



PlanungsPraxis

Thomas Hartmann ■ Ehrenfried Heinz ■ Andreas Nordhoff



Lüftung in Wohngebäuden

Planung und Umsetzung nach DIN 1946-6

2. aktualisierte Auflage

PlanungsPraxis

Thomas Hartmann ■ Ehrenfried
Heinz ■ Andreas Nordhoff



Lüftung in Wohngebäuden

Planung und Umsetzung nach
DIN 1946-6
2. aktualisierte Auflage

www.planungs.praxis.de



Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

© by



FORUM VERLAG HERKERT GMBH
Mandichostraße 18, 86504 Merching
Tel.: +49 (0)8233 381-123
Fax: +49 (0)08233 381-222
E-Mail: service@forum-verlag.com
Internet: forum-verlag.com

Alle Angaben in diesem Verlagserzeugnis sind nach dem aktuellen Stand von Recht, Wissenschaft und Technik zum Druckzeitpunkt hergestellt.

Der Verlag übernimmt keine Gewähr für Druckfehler und inhaltliche Fehler. Alle Rechte vorbehalten, Nachdruck - auch auszugsweise - nicht gestattet.

*Satz: Röser MEDIA GmbH & Co. KG, 76133 Karlsruhe
© 2020, Angaben ohne Gewähr*

*Titelfoto/-illustration: © johannespreter -
adobe.stock.com*

© Paylessimages - adobe.stock.com

ISBN 978-3-96314-291-8

Inhalte aus Normen und Richtlinien, wiedergegeben mit Erlaubnis des „Verein Deutscher Ingenieure e.V.“ und des „Deutschen Instituts für Normung e.V.“

Dieses Verlagserzeugnis wurde nach bestem Wissen und nach dem aktuellen Stand von Recht, Wissenschaft und Technik zum Druckzeitpunkt erstellt. Der Verlag übernimmt keine Gewähr für Druckfehler und inhaltliche Fehler.

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in elektronischen Systemen.

Hinweis: Aus Gründen der besseren Lesbarkeit und Einfachheit wird in den folgenden Texten meist die männliche Form verwendet. Die verwendeten Bezeichnungen sind als geschlechtsneutral bzw. als Oberbegriffe zu interpretieren und gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.

Vorwort

Nach den aktuellen Bauvorschriften müssen neue und umfassend zu modernisierende Gebäude energieeffizient und aus diesem Grunde auch luftdicht entsprechend dem Stand der Technik ausgeführt werden. Das hat zur Folge, dass in vielen Wohnungen der für die Einhaltung der Anforderungen an Bautenschutz und Hygiene notwendige Luftaustausch nicht mehr wie früher über vorhandene Undichtheiten weitestgehend im Selbstlauf gewährleistet ist. Die bekannten Folgen können unerwünschte Feuchte- und Schimmelpilzschäden und u. U. sogar ein gesundheitsschädlicher Raumlufzustand sein!

In diesem Planungshandbuch werden auf der Basis der einschlägigen technischen Regeln, in der Hauptsache aber der DIN 1946-6:2019-12 sowie ergänzend für fensterlose Bad-/WC-Räume der DIN 18017-3:2020, umfangreiche Hinweise für die Planung präventiver Lüftungstechnischer Maßnahmen gegeben. Sie richten sich nicht nur an Architekten und Lüftungsplaner. Auch potenzielle Bauherren und spätere Nutzer werden in die Lage versetzt, sich einen umfassenden Überblick über die Probleme der Wohnungslüftung einschließlich ihrer Lösungsmöglichkeiten zu verschaffen.

Im einführenden **Abschnitt 1** werden die grundlegenden Anforderungen an die Wohnungslüftung beschrieben. Neben der Qualität der Raumluf in Abhängigkeit von der Geruchs- und

Schadstoffbelastung wird gezeigt, wie groß die täglich in Abhängigkeit von der Haushaltsgröße frei werdende Feuchtemenge ist und welche Auswirkungen lüftungstechnische Maßnahmen auf das thermische Raumklima als Maß für die Behaglichkeit in allen Aufenthaltsräumen haben können.

