher im Haushalt verwendeter Elektrogeräte (z.B. Haartrockner, Elektroherd etc.) ist. Die an Bildschirmen gemessenen Werte der elektrischen und der magnetischen Feldstärke liegen um zwei bis drei Größenordnungen unter den zulässigen Expositionsgrenzwerten [17]. So beträgt z.B. die magnetische Flussdichte im Niederfrequenzbereich für einen CRT-Bildschirm in einem Abstand von 30 cm circa 0,75 μT [17]. Der zulässige Wert der magnetischen Flussdichte bei einer Frequenz von 50 Hz beträgt dagegen 424 μT für Arbeitnehmer nach BGV B11 und 100 μT für die allgemeine Bevölkerung nach der 26. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (26. BImSchV) [22].

Messungen im Hochfrequenzbereich (30 kHz bis 300 GHz) zeigen, dass die elektrischen und magnetischen Feldstärken von CRT-Bildschirmgeräten um Größenordnungen unter den zulässigen Expositionsgrenzwerten liegen [17]. So ergeben sich z.B. im Frequenzbereich zwischen 30 MHz und 300 MHz und bei einem Abstand von 30 cm magnetische Feldstärken von $2 \cdot 10^{-6}$ A/m und elektrische Feldstärken von 0,18 V/m [17]. Die für diesen Frequenz-

3 Spezialmodule

bereich zulässigen Werte liegen nach BGV B11 für die magnetische Feldstärke bei 0,073 A/m und für die elektrische Feldstärke bei 27,5 V/m.

Bei LCD-Bildschirmen werden durch das Prinzip der Bilddarstellung (Verwendung von Halbleiterbauelementen) sowie aufgrund der geringen Netzanschlussleistung nur sehr geringe elektrische und magnetische Feldstärken erzeugt. Wesentliche Emissionen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder treten daher bei LCD-Bildschirmen nicht auf.

In Schweden gibt es seit 1988 Strahlungsgrenzwerte für Bildschirme. Diese Grenzwerte werden von der schwedischen Gewerkschaftsorganisation TCO (Tjänstemännens Central-Organisation) propagiert und wurden im Laufe der Zeit verschärft. Auf das Niveau MPR I (nach dem schwedischen Amt für Akkreditierung) folgten so MPR II und TCO. Auch wenn diese Grenzwerte nur Empfehlungen sind, kommt inzwischen kein Hersteller von Bildschirmen mehr daran vorbei. Die von TCO festgelegten Werte dienen dazu, die Emissionen von Bildschirmen auf ein nach dem Stand der Technik erreichbares, niedriges Niveau zu begrenzen. Es handelt sich um eine Produktempfehlung ohne Bezug zu biologischen Wirkungen. Dies wird in der Öffentlichkeit häufig falsch interpretiert.

Inzwischen hat TCO die ursprünglichen Strahlungsgrenzwerte durch ergonomische Anforderungen, die im GS-Zeichen schon viel früher existierten, ergänzt. Auch Aussagen zum Energieverbrauch wurden aufgenommen. Das entsprechende Gütesiegel ist in Abbildung 10 dargestellt.

Ähnliche Inhalte bestätigt auch das BG-PRÜFZERT-Zeichen mit dem Zusatz „ergonomisch, strahlungsarm“ (siehe Abbildung 11), allerdings teilweise auf einem noch höheren Niveau. Dieses Zeichen wird auf der Basis eines GS-Zeichens vergeben.

Abbildung 10:
Gütesiegel der Tjänstemännens Central-Organisation (TCO)



Abbildung 11:
BG-PRÜFZERT-Zeichen mit dem Zusatz
„ergonomisch, strahlungsarm“



Elektromagnetische Verträglichkeit

Ein elektronisches Gerät kann elektromagnetische Felder abstrahlen und Störspannungen bzw. Störströme auf angeschlossenen elektrischen Leitungen erzeugen. Beides kann dazu führen, dass die Funktion anderer elektronischer Geräte in der Umgebung gestört wird. Unter elektromagnetischer Verträglichkeit wird die Fähigkeit eines Gerätes verstanden, in der vorhandenen elektromagnetischen Umgebung zufriedenstellend zu arbeiten und selbst keine elektromagnetischen Störungen zu verursachen, die für andere elektronische Geräte in der Nähe unannehmbar sind. Es kommt also einerseits darauf an, dass elektronische Geräte nur geringe Störungen über elektromagnetische Wellen oder leitungsgebunden erzeugen, und andererseits, dass elektronische Geräte genügend unempfindlich gegenüber solchen Einwirkungen sind.

Bei CRT-Bildschirmen tritt oft das Problem auf, dass sie durch elektromagnetische Felder, z.B. von der hausinternen Stromverteilung, gestört werden. Diese Störungen entstehen durch den Einfluss von magnetischen Feldern auf den Elektronenstrahl der Bildröhre. Der Elektronenstrahl wird durch das Magnetfeld abgelenkt und trifft nicht mehr auf die richtigen Farbpunkte auf der Bildschirminnenseite. Hierdurch kann es zu Flimmern sowie Helligkeits- und Farb-

3 Spezialmodule

Veränderungen kommen. CRT-Bildschirme sind deshalb besonders stör anfällig, da sie schon von Magnetfeldern geringer Stärke gestört werden können. So 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, dann werden von den Beschäftigten häufig Befürchtungen geäußert, dass die vorhandenen elektromagnetischen Felder auch Personen schädigen könnten. Da, wie geschildert, schon Feldstärken weit unterhalb der Grenzwerte für den Personenschutz zur Erzeugung von Störungen ausreichen, sind solche Befürchtungen unbegründet.

LCD-Bildschirme werden aufgrund ihrer Bauart durch äußere Magnetfelder kaum beeinflusst.

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 auftritt. IR-Strahlung wird darüber hinaus auch von der Kathodenheizung der Bildröhre erzeugt.

Die in den CRT-Monitoren erzeugte UV-Strahlung wird praktisch vollständig im Röhren-glas absorbiert. Die außen auf der Bildschirmoberfläche noch nachweisbare Intensität ist daher sehr gering [23]. So liegt z.B. die maximal gemessene Bestrahlungsstärke im UV-A-Bereich unter $10 \text{ mW}/\text{m}^2$ [24]. Die Werte für UV-B-Strahlung liegen noch um drei bis sechs Größenordnungen darunter. Für eine Arbeitsschicht von acht Stunden entspricht die UV-A-Bestrahlung weniger als $288 \text{ J}/\text{m}^2$. Dieser Wert ist mit dem von der Internationalen Kommission zum Schutz vor Nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) empfohlenen Grenzwert für das Auge von $10\,000 \text{ J}/\text{m}^2$ [25 bis 27] zu vergleichen. Die Emission von UV-Strahlung aus CRT-Bildschirmen führt daher zu keiner Gefährdung von Personen.

Die von CRT-Monitoren zur Informationsdarstellung emittierte sichtbare Strahlung liegt mit 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 [23]. So liegt die gemessene Bestrahlungsstärke bei 200 mW/m^2 [24], wogegen der empfohlene ICNIRP-Grenzwert $100\,000 \text{ mW/m}^2$ beträgt [28]. 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.

Zusammenfassende Bewertung

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sowohl von CRT- als auch von LCD-Bildschirmen nur sehr geringe Emissionen von elektromagnetischen Feldern und von optischer Strahlung ausgehen. Auch die ionisierende Strahlung von CRT-Bildschirmen ist zu vernachlässigen, bei LCD-Bildschirmen ist sie gar nicht vorhanden. Diese Emissionen liegen in keinem Fall in einer

Größenordnung, die zu einer Gesundheitsgefährdung von Personen führen könnte. 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 Frauen an Bildschirmen. Befürchtungen über Gesundheitsgefährdungen durch die Strahlenemissionen von Bildschirmen sind daher unbegründet.

Grundsätzlich kann die Arbeit an Bildschirmen zu Belastungen und Überanstrengungen 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 Belastungs- und Krankheitssymptome wie Müdigkeit, Augenbeschwerden, Kopfschmerzen, Verspannungen, Rückenprobleme usw. entstehen (siehe hierzu die entsprechenden Abschnitte im Report). Um diese zu verhindern, müssen Bildschirmarbeitsplätze entsprechend der Bildschirmarbeitsverordnung [29] gesundheitsgerecht eingerichtet werden. Konkrete Hinweise zur Umsetzung der Verordnung enthält die BGI 650 „Bildschirm- und Büroarbeitsplätze – Leitfaden für die Gestaltung“ [30].

3 Spezialmodule

3.2.4.3 Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Arbeitsmittel“

Laserdrucker und -kopierer

[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] *F. Jungnickel, A. Kubina:* Emissionen aus Laserdruckern. http://www.lga.de/de/aktuelles/veroeffentlichungen_emissionen_laserdrucker.shtml

[5] Toner für Laserdrucker. Öko-Test (2001) Nr. 8, S. 26-29

[6] Vergabebegründung für Umweltzeichen – Drucker RAL-UZ 85. Hrsg.: RAL Deutsches

Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung, Sankt Augustin 2003

[7] Grundsätze für die Prüfung und Zertifizierung von Tonerpulver für Laserdrucker und Kopiergeräte (02.04). Hrsg.: Fachausschuss Verwaltung, Prüf- und Zertifizierungsstelle im BG-PRÜFZERT, Hamburg 2004

[8] *Jungnickel, F.; Kubina, A.; Fischer, H.:* Benzolemissionen aus Laserdruckern und Kopierern. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 63 (2003) Nr. 5, S. 193-196

[9] MAK- und BAT-Werte-Liste 2004. Hrsg.: Deutsche Forschungsgemeinschaft, Wiley-VCH, Weinheim 2004

[10] www.lga.de/de/pdb/pdb_emissionsraten_laserdrucker.shtml

[11] Verstaubte Technik. Öko-Test (2002) Nr. 2

[12] *Schmidt, R.:* Wie sicher sind Tonerkartuschen? BGW-Mitteilungen (2002) Nr. 1, S. 14-15

[13] Drucker, Kopier- und Multifunktionsgeräte. Hrsg.: Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien (BITKOM), Berlin. Eggebrecht, Mainz 2002

[14] *Otto, J.; Schenk, H.*: Gefahrstoff-Information Büro. Hrsg.: Thüringer Ministerium für Soziales, Familie und Gesundheit, Erfurt 2001

[15] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Laserdrucker. (BGI 820) (10/01). Hrsg.: Verwaltungs-Berufgenossenschaft, Hamburg. C.I. Rautenberg, Glückstadt 2001

Strahlungsemissionen von Bildschirmgeräten

[16] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlung (Röntgenverordnung – RöV) vom 30. April 2003. BGBl. I (2003), S. 604

[17] Handbuch Nichtionisierende Strahlung. Hrsg.: Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik (BGFE), Köln 1999 – Losebl.-Ausg.

[18] *Lauterbach, U.*: Strahlenexposition durch Datensichtgeräte. In: PTB-Berichte – Serie Dosimetrie Nr. 10. Hrsg.: Physikalisch Technische Bundesanstalt, Braunschweig 1984

[19] *McDonald, A.D.; Cherry, N. M.; Delorme, C.; McDonald, J.C.*: Visual display units and pregnancy: evidence from the

Montreal survey. *J. Occup. Med.* 8 (1986), S. 1226-1231

[20] *McDonald, A.D., MacDonald, J.C.; Armstrong, B.; Cherry, N.; Nolin, A.D.; Robert, D.*: Work with visual display unit in pregnancy. *Brit. J. Ind. Med.* 45 (1988), S. 509-515

[21] Berufsgenossenschaftliche Vorschriften für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit: Elektromagnetische Felder (BGV B11) (06.01). Carl Heymanns, Köln 2001

[22] Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes vom 16. Dezember 1996 (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV). BGBl. I (1996), S. 1966

[23] *Bittighofer, P.M.*: Strahlenemissionen aus Bildschirmgeräten. *Arbeitsmed. Sozialmed. Präventionsmed.* 23 (1988), S. 269-274

[24] *Marriott, I.A.; Stuchly, M.A.*: Health aspects of work with visual display terminals. *J. Occup. Med.* 28 (1986), S. 833-848

[25] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of

3 Spezialmodule

wavelengths between 180 nm and 400 nm (Incoherent Optical Radiation). Health Physics 49 (1985) Nr. 2, S. 331-340

[26] International Commission on Nonionizing 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

[27] International Commission on Nonionizing Radiation Protection: Guidelines on UV radiation exposure. Health Physics 71 (1996) Nr. 6, S. 978

[28] International Commission on Nonionizing 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

[29] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit an Bildschirmgeräten (Bildschirmarbeitsverordnung – BildscharbV) vom 4. Dezember 1996. BGBl. I (1996), S. 1841; zul. geänd. BGBl. I (2003), S. 2304

[30] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Bildschirm- und Büroarbeitsplätze – Leitfaden für die Gestaltung (BGI 650) (01.02). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg. C. L. Rautenberg, Glückstadt 2002

3.3 Arbeitsplatzgestaltung

S. Neumann, Hamburg

3.3.1 Allgemeine Hinweise

Wesentliche Anforderungen zur Gestaltung von Innenraumarbeitsplätzen finden sich in der Arbeitsstättenverordnung [1], insbesondere in deren Anhang und in den zurzeit noch gültigen Arbeitsstätten-Richtlinien [2].

Die Bildschirmarbeitsverordnung [3] enthält die allgemeinen Anforderungen über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit an Bildschirmgeräten. Sie setzt die europäische Bildschirmrichtlinie [4] in das nationale Recht der Bundesrepublik Deutschland um. Unter anderem wird darin gefordert, den an Bildschirmgeräten tätigen Beschäftigten eine regelmäßige Untersuchung der Augen und des Sehvermögens durch eine fachkundige Person anzubieten (BG-Grundsatz G 37 [5]).

Eine Konkretisierung der Anforderungen aus der Bildschirmarbeitsverordnung enthält die BGI 650 „Bildschirm- und Büroarbeitsplätze“ [6]. Eine Reihe weiterer BG-Informationen [7 bis 17] liefert Erläuterungen und Hilfen zu speziellen Themen der Gestaltung von Büroarbeitsplätzen.

Unter Berücksichtigung der o.g. Richtlinien, Verordnungen und BG-Informationen zur Gestaltung von Büroarbeitsplätzen wurde der Erhebungsbogen S7 „Arbeitsplatzumgebung und Arbeitsmittel“ entwickelt. Anhand dieses Erhebungsbogens kann geprüft werden, ob auftretende Gesundheitsbeschwerden möglicherweise auf eine nicht ergonomische Arbeitsplatzgestaltung zurückzuführen sind.

Auf die Faktoren Beleuchtung, Klima und Lärm wird im Erhebungsbogen nicht weiter eingegangen, da diese Themen ausführlich im Abschnitt 3.4 behandelt werden. Weiterhin werden Aspekte der Arbeitssicherheit, wie z.B. die Vermeidung von Stolperstellen, die bei einer Gefährdungsbeurteilung nach § 5 des Arbeitsschutzgesetzes bzw. § 3 der Bildschirmarbeitsverordnung noch vor den gesundheitlichen Aspekten zu betrachten sind, nicht berücksichtigt. Stattdessen wird empfohlen, für die Gefährdungsbeurteilung einschlägige Instrumentarien in Form von Checklisten oder Software [18] zu verwenden.

3.3.2 Erläuterungen zur Beurteilung

Ein Teil der Fragen im Erhebungsbogen S7 enthält bereits mögliche Lösungsansätze. So werden in den Teilen über Arbeitsmöbel, Hard- und Software sowie Anordnung von Arbeitsmitteln im Rahmen der Fragen

3 Spezialmodule

Hinweise zur Gestaltung des Arbeitsplatzes gegeben.

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) kann verringert werden, indem die Ausübungszeiten durch Misch Tätigkeiten, eine Erweiterung der Aufgabenbereiche oder ausreichende Pausen verkürzt werden.
- Die Körperhaltung kann insgesamt durch eine individuell anpassbare und ergonomisch sinnvolle Arbeitsplatzeinrichtung verbessert werden.

3.3.3 Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Arbeitsplatzgestaltung“

[1] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 12. August 2004. BGBl. I (2004), S. 2179

[2] Arbeitsstätten-Richtlinien (ASR), Stand: Mai 1988. In: Opfermann, R.; Streit, W. (Hrsg.): Arbeitsstätten. Forkel, Heidelberg 1999

[3] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit an Bildschirmgeräten (Bildschirmarbeitsverordnung – Bildschirmarbeitsverordnung) vom 4. Dezember 1996. BGBl. I (1996), S. 1841; zul. geänd. BGBl. I (2003), S. 2304

[4] Richtlinie des Rates vom 29. Mai 1990 über die Mindestvorschriften bezüglich der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes bei der Arbeit an Bildschirmgeräten vom 21. Juni 1990. ABl. EG Nr. L 156 (1990), S. 14-18

[5] Berufsgenossenschaftlicher Grundsatz für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen „Bildschirmarbeitsplätze“ G 37 (mit Kommentar) (BGI 785) (09/01). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg. C. L. Rautenberg, Glückstadt 2001

[6] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Bildschirm- und Büroarbeitsplätze – Leitfaden für die Gestaltung (BGI 650) (01.02). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg 2002. C.L. Rautenberg, Glückstadt 2002

[7] Arbeitssystem Büro-Hilfen für das systematische Planen und Einrichten von Büros SP 2.2 (BGI 774) (03.01). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg 2001

[8] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Laserdrucker sicher betreiben. (BGI 820) (10.2001). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft Hamburg 2001

- [9] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Beleuchtung im Büro – Hilfen für die Planung von Beleuchtungsanlagen von Räumen mit Bildschirm- und Büroarbeitsplätzen (BGI 856) (06.03). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg; Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V., Berlin. Universum, Wiesbaden 2003
- [10] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Sonnenschutz im Büro – Hilfen für die Auswahl von geeigneten Blend- und Wärmeschutzvorrichtungen an Bildschirm- und Büroarbeitsplätzen (BGI 827) (05.02). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg 2002
- [11] Schriftenreihe Prävention SP 2.6/1: Arbeitsplatz Phonodiktat. Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg 1994
- [12] Schriftenreihe Prävention SP 2.6/2: Flächennutzung im Büro – Beispiele verschiedener Arbeitsplätze. Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg 2000
- [13] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Call Center – Hilfen für die Planung und Einrichtung SP 2.10 (BGI 773) (09.00). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg 2000
- [14] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Nutzungsqualität von Software – Grundlegende Informationen zum Einsatz von Software in Arbeitssystemen SP 2.11/1 (BGI 852-1) (04.03). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg 2003
- [15] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Management und Software – Arbeitshilfen zur Erhöhung der Nutzungsqualität von Software im Arbeitssystem SP 2.11/2 (BGI 852-2) (04.03). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg 2003
- [16] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Einrichten von Software – Leitfaden und Check für Benutzer SP 2.11/3 (BGI 852-3) (04.03). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg 2003
- [17] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Software-Kauf und Pflichtenheft – Leitfaden und Arbeitshilfen für Kauf, Entwicklung und Beurteilung von Software SP 2.11/4 (BGI 852-4) (04.03). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg 2003
- [18] Dia.L.O.G. Beurteilung der Arbeitsplatzbedingungen an Bildschirm- und Büroarbeitsplätzen (Software auf CD-ROM). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft
- Die PDF-Dateien der von der Verwaltungs-Berufsgenossenschaft herausgegebenen Informationsschriften können kostenlos im Internet heruntergeladen werden unter <http://www.vbg.de/publikationen> (Thema: Bildschirm- und Büroarbeitsplätze). Darüber hinaus können hier auch Druckexemplare bestellt werden.

3 Spezialmodule

3.4 Physikalische Einwirkungen

Physikalische Faktoren stellen eine der Hauptgruppen dar, durch die Belastungen an Innenraumarbeitsplätzen verursacht werden können. Zu den physikalischen Faktoren zählen

- ❑ Lärm,
- ❑ Klima (Lufttemperatur, -feuchte, -geschwindigkeit und Strahlungstemperatur),
- ❑ Beleuchtung,
- ❑ elektromagnetische Felder und
- ❑ ionisierende Strahlung (Radon).

3.4.1 Lärm

*R. Hertwig, Sankt Augustin
H.-D. Neumann, Münster*

3.4.1.1 Allgemeine Hinweise

Lärm ist eine Bezeichnung für Schall, der als störend empfunden wird bzw. die Gesundheit schädigt. Wegen der Gefahr der Entstehung einer Lärmschwerhörigkeit steht bei den präventiven Ansätzen zum Schutz gegen Lärm am Arbeitsplatz die gesundheitsschädi-

gende Komponente im Vordergrund. Die Unfallverhütungsvorschrift BGV B3 „Lärm“ [1] definiert Lärmgefährdung als eine Einwirkung von Lärm auf Versicherte, die zur Beeinträchtigung der Gesundheit insbesondere im Sinne einer Gehörgefährdung oder zu einer erhöhten Unfallgefahr führen kann.

Bei der Lärmschwerhörigkeit handelt es sich um eine Schädigung der Hörsinneszellen, bedingt durch eine zu hohe Lärmexposition. Aber auch niedrigere Schalldruckpegel können Gesundheitsschäden durch dauernde Belastung hervorrufen. Symptome wie Bluthochdruck, Magengeschwüre und Depressionen werden beschrieben. Ferner stört Lärm die Kommunikation, macht aggressiv oder ängstlich, ermüdet und behindert schöpferische Tätigkeiten. In der VDI-Richtlinie 2058 Blatt 3 „Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung unterschiedlicher Tätigkeiten“ [2] versteht man unter Lärm alle Geräuschimmissionen, die zur Beeinträchtigung der Gesundheit, der Arbeitssicherheit sowie der Leistungsfähigkeit führen können.

Anforderungen an Arbeitsräume

Gemäß Ziffer 3.7 des Anhangs der Arbeitsstättenverordnung [3] werden im Sinne des § 3 Absatz 1 der Verordnung zum Schutz gegen Lärm an Arbeitsstätten folgende Anforderungen gestellt:

„In Arbeitsstätten ist der Schalldruckpegel so niedrig zu halten, wie es nach Art des Betriebes möglich ist. Der Beurteilungspegel am Arbeitsplatz in Arbeitsräumen darf auch unter Berücksichtigung der von außen einwirkenden Geräusche höchstens 85 dB(A) betragen; soweit dieser Beurteilungspegel nach der betrieblich möglichen Lärminderung zumutbarerweise nicht einzuhalten ist, darf er bis zu 5 dB(A) überschritten werden.“

Die neue Richtlinie 2003/10/EG über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Lärm) [4] ist spätestens bis zum 15. Februar 2006 in nationales Recht umzusetzen. Die in der Richtlinie festgelegten Aktionswerte/Grenzwerte haben für Innenraumarbeitsplätze im Sinne dieses Reports in der Regel keine Auswirkung, weil die dort genannten „Lärmexpositionspegel“ nicht erreicht werden. Die Überschreitung des „unteren Auslösewertes“ von $L_{EX, 8h} = 80 \text{ dB(A)}$ ist nur in wenigen Ausnahmefällen zu erwarten.

Tätigkeiten und Richtwerte

Die Richtlinie VDI 2058 Blatt 3 [2] nennt Richtwerte für bestimmte Tätigkeitsmerkmale und gibt Beispiele aus der Praxis an.

□ Als Beispiele für überwiegend geistige Tätigkeiten an Arbeitsplätzen mit Beurteilungspegeln $\leq 55 \text{ dB(A)}$ werden zusammenfassend genannt:

- wissenschaftliche Tätigkeiten
- Entscheidungen unter Zeitdruck
- weit reichende Entscheidungen
- Sprachverständlichkeit über unterschiedliche Entfernungen
- Tätigkeiten, die Vigilanz (Wachheit) erfordern

Beispiele aus der Praxis für solche Tätigkeiten sind:

- Teilnahme an Besprechungen (Sitzungen, Verhandlungen, Prüfungen), Lehrtätigkeit in Unterrichtsräumen
- wissenschaftliches Arbeiten (z.B. Abfassen und Auswerten von Texten), Arbeiten in Lesesälen von Bibliotheken, Entwickeln von Programmen und Systemanalysen
- Untersuchungen, Behandlungen und Operationen durch Ärzte

3 Spezialmodule

- Durchführung technisch-wissenschaftlicher Berechnungen
 - Kalkulations- und Dispositionsarbeiten mit entsprechendem Schwierigkeitsgrad, Dialogarbeiten an Datenprüf- und Datensichtgeräten
 - Entwerfen, Übersetzen, Diktieren, Aufnehmen und Korrigieren von schwierigen Texten
 - Tätigkeiten in Funkräumen oder Notrufzentralen
- Beispiele für einfache oder überwiegend mechanische Büroarbeiten sowie vergleichbare Tätigkeiten mit Beurteilungspegeln ≤ 70 dB(A) können wie folgt zusammengefasst werden:
- informations- und kommunikationsgeprägte Tätigkeiten
 - psychomotorisch geprägte (feinmotorische) Tätigkeiten
 - Überwachungstätigkeiten (inklusive Steuerungsaufgaben)
- Ein Beurteilungspegel von 85 dB(A), der als Grenzwert für sonstige Tätigkeiten herangezogen wird, dürfte bei

Innenraumarbeitsplätzen nicht relevant sein.

Anmerkung: Nach VDI 2058 Blatt 3 kann es erforderlich sein, an einem Arbeitsplatz mehrere Beurteilungspegel für unterschiedliche Arbeitsphasen zu bestimmen, denen tätigkeitsbedingt unterschiedliche Grenzwerte zuzuordnen sind.

Darüber hinaus sind unabhängig von diesen Pegelwerten besonders störende Geräusche gesondert zu betrachten. Dabei sollten folgende Grundsätze beachtet werden [5]:

- Der vorhandene Schalldruckpegel sollte nicht von einer einzigen eindeutig identifizierbaren Quelle verursacht werden.
- Sprache aus fremden angrenzenden Arbeitsbereichen darf nicht verstehbar sein.
- Der von allen Quellen, außer von der betrachteten Person am Arbeitsplatz selbst verursachte Schallpegel, sollte so niedrig wie möglich sein.

Beurteilungspegel

Ein Maßstab zur Beurteilung der Einwirkung von Lärm am Arbeitsplatz ist der Beurteilungs-

pegel. Er entspricht dem Schallpegel eines 8-stündigen konstanten Geräusches bzw., bei zeitlich schwankendem Pegel, dem diesem gleichgesetzten Pegel. Der Beurteilungspegel wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$L_{Ard} = 10 \lg \left[\frac{1}{T_r} \sum t_i \cdot 10^{0,1 \cdot L_i} \right] \text{dB}$$

mit

L_{Ard} = Beurteilungspegel

T_r = Beurteilungszeit = 8 h

t_i = Dauer der Teilzeit i

L_i = $L_{Aeqi} + K_{li} + K_{Ti}$ für Teilzeit i

L_{Aeqi} = äquivalenter Dauerschallpegel für die Teilzeit i

K_{li} = Impulszuschlag für die Teilzeit i

K_{Ti} = Tonzuschlag für die Teilzeit i

Die Beurteilungszeit T_r beträgt in jedem Fall 8 Stunden, auch wenn die tatsächliche Arbeitszeit hiervon abweicht. Die Frequenzbewertung A des äquivalenten Dauerschallpegels kommt entweder als Index hinter dem Symbol L oder als Ergänzung der Einheit dB zum Ausdruck. Zur Überprüfung auf Grenzwertüberschreitung in Lärmbereichen ($L_{Ard} \leq 85$ dB) werden bei der Beurteilungspegelbestimmung der

Impulszuschlag und der Tonzuschlag nicht berücksichtigt.

3.4.1.2 Hinweise zur Durchführung der Messung

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: 160 cm
- für sitzende Personen ab Sitzfläche: 80 cm

Die Mikrofonausrichtung sollte möglichst in Blickrichtung der Person am Arbeitsplatz erfolgen. Ist die Anwesenheit des Beschäftigten am Arbeitsplatz während der Messung erforderlich, so soll das Mikrofon in Ohrhöhe des Beschäftigten (Abstand zum Ohr maximal 30 cm) so positioniert werden, dass die Geräuscheinwirkung auf das Mikrofon nicht durch den Körper des Beschäftigten behindert wird.

Gemessen wird mit Schallpegelmessern der Genauigkeitsklassen 1 und 2 nach DIN EN 61672 [6]. Die DIN EN 61672 ersetzt

3 Spezialmodule

die älteren Normen DIN EN 60651 „Schallpegelmesser“ und DIN EN 60804 „Integrierende und mittelwertbildende Schallpegelmesser“. Präzisionsmessungen erfordern Geräte der Klasse 1, während bei Betriebsmessungen Geräte der Klasse 2 eingesetzt werden können. Bei Messungen mit Geräten der Klasse 2 ist eine Messunsicherheit von $\pm 3,0$ dB(A) zu berücksichtigen.

Um keinen separaten Impulszuschlag bei der Messung erheben zu müssen, kann in Büroräumen der Messwert in der Zeitbewertung „I (Impuls)“ bestimmt werden (L_{Aeq}). Ist das Geräusch nicht impulsartig ($K_1 < 2$ dB), kann der Messwert auch als äquivalenter

Dauerschallpegel in der Zeitbewertung „F (Fast)“ oder „S (Slow)“ bestimmt werden (L_{Aeq}).

In der Regel muss der Beurteilungspegel nicht durch eine Geräuschmessung über die gesamte Arbeitszeit 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 periodischen Vorgängen soll sich die Messdauer mindestens über einen typischen Geräuschzyklus erstrecken (siehe Abbildung 12).

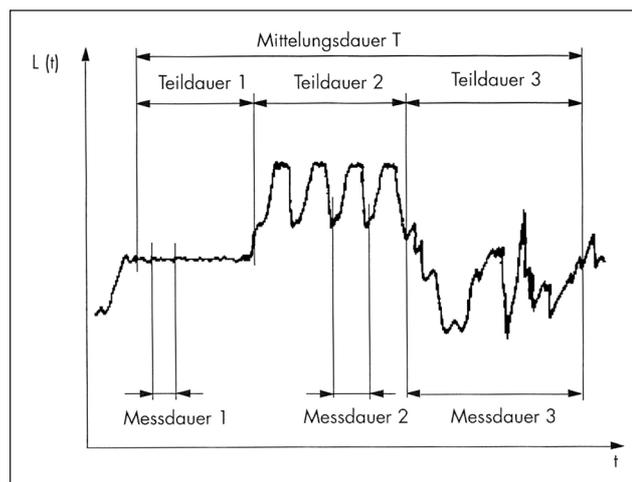


Abbildung 12:
Schallpegelverlauf mit Mittelungsdauer und Beispielen für zweckmäßig gewählte Teildauern und Messdauern nach DIN 45641 [7]

Bei der Messung sind sowohl das Geräusch der Schallquelle als auch die Geräusche der Umgebung des Arbeitsplatzes bzw. die von außen einfallenden Geräusche zu berücksichtigen. Eigene Sprachgeräusche der Beschäftigten werden nicht berücksichtigt!

3.4.1.3 Hinweise zur Berechnung und Bewertung des Beurteilungspegels

Aus den für die Teildauern ermittelten Messwerten wird der Beurteilungspegel unter Berücksichtigung der Laufzeiten der Maschinen entsprechend folgendem Beispiel berechnet:

Es soll der Beurteilungspegel einer Schreibkraft berechnet werden, an deren Arbeitsplatz Lärm durch einen Drucker und durch die

Bedienung einer Schreibmaschine auftritt. Die Messung erfolgt mit einem Messgerät der Klasse 2. Das Geräusch ist nicht tonhaltig.

1. Schallpegel Drucker:
 $L_{Aeq1} = 73 \text{ dB}$

Betriebszeit Drucker:
 $t_1 = 4 \text{ h}$

2. Schallpegel Schreibmaschine:
 $L_{Aeq2} = 75 \text{ dB}$

Betriebszeit Schreibmaschine:
 $t_2 = 2 \text{ h}$

3. Übrige Tätigkeiten:
 $L_{Aeq3} = 58 \text{ dB}$
 $t_3 = 2 \text{ h}$

Basierend auf diesen Werten berechnet sich der Beurteilungspegel wie folgt:

$$L_{Ard} = 10 \lg \left[\frac{1}{8} (t_1 \cdot 10^{0,1 \cdot L_{Aeq1}} + t_2 \cdot 10^{0,1 \cdot L_{Aeq2}} + t_3 \cdot 10^{0,1 \cdot L_{Aeq3}}) \right] \text{dB}$$

$$L_{Ard} = 10 \lg \left[\frac{1}{8} (4 \cdot 10^{7,3} + 2 \cdot 10^{7,5} + 2 \cdot 10^{5,8}) \right] \text{dB}$$

$$L_{Ard} \approx 73 \text{ dB}$$

3 Spezialmodule

Beurteilungsunsicherheit

Die Unsicherheit bei der Ermittlung des Beurteilungspegels ist gemäß DIN 45645 Teil 2 [8] zu ermitteln. Sie ergibt sich aus der Messgeräteklasse und aus der Unsicherheit des Beurteilungsverfahrens. In der Regel ist eine Ermittlungsunsicherheit von $\Delta L_{Ard} = \pm 3 \text{ dB}$ (Genauigkeitsklasse 2) bzw. $\Delta L_{Ard} = \pm 6 \text{ dB}$ (Genauigkeitsklasse 3) zu berücksichtigen.

Im Beispiel liegt demnach bei Genauigkeitsklasse 2 der Beurteilungspegel im Bereich $70 \text{ dB} \leq L_{Ard} \leq 76 \text{ dB}$.

Da es sich im Beispiel um eine einfache, überwiegend mechanisierte Bürotätigkeit handelt, gilt nach VDI 2058 Blatt 3 [2] ein Richtwert von 70 dB. Dieser ist im behandelten Fall überschritten und es sind Maßnahmen zur Lärminderung erforderlich.

3.4.1.4 Geräuschemissionskennwerte typischer Büromaschinen

Bei der Planung und Umgestaltung von Büroarbeitsplätzen hat die Ausstattung mit Büromaschinen wesentlichen Einfluss auf die Geräuschbelastung am Arbeitsplatz. Für die akustische Gestaltung von Büroarbeitsplätzen ist daher die Kenntnis der Geräuschemission typischer Büromaschinen von entscheidender

Bedeutung. Wegen der ständigen Entwicklung der Büro- und Kommunikationstechnik und der damit verbundenen Notwendigkeit einer regelmäßigen Aktualisierung entsprechender Übersichten, werden in diesem Report keine Geräuschemissionsdaten aufgelistet. Als Informationsquelle ist z.B. VDI 2569 [9] heranzuziehen.

3.4.1.5 Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Lärm“

[1] Berufsgenossenschaftliche Vorschrift Lärm (BGV B3) (03.03). Carl Heymanns, Köln 2003

[2] VDI 2058 Blatt 3: Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung unterschiedlicher Tätigkeiten (02.99). Beuth, Berlin 1999

[3] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 12. August 2004. BGBl. I (2004), S. 2179

[4] Richtlinie 2003/10/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. Februar 2003 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Lärm). ABl. EU Nr. L 42 vom 15. Februar 2003, S. 38-44

[5] *Probst, W.*: Bildschirmarbeit – Lärm-minderung in kleinen Büros (Nr. 123). In: Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse. Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund 2003 – Losebl.-Ausg.

[6] DIN EN 61672-1: Elektroakustik – Schallpegelmesser – Teil 1: Anforderungen (10.03). Beuth, Berlin 2003

[7] DIN EN 45641: Mittelung von Schallpegeln (06.90). Beuth, Berlin 1990

[8] DIN 45645-2: Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen – Teil 2: Geräuschmissionen am Arbeitsplatz (07.97). Beuth, Berlin 1997

[9] VDI 2569: Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro (01.90). Beuth,

Berlin 1990 (Neufassung in Vorbereitung)

Weiterführende Literatur:

[10] BGI-Handbuch. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGI, Sankt Augustin. 2. Aufl. Erich Schmidt, Berlin 2001 – Losebl.-Ausg.

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

[12] *Mave, J.H.*: 0 Dezibel + 0 Dezibel = 3 Dezibel. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGI, Sankt Augustin. 8. Aufl. Erich Schmidt, Berlin 2003

3 Spezialmodule

3.4.2 Raumklima

*H.-D. Neumann, Münster
W. Pfeiffer, Sankt Augustin*

Das Raumklima hat einen großen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit, das Wohlbefinden und die Gesundheit des Menschen. Der im Zusammenhang mit dem Raumklima häufig verwendete Begriff „Behaglichkeit“ beschreibt das Klimaempfinden in einem Klimabereich, in dem sich die meisten Menschen wohl fühlen und in dem keine durch das Raumklima hervorgerufenen Gesundheitsprobleme auftreten. Nicht behagliches Raumklima wirkt sich negativ auf die Leistungsfähigkeit des Menschen aus.

Für das Klimaempfinden (zu warm, angenehm, zu kalt usw.) sind grundsätzlich zwei wesentliche Gesichtspunkte von Bedeutung:

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

Hierdurch wird deutlich, dass das vorhandene Raumklima unterschiedlich bewertet werden kann. Es ist also schwierig, ein eindeutiges Kriterium zu finden, das Auskunft

über das Klimaempfinden geben kann. Man beurteilt daher das Raumklima nach Grenzbereichsbetrachtungen (z.B. Behaglichkeitsbereich). Dabei wird zunächst das Zusammenwirken der aus den beiden Punkten abgeleiteten Einflussparameter beurteilt und mit einem aus empirischen Untersuchungen gewonnenen Vergleichsmaßstab verglichen [1]. Eine Einzelbewertung der Parameter oder die Bewertung einzelner Parametergruppen führen nicht zu einer sachgerechten Beurteilung des Raumklimas.

3.4.2.1 Raumklimacheck (Spezialerhebungsbogen S9)

Zur orientierenden Einschätzung des Raumklimas ist meist die Bestimmung der Lufttemperatur und -feuchte ausreichend. 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 Zugscheinungen ist zusätzlich die Luftgeschwindigkeit zu bestimmen.

Bei Über- oder Unterschreitung der genannten Werte sind weitergehende Ermittlungen erforderlich, zu denen ein Fachmann herangezogen werden sollte. Die dann notwendige Beurteilung des Raumklimas wird im Folgenden erläutert.

Erhebungsbogen S9
Spezialerhebung – Raumklima

Liebe Bearbeiterin, lieber Bearbeiter!

Innenraumprobleme können durch ein unzureichendes Raumklima mitverursacht werden. Diese Erhebung soll helfen, die Ursachen für die gesundheitlichen Beeinträchtigungen einzugrenzen. Wir bitten Sie, möglichst vollständige Angaben zu machen.

Betrieb (Name, Anschrift):
Betriebsteil:
Arbeitsplatz:
Datum der Erhebung:

- 1 Liegt die Raumlufttemperatur im Bereich von 20 °C bis 24 °C?
 Ja Nein. Die Raumlufttemperatur beträgt..... °C
Bei Außenlufttemperaturen über 26 °C darf die Lufttemperatur in Arbeitsräumen
in Ausnahmefällen 26 °C überschreiten.

- 2 Liegt die relative Luftfeuchte im Bereich von 30 % bis 65 % bzw. bei Tätigkeiten mit hohem
Sprechanteil im Bereich von 40 % bis 65 %?
 Ja Nein. Die relative Luftfeuchte beträgt..... %

- 3 Ist die Luftgeschwindigkeit am Arbeitsplatz kleiner als 0,2 m/s?
 Ja Nein. Die Luftgeschwindigkeit beträgt..... m/s

3.4.2.2 Raumklimabeurteilungen

Das Klimaempfinden wird hauptsächlich durch die äußeren Klimafaktoren Luft- und Umgebungsfächentemperatur, Wärmestrahlung, Luftfeuchte und Luftgeschwindigkeit sowie durch die individuellen Faktoren Energieumsatz (Grundumsatz, Arbeits-

energieumsatz) und Bekleidung (Isolationswerte) beeinflusst.

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

3 Spezialmodule

Menschen aus dem Gleichgewicht. Dies führt zu einer erhöhten Beanspruchung des Herz-Kreislauf-Systems. Als Folge dieser erhöhten Beanspruchung können kurzzeitige Störungen, z.B. Kreislaufstörungen, Unwohlsein, oder, bei länger andauernder Belastung, Erkrankungen auftreten.

Trotz einer guten Gesamtklimabewertung können auch einzelne Klima- bzw. Belastungsfaktoren bei Über- oder Unterschreitung gewisser Grenzbereiche kurzfristiges Unbehagen oder bei längerer Einwirkung Erkrankungen fördern oder hervorrufen. Ein Beispiel hierfür ist eine zu niedrige Luftfeuchte (siehe auch Abschnitt 3.4.2.3).

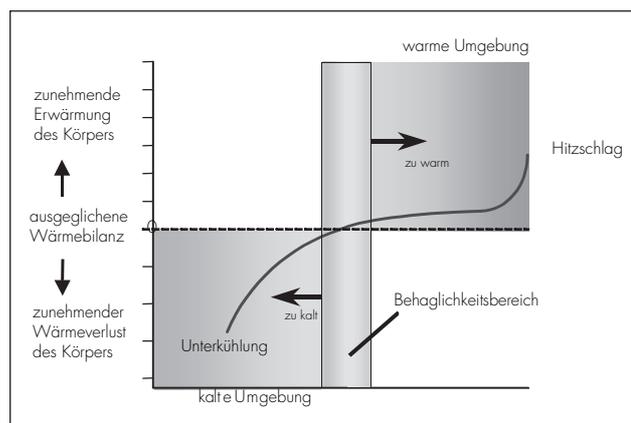
Klimabereiche

Entsprechend dem Klimaempfinden unterscheidet man folgende Klimabereiche (vgl. Abbildung 13):

- Kältebereich
- kalte Arbeitsumgebung
- Behaglichkeitsbereich
- warme Arbeitsumgebung
- Hitzebereich

Arbeiten im Kälte- und Hitzebereich stellen eine Extrembelastung dar. Hier sind beson-

Abbildung 13:
Übersicht über die Klimabereiche
(prinzipieller Verlauf
der Klimaempfindung)



dere Maßnahmen notwendig. Daher werden diese Bereiche nachfolgend nicht behandelt.

Der Behaglichkeitsbereich beschreibt Bedingungen, bei denen sich die Mehrheit der Beschäftigten wohl fühlt. Er beschreibt die Klimaanforderungen und Belastungssituationen, die üblicherweise an Innenraumarbeitsplätzen 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 ist die Wärmezufuhr und -abfuhr ausgeglichen.

An den Behaglichkeitsbereich grenzen die Bereiche der kalten bzw. warmen Arbeitsumgebung an. Die kalte Arbeitsumgebung, z.B. ein Verkaufsraum in einer Metzgerei, beschreibt den Grenzbereich, in dem das Umgebungsklima als zu kühl empfunden und z.B. durch Kleidung ausgeglichen wird. In warmer Arbeitsumgebung, z.B. in Hallenbädern, liegen Belastungssituationen und/oder klimatische Verhältnisse vor, die zu erhöhten Schweißabgaben und Beanspruchungen des Herz-Kreislauf-Systems sowie bei längeren Einwirkungen zu Störungen des Klimaempfindens führen. Für eine Beurteilung dieser Bereiche wird auf DIN 33403 Teil 5 [2] bzw. Teil 3 [3] verwiesen.

Beurteilungsgrundlagen

Anforderungen an das Raumklima findet man in folgenden Bestimmungen:

- ❑ Arbeitsstätten-Richtlinie (ASR) 5 – Lüftung [4]
- ❑ Arbeitsstätten-Richtlinie (ASR) 6 – Raumtemperaturen [5]
- ❑ DIN 1946 Raumluftechnik; Gesundheitstechnische Anforderungen [6]
- ❑ DIN EN ISO 7730 Gemäßigtes Umgebungsklima – Ermittlung des PMV und des PPD und Beschreibung der Bedingungen für thermische Behaglichkeit [7]
- ❑ DIN EN ISO 7726 Umgebungsklima – Instrumente zur Messung physikalischer Größen [8]
- ❑ DIN 33403 Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung – Teil 2: Einfluss des Klimas auf den Wärmehaushalt des Menschen [9]
- ❑ DIN 33403 Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung – Teil 3: Beurteilung des Klimas im Warm- und Hitzebereich auf der Grundlage ausgewählter Klimasummenmaße [3]

3 Spezialmodule

- ❑ DIN 33403 Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung – Teil 5: Ergonomische Gestaltung von Kältearbeitsplätzen [2]

Behaglichkeitsindikatoren sind ferner

- ❑ der Lufttemperaturgradient und
- ❑ die Strahlungstemperatur-Asymmetrie.

Bestimmung der äußeren Raumklimafaktoren

Das Raumklima am Arbeitsplatz ist im Wesentlichen durch folgende physikalische Größen gekennzeichnet [8]:

- ❑ Lufttemperatur
- ❑ Strahlungstemperatur
- ❑ Luftgeschwindigkeit und
- ❑ Luftfeuchte

Lufttemperatur

In Arbeitsräumen muss die Lufttemperatur in Anlehnung an die ASR 6 [5] mindestens die in Tabelle 17 aufgeführten Werte aufweisen.

Diese Mindesttemperaturen sollen während der gesamten Arbeitszeit gewährleistet sein. Darüber hinaus soll die Lufttemperatur + 26 °C nicht überschreiten. Bei darüber liegenden Außentemperaturen darf in Ausnahmefällen die Lufttemperatur höher sein.

Tabelle 17:
Lufttemperaturen in Arbeitsräumen in Abhängigkeit von der Arbeitshaltung und der Arbeitsschwere nach ASR 6

Überwiegende Arbeitshaltung	Arbeitsschwere		
	leichte Hand-/Armarbeit	mittelschwere Hand-/Arm- oder Beinarbeit	schwere Hand-/Arm-, Bein- und Rumpfarbeit
Sitzen	+ 20 °C	+ 19 °C	–
Stehen und/oder Gehen	+ 19 °C	+ 17 °C	+ 12 °C

„Die Bestimmung der Lufttemperatur allein reicht nicht aus, wenn Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit und/oder Wärmestrahlung erheblichen Einfluss auf das Klima ausüben. Dann sind diese Klimagrößen zusätzlich einzeln oder gegebenenfalls nach einem Klimaausmaß zu bewerten.“ [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; 8]:

$$t_o = \frac{1}{2}(t_a + \bar{t}_r)$$

mit

t_o = örtliche operative Raumtemperatur in °C

t_a = örtliche Lufttemperatur in °C

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

Für die operative Raumtemperatur gelten die in Abbildung 14 (siehe Seite 110) dargestellten Bereiche [6].

Der Bereich empfohlener operativer Raumtemperaturen ist in Abbildung 14 kreuzschraffiert dargestellt. Bei hohen Außenlufttempe-

raturen im Sommer und bei kurzzeitig auftretenden hohen thermischen Lasten sind höhere Werte der operativen Raumtemperatur zugelassen.

Häufig wird die Kühllast von Räumen nicht von den Außen-, sondern von den thermischen Innenlasten, z.B. Maschinenwärme, bestimmt. Treten diese Lasten nur kurzzeitig auf, so darf die operative Raumtemperatur unterhalb einer Außentemperatur von 29 °C (d.h. auch im Winterbetrieb) bis auf 26 °C ansteigen (senkrecht schraffierter Bereich in Abbildung 14).

Bei bestimmten Lüftungssystemen, z.B. Quelllüftung, können operative Raumtemperaturen im waagrecht schraffierten Bereich zwischen 20 und 22 °C zugelassen werden.