Welche (Außen-)Luftmengen in Abhängigkeit aller relevanten Einflussfaktoren für die Erfüllung der Anforderungen benötigt werden, ist Gegenstand des **Abschnitts 2**. Dabei wird vornehmlich die Einhaltung der zur Vermeidung von Feuchteschäden zulässigen Raumluftfeuchte und die Minderung erhöhter Schadstoffkonzentrationen thematisiert. Die Berechnung der anrechenbaren Infiltrations- (Außen-)Luftvolumenströme beschließt den Abschnitt.

Wie die geplanten Luftmengen in die Räume der Wohnungen gelangen können, wird im **Abschnitt 3** erläutert. Die dafür erforderlichen, auszugsweise beschriebenen und schematisch dargestellten Lüftungssysteme werden in solche mit freien (natürlichen) und mit ventilatorgestützten (mit Motorkraft erzeugten) Antriebskräften unterschieden.

Die planerische Umsetzung der Lüftungssysteme in lüftungstechnische Maßnahmen mithilfe entsprechender Einrichtungen bzw. Anlagen oder Geräte ist Thema des **Abschnitts 4**. Eingangs wird mithilfe des Lüftungskonzepts auf Basis der DIN 1946-6:2019-12 gezeigt, wie festgestellt werden kann, ob überhaupt lüftungstechnische Maßnahmen zu ergreifen sind. Anhand eines Beispielgebäudes werden im Weiteren unterschiedliche lüftungstechnische Maßnahmen sowohl für die freie als auch für die

ventilatorgestützte Lüftung beschrieben, schematisch dargestellt und ausgelegt.

Der **Abschnitt 5** bietet einen Überblick über die Auslegung Lüftungstechnischer Maßnahmen einschließlich der dafür erforderlichen Komponenten. Dabei wird auf die unterschiedliche Bewertung von Abluftanlagen, Zu- und Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung sowie zentrale und dezentrale Gerätetypen eingegangen. Es werden verschiedene Luftleitungen, Luftleitungsnetze, Luftdurchlässe, Wärmeübertragertypen und Frostschutzmaßnahmen sowie Filter und Schalldämpfer erläutert und bewertet. Zum Abschluss werden Hinweise zur Vermeidung nicht selten auftretender Probleme bei der Planung, Ausführung und beim Betrieb gegeben.

Thomas Hartmann im Namen der Autoren,
Dresden im April 2020

Autoren



Dipl.-Ing. Eberhard Paul

(ehem. Autor Kapitel 5)

Jahrgang 1951, studierte an der Ingenieurhochschule Köthen Systemverfahrenstechnik, u. a. Thermodynamik und Strömungslehre. Nach dem Studium war er viele Jahre als Projektleiter in der chemischen Industrie und beim renommierten Ingenieurbüro Fichtner (Stuttgart) tätig sowie als Technischer Leiter in der Pappenindustrie. 1994 gründete Eberhard Paul die Fa. Paul Wärmerückgewinnung, Wärmetauscher. Seitdem hat er maßgeblichen Anteil an der Gestaltung innovativer Wohnungslüftungstechniken in Deutschland und ist Erfinder zahlreicher wärmetechnischer Produkte zur Wärmerückgewinnung. Seine Geräteentwicklungen sind mehrfach mit Preisen ausgezeichnet worden. Er ist Fachbuchautor und Verfasser von mehr als 200 Fachartikeln. Außerdem arbeitet er an der DIN-Normengestaltung für Lüftungstechnik mit.

Maßgeblich bestimmt die Paul Wärmerückgewinnung GmbH mit ihren Produkten den Wohnungslüftungsmarkt. In der Fachwelt ist der Name PAUL eine für Innovation bekannte Marke. 2008 gründete Eberhard Paul das Ingenieurbüro Paul. Er engagiert sich publizistisch und arbeitet verstärkt als Fachbuchautor und Referent.