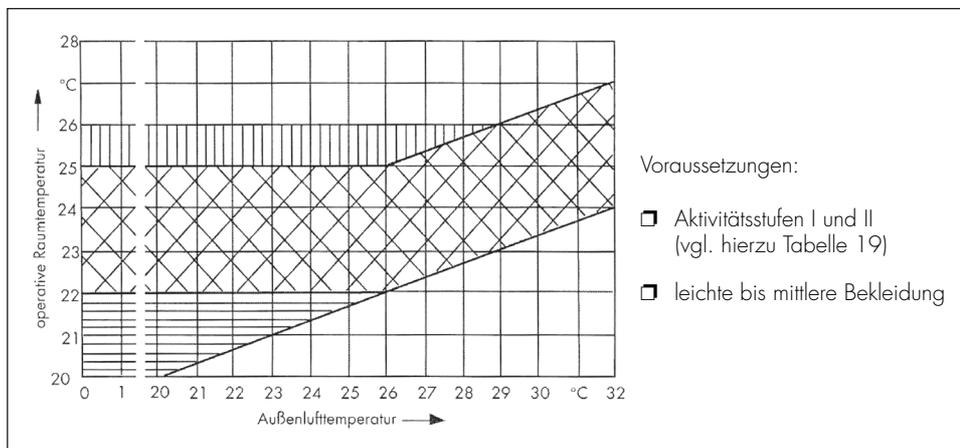
Bestimmung der operativen Raumtemperatur

Die operative Raumtemperatur ist in den Höhen 0,1 m, 1,1 m und 1,7 m über dem Fußboden für stehende Mitarbeiter und in den Höhen 0,1 m, 0,6 m und 1,1 m über dem Fußboden für sitzende Mitarbeiter [10] zu ermitteln, z.B. mit einem Globe-Thermometer.

Bei der Berechnung der örtlichen Strahlungstemperatur sollen die Oberflächentemperatur

3 Spezialmodule

Abbildung 14:
Bereiche operativer Raumtemperaturen [6]



und die Flächenanteile nach ihren Einstrahlzeiten gewichtet werden.

*Lufttemperaturgradient/
Lufttemperaturschichtung*

Ist die Strahlungstemperatur der Raumbegrenzungsflächen annähernd gleich verteilt, kann die Bestimmung der Strahlungstemperatur vernachlässigt werden. Die operative Raumtemperatur entspricht dann annähernd der Lufttemperatur. Unregelmäßige Strahlungstemperatur-Verteilung in einem Raum kann durch direkte Sonneneinstrahlung, große kalte Fenster, schlecht isolierte Wände, kalte oder warme Maschinen verursacht werden.

Neben dem Niveau der Lufttemperatur ist auch der vertikale Temperaturgradient in der Aufenthaltszone für das Behaglichkeitsempfinden von Bedeutung. Der vertikale Gradient der Lufttemperatur darf höchstens 2 °C je m Raumhöhe betragen. Dabei soll die Lufttemperatur in 0,1 m Höhe über dem Fußboden 21 °C nicht unterschreiten.

Die Oberflächentemperatur des Fußbodens an ständigen Arbeitsplätzen in Arbeitsräumen

soll nicht mehr als 3 °C unter und nicht mehr als 6 °C über der Lufttemperatur liegen [5].

Strahlungstemperatur-Asymmetrie

Einseitige Erwärmung oder Abkühlung des Menschen durch uneinheitliche Umgebungstemperaturen kann zu thermischer Unbehaglichkeit führen. Zu ihrer Beurteilung ist der Raum am Betrachtungsort in zwei Halbräume aufzuteilen und für diese die jeweilige Halbraum-Strahlungstemperatur zu berechnen bzw. zu messen. Dabei soll die Lage der Trennfläche parallel zur Lage der Oberflächen mit den größten Temperaturunterschieden sein [6].

Als Grenzwert für die Differenz der Strahlungstemperatur beider Halbräume, bei der noch thermische Behaglichkeit eingehalten werden kann, gelten:

- für warme Deckenflächen
 $t_{rH1} - t_{rH2} \leq 3,5 \text{ °C}$
- für kalte Wandflächen
 $t_{rH1} - t_{rH2} \leq 8,0 \text{ °C}$
- für gekühlte Deckenflächen
 $t_{rH1} - t_{rH2} \leq 17,0 \text{ °C}$
- für warme Wandflächen
 $t_{rH1} - t_{rH2} \leq 19,0 \text{ °C}$

Hier bedeuten:

t_{rH1} = Halbraum-Strahlungstemperatur am Betrachtungsort für den Halbraum 1

t_{rH2} = Halbraum-Strahlungstemperatur am Betrachtungsort für den Halbraum 2

Die Werte gelten für eine operative Raumtemperatur im Behaglichkeitsbereich und für Personen mit leichter bis mittlerer Bekleidung und sitzender Tätigkeit. Für andere Verhältnisse können zurzeit keine gesicherten Aussagen getroffen werden [6].

Luftgeschwindigkeit

Die Beschäftigten dürfen keiner vermeidbaren Zugluft ausgesetzt sein [5]. Hierauf muss auch bei der Auslegung raumluftechnischer Anlagen geachtet werden. Zuglufterscheinungen sind überwiegend von der Lufttemperatur, der Luftgeschwindigkeit und der Art der Tätigkeit abhängig. Bis zu einer Temperatur von 20 °C tritt bei einer Luftgeschwindigkeit von 0,2 m/s üblicherweise keine Zugluft auf [4].

Die thermische Behaglichkeit wird in besonderem Maße von der Luftbewegung im Aufenthaltsbereich mitgeprägt. Die Grenzwerte

3 Spezialmodule

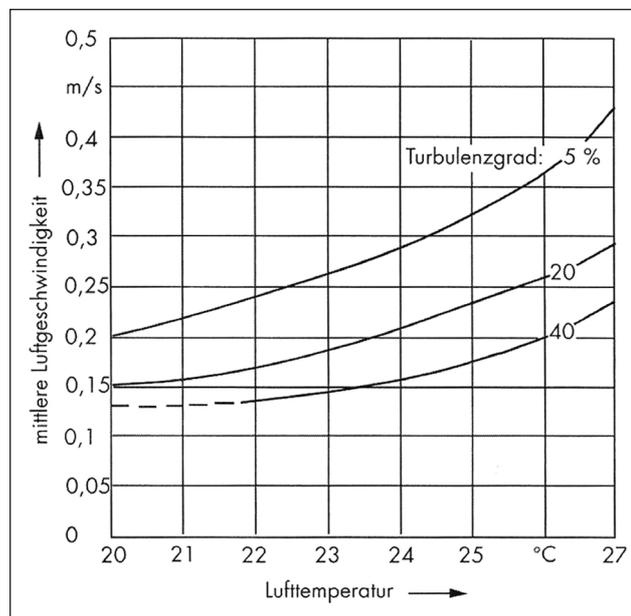
der Luftgeschwindigkeit im Behaglichkeitsbereich sind abhängig von der Lufttemperatur und vom Turbulenzgrad der Strömung und ergeben sich aus Abbildung 15 [6].

Bei operativen Raumtemperaturen zwischen 20 und 22 °C ist außer bei Mischlüftung (gestrichelter Bereich) thermische Behaglichkeit gegeben, wenn die in Abbildung 15 angegebenen Luftgeschwindigkeiten nicht überschritten werden. Ohne Ermittlung des Turbulenzgrades wird dieser mit 40 % angesetzt (untere Kurve in Abbildung 15) [6].

Beim Tragen von Kleidung, die einen um $0,032 \text{ m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$ erhöhten Wärmedurchlasswiderstand besitzt oder bei einer Tätigkeit, die einer um 10 W höheren Aktivität entspricht, darf die zulässige Luftgeschwindigkeit den Wert erreichen, der einer 1 °C höheren als der tatsächlichen Lufttemperatur in Abbildung 15 entspricht. Bei gleich bleibender Luftgeschwindigkeit darf die Lufttemperatur entsprechend vermindert werden [6].

Für die Luftgeschwindigkeitsmessung ist ein richtungsunabhängiges Messgerät zu ver-

Abbildung 15:
Mittlere Luftgeschwindigkeiten
als Funktion von Temperatur
und Turbulenzgrad der Luft
im Behaglichkeitsbereich
bei leichten sitzenden Tätigkeiten
und normaler Bürokleidung [6]



wenden. Die Mittelungszeit beträgt mindestens 100 s, bei digitalen Messgeräten mindestens 100 Einzelmessungen. Die Ansprechzeit der Sonden, also die Zeit, zu der 63 % der Endwerte angezeigt werden, soll kleiner als 0,2 s sein. Je Sekunde ist mindestens ein Messwert zu erfassen. Die Luftgeschwindigkeit ist in den Höhen 0,1 m, 1,1 m und 1,7 m über dem Fußboden für stehende Mitarbeiter und in den Höhen 0,1 m, 0,6 m und 1,1 m über dem Fußboden für sitzende Mitarbeiter zu messen [6].

Luftfeuchte

Die relative Luftfeuchte soll die in Tabelle 18 aufgeführten Werte nicht überschreiten [4].

Tabelle 18:
Empfohlene maximale relative Luftfeuchte in Abhängigkeit von der Lufttemperatur

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

Für die Behaglichkeit liegt die obere Grenze des absoluten Feuchtegehaltes der Luft bei 11,5 g Wasser je Kilogramm trockener Luft

und bei 65 % relativer Luftfeuchte. Über die untere Grenze der relativen Luftfeuchte liegen keine gesicherten Erkenntnisse vor. Als Behaglichkeitsgrenze kann – weitgehend unabhängig von der Lufttemperatur – eine relative Luftfeuchte von 30 % gelten; gelegentliche Unterschreitungen sind vertretbar [6] (siehe hierzu auch Abschnitt 3.4.2.3).

Ermittlung der individuellen Behaglichkeitsfaktoren

Die individuellen Faktoren, die das Behaglichkeitsempfinden beeinflussen, sind [6; 7]

- die körperliche Aktivität (Tätigkeit) und
- die Kleidung.

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 met (metabolism) oder Watt bzw. Watt pro m² Hautoberfläche verwendet. 1 met entspricht

3 Spezialmodule

der Stoffwechselrate für eine sich in Ruhe befindliche sitzende Person.

In DIN 1946 Teil 2 [6] ist die Aktivität in Aktivitätsstufen unterteilt, denen jeweils als Anhaltswerte die Gesamtwärmeabgabe zugeordnet ist (siehe Tabelle 19).

Tabelle 20 gibt die Wärmeabgabe je Person in Abhängigkeit von der Tätigkeit wieder (siehe auch DIN EN ISO 7730 [7]).

Im Vergleich zu den genannten Aktivitäten entspricht die Aktivität bei einem 400-Meterlauf 9 met bzw. 500 W/m^2 .

Bekleidung

Die Möglichkeit der Wärmeabgabe ist abhängig vom Isolationswert der Kleidung. Der Isolationswert wird in DIN EN ISO 7730 [7] in der Einheit „clo“ (clothing) angegeben. Dabei entspricht 1 clo einem Wert von $0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$.

Tabelle 19:
Gesamtwärmeabgabe je Person in Abhängigkeit von der Tätigkeit

Tätigkeit	Aktivitätsstufe	Gesamtwärmeabgabe ^{1, 2} je Person – Anhaltswerte in W
Statische Tätigkeit im Sitzen wie Lesen und Schreiben	I ³	120
Sehr leichte körperliche Tätigkeit im Stehen oder Sitzen	II	150
Leichte körperliche Tätigkeit	III	190
Mittelschwere bis schwere körperliche Tätigkeit	IV	über 270

¹ Gesamtwärmeabgabe durch Strahlung, Leitung, Verdunstung und Konvektion bei einer Raumtemperatur von 22 °C (siehe VDI 2078 [11])

² metabolische Einheit des Ruheenergieumsatzes in sitzender Position:
1 met = 58 W/m^2 Körperoberfläche, wobei für eine Person etwa $1,7 \text{ m}^2$ zugrunde gelegt werden

³ Die Aktivitätsstufe I entspricht 1,2 met.

Tabelle 20:
Wärmeabgabe einer Person bei verschiedenen Aktivitäten

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

Tabelle 21 (siehe Seite 116) zeigt Beispiele für Isolationswerte in Anlehnung an DIN EN ISO 7730 [7].

Beurteilung des Behaglichkeitsempfindens unter Berücksichtigung der raumklimatischen und der individuellen Faktoren

DIN EN ISO 7730 [7] 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.

Der PMV (predicted mean vote) sagt den Mittelwert der Meinung einer großen Gruppe von Personen voraus. Der PPD-Index (predicted percentage of dissatisfied) 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 themisch neutral (behaglich) empfunden (siehe Tabelle 22 auf Seite 117).

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 [7] wird für den PMV-Index ein Bereich von $-0,5 < PMV < 0,5$ bzw. für den PPD-Index eine Unzufriedenheit von 10 % als akzeptabel empfohlen.

Die PMV- und PPD-Indizes berücksichtigen den Einfluss des Raumklimas auf den gesamten Körper (mittleres Körperempfin-

3 Spezialmodule

Tabelle 21:
Isolationswerte verschiedener Bekleidungen in trockenem Zustand

Bekleidungskombination	in clo	in $\text{m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$
Nackt	0	0
Shorts	0,1	0,016
Tropenkleidung (offenes, kurzes Oberhemd, kurze Hose, leichte Socken, Sandalen)	0,3	0,05
Leichte Sommerkleidung (offenes, kurzes Oberhemd, lange leichte Hose, leichte Socken, Schuhe)	0,5	0,08
Overall (Oberhemd, kurze Unterwäsche, Socken, Schuhe)	0,8	0,125
Leichter Straßenanzug (kurze Unterwäsche, geschlossenes Oberhemd, leichte Jacke, lange Hose, Socken, Schuhe)	1,0	0,155
Fester Straßenanzug (lange Unterwäsche, geschlossenes langes Oberhemd, feste Jacke und Hose, Weste aus Tuch oder Wolle, Wollsocken, feste Schuhe)	1,5	0,233

den). Wenn Teile des Körpers jedoch unterschiedlichen klimatischen Belastungen ausgesetzt sind, kann ein lokales thermisches Unbehagen auftreten. 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 [7].

In Abbildung 16 (siehe Seite 118) sind die optimalen operativen Raumtemperaturen in Abhängigkeit vom Aktivitätsgrad und der Kleidung für einen Wert von $PMV = 0$ ange-

geben [7]. Unterstellt wird hierbei eine Luftgeschwindigkeit von annähernd 0 m/s und eine relative Luftfeuchte von ca. 50 %.

3.4.2.3 Luftfeuchte und ihr Einfluss auf Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit [12]

Zu trockene Luft

Abgesehen vom Klimaempfinden kann zu trockene Luft den Menschen nachhaltig in sei-

Tabelle 22:
Klimaempfinden korreliert mit Klimaindizes PMV und PPD [7]

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

ner Gesundheit, seinem Wohlbefinden und seiner Leistungsfähigkeit beeinträchtigen.

Zu trockene Luft trocknet den Respirationstrakt (Atmungsorgane von der Nase bzw. Mund bis in die Alveolen), die äußeren Augenpartien und die Haut aus. Die relative Luftfeuchte sollte daher bei den üblichen Raumtemperaturen dauerhaft nicht unter 30 % liegen.

In den Wintermonaten müssen vor allem Räume, in denen viel gesprochen wird, befeuchtet werden. Während dieser Zeit liegt der Wassergehalt der Außenluft zwischen 2 und 3 g/kg trockener Luft. Dies entspricht bei 0 °C einer relativen Feuchte von etwa 60 %. Wird diese Luft auf 20 °C erwärmt, stellt sich eine relative Feuchte von weniger als 20 % ein. In ausschließlich beheizten Räumen sind dies übliche Werte für die relative Luftfeuchte während der Heizperiode. Bei sehr kalten Außentemperaturen können sogar Werte von weniger als 10 % auftreten.

Atmungsorgane

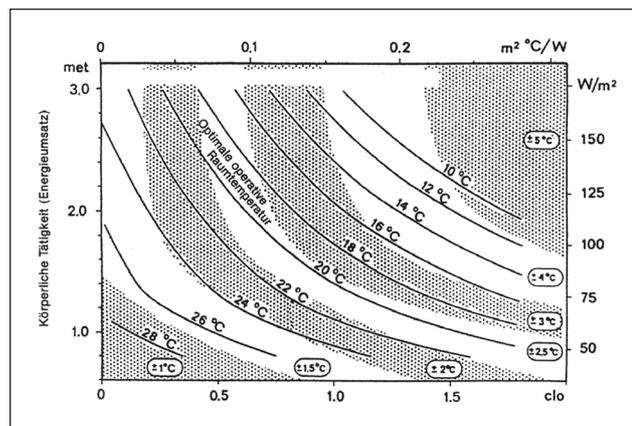
Die Atmungsorgane haben neben dem Gasaustausch und der Stimmerzeugung noch weitere Funktionen zu erfüllen, die für den Erhalt von Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit bedeutsam sind.

Die im Atmungstrakt vorhandene Schleimhaut hat u.a. die Aufgabe, den Körper vor einer Aufnahme reizender, toxischer und infektiöser Substanzen zu schützen. Trocknen diese Schleimhäute aus, dann nimmt die Schutzfunktion ab. Reizungen und Erkrankungen können die Folge sein.

Sind die Schleimhäute der Stimmlippen zu trocken, führt dies zu einer Änderung des Schwingungsverhaltens der Stimmlippen. Die Folge ist, dass das Reden schwerer fällt und die Stimmbänder stärker belastet werden. Dies beeinträchtigt zunächst das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit. Bei Berufs-

3 Spezialmodule

Abbildung 16:
Optimale operative
Raumtemperatur in Abhängigkeit
von der Tätigkeit und der Kleidung



gruppen mit hohem Sprechanteil, z.B. Call-Center-Agenten, kann dies zu erheblichen Stimmbelastungen führen bis hin zum kurzzeitigen oder dauerhaften Verlust der Stimme. Daher ist insbesondere bei Tätigkeiten mit hohem Sprechanteil eine Mindestluftfeuchte von 40 % erforderlich.

Augen

Der Tränenfilm hat die Aufgabe, die Augenoberfläche vor Einwirkungen aus der Umwelt zu schützen. Infolge zu trockener Luft reißt der Tränenfilm durch stärkere Verdunstung und die Schutzfunktion des Tränenfilms geht verloren. In der Luft vorhandene Partikeln oder Dämpfe führen zu Reizungen an der Binde-

haut und Hornhaut des Auges. Durch die zunehmende Reizung kommt es zu Kompensationsreaktionen wie gesteigerter Lidschlagfrequenz. Bei fortschreitender Reizung können Augenbrennen, eine erhöhte Blendungsempfindlichkeit und anderes mehr auftreten. Das Wohlbefinden ist gestört und die Leistungsfähigkeit nimmt deutlich ab. In schlimmen Fällen treten Entzündungsreaktionen und weitere Schäden am Auge auf. Wichtig ist festzustellen, dass die Menschen z.T. recht unterschiedlich auf zu trockene Luft reagieren.

Haut

Die Haut hat viele Schutzfunktionen, die bei zu trockener Haut deutlich eingeschränkt

werden. Bei zu geringen Luftfeuchtwerten (< 20 %) kann die Haut spröde und rissig werden; Brennen und Jucken machen sich bemerkbar.

Über Hautrisse können Stoffe eindringen, die unterschiedlichste Reaktionen (Jucken, Entzündungen usw.) hervorrufen und Dermatosen verursachen können. Außerdem können Gefahrstoffe über die Haut in den Körper eindringen.

Zu feuchte Luft

Zu feuchte Luft hat in erster Linie einen Einfluss auf den Wärmetransport der Körperwärme an die Umgebungsluft, auf das Geruchsempfinden und auf die Raumhygiene.

Wärmetransport

Bei zunehmender Temperatur und/oder Aktivität nimmt, nachdem sich zunächst die peripheren Blutgefäße geweitet haben, die Schweißdrüsentätigkeit zu. Die Schweißabgabe wird zur bedeutenden Komponente der Wärmeadaptation und die Schweißverdunstung übernimmt im Wesentlichen die Gesamtwärmeabgabe.

Je höher die Umgebungsluftfeuchte, desto geringer wird das Wasserdampfdruck-

gefälle zwischen Haut und Umgebungsluft. Die Schweißverdunstung wird hierdurch gestört. Der nicht abgeführte Schweiß tropft ab oder verbleibt als Schweißperlen auf der Haut.

Aufgrund der ungenügenden Schweißverdunstung kommt es zum Wärmestau. Das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit nehmen ab. In schlimmen Fällen kann es zum Hitzschlag kommen.

Einfluss auf die Lufthygiene

Bei höherer Raumlufffeuchte können an kalten unbelüfteten Wänden feuchte Stellen auftreten. Hierdurch werden an diesen Stellen die Wachstums- und Lebensbedingungen für Mikroorganismen verbessert. Dadurch können Schimmelpilzsporen in der Atemluft vermehrt auftreten und zu allergischen Erkrankungen wie Asthma und allergischer Schnupfen sowie zu allergischen Hauterkrankungen führen (siehe auch Abschnitt 3.6.1.2). Kalte und feuchte Räume begünstigen rheumatische Schübe bei Rheumatikern.

Einfluss der Luftfeuchte auf das Geruchsempfinden

Geruchsstoffe werden durch in die Nasenschleimhäute eingebettete Rezeptoren wahr-

3 Spezialmodule

genommen. Die Geruchsmoleküle müssen dabei die Schleimhäute durchdringen, um die Rezeptoren zu erreichen (siehe auch Abschnitt 2.3).

Beim Einatmen trockener Luft wird den Schleimhäuten im Atmungstrakt (Nase, Rachen) Feuchtigkeit entzogen. Die Dicke der Schleimhäute nimmt ab und in extremen Fällen zeigen sie Risse. Hierdurch verlieren die Schleimhäute ihre Schutzfunktion und Stoffe können leichter hindurch diffundieren. Geruchsstoffmoleküle gelangen so ungehindert zu den Rezeptoren. Bei gleicher Konzentration an Geruchsstoffen können daher Gerüche bei längeren Aufenthalten in trockener Luft intensiver wahrgenommen werden [13].

3.4.2.4 Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Raumklima“

- [1] *Fanger, P.O.*: Thermal Comfort. R.E. Krieger, Malabar, Florida 1982
- [2] DIN 33403-5: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung – Teil 5: Ergonomische Gestaltung von Kältearbeitsplätzen (01.97). Beuth, Berlin 1997
- [3] DIN 33403-3: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung – Teil 3: Beurteilung des Klimas im Warm- und Hitzebereich auf der Grundlage ausgewählter Klimakenngrößen (04.01). Beuth, Berlin 2001
- [4] Arbeitsstätten-Richtlinie Lüftung (ASR 5) (10.79). BArbBl. (1979) Nr. 10, zul. geänd. BArbBl. (1984) Nr. 12, S. 85
- [5] Arbeitsstätten-Richtlinie Raumtemperaturen (ASR 6) (05.01). BArbBl. (2001) Nr. 6/7, S. 94
- [6] DIN 1946-2: Raumlüftungstechnik; Gesundheitstechnische Anforderungen (VDI-Lüftungsregeln) (01.94). Beuth, Berlin 1994
- [7] DIN EN ISO 7730: Gemäßigtes Umgebungsklima – Ermittlung des PMV und des PPD und Beschreibung der Bedingungen für thermische Behaglichkeit (09.95). Beuth, Berlin 1995
- [8] DIN EN ISO 7726: Umgebungsklima – Instrumente zur Messung physikalischer Größen (04.02). Beuth, Berlin 2002
- [9] 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
- [10] DIN EN 27243: Warmes Umgebungsklima; Ermittlung der Wärmebelastung des arbeitenden Menschen mit dem WBGT-Index (wet bulb globe temperature) (12.93). Beuth, Berlin 1993

[11] VDI 2078: Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume (VDI-Kühllastregeln) (07.96). Beuth, Berlin 1996

[12] *Cramer, J.; Ellegast, R.P.; von der Heyden, T.; Liedtke, M.; Pfeiffer, W.; Stamm, R.*: Arbeitsumgebung und Ergonomie. CCall-Report 4 (12/01). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, Hamburg 2001

[13] *Böttcher, O.; Fitzner, K.*: Experimentelle Untersuchungen zum Einfluss von Temperatur und Feuchte auf die Wahrnehmung von Geruchsstoffen. HLH 54 (2003) Nr. 1, S. 35-37

Weiterführende Literatur

[14] Innenraumbelastungen durch Emissionen oder klimatische Faktoren – sicherheitstechnische und arbeitsmedizinische Konsequenzen. Hrsg.: Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik, Köln 2002

[15] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Beurteilung des Raumklimas – eine Handlungshilfe für kleine und mittlere Unternehmen (BGI 5012) (01.05). Hrsg.: Berufsgenossenschaftliche Zentrale für Sicherheit und Gesundheit (BGZ), Sankt Augustin. Carl Heymanns, Köln 2005

3 Spezialmodule

3.4.3 Beuchtung in Büroräumen

S. Neumann, Hamburg

3.4.3.1 Allgemeine Hinweise

Anforderungen und Empfehlungen zur Gestaltung der Beleuchtung in Arbeitsstätten enthalten die Arbeitsstättenverordnung [1] und die Arbeitsstätten-Richtlinien bzw. Technischen Regeln, die die Arbeitsstättenverordnung konkretisieren. Die noch gültigen Arbeitsstätten-Richtlinien „Sichtverbindung nach außen“ (ASR 7/1) [2] und „Künstliche Beleuchtung“ (ASR 7/3) [3] werden zurzeit überarbeitet. Ebenso wird die BG-Regel „Arbeitsplätze mit künstlicher Beleuchtung und Sicherheitsleitsysteme“ (BGR 131) [4] derzeit neu erarbeitet.

Dieser Abschnitt stellt eine Zusammenfassung der BGI 856 „Beleuchtung im Büro“ [5] dar. Darüber hinaus enthält er Hinweise zur Überprüfung von Beleuchtungsanlagen (siehe Abschnitt 3.4.3.6) und einen Spezialerhebungsbogen zum Thema (siehe Abschnitt 3.4.3.7). Einzelne Begriffe werden im Abschnitt 3.4.3.8 näher erläutert.

3.4.3.2 Tageslicht

Das Tageslicht nimmt bei der Beleuchtung von Innenräumen einen hohen Stellenwert

ein. Ein ausreichender Tageslichteinfall im Zusammenhang mit einer möglichst ungehinderten Sichtverbindung nach außen, durch die Beschäftigte 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. 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 Raamtiefe, sondern zur Fensterfront hin angeordnet sein.

Sowohl zur Begrenzung der Direkt- als auch der Reflexblendung am Bildschirm sowie zur Begrenzung zu hoher Beleuchtungsstärken am Bildschirm durch Tageslicht müssen geeignete und verstellbare Sonnenschutzvorrichtungen an den Fenstern angebracht sein (siehe BGI 827 „Sonnenschutz im Büro“ [6]).

Da die Güteermale der Beleuchtung – insbesondere ein ausreichendes Beleuchtungsniveau – auch an tageslichtorientierten Arbeitsplätzen in unmittelbarer Fensternähe nicht während der gesamten Arbeitszeit und zu jeder Jahreszeit durch Tageslicht gewährleistet 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 werden von den Mitarbeitern allerdings auch extremere Ausprägungen des natürlichen Lichtes z.B. hinsichtlich der Blendung, der Leuchtdichteunterschiede und der Lichtfarbe akzeptiert und als angenehm empfunden.

3.4.3.3 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 Sehaufgaben 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
- Lichtrichtung und Schattigkeit
- Lichtfarbe und Farbwiedergabe sowie
- Flimmerfreiheit

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

Beleuchtungsniveau

Ein ausreichendes Beleuchtungsniveau muss von der künstlichen Beleuchtung auch allein erbracht werden und erfordert im Arbeitsbereich „Bildschirm- und Büroarbeit“ eine horizontale Beleuchtungsstärke von mindestens 500 Lux. Dieser Wert gilt auch für den Arbeitsbereich „Besprechung“. Im Umgebungsbereich ist eine horizontale Beleuchtungsstärke von mindestens 300 Lux notwendig.

3 Spezialmodule

Das Beleuchtungsniveau wird neben den horizontalen Beleuchtungsstärken auch von den zylindrischen und vertikalen Beleuchtungsstärken sowie deren Gleichmäßigkeit und ihrer Verteilung auf der jeweiligen Bewertungsfläche bestimmt (vgl. Abbildung 17).

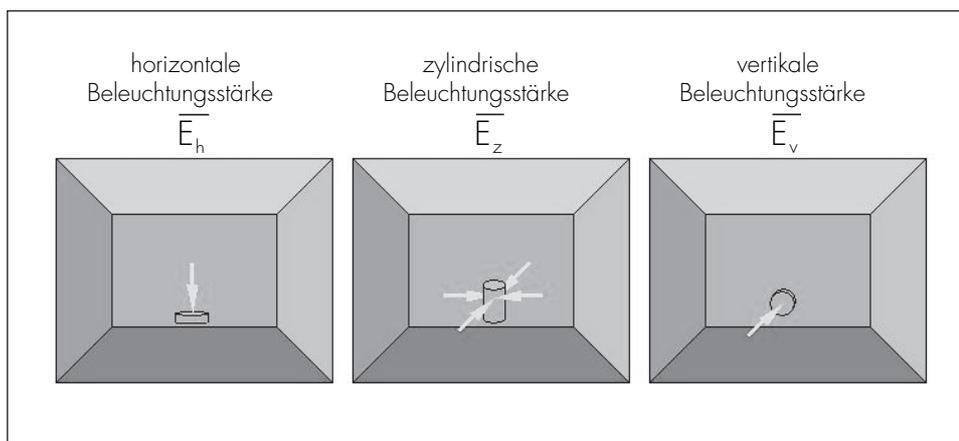
Hinweis: Die Werte für die mittleren horizontalen, zylindrischen und vertikalen Beleuchtungsstärken sind im Abschnitt 3.4.3.4 „Planung von Beleuchtungsanlagen in Büroräumen“ aufgeführt. Angaben zu den notwendigen Gleichmäßigkeiten enthält die BGI 856 „Beleuchtung im Büro“ [5].

Die Anforderungen an die Beleuchtungsstärken sind Wertungswerte für die mittlere Beleuchtungsstärke und nicht mehr – wie bisher – in den Regelungen und Normen Nennwerte. Dies bedeutet, dass die Beleuchtungsanlage bereits beim Erreichen des vorgegebenen Wertungswertes gewartet werden muss (siehe auch Abschnitt 3.4.3.5 „Instandhaltung“).

Leuchtdichteverteilung

Die Leuchtdichte ist die lichttechnische Kenngröße für die Helligkeit. Zur Erreichung ein-

Abbildung 17:
Ermittlung der horizontalen, zylindrischen und vertikalen Beleuchtungsstärke (schematische Darstellung)



wandfreier 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.

Hinweis: Genaue Angaben zu Leuchtdichten ausgedehnter Flächen im Raum enthält die BGI 856 „Beleuchtung im Büro“ [5].

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

Eine ausreichende Aufhellung der Raumbegrenzungsflächen wird erreicht, 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 kleiner 20) empfohlen.

Begrenzung der Direktblendung

Störende Direktblendung kann durch helle Flächen, 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 [7] bewertet. 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. Reflexionen auf dem Bildschirm, hervorgerufen durch Fenster, Leuchten oder andere Flächen mit hohen Leuchtdichten, können zudem eine Kontrastminderung auf dem Bildschirm verursachen und die Qualität der Bildschirmanzeige vermindern.

Um dies zu vermeiden, dürfen in Abhängigkeit von der Reflexionsklasse (bisherige

3 Spezialmodule

Bezeichnung: Güteklasse der Entspiegelung) und der Darstellungsart (Positiv- oder Negativdarstellung) die Leuchtdichten von Leuchten ab einem Ausstrahlungswinkel θ von 65° und Flächen, die sich auf der Bildschirmanzeige spiegeln, die in Tabelle 23 angegebenen Grenzwerte der mittleren Leuchtdichte nicht überschreiten.

Die Reflexblendung auf anderen Arbeitsmitteln wird vermieden, wenn die empfohlenen Glanzgrade (siehe „Leuchtdichteverteilung“) eingehalten werden. Darüber hinaus sollten Papierdokumente und Prospekt hüllen matt 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 und nicht direkt an den Fenstern 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 sich im Bildschirm spiegeln und zu Reflexblendung führen.

Tabelle 23:
Zulässige Leuchtdichtewerte von Leuchten und Flächen, die sich auf dem Bildschirm spiegeln

Bildschirme	Grenzwerte der mittleren Leuchtdichte von Leuchten und Flächen, die sich auf dem Bildschirm spiegeln
Bildschirme mit Positivdarstellung der Reflexionsklasse I und II	1 000 cd/m ²
Bildschirme mit Negativdarstellung der Reflexionsklasse I, d.h. mit hochwertiger Entspiegelung; Nachweis über Prü fzertifikat ist erforderlich	
Bildschirme mit Negativdarstellung der Reflexionsklasse II	200 cd/m ²

Hinweis: Bildschirme der Güteklasse III der Entspiegelung sind für Büroanwendungen nicht geeignet.

Weiterhin müssen zur Begrenzung der Direkt- und Reflexblendung sowie zur Begrenzung zu hoher Beleuchtungsstärken durch Tageslicht am Bildschirm geeignete verstellbare Sonnenschutzvorrichtungen an den Fenstern angebracht sein. Leuchtdichten von Fensterflächen, die sich im Bildschirm spiegeln, dürfen die in Tabelle 23 angegebenen Leuchtdichtewerte nicht überschreiten.

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 sollen Lampen der Lichtfarben warmweiß oder neutralweiß eingesetzt werden. Lampen mit tageslichtweißer Lichtfarbe sollten erst bei relativ hohen Beleuchtungsstärken (≥ 1000 Lux) zur Anwendung kommen.

Um eine gute Farbwiedergabe zu erreichen, ist darauf zu achten, dass die Lampen min-

destens 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.

3.4.3.4 Planung von Beleuchtungsanlagen in Büroräumen

Um den vielfältigen Anforderungen, die an eine ergonomisch und lichttechnisch einwandfreie Beleuchtungsanlage gestellt werden, gerecht zu werden, ist es nach BGR 131 „Arbeitsplätze mit künstlicher Beleuchtung und Sicherheitsleitsysteme“ [4] erforderlich, dass die Planung von einem Sachkundigen (siehe BGG 917 [8]) durchgeführt wird.

Eine sorgfältige Planung beinhaltet folgende Schritte:

1. Auswahl des Beleuchtungskonzepts
2. Auswahl der Beleuchtungsart
3. Auswahl der Leuchten mit der entsprechenden Lampenbestückung

3 Spezialmodule

4. Festlegung der Anzahl und Anordnung der Leuchten im Raum
5. Erstellung eines Wartungsplans für die Beleuchtungsanlage

Dabei kann die Beleuchtung nicht losgelöst von anderen, die Bildschirm- und Büroarbeitsplätze beeinflussenden Faktoren, betrachtet werden. Um optimale und abgestimmte Beleuchtungslösungen zu finden, müssen Wechselwirkungen zwischen Beleuchtung und Sehvermögen der Mitarbeiter, Arbeitsaufgaben, Arbeitsabläufe, Soft- und Hardware, Möblierung, Arbeitsplatzanordnung, Raum- sowie Gebäudegestaltung beachtet werden.

Deshalb ist es sinnvoll, dass am Planungsprozess neben dem sachkundigen Planer und gegebenenfalls Architekten auch Vertreter des Unternehmens beteiligt werden, die über die Arbeitsabläufe, Arbeitstätigkeiten und Arbeitsmittel Bescheid wissen. Es sollten zudem die im Unternehmen tätige bzw. die für das Unternehmen zuständige Fachkraft für Arbeitssicherheit, der Betriebsarzt und die Personalvertretung hinzugezogen werden. Zusätzlich kann eine Beratung zu sicherheitstechnischen und ergonomischen Fragen durch den zuständigen Unfallversicherungsträger in Anspruch genommen werden.

Beleuchtungskonzepte

Die Beleuchtung von Bildschirm- und Büroarbeitsplätzen kann als

- ❑ raumbezogene Beleuchtung (siehe Abbildung 18)
- ❑ arbeitsbereichsbezogene Beleuchtung (siehe Abbildung 19) oder
- ❑ teilflächenbezogene Beleuchtung (siehe Abbildung 20)

ausgeführt sein. Je nach Beleuchtungskonzept werden die Beleuchtungsstärken für die in den Abbildungen 18 bis 21 (siehe Seite 129 f.) dargestellten Bereiche festgelegt.

Die Wahl des Beleuchtungskonzeptes ist abhängig von

- ❑ der Kenntnis über Art und Anordnung der Arbeitsplätze,
- ❑ der geforderten örtlichen Variabilität in der Anordnung der Arbeitsplätze,
- ❑ der Notwendigkeit und dem Wunsch zur Individualisierbarkeit der Beleuchtung und
- ❑ der gewünschten Licht- und Raumwirkung.

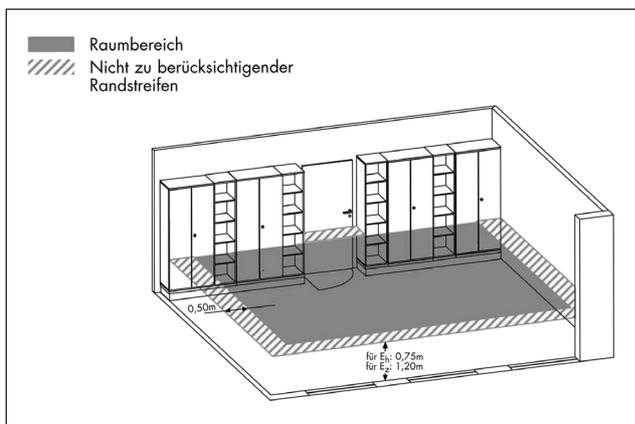


Abbildung 18:
Raumbereich
(raumbezogene Beleuchtung)

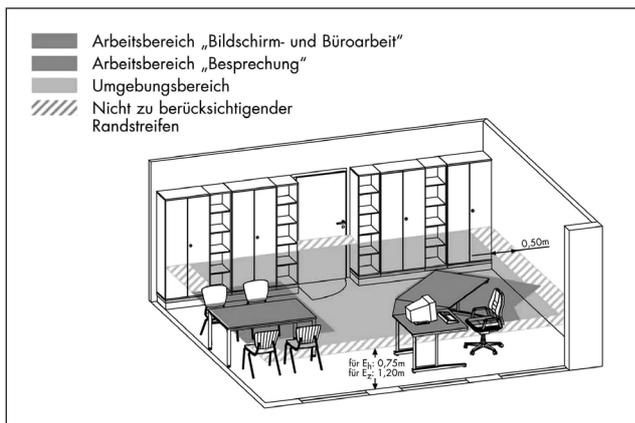


Abbildung 19:
Arbeitsbereiche (arbeitsbereichs-
bezogene Beleuchtung)

3 Spezialmodule

Abbildung 20:
Teilfläche und Arbeitsbereiche
(teilflächenbezogene
Beleuchtung)

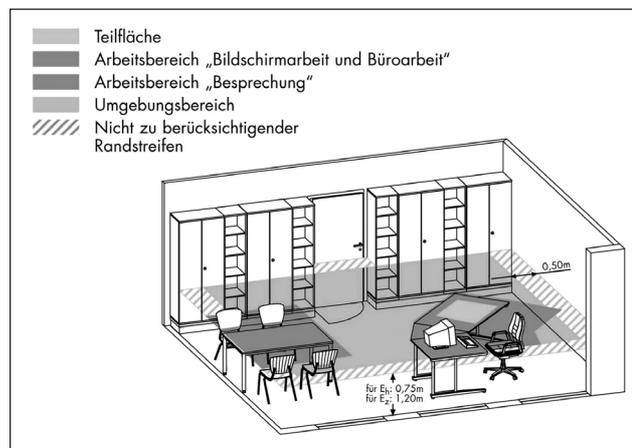
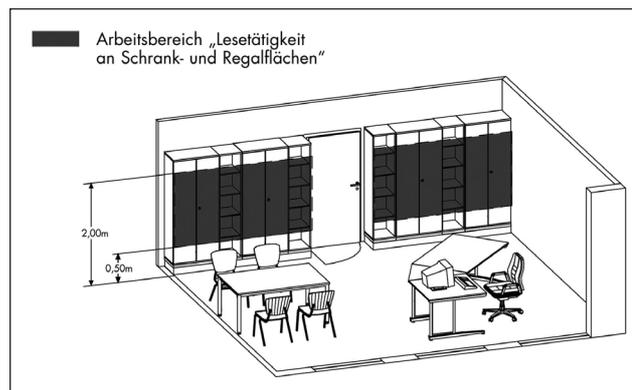


Abbildung 21:
Arbeitsbereich „Lesetätigkeit
an Schrank- und Regalfächern“
(alle Beleuchtungskonzepte)



Raumbezogene Beleuchtung

Eine raumbezogene Beleuchtung ist zu empfehlen, wenn

- die örtliche Zuordnung und die räumliche Ausdehnung der Arbeitsbereiche nicht bekannt sind,
- eine örtlich variable Anordnung der Arbeitsplätze bzw. Arbeitsbereiche vorgesehen ist,
- im gesamten Raum gleiche Sehbedingungen vorherrschen sollen oder
- im gesamten Raum eine gleichmäßige Lichtwirkung erzielt werden soll.

Bei der raumbezogenen Beleuchtung müssen die Anforderungen an die Beleuchtungs-

stärken für den gesamten Raum eingehalten werden (vgl. Tabelle 24).

Arbeitsbereichsbezogene Beleuchtung

Eine arbeitsbereichsbezogene Beleuchtung ist zu empfehlen, wenn

- eine örtlich feste Anordnung der Arbeitsplätze bzw. Arbeitsbereiche oder mobile Leuchten (z.B. Stehleuchten) vorgesehen sind,
- Arbeitsplätze mit unterschiedlichen Aufgaben vorgesehen sind oder
- im Raum unterschiedliche Lichtzonen vorhanden sein sollen.

Durch die unterschiedlichen Helligkeitsniveaus zwischen den einzelnen Arbeits-

Tabelle 24:
Anforderungen an Beleuchtungsstärken für die raumbezogene Beleuchtung

Arbeitsbereich/ Umgebungsbereich	Mittlere horizontale Beleuchtungsstärke \bar{E}_h in Lux	Mittlere zylindrische Beleuchtungsstärke \bar{E}_z in Lux	Mittlere vertikale Beleuchtungsstärke \bar{E}_v in Lux
Raum	500	175	–
Lesetätigkeit an Schrank- und Regalflächen	–	–	175

3 Spezialmodule

bereichen und dem Umgebungsbereich werden Lichtzonen geschaffen, die die Atmosphäre des Raumes positiv beeinflussen können. Hier muss jedoch besonders auf ausgewogene Leuchtdichteverhältnisse im Raum geachtet werden.

Bei der arbeitsbereichsbezogenen Beleuchtung müssen unterschiedliche Anforderungen an die Beleuchtungsstärken für die verschiedenen Arbeitsbereiche und den Umgebungsbereich eingehalten werden (vgl. Tabelle 25).

Die Arbeitsbereiche „Bildschirm- und Büroarbeit“ sowie „Besprechung“ setzen sich aus der Arbeitsfläche und der Benutzerfläche zusammen (siehe Abbildung 22).

Teilflächenbezogene Beleuchtung

Eine teilflächenbezogene Beleuchtung ist zu empfehlen, wenn

- ❑ es erforderlich ist, die Beleuchtung innerhalb des Arbeitsbereiches an unterschiedliche Tätigkeiten bzw. Sehaufgaben anzupassen,
- ❑ die Beleuchtung an das individuelle Sehvermögen und andere Erfordernisse der Mitarbeiter anpassbar sein soll,
- ❑ eine Individualisierbarkeit der Beleuchtungsbedingungen ermöglicht werden soll oder

Tabelle 25:
Anforderungen an Beleuchtungsstärken für die arbeitsbereichsbezogene Beleuchtung

Arbeitsbereich/ Umgebungsbereich	Mittlere horizontale Beleuchtungsstärke \bar{E}_h in Lux	Mittlere zylindrische Beleuchtungsstärke \bar{E}_z in Lux	Mittlere vertikale Beleuchtungsstärke \bar{E}_v in Lux
Bildschirm- und Büroarbeit	500	175	–
Besprechung	500	175	–
Lesetätigkeit an Schrank- und Regalfächern	–	–	175
Umgebungsbereich	300	100	–

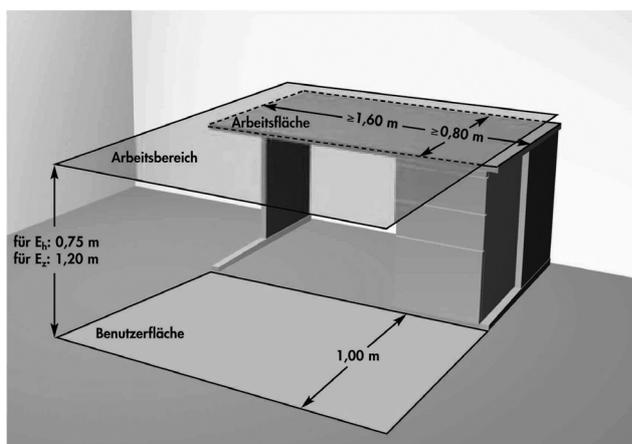


Abbildung 22:
Arbeitsbereich „Bildschirm-
und Büroarbeit“

- die Konzentration auf eine Teilfläche innerhalb des Arbeitsbereiches durch eine erhöhte Beleuchtungsstärke unterstützt werden soll.

Bei der Planung einer teilflächenbezogenen Beleuchtung werden im Arbeitsbereich „Bildschirm- und Büroarbeit“ eine oder mehrere Teilflächen maßlich und räumlich entsprechend der jeweiligen Sehaufgabe festgelegt. Für Tätigkeiten an Bildschirm- und Büroarbeitsplätzen sind Teilflächen mit einer Größe von mindestens 60 cm x 60 cm einzuplanen.

Die mittlere Beleuchtungsstärke dieser Teilfläche sollte sich deutlich von der des Arbeitsbereiches „Bildschirm- und Büroarbeit“ und

des Raumes abheben. Zwischen dieser Teilfläche und den sie umgebenden Bereichen sollte die Beleuchtungsstärke weich übergehen (vgl. Tabelle 26 auf Seite 134).

Die teilflächenbezogene Beleuchtung kann z.B. mit Arbeitsplatzleuchten nach DIN 5035-8 „Beleuchtung mit künstlichem Licht; Spezielle Anforderungen zur Einzelplatzbeleuchtung in Büroräumen und büroähnlichen Räumen“ [9] realisiert werden.

Beleuchtungsart

Je nach Charakteristik der Lichtverteilung der eingesetzten Leuchten unterscheidet man

3 Spezialmodule

- Direktbeleuchtung,
- Indirektbeleuchtung und
- Direkt-/Indirektbeleuchtung.

Direktbeleuchtung

Bei einer Direktbeleuchtung wird das Licht der Leuchten in den Raum gelenkt. Diese Leuchten sind meist als Deckeneinbau- bzw. als Deckenanbauleuchten, Pendelleuchten oder Stehleuchten ausgeführt. Bei der Direktbeleuchtung fällt kein Licht direkt auf die

Decke. Dadurch erscheint sie relativ dunkel und es ergeben sich meist hohe Kontraste zwischen den leuchtenden Flächen der Leuchte und der Decke.