Prof. Dr.-Ing. T. Hartmann

(Autor Kapitel 4 und Bearbeitung der Kapitel 1, 2, 3 in der 2. Auflage des vorliegenden Buches)

Jahrgang 1967, studierte und promovierte an der TU Dresden im Bereich Maschinenbau mit Schwerpunkt Technische Gebäudeausrüstung. Seit 2004 ist er Geschäftsführer des ITG – Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden GmbH.

Er ist seit vielen Jahren in der Lehre und Weiterbildung tätig und wirkt seit 2013 als Honorarprofessor an der HTWK Leipzig im Bereich der Kälte- und Klimatechnik. Er beschäftigt sich seit mehr als 20 Jahren intensiv mit Fragestellungen der Lüftung und ist in zahlreichen nationalen und europäischen Normungsgremien (u. a. [DIN 1946-6] – Auslegung von Lüftungssystemen und DIN V 18599-6 – Energetische Bilanzierung von Wohnungslüftungssystemen) aktiv.



Dipl.-Ing Ehrenfried Heinz

(Autor Kapitel 1, 2 und 3)

1966 Abschluss als Maschinenbau-Ingenieur, Fachrichtungen Wärmetechnik und Heizungs- und Lüftungstechnik (TU Dresden); anschließend bis Dezember

1991 außeruniversitäre praxisorientierte Forschung auf den Gebieten Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik bei der Bauakademie Berlin, gleichzeitig verantwortliche Bearbeitung von TGL 34700 Blatt 1 bis 4 „Wohnungslüftung“; von Juni 1992 bis Dezember 2005 am IEMB e. V. an der TU Berlin Leitung des Referats Technische Gebäudeausrüstung, ab 1996 zusätzlich stellv. Leiter der Abt. Energieeinsparung und Emissionsminderung/Bauphysik; ab Januar 2006 freiberufliche Publikations- (u. a. Fachbuch „Wohnungslüftung – frei und ventilatorgestützt“), Vortrags- und Gutachter-Tätigkeit; außerdem Mitarbeit in diversen Normenausschüssen von NHRS und NABau beim DIN (u. a. [DIN 1946-6] „Lüftung von Wohnungen“); Beisitzer im Vorstand des Fachverbands Luftdichtheit im Bauwesen FliB e. V.; Mitglied im Bundesverband für Wohnungslüftung VFW e. V. und im Herausgeberbeirat der Zeitschrift Moderne Gebäudetechnik, HUSS-Medien GmbH, Berlin.



Dipl.-Ing. (FH) Andreas Nordhoff
(Autor Kapitel 5)

Jahrgang 1958, studierte an der TH Köln Technische Gebäudeausrüstung und Tropentechnologie. Nach acht Jahren Erfahrung in der Projektplanung und Projektsteuerung gründete er 1992 das IBN Institut für Bauen und Nachhaltigkeit. Zahlreiche Veröffentlichungen zum Thema „Passivhaus“ in Fachzeitschriften, feste Referentenverträge mit Firmen der deutschen Wirtschaft, Durchführung von Fortbildungsveranstaltungen für Industrie, Architekten, Ingenieure und Bauherren sowie die

Durchführung von Seminaren zum „zertifizierten Passivhausplaner“ ergänzen seit vielen Jahren sein Tätigkeitsfeld im Bereich der Weiterbildung.

Heute ist die Passivhaus-Projektsteuerung bei Großprojekten im Nichtwohnungsbau das Hauptbetätigungsfeld des IBN.

Inhaltsverzeichnis

1. Anforderungen an die Wohnungslüftung

1.1 Allgemeines

1.2 (Raum-)Luftqualität

1.2.1 Allgemeine Schad- und Geruchsstoffbelastung

1.2.2 Gefahrstoffbelastung durch unzureichende Verbrennungsluftversorgung

1.3 (Raum-)Luftfeuchte

1.3.1 Allgemeines

1.3.2 Feuchtequellen und -mengen

1.4 Thermisches Raumklima (Behaglichkeit)

1.4.1 Allgemeines

1.4.2 Operative oder empfundene Temperatur

1.4.3 (Raum-)Luftgeschwindigkeit

1.4.4 (Raum-)Luftfeuchte

2. Notwendiger Außenluftbedarf

2.1 Allgemeines

2.2 Anforderungen nach DIN 1946-6 bzw. DIN 18017-3

2.2.1 Vorbemerkung

2.2.2 Außenluftbedarf nach DIN 1946-6 für die NE

2.2.3 Außenluftbedarf nach DIN 18017-3

2.2.4 Aufteilung der (Außen-)Luftvolumenströme auf die Räume der Wohnung nach DIN 1946-6

2.2.5 Verbrennungsluftbedarf

2.3 Luftin- und -exfiltration - Berechnung des Infiltrations-(Außen-)Luftvolumenstroms

3. Lüftungssysteme im Überblick

3.1 Systemübersicht

3.2 Freie Lüftung

3.2.1 Allgemeines

3.2.2 Querlüftung (Windlüftung)

3.2.3 Schachtlüftung (thermische Auftriebslüftung)

3.2.4 Fazit freie Lüftung

3.3 Ventilatorgestützte Lüftung

3.3.1 Allgemeines

3.3.2 Abluftsysteme (Unterdrucklüftung)

3.3.3 Hybridlüftung

3.3.4 Zuluftsysteme (Überdrucklüftung)

3.3.5 Zu-/Abluftsysteme (Gleichdrucklüftung)

3.3.6 Fazit ventilatorgestützte Lüftung

4. Erstellen von Lüftungskonzepten und Auslegung von Lüftungssystemen nach DIN 1946-6

4.1 Grundsätzliches Vorgehen

4.1.1 Notwendigkeit Lüftungstechnischer Maßnahmen

4.1.2 Auswahl des Lüftungssystems und Lüftungsstufen

4.1.3 Auslegung des Lüftungssystems

4.2 Konzeptbeispiele

4.2.1 Daten des Beispielgebäudes

4.2.2 Erläuterungen zur Berechnung

4.2.3 Querlüftung

4.2.4 Schachtlüftung

4.2.5 Zuluftsystem

4.2.6 Abluftsystem

4.2.7 Zu-/Abluftsystem zentral

4.2.8 Zu-/Abluftsystem dezentral

4.2.9 Kombinierte Lüftungssysteme

4.2.10 Innen liegende Bäder

5. Umsetzung von Lüftungssystemen

5.1 Einführung

5.1.1 Luftqualität

5.1.2 Anforderungen bezüglich des Schallschutzes

5.1.3 Brandschutz

5.1.4 Gemeinsamer Betrieb von Feuerstätte und Lüftungsanlage

5.1.5 Anforderungen an die Energieeffizienz

5.1.6 Frostschutz

5.1.7 Kondensat

5.2 Lüftungssysteme

5.2.1 Fensterlüftung

5.2.2 Schachtlüftung

5.2.3 Abluftanlagen

5.2.4 Zuluftanlagen

5.2.5 Zu-/Abluftanlagen

5.3 Komponenten von Lüftungssystemen

- 5.3.1 Luftnetze und -leitungen
- 5.3.2 Außenluft-Durchlässe (AuLD), Außenbauteil-Luftdurchlass (ALD)
- 5.3.3 Schalldämpfer
- 5.3.4 Wärmerückgewinnung mittels Wärmeübertrager (WÜT) und Wärmepumpe (WP), Passivhaus-Kompaktgerät
- 5.3.5 Ventilatoren
- 5.3.6 Luftfilter
- 5.3.7 Erdreich-Wärmeübertrager

5.4 Energetische Kennzahlen und Energieeffizienz

5.5 Problemvermeidung

- 5.5.1 Nutzerverhalten
- 5.5.2 Luftmengen
- 5.5.3 Geräusche
- 5.5.4 Filter
- 5.5.5 Kondensat
- 5.5.6 Eisbildung
- 5.5.7 Wärmedämmung
- 5.5.8 Steuerkabel