Die richtige Positionierung der Leuchten zu den Arbeitsplätzen sowie eine geeignete Lichtstärkeverteilung der Leuchten sind bei dieser Beleuchtungsart besonders wichtig, um gute Sehbedingungen an den Arbeitsplätzen zu erreichen. Um Direkt- und Reflexblendung zu begrenzen, sollten die Leuchten seitlich über dem Arbeitsplatz und mit der Lampenlängsachse parallel zur Blickrichtung angeordnet werden. Direktbeleuchtung

Tabelle 26:
Anforderungen an Beleuchtungsstärken für die teilflächenbezogene Beleuchtung

Arbeitsbereich/ Umgebungsbereich	Mittlere horizontale Beleuchtungsstärke \bar{E}_h in Lux	Mittlere zylindrische Beleuchtungsstärke \bar{E}_z in Lux	Mittlere vertikale Beleuchtungsstärke \bar{E}_v in Lux
Teilfläche mindestens 60 cm x 60 cm	750	–	–
Bildschirm- und Büroarbeit inklusive Teilfläche	500	175	–
Besprechung	500	175	–
Lesetätigkeit an Schrank- und Regalfächern	–	–	175
Umgebungsbereich	300	100	–

erfordert besonders matte bis seidenmatte Oberflächen der Arbeitsmittel und Möbel. Leuchten mit tief strahlender Lichtstärkeverteilung (z.B. Leuchten mit Darklight-Rastern, Downlights) bzw. unten offene Leuchten dürfen nicht direkt über den Arbeitsplätzen angeordnet werden.

Indirektbeleuchtung

Bei einer Indirektbeleuchtung wird das Licht der Leuchten unmittelbar an die Decke, an Wände oder andere geeignete Reflexionsflächen (z.B. Lichtsegel) gelenkt und von dort in den Raum und auf die Arbeitsflächen reflektiert. Die Leuchten sind meist als Pendelleuchten, Stehleuchten oder Wandleuchten ausgeführt.

Die Anordnung der Leuchten kann weitgehend unabhängig von der Anordnung der Arbeitsplätze gewählt werden. Eine gute Wirksamkeit dieser Beleuchtungsart hängt von der Lichtstärkeverteilung der Leuchten, dem Abstand zwischen Leuchte und Decke sowie den Reflexionseigenschaften der reflektierenden Flächen ab.

Bei ausschließlicher Indirektbeleuchtung kann bei größeren Räumen eine diffuse und schattenarme Lichtatmosphäre entstehen, bei der die räumliche Wahrnehmung eingeschränkt ist.

Direkt-/Indirektbeleuchtung

Bei einer Direkt-/Indirektbeleuchtung wird das Licht der Leuchten sowohl direkt als auch indirekt in den Raum und auf die Arbeitsflächen gelenkt. Dadurch ergänzen sich die Vorteile der jeweiligen Beleuchtungsart, während die Nachteile verringert werden. Sie sollte daher bevorzugt realisiert werden. Insbesondere bewirkt eine Direkt-/Indirektbeleuchtung durch ihr besseres Verhältnis von gerichtetem zu diffusem Licht eine angenehmere Schattigkeit als eine reine Direkt- oder eine reine Indirektbeleuchtung. Zudem wird eine angenehme Deckenaufhellung erreicht.

Bei der Planung einer Direkt-/Indirektbeleuchtung müssen die gleichen Gesichtspunkte beachtet werden wie bei der Direkt- bzw. Indirektbeleuchtung. Die Leuchten für eine Direkt-/Indirektbeleuchtung sind im Allgemeinen als Pendelleuchten, Stehleuchten oder Wandleuchten ausgeführt. Eine Direkt-/Indirektbeleuchtung kann auch durch Kombination von Leuchten für Direktbeleuchtung und für Indirektbeleuchtung realisiert werden, z.B. durch Indirektbeleuchtung kombiniert mit Arbeitsplatzleuchten.

3.4.3.5 Instandhaltung

Die Beleuchtungsanlage muss regelmäßig gewartet und gegebenenfalls instandgesetzt

3 Spezialmodule

werden. Für jede Beleuchtungsanlage ist daher durch den sachkundigen Planer ein Wartungsplan zu erstellen. Der Wartungsplan legt die zeitlichen Intervalle für die Reinigung und den Austausch von Lampen, die Reinigung der Leuchten und die Renovierung der Raumboflächen fest. Der Wartungsplan muss beim Betrieb der Anlage eingehalten werden, damit die Beleuchtungsstärken nicht unter den Wartungswert fallen.

Durch den Einsatz geeigneter Leuchten, Lampen und Betriebsgeräte sowie durch die Wahl zweckmäßiger Reflexionsgrade der Raumbegrenzungsflächen und der Möblierung kann der Planer die Beleuchtungsanlage hinsichtlich der Wartungsintervalle und damit bezogen auf die Investitions- und Betriebskosten optimieren.

Die in Abschnitt 3.4.3.4 „Planung von Beleuchtungsanlagen in Büroräumen“ auf-

geführten mittleren Beleuchtungsstärken sind Wartungswerte. Werden diese Werte erreicht, muss die Beleuchtungsanlage gewartet werden. Die Beleuchtungsstärke geht im Verlauf des Betriebs einer Beleuchtungsanlage aufgrund der Alterung bzw. Verschmutzung von Lampen, Leuchten und des Raumes zurück. Daher muss bei der Planung der Beleuchtungsanlage von einem höheren mittleren Beleuchtungsstärkewert (Planungswert) ausgegangen werden. Dieser Wert ergibt sich aus dem Wartungsfaktor, den der Lichtplaner unter Berücksichtigung des Alterungs- bzw. Verschmutzungsverhaltens von Lampen, Leuchten und des Raumes festzulegen hat. Bei Fehlen von Daten für die spezifische Planung der Beleuchtungsanlage, aber auch für eine überschlägige Projektierung, sollte z.B. für ein dreijähriges Wartungsintervall von einem Wartungsfaktor von 0,67 bei einer sauberen Raumatmosphäre ausgegangen werden (siehe Tabelle 27).

Tabelle 27:
Empfohlene Wartungs- und Planungsfaktoren für ein dreijähriges Wartungsintervall

Anwendungsbeispiel	Wartungsfaktor w	Planungsfaktor p
Saubere Raumatmosphäre	0,67	1,50 ¹⁾
Starke Verschmutzung, z.B. durch Rauchen	0,50	2,00

¹⁾ Wert ist angenähert

Berechnungsbeispiel für den Planungswert der mittleren Beleuchtungsstärke

Der Planungswert errechnet sich aus den Angaben

w Wartungsfaktor

p Planungsfaktor

\bar{E}_w Wert der mittleren Beleuchtungsstärke

\bar{E}_p Planungswert der mittleren Beleuchtungsstärke

zu

$$\bar{E}_p = p \cdot \bar{E}_w \text{ und } p = 1 : w$$

Bei einem Wert der mittleren horizontalen Beleuchtungsstärke von z.B.

$$\bar{E}_w = 500 \text{ Lux}$$

ergibt sich für eine saubere Raumumgebung ein Planungswert der mittleren horizontalen Beleuchtungsstärke von 750 Lux:

$$\bar{E}_p = 1,5^{1)} \cdot 500 \text{ Lux} = 750 \text{ Lux}$$

¹⁾ Wert angenähert

3.4.3.6 Überprüfung von Beleuchtungsanlagen

Allgemeines

Es ist sinnvoll, bereits in der Planungsphase anhand der Planungs- und Berechnungsunterlagen zu prüfen, ob die Anforderungen an

die Güteigenschaften der Beleuchtung eingehalten werden. Änderungen an einer bereits installierten Beleuchtungsanlage sind fast immer sehr aufwändig.

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 3.4.3.5 „Instandhaltung“). Damit wird erreicht, dass die vorgegebenen Wert der mittleren Beleuchtungsstärke 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 Güteigenschaften der Beleuchtung für die Beleuchtungsanlage nicht umgesetzt worden sind, oder
- wenn die im Wartungsplan festgelegten Intervalle verlängert werden sollen.

3 Spezialmodule

Die Einhaltung der Anforderungen und Empfehlungen an die

- ☐ Beleuchtungsstärken,
- ☐ Reflexions- und Glanzgrade,
- ☐ Lichtfarbe und Farbwiedergabe sowie
- ☐ Flimmerfreiheit

können in den Unternehmen durch Sachkundige, z.B. Fachkräfte für Arbeitssicherheit, Betriebsärzte, Technische Aufsichtspersonen, orientierend überprüft bzw. ermittelt werden.

Soll genau beurteilt werden, ob die Anforderungen an

- ☐ das Beleuchtungsniveau,
- ☐ die Leuchtdichteverteilung,
- ☐ die Begrenzung der Direktblendung,
- ☐ die Begrenzung der Reflexblendung auf dem Bildschirm und auf anderen Arbeitsmitteln sowie
- ☐ die Lichtrichtung und Schattigkeit.

eingehalten sind, sollte ein Sachverständiger mit Messungen nach DIN 5035-6 „Beleuchtung mit künstlichem Licht – Messung und Bewertung“ [10] 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 bzw. gegenüber dem Vermieter beanstandet werden soll.

Orientierende Überprüfungen

Beleuchtungsstärken

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

Die Messebenen liegen (vgl. Abbildungen 18 bis 21)

- ☐ für die horizontale Beleuchtungsstärke E_h in einer Höhe von 0,75 m
- ☐ für die zylindrische Beleuchtungsstärke E_z in einer Höhe von 1,20 m und
- ☐ für die vertikale Beleuchtungsstärke E_v auf Schrank- und Regalflächen in einer Höhe von 0,50 m bis 2,00 m.

Aus den einzelnen Messwerten ist der Mittelwert der jeweiligen Beleuchtungsstärke zu berechnen. Die zylindrische Beleuchtungsstärke kann mit einem zylindrischen Sensor gemessen oder näherungsweise durch Messung und Mittlung 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 Person, die misst, 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 für Büroräume (20 °C bis 26 °C) vorherrschen und
- ❑ die Betriebsspannung möglichst der Nennspannung entspricht.

Reflexions- und Glanzgrade

Eine orientierende Überprüfung der empfohlenen Werte für die Reflexions- und Glanzgrade kann mithilfe von Reflexionsgradtafeln und Glanzgradtafeln erfolgen, die über folgende Stellen bezogen werden können:

- ❑ Reflexionsgradtafel:
ecomед Verlagsgesellschaft
AG & Co. KG
Justus-von-Liebig-Str. 1
86899 Landsberg
- ❑ Glanzgradtafel nach DIN 53778-1 [11]:
Institut für Lackprüfung
Felsweg 16
35435 Wettenberg

Lichtfarbe und Farbwiedergabe

Die Ermittlung der Lichtfarbe und Farbwiedergabe der eingesetzten Leuchtstofflampen kann anhand eines dreiziffrigen Lampencodes vorgenommen werden. Dieser Lampencode ist vom Hersteller auf den Lampen aufgebracht. In diesem Code kennzeichnen die erste Ziffer die Farbwiedergabeeigenschaft, die zweite und dritte Ziffer die Lichtfarbe. Von einer guten Farbwiedergabeeigenschaft der Lampe kann ausgegangen werden, wenn

3 Spezialmodule

die erste Ziffer 8 oder 9 ist. Für Lampen mit warmweißer Lichtfarbe sind die zweite und dritte Ziffer kleiner 33, mit neutralweißer Lichtfarbe kleiner 53. Ist diese Ziffernfolge größer 53 ist die Lichtfarbe tageslichtweiß.

Feststellung der Flimmerfreiheit

Werden elektronische Vorschaltgeräte eingesetzt, kann davon ausgegangen werden, dass die Beleuchtungsanlage flimmerfrei arbeitet.

3.4.3.7 Spezialerhebungsbogen S10 zur Beleuchtung

Erhebungsbogen S10 Spezialerhebung – Beleuchtung	
Liebe Mitarbeiterin, lieber Mitarbeiter!	
Innenraumprobleme können durch eine unzureichende Beleuchtung mitverursacht werden. Diese Erhebung soll helfen, die Ursachen für die gesundheitlichen Beeinträchtigungen einzugrenzen. Wir bitten Sie, möglichst vollständige Angaben zu machen.	
Betrieb (Name, Anschrift):	.....
Betriebsteil:	.....
Arbeitsplatz:	.....
Datum der Erhebung:	.....
1	Beleuchtungsstärken
1.1	Wird der mittlere Wartungswert der horizontalen Beleuchtungsstärke von mindestens 500 lx eingehalten?
	<input type="checkbox"/> für die raumbezogene Beleuchtung im Raumbereich
	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein, und zwar.....lx
	<input type="checkbox"/> für die arbeitsbereichsbezogene Beleuchtung in den Arbeitsbereichen
	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein, und zwar.....lx
1.2	Wird der mittlere Wartungswert der zylindrischen Beleuchtungsstärke von mindestens 175 lx eingehalten?
	<input type="checkbox"/> für die raumbezogene Beleuchtung im Raumbereich
	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein, und zwar.....lx
	<input type="checkbox"/> für die arbeitsbereichsbezogene Beleuchtung in den Arbeitsbereichen
	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein, und zwar .....lx
1.3	Wird der mittlere Wartungswert der vertikalen Beleuchtungsstärke von mindestens 175 lx im Arbeitsbereich „Lesetätigkeit an Schrank- und Regalflächen“ eingehalten?
	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein, und zwar.....lx
1.4	Wird der mittlere Wartungswert der horizontalen Beleuchtungsstärke von mindestens 300 lx im Umgebungsbereich eingehalten?
	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein, und zwar.....lx

3 Spezialmodule

Erhebungsbogen S10 Spezialerhebung – Beleuchtung	
1.5	Wird der mittlere Wertungswert der zylindrischen Beleuchtungsstärke von mindestens 100 lx im Umgebungsbereich eingehalten? <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein, und zwar.....lx
2	Gibt es eine angenehme Helligkeitsverteilung im Arbeitsraum? (mittlere Reflexionsgrade durch Pastellfarben für Raumbegrenzungsflächen, durch Farben mittlerer Helligkeit für Arbeitsmittel und Möbel, keine zu hohen Helligkeitsunterschiede durch die Beleuchtung) <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein, und zwar..... (Beschreibung des Mangels)
3	Wird störende Blendung am Arbeitsplatz ausreichend begrenzt? <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein, und zwar tritt Blendung auf durch <input type="checkbox"/> Leuchten <input type="checkbox"/> helle Flächen <input type="checkbox"/> Fenster <input type="checkbox"/> Reflexblendung (Spiegelung auf dem Bildschirm) <input type="checkbox"/> Sonstige, und zwar.....
4	Sind die Arbeitsplätze so angeordnet, dass bei Bildschirmarbeit die Blickrichtung parallel zur Fensterfront liegt? <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
5	Sind ausreichende Möglichkeiten zur Regulierung des Tageslichteinfalls durch geeignete und verstellbare Sonnenschutzvorrichtungen vorhanden? <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
6	Ist die Lichtrichtung und Schattigkeit ausgewogen? <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
7	Wird durch geeignete Lichtfarbe und Farbwiedergabe der Lampen eine angenehme Beleuchtungssituation erzielt? <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
8	Wird ein Flimmern der Beleuchtungsanlage vermieden? <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein

3.4.3.8 Erläuterung wichtiger Begriffe

Lampe

Eine Lampe ist eine künstliche Lichtquelle. Sie dient der Umwandlung von elektrischer Energie in sichtbare Strahlung. Am häufigsten werden für die Innenraumbeleuchtung Temperaturstrahler (Glühlampen, Halogen-Glühlampen) und Gasentladungslampen (vor allem Leuchtstofflampen und Halogen-Metallampfen) verwendet. Kennzeichnend für eine Lampe sind u.a. die Lichtfarbe und die Farbwiedergabe.

Lichtfarbe

Unter der Lichtfarbe versteht man den Farbeindruck einer Lichtquelle (z.B. Lampe, Tageslicht). Die Lichtfarbe von Tageslicht und Lampen wird durch die ähnlichste Farbtemperatur in Kelvin (K) gekennzeichnet.

Farbwiedergabe

Die Farbwiedergabe beschreibt die Wirkung einer Lichtquelle auf den Farbeindruck eines Objektes, das mit dieser Lichtquelle beleuchtet wird, im bewussten oder unbewussten Vergleich zum Farbeindruck dieses mit einer Referenzlichtquelle beleuchteten Objektes. Die Farbwiedergabeeigenschaften von

Lampen und somit der Grad der Farbverfälschung gegenüber der Referenzlichtquelle werden durch den allgemeinen Farbwiedergabeindex R_a gekennzeichnet:

- $100 \geq R_a \geq 90$
sehr gute Farbwiedergabe
- $90 > R_a \geq 80$
gute Farbwiedergabe

Leuchte

Eine Leuchte ist ein Gerät zur Verteilung des Lichts von Lampen und umfasst Bestandteile zur Befestigung, zum Schutz und zur Energieversorgung der Lampen.

Lichtstrom

Der Lichtstrom ist die von einer Strahlungsquelle, z.B. von einer Lampe, ausgestrahlte und vom Auge entsprechend der Hellempfindlichkeit $V(\lambda)$ bewertete Strahlungsleistung.

- Formelzeichen: Φ
- Einheit: Lumen (lm)

Die Lichtströme von Lampen sind in den Dokumentationsunterlagen der Lampenhersteller angegeben.

3 Spezialmodule

Lichtstärke

Die Lichtstärke wird zur Kennzeichnung der räumlichen Lichtstromverteilung von Lampen bzw. Leuchten verwendet. Sie entspricht dem Quotient aus dem durch einen Raumwinkel ausgestrahlten Lichtstrom Φ und der Größe dieses Raumwinkels Ω .

- Formelzeichen: I
- Einheit: Candela (cd)
- Berechnungsgleichung: $I = \frac{\Phi}{\Omega}$

Beleuchtungsstärke

Die Beleuchtungsstärke ist der Quotient aus dem auf eine Fläche auftreffenden Lichtstrom Φ und der Größe dieser Fläche A .

- Formelzeichen: E
- Einheit: Lux (lx)
- Berechnungsgleichung: $E = \frac{\Phi}{A}$

Horizontale Beleuchtungsstärke E_h

Die Horizontale Beleuchtungsstärke ist die Beleuchtungsstärke auf einer ebenen horizontalen Fläche, z.B. auf einer Arbeitsfläche.

Zur Messung liegt die Empfängerfläche des Beleuchtungsstärkemessgerätes parallel zur horizontalen Bewertungsfläche.

Vertikale Beleuchtungsstärke E_v

Die Vertikale Beleuchtungsstärke ist die Beleuchtungsstärke auf einer ebenen vertikalen Fläche, z.B. auf einer Schrankfläche. Zur Messung liegt die Empfängerfläche des Beleuchtungsstärkemessgerätes parallel zur vertikalen Bewertungsfläche.

Zylindrische Beleuchtungsstärke E_z

Die Zylindrische Beleuchtungsstärke ist der Mittelwert der Beleuchtungsstärke auf der Mantelfläche eines Zylinders. Für den Anwendungsbereich dieses Reports bezieht sich die zylindrische Beleuchtungsstärke auf einen vertikal angeordneten Zylinder. Die zylindrische Beleuchtungsstärke eignet sich gut zur Charakterisierung des Helligkeitseindrucks im Raum und im Besonderen des Helligkeitseindrucks von Gesichtern. Zur Messung steht die Empfängerfläche des Beleuchtungsstärkemessgerätes senkrecht zur Bewertungsfläche. Näherungsweise kann die zylindrische Beleuchtungsstärke durch Messung von vertikalen Beleuchtungsstärken (z.B. in vier Richtungen, die jeweils um 90° versetzt sind) an einem Punkt ermittelt werden.

Wartungswert der Beleuchtungsstärke

Der Wartungswert der Beleuchtungsstärke stellt den Wert dar, unter den die mittlere Beleuchtungsstärke auf einer bestimmten Fläche nicht sinken darf. Zum Zeitpunkt der Unterschreitung sollte eine Wartung durchgeführt werden.

Leuchtdichte

Die Leuchtdichte L ist die für den Helligkeitseindruck einer Fläche maßgebende lichttechnische Größe. Die Leuchtdichte von beleuchteten, in alle Richtungen gleichmäßig (diffus) reflektierenden Flächen, wie sie meist in Innenräumen vorkommen, ergibt sich aus der Beleuchtungsstärke E auf dieser Fläche und dem Reflexionsgrad ρ dieser Fläche nach folgender Gleichung:

□ Formelzeichen: L

□ Einheit: Candela pro Quadratmeter (cd/m^2)

□ Berechnungsgleichung: $L = \frac{\rho \cdot E}{\pi}$

Reflexionsgrad

Der Reflexionsgrad ist der Quotient aus dem von einer Fläche reflektierten Lichtstrom und

dem auf die Fläche auftreffenden Lichtstrom. Er kann näherungsweise mit Reflexionsgradtafeln ermittelt werden.

□ Formelzeichen: ρ

□ Einheit: dimensionslos oder in %

Glanzgrad

Der Glanzgrad bezeichnet die subjektive Glanzempfindung von Oberflächen.

Blendung

Unter Blendung versteht man Störungen durch zu hohe Leuchtdichten und/oder zu große Leuchtdichteunterschiede im Gesichtsfeld.

UGR-Verfahren

Das UGR-Verfahren ist ein vereinheitlichtes Verfahren zur Bewertung der Begrenzung der Direktblendung der künstlichen Beleuchtung in Innenräumen [7].

Direktblendung

Direktblendungen sind Störungen, die unmittelbar durch Leuchten oder leuchtende

3 Spezialmodule

Flächen hervorgerufen werden. Zur Bewertung der Direktblendung durch Leuchten wird das UGR-Verfahren angewendet.

Reflexblendung

Reflexblendungen sind Störungen, die durch Spiegelungen von Flächen hoher Leuchtdichte auf glänzenden Oberflächen, z.B. auf der Bildschirmoberfläche oder auf Arbeitsmitteln auf dem Schreibtisch, verursacht werden.

3.4.3.9 Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Beleuchtung“

[1] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 12. August 2004. BGBl. I (2004), S. 2179

[2] Arbeitsstätten-Richtlinie: Sichtverbindung nach außen (ASR 7/1). BArbBl. (1976) Nr. 4, S. 76

[3] Arbeitsstätten-Richtlinie: Künstliche Beleuchtung (ASR 7/3). BArbBl. (1993) Nr. 11, S. 40

[4] Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit: Arbeitsplätze mit künstlicher Beleuchtung und

Sicherheitsleitsysteme (BGR 131) (06.01). Carl Heymanns, Köln 2001

[5] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Beleuchtung im Büro – Hilfen für die Planung von Beleuchtungsanlagen von Räumen mit Bildschirm- und Büroarbeitsplätzen SP 2.4 (BGI 856) (03.05). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG) und Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V. (LiTG). Universum, Wiesbaden 2005

[6] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Sonnenschutz im Büro – Hilfen für die Auswahl von geeigneten Blend- und Wärmeschutzvorrichtungen an Bildschirm- und Büroarbeitsplätzen SP 2.5 (BGI 827) (02.05). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG), Hamburg 2005

[7] Das UGR-Verfahren zur Bewertung der Direktblendung der künstlichen Beleuchtung in Innenräumen. LiTG-Publikation Nr. 20. Hrsg.: Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V. (LiTG), Berlin 2003

[8] Berufsgenossenschaftliche Grundsätze: Ausbildung von Sachkundigen für die Prüfung der künstlichen Beleuchtung an Arbeitsplätzen (BGG 917) (01.96). Carl Heymanns, Köln 1996

[9] DIN 5035-8: Beleuchtung mit künstlichem Licht; Spezielle Anforderungen zur

Einzelplatzbeleuchtung in Büroräumen und büroähnlichen Räumen (05.94). Beuth, Berlin 1994

[10] DIN 5035-6: Beleuchtung mit künstlichem Licht; Messung und Bewertung (12.90). Beuth, Berlin 1990

[11] DIN 53778-1 (Norm ist nicht mehr gültig): Kunststoffdispersionsfarben – Bestimmung des Kontrastverhältnisses von Anstrichen (08.83). Beuth, Berlin 1983

3 Spezialmodule

3.4.4 Elektrostatik und elektromagnetische Felder

*F. Börner, H. Siekmann und
B. Aengenvoort, Sankt Augustin
M. Fischer, Köln
U. Metzdorf, Hamburg
M. Giebner, Düsseldorf*

Überall sind Menschen von natürlichen und häufig auch von künstlich erzeugten elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern unterschiedlicher Frequenzen und Intensitäten umgeben. Elektromagnetische Felder werden vielfältig technisch eingesetzt, z.B. zur Erzeugung elektrischer Energie, in der Produktion, zur Informationsübertragung, in der Medizin usw.

Arbeitsplätze, an denen der Umgang mit elektromagnetischen Feldern beabsichtigt ist, sollen im Rahmen dieses Beitrages nicht behandelt werden. Daneben gibt es Arbeitsplätze, an denen unbeabsichtigt elektrische, magnetische oder elektromagnetische Felder auftreten können. Dies können auch Innenraumarbeitsplätze sein, an denen elektrische Geräte betrieben werden oder in deren Nähe elektrische Anlagen installiert sind. An diesen Arbeitsplätzen spielt weniger eine Gefährdung, sondern vielmehr eine mögliche Belästigung durch statische Aufladungen und durch elektromagnetische Felder eine Rolle.

Häufig werden Befürchtungen geäußert, dass die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern auch an diesen Arbeitsplätzen zu Gesundheitsschäden führen könnte. Der folgende Beitrag soll in diesem Spannungsfeld eine Orientierungshilfe für die Beurteilung von Elektrostatik und von elektromagnetischen Feldern in Innenräumen von Arbeitsstätten ohne bestimmungsgemäßen direkten Umgang mit Feldquellen bieten. Es wird empfohlen, Klagen über Gesundheitsbeschwerden an solchen Arbeitsplätzen durch individuelle Gefährdungsbeurteilungen, umfassende Aufklärung und die Prüfung anderer möglicher Ursachen zu begegnen.

3.4.4.1 Elektrostatik

Erläuterungen

Elektrostatische Felder

Statische Elektrizität beruht auf dem Vorhandensein von ruhenden positiven und negativen elektrischen Ladungen in verschiedenen Körpern. Zwischen den Ladungen besteht ein Potenzialgefälle und damit ein elektrostatisches Feld, dessen Größe durch die elektrische Feldstärke E (in der Einheit V/m) beschrieben wird. Das Vorhandensein eines elektrostatischen Feldes äußert sich durch die Kraftwirkung auf elektrische Ladungen.

Aufladungsmechanismen

Statische Elektrizität kann entstehen, wenn zwei unterschiedliche Materialien aneinander gerieben und anschließend getrennt werden. 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. Wenn durch die Trennung der Oberflächen diese Ladungen nicht abfließen können, d.h. sich nicht ausgleichen können, 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 Kunststoffteppichs, beim Teilen eines Stoffes, beim Abziehen eines Bandes von einer Rolle, beim Zerkleinern, Versprühen und Zerstäuben von Materialien und beim Strömen von Stoffen, z.B. Flüssigkeiten oder Stäube, an Wänden entlang. Eine Voraussetzung für die Aufladung ist, dass der Oberflächenwiderstand der Materialien mehr als $10^9 \Omega$ beträgt und die relative Luftfeuchte unter 45 % liegt.

Personen können sich beim Bewegen oder durch Ladungsverschiebungen (Influenz) aufladen. Kleidungsstücke mit nicht ausreichender Leitfähigkeit begünstigen die Aufladung. Durch das Berühren von aufgeladenen Gegenständen kann eine Aufladung auch durch Ladungsübertragung erfolgen. Einen Überblick über die Spannungen, die durch elektrostatische Aufladungen bei typischen Bürotätigkeiten erzeugt werden, gibt Tabelle 28 auf Seite 150.

Entladungsmechanismen

Elektrostatische Entladungen finden statt, wenn aufgeladene Gegenstände oder Personen geerdete elektrisch leitfähige Stoffe oder andere Personen berühren oder wenn es während der Annäherung aufgrund einer

3 Spezialmodule

Tabelle 28:
Spannungen nach elektrostatischen Aufladungen

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

genügend hohen elektrischen Feldstärke über einen Entladungsfunken zu einem elektrischen Stromfluss kommt. Faktoren, von denen der Entladungsvorgang abhängt, sind u.a.

- die Höhe der elektrostatischen Spannung,
- die Annäherungsgeschwindigkeit des elektrostatisch geladenen Objektes an das leitfähige oder geerdete Objekt,

- die Umgebungsbedingungen (z.B. Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchte, Staubpartikel) sowie
- die Geometrie und die 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. Der Aufladungsvorgang wird vom Menschen nicht bemerkt. Es besteht jedoch die Gefahr des Erschreckens und hierdurch ausgelöster Fehlhandlungen, wenn sich Personen oder mobile Objekte wie Stühle, Gerätewagen, Computerwagen, Druckertische, Reinigungsgeräte usw. nach einer elektrostatischen Aufladung schlagartig wieder entladen.

Vom Menschen wird die Entladung einer elektrostatischen Energie von mehr als etwa $5 \cdot 10^{-4}$ J spürbar wahrgenommen. Das entspricht bei einer typischen Körperkapazität zwischen Mensch und Erde von 100 pF 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 28).

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 Per-

son bei einem direkten Kontakt mit dem Anschluss eines Halbleiterbauelementes irreparable Schäden an diesem Element erzeugen. So genügen beispielsweise Entladespannungen 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 auf elektrischen Leiterplatten sein.

In industriellen und in technischen Bereichen können aufgrund von Entladungsfunken Gefahren durch die Entzündung brennbarer und explosionsfähiger Gase, Dämpfe, Nebel, Flüssigkeiten oder Stäube entstehen. An Innenraumarbeitsplätzen treten dagegen durch elektrostatische Entladungen meist keine Explosions- oder Brandgefahren auf.

3 Spezialmodule

Schutz vor statischer Elektrizität

Die Praxis zeigt, dass elektrostatische Aufladungen niemals ganz zu vermeiden sind. Häufig sind die Aufladungen sogar so groß, dass sie von Schutzschaltungen in elektronischen Geräten nicht mehr vollständig abgeleitet werden können. Aus diesem Grund ist es notwendig, Vorkehrungen zu treffen, um elektrostatische Aufladungen zu reduzieren bzw. abzuleiten. Dies kann durch folgende Maßnahmen erreicht werden:

- Verringerung von Kontaktflächen
- Erdung
- Verringerung des Oberflächenwiderstandes sowie
- Erhöhung der relativen Luftfeuchte

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

Verringerung von Kontaktflächen

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

Erdung

Bei sachgemäßer Erdung wird die vorhandene Ladung schnell abgeleitet. Dabei muss darauf geachtet werden, dass der Ableitwiderstand kleiner als $10^9 \Omega$ ist. Eine sachgemäße Erdung wird erreicht durch

- Verlegung von leitfähigen oder statisch ableitenden Bodenbelägen,
- Erdung leitfähiger Arbeitsflächen und Möbel sowie
- Ausrüsten von Stühlen und Transportmitteln mit leitfähigen Rollen oder Rädern.

Verringerung des Oberflächenwiderstandes

Für Innenraumarbeitsplätze kommt eine Verringerung des Oberflächenwiderstandes durch Ionisierung der Luft bzw. Erhöhung 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. Eine Erhöhung der Luftfeuchte würde eine aufwändige Klimatechnik verlangen und stünde teilweise im Widerspruch zu den in diesem Report beschriebenen Anforderungen an das Klima (siehe Abschnitt 3.4.2).

3.4.4.2 Elektromagnetische Felder

Erläuterungen

Da bei der Einwirkung von elektromagnetischen Feldern auf Materie keine Ionisierung von Atomen und Molekülen auftritt, werden elektromagnetische Felder zur „nicht ionisierenden Strahlung“ gezählt. Es wird zwischen elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern unterschieden.

Elektrische Felder

Ein elektrisches Feld entsteht überall dort, wo aufgrund getrennter Ladungsträger eine Potenzialdifferenz, d.h. eine elektrische Spannung, vorhanden ist. Dies gilt auch, wenn kein Strom fließt. Die physikalische Größe zur Messung von elektrischen Feldern ist die elektrische Feldstärke E . Ihre Einheit ist Volt pro Meter (V/m).

Magnetische Felder

Ein magnetisches Feld entsteht überall dort, wo elektrische Ladungen bewegt werden, d.h. wo ein elektrischer Strom fließt. Die Messgröße für magnetische Felder ist die magnetische Feldstärke H . Die Einheit der magnetischen Feldstärke ist Ampere pro Meter (A/m).

Zur Beschreibung von Magnetfeldern wird auch die magnetische Flussdichte B , die häufig auch als magnetische Induktion bezeichnet wird, verwendet. Sie ist über die Permeabilität mit der magnetischen Feldstärke verknüpft. Die Einheit der magnetischen Flussdichte ist Tesla (T). In Luft entspricht eine Feldstärke von 1 A/m einer magnetischen Flussdichte von 1,257 μ T.

Elektromagnetische Felder

Bei elektromagnetischen Feldern sind das elektrische und das magnetische Feld untrennbar miteinander verknüpft. Ändert sich eines der beiden Felder, ist damit stets auch eine Änderung des anderen Feldes verbunden. Die Verknüpfungen zwischen der elektrischen Feldstärke E und der magnetischen Feldstärke H werden mathematisch durch die *Maxwellschen* Feldgleichungen beschrieben.

Elektromagnetische Felder werden zu jedem Zeitpunkt durch Größe und Richtung ihrer elektrischen und magnetischen Feldstärke in jedem Punkt des Raumes exakt beschrieben. Das Frequenzspektrum reicht von Gleichfeldern mit der Frequenz 0 Hz bis zu Wechselfeldern mit Frequenzen von bis zu 300 GHz. Eine Einteilung elektromagnetischer Felder in verschiedene Frequenzbereiche und ihre Anwendungen sowie Wirkungen zeigt

3 Spezialmodule

Abbildung 23. Die Wellenlänge λ und die Frequenz f sind über die Gleichung

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

miteinander verbunden, wobei c der Lichtgeschwindigkeit entspricht.

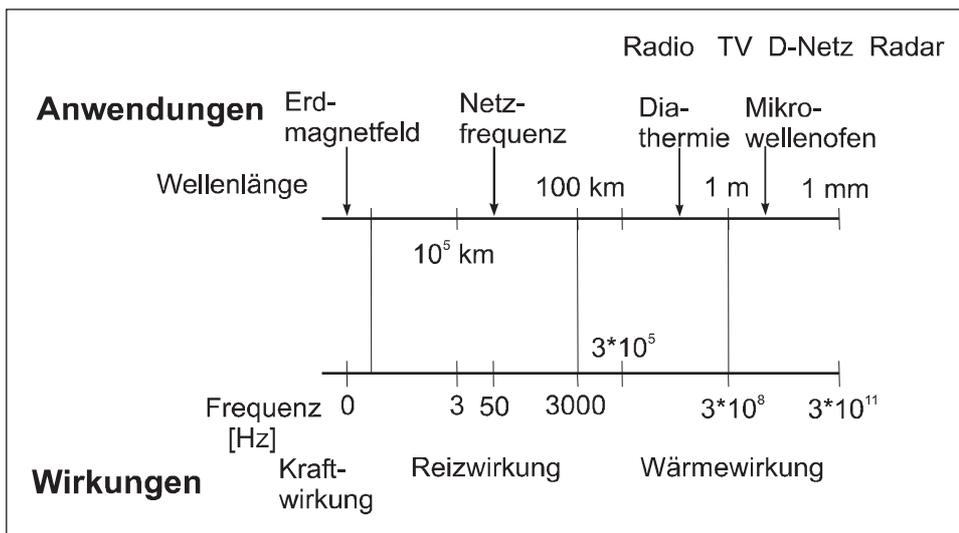
Felder natürlichen Ursprungs

Statische magnetische und elektrische Felder kommen vielfach in der Natur vor. Beispiele

hierfür sind das magnetische Gleichfeld der Erde und das lufterlektrische Feld.

Die Stärke des magnetischen Erdfeldes ist regional unterschiedlich. Es weist gewöhnlich Flussdichten zwischen $30 \mu\text{T}$ und $65 \mu\text{T}$ auf. Das lufterlektrische Feld hängt dagegen von den meteorologischen Bedingungen ab. Es wird zwischen einem wolkenunabhängigen und einem wolkenabhängigen Anteil unterschieden. Die Feldstärke des wolkenunabhängigen Anteils liegt zwischen 100 V/m und 200 V/m . Im wolkenabhängigen Anteil

Abbildung 23:
Frequenzspektrum elektromagnetischer Felder und ihre Wirkungen



werden Spitzenwerte von einigen kV/m erreicht [1].

Die daraus resultierenden Spannungen können in Innenräumen weitreichende Folgen haben. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn die elektrische Feldstärke bei einem Gewitter so große Werte annimmt, dass es zur Blitzentladung kommt und Blitzeinschläge sich mit Spannungsdurchschlägen und -überschlägen über die Elektroinstallation im Gebäude zur Erde fortpflanzen. Nahezu alle elektrischen und elektronischen Geräte, die an die Hausinstallation angeschlossen sind, können in einem solchen Fall beschädigt werden, wenn keine Blitzschutzmaßnahmen vorhanden sind.

Felder technischen Ursprungs

Elektromagnetische Felder technischen Ursprungs sind eng mit der Erzeugung, der Umwandlung und dem Verbrauch von elektrischer Energie verbunden. Zur Klassifizierung wird in der Technik eine Unterteilung nach Frequenzbereichen vorgenommen. Grob wird zwischen statischen Feldern ($f = 0$ Hz), niederfrequenten Feldern ($0 \text{ Hz} < f < 30 \text{ kHz}$) und hochfrequenten Feldern ($30 \text{ kHz} < f < 300 \text{ GHz}$) unterschieden.

Statische Felder

Statische Felder sind zeitunabhängig. Sie werden auch Gleichfelder genannt. Das elek-

trische und das magnetische Feld sind getrennt zu betrachten, wobei das elektrische Feld nur von der Spannung und das magnetische Feld nur von der Stromstärke abhängen. An Innenraumarbeitsplätzen haben diese Felder praktisch keine Bedeutung. Ihr Vorkommen ist hauptsächlich auf bestimmte Bereiche der Medizin, der Forschung und der Elektrochemie beschränkt.

Niederfrequente Felder

Der Bereich der niederfrequenten elektromagnetischen Felder umfasst alle Frequenzen zwischen 0 Hz und 30 kHz. Diese Felder sind insbesondere in den Bereichen der Bahn ($16 \frac{2}{3}$ Hz), der elektrischen Energieversorgung (50 Hz), im Haushalts- und Bürobereich sowie z.B. an Industrieanlagen (Frequenzumrichter oder Induktionsöfen) anzutreffen. Aufgrund der relativ 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. Durch die erzeugten Felder werden nur geringe Energiemengen transportiert.

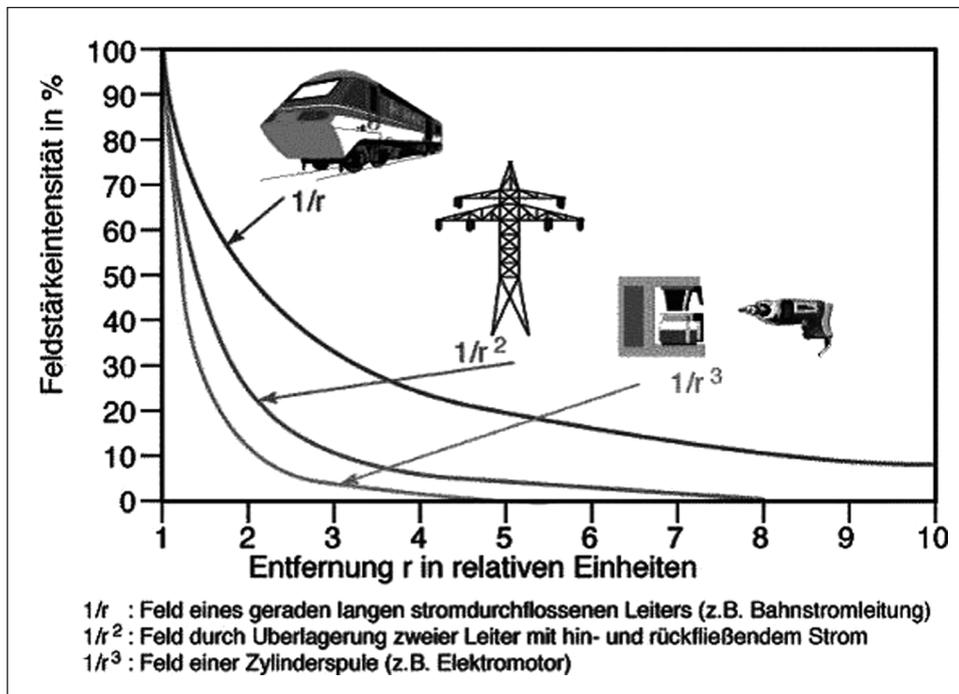
3 Spezialmodule

Die 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 Feld-

stärke die in Abbildung 24 gezeigte Abhängigkeit vom Abstand zur Feldquelle auf.

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

Abbildung 24:
Abhängigkeit der magnetischen Feldstärke vom Abstand r zur Feldquelle [2]



hohem Aufwand abgeschirmt werden. Es durchdringt nicht magnetische Stoffe nahezu ungehindert [3].

Hochfrequente Felder

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 werden auch die Begriffe Leistungsdichte, Energieflussdichte oder Strahlungsdichte verwendet.

Wirkungen elektromagnetischer Felder

Die Wirkungen elektromagnetischer Felder werden in direkte und indirekte Wirkungen unterschieden. Direkte Wirkungen sind Effekte, die auf die unmittelbare Einwirkung von Feldern auf den menschlichen Körper zurückzuführen sind. Indirekte Wirkungen können durch die Einwirkungen von Feldern auf elektrische Geräte wie Monitore, Steuerungen usw. oder durch die Entwicklung von Kräften auftreten.

Direkte Wirkungen niederfrequenter Felder

In starken niederfrequenten elektrischen Feldern treten Effekte an der Hautoberfläche wie Kribbeln und Aufstellen der Körperhaare auf. Im menschlichen Körper werden durch elektrische Influenz Ausgleichsströme erzeugt.

Magnetische Felder induzieren im menschlichen Körper aufgrund der dort vorhandenen Leitfähigkeit Wirbelströme. Die im Körper erzeugten Ströme können bei der Überschreitung bestimmter Schwellenwerte der Stromdichte, also der Stromstärke bezogen auf die durchflossene Fläche in der Einheit A/m^2 , Nerven- und Muskelzellen anregen (siehe Tabelle 29 auf Seite 158).

3 Spezialmodule

Tabelle 29:
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

Nach heutigem wissenschaftlichen Kenntnisstand sind nachteilige Wirkungen auf den menschlichen Körper bei Stromdichtewerten von weniger als 10 mA/m² nicht zu erwarten [4].

Direkte Wirkungen hochfrequenter Felder

Im Hochfrequenzbereich tritt vor allem eine Wärmewirkung auf. 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 der Strahlung ab. Die Energie der im Körper absorbierten Strahlung wird in Wärme

umgewandelt. Damit ist eine Erhöhung der Körpertemperatur verbunden. Diese ist zunächst an der Stelle, an der die Strahlung absorbiert wurde, lokal vorhanden. 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 Körperkerntemperatur bei 37 °C konstant zu halten. Eine starke Erhöhung der Körperkerntemperatur 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 größere Temperaturerhöhung als 1 °C folgt. Dieser

Wert kann z.B. auch durch intensive sportliche Betätigung erreicht werden und ist gesundheitlich unbedenklich.

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.

Weitere diskutierte Wirkungen

Die oben diskutierten direkten Wirkungen sind wissenschaftlich gesichert. Daneben werden in der Öffentlichkeit weitere mögliche Wirkungen elektromagnetischer Felder diskutiert, deren Existenz nicht gesichert ist. Dies reicht u.a. von Unwohlsein über Kopfschmerzen, Schlafstörungen, Beeinflussung des Hormonsystems bis hin zur Entstehung von Krebs. Die Diskussion über diese vermuteten Wirkungen spielt in den Medien und im politischen Bereich eine große Rolle und wird z.T. sehr emotional geführt.

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 es wird der Begriff „Elektromog“ gebraucht. Damit soll sprachlich deutlich gemacht werden, dass elektromagnetische Felder überall in der normalen Umge-

bung vorhanden sind und als ein potenzielles Risiko angesehen werden.

Inzwischen gibt es eine Vielzahl von Veröffentlichungen über die Wirkungen elektromagnetischer Felder, sowohl in der Presse als auch in wissenschaftlichen Abhandlungen. Für den Laien ist es schwierig zu erkennen, welche Wirkungen wissenschaftlich gesichert sind und welche Wirkungen nur vermutet und z.T. auch nur behauptet werden.

Einen umfassenden Überblick über den derzeitigen Stand der Erkenntnisse über die Wirkung elektromagnetischer Felder auf den Menschen hat die Strahlenschutzkommission in ihrer Empfehlung „Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern“ [5] veröffentlicht. Die Strahlenschutzkommission unterscheidet kausale Zusammenhänge zwischen der Einwirkung elektromagnetischer Felder und dem Auftreten bestimmter Effekte in Hinweis, Verdacht und Nachweis. Hinweise gibt 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 direkten Wirkungen nicht. In ihrer Schlussfolgerung hat die Strahlenschutzkommission daher u.a. festgestellt, dass es keinen Anlass gibt, von dem gegenwärtigen Grenzwertkonzept abzugehen. Neben der Einhaltung der Grenzwerte werden von der Strahlenschutzkommission weitere Empfehlungen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern gegeben.

3 Spezialmodule

Indirekte Wirkungen

Zu den indirekten Wirkungen gehören Kräfte durch starke magnetische Felder 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, wie z.B. von Herzschrittmachern, Defibrillatoren, Insulinpumpen oder Hörgeräten. Diese elektronischen Systeme können bereits bei niedrigen Feldstärken in ihrer Funktion beeinträchtigt werden.

Neben aktiven Körperhilfsmitteln können auch andere elektronische Geräte durch elektrische, magnetische oder elektromagnetische Felder gestört werden. Eine häufig auftretende Beeinflussung ist dabei die Störung von herkömmlichen PC-Monitoren (Kathodenstrahlröhren-[CRT]-Geräten) durch magnetische Felder. Dies macht sich als Flimmern des Bildes oder durch Farbverfälschungen bemerkbar. Eine Beeinflussung tritt schon weit unterhalb der zulässigen Werte für den Personenschutz (ab ca. $0,6 \mu\text{T}$) auf. Da durch flimmernde Monitore Sekundäreffekte wie z.B. Kopfschmerzen, Augenreizungen etc. verursacht werden können, muss eine solche Beeinflussung von Monitoren verhindert werden (siehe hierzu auch Abschnitt 3.2.4.2 „Strahlenemissionen von Bildschirmgeräten“).

Vorkommen elektromagnetischer Felder

Die Anwendungen elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder im beruflichen Alltag sind sehr vielseitig. Nahezu in allen Bereichen des Arbeitslebens sind Personen an ihren Arbeitsplätzen Feldern elektrischen Ursprungs ausgesetzt. Damit die Vorschriften und Normen zum Schutz vor elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern eingehalten werden können, müssen die Feldquellen und die Expositionsdauern am Arbeitsplatz bekannt sein.

Niederfrequente Felder ausgehend von Elektrogeräten

Die meisten Geräte an oder in der Nähe von Innenraumarbeitsplätzen erzeugen elektrische und magnetische Felder entsprechend der Netzfrequenz von 50 Hz. Durch elektrische Geräte hoher Leistung werden nicht zu vernachlässigende magnetische Felder hervorgerufen. Darüber hinaus treten magnetische Felder auch in der direkten Umgebung von Kleintransformatoren auf. Die elektrischen Feldstärken von Geräten in Innenräumen liegen unter 500 V/m und können vernachlässigt werden.