Literatur

Danksagung

Herr **HEINZ** bedankt sich beim Beuth-Verlag (Sabine Wolf und Norma Müller) für die Erlaubnis, zur Erstellung der Abschnitte 1 bis 3 auf Bilder und Inhalte seines Buchs „Wohnungslüftung – frei und ventilatorgestützt“ zurückgreifen zu dürfen. Dankeschön auch für die unkomplizierte Zusammenarbeit mit der FORUM VERLAG HERKERT GMBH (Kathrin Sauter und Thomas Dürrwanger).

Herr **HARTMANN** bedankt sich bei den Kollegen von ITG Dresden sowie bei Dr.-Ing. habil. J. Seifert von der TU Dresden für die Unterstützung bei der Erstellung der Grafiken und bei Diana Braun von FORUM VERLAG HERKERT GMBH für die angenehme Zusammenarbeit.

Herr **NORDHOFF** bedankt sich bei seinem Team, insbesondere bei seinen Mitarbeitern BA. Eng. Fabian Ruf und BA. Eng. Denni Polidori für die professionelle Unterstützung sowie bei den Herren RA Holger Doberstein (Webeler Rechtsanwälte), Dipl.-Ing. Carsten Dittmar, Dr.-Ing. Christian Lerche, Dipl.-Ing. Michael Urra (ISRW Klapdor GmbH) und dem TZWL-Team für die fachliche Unterstützung. Des Weiteren bei Eberhard Paul für die Überlassung der Ausarbeitungen und beim gesamten Team von FORUM VERLAG HERKERT GMBH, allen voran Diana Braun, für die angenehme Zusammenarbeit.

1. Anforderungen an die Wohnungslüftung

1.1 Allgemeines

Der sprichwörtliche „Sauerstoffmangel“ wird häufig als Indiz für schlechte Raumluftqualität zitiert. Nach längerem Aufenthalt in umbauten (Wohn-)Räumen glaubt der Nutzer häufig, ein Problem wegen „zu wenig“ Sauerstoff zu haben. Ein solches Problem besteht jedoch praktisch nie. In der Realität sind vielmehr andere Effekte maßgeblich, wenn

- die zur Verfügung stehende Außenluft qualitativ bzw. quantitativ nicht in der Lage ist, entstandene Schad- und Geruchsstoff-Konzentrationen auf akzeptable Werte abzusenken bzw.
- nicht genügend Außenluft für den Abtransport der durch die Nutzung an die Raumluft freigesetzten Feuchtigkeit bereitgestellt werden kann.

Zu einer unmittelbaren Gefährdung des Menschen kann es darüber hinaus kommen,

- wenn durch die Lüftung die für die Verbrennung von fossilen Brennstoffen in offenen (bzw. geschlossenen, aber nicht hermetisch dichten) Feuerstätten (zur Erwärmung der Aufenthaltsräume bzw. zur Warmwasserbereitung) benötigte Verbrennungsluft nicht in ausreichendem Maß zugeführt werden kann und damit eine unvollständige Verbrennung mit der Entstehung von giftigem Kohlenmonoxid droht.

Die weiteren Ausführungen sollen hinsichtlich der sich daraus ergebenden (allgemeinen) Anforderungen an die Wohnungslüftung in die zwei Hauptabschnitte

- Luftqualität (Einhaltung der Anforderungen an die Raumlufthygiene: Schad- und Geruchsstoffreduktion) einschließlich des gefahrlosen Betriebs von raumluftabhängigen Feuerstätten (Verbrennungsluftsicherung) und
- Bauphysik (Begrenzung der Raumluftfeuchte)


unterteilt werden.

Außerdem sollen auch Fragen der Behaglichkeit behandelt werden. Letztere darf durch die Planung und Ausführung lüftungstechnischer Maßnahmen (LtM) in den betroffenen Aufenthaltsräumen nicht beeinträchtigt werden.

1.2 (Raum-)Luftqualität

1.2.1 Allgemeine Schad- und Geruchsstoffbelastung

Sauerstoff wird von allen höheren Lebewesen zur Erhaltung der Lebensfunktionen benötigt. Er wird mit der (Atem-)Luft aufgenommen, verbindet sich im Körper teilweise mit Kohlenstoff und wird als Kohlendioxid wieder ausgeschieden. Ist die Atemluft mit anderen Beimengungen (wie z.B. flüchtigen organischen Komponenten, Mikroorganismen, Feinstaub, Stickoxiden oder Radon) als den natürlicherweise in sauberer Luft enthaltenen verunreinigt, können Belästigungen, Unwohlsein, Befindlichkeitsstörungen und Störungen der Körperfunktionen bis hin zu akuten und chronischen Schädigungen der Gesundheit auftreten.



Saubere trockene Luft enthält nach [Witthauer93] in Volumen-%	
Stickstoff	78,09
Wasserstoff	0,01
Kohlendioxid	0,033
Argon	0,93
Sauerstoff	20,95
sowie Spuren von Helium, Neon, Krypton und Xenon.	

Tab. 1.1: Bestandteile sauberer trockener Luft in Volumen-% [Witthauer93]

Die Bedeutung der Qualität der Raumluft wird häufig noch unterschätzt. „Die Luft in Innenräumen ist oftmals viel stärker verunreinigt als die Außenluft“ [Rat87]. In Räumen hält sich der Mensch aber bis zu 90 % des Tages auf [Witthauer93] und kann dabei folgenden, die Luft verunreinigenden Bestandteilen ausgesetzt sein:

- flüchtige organische Komponenten VOC (volatile organic compounds): synthetische und natürliche Luftverunreinigungen, die bereits bei Raumtemperatur aus der Innenausstattung und aus Produkten des täglichen Bedarfs ausgasen (Kohlenwasserstoffe, wie z. B. Alkane oder Alkene als Fettlöser, und Toluol in Klebstoffen, Lacken, Druckerzeugnissen, und natürliche Bestandteile mancher Holzarten, wie z. B. Terpene in Duftstoffen)
- biologische Luftbeimengungen (Mikroorganismen und Allergene): Bakterien, Viren, Pilzsporen, Pollen, Hausstaubmilben und Tierepithelien
- anorganische Stoffe (Chemikalien), auch mit toxischer Wirkung
- Geruchsstoffe
- Feinstaub

Quelle	Stoff-Emissionen (Raumluft-
---------------	------------------------------------

	Beimengungen)
Mensch, Haustiere	Kohlendioxid (CO ₂), Wasserdampf (H ₂ O), Mikroorganismen (Keime, Viren), Allergene, Geruchsstoffe
Energieversorgung, häusliche Aktivitäten und Hilfsmittel	
(raumluftabhängige) Heizung und Warmwasserbereitung	Kohlenmonoxid (CO), Kohlendioxid (CO ₂), Stickstoffdioxid (NO ₂), Aldehyde, Kohlenwasserstoffe, polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Wasserdampf (H ₂ O), Staubpartikel (Feinstaub)
Kochen, Braten, Backen, Grillen	Wasserdampf (H ₂ O), Fette, Geruchsstoffe
Pflege- und Reinigungsmittel, Kosmetika	Aromastoffe und andere organische Verbindungen und Säuren, teilweise als Aerosol, Konservierungsstoffe, Lösungsmittel, Treibgase, Geruchsstoffe
Produkte des Heimwerker- und Bastelbedarfs	Lösungsmittel aus Farben, Lacken und Klebstoffen, Holzschutzmittel, Geruchsstoffe
Mittel zur Ungezieferbekämpfung und Desinfektion sowie für den Schutz von Holz, Textilien und Zimmerpflanzen	Pestizide, Insektizide, ausgasende Wirkstoffe und Lösungsmittel, Pyrethroide, Geruchsstoffe
Duschen, Baden, Waschen	Wasserdampf (H ₂ O)
Zimmerpflanzen	Wasserdampf (H ₂ O), Pilzsporen
Lüftung, Hausarbeiten, brennende Kerzen	(Fein-)Staub mit vielfältigen schädlichen Anlagerungen
Rauchen	CO, NO ₂ , Acrolein und andere Aldehyde, Nitrosamine, Tabakrauch-Partikel (Feinstaub), PAK, Geruchsstoffe
Gebäude und Raumausstattung	
Bau- und Renovierungsmaterial	Radon, Asbest, Formaldehyd und andere organische Verbindungen, z. B. Lösungs-