In Tabelle 30 ist für den Niederfrequenzbereich beispielhaft eine Reihe von Feldquellen und deren Feldemissionen in ver-

Tabelle 30:
Beispiele für niederfrequente elektrische und magnetische Felder von Elektrogeräten [6; 7]

Gerät	Frequenz in Hz	Abstand in cm	Elektrische Feld- stärke 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
	50	3 30 100	– 60 –	2,5 bis 50 0,04 bis 2 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

3 Spezialmodule

Tabelle 30:
(Fortsetzung)

Gerät	Frequenz in Hz	Abstand in cm	Elektrische Feld- stärke in V/m	Magnetische Flussdichte in μT
Kühlschrank	50	3 30 100	– 120 –	0,5 bis 1,7 0,01 bis 0,25 < 0,01
Ladestation für Handfunkgeräte	50	30	–	1,5
Leuchtstofflampe	–	3 30 100	– – –	40 bis 400 0,5 bis 2 0,02 bis 0,25
Luftbefeuchter	–	30	–	10 bis 20
Mixer	50	3 30 100	– 100 –	60 bis 700 0,6 bis 10 0,02 bis 0,25
PC-Monitor	–	3 30 100	– – –	0,5 bis 10 0,45 bis 1,0 < 0,01 bis 0,03
Radio (tragbar)	–	3 100	– –	16 bis 56 < 0,01
Staubsauger	50	3 30 100	– 50 –	200 bis 800 2 bis 20 0,13 bis 2
Tauchsieder (1 kW)	–	3 30 100	– – –	12 0,1 < 0,01
Tischlampe (60 W)	–	3 30	– 5	0,1 bis 0,2 0,01

Gerät	Frequenz in Hz	Abstand in cm	Elektrische Feld- stärke in V/m	Magnetische Flussdichte in μT
Toaster	–	3	–	7 bis 18
		30	–	0,06 bis 0,7
		100	–	< 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

schiedenen Abständen angegeben. Anhand dieser Werte kann die Relevanz möglicher Feldquellen an Innenraumarbeitsplätzen beurteilt und die wesentlichen Feldquellen können von den unwesentlichen unterschieden werden.

Zur Bewertung der Emissionsmesswerte können die zulässigen Werte aus Tabelle 33 (siehe Seite 189) für eine Frequenz von 50 Hz herangezogen werden (siehe Abschnitt 3.4.4.3 „Vorschriften und Grenzwerte“).

Niederfrequente Felder ausgehend von Energieanlagen und Leitungen

Arbeitsplätze in Innenräumen können auch in der Nähe von Energieversorgungs- und Energieverteilungsanlagen liegen (siehe Abbildung 25 auf Seite 164). Messungen an verschiedenen Anlagen haben ergeben, dass die maximal zulässigen Werte der Feldstärke bei weitem nicht erreicht werden. Dies gilt ebenso für Leitungen der elektrischen Hausinstallation. Bei Verteilungsanlagen in Büro-

3 Spezialmodule

Abbildung 25:
Beispiel für eine Energieverteilungsanlage



räumen kann es jedoch zu Beeinflussungen von Bildschirmen kommen (vgl. Abschnitt 3.2.4.2 „Strahlenemissionen von Bildschirmen“).

In der Nähe von erdverlegten Niederspannungs- und Mittelspannungskabeln werden zulässige Werte der Feldstärke aufgrund der

Erdverlegung und des damit verbundenen Abstands zu den Kabeln im Allgemeinen nicht erreicht.

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

Aufgrund des Abstandes der Leitungssysteme vom Erdboden und des geforderten Mindestabstandes zu den Leitungen werden die zulässigen Werte der elektrischen und der magnetischen Feldstärke bei weitem nicht erreicht. Direkt unterhalb von Freileitungen (ohne Bebauung) sind elektrische Feldstärken zwischen 1 kV/m und 5 kV/m möglich. Bei Stromstärken von 1 kA wurden magnetische Flussdichten bis zu 20 μ T festgestellt. Demgegenüber liegen die niedrigsten zulässigen Werte nach BGV B11 (Expositionsbereich 2) „Elektromagnetische Felder“ [8] für das elektrische Feld bei 6,6 kV/m und für das magnetische Feld bei 424 μ T. 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.

Auch wenn Personen nicht gefährdet werden, kann es durch Freileitungen zu Beeinflussungen von Geräten der Bürokommunikation kommen.

Hochfrequente Felder

Hochfrequente Felder treten an Innenraumarbeitsplätzen z.B. auf, wenn Informationen

durch Radio, Datenfunk oder Mobilfunk zu übertragen sind. Beispiele für hochfrequente elektromagnetische Feldquellen sowie die jeweils zulässigen Werte sind in Tabelle 31 (siehe Seite 166) aufgelistet.

Emissionen elektromagnetischer Felder durch ausgewählte Geräte

▣ PC-Monitore

PC-Monitore erzeugen u.a. nieder- und hochfrequente elektromagnetische Felder. Die Feldemission ist jedoch so gering, dass die zulässigen Werte nach BGV B 11 weit unterschritten werden. Eine Gefährdung von Personen tritt daher bei der Arbeit an einem PC-Bildschirm nicht auf. Dies gilt auch für die Arbeit von schwangeren Frauen an Bildschirmen und für die Arbeit in Büros, in denen sich Bildschirmarbeitsplätze gegenüberliegen (vgl. Abschnitt 3.2.4.2 „Strahlenemission von Bildschirmgeräten“).

▣ Wireless-LAN-Systeme

Wireless Local Area Networks (WLAN) sind lokale Datennetze, die über Funk Datenübertragungen zwischen Geräten wie PC, Servern und Druckern vornehmlich innerhalb von Gebäuden ermöglichen (siehe Abbildung 26 auf Seite 167). Dabei

3 Spezialmodule

Tabelle 31:

Beispiele für Expositionen durch hochfrequente elektromagnetische Felder an Innenraumarbeitsplätzen und die zugehörigen maximal zulässigen Werte (Expositionsbereich 2 nach BGV B1 1) [6 bis 10]

Feldquelle	Frequenz	Sendeleistung	Abstand	Typische Werte der Exposition	Zulässige Werte
Diebstahlsicherungseinrichtung	0,9 bis 10 GHz	–	im Nutzstrahl	< 2 mW/m ²	4,5 W/m ²
Flugüberwachungsradar	1 bis 10 GHz	0,2 bis 20 kW	0,1 m 1 km	10 W/m ² 0,1 W/m ²	5 W/m ²
Mikrowellen-Kochgerät	2,45 GHz	–	5 cm zum Gerät	0,62 W/m ²	10 W/m ²
Mobilfunk D-Netz, Basisstation	890 bis 960 MHz	< 50 W	50 m	0,001 W/m ²	4,45 W/m ²
Mobilfunkgerät D-Netz	890 bis 960 MHz	< 2 W	3 cm von Antenne	< 2 W/m ²	4,45 W/m ²
Rundfunk-/Fernsehsender	88 bis 108 MHz 174 bis 216 MHz 470 bis 890 MHz	< 100 kW < 300 kW < 5 MW	ca. 1,5 km	< 0,050 W/m ² < 0,02 W/m ² < 0,005 W/m ² Höchstwerte: 0,1 bis 0,4 W/m ²	2 W/m ² 2 W/m ² 2,35 W/m ²
Verkehrsradar	9 bis 35 GHz	0,5 bis 100 mW	3 m	250 mW/m ²	10 W/m ²
HF-Belastung in Wohnräumen in der Nähe von Mobilfunksendern	Rundfunk-/Fernsehsender, D- und E-Netz	–	k.A.	3 µW/m ² bis 5,2 mW/m ²	2 W/m ²

Abbildung 26:
Access Point für DECT-(Digital Enhanced Cordless
Telecommunications)-Anlagen



können die Geräte sowohl direkt miteinander kommunizieren als auch über zentrale Zugangspunkte mit einem Mobilfunknetz in Verbindung treten. In Deutschland arbeiten die Geräte in den Frequenzbändern bei 2 400 MHz und bei 5 000 MHz. Die Sendeleistung liegt je nach Frequenzband zwischen 100 mW und 1 W. Diese Sendeleistungen sind so gering, dass schon in einem Abstand von wenigen Zentimetern von den Antennen die niedrigsten zulässigen Werte nach BGV B 11 unterschritten werden.

▣ Mobilfunkstationen

Für die moderne Informations- und Kommunikationstechnik wurde in der Bundesrepublik Deutschland in den letzten Jahren ein System aus fest installierten und mobilen Funkanlagen aufgebaut. So gibt es inzwischen, mit noch zunehmender Tendenz, mehr als 50 000 fest installierte Sendefunkanlagen für den Mobilfunk (siehe Abbildung 27 auf Seite 168) sowie mehr als 70 Millionen Mobilfunkgeräte. Einen Überblick über die verschiedenen Netze und deren charakteristische Daten für ortsfeste Sendefunkanlagen des Mobilfunks gibt Tabelle 32 (siehe Seite 169).

Für den Betrieb ortsfester Sendefunkanlagen des Mobilfunks (Basisstationen) benötigt der Betreiber eine Standortbescheinigung. Die Standortbescheinigung wird von der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP) erteilt, wenn sichergestellt ist, dass die betreffende Station die maximal zulässigen Werte zum Schutz von Personen in elektromagnetischen Feldern einhält. Als zulässige Werte werden dabei die Werte der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV) [11] herangezogen. Unter Berücksichtigung der bereits vor Ort vorhandenen Feldstärken setzt die RegTP einzuhaltende Mindestabstände (Sicherheitsabstände) zu den Sendeanlagen fest und

3 Spezialmodule

Abbildung 27:
Sendefunkanlagen für den Mobilfunk



weist diese in der Standortbescheinigung aus. Der Betreiber der Anlage hat dann dafür zu sorgen, dass sich keine unbefugten Personen den Sendeanlagen innerhalb der Sicherheitsabstände nähern können. Hierzu ist der Zugang zu verhindern, z.B. durch eine Umzäunung, eine Absperrung o.ä. Außerhalb der Sicherheitsabstände liegen die elektro-

magnetischen Felder unterhalb der zulässigen Werte der 26. BImSchV.

Üblicherweise beträgt der Sicherheitsabstand in Hauptstrahlrichtung der Antenne einer Sendefunkanlage für den Mobilfunk etwa 50 cm, wenn an dem Standort andere Funkanwendungen nicht berücksichtigt werden müssen. 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 sind elektromagnetische Feldquellen, deren abgestrahlte Leistung je nach Anwendung unterschiedlich sein kann. Man unterscheidet leistungsstarke in Autos eingebaute Telefone (bis 20 W), portable Telefone (bis 8 W) und Handys (bis 2 W).

Bei der Benutzung von portablen Telefonen und Handys 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

Tabelle 32:
Kommunikationsnetze und charakteristische Daten ortsfester Sendefunkanlagen
(Basisstationen) für den Mobilfunk

Kommunikationsnetz	Trägerfrequenz in MHz	Eingespeiste Antennenleistung	Bemerkungen
Betriebsfunk	410 bis 430	6 W	geschlossene Benutzergruppen
Cityruf	470	100 W	regionale Rufanzeige
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
Eurosignal	87	bis 2 000 W	europaweite Rufanzeige
UMTS	1 920 bis 1 980 2 110 bis 2 170	10 bis 50 W	keine Pulsung

der Benutzung, vom Typ der Antenne, von der Position der Antenne zum Kopf, von der Frequenz und der Ausgangsleistung ab.

Für Mobilfunkgeräte ist heute eine spezifische Absorptionsrate (SAR) von 2 W/kg einzuhalten [4]. Bei Einhaltung dieses Wertes ist nach heutigem wissenschaftlichen Kenntnisstand nicht mit gesundheitlichen Beeinträchtigungen zu rechnen. Derzeit halten die meisten der auf dem Markt erhältlichen Geräte die zulässigen SAR-Werte ein. Darüber hinaus geben die Mobilfunkhersteller seit Ende

2001 die spezifische Absorptionsrate für ihre Geräte in den Benutzerinformationen an. Aus Gründen des vorbeugenden Gesundheitsschutzes gibt das Bundesamt für Strahlenschutz zusätzlich Hinweise zum Verhalten beim Telefonieren mit Handys [6].

▣ DECT-Anlagen

DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) ist ein Mobilfunkstandard, der den Zugang zu einem Mobilfunknetz defi-

3 Spezialmodule

niert. 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 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 von 1 880 MHz bis 1 900 MHz definiert. Ein DECT-System hat theoretisch eine maximale Sendeleistung von 250 mW und eine gemittelte Sendeleistung von circa 10 mW. Für die Nutzung des Schnurlostelefonen gelten die gleichen Kriterien wie 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.

▣ Mikrowellenkochgeräte (Mikrowellenherde)

In Mikrowellenkochgeräten wird zur Erwärmung von Lebensmitteln Hochfrequenzenergie erzeugt, die von den Lebensmitteln absorbiert und in Wärmeenergie umgewandelt

wird. Im Allgemeinen wird hierzu eine Frequenz von 2 455 MHz verwendet. Die Anschlussleistungen betragen 0,5 kW bis 4 kW bei einem Wirkungsgrad von circa 50 %. Abschirmmaßnahmen sorgen dafür, dass nur ein geringer Teil der Hochfrequenzenergie aus dem Gerät austreten kann.

Nach Untersuchungen des Bundesamtes für Strahlenschutz liegen die Leistungsdichtemesswerte für die „Leckstrahlung“ an Haushalts-Mikrowellenherden unter 10 W/m^2 . Im Mittel lag die emittierte Leistungsdichte bei 1 % des zulässigen Emissionsgrenzwertes. Dieser beträgt nach DIN EN 60335-2-25 [12] in 5 cm Abstand 50 W/m^2 .

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 B 11 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.

3.4.4.3 Vorschriften und Grenzwerte

Unfallverhütungsvorschrift „Elektromagnetische Felder“

Im Bereich des Arbeitsschutzes ist die Unfallverhütungsvorschrift BGV B 11 „Elektromagnetische Felder“ [8] anzuwenden. Sie wird durch die zugehörige BG-Regel BGR B 11 [13] konkretisiert und erläutert. Die BGV B 11 gilt, soweit Beschäftigte elektrischen, 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 durch einen Sachkundigen zu erfolgen und kann durch Berechnung, Messung, Berücksichtigung von Herstellerangaben oder Vergleich mit anderen Anlagen vorgenommen werden.

Nach BGV B 11 wird zwischen Expositionsbereich 2, Expositionsbereich 1 und dem Bereich erhöhter Exposition unterschieden (siehe Abbildung 28).

Bereich erhöhter Exposition <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> kontrollierte Bereiche<input type="checkbox"/> nur kurzzeitige Expositionen zulässig
Expositionsbereich 1 <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> kontrollierte Bereiche<input type="checkbox"/> Arbeitsstätten, überprüfbare Bereiche<input type="checkbox"/> Betriebsweise, die Kurzzeitbetrieb sicherstellt
Expositionsbereich 2 <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> allgemein zugängliche Bereiche<input type="checkbox"/> Büro- und Sozialräume<input type="checkbox"/> Bereiche, in denen eine Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern bestimmungsgemäß nicht erwartet wird

Abbildung 28:
Expositionsbereiche
nach BGV B 11 [8]

3 Spezialmodule

Innenraumarbeitsplätze, die allgemein zugänglich sind, sind dem Expositionsbereich 2 zuzuordnen. In diesem Bereich gelten die niedrigsten zulässigen Werte für Arbeitsplätze. Der Expositionsbereich 2 umfasst alle Bereiche, in denen keine speziellen Zugangsregelungen getroffen werden, z.B. allgemein zugängliche Bereiche, Büro- und Sozialräume. Grundsätzlich sind Arbeitsstätten erfasst, in denen eine Felderzeugung bestimmungsgemäß nicht erwartet wird.

Höhere Werte sind im Expositionsbereich 1 zulässig. Er umfasst alle kontrollierten Bereiche in Betrieben.

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.

Zulässige Werte nach BGV B 11

Zulässige Werte wurden international so festgelegt, dass es nicht zu biologisch relevanten Wirkungen oder negativen Effekten hinsichtlich einer möglichen Schädigung, Gefährdung oder Belästigung kommen kann. Da die Wirkungen elektromagnetischer Felder in verschiedenen Frequenzbereichen unterschiedlich sind, gibt es verschiedene, von der

jeweiligen Frequenz abhängige zulässige Werte. Zulässige Werte werden in so genannten Basisgrößen und in davon abgeleiteten Größen angegeben.

Basisgrößen beschreiben die Wirkungen im menschlichen Körper. Im Frequenzbereich bis zu 10 MHz ist die Basisgröße die im Körper durch ein Feld hervorgerufene Stromdichte in A/m^2 . Überlappend zu diesem Frequenzbereich ist im Frequenzbereich von 100 kHz bis 10 GHz die spezifische Absorptionsrate SAR in W/kg ebenfalls eine Basisgröße. Bei noch höheren Frequenzen (10 GHz bis 300 GHz) ist die Basisgröße die Leistungsflussdichte in W/m^2 . Die zulässigen Werte für die Basisgrößen (Basiswerte nach BGV B 11 [8]) gründen auf physikalischen, biologischen und medizinischen Erkenntnissen und sind international anerkannt und empfohlen [4].

Basisgrößen sind im menschlichen Körper messtechnisch schwer zu erfassen. Daher werden für die Praxis auch zulässige Werte für die Feldgrößen der äußeren Felder, nämlich die elektrische Feldstärke und die magnetische Flussdichte, angegeben. Bei Einhaltung der zulässigen Werte für diese abgeleiteten Größen ist sichergestellt, dass auch die zulässigen Werte für die Basisgrößen im Körper eingehalten werden. Die zulässigen Werte der elektrischen Feldstärke und der magnetischen

Flussdichte nach BGV B 11 sind in den Abbildungen 29 und 30 dargestellt.

In Tabelle 33 (siehe Seite 174) sind exemplarisch die zulässigen Werte für die energie-technisch wichtige Frequenz 50 Hz zusam-

mengefasst. Die angegebenen Werte gelten für Ganzkörperexpositionen. An Innenraumarbeitsplätzen werden die zulässigen Werte für den Expositionsbereich 2 in der Regel nicht überschritten.

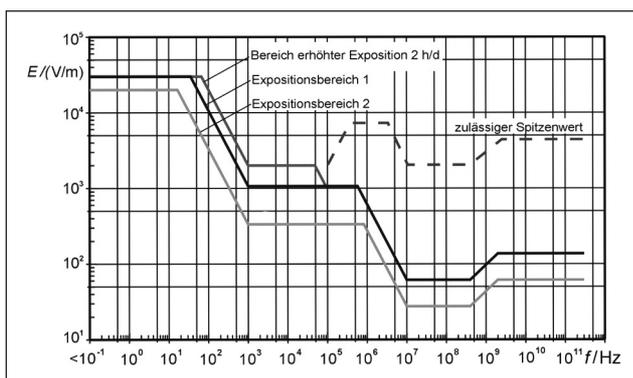


Abbildung 29:
Zulässige Werte der elektrischen Feldstärke E nach BGV B 11 [8]

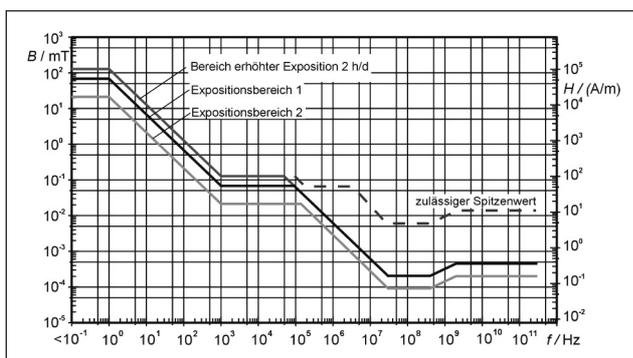


Abbildung 30:
Zulässige Werte der magnetischen Flussdichte B nach BGV B 11 [8]

3 Spezialmodule

Tabelle 33:
Zulässige Werte nach BGV B 11 [8] 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

Erforderliche Maßnahmen nach BGV B 11

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.

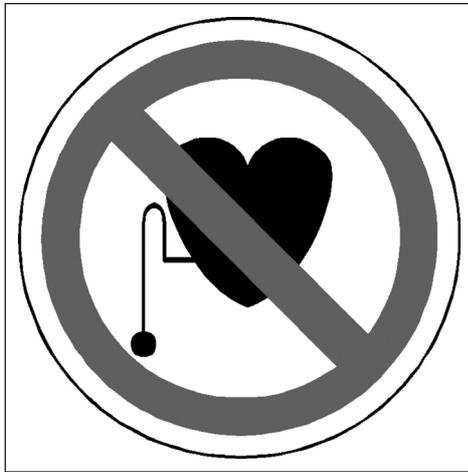
An Innenraumarbeitsplätzen in unmittelbarer Nähe industrieller Anlagen mit hohen elektrischen Leistungen ist jedoch nicht auszuschließen, dass die zulässigen Werte des Expositionsbereichs 2 überschritten werden. Wo dies der Fall ist, sind Maßnahmen nach BGV B 11 [8] notwendig. Dazu zählen z.B. Zugangskontrollen, Kennzeichnung oder die Erstellung von Betriebsanweisungen sowie Unterweisungen.

Zulässige Werte für Personen mit Körperhilfen

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 31).

Die Problematik der Beeinflussung von aktiven Körperhilfsmitteln wird in der Norm E DIN VDE 0848-3-1 [14] behandelt. In diesem Normentwurf werden Zusammenhänge zwischen der äußeren Feldstärke und der am Herzschrittmachergebilde auftretenden Beeinflussungsspannung erläutert. Weiterhin werden Schwellen angegeben, unterhalb derer keine Beeinflussungen auch empfindlicher Systeme zu erwarten sind.

Abbildung 31:
Verbot für Personen mit Herzschrittmacher



Die Beeinflussungsschwellen hängen von verschiedenen Parametern wie z.B. der eingestellten Empfindlichkeit des Herzschrittmachers, der Verlegeart der Elektroden und der Störfestigkeit des Herzschrittmachers ab. Hierzu lässt sich keine allgemein gültige Aussage treffen. Daher ist bei der Bewertung an Arbeitsplätzen immer eine Einzelfallentscheidung unter Zugrundelegung der eingestellten Parameter (eingetragen im Herzschrittmacherpass) und der Herstellerangaben notwendig.

3.4.4.4 Zusammenfassung

An Innenraumarbeitsplätzen können elektrische Aufladungen auftreten. Im Allgemeinen stellen die hierdurch erzeugten elektrostatischen Felder für die Beschäftigten keine Gefahr dar. Es kann jedoch zu Entladungsvorgängen kommen, die anwesende Personen erschrecken und als Folge zu nachteiligen Reaktionen führen können. Auch können elektronische Bauteile durch elektrische Entladungen geschädigt 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 treten auch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder mit Frequenzen von 0 Hz bis in den Gigahertzbereich auf. An Büroarbeitsplätzen werden sie durch die dort üblichen Büro- und Elektrogeräte erzeugt. Die Emission von elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern durch diese Geräte 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. Dies gilt auch für Belastungen durch hochfrequente elektromagnetische Felder, die z.B. von Sendeanlagen am Arbeitsplatz und in der Umgebung erzeugt werden. Allerdings können schon geringe elektromagnetische Feldstärken die Funktion elektronischer Geräte, z.B. von

3 Spezialmodule

Bildschirmen, stören. Dies kann zur Verunsicherung bei Beschäftigten führen, auch wenn keine Gefährdung von Personen gegeben ist.

An Innenraumarbeitsplätzen, die in der Nähe von Energieversorgungs- und Energieverteilungsanlagen liegen, werden die zulässigen Werte in der Regel eingehalten. In der Nähe von besonderen Feldquellen, z.B. an Arbeitsplätzen direkt neben Warensicherungsanlagen oder an Arbeitsplätzen in unmittelbarer Nähe zu industriellen Anlagen mit hohen elektrischen Leistungen, kann jedoch die Überschreitung der zulässigen Werte nicht ausgeschlossen werden. Sofern die Einhaltung der Grenzwerte auf Zweifel stößt, sollten die elektromagnetischen Feldstärken gemessen und mit den zulässigen Werten verglichen werden. Für Innenraumarbeitsplätze gelten wie für alle Arbeitsplätze die Regelungen der Unfallverhütungsvorschrift BGV B 11 „Elektromagnetische Felder“ [8]. Innenraumarbeitsplätze sind nach dieser Unfallverhütungsvorschrift dem Expositionsbereich 2 zuzuordnen. Damit gelten für sie die niedrigsten für Arbeitsplätze zulässigen Werte. Werden die zulässigen Werte überschritten, dann sind die nach BGV B 11 festgelegten Maßnahmen zu ergreifen.

Auch wenn an Innenraumarbeitsplätzen die zulässigen Werte eingehalten werden, ist nicht auszuschließen, dass aktive Körperhilfsmittel wie z.B. Herzschrittmacher durch elektromagnetische Felder in ihrer Funktion gestört werden. Für Träger solcher Körperhilfsmittel kann daher eine spezielle Gefährdungsbeurteilung erforderlich sein.

3.4.4.5 Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Elektrostatik und elektromagnetische Felder“

[1] *Hoffmann, E.; Schwetz, P.:* Der Mensch im elektrischen und magnetischen Erdfeld. ETZ (1995) Nr. 6-7, S. 52-58

[2] Elektromagnetische Felder im Alltag. Hrsg.: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe 2002.
<http://www.lfu.baden-wuerttemberg.de/lfu/abt3/e-smog/start.htm>

[3] *Haubrich, H. J.:* Der Mensch im elektrischen und magnetischen Niederfrequenzfeld. ETZ (1994) Nr. 3, S. 128-133

[4] Guidelines for limiting exposure to time – varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 G). Health Physics 74 (1998) Nr. 4, S. 494-522

[5] Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern. Berichte der Strahlenschutzkommission 29. Urban und Fischer, München 2001

[6] Strahlenthemen – Mobilfunk und Sendertürme. Hrsg.: Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter 2001

- [7] Der EMF Messdienst. Info-CD 6. Hrsg.: Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik, Köln 2003
- [8] Berufsgenossenschaftliche Vorschrift: Elektromagnetische Felder (BGV B 11) (06.01). Carl Heymanns, Köln 2001
- [9] Elektromagnetische Felder. In: Nicht-ionisierende Strahlung. Hrsg.: Fachverband für Strahlenschutz, Köln 1999. www.fs-ev.de
- [10] *Silny, J.*: Exposition der Allgemeinbevölkerung durch hochfrequente elektromagnetische Felder – Plausibilität der gesundheitlichen Unbedenklichkeit. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Verkehr der Republik Österreich. Aachen 1999. www.bmvit.gv.at/sixcms_upload/media/119/studie.pdf
- [11] Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV) vom 16. Dezember 1996. BGBl. I (1996), S. 1966
- [12] E DIN EN 60335-2-25/AA: Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke – Teil 2-25: Besondere Anforderungen für Mikrowellengeräte und kombinierte Mikrowellenkochgeräte – Temperaturgrenzen für das äußere Gehäuse von kombinierten Mikrowellenkochgeräten (08.04). Beuth, Berlin 2003
- [13] Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit: Elektromagnetische Felder (BGR B11) (10.01). Carl Heymanns, Köln 2001
- [14] E DIN VDE 0848-3-1: Sicherheit in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern – Teil 3-1: Schutz von Personen mit aktiven Körperhilfsmitteln im Frequenzbereich 0 Hz bis 300 GHz (05.02). Beuth, Berlin 2002

Weiterführende Literatur

- [15] *Armbrüster, H.; Grünberger, G.*: Elektromagnetische Wellen im Hochfrequenzbereich. Hüthig und Pflaum, München 1978
- [16] *Berndt, H.*: Elektrostatik – Ursachen, Wirkungen, Schutzmaßnahmen, Messungen, Prüfungen, Normung. VDE, Berlin 1998
- [17] Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz-300 GHz). ABl. EG Nr. L 199 vom 30. Juli 1999, S. 59-70

3 Spezialmodule

- [18] *Eder, H.*: Elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz – Ergebnisse einer Messreihe des IfAS. Hrsg.: Bayerisches Landesamt für Arbeitsschutz, Arbeitsmedizin und Sicherheitstechnik, München 2001. <http://www.ifas.bayern.de/publ/emf1/emf.pdf>
- [19] *Haase, H.*: Statische Elektrizität als Gefahr. Chemie, Weinheim 1972
- [20] *Habiger, E.*: Elektromagnetische Verträglichkeit – Grundzüge ihrer Sicherstellung in der Geräte- und Anlagentechnik. Hüthig, Heidelberg 1998
- [21] *Eggert, S.; Siekmann, H.*: Normung im Bereich der nichtionisierenden Strahlung. KAN-Bericht 9. Hrsg.: Kommission Arbeitsschutz und Normung, Sankt Augustin 2000
- [22] *Lüttgens, G.; Boschung, P.*: Elektrostatische Aufladungen, Ursachen und Beseitigung. Expert, Grafenau 1980
- [23] *Mardiguian, M.*: Electrostatic discharge, understand, simulate and fix ESD problems. Interference Control Technologies, Inc. Gainesville, Virginia 1986
- [24] *Tobisch, R.; Irnich, W.*: Mobilfunk im Krankenhaus. Schiele und Schön, Berlin 1999
- [25] Bundesamt für Strahlenschutz: www.bfs.de
- [26] Fachverband für Strahlenschutz e.V.: www.fs-ev.de
- [27] Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP): www.icnirp.org
- [28] Strahlenschutzkommission der Bundesregierung: www.ssk.de

3.4.5 Ionisierende Strahlung (Radon)

H. Siekmann, Sankt Augustin

3.4.5.1 Allgemeine Hinweise

Natürliche Strahlenbelastung

Der Mensch ist ständig einer geringen Belastung durch ionisierende Strahlung aus natürlichen 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
- Strahlung aus dem Weltall

Im Mittel beträgt die Strahlenbelastung der Bevölkerung in Deutschland durch die natürliche Umgebungsstrahlung circa 2,1 mSv (Millisievert) im Jahr [1]. Davon entfällt mit etwa 1,1 mSv die Hälfte auf die Inhalation von Radon und Radonfolgeprodukten. Zur natürlichen Strahlenbelastung kommt eine Belastung von durchschnittlich noch einmal

ungefähr 2 mSv im Jahr hinzu, die durch die Anwendung künstlicher Strahlenquellen, hauptsächlich in der Medizin, hervorgerufen wird. Die mittlere Strahlenbelastung der Bevölkerung ändert sich über Jahre hinweg nur geringfügig. Jedoch kann die Strahlenbelastung von Einzelpersonen vom Mittelwert erheblich abweichen. Das Bundesumweltministerium veröffentlicht jährlich einen Bericht über die Strahlenbelastung der Bevölkerung [1], aus dem die aktuelle Situation zu entnehmen ist.

Vorkommen von Radon

Der größte Teil der Belastung durch natürliche Strahlenquellen wird durch Radon und seine Folgeprodukte hervorgerufen. Radon ist ein Edelgas und 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 radioaktiven Zerfallsketten von Uran und Thorium und ist auch selbst radioaktiv.

Hauptsächlich tritt das Nuklid Radon 222 aus der Uran-Zerfallsreihe auf. Daneben ist in einer geringeren Konzentration auch das Nuklid Radon 220 aus der Thorium-Zerfallsreihe zu finden. Im Erdboden sind Uran und Thorium überall in geringen Mengen vorhan-

3 Spezialmodule

den. Die Konzentrationen von Uran und Thorium im Untergrund hängen 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. In den radioaktiven Zerfallsreihen von Uran und Thorium ist Radon das erste Element, das bei normalen Umgebungsbedingungen (Temperatur und Druck) gasförmig auftritt. Es kann sich deshalb von den Uran- und Thoriumlagerstätten fortbewegen. Durch Konvektion und Diffusion kann es aus dem Erdboden in die Atmosphäre gelangen. Daraus resultiert ein geringer Anteil von Radon in der Luft. Als ein typischer Wert der Radonkonzentration wurden vom Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitsschutz – BGI in der Außenluft in Bonn z.B. 5 Bq/m^3 (Bequerel pro Kubikmeter) gemessen.

Radongas kann nicht nur in die Außenluft, sondern auch in Keller von Gebäuden gelangen (siehe Abbildung 32). Durch geringe Druckunterschiede, die besonders in der Heizperiode auftreten, kann Radon von den Kellern in die darüber liegenden Stockwerke aufsteigen. In den Räumen eines Gebäudes hängt die Höhe der Radonkonzentration deshalb u.a. von folgenden Faktoren ab:

- ❑ Geologie des Untergrundes – Höhe des Uran- und Thoriumgehaltes im

Abbildung 32:
Eindringen von Radon aus dem Untergrund in Keller und höhere Stockwerke (mit freundlicher Genehmigung der Fachstelle Radon und Abfall, Schweiz)



Boden, Beweglichkeit des Radons im Boden

- ❑ 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 künstlicher Belüftung ist mit einer geringeren Radonkonzentration zu rechnen als bei natürlicher Belüftung

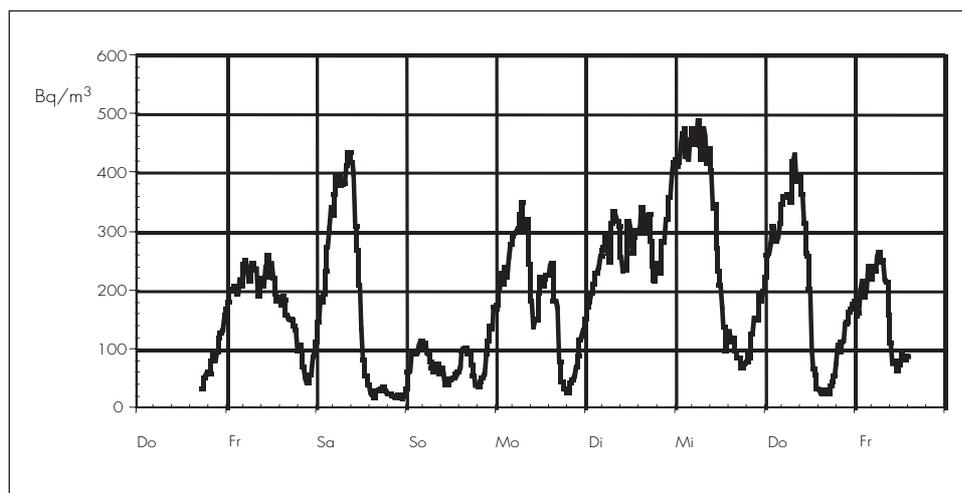
□ Die Radonkonzentration in einem Raum zeigt zusätzlich einen jahreszeitlichen und einen tageszeitlichen Gang. Sie hängt auch von Wetterparametern wie Temperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und Windrichtung ab. Ein Beispiel für den Verlauf der Radonkonzentration in einem Kellerraum ist in Abbildung 33 dargestellt.

Biologische Wirkung

Wird Radon eingeatmet, so wird es als Edelgas nicht im Körper aufgenommen, sondern

wieder ausgeatmet. Die radioaktive Belastung stammt daher nur zu einem geringen Teil vom Radon selbst. Vielmehr zerfällt Radon 222 mit einer Halbwertszeit von 3,8 Tagen in weitere radioaktive Zerfallsprodukte wie Polonium 218, Blei 214, Wismut 214 und Polonium 214. Diese Zerfallsprodukte sind nicht gasförmig. Sie 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 Strahlenbelastung des Körpers, und zwar hauptsächlich in der Lunge. Diese Strahlenbelastung

Abbildung 33:
Verlauf der Radonkonzentration im Keller eines Wohnhauses während einer Woche (Messung des BGIA)



3 Spezialmodule

verursacht keine unmittelbare Schädigung. Akute Symptome treten durch das Einatmen von Radon und Radonfolgeprodukten nicht auf. Es kann jedoch zu verzögerten Schädigungen, 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.

Radon an Arbeitsplätzen

Es gibt eine Reihe von Arbeitsplätzen, an denen aufgrund besonderer Bedingungen mit erhöhten Radonkonzentrationen in der Luft zu rechnen ist. Dazu gehören Arbeitsplätze in Untertage-Bergwerken, in Radon-Heilbädern und in Anlagen zur Wassergewinnung. Für diese Arbeitsplätze besteht nach der Strahlenschutzverordnung [2] eine Verpflichtung, die Strahlenbelastung durch Radon und seine Folgeprodukte zu ermitteln, festgelegte Grenzwerte einzuhalten und gegebenenfalls Maßnahmen zur Verringerung der Radon- und Radonfolgeprodukt-Konzentration zu ergreifen. Da die Behandlung der Radonproblematik an diesen Arbeitsplätzen umfangreiche Detailinformationen verlangt, wird hierauf nicht weiter eingegangen.

Für Arbeitsplätze in Büros und büroähnlichen Räumen besteht keine gesetzliche Verpflichtung

zur Ermittlung der Strahlenbelastung durch Radon und zur Einhaltung von Grenzwerten. Im Allgemeinen ist in Büros auch nur mit einer geringen Strahlenbelastung zu rechnen, die der mittleren natürlichen Umgebungsstrahlung entspricht. Es gibt jedoch auch Fälle, in denen die Radonkonzentration in Büros erhöht ist und über dem Mittelwert liegt.

3.4.5.2 Ermittlung

Sofern es Hinweise darauf gibt, dass in einem Büro oder einem büroähnlichen Raum eine erhöhte Radonbelastung vorliegen könnte, sollte die Radonkonzentration genauer ermittelt werden. Die Ermittlung umfasst die beiden Teile „Vorermittlung“ und „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. Vom Geologischen Institut der Univer-

sität Bonn wurde eine Karte veröffentlicht, der die Radioaktivitätskonzentrationen in der Bodenluft in Deutschland zu entnehmen ist [1; 3 bis 5]. Mithilfe dieser Karte kann ermittelt werden, ob ein zu beurteilendes Gebäude in einem Gebiet mit erhöhter Bodenradioaktivität liegt.

□ Lage des Raums im Gebäude

Je tiefer ein Raum in einem Gebäude liegt, mit desto 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 oberen 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 für die Durchführung von Radonmessungen gibt der „Leitfaden zur Messung von Radon, Thoron und ihren Zerfallsprodukten“, der von der Strahlenschutzkommission veröffentlicht wurde [6].

3.4.5.3 Bewertung

Richtwerte

Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP, International Commission on Radiological Protection) hat Empfehlungen für die maximal einzuhaltende Radonkonzentration veröffentlicht. Auf der Grundlage der ICRP-Veröffentlichungen wurden in Deutschland von der Strahlenschutzkommission wiederholt eigene Empfehlungen zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon herausgegeben. Die Empfehlung von 1994 enthält „Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Gebäuden“ [7]. Die darin genannten Radonkon-

3 Spezialmodule

zentrationen sind als Mittelwerte über den Zeitraum eines Jahres zu verstehen.

Für Wohnungen werden von der Strahlenschutzkommission die folgenden Richtwerte angegeben [7]:

- ❑ Eine Radonkonzentration von 250 Bq/m^3 gilt als oberes Ende des Normalbereiches der Radonkonzentration in Wohngebäuden der Bundesrepublik Deutschland. Bei Werten im Normalbereich werden Maßnahmen nicht als notwendig erachtet.
- ❑ Der Bereich zwischen 250 und $1\,000 \text{ Bq/m}^3$ gilt als Ermessensbereich für einfache Maßnahmen zur Reduzierung der Exposition gegenüber Radon. Zusätzlich werden Hinweise gegeben, welche Maßnahmen durch wen (Bewohner, Fachfirmen) durchgeführt werden können.
- ❑ Der Bereich über $1\,000 \text{ Bq/m}^3$ gilt als Sanierungsbereich. Hier sollte die Radonkonzentration in jedem Fall reduziert werden, auch wenn dazu aufwändigere Maßnahmen erforderlich sind.

Für Arbeitsplätze in Gebäuden wird von der Strahlenschutzkommission zugelassen, dass die Richtwerte im Verhältnis der Aufenthaltsdauer in der Wohnung (hier werden jährlich $7\,000$ Stunden Aufenthalt angenommen) zur

Aufenthaltsdauer am Arbeitsplatz (im Strahlenschutz werden hierfür jährlich $2\,000$ Stunden zugrunde gelegt) erhöht werden [7]. Das würde für den Beginn des Ermessensbereichs einen Wert der Radonkonzentration von 875 Bq/m^3 und für den Beginn des Sanierungsbereichs einen Wert von $3\,500 \text{ Bq/m}^3$ bedeuten.

Ob man diese erhöhten Werte für den Arbeitsplatz tatsächlich anwenden will, sollte im Einzelfall geprüft werden. In Gegenden mit geologisch bedingter erhöhter Bodenradioaktivität muss damit gerechnet werden, dass die Beschäftigten nicht nur an ihrem Arbeitsplatz, sondern auch in ihren Wohnungen einer erhöhten Radonkonzentration ausgesetzt sind. Werden am Arbeitsplatz die erhöhten Richtwerte angewendet, dann könnte dies für den Einzelnen zu unerwünscht hohen Strahlenbelastungen führen. Aus den Angaben der Strahlenschutzkommission errechnet sich für Arbeitsplätze mit einer Radonkonzentration von $3\,500 \text{ Bq/m}^3$ und einer Arbeitszeit von $2\,000$ Stunden im Jahr eine daraus resultierende effektive Dosis von ungefähr 21 mSv pro Jahr [8]. Hält sich ein Arbeitnehmer darüber hinaus noch $5\,000$ Stunden im Jahr in einer Wohnung bei einer Radonkonzentration von $1\,000 \text{ Bq/m}^3$ (der oberen Grenze des Ermessensbereichs) auf, dann erhält er hierdurch zusätzlich eine effektive Dosis von circa 15 mSv (Berechnung nach den Angaben in [8]). Die Gesamt-

dosis der ein Arbeitnehmer ausgesetzt ist, betrüge dann am oberen Ende des Ermessensbereiches im Extremfall im Jahr über 30 mSv. Diese Dosis liegt damit über dem Wert von 20 mSv, der in der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen als höchst zulässige Jahresdosis festgelegt ist [2].

Auch wenn eine Dosis von über 30 mSv pro Jahr nur in Einzelfällen zu erwarten ist, sollte eine solche Strahlenbelastung vermieden werden. Daher wird zur Verminderung der Strahlenbelastung empfohlen, für Arbeitsplätze die gleichen Maßstäbe wie für Wohnungen anzulegen und keine erhöhten Radonkonzentrationen zuzulassen. Zumindest in Gegenden mit hoher Bodenradioaktivität sollten auch für Arbeitsplätze Radonkonzentrationen zwischen 250 Bq/m³ und 1 000 Bq/m³ als Ermessensbereich und Radonkonzentrationen über 1 000 Bq/m³ als Sanierungsbereich angesehen und bei Bedarf Sanierungsmaßnahmen ergriffen werden.

Neubauten sollten so geplant und ausgelegt werden, dass die Radonkonzentration im Jahresmittel einen Wert von 200 Bq/m³ nicht überschreitet [6; 9].

Sanierungsmaßnahmen

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

- ❑ Änderung der Nutzung eines überdurchschnittlich radonbelasteten Raumes – z.B. könnte die Nutzung von Räumen in Tiefgeschossen als Büroräume aufgegeben und diese, soweit dies möglich ist, zu Lagerräumen umfunktioniert werden
- ❑ gasdichte Abdichtung von Bodenplatten, Kellerwänden, Durchbrüchen und Fugen
- ❑ Verbesserung der Lüftung durch Erhöhung der Luftwechselrate – dazu gehören häufigeres und intensiveres Lüften bei natürlicher Lüftung, die Installation einer künstlichen Lüftung und die Zuführung von atmosphärischer Luft in die belasteten Räume sowie
- ❑ Absaugung von Radongas im Kellergeschoss oder unter dem Gebäude (Drainage-Lüftung)

Einige einfache Maßnahmen wie z.B. häufigeres Lüften lassen sich durch die Raumnutzer selbst durchführen [10]. Für aufwändigere 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 sind dem Radon-Handbuch Deutschland [4] zu entnehmen. In Gebieten

3 Spezialmodule

mit hoher Radon-Bodenkonzentration sind bereits beim Bau entsprechende Maßnahmen einzuplanen.

3.4.5.4 Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Ionisierende Strahlung“

[1] Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung – Jahresbericht 2002. Hrsg.: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn 2003

[2] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) vom 20. Juli 2001. BGBl. I (2001), S. 1714, zul. geänd. BGBl. I (2002), S. 1869

[3] Siehl, A.; Stegmann, R.; Valdivia-Manchego, M.: Die aktuelle Karte des geogenen Radon-Potenzials in Deutschland. Hrsg.: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn 2000

[4] Radon-Handbuch Deutschland. Hrsg.: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und Bundesamt für Strahlenschutz, Braunschweig 2001

[5] Kemski, J.; Klingel, R.: Informationsseite zum Thema Radon und Radioaktivität: www.radon-info.de

[6] Leitfaden zur Messung von Radon, Thoron und ihren Zerfallsprodukten. In: Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission 47 (2002). Hrsg.: Strahlenschutzkommission, Bonn. Urban und Fischer, München 2002

[7] Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Gebäuden – Empfehlung der Strahlenschutzkommission. In: Empfehlungen und Stellungnahmen der Strahlenschutzkommission 1994 Bd. 36. Hrsg.: Strahlenschutzkommission, Bonn. Gustav Fischer, München 1994

[8] Strahlenexpositionen an Arbeitsplätzen durch natürliche Radionuklide. In: Berichte der Strahlenschutzkommission 10 (1997). Hrsg. Strahlenschutzkommission, Bonn. Gustav Fischer, München 1997

[9] Richtlinie 90/143/Euratom: Empfehlungen der Kommission vom 21. Februar 1990 zum Schutz der Bevölkerung vor Radonexposition innerhalb von Gebäuden. ABl. EG Nr. L 080 (1990), S. 26-28

[10] Die Exposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Wohnungen in der Bundesrepublik Deutschland und deren Bewertung. In: Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission 19 (1992).

Hrsg.: Strahlenschutzkommission, Bonn.
Gustav Fischer, Stuttgart 1992

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit in Zusammenarbeit mit
dem Bundesamt für Gesundheit der Schweiz,
Bonn 1999

Weiterführende Literatur

[11] Radon. Information zu einem strahlen-
den Thema. Hrsg.: Bundesamt für Gesund-
heit der Schweiz. EDMZ, Bern 1999

[12] Radon – Merkblätter zur Senkung der
Radonkonzentration in Wohnhäusern. Hrsg.:

[13] Bundesamt für Strahlenschutz:
www.bfs.de

[14] Bundesministerium für Umwelt, Natur-
schutz und Reaktorsicherheit: www.bmu.de

[15] Strahlenschutzkommission: www.ssk.de

3 Spezialmodule

3.5 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, die beim Einsatz entsprechend empfindlicher Analysenverfahren in vielen Innenräumen einschließlich Wohnungen nachweisbar sind.

Vermutungen oder auch Hinweise zum Auftreten gefährlicher Stoffe können sich z.B. auf den Geruchssinn (vgl. hierzu Abschnitt 2.3), akute Beschwerden oder auch medizinische Befunde sowie Pressemeldungen stützen. Ein Nachweis über das tatsächliche Auftreten entsprechender Stoffe ist damit aber nicht erbracht.

Bevor nun in solchen Fällen Gefahrstoffmessungen (siehe Abschnitt 3.5.2) vorgenommen werden, die in der Regel mit einem hohen technischen und persönlichen Aufwand verbunden sind, ist durch entsprechende Ermittlungen (vgl. Abschnitt 3.5.1) abzuklären, ob der Gefahrstoffverdacht begründet ist. Diese Ermittlungen sind nicht nur erforderlich, um den Aufwand und die Kosten für Messungen zu begrenzen, sondern sind zugleich Voraussetzung für die Messplanung.

3.5.1 Ermittlungen bei chemischen Einwirkungen

U. Bagschik, Düsseldorf
H. Fröhlich, Mannheim
K. Pohl, Mainz
M. Weigl, Potsdam

Luftverunreinigungen in Innenräumen können durch eine Vielzahl von Quellen hervorgerufen werden (siehe Tabelle 34). Der folgende Abschnitt soll dem Anwender allgemeine stoffbezogene Hinweise zur Gefahrstoffermittlung liefern. Als Ergänzung sei u.a. auf Abschnitt 3.2.3 „Materialien“ verwiesen, in dem materialbezogene Hinweise gegeben werden.

Abhängig vom Ergebnis der Ermittlungen ist über das weitere Vorgehen zu entscheiden. Wenn sich der Verdacht auf Gefahrstoffexposition nicht bestätigen lässt, sind andere Ursachen für die Beschwerden zu suchen. Bei einer Erhärtung des Anfangsverdachts, dass Gefahrstoffe in der Luft am Arbeitsplatz vorliegen, sind gezielte Gefahrstoffmessungen vorzusehen. Vielfach können auch ohne Gefahrstoffmessungen allein aufgrund der Ermittlungsergebnisse Entscheidungen über erforderliche Maßnahmen (z.B. Sanierung) getroffen werden.

Sollten Messungen erforderlich sein, gibt Abschnitt 3.5.2 entsprechende Hinweise

Tabelle 34:
 Quellen von Luftverunreinigungen in Innenräumen und die wichtigsten von ihnen emittierten Stoffe
 in Anlehnung an VDI 4300 Blatt 1 [1]

Quelle/Ursache	Vorgang/Aktivität	Verwendete Produkte, Quellen im engeren Sinne	Emitierte Stoffe
Lebewesen			
Mensch, Haustiere, Schädlinge	Atmung		Kohlendioxid, körpereigene Geruchsstoffe, Geruchsstoffe aus Lebensmitteln, Bakterien und Viren
	Transpiration		Geruchsstoffe
	Verdauung, Ausscheidungsvorgänge		Darmgase, Geruchsstoffe und Zersetzungsprodukte aus Exkrementen bzw. krankhaften Absonderungen, Bakterien und Viren, allergener Staub
	Haarausfall, Hautabschilferung		
Zimmerpflanzen	Ausdünstung, Schimmelpilzbefall	Substrat	Terpene und andere Geruchsstoffe, Pilzsporen, Toxine
Bausubstanz/Gebäudeausrüstung			
Baukörper und -material	Produktverarbeitung, Ausgasung, Alterung, Abrieb, Zersetzung, Schimmelpilzbefall	Baustoffe, Bauten- und Korrosionsschutzmittel, Isolierstoffe, Dichtungsmaterialien	Verschiedenartige gas- und partikelförmige Stoffe wie z.B. Lösungsmittel, Weichmacher, Holzschutz- und Flammenschutzmittel, Fasern (Asbest, Mineralwolle), Pilzsporen
Warmwasserversorgung			Legionellen

3 Spezialmodule

Tabelle 34:
(Fortsetzung)

Quelle/Ursache	Vorgang/Aktivität	Verwendete Produkte, Quellen im engeren Sinne	Emittierte Stoffe
Raumluftechnische Anlagen	Betrieb und Wartung	Wäscher, Filter, Isolier- und Dichtungsmaterialien, Ablagerungen	Mikroorganismen, Biozide, Fasern, Geruchsstoffe
Raumausstattung, Einrichtungsgegenstände	Produktverarbeitung, Renovierung, Ausgasung	Möbel, Fußbodenbeläge, Heimtextilien, Anstrichmittel, Tapeten	Monomere u. Oligomere aus Kunststoffen, Harzen, Oberflächenbeschichtungen und Klebern (z.B. Formaldehyd), Fasern, Lösungsmittel, Weichmacher, Stabilisatoren, Biozide (z.B. Pyrethroide)
Raumnutzung			
Hygiene	Körperpflege, kosmetische Behandlung	Kosmetische Mittel und Bedarfsgegenstände	Lösungsmittel, Treibgase, Duftstoffe
	Reinigungs- und Pflegemaßnahmen	Wasch- und Putzmittel, Polituren, Desinfektionsmittel	Ammoniak, Chlor, organische Lösungsmittel (z.B. Ethanol), Hausstaub, Bakterizide
	Schädlingsbekämpfung	Schädlingsbekämpfungsmittel	Insektizide, Chlorverbindungen, Pyrethroide
Ernährung	Nahrungsmittelzubereitung und -verzehr	Brennstoffe, Lebensmittel	Flammgase, gasförmige Pyrolyseprodukte, Geruchs- und Aromastoffe (natürlich und synthetisch)

Quelle/Ursache	Vorgang/Aktivität	Verwendete Produkte, Quellen im engeren Sinne	Emittierte Stoffe
Nutzung als Büro	Bürobetrieb	Büroartikel, EDV-Geräte, Kopierer, Toner	organische Lösungsmittel, schwer flüchtige organische Stoffe (Weichmacher, Flammschutzmittel), Ozon
	Rauchen	Tabakwaren	Kohlenmonoxid, Stickstoffoxide, Nikotin, Aldehyde, Nitrosamine und zahlreiche andere organische Stoffe (z.B. polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe), Aerosole
Belastete Außenluft/Umgebung			
Durch den Menschen ausgelöste Emissionen	Lüftung, Infiltration und Diffusion durch die Gebäudehülle	Gewerbe/ Industriebetriebe, Verkehr, Hausbrand, Landwirtschaft	Anorganische und organische Gase und Aerosole (z.B. Lösungsmittel, Geruchsstoffe), Autoabgase
	Eindringen von Bodenluft, Staubaufwirbelung	Deponien, Altlasten	Methan u.a. flüchtige organische Verbindungen (Kohlenwasserstoffe, Organohalogenverbindungen), Geruchsstoffe, Stäube
Natürliche Emissionen	Lüftung	Pflanzen	Pollen, Sporen
	Eindringen von Bodenluft	Uranvorkommen im Boden	Radon

3 Spezialmodule

zur Planung und Durchführung. In Abschnitt 3.5.3 findet man Hilfen zur Bewertung der Messergebnisse.

3.5.1.1 Stäube und Rauche

Stäube einschließlich Faserstäube entstehen in Innenräumen vorwiegend durch Aufwirbelungen, in einzelnen Fällen auch durch mechanische Prozesse (z.B. Papierstäube beim Umgang mit Papieren). Sie können sowohl organischer als auch anorganischer Natur sein. Die bedeutendste Quelle für Rauch in Innenräumen ist das Rauchen. In Abhängigkeit von der Lage des Gebäudes und der Lüftung gelangen Stäube und Rauche in unterschiedlichem Maße auch über die Außenluft in die Innenräume. In der Regel sind die Innenraumkonzentrationen jedoch höher als in der Außenluft.

Stäube

Die Konzentration von Stäuben in der Innenraumluft ist häufig so gering, dass unspezifische Wirkungen auf die Atmungsorgane, wie sie alle unlöslichen Stäube zeigen können, nicht zu erwarten sind. Zu berücksichtigen ist allerdings eine mögliche Anlagerung von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC), Bioziden, Geruchsstoffen u.a. an die Stäube, und eine damit verbundene

reizende, gesundheitsschädigende oder belastigende Wirkung [2]. Bezüglich biologischer Agenzien in Stäuben, besonders der spezifisch wirkenden Allergene, wird auf Abschnitt 3.6 verwiesen.

Analog zur Außenluft werden für Innenräume üblicherweise die Partikelgrößenbereiche in eine PM_{10} - und in eine $PM_{2,5}$ -Fraktion eingeteilt (PM: particulate matter). Unter der Fraktion $PM_{2,5}$ versteht man dabei die Summe aller Schwebstaubpartikeln mit einem Durchmesser kleiner $2,5 \mu\text{m}$. So beträgt in städtischen Gebieten der $PM_{2,5}$ -Anteil am Gesamtschwebstaub der Außenluft etwa 50 Prozent [3].

Starke Staubablagerungen bei sonst üblichen Reinigungsgewohnheiten oder der Umgang mit großen Papiermengen, wie z.B. in Archiven und bei der Vervielfältigung, geben Hinweise auf eine erhöhte Staubkonzentration in der Raumluft. In diesen Fällen ist die Ermittlung der einatembaren Staubfraktion (früher Gesamtstaub) als Indikator für mögliche irritative Staubwirkungen sinnvoll (siehe auch Abschnitt 3.5.3.2 „Stäube“).

Faserstäube

Die gelegentlich diskutierte irritative Wirkung von künstlichen Mineralfasern dürfte nur dann relevant sein, wenn Mineralwolle-

dämmstoffe nicht ordnungsgemäß eingebaut wurden.

Faserstaubexpositionen durch Mineralwolle-dämmstoffe sind möglich, wenn diese unmittelbar mit der Raumluft in Verbindung stehen (so genannte 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.

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 [4] ausführlich beschrieben sind, durchzuführen und ein ggf. notwendiges Sanierungskonzept ist unter Berücksichtigung der „Asbest-Richtlinie“ [5] zu erstellen.

Durch das gemeinsame Auftreten verschiedener kanzerogener Schadstoffe in der Raumluft – wie etwa Tabakrauch und Asbest am Arbeitsplatz – kann sich das Krebsrisiko nicht nur addieren, sondern sogar vervielfachen.

Rauchen an Innenraumarbeitsplätzen

Tabakrauch enthält eine kaum überschaubare Fülle chemischer Verbindungen und hat verschiedenartige Auswirkungen auf den

Organismus, die zum Teil von einem Genussmittel erwartet werden, zum Teil aber als unerwünschte Nebenwirkungen anzusehen sind.

Bis heute sind mehr als 4 000 Einzelkomponenten im Tabakrauch identifiziert worden, z.B.

- 4-Aminobiphenyl
- Acetaldehyd
- Ammoniak
- Anilin
- Benzol
- Benzo[α]pyren
- Blei
- Cadmium
- Cyanwasserstoff
- Dimethylnitrosamin
- Essigsäure
- Formaldehyd
- Kohlenmonoxid
- 2-Naphthylamin
- Nickel
- Nikotin
- Phenol
- Stickstoffdioxid
- Stickstoffmonoxid
- 2-Toluidin
- Toluol

Im Hinblick auf die schädlichen Wirkungen des Tabakrauchs kommt polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK), Nitros-

3 Spezialmodule

aminen, aromatischen Aminen, Teer und einer Reihe weiterer Verbindungen eine besondere Bedeutung zu. 40 bis 50 der im Tabakrauch enthaltenen Verbindungen gelten als krebserzeugend.

Weiterhin sind auch Stoffe mit reizenden oder allergenen Eigenschaften im Tabakrauch vorhanden. Da diese Stoffe nicht nur im Hauptstromrauch, sondern auch im Nebstromrauch und in der Ausatemluft enthalten sind, gelangen sie in die Innenraumluft. Der auch Passivraucher gefährdende Nebstromrauch enthält wesentlich höhere Mengen von PAK und Aminen als der Hauptstromrauch. Untersuchungen ergaben einen zehnfach höheren Anteil dieser Verbindungen. Wird am Arbeitsplatz geraucht, dominieren in der Innenraumluft Schadstoffe, die auf den Zigarettenrauch zurückzuführen sind.

Angesichts der weiten Verbreitung und der großen Einsatzmenge von Tabak als Genussmittel muss Tabakrauch als die bedeutendste und wohl auch gesundheitlich nachteiligste Schadstoffquelle in Innenräumen gelten.

Passivrauch, also vom Nichtraucher mit der Atemluft unfreiwillig eingeatmeter Tabakrauch, hat gesundheitliche Auswirkungen, die über die reine Belästigung hinausgehen. In den letzten Jahren wurde eine Reihe von Studien veröffentlicht, die sich mit den

möglichen Gesundheitsrisiken durch Passivrauchen befassen [6 bis 9].

Bei längerem Aufenthalt in verrauchten Räumen können Bindehautreizungen, Kopfschmerzen, Husten, Übelkeit, Halsschmerzen und Schwindelsymptome auftreten. Schwerwiegender können diese akuten Auswirkungen bei Allergikern oder Patienten mit Atemwegserkrankungen sein. Geht man davon aus, dass etwa 15 Prozent aller Allergiker auf Tabakrauch überempfindlich reagieren, so sind dies mehrere hunderttausend Betroffene in der Bundesrepublik Deutschland.

Seit 2002 haben Arbeitnehmer einen Rechtsanspruch auf einen rauchfreien Arbeitsplatz. In § 5 Absatz 1 der Arbeitsstättenverordnung [10] heißt es:

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

Bei Tabakrauchexpositionen wird die Ermittlung der Anzahl der Raucher in den Arbeitsräumen – die im Rahmen der Grunderhebung G1 bzw. G2 erfolgt – und eine ggf. anschließende Abfrage zu den Rauchgewohnheiten (z.B. Anzahl der Zigaretten pro Tag) als ausreichend betrachtet.

3.5.1.2 Kohlendioxid

In Innenräumen ist der Mensch durch seine Atmung in der Regel die Hauptemissionsquelle für Kohlendioxid (CO₂). Selbst unter ungünstigen Bedingungen, wie z.B. bei geringer Luftwechselrate, werden dadurch jedoch keine toxisch relevanten CO₂-Konzentrationen erreicht. Da die CO₂-Abgabe des Menschen etwa proportional zur Emission von Geruchsstoffen ist, bildet die CO₂-Konzentration einen brauchbaren Indikator für die Raumluftqualität, soweit nicht weitere CO₂-Emissionsquellen oder andere Geruchsquellen vorhanden sind.

Die CO₂-Konzentration in Innenräumen kann aus der CO₂-Abgabe des Menschen in Abhängigkeit von der Anzahl anwesender Personen, ihrer Tätigkeit und dem Luftwechsel (Lüftungseffektivität) berechnet werden [11]. Bei leichter Tätigkeit beträgt die CO₂-Abgabe des Menschen ungefähr 40 000 mg/h. Mit diesem Wert kann man die maximal sich einstellende CO₂-Konzentration nach der Gleichung

$$X_{\text{CO}_2} = \frac{m_{\text{CO}_2}}{\lambda \cdot V_R} + X_{\text{CO}_2, \text{ausßen}}$$

$$= \frac{n \cdot 40\,000 \text{ mg/h}}{\lambda \cdot V_R} + X_{\text{CO}_2, \text{ausßen}}$$

berechnen.

Hierin bedeuten:

X_{CO_2}	= CO ₂ -Konzentration in mg/m ³
m_{CO_2}	= CO ₂ -Emission in mg/h
λ	= Luftwechselrate in h ⁻¹
V_R	= Arbeitsraumvolumen in m ³
$X_{\text{CO}_2, \text{ausßen}}$	= CO ₂ -Außenluftkonzentration in mg/m ³
n	= Anzahl der Personen im Raum

Beträgt z.B. das Raumvolumen eines von zwei Personen genutzten Büros 100 m³ und wird für dieses Büro eine natürliche Luftwechselrate λ von 0,5 h⁻¹ angenommen, dann beträgt die erreichbare CO₂-Konzentration – unter Berücksichtigung einer mittleren Außenluftkonzentration an CO₂ von 600 mg/m³ – maximal 2 200 mg/m³.

$$X_{\text{CO}_2} = \frac{2 \cdot 40\,000 \text{ mg/h}}{0,5 \text{ h}^{-1} \cdot 100 \text{ m}^3} + X_{\text{CO}_2, \text{ausßen}}$$

$$= 1600 \text{ mg/m}^3 + 600 \text{ mg/m}^3 = 2200 \text{ mg/m}^3$$

Damit kann die Einhaltung des CO₂-Indikatorwertes (vgl. Abschnitt 3.5.3.3) – unter der Voraussetzung des Fehlens weiterer CO₂-Quellen – überprüft werden. Als einfachste Methode empfiehlt sich die CO₂-Messung mit direkt anzeigenden Messgeräten.

3 Spezialmodule

3.5.1.3 Ozon

Ozon ist ein stechend riechendes und reizendes Gas, das sich vom molekularen Sauerstoff, den wir zur Atmung benötigen, chemisch dadurch unterscheidet, dass in einem Molekül nicht nur zwei (O_2) sondern drei (O_3) Sauerstoffatome enthalten sind. Durch Energiezufuhr kann Ozon aus molekularem Sauerstoff sowohl entstehen als auch wieder zerfallen. Beim Zerfall von Ozon bilden sich wiederum molekularer Sauerstoff und darüber hinaus reaktive Sauerstoffradikale, die gesundheitsschädlich sind und die Alterung von Materialien beschleunigen.

Der Luftgrenzwert für Ozon an Arbeitsplätzen ist nach TRGS 900 [12] festgelegt auf $0,2 \text{ mg/m}^3$. Dieser Wert entspricht in etwa der Wirkungsschwelle für Reizeffekte (Beurteilungswerte siehe Abschnitt 3.5.3.4). Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) hat Ozon als im Tierversuch krebserzeugend (K3) eingestuft. Deshalb wird der Luftgrenzwert voraussichtlich nicht als Arbeitsplatzgrenzwert in die Neufassung der TRGS 900 übernommen.

Für die Belastung von Innenräumen mit Ozon sind zwei Fälle nach der Art des Eintrags in den Innenraum zu unterscheiden:

- ❑ Eintrag von Ozon aus der Außenluft über die Lüftung, z.B. geöffnete Fenster

- ❑ Bildung von Ozon durch den Betrieb Ozon emittierender Geräte (siehe hierzu Abschnitt 3.2.4.1)

Ozon aus der Außenluft

Ozon wird in der Außenluft durch Sonneneinstrahlung und fotochemische Smogreaktionen gebildet. Besonders bei schönem Hochsommerwetter sind hohe Konzentrationen und damit eine Überschreitung der Beurteilungswerte nicht ausgeschlossen. Über die Lüftung kann Ozon aus der Außenluft in Innenräume gelangen. Besonders wirksam sind dabei geöffnete Fenster und Türen. Technische Lüftungsanlagen, bei denen die Frischluft über Filter und Rohrleitungen dem Arbeitsbereich zugeführt wird, sind wesentlich günstiger, da Ozon während des Transports bereits teilweise wieder abgebaut wird.

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. Es ist dabei grundsätzlich besser, für kurze Zeit stoßweise zu lüften und danach Fenster und Türen wieder zu schließen. Als Orientierung kann angenommen werden, dass die Ozonkonzentration bei offenen Fenstern und Türen etwa 30 bis 60 %, in geschlossenen Innenräumen dagegen nur circa 10 %

der Außenluftkonzentration beträgt. Ozon baut sich in Innenräumen durch Zerfall mit einer Halbwertszeit von ungefähr 30 Minuten ab.

3.5.1.4 Formaldehyd

Formaldehyd ist eine Grundchemikalie, die in der chemischen Industrie aufgrund ihrer Universalität 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 (vgl. Abschnitt 3.2.3.2).

Am weitesten verbreitet ist das Harnstoff-Formaldehyd-Harz (UF-Harz). Hier liegt Formaldehyd relativ schwach gebunden vor und kann aus dem Harz über einen sehr langen Zeitraum ausgasen. Melamin- und Phenol-Formaldehydharz gebundene Pressspanplatten enthalten demgegenüber einen geringeren Anteil an freiem Formaldehyd und geben deshalb weniger Formaldehyd an die Umgebungsluft ab. Phenol-Formaldehydharz gebundene Roh-Pressspanplatten finden aufgrund ihrer besseren Feuchteresistenz als so genannte V100-Platten häufig Verwendung beim Innenausbau; sie sind jedoch für den Möbelbau nur bedingt geeignet.

Nach der Chemikalien-Verbotsverordnung [13] sind nur Möbel und Holzwerkstoffe der E1-Klassifizierung zulässig; diese dürfen nach standardisierten Prüfkammeruntersuchungen eine Ausgleichskonzentration von maximal 0,1 ppm Formaldehyd erreichen.

Weitere für den Innenraum relevante Formaldehydquellen sind Harnstoff-Formaldehydharz-Ortsschäume, Lacke (hier vor allem säurehärtende Siegellacke bei Parkettböden und Möbeln), Furniere, Textilien, Teppichböden, bindemittelhaltige Fasermatten etc.

Von Bedeutung sind auch die Freisetzung von Formaldehyd durch Tabakrauch (siehe hierzu auch Abschnitt 3.5.1.1) sowie andere unvollständige Verbrennungsvorgänge, z.B. offene Feuerstellen und Kamine, Gasheizungen etc. Formaldehyd wird beim Rauchen hauptsächlich im so genannten Nebenstrom freigesetzt, also beim Glimmen (Tabakglut). In Räumen, in denen stärker geraucht wird, kann der Richtwert des damaligen Bundesgesundheitsamtes [14] von 0,1 ppm über einen länger anhaltenden Zeitraum überschritten werden.

Formaldehyd ist in wässrigen Zubereitungen als Desinfektions- und Konservierungsmittel enthalten und in Körperpflegemitteln, Putz-, Wisch- und Desinfektionsmitteln nachweisbar.

3 Spezialmodule

3.5.1.5 Flüchtige organische Verbindungen

Die Vielzahl der potenziellen Quellen flüchtiger organischer Verbindungen in Innenräumen kann in drei Kategorien eingeteilt werden:

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

Eine Klassifizierung der flüchtigen organischen Verbindungen zeigt Tabelle 35. Nach-

stehend wird nur von VOC (volatile organic compounds) im Sinne eines Oberbegriffes gesprochen.

Als Quellen für VOC kommen nahezu alle Materialien infrage, die in modernen Bauten Verwendung finden. Auch bisher emissionsarme Materialien wie Bausteine, Mörtel und andere Konstruktionselemente enthalten heute kunststoff- und lösungsmittelhaltige Zuschlagstoffe. Die Palette reicht weiter über Wandverkleidungen, Bodenbeläge, Isolationsmaterialien, Möbel, Farben, Lacke und Lösungsmittel für den Innenausbau (siehe Abschnitt 3.2.3).

Tabelle 35:
Klassifikation von VOC in Anlehnung an die Weltgesundheitsorganisation [15]

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

Auch heute kommen immer noch Produkte in den Handel, die nicht oder nicht ausreichend gekennzeichnet sind und über deren chemische Zusammensetzung keine Angaben vorliegen. Dazu gehören u.a. Hobby- und Heimwerkermaterialien.

Weiterhin werden VOC durch Reinigungs- und Pflegemittel sowie Kosmetika, Desinfektionsmittel, Pflanzenschutzmittel und Tabakrauch (vgl. Abschnitt 3.5.1.1) eingebracht.

Auch Mikroorganismen produzieren VOC. Zu diesen so genannten MVOC wird auf Abschnitt 3.6 verwiesen.

Ermittlung

Bei der Ermittlung möglicher VOC-Quellen ist zunächst zu prüfen, ob in letzter Zeit Renovierungsarbeiten durchgeführt oder neue Möbel, Geräte etc. aufgestellt wurden (siehe hierzu Grunderhebungsbogen G3). In solchen Fällen gelingt es häufig, durch ausgedehntes Lüften in Kombination mit einer Ausheizung der Räume die Konzentrationen an flüchtigen organischen Verbindungen zu senken. Auch eine Verwendung von speziellen Reinigungsmitteln sowie Raumdüften muss als Quelle überprüft werden.

Generell kann eine Messung der VOC-Konzentration in der Luft von Innenräumen

durchgeführt werden (siehe hierzu Abschnitt 3.5.2.1). Aus den gefundenen Einzelstoffen können dann möglicherweise Rückschlüsse auf weitere Quellen gezogen werden (siehe hierzu Abschnitt 3.5.3.6).

3.5.1.6 Polychlorierte Biphenyle (PCB)

Zum Erreichen bestimmter Materialeigenschaften wurde in der Vergangenheit in einer Reihe von Materialien polychlorierte Biphenyle (PCB), die im Verdacht stehen, Krebs zu erzeugen (Einstufung K3), eingesetzt. Dabei besteht häufig direkter Kontakt mit der Raumluft. Zu diesen so genannten offenen Systemen gehören insbesondere PCB-haltige Weichmacher in dauerelastischen Fugendichtungsmassen (z.B. als Gebäudetrenn- und Bewegungsfugen in Betonplattenbauten), PCB-haltige Anstrichstoffe und Beschichtungen sowie Deckenplatten (PCB als Weichmacher bzw. Flammschutzmittel) in Innenräumen. In so genannten geschlossenen Systemen kam PCB in großem Umfang besonders in Transformatoren und Kondensatoren, u.a. in Kleinkondensatoren in Leuchtstofflampen, zum Einsatz.

Man unterscheidet zwischen Primär- und Sekundärquellen, wobei die PCB-Richtlinie [16] nachstehende Definitionen liefert:

3 Spezialmodule

„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 ein Gewichtsprozent PCB und können nach den bisher vorliegenden Erfahrungen deutlich erhöhte PCB-Raumluftbelastungen verursachen. PCB-Gehalte unter einem Gewichtsprozent müssen demgegenüber als verarbeitungsbedingte Verunreinigungen des Materials angesehen werden, die in der Regel keinen nennenswerten Einfluss auf die Produkteigenschaften und unterhalb von 0,1 Gewichtsprozent auch keinen Einfluss auf die Raumluftbelastung haben.

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.“

Mögliche Primärquellen für PCB in der Innenraumluft sind nach VDI 4300 Blatt 2 [17]

- ❑ 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 Alllasten.

Dabei bilden dauerelastische Dichtungsmaterialien in Betonplattenbauten von öffentlichen Gebäuden und Kleinkondensatoren die wichtigsten Quellen. Die dort freigesetzten PCB lagern sich speziell an alle adsorbierenden Materialien des Innenraumes an und können als Sekundärquellen PCB über Jahre hinweg wieder an die Raumluft abgeben. Von praktischer Bedeutung als Sekundärquellen sind insbesondere Wände, Decken, Tapeten, textile Einrichtungsgegenstände (z.B. Gardinen) und organische Materialien wie z.B. Lacke, Farben (z.B. auf Möbeln), PVC-Beläge oder PVC-Fensterrahmen.

Ermittlung

Als erster Schritt für die Ermittlung möglicher PCB-Quellen ist in Verbindung mit dem Alter

des Gebäudes zu prüfen (siehe hierzu Grunderhebungsbogen G3), ob PCB überhaupt angewendet wurde. Dabei kann in der Regel von nachstehenden Angaben ausgegangen werden:

- ❑ bis 1975 offene Anwendung
- ❑ seit 1978 keine offene Anwendung mehr (In-Kraft-Treten der PCB-Richtlinie)
- ❑ seit 1981 kein PCB in Leuchtcondensatoren und anderen Condensatoren mehr
- ❑ seit 1983 keine Herstellung mehr
- ❑ seit 1989 generelles Verbot (PCB-Verbotsverordnung [18])

Kann die PCB-Anwendung damit nicht von vornherein ausgeschlossen werden bzw. gibt es Hinweise auf eine PCB-Belastung aus Ergebnissen medizinischer Untersuchungen, so sollte die Quellenermittlung in Verbindung mit einer Begehung unter Beachtung der Hinweise in der Fachliteratur (siehe z.B. [19; 20]) fortgesetzt werden. Dabei sind u.a.

- ❑ Hinweise zur Kennzeichnung PCB-haltiger Leuchtstoffcondensatoren (z.B. in [19]),

- ❑ die Leitlinie zum Umgang mit gekapselten, mit PCB-kontaminiertem Öl gefüllten elektrischen Betriebsmitteln (DIN EN 50225 [21]) oder
- ❑ Hinweise auf PCB-freie Fugendichtungsmassen in ostdeutschen Plattenbauten [22].

zu berücksichtigen. Insbesondere wird auf die PCB-Richtlinie [16] hingewiesen, für deren Umsetzung in den einzelnen Bundesländern spezielle Fassungen vorliegen.

Bei der weiteren Vorgehensweise sollte die Entnahme von Materialproben im Vordergrund der Ermittlungen stehen.

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 36 auf Seite 202) [23].

Das ehemalige Bundesgesundheitsamt hält einen Wert $< 0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für unbedenklich. Eine Sanierung wird für Werte ab $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ empfohlen [16].

3 Spezialmodule

Tabelle 36:
Orientierungswerte für PCB-Raumluftkonzentrationen in Abhängigkeit vom PCB-Gehalt im Dichtungsmaterial [23]

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

¹⁾ technisches PCB-Gemisch der Firma Bayer

3.5.1.7 Pentachlorphenol (PCP), Lindan und Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT) als Holzschutzmittel

Holzschutzmittel dienen mit ihren bioziden Wirkstoffen dem chemischen Holzschutz. Dabei unterscheidet man zwischen Fungiziden gegen Holz zerstörende und Holz verfärbende Pilze und 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 besitzt Pilz tötende Eigenschaften. Es 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 60er-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 1978 untersagt worden war, die Produktion von PCP 1986 eingestellt und 1989 verboten.

In einer 1998 durchgeführten Studie des Umweltbundesamtes hat sich gezeigt, dass das geometrische Mittel der PCP-Belastung im Hausstaub von 648 gesammelten Proben bei 0,25 mg/kg lag. Das bedeutet eine leichte Abnahme gegenüber dem geometrischen Mittelwert von 0,33 mg/kg aus einer ähnlichen Untersuchung Anfang der 90er-Jahre [24].

Lindan und Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT)

Die gleiche Bedeutung wie PCP unter den Fungiziden hat Lindan unter den Schädlingsbekämpfungsmitteln (Insektiziden). Es besteht zu mindestens 99 % aus γ -Hexachlorcyclohexan und ist das am meisten eingesetzte Insektizid im chemischen Holzschutz. Lindan wird allmählich durch Ersatzstoffe verdrängt.

In der DDR wurden bis 1988 die Biozide Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT) und Lindan als Wirkstoff im Holzschutzmittel

Hylotox 59 auf Dachböden und z.T. auch in Innenräumen eingesetzt. Das Produkt enthielt 3,5 % DDT und 0,5 % Lindan als biozide Wirksubstanz. Noch 1988 wurden in der DDR mehr als 1 000 Tonnen Hylotox 59 produziert.

Untersuchungen des Landeshygieneinstituts Mecklenburg-Vorpommern haben gezeigt, dass Dachwohnungen stärker mit Lindan und DDT belastet sind als Etagenwohnungen. Analysen von 122 Luftproben in den Jahren 1992 bis 1997 ergaben in Dachwohnungen häufig Konzentrationswerte oberhalb von $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Lindan bzw. $0,34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für DDT (Sanierungszielwerte der WHO/FHO). In Etagenwohnungen, die sich unterhalb behandelter Dachgeschosse befanden, wurden dagegen meist unbedenkliche Lindankonzentrationen gemessen. Nur in 16 % aller Fälle wurde der Wert von $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ überschritten. 60 % der DDT-Messwerte waren kleiner als $0,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [25].

Das Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Umweltbundesamtes untersuchte Dachböden ($n = 14$), ausgebaute Dachwohnungen ($n = 8$) und Wohnungen direkt unter den behandelten Dachböden ($n = 19$). Die Dachböden wiesen z.T. nach mehr als 20 Jahren nach der Behandlung Luftkonzentrationen bis zu $4,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ DDT und $0,93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Lindan auf. In den ausgebauten

3 Spezialmodule

Dachwohnungen und Wohnungen waren die Konzentrationen von Lindan und DDT jedoch wesentlich niedriger. Die Medianwerte lagen für DDT bei 0,02 bzw. 0,04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und für Lindan bei 0,005 bzw. 0,02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ermittlung

Zur Ermittlung der Belastung durch Holzschutzmittel hat sich folgendes Vorgehen in Anlehnung an die PCP-Richtlinie [26] bewährt:

- ❑ Ermittlung von Zeitpunkt, Art und Menge der Verwendung des Holzschutzmittels. Ist nach dieser 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 größer als 0,2 m^2/m^3 ist.
- ❑ Bei Überschreitung des Quotienten ist eine Staubanalyse von Frischstaub oder Altstaub erforderlich. Der zur Staub-

analyse gesammelte so genannte Frischstaub, der ca. eine Woche alt ist, wird mittels 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. mittels Pinsel und Spatel.

- ❑ Ergeben sich Konzentrationen von mehr als 1 mg PCP/kg Frischstaub oder mehr als 5 mg PCP/kg Altstaub, werden im nächsten Schritt Materialproben aus 0 bis 2 mm Tiefe des in Betracht kommenden Holzes entnommen. 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 $\mu\text{g PCP}/\text{m}^3$ Luft beträgt.

Die einzelnen Schritte sind im nachstehenden Ablaufschema nochmals dargestellt (Abbildung 34). Ein analoges Vorgehen kann auch für Lindan erfolgen.

Für den Sonderfall, dass sich Personen über einen längeren Zeitraum regelmäßig mehr

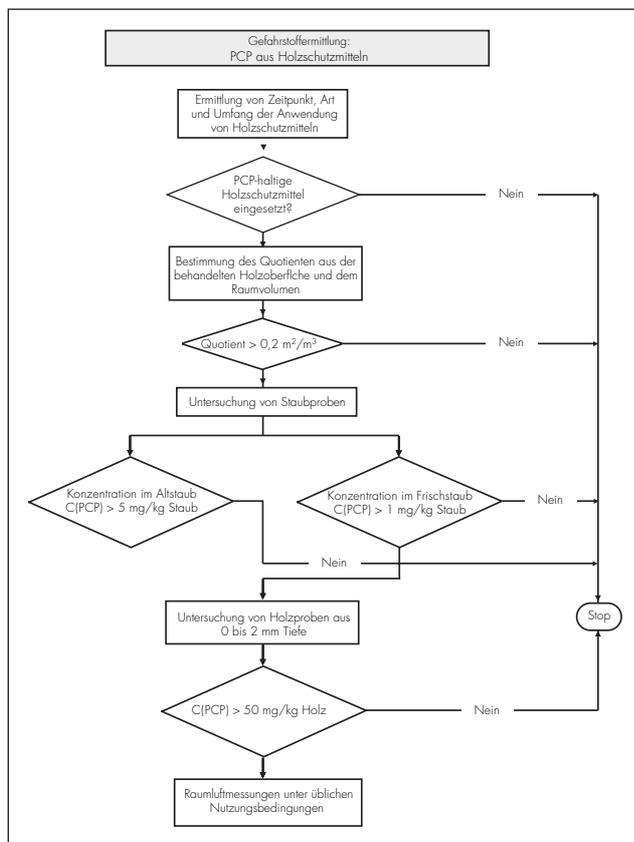


Abbildung 34:
Ablaufschema zur Ermittlung
von PCP-Belastungen
durch Holzschutzmittel
im Innenraum (in Anlehnung
an die PCP-Richtlinie [26])

als acht Stunden am Tag in Innenräumen aufhalten, in denen nutzungsbedingt auch Expositionen gegenüber Staub und Lebensmitteln etc. zu erwarten sind (z.B. Kindertagesstätten oder Heime), ist weiter zu prüfen, ob die im Jahresmittel zu erwartende

Raumluftbelastung über $0,1 \mu\text{g PCP}/\text{m}^3$ Luft liegt. Bei Unterschreitung dieses Wertes ist nicht von einer Gesundheitsgefährdung auszugehen. Bei Raumluftbelastungen zwischen $0,1$ und $1,0 \mu\text{g PCP}/\text{m}^3$ Luft sind Blut- und Urinuntersuchun-

3 Spezialmodule

gen zur Entscheidung heranzuziehen. Zur weiteren Vorgehensweise siehe PCP-Richtlinie [26].

3.5.1.8 Pyrethroide

Pyrethroide gehören neben organischen Phosphorsäureestern und Carbamaten zu den bedeutendsten Insektiziden. Es handelt sich dabei um synthetische lipophile Verbindungen, deren insektizide Wirkung und Struktur mit dem aus verschiedenen Chrysanthemen-Arten gewinnbaren Insektizid Pyrethrum vergleichbar ist. Chemisch gesehen sind Pyrethroide Ester spezifischer Säuren wie zum Beispiel der Chrysanthemumsäure oder der 2-(4-Chlorphenyl)-isovaleriansäure. Sie werden u.a. unter den Namen Cypermethrin, Deltamethrin, Allethrin, Fenvalerat, Etofenprox oder Pyrethrin (im Pyrethrum) geführt.

Außer zur Bekämpfung von Schadinsekten in der Landwirtschaft werden sie in großem Maße auch in Innenräumen für folgende Zwecke eingesetzt:

- ❑ als Holz- und Textilschutzmittel (Wollteppiche)
- ❑ 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)

Ihre Wirkung auf den Menschen wird in letzter Zeit immer wieder diskutiert. Zielorgan für Pyrethroidwirkungen ist – bei Insekten wie bei Warmblütern – das Nervensystem. Im Vergleich zu anderen insektiziden Wirkstoffen besitzen Pyrethroide eine deutlich geringere Warmblüttoxizität. Beim Menschen können aber infolge unsachgemäßer Handhabung akute Vergiftungen auftreten, wobei auch eine Penetration der Stoffe durch die Haut diskutiert wird. Die Effekte sind reversibel. Das chronisch-neurotoxische Potenzial ist als gering einzuschätzen.

Im Boden und im Wasser werden Pyrethroide rasch durch Mikroorganismen abgebaut, auf unbelebter Materie können sie wegen ihres Absorptionsverhaltens, einem niedrigen Dampfdruck und hoher Fotostabilität sehr persistent sein.

Zur Analyse von Pyrethroiden in Innenräumen werden 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.

3.5.1.9 Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Ermittlungen bei chemischen Einwirkungen“

- [1] VDI 4300 Blatt 1: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Allgemeine Aspekte der Messstrategie (12.95). Beuth, Berlin 1995
- [2] 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
- [3] Moriske, H.-J.: Leitfaden für Innenraumluft-hygiene in Schulgebäuden. Hrsg.: Umweltbundesamt, Berlin 2000
- [4] Hempfling, R.; Stubenrauch, S.: Schadstoffe in Gebäuden. Blotner, Taunusstein 1999
- [5] Richtlinie für die Bewertung und Sanierung schwach gebundener Asbestprodukte in Gebäuden (Asbest-Richtlinie) (01.96). MBl. NRW (1997), S. 1067
- [6] Passivrauchende Kinder in Deutschland – Frühe Schädigungen für ein ganzes Leben. In: Rote Reihe Tabakprävention und Tabakkontrolle Bd. 2. Hrsg.: Deutsches Krebsforschungszentrum, Heidelberg 2003
- [7] Hecht, S.S.: Tobacco smoke, carcinogens and lung cancer. J. Natl. Cancer Inst. 91 (1999) Nr. 14, S. 1194-1210
- [8] Tobacco Smoking. In: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Vol. 38. Hrsg.: International Agency for Research on Cancer, Lyon 1986
- [9] Jöckel, K.-H.; Ahrens, W.; Jahn, I.; Pohlabein, H.; Bolm-Audorff, U.: Untersuchungen zu Lungenkrebs und Risiken am Arbeitsplatz. Forschungsbericht FB 01 HK 546. Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven 1995
- [10] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 12. August 2004. BGBl. I (2004), S. 2179
- [11] Eickmann, U.: Berechnungsverfahren und Modellbildung in der Arbeitsbereichsanalyse. BIA-Report 3/01. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 2001
- [12] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz – Luftgrenzwerte (TRGS 900). BArbBl. (2000)

3 Spezialmodule

Nr. 10, S. 34-63; zul. geänd. BArbBl. (2004) Nr. 5, S. 55

[13] Verordnung über Verbote und Beschränkungen des Inverkehrbringens gefährlicher Stoffe, Zubereitungen und Erzeugnisse nach dem Chemikaliengesetz (Chemikalien-Verbotsverordnung – ChemVerbotsV) vom 13. Juni 2003. BGBl. I (2003), S. 867; zul. geänd. BGBl. I (2004), S. 328

[14] Bundesgesundheitsamt: Zur Gültigkeit des 0,1 ppm-Wertes für Formaldehyd. Bundesgesundhbl. 35 (1992), S. 482-483

[15] Indoor air quality – organic pollutants. Euro Reports and Studies 111. Hrsg.: Weltgesundheitsorganisation (WHO), Kopenhagen 1989

[16] Richtlinie für die Bewertung und Sanierung PCB-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden (PCB-Richtlinie NRW). MBl. NRW (1996) Nr. 52, S. 1260

[17] VDI 4300 Blatt 2: Messen von Innenraumlufiverunreinigungen – Meßstrategie für polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH), polychlorierte Dibenzop-dioxine (PCDD), polychlorierte Dibenzofurane (PCDF) und polychlorierte Biphenyle (PCB) (12.97). Beuth, Berlin 1997

[18] Verordnung zum Verbot von polychlorierten Biphenylen, polychlorierten Terphenylen und zur Beschränkung von Vinylchlorid (PCB-, PCT-, VC-Verbotsverordnung) vom 18. Juli 1989. BGBl. I (1989) S. 1482

[19] *Balfanz, E.*: Tagungsbeitrag Schadstoffbelastung in Innenräumen. Bd. 19. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, Düsseldorf 1992, S. 63-74

[20] *Radtke, R.*: Dioxin- und PCP-Belastung in Kindergärten. BIA-Report 2/95. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 1995, S. 139-146

[21] DIN EN 50225: Leitlinie für die Praxis zum sicheren Umgang mit vollständig gekapselten, möglicherweise mit PCB-kontaminiertem Öl befüllten elektrischen Betriebsmitteln (03.97). Beuth, Berlin 1997

[22] *Baudisch, Ch., et al.*: Polychlorierte Biphenyle (PCB) in Fugendichtungsmassen ostdeutscher Plattenbauten. In: VDI-Bericht 1122. VDI, Düsseldorf 1994

[23] *Balfanz, E., et al.*: Innenraumlufuntersuchungen auf polychlorierte Biphenyle (PCB) im Zusammenhang mit dauerelastischen Dichtungsmassen. In: VDI-Bericht 1122. VDI, Düsseldorf 1994

[24] *Becker, K.; Seiwert, M.; Kaus, S.; Krause, C.; Schulz, C.; Seifert, B.*: German Environmental Survey 1998 – Pesticides and other pollutants in house dust. In: *Indoor Air 2002. Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Vol. IV, Monterey, 30. Juni bis 5. Juli 2002*, S. 883-887

[25] *Baudisch, C.; Prösch, J.*: DDT- und Lindanexposition nach Anwendung

von Holzschutzmitteln (Hylotox 59). *Umweltmed. Forsch. Prax.* 5 (2000) Nr. 3, S. 161-166

[26] Richtlinie für die Bewertung und Sanierung Pentachlorphenol (PCP)-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden (PCP-Richtlinie). *MBL. NW* (1997), S. 1058

3 Spezialmodule

3.5.2 Messung chemischer Einwirkungen

D. Breuer, Sankt Augustin

Für Schadstoffe in Innenräumen gibt es zahlreiche Quellen (vgl. Abschnitt 3.5.1), die sich in ihrem Emissionscharakter allerdings deutlich unterscheiden können. Für die Wahl der Messstrategie ist es wichtig, den Emissionscharakter der Schadstoffquelle zu kennen:

- Kontinuierliche Quellen sind z.B. Baumaterialien oder Einrichtungsgegenstände, die Schadstoffe über einen langen Zeitraum abgeben können.
- Intermittierende Quellen sind z.B. Tabakrauch oder Schädlingsbekämpfungsmittel, die zu kurzzeitigen Spitzenbelastungen mit Schadstoffen führen können.

In Abbildung 35 sind beispielhaft die Emissionscharakteristika einiger Quellen dargestellt.

3.5.2.1 Messstrategie

Messplanung

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.

Im Rahmen der Ermittlungen zu Gefahrstoffen (siehe Abschnitt 3.5.1) können bereits zahlreiche Informationen zu Quellen oder Schadstoffen anfallen. Dies können z.B. sein:

- Art der Quelle
- Emissionscharakteristik
- Ort der Quelle oder
- Schadstoff

Im Rahmen der Messplanung müssen aus diesen Kenntnissen

- Ort,
- Dauer,
- Häufigkeit und
- Anzahl

der Messungen festgelegt werden.

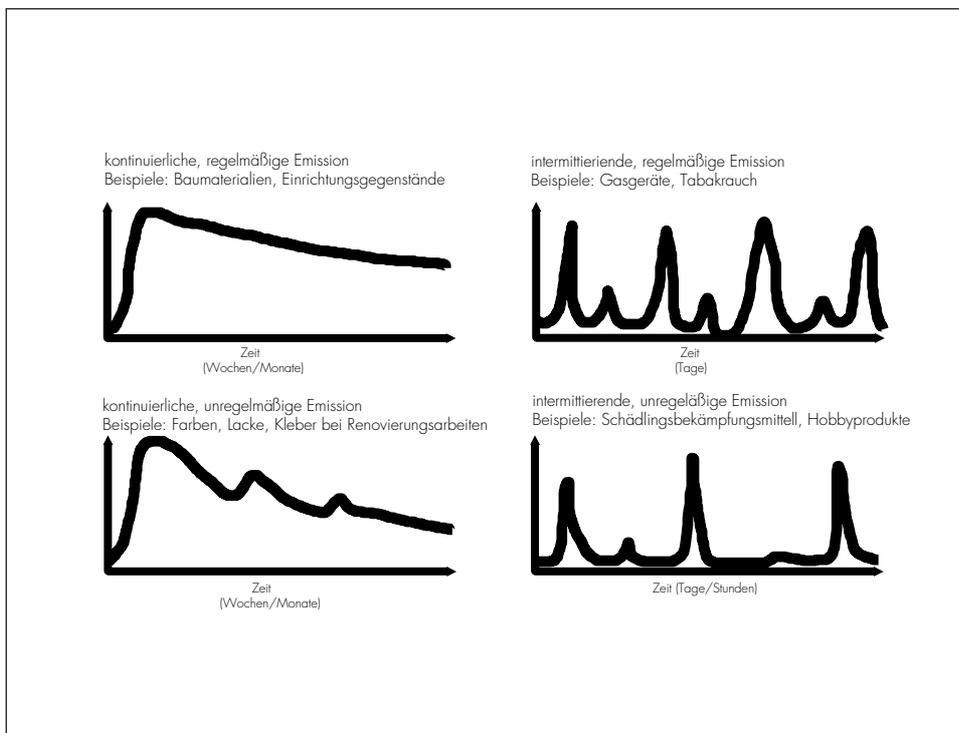
Haben die Ermittlungen keine konkreten Hinweise zu den Gefahrstoffen ergeben, können z.B. orientierende Messungen basierend auf dem BGIA-Messverfahren Innenraum (siehe Abschnitt 3.5.2.2) vorgenommen werden. Diese können bei Bedarf durch weiterführende Messungen ergänzt werden. Unter anderem können Messungen von

- Kohlendioxid,
 - flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) oder
 - schwer flüchtigen organischen Verbindungen (SVOC)
- durchgeführt werden.

In allen Stadien der Messungen kann man zu dem Resultat gelangen, dass

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

Abbildung 35:
Emissionscharakteristika einiger Quellen für Luftverunreinigungen in Innenräumen [1]



3 Spezialmodule

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 jeweils dem Einzelfall angepasst sein und die weitere Vorgehensweise ist festzulegen.

In Abbildung 36 wird die mögliche Vorgehensweise bei Schadstoffmessungen dargestellt. Innenraummessungen sind nach diesem Schema in vielen Fällen durchführbar.

Messbedingungen

Ein zentrales Problem bei der Durchführung von Schadstoffmessungen in Innenräumen ist die Vielzahl der Möglichkeiten, die sich durch die verschiedenen Schadstoffe oder Quellencharakteristika ergeben. Hinweise zur Durchführung von Innenraummessungen gibt u.a. die VDI-Richtlinienserie 4300 „Messung von Innenraumluftverunreinigungen“ [2 bis 10].