	und Holzschutzmittel, Klebstoffe, polychlorierte Biphenyle (PCB), Geruchsstoffe
Möbel, Wandbekleidungen, Raumtextilien	Lösungsmittel, Formaldehyd und andere organische Verbindungen, (Fein-)Staub, Geruchsstoffe

Tabelle 1.2: Beispiele für Raumluft-Verunreinigungen und ihre Quellen [Heinz11]

Bezüglich der bekannten Raumluftverunreinigungen und ihrer Quellen listet allein das europäische Chemikalien-Inventar EINECS (European Inventory of Existing Commercial Chemicals) mehr als hunderttausend chemische Stoffe auf. Das Chemical Abstract Service (CAS) spricht sogar von mehr als 7 Mio. Verbindungen. Allein innerhalb der EU kommen jährlich etwa 1.000 neue hinzu [LANUV09], deren mutmaßliches gesundheitliches Risiko nur schwer oder erst nach längerer Zeit richtig einzuschätzen ist. Eine Auswahl der wichtigsten Raumluftverunreinigungen einschließlich ihrer Quellen kann Tab. 1.2 entnommen werden.

Welche von den bekannten Luftbeimengungen in welchen Konzentrationen und über welche Expositionszeiträume hinweg zu Irritationen bzw. Schädigungen beim Menschen führen können, lässt sich nur unvollkommen für einige wenige Luftschadstoffe beantworten [Rat87, Witthauer93]. Für diese existieren z. B. MAK-, AGW- und BGW-Werte als Grenz- und Richtwerte. Dabei ist aber zu beachten, dass *„solche Werte meist für bestimmte Zwecke oder Anwendungsbereiche erarbeitet werden und dass ihnen daher meist bestimmte Annahmen oder Voraussetzungen zugrunde liegen. Deshalb können diese Werte nur in sehr begrenztem Maße in anderen als den vorgesehenen Bereichen als Beurteilungsgrundlage dienen“* [Heinz11].

Hinsichtlich MAK-, AGW- und BGW-Werten gilt Folgendes:

- MAK-(maximale Arbeitsplatzkonzentrations-)Werte dienen dem Schutz der Gesundheit des (definitionsgemäß) gesunden Erwachsenen am Arbeitsplatz, wobei die Aufenthaltsdauer und die Konstitution des Beschäftigten eine entscheidende Rolle spielen. Bei ihrer Einhaltung wird die Gesundheit bei täglicher bzw. wöchentlicher Exposition von 8 bzw. 40 h nicht beeinträchtigt.
- AGW-(Arbeitsplatzgrenz-)Werte beschreiben nach [TRGS 900] die durchschnittliche Konzentration eines Stoffs in der Luft am Arbeitsplatz, bei der eine akute oder chronische Schädigung der Gesundheit der Beschäftigten nicht zu erwarten ist. Bei der Festlegung wird von einer i. d. R. achtstündigen Exposition an fünf Tagen in der Woche während der Lebensarbeitszeit ausgegangen.
- BGW-(biologische Grenz-)Werte geben nach [TRGS 903] an, bis zu welcher Konzentration eines Stoffs die Gesundheit von Beschäftigten im Allgemeinen nicht beeinträchtigt wird.

Die Aufgabe der Wohnungslüftung ist es, für einen ausreichenden Abtransport der unvermeidbar frei werdenden Schadstoffe zu sorgen.