Für die Probenahme von Schadstoffen, die durch kontinuierliche Quellen emittiert werden, eignen sich besonders Passivsammler, während für Schadstoffe, die durch diskontinuierliche Quellen freigesetzt werden, aktiv

sammelnde Messsysteme die günstigere Lösung darstellen.

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. Die Wahl des Probenahmeortes ist von besonderer Bedeutung. Im Rahmen der Messung sind sämtliche Umgebungsbedingungen (Temperatur, Luftfeuchte, Luftbewegung, Ort der Messung etc.) zu erfassen.

Bei Gebäuden mit raumluftechnischen Anlagen sind Kenntnisse über Zu- und Abluft in jedem Falle mit zu berücksichtigen. In derartigen Gebäuden ist es häufig möglich, dass sich eine Schadstoffquelle nicht unmittelbar in dem Raum befindet, in dem die Messung durchgeführt wird, sondern außerhalb. Die Art des Raums spielt ebenfalls eine wichtige Rolle. In großen Räumen (z.B. Großraumbüros) sind die geeigneten Messbedingungen anders als in kleineren Büroräumen.

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

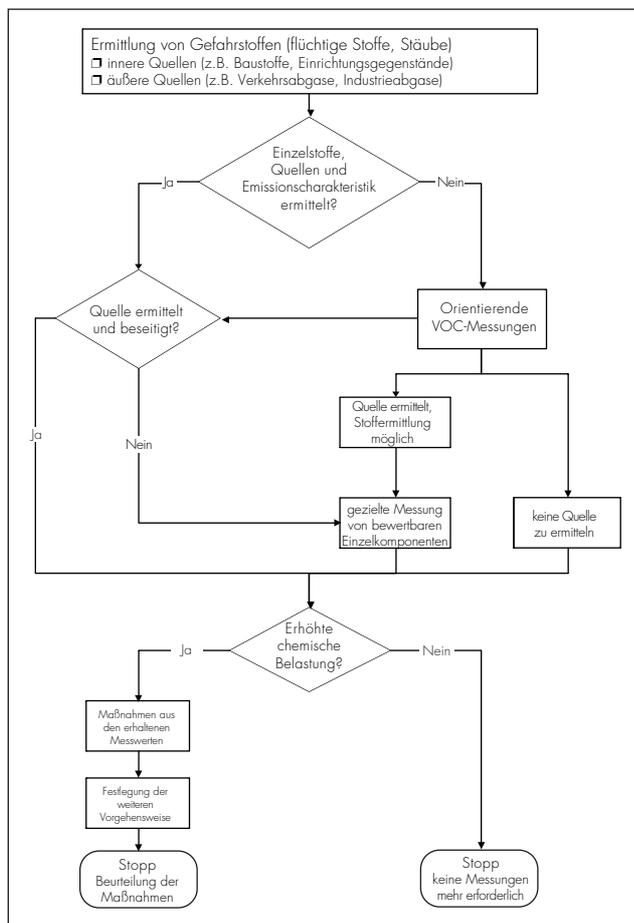


Abbildung 36: Ermittlung von Gefahrstoffen (Prinzipschema)

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

3 Spezialmodule

Öffnen von Fenstern, nicht gravierend ändern. Langzeitmessungen sollten möglichst unter üblichen Arbeitsbedingungen durchgeführt werden. Werden Passivsammler als Langzeit-Probenahmeeinrichtung verwendet, muss immer auf die Luftbewegung und die Position im Raum geachtet werden, sonst kann es z.B. in Zimmerecken zu Minderbefunden kommen.

In jedem Fall sind die Randbedingungen der Messung auf den Messort abzustimmen, eine Entscheidung kann erst im Rahmen einer Begehung vor Ort gefällt werden. Wertvolle Vorabinformationen können auch im Rahmen der Ermittlung zu Gefahrstoffen gesammelt werden.

3.5.2.2 Sondermessprogramm „Innenraumstudie Büro“

Das Sondermessprogramm hatte das Ziel, ein standardisiertes Messverfahren für ausgewählte Gefahrstoffe bei Innenraumuntersuchungen in Anlehnung an VDI 4300 Blatt 6 [7] und DIN EN ISO 16017-1 [11] zu entwickeln und einzuführen. Zusätzlich sollte ein Büro-Innenraum-Survey für Verwaltungsbüros erstellt werden. Während anderen Instituten aufgrund von Auftragsmessungen Datenmaterial aus „belasteten Räumen“ – in der überwiegenden Zahl keine Arbeitsräume – vorliegt, sollten in diesem Sonder-

messprogramm Daten aus „belasteten und unbelasteten“ Büroräumen mit dem Schwerpunkt auf unbelasteten Räumen gesammelt werden. Unter Büros werden Verwaltungsbüros, also Personalbüros, Planungsbüros und ähnliche verstanden, in denen keine Tätigkeiten mit Gefahrstoffen im Sinne des Gefahrstoffrechts bestehen.

Messverfahren

Zur Beschreibung der Innenraumluftqualität wurde eine Reihe von Parametern vorgeschlagen. Im Rahmen des Sondermessprogramms wurden die Konzentrationen von

- flüchtigen organischen Verbindungen (VOC, volatile organic compounds),
- Aldehyden, insbesondere Formaldehyd, und
- Kohlendioxid

untersucht. Für die flüchtigen organischen Verbindungen wurden sowohl deren Summenkonzentration (TVOC – total volatile organic compounds) als auch soweit möglich die Konzentration bestimmter Einzelstoffe analytisch ermittelt.

Nach Absatz 3.6 im Anhang der Arbeitsstättenverordnung [12] und der Arbeitsstättenrichtlinie Lüftung (ASR 5) [13] ist in

Arbeitsräumen eine ausreichend gesundheitlich zuträgliche Atemluft vorhanden, wenn die Luftqualität im Wesentlichen der Außenluftqualität entspricht. Zu jeder Innenraummessung sollte deshalb eine Außenluftmessung durchgeführt werden.

Erfolgt die Messung in einem Büro aufgrund von Klagen der Beschäftigten über die Raumluftqualität, so sollte immer in einem möglichst vergleichbaren Arbeitsraum, aus dem keine Klagen von Beschäftigten bekannt sind, eine Parallelmessung erfolgen.

Probenahme

Für die Bestimmung der Konzentration an VOC werden Thermodesorptionsröhrchen TENAX TA (BGIA-Code 517) über einen Zeitraum von 30 min mit einem Luftvolumenstrom von 4 l/h (66,6 ml/min) beaufschlagt. Die Formaldehyd-/Aldehydprobenahme erfolgt über 2 h bei einem Volumenstrom von 20 l/h (333 ml/min) mit dem Probenträger Waters Sep-Pak (BGIA-Code 817). Sollen im Einzelfall Kurzzeitmessungen durchgeführt werden, so ist eine Messzeit von 30 min bei einem Volumenstrom von 40 l/h (667 ml/min) zu wählen.

Die Fenster der zu untersuchenden Räume werden in der Regel nach intensiver Lüftung über Nacht verschlossen. Während der

Probenahme am folgenden Tag sollten Fenster und Türen weiterhin verschlossen bleiben. Darüber hinaus darf in den zu untersuchenden Räumen nach dem Lüften bis zum Abschluss der Probenahme nicht mehr geraucht werden. Als weiteres wird dokumentiert, ob der Büroraum während der Messung von Mitarbeitern genutzt wird (normale Nutzungsbedingungen) oder ob sich keine Mitarbeiter darin aufhalten (ohne Nutzung).

Die Kohlendioxidkonzentrationen können sowohl mit Prüfröhrchen und Handpumpe als auch mit direkt anzeigenden Messgeräten bestimmt werden. Die Prüfröhrchenmessungen sowie eine Bestimmung von Einzelwerten mit einem direkt anzeigenden Messgerät sollten in der Regel bei normalen Nutzungsbedingungen erfolgen. Bei direkt anzeigenden Messungen ist dann der Momentanwert anzugeben. Bei einem längeren Messzeitraum sind der Mittelwert und die Messzeit zu dokumentieren.

Die Außenluftmessungen erfolgen parallel zu den Probenahmen in den Büroräumen.

Analytik

Zur Analyse der VOC werden die TENAX-TA-Röhrchen erhitzt, wodurch die gesammelten Stoffe desorbieren. Die anschließende Analyse erfolgt gaschromatografisch. Für die

3 Spezialmodule

Quantifizierung wird ein Flammenionisationsdetektor (FID) eingesetzt. Generell werden quantitativ die folgenden Stoffe basierend auf einer Einzelstoffkalibrierung bestimmt:

- Benzol
- Butan-1-ol
- Butanon
- 2-Butoxyethanol
- 2-(2-Butoxyethoxy)ethanol
- 2-(2-Butoxyethoxy)ethylacetat
- 2-Butoxyethylacetat
- n-Butylacetat
- Δ^3 -Caren
- Decamethylcyclopentasiloxan
- Ethylacetat
- Ethylbenzol
- 2-Ethylhexan-1-ol
- n-Heptan
- Hexanol
- R(+)-Limonen
- 4-Methylpentan-2-on
- 2-Phenoxyethanol
- α -Pinen
- Styrol
- Toluol
- 1,2,3-Trimethylbenzol
- 1,2,4-Trimethylbenzol
- 1,3,5-Trimethylbenzol
- Xylol (alle Isomere)

Zur Bestimmung weiterer Einzelstoffe wird

eine Toluolkalibrierung verwendet. Die Identifizierung erfolgt in diesem Fall mithilfe eines Massenspektrometers.

Die Summe aller flüchtigen Kohlenwasserstoffe (TVOC) beinhaltet alle Stoffe, die im Gaschromatogramm zwischen den Signalen von n-Hexan und n-Hexadecan erscheinen. Zusätzlich werden die Konzentrationen von Butanon und Ethylacetat mit einbezogen.

Zur Bestimmung der Aldehyde werden die Waters-Sep-Pak-Kartuschen zunächst mit Acetonitril eluiert. Die qualitative und quantitative Bestimmung erfolgt mittels HPLC (High performance liquid chromatography). Die quantitative Auswertung wird anhand von Kalibrierkurven vorgenommen.

Zur Bewertung der Messergebnisse siehe Abschnitt 3.5.3.6.

3.5.2.3 Weitere BGIA-Messverfahren

In der Regel werden BGIA-Messverfahren nicht als Innenraummessverfahren entwickelt. Zielsetzung der meisten BGIA-Messverfahren ist die Überwachung der Einhaltung von Arbeitsplatzgrenzwerten nach den Maßgaben der TRGS 402 [14]. Diese BGIA-Messverfahren sind für Messzeiten bis zu acht Stunden ausgelegt. Die in Innenräumen empfohlenen Richtwerte können in der Regel

mit den BGI-Messverfahren nicht überwacht werden. Insbesondere Langzeitmessungen sind nicht möglich, da z.B. mit Passivsammlern nur wenig Erfahrungen vorliegen.

Die übrigen BGI-Messverfahren können Tabelle 37 (siehe Seite 218) entnommen werden. Sie sind nach Kennziffern der BGI-Arbeitsmappe [15] aufgeführt.

3 Spezialmodule

Tabelle 37:
Übersicht der im Innenraum anzuwendenden BGIA-Messverfahren

Schadstoff	Kennziffer in der BGIA-Arbeitsmappe
Acetaldehyd	6024 – Messverfahren Nr. 1
Ammoniak	6150 – Messverfahren Nr. 2
Asbest	7485 ¹⁾
1,1-Dichlorethan	6975 ¹⁾
1,2-Dichlorethan	6976 ¹⁾
Formaldehyd	7520 – Messverfahren Nr. 2
Kohlenmonoxid	direkt anzeigend
Lindan	noch nicht veröffentlicht
Methylenchlorid	7000 (Dichlormethan)
Ozon	direkt anzeigend
PAK	6272 (Benzo[a]pyren) ¹⁾
Pentachlorphenol	noch nicht veröffentlicht
Permethrin	8325
polychlorierte Biphenyle	noch nicht veröffentlicht
Schwebstaub	7490 (Alveolengängige Fraktion – Feinstaub) ¹⁾
	7552 (Einatembare Fraktion – Gesamtstaub) ¹⁾
Schwefeldioxid	8570
Stickstoffdioxid	direkt anzeigend
Stickstoffmonoxid	direkt anzeigend
Tetrachlorethen	8690 ¹⁾
Trichlorethen	8830 ¹⁾

¹⁾ Das Messverfahren muss in einigen Punkten wie z.B. Probenahmebedingungen oder Analytik angepasst werden.

3.5.2.4 Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Messung chemischer Einwirkungen“

- [1] Seifert, B.; Ullrich, D: Methodologies for evaluating sources of VOC in homes. *Atmosph. Environm.* (1987) Nr. 21, S. 395-404
- [2] VDI 4300 Blatt 1: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Allgemeine Aspekte der Meßstrategie (12.95). Beuth, Berlin 1995
- [3] VDI 4300 Blatt 2: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Meßstrategie für polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH), polychlorierte Dibenzop-dioxine (PCDD), polychlorierte Dibenzofurane (PCDF) und polychlorierte Biphenyle (PCB) (12.97). Beuth, Berlin 1997
- [4] VDI 4300 Blatt 3: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Meßstrategie für Formaldehyd (12.97). Beuth, Berlin 1997
- [5] VDI 4300 Blatt 4: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Meßstrategie für Pentachlorphenol (PCP) und Hexachlorcyclohexan (Lindan) in der Innenraumluft (08.97). Beuth, Berlin 1997
- [6] VDI 4300 Blatt 5: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Messstrategie für Stickstoffdioxid (NO₂) (06.00). Beuth, Berlin 2000
- [7] VDI 4300 Blatt 6: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Messstrategie für flüchtige organische Verbindungen (VOC) (12.00). Beuth, Berlin 2000
- [8] VDI 4300 Blatt 7: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Bestimmung der Luftwechselzahl in Innenräumen (07.01). Beuth, Berlin 2001
- [9] VDI 4300 Blatt 8: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Probenahme von Hausstaub (06.01). Beuth, Berlin 2001
- [10] VDI 4300 Blatt 9: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Messstrategie für Kohlendioxid (CO₂) (05.03). Beuth, Berlin 2003
- [11] 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 2000
- [12] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 12. August 2004. BGBl. I (2004), S. 2179
- [13] Arbeitsstätten-Richtlinie Lüftung (ASR 5) vom 22. August 1979. BArbBl. (1979)

3 Spezialmodule

Nr. 10, S. 103; zul. geänd. BArBl. (1984)
Nr. 12, S. 85

[14] Technische Regeln für Gefahrstoffe:
Ermittlung und Beurteilung der Konzentration
gefährlicher Stoffe in der Luft in Arbeitsberei-
chen (TRGS 402). BArbBl. (1997) Nr. 11,
S. 27

[15] Sachgruppe 9 – Messverfahren für
Gefahrstoffe. In: BGI-Arbeitsmappe Mes-
sung von Gefahrstoffen. Hrsg.: Berufsgeno-
senschaftliches Institut für Arbeitsschutz –
BGI, Sankt Augustin. Erich Schmidt, Berlin
1989 – Losebl.-Ausg.

3.5.3 Beurteilung von chemischen Einwirkungen

*H. Kleine, Sankt Augustin
K. Pohl, Mainz
N. von Hahn, Sankt Augustin*

3.5.3.1 Allgemeine Anmerkungen zur Bewertung der Luftqualität an Innenraumarbeitsplätzen

Die Bewertung der Luftqualität an Innenraumarbeitsplätzen wie Büros gibt immer wieder Anlass zur Diskussion über die heranzuziehenden Grenz- und Richtwerte.

Grenz- und Richtwerte

Zur Beurteilung einer möglichen Gesundheitsgefährdung des Menschen beim Auftreten von Gefahrstoffen in seiner Atemluft dienen im Allgemeinen Grenzwerte, die entsprechend dem jeweiligen Anwendungsbereich definiert sind. So sind etwa für die in der Arbeitswelt vorkommenden Stoffe Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) in der TRGS 900 [1] festgelegt. Arbeitsplatzgrenzwerte nach TRGS 900 gelten jedoch nur an solchen Arbeitsplätzen, an denen im Sinne der Gefahrstoffverordnung Tätigkeiten mit den betreffenden Gefahrstoffen durchgeführt werden. Dies trifft für Innenraumarbeitsplätze

im Anwendungsbereich dieser Vorgehensempfehlung jedoch nicht zu, sodass Arbeitsplatzgrenzwerte nach TRGS 900 hier grundsätzlich nicht anzuwenden sind.

Für Arbeitsplätze, die nicht in den Geltungsbereich der Gefahrstoffverordnung fallen, sind keine speziellen Luftgrenzwerte festgesetzt. Ein gelegentlich geäußelter Vorschlag, bei dem mithilfe fester Umrechnungsfaktoren aus den Arbeitsplatzgrenzwerten nach der TRGS 900 Beurteilungswerte für Innenräume abgeleitet werden, liefert in vielen Fällen sicherlich eine brauchbare erste Annäherung; als Pauschalregelung ist dieser Vorschlag jedoch leicht angreifbar und muss deshalb bei der Anwendung im Einzelfall immer kritisch hinterfragt werden [2].

Die allgemein für Innenräume einschließlich Wohnräume abgeleiteten und toxikologisch begründeten Richtwerte des Umweltbundesamtes [3] (siehe auch Abschnitt 3.5.3.6) erfüllen am ehesten die Kriterien für eine valide Beurteilung der Luftqualität auch an Büroarbeitsplätzen. Ihre Anwendung wird jedoch erheblich dadurch eingeschränkt, dass es Richtwerte derzeit nur für eine sehr begrenzte Anzahl von Einzelstoffen gibt. Weiterhin bleibt zu berücksichtigen, dass die Richtwerte u.a. für Wohnräume abgeleitet wurden, in denen erheblich andere Nutzungsbedingungen als in Arbeitsräumen herrschen. Aus diesem Grund sollten sie

3 Spezialmodule

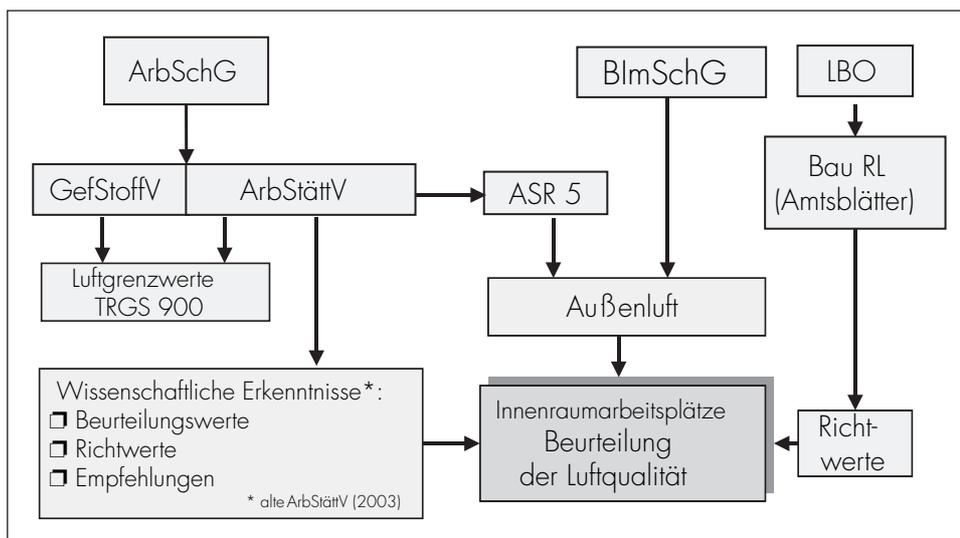
ebenfalls nicht ohne kritische Prüfung für Arbeitsräume übernommen werden.

Rechtsgrundlagen für die Beurteilung der Luftqualität an Innenraumarbeitsplätzen

Den gesetzlichen Hintergrund für den Arbeitsschutz liefert das Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) [4]. Wie die schematische Darstellung (siehe Abbildung 37) zeigt, werden die Vorschriften des Arbeitsschutzgesetzes

auf der hierarchisch darunter liegenden „Verordnungsebene“ durch die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) [5] bzw. auch durch spezielle Verordnungen wie die Gefahrstoffverordnung [6] konkretisiert. Die Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung sind allgemein gültig auf die Beschaffenheit von Arbeitsplätzen ausgerichtet, die Anforderungen der Gefahrstoffverordnung beziehen sich auf Arbeitsplätze, an denen Tätigkeiten mit Gefahrstoffen ausgeübt werden. Die Vorschriften der Arbeitsstättenverordnung sollen

Abbildung 37:
Basisschema zur Beurteilung der Luftqualität



künftig durch Regeln für Arbeitsstätten des einzurichtenden Ausschusses für Arbeitsstätten konkretisiert werden.

Die Anforderungen an die Luftqualität an Arbeitsplätzen sind in der novellierten Arbeitsstättenverordnung gegenüber der bisherigen Verordnung nicht grundsätzlich geändert, sondern nur präzisiert. Bis zum Vorliegen entsprechender Regeln für Arbeitsstätten bleiben die bisherigen Arbeitsstättenrichtlinien und somit auch die Arbeitsstättenrichtlinie 5 [7] und das darauf beruhende Bewertungskonzept weiterhin gültig.

Nach Absatz 3.6 „Lüftung“ im Anhang der Arbeitsstättenverordnung muss in Arbeitsräumen ausreichend gesundheitlich zuträgliche Atemluft vorhanden sein. Diese Forderung gilt nach der Arbeitsstätten-Richtlinie 5 (ASR 5) [7] dann als erfüllt, wenn die Luftqualität im Wesentlichen der Außenluftqualität entspricht. Die Außenluftqualität ist dabei nicht definiert; sie steht aber mit den Forderungen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) [8] in unmittelbarem Zusammenhang.

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. Probleme in der Praxis bereitet die Festlegung hinsichtlich der Außenluftqualität auch immer dann, wenn die Außenluft belastet ist und dann als Vergleichsmaßstab für die Innenraumluftherangezogen werden soll. Insofern werden eindeutiger Kriterien zur Bewertung der Innenraumlufthqualität benötigt.

Es ist zu erwarten, dass die künftigen Regeln zur Arbeitsstättenverordnung hier Klarheit schaffen werden, wobei z.B. das Konzept der bisherigen Arbeitsstättenverordnung übernommen werden könnte. Nach § 3 „Allgemeine Anforderungen“ der alten Verordnung hatte der Arbeitgeber die Errichtung und den Betrieb einer Arbeitsstätte nicht nur nach den Bestimmungen der Verordnung sowie den sonst geltenden Arbeitsschutzvorschriften zu betreiben, sondern auch „nach den allgemein anerkannten sicherheitstechnischen, arbeitsmedizinischen und hygienischen Regeln sowie den sonstigen gesicherten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen“. Nach *Opfermann und Streit* [9] zählen zu den Regeln und Erkenntnissen in diesem Sinne u.a. das Berufsgenossenschaftliche Vorschriften- und Regelwerk und das BGI/Handbuch [10]. Im Vorfeld der Überführung wissenschaftlicher Erkenntnisse in das Regelwerk können Forschungsberichte über entsprechende Untersuchungen ebenfalls herangezogen werden.

3 Spezialmodule

Bestimmungen nach dem Bauordnungsrecht der Länder (Landesbauordnung LBO) enthalten in wenigen Einzelfällen neben allgemeinen Anforderungen an die Luftqualität auch Richtwerte zu bestimmten Gefahrstoffen, die bei der Beurteilung der Luftqualität an Innenraumarbeitsplätzen ebenfalls zu berücksichtigen sind.

Schlussfolgerung

Da es zur Beurteilung der Luftqualität an Innenraumarbeitsplätzen wie Büros keine Luftgrenzwerte gibt und auch das Kriterium der Außenluftqualität entsprechend ASR 5 [7] undefiniert ist, sollte eine Beurteilung der Luftqualität an Innenraumarbeitsplätzen ohne Tätigkeiten mit Gefahrstoffen gegenwärtig vorzugsweise aufgrund wissenschaftlicher Erkenntnisse erfolgen. Aus wissenschaftlichen Untersuchungen wie Feldstudien an entsprechenden Arbeitsplätzen abgeleitete Referenzwerte können hierzu im Sinne wissenschaftlicher Erkenntnisse herangezogen werden. Voraussetzung ist, dass nicht nur eine weitgehende Vergleichbarkeit zwischen den untersuchten Referenzräumen und dem zu beurteilenden Raum besteht, sondern dass auch vergleichbare Messverfahren und eine vergleichbare Messstrategie zur Anwendung kommen (siehe Abschnitt 3.5.3.6). Auch die vom Umweltbundesamt auf wissenschaftlicher Basis abgeleiteten Innenraumrichtwerte

können unter Berücksichtigung ihres Geltungsbereiches herangezogen werden.

3.5.3.2 Stäube

Nach der Arbeitsstätten-Richtlinie liegt ausreichend gesundheitlich zuträgliche Atemluft in Arbeitsräumen dann vor, wenn die Luftqualität im Wesentlichen der Außenluftqualität entspricht. Die Staubkonzentration sollte demnach nicht höher als der EG-Staubgrenzwert [11] für die Luft der Troposphäre von

$50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0,05 \text{ mg}/\text{m}^3$)

sein.

Dabei ist dieser Wert für die Außenluft in der Regel auf die PM_{10} -Fraktion (particulate matter; $< 10 \mu\text{m}$ Durchmesser) bezogen, die der thoraxgängigen Fraktion für die Beurteilung von Arbeitsplätzen am nächsten kommt. Für Arbeitsplätze in Innenräumen wird die Messung der einatembaren Staubfraktion vorgeschlagen, womit das Messergebnis auf der sicheren Seite liegen würde. Aufgrund der in der Umwelt vorzufindenden Korngrößenbereiche kann das Verhältnis von einatembarem Staub zu PM_{10} -Staub zwischen eins und zwei oder höher schwanken.

Sollte der ermittelte Wert über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegen, kann die VDI Richtlinie 2310 Blatt 19 „Maximale Immissions-Konzentrationen für

Schwebstaub“ [12] zur Beurteilung herangezogen werden. Sie wurde nach Festlegung des Richtwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zwar zurückgezogen, unter dem Aspekt der Beurteilung von Gesamtstaubbelastungen an Innenraumarbeitsplätzen kann sie jedoch eine gute Entscheidungshilfe liefern.

Die dort definierten Maximalen Immissionskonzentrationen (MIK-Werte) gelten für einatembare Schwebstaubgemische. Unter Schwebstaub sind in der allgemeinen Umwelt vorkommende unspezifizierte, aerosolförmige Luftinhaltsstoffe zu verstehen, ohne dass dabei spezifische Bestandteile des Schwebstaubes getrennt betrachtet werden. Definitionsgemäß werden im Sinne der Richtlinie als Schwebstaub alle festen und flüssigen Partikeln bestimmt, die in der Luft quasi stabil und quasi homogen dispergiert sind und somit einige Zeit in der Schwebe bleiben. Für den hinsichtlich der Partikelgröße homogen verteilten Schwebstaub und damit auch für den als Inhalationskomponente in Betracht kommenden Anteil des gesamten Luftstaubes ist ein oberer Partikeldurchmesser von etwa 25 bis 30 μm anzunehmen, ohne dass damit eine starre Trennung festgelegt werden soll.

Die Richtwerte dienen zur Abschätzung des Belastungsrisikos durch atmosphärischen Schwebstaub ohne eine eingehende Analyse der zu erwartenden Gesamtdosition aller

inhalieren Partikeln im Atemtrakt. Die Gesamtdosition steht dabei in direkter Beziehung zur Massenkonzentration des Gesamtschwebstaubes. Ausdrücklich wird in der Richtlinie der Wunsch zum Ausdruck gebracht, dass Messungen der Schwebstaubbelastung und Maßnahmen zu deren Verringerung nicht nur für die Außenluft, sondern auch in Innenräumen durchgeführt werden sollten. Folgende MIK-Werte werden angegeben:

- 1-h-Mittelwert:
 $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$
bis zu drei aufeinander folgende Stunden
- 24-h-Mittelwert:
 $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$
einmalige Exposition
 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$
an aufeinander folgenden Tagen
- Jahresmittelwert:
 $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Als Vergleichswert für Belastungen durch einatembaren Staub in Innenräumen könnte somit der MIK-Wert in Höhe von $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ herangezogen werden. Dieser Beurteilungswert sollte im Sinne eines Indikators z.B. möglicher irritativer Wirkungen angesehen werden.

In zunehmendem Maße wird auch die Partikelanzahlkonzentration der Stäube in Innen-

3 Spezialmodule

räumen messtechnisch ermittelt. Zur Beurteilung dieser Messgröße fehlen jedoch zurzeit entsprechende Angaben. Ein Vergleich der Konzentrationsniveaus ist aufgrund der nicht harmonisierten Messmethoden momentan nicht möglich.

Ein Spezialfall der Stäube sind Faserstäube. Hierzu existieren zurzeit allerdings keine validierten Beurteilungswerte.

3.5.3.3 Kohlendioxid

Die Kohlendioxidkonzentration in Innenräumen gilt als ein wesentlicher Indikator für eine ausreichende Luftqualität, wenn der Mensch selbst die Hauptemissionsquelle darstellt und andere Quellen von untergeordneter Bedeutung sind. Die CO₂-Konzentration ist in diesem Zusammenhang auch ein Maß für die Effektivität der Raumlüftung. Als Richtwert gilt allgemein, dass eine Konzentration von

0,1 Volumen-% CO₂ (1 000 ppm bzw. 1 800 mg/m³)

(Pettenkofermaßstab, siehe z.B. [13; 14]) nicht überschritten werden sollte. Während im Bundesgesundheitsblatt Nr. 3 (1993) [15] die Einhaltung eines Wertes von 1 500 ppm empfohlen wird, nennen andere Quellen [16; 17] Werte zwischen 700 und 800 ppm, da ab dieser Konzentration schon Klagen über eine unzureichende Raumlufqualität auftreten können.

Zur Sicherung einer ausreichenden Innenraumluftqualität sollte die CO₂-Konzentration in der Regel 1 000 ppm nicht überschreiten. Die Werte von 700 bis 1 500 ppm können als „Interpretationsbereich“ angesehen werden.

3.5.3.4 Ozon

In der Richtlinie 2002/3/EG des Europäischen Parlaments und des Rates [18] wurde ein Zielwert für Ozon zum Schutz der menschlichen Gesundheit von 120 µg/m³ festgelegt, der ab dem Jahr 2010 verbindlich wird. Seit dem 9. September 2003 gilt entsprechend der o.g. Richtlinie für den 1-Stunden-Wert eine Informationsschwelle von 180 µg/m³, ab der die Bevölkerung unterrichtet werden muss, und eine Alarmschwelle von 240 µg/m³.

3.5.3.5 Formaldehyd

1977 veröffentlichte das damalige Bundesgesundheitsamt einen Richtwert von 0,1 ppm (0,12 mg/m³) für Formaldehyd [19]. Dieser hat auch heute noch Bestand und bildet u.a. eine Grundlage für Einsatzbeschränkungen von Bauprodukten nach der Chemikalien-Verbotsverordnung [20]. Die Weltgesundheitsorganisation WHO schlägt einen 30-Minuten-Durchschnittswert von

0,1 mg/m³ vor, um die Mehrheit der Bevölkerung vor sensorischen Irritationen zu schützen [21]. Empfohlen wird bei langfristiger Exposition, eine Konzentration von 0,06 mg/m³ nicht zu überschreiten [22].

3.5.3.6 Flüchtige organische Verbindungen

Richtwerte des Umweltbundesamtes

Von der Kommission Innenraumlufthygiene des Umweltbundesamtes (IRK) werden „Richtwerte für die Innenraumluft“ aufgestellt, wobei unterschieden wird zwischen dem Richtwert I (RW I) und dem Richtwert II (RW II) [3]:

„Der Richtwert II ist ein wirkungsbezogener, begründeter 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 Handlungsbedarf besteht, da diese Konzentration geeignet ist, insbesondere für empfindliche Personen bei Daueraufenthalt in den Räumen eine gesundheitliche Gefährdung darzustellen. Je nach Wirkungsweise des betrachteten Stoffes kann der Richtwert II als Kurzzeitwert (RW II K) oder als Langzeitwert (RW II L) definiert werden.

Der Handlungsbedarf ist als unverzüglicher Prüfbedarf zu verstehen, z.B. im Hinblick auf Sanierungsentscheidungen zur Verringerung der Exposition.“

„Der Richtwert I ist die Konzentration eines Stoffes in der Innenraumluft, bei der im Rahmen einer Einzelstoffbetrachtung nach gegenwärtigem Kenntnisstand auch bei lebenslanger Exposition keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen zu erwarten sind. Eine Überschreitung ist mit einer über das übliche Maß hinausgehenden, hygienisch unerwünschten Belastung verbunden. Der RW I kann als Sanierungszielwert dienen. Er soll nicht ausgeschöpft, sondern nach Möglichkeit unterschritten werden.“

„Aus Vorsorgegründen besteht auch im Konzentrationsbereich zwischen RW I und RW II Handlungsbedarf. Der RW I wird vom RW II durch Einführen eines zusätzlichen Faktors (in der Regel 10) abgeleitet. Dieser Faktor ist eine Konvention.“

Inzwischen wurden Richtwerte für die in Tabelle 38 (siehe Seite 228) aufgeführten organischen Verbindungen abgeleitet [3].

Summe flüchtiger organischer Verbindungen

In der Innenraumluft lässt sich eine Vielzahl flüchtiger organischer Substanzen (VOC, volatile organic compounds) nachweisen;

3 Spezialmodule

Tabelle 38:
Richtwerte für flüchtige organische Verbindungen in der Innenraumlufthygiene [3]

Verbindung	RW II in mg/m ³	RW I in mg/m ³
Methylenchlorid (Dichlormethan)	2 (24 h) ¹⁾	0,2
Naphthalin	0,02	0,002 ²⁾
Pentachlorphenol	1 µg/m ³	0,1 µg/m ³
Styrol	0,3	0,03
bicyclische Terpene ³⁾	2	0,2
Toluol	3	0,3
Tris(2-chlorethyl)phosphat (TCEP)	0,05 ⁴⁾	0,005 ⁴⁾

¹⁾ In Klammern ist, soweit ausdrücklich festgelegt, ein Mittelungszeitraum angegeben, z.B. 24 Stunden (h).

²⁾ Der RW-I-Wert für Naphthalin dürfte auch Schutz vor geruchlichen Belästigungen bieten.

³⁾ Leitsubstanz α -Pinen

⁴⁾ Obwohl die Ergebnisse tierexperimenteller Studien auf ein krebserzeugendes Potenzial der Verbindung hinweisen und für krebserzeugende Stoffe das Basisschema zur Richtwertableitung keine Anwendung finden sollte, sieht die Kommission aufgrund des Fehlens von eindeutigen Hinweisen zur Genotoxizität und des Bedarfs an Orientierungshilfen die Ableitung von Richtwerten für TCEP für vertretbar an.

ihre Summe wird als TVOC (total volatile organic compounds) bezeichnet.

Für komplexe Substanzgemische unterschiedlicher chemischer und toxischer Eigenschaften wie die VOC/TVOC lässt sich das für die Ableitung von Innenraumluftrichtwerten (RW I, RW II) entwickelte Basisschema nicht anwenden, da es für Einzelverbindungen

konzipiert wurde. Obwohl gesicherte Dosis-Wirkungs-Beziehungen fehlen und TVOC-Konzentrationen sich nicht als alleiniges Kriterium für eine gesundheitliche Bewertung der Innenraumlufthygiene eignen, lassen sich dennoch anhand der TVOC-Konzentrationen Beeinträchtigungen durch VOC in der Innenraumlufthygiene bewerten. So ist beispielsweise festzustellen, dass die Wahrscheinlichkeit für das

Auftreten von Reizwirkungen und Geruchswahrnehmungen mit steigender TVOC-Konzentration zunimmt.

Mølhave [23] unterscheidet hauptsächlich aufgrund von Reizwirkungen und Geruchswahrnehmungen folgende Bereiche für die Summe aller VOC (TVOC):

- $< 0,2 \text{ mg/m}^3$
Keine Reizwirkung oder Beeinträchtigung des Wohlbefindens
- $0,2 \text{ bis } 3,0 \text{ mg/m}^3$
Reizung oder Beeinträchtigung des Wohlbefindens möglich, wenn Wechselwirkung mit anderen Expositionsparametern gegeben ist
- $3,0 \text{ bis } 25,0 \text{ mg/m}^3$
Exposition führt zu einer Wirkung, Kopfschmerzen möglich, wenn Wechselwirkung mit anderen Expositionsparametern gegeben ist
- $> 25,0 \text{ mg/m}^3$
Kopfschmerzen, weitere neurotoxische Wirkungen außer Kopfschmerzen möglich

Nach *Seifert* [24] ist ein täglicher Aufenthalt in Räumen mit TVOC-Konzentrationen zwischen $10 \text{ und } 25 \text{ mg/m}^3$ allenfalls vorübergehend zumutbar. Solche Werte können in

Verbindung mit Renovierungen auftreten und müssen in der Regel durch intensive Lüftung abgebaut werden.

Auf Dauer soll in längerfristig genutzten Räumen der TVOC-Wert $1 \text{ bis } 3 \text{ mg/m}^3$ nicht überschreiten; bei Überschreitung dieses Bereiches ist eine Einzelstoffbetrachtung angezeigt.

Als Ziel für Innenräume wird ein langzeitiges Mittel des TVOC-Werts von $0,2 \text{ bis } 0,3 \text{ mg/m}^3$ angegeben, das nach Möglichkeit sogar zu unterschreiten ist.

Mit der Angabe von Konzentrationsbereichen („hygienischer Vorsorgebereich“) wird sowohl dem begrenzten Wissen über die Wirkungen von VOC-Gemischen als auch der messtechnisch bedingten Unsicherheit Rechnung getragen.

Der in einer früheren Arbeit von *Seifert* [25] vorgeschlagene Zielwert für TVOC von $0,3 \text{ mg/m}^3$ und die Werte für einzelne VOC-Gruppen sollen nicht mehr verwendet werden [24].

Ableitung von Referenzwerten für Einzelstoffe

Eine verbreitete und bewährte Methode zur Bewertung der Luftqualität in Innenräumen

3 Spezialmodule

beruht auf der Ableitung von Referenzwerten für Einzelstoffe mithilfe von Feldstudien, wobei üblicherweise das 90-Perzentil (gelegentlich auch das 95-Perzentil) eines hinreichend großen Datenkollektivs als Richtwert und das 50-Perzentil als Zielwert bezeichnet werden. 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. Eine wesentliche Voraussetzung für die Anwendung von Referenzwerten ist die Vergleichbarkeit der Referenzräume und des jeweils betrachteten Innenraumes. Als ausschlaggebende Parameter der Vergleichbarkeit sind die Ausstattung und die Nutzung des Innenraumes, das Messverfahren und die Messstrategie hervorzuheben.

Da diese Referenz- bzw. Zielwerte statistisch ermittelt und nicht gesundheitsbasiert abgeleitet werden, bedeutet ihre Unterschreitung nicht, dass keine gesundheitliche Gefährdung vorliegt. Andererseits kann aus einer Überschreitung dieser Werte nicht automatisch auf eine Gefährdung geschlossen werden. Eine wesentliche Überschreitung eines Wertes (z.B. um den Faktor 10) kann jedoch ein Hinweis darauf sein, dass in dem Raum Emissionsquellen vorhanden sind, die möglicherweise zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen können.

Ableitung von Referenzwerten aus der „Innenraumstudie Büro“ [26]

In den Jahren 2001 bis 2004 wurden unter den in Abschnitt 3.5.2.2 geschilderten Bedingungen Innenraumluftuntersuchungen in Büroräumen von 282 Betrieben durchgeführt. Dabei wurden 315 Messserien mit 2 963 Proben und 31 866 Analysen in der BGIA-Expositionsdatenbank MEGA dokumentiert.

An dem Projekt waren neben dem BGIA insgesamt 19 Berufsgenossenschaften und Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand beteiligt. Die sich daraus ableitende große territoriale Ausdehnung der Probenahmeorte und die breite Palette der Branchen sprechen für eine diesbezüglich repräsentative Untersuchung.

In Tabelle 39 sind die 50-, 90- und 95-Perzentilwerte für die hauptsächlichen, im Rahmen dieser Studie gefundenen Komponenten der Innenraumluft zusammengestellt. Für die statistische Auswertung wurden nur Messdaten betrachtet, die in Arbeitsräumen ohne maschinelle Lüftung bestimmt wurden.

Da in der Regel mehr als 300 Messwerte pro Verbindung ausgewertet wurden, ist eine statistische Absicherung gewährleistet. Aus diesem Grund wird vorgeschlagen, die

Tabelle 39:
Übersicht über die 50-, 90- und 95-Perzentilwerte der Konzentrationen von Verbindungen,
die in den Jahren 2001 bis 2004 in der Luft von Büroräumen ermittelt wurden

Verbindung	Anzahl Messdaten	50-Perzentil- wert in mg/m ³	90-Perzentil- wert in mg/m ³	95-Perzentil- wert in mg/m ³
TVOC (2002 bis 2004)*)	471	0,270	1,000	1,445
Acetaldehyd	404	0,020 ¹⁾	0,040 ¹⁾	0,060 ¹⁾
Acrylaldehyd	376	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,020 ¹⁾
Benzol	583	0,005 ¹⁾	0,008 ¹⁾	0,011 ¹⁾
Butan-1-ol	600	0,007 ¹⁾	0,031 ¹⁾	0,048 ¹⁾
Butanon	607	0,005 ¹⁾	0,016	0,029
2-Butoxyethanol	563	0,005 ¹⁾	0,015	0,031
2-(2-Butoxyethoxy)-ethanol	554	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,006 ¹⁾
2-(2-Butoxyethoxy)-ethylacetat	185	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾
2-Butoxyethylacetat	562	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾
n-Butylacetat	608	0,005 ¹⁾	0,013	0,032
Butyraldehyd	376	0,010 ¹⁾	0,020 ¹⁾	0,040 ¹⁾
Δ ³ -Caren	400	0,005 ¹⁾	0,012	0,027
Decamethylcyclopentasiloxan	399	0,007 ¹⁾	0,052	0,082
Ethylacetat	608	0,005 ¹⁾	0,020	0,036
Ethylbenzol	579	0,005 ¹⁾	0,011	0,016
2-Ethylhexan-1-ol	401	0,006 ¹⁾	0,018	0,024

3 Spezialmodule

Tabelle 39:
(Fortsetzung)

Verbindung	Anzahl Messdaten	50-Perzentilwert in mg/m ³	90-Perzentilwert in mg/m ³	95-Perzentilwert in mg/m ³
Formaldehyd	419	0,028 ¹⁾	0,060	0,076
Glutaraldehyd	376	0,010 ¹⁾	0,010 ¹⁾	0,040 ¹⁾
n-Heptan	603	0,005 ¹⁾	0,016	0,025
Hexanal	173	0,008	0,063	0,088
Limonen	608	0,006 ¹⁾	0,027	0,057
4-Methylpentan-2-on	219	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,035
2-Phenoxyethanol	564	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,012
α-Pinen	580	0,005 ¹⁾	0,018	0,042
Propionaldehyd	376	0,010 ¹⁾	0,015 ¹⁾	0,040 ¹⁾
Styrol	577	0,005 ¹⁾	0,008 ¹⁾	0,012 ¹⁾
Toluol	607	0,015	0,064	0,127
1,2,3-Trimethylbenzol	580	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,007 ¹⁾
1,2,4-Trimethylbenzol	581	0,005 ¹⁾	0,019	0,035
1,3,5-Trimethylbenzol	580	0,005 ¹⁾	0,006 ¹⁾	0,010 ¹⁾
Xylol (alle Isomere)	579	0,008 ¹⁾	0,047	0,080

*) Zu Beginn des Jahres 2002 wurde das TVOC-Auswerteverfahren modifiziert. Es liegen zusätzlich 130 Daten für das Jahr 2001 vor, die nur geringfügige Abweichungen aufweisen.

1) Dieser statistisch ermittelte Verteilungswert liegt unterhalb der höchsten quantitativen Bestimmungsgrenze der angewandten Probenahme- und Analysenverfahren.

90-Perzentilwerte als vorläufige Referenzwerte für die Beurteilung von Büroarbeitsplätzen einzuführen. Nach weiterer Differenzierung und Validierung der Untersuchungsergebnisse und durch Verbreiterung der Datenbasis, insbesondere durch die Fortsetzung der Untersuchungen über den Rahmen des Projektes hinaus, könnten sich diese in der Literatur als allgemein gültige Referenzwerte etablieren. Wesentliche Veränderungen der momentanen Ergebnisse sind in der Regel allerdings nicht zu erwarten, sodass diese Werte bereits jetzt zur Beurteilung der Raumluftqualität herangezogen werden können, soweit die im Folgenden erläuterten generellen Grenzen der Anwendung von Referenzwerten Beachtung finden.

Die Referenzwerte gelten nur bei Anwendung des beschriebenen Messverfahrens, da dieses zur Bestimmung der Stoffkonzentrationen in der Luft am Arbeitsplatz eine wichtige Basis für die Gewinnung der Daten darstellt.

Einzelstoffbewertung, basierend auf anderen Messverfahren

Pionierarbeit zur Ableitung von Referenzwerten für Einzelstoffe hat das damalige Bundesgesundheitsamt mit seinem „Umweltsurvey“ aus den Jahren 1985/86 geleistet [15]. Die Untersuchungen wurden in verschiedenartigsten Innenräumen einschließlich Wohnräumen vorgenommen und liegen inzwischen nahezu 20 Jahre 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 der Nutzung von Innenräumen ergeben haben, die auch Auswirkungen auf die Luftbelastung haben; man denke nur an neue Materialien zur Innenausstattung oder an veränderte Reinigungsmethoden. 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 Büroarbeitsplätze herangezogen werden.

Auch bei neueren Untersuchungen wird nicht zwischen Arbeitsräumen und sonstigen Wohnräumen unterschieden, sodass entsprechende Referenzwerte ebenfalls nur unter Vorbehalt für Büroarbeitsplätze herangezogen werden können [27]. Erschwerend kommt hinzu, dass auch die bei diesen Studien eingesetzten Messverfahren und die Messstrategien nicht einheitlich sind.

Dennoch sollen im Folgenden die Ergebnisse aus 458 Untersuchungen der Gesellschaft für Umweltchemie (GfU), die in den Jahren 1995 bis 1998 durchgeführt wurden, als Vergleichswerte dargestellt werden (siehe Tabelle 40, siehe Seite 234 ff.). Die Probenahme erfolgte an Aktivkohle Typ NIOSH für un- bis mittelpolare VOC bzw. mithilfe von Probenahmeröhrchen vom Typ Anasorb 747 für polare VOC [28].

3 Spezialmodule

Tabelle 40:
Zusammenfassung der Verteilung der Konzentration von VOC/SVOC in der Innenraumluft
bei Messungen in 458 Verdachtsräumen [28]

Verbindung	50-Perzentilwert in mg/m ³	90-Perzentilwert in mg/m ³
Aromaten	0,061	0,326
Benzol	0,004	0,012
Toluol	0,021	0,156
Ethylbenzol	0,003	0,019
m-/p-Xylol	0,009	0,053
o-Xylol	0,003	0,017
Styrol	n.n.	0,013
2-Ethyltoluol	n.n.	0,007
3-Ethyltoluol	0,002	0,018
4-Ethyltoluol	0,001	0,009
1,3,5-Trimethylbenzol	0,001	0,010
1,2,4-Trimethylbenzol	0,004	0,030
1,2,3-Trimethylbenzol	n.n.	0,007
n-Propylbenzol	n.n.	0,007
iso-Propylbenzol	n.n.	0,004
p-Cymol	n.n.	0,007
n-Butylbenzol	n.n.	0,003
Durol	n.n.	0,003

Verbindung	50-Perzentilwert in mg/m ³	90-Perzentilwert in mg/m ³
Phenol	n.n.	0,005
Alkane, Alicyclen	0,033	0,260
Methylcyclopentan	n.n.	0,006
Cyclohexan	0,003	0,021
Methylcyclohexan	0,001	0,019
n-Hexan	n.n.	0,011
n-Heptan	0,003	0,020
n-Octan	0,001	0,009
n-Nonan	0,001	0,022
n-Decan	0,003	0,039
n-Undecan	0,003	0,038
n-Dodecan	0,002	0,022
n-Tridecan	0,002	0,013
n-Tetradecan	0,002	0,009
n-Pentadecan	0,001	0,006
n-Hexadecan	n.n.	0,004
2,2,4,4,6-PMH	n.n.	0,008
2,2,4,4,6,8,8-HMN	n.n.	0,022

3 Spezialmodule

Tabelle 40:
(Fortsetzung)

Verbindung	50-Perzentilwert in mg/m ³	90-Perzentilwert in mg/m ³
Alkene	0,001	0,018
trimeres Isobuten I + II	n.n.	0,017
Terpene	0,024	0,264
α-Pinen	0,006	0,118
β-Pinen	0,001	0,019
Camphen	n.n.	0,005
Δ ³ -Caren	0,002	0,050
Eucalyptol	n.n.	0,009
Limonen	0,008	0,095
Campher	n.n.	0,003
Sesquiterpene	n.n.	0,0099
Longifolen	n.n.	0,007
Chlorierte Kohlenwasserstoffe	n.n.	0,022
PER (Tetrachlorethen)	n.n.	0,005
Trichlorethen	n.n.	0,002
1,1,1-Trichlorethan	n.n.	0,010
Ester	0,004	0,155
Ethylacetat	n.n.	0,055

Verbindung	50-Perzentilwert in mg/m ³	90-Perzentilwert in mg/m ³
n-Butylacetat	n.n.	0,057
iso-Butylacetat	n.n.	0,004
Texanol-1	n.n.	0,003
Texanol-3	n.n.	0,003
TXIB	n.n.	0,004
EGMBA	n.n.	0,002
DEGMBA	n.n.	0,021
1,2-PGMMA	n.n.	0,013
Ketone	n.n.	0,033
Methylethylketon	n.n.	0,007
MIBK	n.n.	0,011
2-Hexanon	n.n.	0,001
2-Heptanon	n.n.	0,003
Cyclohexanon	n.n.	0,017
Aldehyde	0,020	0,163
n-Pentanal	n.n.	0,033
n-Hexanal	0,003	0,064
n-Heptanal	n.n.	0,007

3 Spezialmodule

Tabelle 40:
(Fortsetzung)

Verbindung	50-Perzentilwert in mg/m ³	90-Perzentilwert in mg/m ³
n-Octanal	n.n.	0,013
n-Nonanal	0,004	0,024
n-Decanal	n.n.	0,010
Alkohole	0,019	0,094
Isobutanol	0,003	0,034
1-Butanol	0,014	0,066
2-Ethylhexanol	0,003	0,012
Ethylenglykole/-ether	0,014	0,400
EGMB	n.n.	0,110
DEGMM	n.n.	0,048
DEGMB	n.n.	0,035
EGMP	n.n.	0,193
Propylenglykole/-ether	n.n.	0,049
1,2-PGMM	n.n.	0,021
1,2-PG	n.n.	0,026
1,2-PGMB	n.n.	0,006
1,2-PGMP	n.n.	0,001
sonstige	n.n.	0,033

Verbindung	50-Perzentilwert in mg/m ³	90-Perzentilwert in mg/m ³
D3	n.n.	0,008
D4	n.n.	0,022
D5	n.n.	0,014
Summe VOC	0,219	1,545
TVOC	0,210	1,490
Abkürzungen/Anmerkungen:		
<p>n.n. = nicht nachweisbar PMH = Pentamethylheptan, HMN = Heptamethylnonan, TXIB = 2,2,4-Trimethyl-1,3-pentandiol-diisobutytrat, EGMBA = Ethylenglykolmonobutyletheracetat, DEGMB = Diethylenglykolmonobutyletheracetat, 1,2-PGMMMA = Propylenglykolmonomethyletheracetat, MIBK = Methylisobutylketon, EGMB = 2-Butoxyethanol, DEGMM = Diethylenglykolmonomethylether, DEGMB = Diethylenglykolmonobutylether, EGMP = 2-Phenoxyethanol, 1,2-PGMM = Propylenglykolmonomethylether, 1,2-PG = 1,2-Propylenglykol, 1,2-PGMB = Propylenglykolmonobutylether, 1,2-PGMP = Propylenglykolmonophenylether, D3 = Hexamethylcyclotrisiloxan, D4 = Octamethylcyclotetrasiloxan, D5 = Decamethylcyclopentasiloxan</p>		

Außenluftwerte

Im Rahmen des BGIA-Messverfahrens Innenraum (siehe Abschnitt 3.5.2.2) wird empfohlen, jeweils auch eine Außenluftmessung parallel zur Messung in den Innenräumen durchzuführen. Bei der „Innenraumstudie Büro“ wurden daher für die einzelnen flüchtigen organischen Verbindungen auch jeweils die Außenluftkonzentrationen bestimmt. Einen Überblick über die statistisch aufbereiteten Ergebnisse liefert Tabelle 41 (siehe Seite 240 f.).

Hilfe für die Ermittlung der Quellen

Basierend auf dem in Abschnitt 3.5.2.2 beschriebenen BGIA-Messverfahren Innenraum können bereits Hinweise auf mögliche Quellen für die Luftbelastungen erhalten werden. Tabelle 42 (siehe Seite 242 ff.) gibt einen Überblick über die routinemäßig erfassten Substanzen und ihre möglichen Quellen im Innenraum. Die Tabelle erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und soll lediglich erste Anhaltspunkte liefern.

3 Spezialmodule

Tabelle 41:
Übersicht über die 50-, 90- und 95-Perzentilwerte der Konzentrationen von Verbindungen,
die im Rahmen der „Innenraumstudie Büro“ in den Jahren 2001 bis 2004 in der Außenluft ermittelt wurden

Verbindung	Anzahl Messdaten	50-Perzentil- wert in mg/m ³	90-Perzentil- wert in mg/m ³	95-Perzentil- wert in mg/m ³
TVOC (2002 bis 2004)*)	212	0,080	0,266	0,426
Acetaldehyd	32	0,010 ¹⁾	0,010 ¹⁾	0,017 ¹⁾
Acrylaldehyd	32	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,010 ¹⁾
Benzol	257	0,005 ¹⁾	0,006 ¹⁾	0,008 ¹⁾
Butan-1-ol	258	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾
Butanon	259	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾
2-Butoxyethanol	240	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾
2-(2-Butoxyethoxy)-ethanol	235	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾
2-(2-Butoxyethoxy)-ethylacetat	91	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾
2-Butoxyethylacetat	235	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾
n-Butylacetat	258	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,006
Butyraldehyd	32	0,010 ¹⁾	0,014 ¹⁾	0,020 ¹⁾
Δ ³ -Caren	186	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾
Decamethylcyclopentasiloxan	186	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,006
Ethylacetat	258	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,010
Ethylbenzol	250	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,006
2-Ethylhexan-1-ol	185	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,009

Verbindung	Anzahl Messdaten	50-Perzentil- wert in mg/m ³	90-Perzentil- wert in mg/m ³	95-Perzentil- wert in mg/m ³
Formaldehyd	48	0,005 ¹⁾	0,010 ¹⁾	0,010 ¹⁾
Glutaraldehyd	32	0,010 ¹⁾	0,010 ¹⁾	0,017 ¹⁾
n-Heptan	258	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,009
Hexanal	87	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,011
Limonen	257	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾
4-Methylpentan-2-on	70	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾
2-Phenoxyethanol	243	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾
α-Pinen	251	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾
Propionaldehyd	32	0,010 ¹⁾	0,010 ¹⁾	0,017 ¹⁾
Styrol	251	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾
Toluol	259	0,006	0,029	0,062
1,2,3-Trimethylbenzol	251	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾
1,2,4-Trimethylbenzol	251	0,005 ¹⁾	0,006	0,008
1,3,5-Trimethylbenzol	251	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾
Xylol (alle Isomere)	251	0,005 ¹⁾	0,012	0,021

*) Zu Beginn des Jahres 2002 wurde das TVOC-Auswerteverfahren modifiziert. Es liegen zusätzlich 48 Daten für das Jahr 2001 vor, die nur geringfügige Abweichungen aufweisen.

1) Dieser statistisch ermittelte Verteilungswert liegt unterhalb der höchsten quantitativen Bestimmungsgrenze der angewandten Probenahme- und Analysenverfahren.

3 Spezialmodule

Tabelle 42:
Mögliche Quellen für die mit dem BGIA-Messverfahren Innenraum routinemäßig untersuchten Substanzen in der Innenraumluft [29; 30]

Substanz	Mögliche Quellen
Acetaldehyd	Alkoholika, aus PET-Gebinden
Acrylaldehyd	Lackharze, Riechstoffe
Benzol	Kfz-Abgase und Kfz-Kraftstoffe (auch Dieselkraftstoffe/Heizöl); Zigarettenrauch
Butanol	Hydrolyse von Weichmachern (Hinweis auf Feuchteschaden)
Butanon	Lösungsmittel in Lacken und Harzen
2-Butoxyethanol	Lösungsmittelarme Systeme wie Wasserlacke, Dispersionsfarben, Dispersionskleber
2-(2-Butoxyethoxy)-ethanol	Lösungsmittelarme Systeme wie Wasserlacke, Dispersionsfarben, Dispersionskleber
2-(2-Butoxyethoxy)-ethylacetat	Hilfsstoff in Dispersionen wie z.B. Wandfarben, Putze, Putzmörtel, Baukleber, Holz- und Papierleime, Druckfarben, Acrylharzlacke
2-Butoxyethylacetat	Lösungsmittelarme Systeme wie Wasserlacke, Dispersionsfarben, Dispersionskleber
n-Butylacetat	Lösungsmittel in Lacken
Butyraldehyd	Kunstharze, Weichmacher, Lösungsmittel, synthetische Gerb- und Riechstoffe, Aromen
Δ^3 -Caren	Nadelhölzer, Terpentinöle, Naturfarben (i.d.R. heute nicht mehr); Mittel zur Möbelpolitur und -pflege
Decamethylcyclopentasiloxan	Möbellacke, Fugendichtmassen, Kosmetikartikel (z.B. Deoroller)
Ethanol	Glasreiniger (Spiritus), Parfüm, Alkoholika
Ethylacetat	Lösungsmittel in Klebern, Farben, Lacken

Substanz	Mögliche Quellen
Ethylbenzol	Lösungsmittel in Lacken und Klebern
2-Ethylhexan-1-ol	Hydrolyse von Weichmachern (Hinweis auf Feuchteschaden); Dispersions-, Acrylfarben, Lacke, Kleber, Teppichböden
Formaldehyd	Leim- und Sperrhölzer, verleimte Parkettdielen, OSB-Platten, Laminatböden, Spanplatten, Teppichböden, Klebstoffe, Farben, Lacke, Leime, Fußbodenversiegelung, Zigarettenrauch
Glutaraldehyd	Desinfektionsmittel, Hydrophobierungsmittel für Papier, Tapeten, Textilien
n-Heptan	Lösungsmittel in schnell trocknenden Lacken und Klebstoffen
Hexanal	Anstrichmittel, Linoleum
Limonen	Schale von Zitrusfrüchten, Lösungsmittel in Naturfarben, Zitrusduft in Reinigungsmitteln und Kosmetika
2-Phenoxyethanol	lösungsmittelarme Systeme wie Wasserlacke, Dispersionsfarben, Dispersionskleber
α -Pinen	frische Nadelhölzer, Terpentinöle
Propionaldehyd	Kunststoffe, Weichmacher, Kautschuk-Hilfsprodukte, Duftstoffe, Chemikalien, Arzneimittel
Styrol	Klebstoffe
Toluol	Bodenbeläge, Lösungsmittel in Lacken und Klebern
1,2,3-Trimethylbenzol	Lösungsmittel in Klebstoffen, Lacken und Farben
1,2,4-Trimethylbenzol	Lösungsmittel in Anstrichmitteln und Klebern
1,3,5-Trimethylbenzol	Lösungsmittel in Anstrichmitteln, Textilhilfsmittel
Xylole	Lösungsmittel in Lacken und Klebern sowie anderen Anstrichmitteln

3 Spezialmodule

3.5.3.7 Weitere Stoffe

Richtwerte des Umweltbundesamtes

Von der Kommission Innenraumlufthygiene (IRK) wurden neben den Richtwerten für

flüchtige organische Verbindungen (vgl. Abschnitt 3.5.3.6) auch für die anorganischen Gase Kohlenmonoxid und Stickstoffdioxid sowie für Quecksilberdämpfe Richtwerte für die Innenraumluft abgeleitet (siehe Tabelle 43) [3].

Tabelle 43:
Weitere Richtwerte für die Innenraumluft der IRK [3]

Verbindung	RW II in mg/m ³	RW I in mg/m ³
Kohlenmonoxid	60 (0,5 h) ¹⁾	6 (0,5 h) ¹⁾
	15 (8 h) ¹⁾	1,5 (8 h) ¹⁾
Stickstoffdioxid	0,35 (0,5 h) ¹⁾	–
	0,06 (1 Woche) ¹⁾	–
Quecksilber als metallischer Dampf	0,35 µg/m ³	0,035 µg/m ³

¹⁾ In Klammern ist, soweit er ausdrücklich festgelegt wurde, ein Mittelungszeitraum angegeben, z.B. 24 Stunden (h).

3.5.3.8 Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Beurteilung von chemischen Einwirkungen“

- [1] Technische Regeln für Gefahrstoffe:
Grenzwerte in der Luft am Arbeits-
platz – Luftgrenzwerte (TRGS 900). BArbBl.
(2000) Nr. 10, S. 34-63. Zuletzt geändert
BArbBl. (2004) Nr. 5, S. 55
- [2] *Kleine, H.; Barig, A.; Nies, E.;
Blome, H.*: Gefahrstoffgrenzwerte in der
Arbeits- und in der sonstigen Lebensumwelt –
ein Vergleich. Staub – Reinhalt. Luft 54
(1994) Nr. 7/8, S. 261-264
- [3] Richtwerte für die Innenraumluft.
[http://www.umweltbundesamt.de/
uba-info-daten/daten/irk.htm](http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/irk.htm)
- [4] Gesetz über die Durchführung von
Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur
Verbesserung der Sicherheit und des
Gesundheitsschutzes der Beschäftigten
bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz –
ArbSchG) vom 7. August 1996. BGBl. I
1996 S. 1246; zul. geänd. am
19. Dezember 1998, BGBl. I S. 2843
- [5] Verordnung über Arbeitsstätten
(Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV)
vom 12. August 2004. BGBl. I (2004),
S. 2179
- [6] Verordnung zur Anpassung der
Gefahrstoffverordnung an die EG-Richtlinie
98/24/EG und andere EG-Richtlinien.
BGBl. I (2004), S. 3758, geänd. BGBl. I
(2004), S. 3855
- [7] Arbeitsstätten-Richtlinie Lüftung (ASR 5)
vom 22. August 1979. BArbBl. (1979)
Nr. 10, S. 103; zul. geänd. BArbBl. (1984)
Nr. 12, S. 85
- [8] Gesetz zum Schutz vor schädlichen
Umwelteinwirkungen durch Luftverunrei-
nungen, Geräusche, Erschütterungen und
ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissions-
schutzgesetz – BImSchG) vom 26. Septem-
ber 2002. BGBl. I (2002) Nr. 71, S. 3830
- [9] *Opfermann, R.; Streit, W.*: Arbeitsstätten.
Forkel, Heidelberg 2000, Losebl.-Ausg.
- [10] BGIA-Handbuch Sicherheit und
Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz. Hrsg.:
Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeits-
schutz – BGIA, Sankt Augustin. 2. Aufl. Erich
Schmidt, Berlin 2003 – Losebl.-Ausg.
- [11] Richtlinie 1999/30/EG des Rates
vom 22. April 1999 über Grenzwerte
für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und
Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft.
ABl. EG Nr. L 163 vom 29. Juni 1999,
S. 41; zul. geänd. ABl. EG Nr. L 278 vom
23. Oktober 2001, S. 35

3 Spezialmodule

- [12] VDI 2310 Blatt 19: Maximale Immissions-Konzentrationen für Schwebstaub. VDI, Düsseldorf 1992
- [13] *Witthauer, J., Horn, H.; Bischof, W.:* Raumluftqualität. C.F. Müller, Karlsruhe 1993
- [14] Ventilation for acceptable indoor air quality. Hrsg.: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) (1989) Vol. 62
- [15] Bekanntmachung des Bundesgesundheitsamtes: Bewertung der Luftqualität in Innenräumen. Bundesgesundheitsbl. 36 (1993) Nr. 3, S. 117-118
- [16] *Phoon, W.O., Seneviratne, M.; Rabone, S.; Gutierrez, L.:* Building-related health problems: A system of study method. Indoor Environm. 4 (1995), S. 204-226
- [17] OSHA: 29 CFR Part 1915, 1926, 1928: Indoor Air Quality Department of Labor; Occupational Safety and Health Administration. Federal Register, 1994 Vol. 99, No 65
- [18] Richtlinie 2002/3/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Februar 2002 über den Ozongehalt der Luft. ABl. EG Nr. L 67 vom 9. März 2002, S. 14
- [19] Zur Gültigkeit des 0,1 ppm-Wertes für Formaldehyd. Bundesgesundheitsbl. 35 (1992), S. 482-483
- [20] Verordnung über Verbote und Beschränkungen des Inverkehrbringens gefährlicher Stoffe, Zubereitungen und Erzeugnisse nach dem Chemikaliengesetz (ChemVerbotsV – Chemikalien-Verbotsverordnung) vom 13. Juni 2003. BGBl. I Nr. vom 25. Juni 2003, S. 867; zul. geänd. BGBl. I vom 25. November 2003, S. 2343
- [21] WHO Air Quality Guidelines – Second Edition, 2001 Chapter 5
- [22] *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, July 2001, p. 10
- [23] *Møllhave, L.:* Volatile organic compounds, Indoor Air Quality and Health. Indoor Air 1 (1991), S. 357-376
- [24] *Seifert, B.:* Richtwerte für die Innenraumluft. Die Beurteilung der Innenraumluftqualität mit Hilfe der Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC-Wert). Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz 42 (1999), S. 270-278

- [25] *Seifert, B.*: Regulating indoor air. In: Proc. Indoor Air '90, Toronto, Vol. 5, S. 35-49
- [26] *Schlechter, N., et al.*: Beurteilung der Raumluftqualität an Büroarbeitsplätzen. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 64 (2004) Nr. 3, S. 95-99
- [27] *Schleibinger, H.; Hott, U.; Marchl, D.; Pliening, 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
- [28] *Scholz, H.*: Vorkommen ausgewählter VOC in Innenräumen und deren Bewertung. In: Gebäudestandard 2000 – Energie und Raumluftqualität. Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) e.V. Springe-Eldagsen 1998
- [29] *Kirschmann, H.*: Baubiologie – Gesundheitsrisiken im Haus und am Arbeitsplatz aufspüren und reduzieren. <http://www.kirschmann.de>
- [30] CD Römpp Chemie Lexikon. Thieme, Stuttgart

3 Spezialmodule

3.6 Biologische Einwirkungen

C. Deininger, Würzburg
S. Duggal, Mannheim
A. Kolk, Sankt Augustin
I. Warfolomeow, Mainz

3.6.1 Allgemeines

3.6.1.1 Einführung

Biologische Agenzien wie z.B. Schimmelpilze, Bakterien, Viren, Milben u.a. werden oftmals mit dem Auftreten von gesundheitlichen Beschwerden an Innenraumarbeitsplätzen in Verbindung gebracht. Im Vordergrund stehen dabei Klagen über mikrobielle Belastungen der Raumluft z.B. durch Klimaanlagen oder im Zusammenhang mit Feuchteschäden im Gebäude. Vermutungen über das Vorhandensein gesundheitlich relevanter biologischer Agenzien werden meist aufgrund von diffusen Beschwerden, z.B. Augentränen, Niesreiz, Hustenreiz, konkreten medizinischen Befunden, z.B. Schimmelpilzallergie, Geruchswahrnehmungen, allgemeinen Beobachtungen, z.B. Wasserschaden, oder Informationen aus Pressemeldungen geäußert.

Zur Problembeseitigung und Verbesserung der Arbeitsplatzsituation notwendige Maßnahmen können oftmals nach Begehung durch Sachverständige auch ohne Durchführung von Messungen eingeleitet werden.

Ergibt sich dennoch die Notwendigkeit von Messungen, muss eine an die Fragestellung angepasste Messplanung erfolgen.

Der vorliegende Abschnitt bündelt den Kenntnisstand der gewerblichen Berufsgenossenschaften zu Ermittlungen im Zusammenhang mit Innenraumluftproblemen durch „biologische Einwirkungen“. Im Vordergrund stehen dabei vor allem Untersuchungsergebnisse und Erfahrungen aus zahlreichen messtechnischen Ermittlungen bei Feuchteproblemen durch bauliche Mängel und vorangegangene Wasserschäden sowie hygienische Untersuchungen an raumlufttechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) [1] (siehe hierzu auch Abschnitt 3.2.2 „Raumlufttechnische Anlagen“).

Empfehlungen zur Vorgehensweise bei der Beurteilung von Innenraumarbeitsplätzen mit Blick auf das Vorkommen von biologischen Agenzien werden gegeben. Sie erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Publikationen aus dem Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg [2] und dem Umweltbundesamt [3], die sich mit vergleichbaren Fragestellungen beschäftigen, wurden bei der Erarbeitung dieses Kapitels berücksichtigt.

3.6.1.2 Vorkommen und Wirkung

Vorkommen

Biologische Agenzien kommen überall in der Umwelt vor. In nützlicher Funktion sorgen Mikroorganismen als Mineralisierer der organischen Substanz für die Erhaltung der Stoffkreisläufe in der Natur. Weiterhin dienen sie dem Menschen als Stoffproduzenten, z.B. bei der Herstellung verschiedener Lebensmittel oder der großtechnischen Produktion von Medikamenten. Darüber hinaus gewährleisten sie als Bestandteil der menschlichen Haut- und Schleimhautflora einen natürlichen Schutz vor Krankheitserregern. Daraus kann abgeleitet werden, dass Mikroorganismen am Innenraumarbeitsplatz auch vom Menschen selbst, z.B. beim Ausatmen oder beim Abschilfern von Hautschuppen, in die Umgebung abgegeben werden können.

Diese natürliche Keimemission ist ebenso wie die Ausscheidung von pathogenen Mikroorganismen und Viren durch kranke Personen nicht Gegenstand dieses Ermittlungskataloges. In solchen Fällen ist durch geeignete Maßnahmen z.B. durch Frischluftzufuhr für eine gesundheitlich zuträgliche Atemluft zu sorgen [4].

Das Vorkommen von biologischen Agenzien oder deren Zellbestandteilen und Stoffwechselprodukten, z.B. Endotoxine, Glucane und

Mykotoxine, an Innenraumarbeitsplätzen kann verschiedene Ursachen haben. Mögliche Keimquellen an Innenraumarbeitsplätzen sind in Tabelle 44 (siehe Seite 250) aufgelistet.

Häufig kommt insbesondere bei Klagen über mikrobielle Arbeitsplatzbelastungen in Innenräumen den raumluftechnischen Anlagen eine besondere Bedeutung zu. In Tabelle 45 (siehe Seite 251) sind mögliche hygienische Probleme im Zusammenhang mit solchen Anlagen zusammengefasst (siehe hierzu auch Abschnitt 3.2.2).

Wirkung

Für eine Exposition gegenüber biologischen Agenzien am Innenraumarbeitsplatz 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 sowie deren Zerfallsprodukte, für die größtenteils auch Lungengängigkeit vorausgesetzt werden kann. Partikelfractionen kleiner 100 µm sind einatembar, kleiner 10 µm thoraxgänglich und kleiner 5 µm alveolengänglich. In Tabelle 46 (Seite 252)

3 Spezialmodule

Tabelle 44:
Vorkommen von biologischen Agenzien an Innenraumarbeitsplätzen

Quelle	Folgen
<i>Außenluft</i>	
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 Frischluftansaugung von RLT-Anlagen (siehe auch Tabelle 45)
<i>Innenraumluft</i>	
Mensch	Abgabe von Mikroorganismen oder Viren durch Personen beim Ausatmen oder beim Abschilfern von Hautschuppen
Blumentöpfe, Hydrokulturen, Biomüll	Besiedlung durch Mikroorganismen insbesondere Schimmelpilze z.B. <i>Aspergillus fumigatus</i>
Tapeten, Trennwände, Oberflächen	Organische Materialien (z.B. Papier, Holz, Wolle) aber auch Verunreinigungen durch verschüttete Lebensmittel, Haare und Hautschuppen im Staub können die Wachstumsgrundlage für Mikroorganismen darstellen.
Gepolsterte Bürostühle, Teppiche	Siehe Tapeten, Trennwände, Oberflächen zusätzlich Besiedlung durch Hausstaubmilben
Tauwasserniederschlag aufgrund von Wärmebrücken; Bauschäden z.B. durch Wassereintrich oder aufgrund der Baukonstruktion	Besiedlung von Oberflächen (Tapeten, Mauerwerk, Holz, Fugen) vor allem durch Schimmelpilze
Falsches Lüftungsverhalten, unzureichender Abtransport von Feuchtigkeit	Siehe Tauwasserniederschlag

Tabelle 45:
Mögliche Keimquellen an Innenraumarbeitsplätzen durch raumlufttechnische Anlagen [5; 6]

Keimquelle	Folgen
<p>Außenluftansaugung</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Ansaug- und Umluftfilter fehlen <input type="checkbox"/> Absperrgitter vor Ansaugöffnung fehlen 	<p>Ansaugen von Mikroorganismen und Stäuben aus Keimquellen in der Umwelt oder benachbarten Anlagen z.B. landwirtschaftlichen Betrieben, Abfall-, Kompostier- oder Abwassertechnischen Anlagen; Kurzschluss von Nebeln aus Kühltürmen und Rückkühlwerken; Vogelkot in Außenluftleitungen, Zugang für Tiere</p>
Fortluftaustritt	<p>Wiederansaugen belasteter Abluft; Kurzschluss zwischen Außenluft und Fortluft</p>
Luftbefeuchter Abscheidebleche Ventilatoren	<p>Besiedlung des Umlaufwassers mit Mikroorganismen, Bildung von Biofilmen</p>
Luftkühler Wärmerückgewinner	<p>Besiedlung des Kondenswassers mit Mikroorganismen; Bildung von Biofilmen</p>
Luftleitungen	<p>Besiedlung von Staubablagerungen und Kondenswasser mit Mikroorganismen</p>
<p>Luftfilter</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> fehlende zweite Filterstufe nach der Luftbehandlungseinheit; <input type="checkbox"/> fehlender endständiger Filter bzw. falsche Filterklasse (kein Schwebstofffilter vorhanden) 	<p>Hoher Staubanfall, bei ausreichender Durchfeuchtung: Besiedlung und Durchwachsen von Filtermaterialien durch Mikroorganismen; Eintrag von Mikroorganismen oder deren Zerfallsprodukten (Endotoxine, Allergene) in die Raumluft</p>

3 Spezialmodule

Mikroorganismen können auf drei verschiedene Arten pathogen wirken. Obwohl die Zusammenhänge zwischen dem Vorhandensein biologischer Agenzien an Innenraumarbeitsplätzen und der Entstehung von Erkrankungen vielfach noch nicht geklärt sind, darf angenommen werden, dass hier insbesondere die allergischen Erkrankungen eine Rolle spielen, während toxische oder infektiöse Wirkungen nicht von Bedeutung sind. Die hierzu gemachten Aussagen haben daher lediglich informativen Charakter.

sind die Größenbereiche von Mikroorganismen wiedergegeben.

Allergische Erkrankungen

Für eine Allergieauslösung in besonderem Maße von Bedeutung sind die Luftsporen von Schimmelpilzen und Aktinomyzeten. Aktinomyzeten sind grampositive Bakterien mit mycelartigem Wachstum, die deshalb auch als „Strahlenpilze“ bezeichnet werden.

Tabelle 46:
Größenordnung von biologischen Partikeln (nach [7])

Biologischer Partikel	Aerodynamischer Durchmesser in μm
Viren	0,02 bis 0,03
Aktinomyzeten, Luftsporen	0,5 bis 1,5
Bakterien	0,2 bis 10
Schimmelpilze, Luftsporen	2 bis 8
Moosporen	5 bis 30
Pilzzellen, Pilzfäden	10
Amoeben	10 bis 40
Milben: Kot-, Körperpartikel	10 bis 40
Farnsporen	20 bis 60
Pollen	5 bis 250
Mikrobielle Zerfallsprodukte (z.B. Endotoxine)	deutlich kleiner als die jeweiligen Organismen

Grundsätzlich ist die Mehrzahl der Schimmelpilzarten auch in Innenräumen als Träger potenzieller Allergene (Glykoproteine) anzusehen. Betroffen sind hiervon vorrangig Atopiker, d.h. Personen, die zu Allergien neigen. Bei entsprechend langer Exposition gegenüber großen Mengen an Mikroorganismen können auch allergisch nicht prädisponierte Personen sensibilisiert werden. Diese Situation ist jedoch für Innenraum-arbeitsplätze in der Regel nicht anzunehmen.

Die erstmalige Sensibilisierung gegenüber einer Allergie auslösenden Substanz erfordert meist größere Mengen des biologischen Agens, wohingegen für das spätere Auslösen allergischer Symptome sehr viel niedrigere Konzentrationen ausreichen. Ob ein Mensch eine Allergie entwickelt, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Dies sind z.B. die

- ❑ individuelle Veranlagung des Menschen,
- ❑ Höhe der Allergenkonzentration in der Atemluft,
- ❑ Dauer und Häufigkeit der Exposition sowie
- ❑ verstärkende Bedingungen, z.B. gleichzeitiges Vorkommen von Gefahrstoffen.

Immunologisch werden verschiedene Typen von mikrobiell ausgelösten Allergien unterschieden:

- ❑ Bei der Typ-I-Allergie (Allergie vom Sofort-Typ) treten allergische Reaktionen innerhalb der ersten Stunde nach Allergenkontakt auf und können Nase (Rhinitis), Auge (Konjunktivitis), Haut (Urtikaria) und Lunge (Asthma bronchiale) betreffen.
- ❑ Bei der Typ-III-Allergie (Allergie vom verzögerten Typ) treten hingegen die Symptome erst einige Stunden nach Allergenkontakt auf. Hierzu zählt die exogen-allergische Alveolitis (EAA), die durch wiederholte Exposition gegenüber sehr hohen Konzentrationen an Luftkeimen ($> 10^6$ Keime/ m^3 Luft) verursacht wird und zu dauerhaften Schädigungen der Lungenfunktion führen kann. Ein Beispiel hierfür ist die so genannte Befeuchter-lunge, die bei Beschäftigten in luft-befeuchteten Arbeitsbereichen in Druckereien beschrieben wurde [8]. In diesen Fällen konnte ein Zusammenhang zwischen der mikrobiellen Belastung der eingesetzten Luftbefeuchter, der Belastung der Atemluft mit Mikroorganismen und der Entwicklung allergischer Atemwegserkrankungen aufgezeigt werden.

Für die Auslösung von Allergien im häuslichen Bereich spielen neben den bereits erwähnten Schimmelpilzen und Aktinomyzeten auch Tierhaare und Milben eine Rolle.

3 Spezialmodule

Im Bürobereich sind Tierhaare in der Regel nur dann von Bedeutung, wenn sie vom Wohnbereich in den Arbeitsbereich eingeschleppt werden. Sie werden daher in diesem Kapitel nicht weiter berücksichtigt.

Dies gilt auch für pflanzliche Sporen oder Pollen, die mit der Außenluft in Büroräume eingetragen werden (bei freier Lüftung über geöffnete Fenster und Türen oder mit der Frischluftansaugung raumlufttechnischer Anlagen bei unzureichender Filterung) oder auch von in Büroräumen befindlichen Pflanzen (Blumensträuße, Zimmerpflanzen) an die Raumluft abgegeben werden können. Auch diese potenziellen Allergene werden im vorliegenden Kapitel nicht berücksichtigt.

Die eigentlichen Allergene von Hausstaubmilben befinden sich im Kot der Milben. Sobald dieser feinst verteilt in die Luft überführt wird, kann er eingeatmet werden. Die optimalen Klimabedingungen für die Entwicklung der meisten Milbenarten liegen bei etwa 25 °C Raumtemperatur und circa 70 % relativer Luftfeuchte. Im Wohnbereich sind Milben hauptsächlich in Matratzen, Bettzeug und textilen Polstermöbeln enthalten. In Teppichböden wurden Milbenallergene hingegen nur selten nachgewiesen.

Über das Vorkommen von Milbenallergenen am Innenraumarbeitsplatz 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 [9].

Toxische Wirkungen

□ Endotoxine

Beim Absterben von gramnegativen Bakterien gelangen Bestandteile ihrer äußeren Membran, die so genannten Endotoxine (Lipopolysaccharide), in die Umgebungsluft [10]. Die Inhalation großer Mengen von Bakterien bzw. solcher Endotoxine führt unter Umständen zu einem Krankheitsbild mit grippeähnlichen Symptomen wie akute Fieberreaktionen, Schüttelfrost, Kopfschmerzen, Muskel- und Gelenksbeschwerden, Atemlosigkeit, Beklemmungsgefühl oder chronischem Husten (trocken oder mit Auswurf).

Ein Beispiel für dieses so genannte organic dust toxic syndrome (ODTS) ist das Befeuchterfieber. Neueren Untersuchungen zufolge werden z.B. auch Glucane als Zellwandbestandteile von Schimmelpilzen mit dem ODTS in Zusammenhang gebracht.

In der Literatur wird für das ODTS der Begriff „toxische Alveolitis“ vorgeschlagen. Damit soll zum einen dem vielfältigen Spektrum reaktionsauslösender Agenzien, wie z.B. Endotoxine, Glucane, anorganische Substanzen, Rechnung getragen und zum anderen das Krankheitssyndrom vom Begriff der exogen-allergischen Alveolitis abgegrenzt werden.

Mit Blick auf eine inhalative Aufnahme existieren derzeit keine gesicherten Erkenntnisse über etwaige Risiken, da Mykotoxine bisher nicht mit standardisierten Verfahren in der Luft nachgewiesen werden können und nicht geklärt ist, ob inhalativ aufgenommene Mykotoxine in den Organismus gelangen und dort schädigend wirken.

□ Mykotoxine

Einige Arten von Schimmelpilzen können im Rahmen ihres Sekundärstoffwechsels so genannte Mykotoxine produzieren. Nach Wasserschäden in Gebäuden wurden wiederholt als Mykotoxinproduzenten bekannte Schimmelpilzarten, wie z.B. *Aspergillus versicolor* (Sterigmatotoxin) und *Stachybotrys chartarum* (synonym *Stachybotrys atra*, Trichothecene) identifiziert. Insbesondere die zuletzt genannte Art wird in der Literatur häufig mit dem Auftreten von Krankheitssymptomen in Verbindung gebracht [11].

Die Symptome nach Mykotoxinaufnahme durch den Verzehr kontaminierter Lebensmittel reichen von Atemwegsbeschwerden, Kopfschmerzen und Durchfall bis hin zu neurotoxischen, systemischen und kanzerogenen Wirkungen.

□ Microbial volatile organic compounds (MVOC)

Flüchtige organische Kohlenwasserstoffe im Innenraumbereich können aus unterschiedlichen Quellen stammen. Bestimmte Komponenten können beispielsweise – wie in Abschnitt 3.5 „Chemische Einwirkungen“ eingehend beschrieben – von Bodenbelägen, Spanplatten und Farben an die Luft abgegeben werden (VOC, volatile organic compounds).

Mikroorganismen, insbesondere Schimmelpilze und Aktinomyzeten, können unter bestimmten Bedingungen ebenfalls leicht flüchtige Substanzen bilden. Diese werden als „leicht flüchtige organische Substanzen mikrobieller Herkunft“ (MVOC) bezeichnet. Mit Blick auf ihre chemische Struktur besteht zwischen VOC und MVOC kein Unterschied. Nachgewiesen werden vor allem höhere Alkohole und Ketone wie z.B.

3 Spezialmodule

1-Octen-3-ol und 3-Octanon. Daher kann nicht zwangsläufig auf den Ursprung der VOC zurückgeschlossen werden. In höheren Konzentrationen weisen einige VOC eine toxische Wirkung auf.

Die niedrigen Konzentrationen an so genannten MVOC bzw. VOC mikrobiellen Ursprungs, die in der Regel in Innenräumen gemessen werden, sind jedoch mit großer Wahrscheinlichkeit zu gering, um zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen zu können [12]. Die Bestimmung von VOC kann im Einzelfall einen Hinweis darauf geben, ob ein verdeckter mikrobieller Schaden vorliegt. Eine gesundheitliche Bewertung der Expositionsverhältnisse, die auf das Vorhandensein von Mikroorganismen zurückzuführen ist, kann nach heutigem Kenntnisstand anhand solcher Analysedaten deshalb nicht vorgenommen werden.

Infektionen

Gemäß § 3 der Biostoffverordnung (Bio-StoffV) [13] werden biologische Arbeitsstoffe nach ihrem Infektionsrisiko in vier Risikogruppen eingeordnet. Während die Infektionsauslösung bei Gruppe-1-Organismen unwahrscheinlich ist, steigt das Risiko hierfür von der Gruppe 2 bis Gruppe 4 (höchste Infektionsgefährdung) an.

Bei den Organismen der Risikogruppe 1 handelt es sich um Bakterien, Schimmelpilze und Hefen, die als Bestandteil der menschlichen Begleitflora oder in Wasser, Boden und Luft vorkommen. Diese sind unter normalen Umständen für den Menschen harmlos und können als so genannte Opportunisten i.d.R. nur bei erheblich abwehrgeschwächten Beschäftigten als Krankheitserreger nachgewiesen werden.

Zur Risikogruppe 2 zählen beispielsweise einige in verunreinigtem Befeuchterwasser vorkommende Bakterien wie Angehörige der Gattung *Acinetobacter*. Als Krankheitserreger im Zusammenhang mit Warmwassersystemen, z.B. Duschen oder Whirlpools, wird häufig *Legionella pneumophila* genannt. Diese gramnegative Bakterienart verursacht die so genannte Legionärskrankheit (Pontiac-Fieber). Infektionen durch kontaminierte raumlufttechnische Anlagen oder Kaltwassersysteme sind hierzulande selten. In klimatisierten Büroräumen konnten im Rahmen von berufsgenossenschaftlichen Untersuchungen bislang keine Legionellen nachgewiesen werden. Bei den Schimmelpilzen der Risikogruppe 2 sind im Zusammenhang mit Innenräumen *Acremonium kiliense* und *Aspergillus fumigatus* zu nennen. Letzterer trat als Erreger invasiver Aspergillosen bei Baumaßnahmen in Krankenhäusern in Erscheinung.

Mit dem Vorkommen von Organismen der Risikogruppen 3 und 4 ist an Innenraum-arbeitsplätzen nicht zu rechnen.

3.6.2 Ermittlung und Messverfahren

3.6.2.1 Vorgehensweise

Erhebung von Informationen

Für das Vorkommen von biologischen Arbeitsstoffen an Arbeitsplätzen in Innenräumen gibt es verschiedene Quellen (siehe Tabelle 47). Im Rahmen der Ermittlung von Arbeitsbedingungen im Innenraum sind Informationen zu erheben, wie sie beispielhaft für Schimmelpilze im Spezialerhebungsbogen S 1 1 zusammengestellt sind. Im Vorfeld sollten in jedem Fall die Erhebungen G3 „Arbeitsumfeld“ und S2 „Gebäude“ durchgeführt werden.

In vielen Ermittlungen ist aufgrund der Bewertung der erhobenen Daten, der vorliegenden Informationen und des visuellen Befunds bereits ohne Messung eine abschließende Beurteilung möglich. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn ein visuell eindeutiger Befund eines frischen Schimmelpilz- bzw. Feuchteschadens vorliegt und sich daraus ein offensichtlicher Handlungsbedarf für den Betrieb ableiten lässt.

3.6.2.2 Messungen

Hintergrund für mikrobiologische Messungen

In Fällen, in denen eine Begehung nicht ausreicht, um die vorliegenden Verhältnisse zu klären, wird eine mikrobiologische Probenahme nötig. Dies ist insbesondere unter folgenden Umständen der Fall:

- ❑ zur Beweissicherung im Berufskrankheiten-Feststellungsverfahren
- ❑ zur Begründung des Handlungsbedarfs, wenn vom Unternehmer/Vermieter keine oder nur unzureichende Sanierungsmaßnahmen durchgeführt wurden
- ❑ bei schwierig zu beurteilenden Fällen, wenn die Keimemissionsquellen nicht eindeutig anzusprechen sind (z.B. Kontamination der RLT-Anlagen) oder
- ❑ ggf. zur Abklärung des Erfolgs von Sanierungsmaßnahmen

Ergibt sich nach den Ermittlungen ein Messbedarf, so müssen anhand der oben beschriebenen Informationen im Rahmen der Messplanung

3 Spezialmodule

- Messparameter
- Messverfahren
- Messorte
- Messdauer sowie
- die Anzahl der Messungen

festgelegt werden.

Grundsätzlich obliegt es dem Ermittler, die Entscheidung für eine Messung zu treffen.

Rangfolge mikrobiologischer Messungen

Aufgrund der langjährigen Erkenntnisse aus berufsgenossenschaftlichen Ermittlungen ist bei Schimmelpilzproblematiken in Innenräumen der Untersuchung von Materialproben der Vorzug vor anderen mikrobiologischen Probenahmeverfahren zu geben.

Luftmessungen sind im Zusammenhang mit Schimmelpilzen in Innenräumen nur in Ausnahmefällen sinnvoll, z.B. bei Verdacht auf eine Schimmelpilzemission aus nicht einsehbaren Gebäudeteilen, insbesondere aus raumlufttechnischen Anlagen.

Mikrobiologische Messverfahren

Die verfügbaren Messverfahren sind in folgenden Quellen zu finden:

- Luftprobenahme (Bakterien, Schimmelpilze, Endotoxine): [14 bis 17]

- Materialprobenahme: [2]
- Staubprobenahme: [2]
- Materialfeuchtebestimmung: [2]
- MVOC-Probenahme: [2]

Im mikrobiologischen Labor des Berufsgenossenschaftlichen Instituts für Arbeitsschutz – BGIA kann derzeit neben der Auswertung von Luftproben nur die Untersuchung von festen oder flüssigen Materialproben auf ihren Bakterien- und Pilzgehalt in Auftrag gegeben werden.

Die mikrobiologische Untersuchung von Staubproben ist kein Standardverfahren im Berufsgenossenschaftlichen Messsystem Gefahrstoffe (BGMG). Eine Methodenvorschrift zur standardisierten Untersuchung von Materialproben wird erarbeitet.

Für die Beurteilung der Belastung eines Raumes mit Milbenallergenen dient die Untersuchung von abgelagerten Stäuben als Referenz. Messverfahren zum Milben-(allergen)-Nachweis sind in der Literatur beispielsweise bei *Engelhart* [12] aber auch bei anderen Autoren beschrieben [18 bis 20]. Eine standardisierte Methode zum Milbennachweis, die mit den in der BGIA-Arbeitsmappe beschriebenen Verfahren vergleichbar wäre, kann derzeit jedoch nicht benannt werden.

Der einfach durchzuführende Acarex-Test ermittelt über eine Farbreaktion semiquantitativ den Guaningehalt der Staubprobe als Maß für die Milbenbelastung. Eine Differenzierung der Milbenarten wird dabei nicht durchgeführt.

Mithilfe des aufwändigen mikroskopischen Nachweises intakter Milben können auch einzelne Milbenarten differenziert werden. Der Nachweis der Milbenallergene Der p I und Der f I mittels ELISA (Enzyme-linked immunosorbent assay) stellt die Methode mit der höchsten Spezifität und Sensitivität dar. Bei Einsatz dieser Methode werden die beiden häufigsten Milbenarten anhand ihrer Hauptallergene (Der p I und Der f I) in den Fäkalpellets und Bruchstücken detektiert.

3.6.3 Beurteilung

3.6.3.1 Allgemeine Beurteilungskriterien

Da an einem Innenraumarbeitsplatz i.d.R. weder ein gezielter noch ein nicht gezielter Umgang mit biologischen Arbeitsstoffen stattfindet, ist für die Beurteilung der Arbeitsplatzsituation hier nicht die Biostoffverordnung [13], sondern die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) ausschlaggebend [4]. Biologische Agenzien, die an Innenraumarbeitsplätzen in Konzentrationen auftreten, die deutlich – z.B. 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 Verunreinigung zu bewerten.

Tabelle 47 (siehe Seite 260) enthält Vorschläge für Parameter, die zur Beurteilung der Belastung von Innenraumarbeitsplätzen mit biologischen Agenzien herangezogen werden können.

3.6.3.2 Beurteilungswerte

Der Arbeitskreis „Qualitätssicherung – Schimmelpilze in Innenräumen“ am Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg in Stuttgart hat ein umfangreiches Grundsatzpapier zur Vorgehensweise und Beurteilung von Schimmelpilzbelastungen in Innenräumen erarbeitet. Die Veröffentlichung „Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, Qualitätsmanagement“ [2] mit Schwerpunkt im häuslichen Bereich beschreibt im Kapitel 8 verschiedene Probeentnahmeverfahren für Materialproben, Luft, Staub sowie MVOC und die Beurteilung von Untersuchungsergebnissen solcher Proben aus hygienischer Sicht.

Auch die Kommission Innenraumlufthygiene des Umweltbundesamtes veröffentlichte im Dezember 2002 einen „Schimmelpilz-Leitfaden“ [3], der sich mit der Beurteilung von Schimmelpilzproblematiken in Innenräumen auseinandersetzt und kostenlos gedruckt bezogen oder als PDF-Datei im Internet heruntergeladen werden kann.

3 Spezialmodule

Tabelle 47:
Vorschläge für Messparameter zur Beurteilung der Belastung von Innenraumarbeitsplätzen mit biologischen Agenzien

Parameter	Biologisches Agens
Summenparameter	Bakterien (Gesamtkoloniezahl) Pilze (Gesamtkoloniezahl, Schimmelpilze und Hefen) Endotoxine (Zellwandbestandteile gramnegativer Bakterien)
Spezifische Gruppenparameter	Aktinomyzeten (grampositive stäbchenförmige mycelartig wachsende Bakterien) Schimmelpilze
Leitparameter (Pilz- oder Bakterienarten sowie Allergene, die in Innenräumen nicht vorkommen sollten)	<i>Aspergillus fumigatus</i> <i>Stachybotrys chartarum</i> (synonym <i>Stachybotrys atra</i> , typischer Feuchteindikator nach Wasserschäden) <i>Escherichia coli</i> (Fäkalkeim) <i>Staphylococcus aureus</i> Milbenallergen Der p I
Spezifische infektiöse Agenzien	<i>Legionella pneumophila</i> <i>Mycobacterium tuberculosis</i> <i>Pseudomonas aeruginosa</i>

Materialproben/Schimmelpilze

Aus langjährig erhobenen Ergebnissen mikrobiologischer Untersuchungen des BGIA sowie der Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW) und den auf der Bewertung dieser Untersuchungsergebnisse beruhenden Erfahrungen bei der Beurteilung von Innenraumproblematiken im Zusammenhang mit dem Auftreten von Schimmelpilzen wird der in Tabelle 48 wie-

dergegebene Vorschlag für ein Bewertungsschema aufgestellt [1]. Gesundheitliche Beschwerden finden in diesem Zusammenhang keine Berücksichtigung.

Proben mit 10^3 bis 10^5 KBE/g belegen nach diesem Bewertungsschema eine starke, Proben mit 10^6 bis 10^8 KBE/g eine sehr starke Belastung mit Schimmelpilzen. Ein niedriger Schimmelpilzgehalt kann sich kurzzeitig auch bei unzureichend sanierten

Tabelle 48:
Vorschlag für ein Bewertungsschema für mikrobiologische Untersuchungsergebnisse
von Materialproben aus Innenräumen

Gesamt-Schimmelpilze in KBE/g Material	Bewertung
0 (kein Nachweis)	Material enthält keine Schimmelpilze, keine Feuchteprobleme
kleiner 10^3	normale Hintergrund- bis geringe Schimmelpilz- belastung, i.d.R. keine Feuchteprobleme
größer 10^3	starke bis sehr starke Schimmelpilzbelastung Vorhandensein von Feuchteproblemen/Wasser- schäden etc.

Schäden ergeben (z.B. Erneuerung von Tapete/Putz, Ausbringung eines fungizidhaltigen Anstrichs o.Ä. ohne Ursachenbeseitigung).

Ein Handlungsbedarf zur Beseitigung von Feuchteschäden und deren Ursachen ergibt sich nach den bisher vorliegenden Erfahrungen und unter Berücksichtigung der bei einer Begehung gewonnenen Informationen etwa bei einem Wert von mehr als 10^3 KBE an Schimmelpilzen pro Gramm Material.

Das Vorkommen von besonderen Zeigerarten, d.h. Schimmelpilzarten, die z.B. für eine sehr hohe Materialfeuchte charakteristisch sind oder Schimmelpilzarten mit erhöhtem pathogenen Potenzial, muss bei der

Bewertung einer Innenraumsituation ggf. besonders berücksichtigt werden.

Aus dem Verständnis eines präventiven Gesundheitsschutzes heraus sollte beim Vorliegen einer Schimmelpilzproblematik als Folge eines Feuchteschadens aus allgemeinen hygienischen Gründen zunächst die Ursache beseitigt und dann für eine nachhaltige Beseitigung der Schäden gesorgt werden.

Idealerweise sollten bei der Untersuchung von Materialien neben Proben des verdächtigen Materials auch Aliquots von neuwertigem/unbenutztem Material oder aus vergleichbaren Räumen, in denen entsprechende gesundheitliche Probleme nicht bestehen, mituntersucht werden. Ergebnisse

3 Spezialmodule

aus der Untersuchung dieser Vergleichsproben dienen dann als Beurteilungsgrundlage (Referenz) für die zu bewertenden Materialien.

In die Bewertung sollten weiterhin die Artenspektren der Schimmelpilze aus den verschiedenen Materialproben miteinbezogen werden, da so beispielsweise Aussagen über das Vorhandensein von Feuchteschäden getroffen werden können. Weiterhin kann durch diese Untersuchungen geklärt werden, ob die identifizierten Arten entsprechende Materialien üblicherweise besiedeln und in der Umwelt häufig vorkommen oder ob sie sich in den entsprechenden Lebensräumen erst aufgrund der für sie besonders günstigen Lebensbedingungen (z.B. hohe Feuchtigkeit) entwickeln konnten.

Als Schimmelpilze mit hohem Zeigerwert für Feuchteschäden in Innenräumen werden beispielsweise die nachfolgend aufgeführten Gattungen und Arten beschrieben [2]:

- ☐ *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.*

Luftproben/Schimmelpilze

Während der Nachweis einer hohen Anzahl von einschlägigen Schimmelpilzarten in Materialproben aus Innenräumen einen deutlichen Hinweis auf Feuchteschäden darstellt, muss im Falle von Luftproben eine besondere Prüfung der Schimmelpilzquellen erfolgen, da die Pilzsporen in der Luft diffus verteilt sind und i.d.R. ursächlich aus verschiedenen Quellen stammen können.

In Deutschland existieren derzeit keine verbindlichen Grenzwerte oder Richtkonzentrationen zur Beurteilung der Luft an Innenraumarbeitsplätzen hinsichtlich biologischer Parameter.

Zur Charakterisierung der mikrobiellen Belastung der Luft in Innenräumen werden daher folgende Vorgehensweisen empfohlen:

**1. Heranziehen der Kriterien
„Referenzaußenluftwert“
und „Normale Innenraumlufbelastung“**

Nach Absatz 3.6 „Lüftung“ im Anhang der Arbeitsstättenverordnung [4] ist „in Arbeitsbereichen ausreichend gesundheitlich zuträgliche Atemluft zu gewährleisten“. Dies ist in Räumen mit offensichtlichem Schimmelpilzbefall nicht sichergestellt.

Gesundheitstechnische Anforderungen (VDI-Lüftungsregeln) [21] an den Betrieb von RLT-Anlagen gestellt. Diese Anlagen sollen für Aufenthaltsräume von Personen ein behagliches Raumklima und eine gesundheitlich verträgliche Raumluf schaffen. Bei guter Konstruktion, einwandfreiem Betrieb und regelmäßiger Wartung können diese Ziele grundsätzlich erreicht werden.

Vergleichbare Anforderungen werden auch in der VDI-Richtlinie 6022 [5; 6] und der Norm DIN 1946-2 „Raumluftechnik;

In Tabelle 49 sind die bei betrieblichen Messungen der Berufsgenossenschaften und des BGI in den Jahren 1998 und 1999 in unbelasteter natürlicher Außenluft gemessene

Tabelle 49:
Vorkommen von Mikroorganismen (Bakterien und Schimmelpilze) in der Außenluft

	Außenluftkonzentration in KBE/m ³ Luft	
	1998 (n = x)	1999 (n = x)
Schimmelpilze (kalte Jahreszeit)	280 (33) ¹⁾	177 (15) ²⁾
Schimmelpilze (warme Jahreszeit)	1 510 (36)	968 (15) ³⁾
Bakterien	410 (24)	162 (9)

¹⁾ Januar bis April und Oktober bis Dezember 1998

²⁾ Januar bis März 1999

³⁾ April bis Mai 1999

(n = x): Anzahl der zur Auswertung herangezogenen Messungen im Bearbeitungsjahr

kalte Jahreszeit: Januar bis März und Oktober bis November

warme Jahreszeit: April bis September

3 Spezialmodule

nen Mikroorganismenkonzentrationen (Bakterien und Schimmelpilze) dargestellt.

In der wärmeren Jahreszeit kann durch stärkeren Schimmelpilzsporenflug die Konzentration in der Außenluft und damit auch in der Innenraumlufthöhere Werte annehmen, wenn zur freien Lüftung die Fenster und/oder Türen geöffnet werden. So sind Werte von 1 000 und mehr KBE an Schimmelpilzen pro m³ Außenluft in diesen Monaten keine Besonderheit (vgl. auch [22; 23]). Häufig werden dann auch im Inneren von Gebäuden entsprechend höhere Schimmelpilzkonzentrationen verzeichnet. In solchen Fällen muss berücksichtigt werden, dass eine Schimmelpilzquelle im Innenraum unter Umständen

durch andere Quellen überlagert sein kann. Dies kann ggf. durch die Untersuchung von Materialproben und die Bestimmung und den Vergleich der jeweiligen Artenspektren geklärt werden.

Tabelle 50 enthält den **Vorschlag eines Bewertungsschemas** für Ergebnisse von Schimmelpilzmessungen in der Innenraumlufth.

Weiterhin werden in Büroräumen bei Anwesenheit mehrerer Personen – abhängig von Raumgröße und Belüftungsart – regelmäßig höhere Gehalte an Bakterien in der Luft festgestellt (mehr als 500 KBE an Bakterien pro m³ Luft). Die Ursache für solche Werte besteht im Allgemeinen in

Tabelle 50:
Vorschlag eines Bewertungsschemas für Ergebnisse mikrobiologischer Luftmessungen in Innenräumen [1]

Bestimmungsparameter in KBE/m ³ Luft	Bewertungskriterium	Ergebnis der Bewertung
Gesamtschimmelpilze und/oder Schimmelpilzartenspektrum	Innenluft weist signifikant höheren Schimmelpilzsporengehalt auf als Außenluft und/oder signifikant unterschiedliche Artenspektren in Innenluft und Außenluft	Hinweis auf eine intramurale Schimmelpilzbelastung
Vorkommen spezieller Zeigerarten (vgl. S. 262)	Vorhandensein solcher Arten	Hinweis auf Feuchteproblematik
Vorkommen pathogener Arten (ab Risikogruppe 2 nach BioStoffV)	Vorhandensein solcher Arten	aus allgemeinen hygienischen Gründen nicht akzeptabel

der Emission von Bakterien durch den Menschen.

2. Heranziehen der Empfehlungen von Experten und Fachgremien zur maximalen Belastung der Innenraumluft mit Biologischen Arbeitsstoffen

Tabelle 51 (siehe Seite 266) gibt eine Übersicht über Angaben aus der Literatur zu Mikroorganismenkonzentrationen in der Luft in Innenräumen. Hier vorgeschlagene Grenz-/Richtwerte beziehen sich vorrangig auf die Beurteilung von Ergebnissen aus der Untersuchung von Summenparametern wie „Gesamtkoloniezahl“ Bakterien, „Gesamtkoloniezahl“ Schimmelpilze oder Endotoxingehalt. Spezielle Parameter wie z.B. „Infektionserreger“ oder „Toxinproduzenten“ müssen stets gesondert betrachtet werden. Umfangreiche Ausführungen zu diesem Thema sind auch in der Ausarbeitung des Landesgesundheitsamtes Baden-Württemberg in Stuttgart enthalten [2].

Auf weiterführende Literatur wird im Literaturverzeichnis (Abschnitt 3.6.5) hingewiesen.

3.6.4 Präventions- und Sanierungsmaßnahmen

Präventions- und Sanierungsmaßnahmen zur Vermeidung von Gefährdungen durch Schim-

melpilze in Innenräumen finden sich insbesondere bei [1 bis 3; 31].

Im Fachausschuss Tiefbau, Sachgebiet „Mikrobiologie im Tiefbau“, erarbeitet der Arbeitskreis „Gebäudesanierung“ eine Handlungsanleitung zur Beurteilung der biologischen Gefährdungen bei Tätigkeiten im Rahmen der Sanierung von schimmelpilzbelasteten Gebäuden und zur Hilfestellung bei der Auswahl der jeweiligen Schutzmaßnahmen.

Eine erste Hilfe für die Sanierung von Innenräumen mit Schimmelpilzbefall bietet eine Handlungshilfe des Landesgesundheitsamts Baden-Württemberg [32]. Bei großflächigen, komplizierten und/oder immer wiederkehrenden Schäden durch Schimmelpilzbefall sollte jedoch ein qualifizierter Bausachverständiger hinzugezogen werden, da oftmals im Rahmen der Sanierung mehrere Gewerke betroffen sind, die entsprechend beauftragt und koordiniert werden müssen. So nützt das Ausbessern einer Wand mit Wasserschaden wenig, wenn der zugrunde liegende Schaden, z.B. undichtes Dach, defekte Wasserleitung oder Kältebrücke, nicht vorab beseitigt wird.

Sanierungsmaßnahmen können durch die Berufsgenossenschaften weder durchgeführt noch in Auftrag gegeben werden.

3 Spezialmodule

Tabelle 51:
Literaturdaten zur mikrobiellen Luftbelastung und Vorschläge verschiedener Autoren
für Werte zur Beurteilung dieses Parameters

Quelle	Mikrobielle Belastung/m ³ Luft	Beurteilung
<i>Rylander et al.</i> [24]	1 000 KBE 0,1 µg Endotoxine	Maximale Konzentration bei Acht-Stunden-Arbeitstag (Kläranlage)
<i>Morey et al.</i> [25]	> 1 000 KBE	in Innenräumen, bei höherer Belastung Maßnahmen erforderlich
<i>Morey et al.</i> [26]	> 500 KBE einer Schimmelpilzart	Hinweis auf Innenraumquelle
<i>Kay et al.</i> [27]	750 KBE	akzeptabel, solange es keine „Problemkeime“ sind
<i>Senkpiel et al.</i> [28]	> 100 Pilzeinheiten	in der Innenraumluft gegenüber dem Außenluftwert, Hinweis auf intramurale Belastung
<i>Malmros et al.</i> [29]	10 ⁴ KBE Bakterien bzw. 10 ³ KBE gramnegative Bakterien	akzeptable Luftkeimkonzentration am Arbeitsplatz (Abfallsortierung)
WHO [30]	> 2 µg Der p l/g Staub > 10 µg Der p l/g Staub	IgE-Reaktion bei Prädisposition Risiko akuter Asthma-Symptome
VDI-Richtlinie 6022, Blatt 1 [5]	Wert in der Zuluft im Innenraum (Bakterien, Schimmelpilze, Stäube, biologische Inhaltsstoffe) darf den entsprechenden Gehalt der Außenluft nicht überschreiten	

3.6.5 Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Biologische Einwirkungen“

[1] *Deiningner, C.*: Schimmelpilzproblematik in Innenräumen von Mitgliedsbetrieben der BGW. Schriftliche Arbeit als Teil der Prüfung zur Aufsichtsperson, BGW Präventionsdienste Würzburg Oktober 2001

[2] Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, Qualitätsmanagement. Hrsg.: Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg, Arbeitskreis „Qualitätssicherung – Schimmelpilze in Innenräumen“, Stuttgart 2001

[3] Leitfaden zur Vorbeugung, Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen („Schimmelpilz-Leitfaden“). Hrsg.: Umweltbundesamt, Innenraumlufthygienekommission, Berlin 2002

[4] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 12. August 2004. BGBl. I (2004), S. 2179

[5] VDI 6022 Blatt 1: Hygienische Anforderungen an Raumluftechnische Anlagen – Büro- und Versammlungsräume (7/98). Beuth, Berlin 1998

[6] VDI 6022 Blatt 3: Hygienische Anforderungen an Raumluftechnische Anlagen – Pro-

duktions- und Gewerbebetriebe (11/2002). Beuth, Berlin 2002

[7] Persönliche Mitteilung durch H. Linsel, 2001

[8] *Hilgers, W.*: Befeuchterlunge. Versicherungsrechtliche Konsequenzen. Zbl. Arbeitsmed. (1993) Nr. 43, S. 296-298

[9] *Janko, M.; Gould, D.; Vance, L.; Stengel, C.; Flack, J.*: Dust mite allergens in the office environment. AIHA J. (1995) Nr. 56, S. 1133-1140

[10] *Teeuw, K.B.*: Sick Building Syndrome. Dissertat., Univ. Utrecht 1993

[11] *Johanning, E.; Biagini, R.; Hall, D.; Morey, P.; Jarvis, B.; Landsbergis, P.*: Health and immunology study following exposure to toxigenic fungi (*Stachybotrys chartarum*) in a water-damaged office environment. Int. Arch. Occup. Environm. Health 68 (1996), S. 207-218

[12] *Engelhart, S.*: Biologische Innenraumlufverunreinigungen. In: Handbuch für Bioklima und Lüfthygiene. Ecomed, Landsberg, Erg.-Lfg. 3/2000, S. 1

[13] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen (Biostoffverordnung –

3 Spezialmodule

BioStoffV) vom 27. Januar 1999. BGBl. I S. 50; geänd. am 18. Oktober 1999, BGBl. I, S. 2059

[14] Verfahren zur Bestimmung der Bakterienkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (Kennzahl 9430). In: BGIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 32. Lfg. IV/04. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA, Sankt Augustin. Erich Schmidt, Bielefeld – Losebl.-Ausg. 1989

[15] Verfahren zur Bestimmung der Endotoxinkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (Kennzahl 9450). In: BGIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 28. Lfg. IV/02. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA, Sankt Augustin. Erich Schmidt, Bielefeld – Losebl.-Ausg. 1989

[16] Verfahren zur Bestimmung der Schimmelpilzkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (Kennzahl 9420). In: BGIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 30. Lfg. 4/03. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA, Sankt Augustin. Erich Schmidt, Bielefeld – Losebl.-Ausg. 1989

[17] Verfahren zur Bestimmung der Aktinomyzetenkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (Filtration). KAN-Bericht 13, 2. erw.

Aufl. Hrsg.: Kommission Arbeitsschutz und Normung, Sankt Augustin 1999

[18] *Platts-Mills, A.E.; Thomas, W.R.; Aalberse, R.; Vervolvet, D.; Chapman, M.D.*: Dust mite allergens and asthma: Report of a second international Workshop. *J. Allergy Clin. Immunol.* 89 (1992), S. 1046-1060

[19] *Pope, A.M.; Patterson, R.; Burge, H.*: Indoor allergens – assessing and controlling adverse health effects. National Academy Press, Washington DC 1993

[20] *Platts-Mills, A.E.; Vervolvet, D.; Thomas, W.R.; Aalberse, R.; Chapman, M.D.*: Indoor allergens and asthma. Report of the third international Workshop. *J. Allergy Clin. Immunol.* 100 (1997), S. 2-24

[21] DIN 1946-2: Raumluftechnik; Gesundheitstechnische Anforderungen (VDH-Lüftungsregeln) (01.94). Beuth, Berlin 1994

[22] *Klein, H.-A.; Pipke, R.; Allescher, W.*: Biostoffverordnung – Kommentar. Carl-Heymanns-Verlag, Köln 2000

[23] *Mücke, W.; Lemmen, C.*: Schimmelpilze in der Umwelt. Hrsg.: Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München 1998

- [24] *Rylander, R.; Lundholm, M.; Clark, C.S.*: Exposure to aerosols of microorganism and toxins during handling of sewage sludge. In: Wallis, P.M.; Lehmann, D.L. (Hrsg.): Biological health risk of sludge disposal to land in cold climates. University of Calgary Press (1983), S. 69-78
- [25] *Morey, P.R.; Hodgson, M.J.; Sorenson, W.G.; Kulman, G.J.; Rhodes, W.W., Visvesvara, G.S.*: Environmental studies in moldy offices buildings: biological agents, sources and preventive measure. Ann. Amer. Conf. Gov. Ind. Hyg. (1984) Nr. 10, S. 21-35
- [26] *Morey, P.R.; Chatigny, M.; Otten, J.; Feeley, J.; Burge, H.; La Force, F.M.; Person, K.*: Airborne viable microorganisms in office environments: Sampling protocol and analytical procedure (Draft Report). Appl. Ind. Hyg. 1 (1986) R19-R23
- [27] *Kay, J.G.; Keller, G.E.; Miller, J.F.*: Indoor air pollution. Radon, Bioaerosols & VOC's. CRC Lewis Publishers, Boca Raton, Florida 1991
- [28] *Senkpiel, K.; Ohgke, H.*: Beurteilung der „Schimmelpilz“-Sporenkonzentration der Innenraumluft und ihre gesundheitlichen Auswirkungen. gi 113 (1992) S. 42-45
- [29] *Malmros, P.; Sigsgaard, T.; Bach, B.*: Occupational health problems due to garbage sorting. Waste Manage. Res. (1992) Nr. 10, S. 227-234
- [30] World Health Organisation (WHO): Indoor air quality: biological contaminants. Report on a WHO meeting. Rautavaara, August/September 1988. WHO Regional Publ., European Series No. 31
- [31] *Bieberstein, H.*: Schimmelpilz in Wohnräumen – Was tun? alpha & omega, Stuttgart 1993
- [32] Handlungsempfehlung für die Sanierung von mit Schimmelpilzen befallenen Innenräumen. Hrsg.: Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg, Stuttgart 2004
- [33] *Anderson, E.L.; Albert, R.E.* (Eds.): Risk Assessment and Indoor Air Quality. CRC Lewis Publishers, Boca Raton, Florida 1999
- [34] *Flannigan, B.; Samson, R.A., Miller, J.D.*: Microorganisms in Home and Indoor Work Environments. Taylor & Francis, London 2001

3 Spezialmodule

[35] Keller, R.; Senkpiel, K.; Samson, R.A., Hoekstra, E.S.: Umgebungsanalyse bei gesundheitlichen Beschwerden durch mikrobielle Belastungen im Innenraum. Bd. 6. Schriftenreihe des Instituts für medizinische Mikrobiologie und Hygiene der Universität zu Lübeck, 2002

[36] Lotz, A.; Hammacher, P.: Schimmelschäden vermeiden. Bauphysikalische Grundlagen – Analyse und Ursachen – Hin-

weise zur Vermeidung und Sanierung. Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 2001

[37] Topthema Schimmelpilz. Vbn-Info-Sonderheft. Hrsg.: Verband der Bausachverständigen Norddeutschlands e.V., Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 2001

[38] Feuchtigkeit und Schimmelbildung in Wohnräumen. Hrsg.: Verbraucherzentrale Bundesverband e.V. (vzbv), 2002

3.7 Faktoren psychischer Arbeitsbelastung

*K. Lüken, Sankt Augustin
G. Eckhardt, Dresden*

3.7.1 Einführung

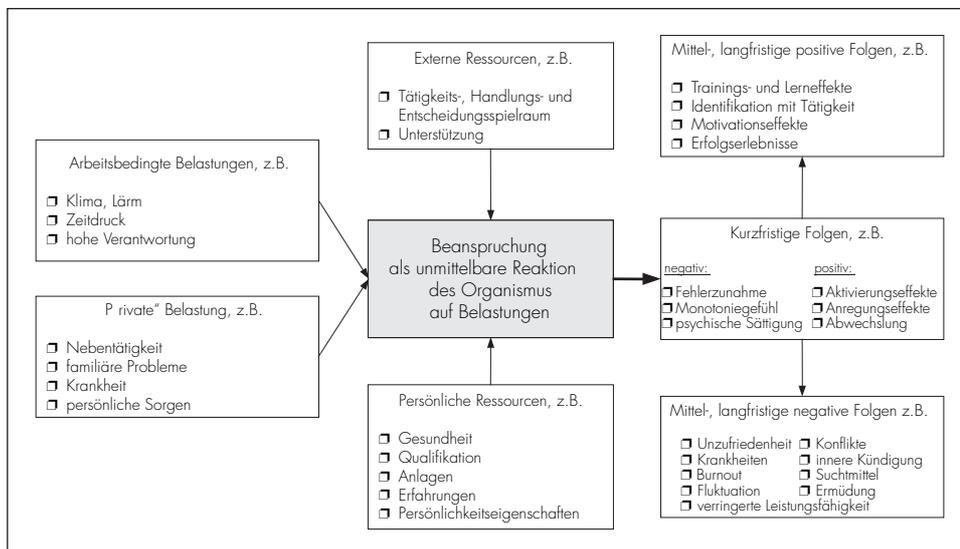
Personen, die sich mit Innenraumproblemen befassen, stehen vor der Schwierigkeit, eine eindeutige, durch die in den vorhergehenden Abschnitten vorgestellten Faktoren bedingte Ursache für geäußerte gesundheitliche Beschwerden zu ermitteln. Diese Eindeutigkeit ist jedoch oft nicht gegeben. In solchen Fällen ist es sinnvoll, psychische Faktoren in den Pool möglicher Ursachen für Beschwerdeverhalten aufzunehmen und näher zu untersuchen. Psychische Fehlbeanspruchungsfolgen weisen in vielen Fällen vergleichbare Symptome auf wie z.B. durch Gefahrstoffe hervorgerufene Beschwerden. Betroffene Personen führen ihre Beschwerden wie z.B. Kopfschmerzen oder Nervosität häufig auf äußere Umstände wie beispielsweise Gefahrstoffe zurück, auch wenn überhaupt keine Gefahrstoffbelastung vorliegt. Gefahrstoffe werden als wahrscheinliche Verursacher wahrgenommen, da sie als kaum oder gar nicht von der Person beeinflussbar gelten. Insbesondere die für die Person wahrnehmbaren negativen Beanspruchungsfolgen, z.B. Fehlerzunahme oder

Krankheit, motivieren die Suche nach einer erklärenden Ursache. Psychische Ursachen werden aus den o.g. Gründen selten in Betracht gezogen. In diesem Zusammenhang ist das Öfteren von „verdeckten“ Ursachen die Rede.

Neben den unmittelbaren Belastungen durch Gefahrstoffe, das Klima oder andere externe Faktoren ist in gleichem Maße zu berücksichtigen, wie das Individuum mit diesen Belastungen umgeht (vgl. hierzu DIN EN ISO 10075 „Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung“ Teil 1: Allgemeines und Begriffe [1] und Teil 2: Gestaltungsgrundsätze [2]). Das erweiterte Belastungs-Beanspruchungs-Konzept [3] gibt einen guten Überblick darüber, auf welche Art und Weise arbeitsplatzspezifische Merkmale zur Ausbildung kurz-, mittel- und langfristiger Fehlbeanspruchungsfolgen führen können (vgl. Abbildung 38 auf Seite 272). Diese entstehen nach dem Modell dann, wenn die belasteten Personen auf keine entsprechenden Bewältigungsmuster (im Modell: persönliche oder externe Ressourcen) zugreifen (können). So könnten beispielsweise Beschwerden wie Ermüdung oder verminderte Leistungsfähigkeit unter anderem auf ein Ungleichgewicht zwischen einer Arbeitsaufgabe, die den ganzen Tag über eine hohe Konzentrationsleistung voraussetzt (belastender Faktor), und der Möglichkeit zur Pause (externe Ressource) zurückgeführt werden.

3 Spezialmodule

Abbildung 38:
Erweitertes Belastungs-Beanspruchungs-Modell [3]



Neben arbeitsplatzspezifischen Merkmalen gibt es noch eine Reihe weiterer psychischer Variablen, die einen Einfluss auf das Beschwerdeverhalten über Innenraumarbeitsplätze ausüben können, z.B. Mobbing, psychische Störungen oder Angst um den eigenen Arbeitsplatz. Ihre spezielle Erläuterung und Untersuchung würde jedoch den Rahmen dieser Anwendungsempfehlung sprengen. Individuelle psychische Störungen beispielweise können und sollen nicht Gegenstand einer

allgemeinen Anwendungsempfehlung sein. Ihre Untersuchung setzt die Analyse personenbezogener (privater) und nicht mehr bedingungsbezogener (arbeitsplatzbezogener) Daten voraus, was diplompsychologische Fachkenntnis erfordert. Die hier thematisierten Aspekte beziehen sich auf die Analyse arbeitsplatzspezifischer Merkmale. Durch ihre Veränderung kann eine Beanspruchungsoptimierung erfolgen und somit Fehlbeanspruchungsfolgen vorgebeugt werden.

3.7.2 Erhebungsmethoden

Eine grobe Orientierung über das Vorhandensein von Fehlbeanspruchungsfolgen und ihnen zugrunde liegende arbeitsplatzspezifische Merkmale ermöglichen die in der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) entwickelten Checklisten zur Erfassung von Fehlbeanspruchungsfolgen (ChEF) [4; 5]. Sie wurden bereits in einigen Projekten der TU Dresden in Kooperation mit der Maschinenbau- und Metall-Berufsgenossenschaft (Technischer Aufsichtsdienst Dresden) in der Praxis getestet. Die Listen decken die Dimensionen „Stress“, „Psychische Ermüdung“, „Monotonie“ und „Psychische Sättigung“ ab und bestehen aus jeweils 15 bis 18 Aussagen zur Selbst- bzw. Fremdeinschätzung. Die enthaltenen Merkmale entsprechen dem aktuellen Stand der arbeitspsychologischen Forschung. Die Checklisten geben einen guten und differenzierenden Überblick über mögliche beeinträchtigende Folgen psychischer Belastung bei der Ausführung von Arbeitstätigkeiten. Da die Checklisten in ihrem Aufbau den im Arbeitsschutz häufig eingesetzten Prüflisten ähneln, ihr Einsatz zudem sehr ökonomisch ist (pro Person ca. 20 bis 30 Minuten für alle vier Listen) und sie auch von Nicht-Psychologen eingesetzt werden können, sind sie zu einer ersten groben Erfassung o.g. Merkmale zu empfehlen. Bei ihrem Einsatz ist jedoch zu berücksichtigen, dass es sich zum gegen-

wärtigen Zeitpunkt um ein noch nicht hinreichend validiertes und normiertes Verfahren handelt, was die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zunächst einmal einschränkt. Weitere Ergebnisse aus Untersuchungen zur Überprüfung der Validität der Checklisten sind von der BAuA bereits angekündigt. Darüber hinaus wird der Einsatz der Checklisten auch von berufsgenossenschaftlicher Seite fortlaufend evaluiert.

3.7.3 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. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt existieren beispielsweise noch keine Grenzwerte.
- ❑ Als Grundvoraussetzung für den Einsatz der ChEF in der betrieblichen Praxis gilt das Einverständnis aller Verantwortlichen

3 Spezialmodule

und Beteiligten (Unternehmer, Führungskräfte, Beschäftigte, Betriebs- und Personalräte usw.).

Für jede Arbeitstätigkeit erfolgt eine gesonderte Einschätzung. Dabei können auch Arbeitstätigkeiten, die an verschiedenen Arbeitsplätzen ausgeführt werden, als Einheit ausgewertet werden. Ebenso ist eine Bewertung von Tätigkeiten möglich, die von mehreren Beschäftigten ausgeübt werden. Das Zutreffen der in den Checklisten aufgeführten Merkmale wird mit ja/nein eingeschätzt. Nicht einschätzbare Merkmale werden nicht angekreuzt. Für die Fremdeinschätzung (z.B. durch Technische Aufsichtspersonen) und die Selbsteinschätzung (durch die Beschäftigten) existieren gesonderte Listen. Zum Vergleich von Selbst- und Fremdeinschätzung sind zusätzlich Arbeitsblätter enthalten.

Die Anwendung der ChEF erfolgt idealerweise in der Form, dass die Fragebögen zur Selbsteinschätzung von den Mitarbeitern ausgefüllt werden, während beispielsweise die untersuchende(n) Person(en) Fremdeinschätzungen mit den entsprechenden Fragebögen vornimmt bzw. vornehmen. 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, die mithilfe der Arbeitsblätter vor-

genommen werden können, ergeben sich dann mögliche Ansatzpunkte zur Optimierung arbeitsplatzspezifischer Merkmale. Sollte es aus bestimmten Gründen nicht möglich sein, sowohl Fremd- als auch Selbsteinschätzungen vorzunehmen, dann können die jeweiligen Erhebungsarten auch für sich allein Anwendung finden.

Die Auswertung der Fragebögen erfolgt in erster Linie – wie bereits erwähnt – qualitativ. Aus den mit „ja“ beantworteten Merkmalen können Gestaltungsnotwendigkeiten abgeleitet werden, wenn sie von den Beschäftigten als bedeutend eingeschätzt werden. Darüber hinaus wird ein eher quantitatives Vorgehen empfohlen, indem die Anzahl der mit „ja“ beantworteten Merkmale ermittelt wird. Je mehr Merkmale angekreuzt werden, desto wahrscheinlicher liegt die entsprechende Fehlbeanspruchungsfolge vor.

Wie bereits anfangs angedeutet, lässt sich aufgrund mangelnder empirischer Längsschnittstudien zum gegenwärtigen Zeitpunkt (noch) keine direkte 1-zu-1-Zuordnung von speziellen Arbeitsplatzmerkmalen zu konkreten Fehlbelastungsfolgen herstellen. Dennoch dient das vorgestellte Verfahren dazu, auch dem ungeschulten Anwender ein Instrumentarium an die Hand zu geben, das eine grobe Einschätzung psychischer Fehlbelastungsfolgen und erste Hinweise auf die ihnen zugrunde liegenden Ursachen zulässt. Für

weitergehende (personenbezogene) Analysen muss auf spezielle arbeitswissenschaftliche bzw. arbeitspsychologische Instrumentarien zurückgegriffen werden, die allerdings den Einsatz von Arbeitswissenschaftlern oder Psychologen erfordern. Eine gute Übersicht über geeignete Verfahren liefert die Tool-Box der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, die auf deren Internetseiten unter der Rubrik „Praxis“ abzurufen ist [6]. Die uns – mit freundlicher Genehmigung der BAuA – zur Verfügung gestellten Checklisten können hier ebenfalls gelesen und heruntergeladen werden.

3.7.4 Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Faktoren psychischer Arbeitsbelastung“

[1] DIN EN ISO 10075-1: Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung – Teil 1: Allgemeines und Begriffe (11/00). Beuth, Berlin 2000

[2] DIN EN ISO 10075-2: Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeits-

belastung – Teil 2: Gestaltungsgrundsätze (06/00). Beuth, Berlin 2000

[3] Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (2002). Leitfaden Psychische Belastungen für Aufsichtspersonen der gewerblichen Berufsgenossenschaften, S. 13, unveröffentlicht (derzeit in Erprobung)

[4] Richter, G.: Psychische Belastung und Beanspruchung – Stress, psychische Ermüdung, Monotonie, psychische Sättigung. 3. Aufl. Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven 2000

[5] Richter, G.: Checklisten zur Erfassung von Fehlbeanspruchungsfolgen. In: Pickshaus, K.; Schmitthenner, H.; Urban, H.-J.: Arbeiten ohne Ende. Neue Arbeitsverhältnisse und gewerkschaftliche Arbeitspolitik. VSA, Hamburg 2001

[6] Richter, G.; Kuhn, K.: Toolbox – Instrumente zur Erfassung psychischer Belastungen. Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund 2002

4 Stichwortverzeichnis

Abluftanlage	56
AgBB	62
Aktivität	113, 115
Aldehyde	214, 216
Allergien	252
Analytik	215
Anordnung von Arbeitsmitteln	93
arbeitsmedizinische Untersuchungen	52
Arbeitsplatzgestaltung	93, 122, 126
Arbeitsplatzgrenzwerte	221
Arbeitsstättenverordnung	222
Arbeitsumfeld	38
Aromaöle	49
Asbest	193, 218
Atmungsorgane	117
Augen	118
Ausdünstungen	61, 63
Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten	62
Außenluftkonzentrationen	239, 263
Außenluftmessung	239
Auswerteschemata	30
Bakterien	248, 263
Bauchemikalien	63, 64
Baustoffe	61, 63, 64, 189
Befeuchterfieber	254
Befeuchterwasser	59
Behaglichkeit	104
Behaglichkeitsbereich	104, 106
Behaglichkeitsfaktoren	113
Bekleidungsisoliation	114, 116
Belastungs-Beanspruchungs-Konzept	271
Beleuchtung	122
Beleuchtung, Wartungswerte	124, 136, 145

4 Stichwortverzeichnis

Beleuchtungsanlagen, Planung	127
Beleuchtungsanlagen, Überprüfung	137
Beleuchtungsanlagen, Wartung und Instandhaltung	135
Beleuchtungsart	133
Beleuchtungskonzepte	128
Beleuchtungsniveau	123
Beleuchtungsstärkemessung	138
Beleuchtungsstärken	123, 128, 134, 131, 138, 144
Benzol	77, 79
Beschichtungssystem	64, 67, 68
Betriebsarzt	52
Beurteilungspegel	97, 98, 101
Beurteilungspegel, Richtwerte	97
BG-Grundsatz G 37	93
BGIA-Messverfahren	216, 239
BG-PRÜFZERT-Zeichen	76, 80, 86
Bildschirmarbeitsplatz	93, 122
Bildschirmgeräte	83, 89, 93, 165
Biozide	202
Blauer Engel	67, 72, 77, 81
Blendung	122, 125, 126, 134, 145
Bodenbeläge	64, 70, 198
Call-Center	118
Carbamate	206
ChEF	273
Computermonitore	83, 89
CRT-Bildschirme	83, 89
Dämmstoffe	64
DDT	203
DECT-Anlagen	167, 169
Desinfektionsmittel	63, 197, 199
Dichlordiphenyltrichlorethan	203
Dichtungssystem	64

Dioxine	202
Direktbeleuchtung	134
Direktblendung	122, 125, 126, 134, 145
Dufflampen	49
E-Klassen für Holzwerkstoffe	66, 197
elektrische Feldstärke	173
Elektrogeräte	160
elektromagnetische Felder	85, 148, 153, 157, 160, 171, 175
elektromagnetische Verträglichkeit	87
elektromagnetische Wellen	157, 158
Elektrosmog	159
Elektrostatik	148
elektrostatische Aufladungen	85, 149, 175
elektrostatische Felder	84, 148, 175
EMICODE	70, 71
Emissionscharakteristik	210
Emissionsquellen	72, 189, 210, 239, 242
Emissionsrate	61
Endotoxine	249, 254
Energieumsatz	113, 115
Energieversorgungsanlagen	163, 176
Ergonomie	93
Ermittlungskonzept	16
Farben	198, 200
Farbtoner	76
Farbwiedergabe	127, 139, 143
Faserstäube	192, 226
Fehlbeanspruchungsfolgen	271
feuchte Luft	119
Filterklassen	58, 59
Flachbildschirme	83, 89
Flammschutzmittel	199
Flimmererscheinungen	127, 140

4 Stichwortverzeichnis

flüchtige organische Verbindungen	62, 70, 75, 77, 79, 198, 214, 216, 227, 255
Flüssigkristalldisplays	83, 89
Formaldehyd	61, 66, 67, 197, 218, 226
Formaldehydemission	66
freie Lüftung	55, 56
Freileitungen	164
Fugendichtungsmassen	199
Fungizide	202
Furane	202
Fußbodenbeläge	64, 69, 70
Gebäudemängel	54
Gebäudeparameter	54
Gefahrstoffmessung	210
Gemeinschaft emissionskontrollierte Verlegewerkstoffe	70
Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden	70
Geräuschemissionskennwerte	102
Geräuschmission	96, 100
Geräuschmessung	100
Geruch	45, 119
Geruchsbelästigungen	47, 55, 119, 195, 229
Geruchsempfindlichkeit	46, 119
Geruchsimmissionen	47
Geruchsrezeptoren	45
Geruchsschwellenwerte	47, 48
Geruchssinn	45
Geruchsstoffkonzentration	49
Gesamtkeimzahl im Befeuchterwasser	59
Gesellschaft für Umweltchemie	233
gesundheitliche Beschwerden	22, 52
GISBAU	69
GISCODE	69
Glanzgrad	125, 139, 145
Gleichfelder	155

Grenzwerte	171, 221
GS-Zeichen	86
GuT-Siegel	70
Handys	168
Hardware	93
Harnstoff-Formaldehyd-Harze	65, 197
Hausstaubmilben	254
Haut	118
Heizungsanlagen	55
Helligkeit	124
Herzschrittmacher	174
hochfrequente Felder	157, 158, 165
Hochspannungsleitungen	165
Holzschutzmittel	61, 65, 202
Holzwerkstoffe	64, 65
Hygieneanforderungen an RLT-Anlagen	58, 263
Hygieneinspektion von RLT-Anlagen	58, 59, 248
Hygieneschulung	59
Hylotox	203
Indirektbeleuchtung	135
Infektionsrisiko	256
Innenraum, Definition	17
Innenraumausstattung	61
Innenraumlufthygienekommission	227, 244, 259
Innenraumrichtwerte	227, 244
Innenraumstudie Büro	214, 230, 239
Insektizide	202, 206
Instandhaltung von RLT-Anlagen	58, 59
ionisierende Strahlung	84, 89, 179
IR-Strahlung	88
Isocyanate	66
kalte Arbeitsumgebung	106
Kathodenstrahlgeräte	83, 89
Keimquellen	250

4 Stichwortverzeichnis

Klebstoffe	65, 67, 69, 70, 71
Klima	104
Klimaanlagen	55, 56
Klimabereiche	106
Klimabeurteilung	105
Klimaempfinden	104, 115
Klimafaktoren	108
Klimaparameter	59
Kohlendioxid	195, 214, 226
Kohlenmonoxid	244
Kopierer	75, 79
Körperhaltung	94
Lacke	67, 68, 197, 198, 200
Lampen	143, 200
Lärm	96
Lärmbelästigung durch RLT-Anlagen	59
Lärmexpositionspegel	97
Lärmschwerhörigkeit	96
Laserdrucker	75, 79
LCD-Displays	83, 89
Legionellen	59, 256
Leistungsflussdichte	172
Leuchtdichteverteilung	124, 126, 145
Leuchte	143, 200
LGA-schadstoffgeprüft	81
Lichtstrom	143
Lichtfarbe	127, 139, 143
Lichtstärke	144
limbisches System	45
Lindan	203, 218
Lösungsmittel	67, 69, 198
Luftbefeuchter	55, 59, 251, 256
Luftfeuchte	104, 113, 116, 152
Luftfilter	58, 59, 251

Luftgeschwindigkeit	104, 111
Luftgeschwindigkeitsmessung	112
Lufthygiene	119, 263
Luftmengenmessung	58
Luftqualität	55, 195, 222, 226
Luftströme	57
Lufttechnik	55
Lufttemperatur	104, 108
Lufttemperaturgradient	110
Lüftungsanlagen	55, 56, 111, 183, 190, 250, 256
Luftverunreinigungen	189, 212
magnetische Flusssdichte	173
maschinelle Lüftung	55, 57
Messstrategie	210
Messverfahren, mikrobiologische	257
Metalle in Tonern	76
mikrobiologische Messungen	257
Mikroorganismen	199, 248
Mikroorganismenkonzentrationen	265
Mikrowellenherde	170
MIK-Werte	225
Milben	248, 253, 258
Mineralfasern	192
Mobbing	272
Möbel	61, 63, 190, 198
Mobilfunkgeräte	168
Mobilfunkstationen	167
Monitore	83, 89, 165
Monotonie	273
Montageschäume	65
Muskel-Skelett-System	94
MVOC	199, 255
Mykotoxine	249, 255

4 Stichwortverzeichnis

Naphthalin	228
niederfrequente Felder	155, 157, 160
Nitrosamine	193
Nocebo-Effekt	47
Odorierung	49
Olfaktometrie	48
operative Raumtemperatur	109, 116, 118
Optische Strahlung	88
Ozon	75, 77, 79, 196, 218, 226
Ozonfilter	77, 79
PAK	193, 218
Passivrauch	194
PCB	199, 218
PCP	202, 228
Pentachlorphenol	202, 218, 228
Perzentile	230
Pettenkofer	226
Pflegemittel	61
Phenol-Formaldehyd-Harze	65, 66
Phosphorsäureester	206
Pinen	228
Placebo-Effekt	47
PMV-Index	115, 117
Polychlorierte Biphenyle	199, 218
PPD-Index	115, 117
Probenahme	215
Produktmissionen	63
Prüfkammerverfahren	67, 72
Psychische Ermüdung	273
psychische Faktoren	271
Psychische Sättigung	273
Pyrethroide	206
Quecksilber	244
Quellen von Luftverunreinigungen	72, 189, 210, 239, 242

Radon	179
Radonkonzentration	181, 182
Rauchen	193
Raumklima	104, 115
Raumklimabeurteilung	105
Raumklimacheck	104, 105
Raumklimafaktoren	108
Raumklimamessung	58
Raumluftqualität	55, 195, 222, 226
Raumlufttechnik	55
Raumtextilien	63
Referenzwerte	224, 229
Reflexblendung	122, 125, 126, 134, 146
Reflexionsgrad	125, 139, 145
Reflexionsklasse	125
Reinigungsmittel	61, 63, 64, 199
repetitive Bewegung	94
Riechepithelien	45
Richtwerte	97, 172, 183, 221, 227, 244, 265
RLT-Anlagen	55, 56, 57, 111, 190, 248, 250, 251, 256, 263
RLT-Anlagen, Instandhaltung	58
RLT-Anlagen, Wartung	58
Röntgenstrahlung	84
runder Tisch	19
Sanierungsmaßnahmen	54, 185, 265
SAR	159, 169, 172
Schadstoffmessung	212
Schadstoffquellen	72, 189, 210, 239, 242
Schalldruckpegel	96, 98
Schallpegel, Richtwerte	97
Schallpegelmesser	99
Schallpegelmessung	99

4 Stichwortverzeichnis

Schattigkeit	127
Schimmelpilze	119, 248, 260, 262
Schwangere	84, 89, 165
Schwarztoner	76
Schweigepflicht	52
Schweißverdunstung	119
Software	93
Spanplatten	61, 65, 197
Spanplatten, "E"-Klassen	66, 197
spezifische Absorptionsrate	159, 169, 172
statische Elektrizität	149, 152, 175
statische Felder	155
Stäube	75, 192, 218, 224
Staubgrenzwert	224
Stickstoffdioxid	244
Störströme	85
Strahlenbelastung	179
Strahlungsemission	88
Strahlungsgrenzwerte	86
Strahlungstemperatur	109, 110
Strahlungstemperatur-Asymmetrie	111
Stress	273
Styrol	78, 79, 228
Tabakrauch	193, 197, 199
Tageslicht	122, 126
Tapeten	64, 250
TCO-Gütesiegel	86
Teer	193
Teilklimaanlagen	55, 56
Temperatur	104, 108
Temperaturgradient	110
Temperaturschichtung	110
Teppichböden	70, 197, 250
Teppichkleber	70

TFT-Bildschirme	83, 89
Toluol	228
Toner	75, 76, 79, 80
Tonerkassettenwechsel	79
Tonerstaub	75, 76, 79
trockene Luft	116
Turbulenzgrad	112
TVOC	67, 214, 216, 227
UGR-Wert	125, 145
Umgebungsflächentemperaturen	111
Umluftanlagen	57
Umweltsurvey	233
Umweltzeichen	67, 72, 81
UV-Strahlung	88
Verlegewerkstoffe	69, 70
Viren	248
VOC	62, 70, 75, 77, 79, 198, 214, 216, 227, 255
warme Arbeitsumgebung	107
Wartung von RLT-Anlagen	58, 59
Wartungsplan für Beleuchtungsanlagen	136
Wartungswerte für die Beleuchtung	124, 136, 145
Wasserlacke	68
Wasserschäden	54, 248, 261, 265
Weichmacher	199
Wireless-LAN-Systeme	165
WLAN	165
Zimmerpflanzen	189
Zugluft	104, 111

Anhang Übersicht über die Erhebungsbögen

Erhebungsbogen		Erscheinungsort
G1	Einzelenerhebung – Gesundheitliche Situation am Arbeitsplatz	Report S. 23
G2	Kollektiverhebung – Gesundheitliche Situation am Arbeitsplatz	Report S. 27
G3	Grunderhebung – Arbeitsumfeld	Report S. 39
S1	Spezialerhebung – Gesundheitliche Situation außerhalb des Arbeitsplatzes	nur im Internet*)
S2	Spezialerhebung – Gebäude	nur im Internet*)
S3 A	Spezialerhebung – Spezielle Angaben zur raumluftechnischen Anlage (RLT-Anlage)	nur im Internet*)
S3 B	Spezialerhebung – Spezielle Angaben zu Luftbefeuchtern	nur im Internet*)
S3 C	Spezialerhebung – Heizungsanlagen	nur im Internet*)
S4	Spezialerhebung – Bauliche Raumausstattung und deren Zustand	nur im Internet*)
S5	Spezialerhebung – Möbel und Raumtextilien	nur im Internet*)
S6	Spezialerhebung – Reinigungsmaßnahmen	nur im Internet*)
S7	Spezialerhebung – Arbeitsplatzumgebung und Arbeitsmittel	nur im Internet*)
S8	Spezialerhebung – Lärm	nur im Internet*)
S9	Spezialerhebung – Raumklima	Report S. 105
S10	Spezialerhebung – Beleuchtung	Report S. 141
S11	Spezialerhebung – Feuchte- und Schimmelpilzproblematik in Innenräumen	nur im Internet*)
ChEF	Checklisten zur Erfassung von Fehlbeanspruchungsfolgen	nur im Internet*)

*) www.hvbg.de, Webcode: 1506447