Laut Umweltbundesamt sind dafür bzgl. der zugelassenen bzw. empfohlenen unbedenklichen Werte mindestens die nachfolgend aufgeführten Konzentrationen in der Raumluft einzuhalten (Stand Juni 2013):

- TVOC (total volatile organic compound): $< 1 \text{ mg/m}^3$
Summenkonzentration als Gesamtheit sämtlicher flüchtiger Kohlenwasserstoffe (bei dauerhafter Einwirkung)
- Kohlenstoffmonoxid (CO): $1,5 \text{ mg/m}^3$ über maximal acht Stunden

- Stickstoffdioxid (NO₂): 0,06 mg/m³ über den maximalen Zeitraum von einer Woche
- Formaldehyd (HCHO): 0,1 ppm
- Radon lt. Deutscher Strahlenschutz-Kommission: 200 Bq/m³ im Jahresdurchschnitt
- Feinstaub: ≤ 25 µg/m³ über den Zeitraum eines Tages
- Empfehlenswert ist außerdem die Einhaltung bzw. Unterschreitung des CO₂-Gehalts der Raumluft entsprechend Kategorie III nach [DIN EN 15251]; dies entspricht einer Differenz von ≤ 800 ppm gegenüber dem CO₂-Gehalt der Außenluft.
- Darüber hinaus hat die Lüftung die Aufgabe, den Raumluftgehalt an Keimen, Mikroorganismen (z. B. Milben) und allergenen Bestandteilen im Hausstaub (z. B. Pollen, Pilzsporen) zu mindern und Geruchsstoffe (vorzugsweise aus Küche und Bad/WC-Raum) schnellstmöglich abzuführen.

Achtung

Um alle Anforderungen mit möglichst geringem Energieeinsatz erfüllen zu können, müssen Schadstoffemissionen aus Bauwerk, Einrichtungsgegenständen, Raumtextilien, Tapeten, Wandfarben und Fußbodenbelägen durch emissionsarme oder emissionsfreie Baustoffe und Einrichtungsgegenstände weitestgehend vermieden werden.

In Deutschland gilt seit 2005 der Arbeitsplatzgrenzwert (AGW). Dieser entspricht der zeitlich gewichteten durchschnittlichen Konzentration eines Stoffs in der Luft am Arbeitsplatz, bei der eine akute oder chronische Schädigung der Gesundheit der Beschäftigten nicht zu erwarten ist.

Dabei wurde und wird von einer ca. achtstündigen Exposition des Betroffenen je Tag an fünf Tagen in der Woche, bezogen auf die Lebensarbeitszeit, ausgegangen. Der AGW ersetzt die bis 2004 geltenden Grenz- und Richtwerte.

Der Wohnungsbereich ist zum überwiegenden Teil den „*anderen Bereichen*“ mit begrenzter Gültigkeit der für Arbeitsplätze geltenden Werte [Rat87] zuzurechnen. „*Da für diesen aber detaillierte Festlegungen häufig fehlen, sollen sowohl ausgewählte AGW-als auch MAK-Werte, die nicht nur am Arbeitsplatz, sondern auch in unseren Wohnungen auf keinen Fall überschritten werden sollten, hier als ‚Eckdaten‘ zur Groborientierung aufgeführt werden*“ (Tab. 1.3) [Heinz11].

Eine spezielle Bewertung der Luftqualität von „*Innenräumen*“ (u. a. auch „*Wohnungen mit Wohn-, Schlaf-, Bastel-, Sport- und Kellerräumen, Küchen und Badezimmer*“) ermöglichen die von der Innenraumlufthygiene-Kommission beim Umweltbundesamt (IRK) und Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden (AOLG) veröffentlichten Richtwerte. Diese Werte (Tab. 1.4), die (ausgenommen TVOC) nach einem einheitlichen Schema abgeleitet wurden und laufend weiter abgeleitet werden, berücksichtigen auch empfindliche Personengruppen, wie z. B. Kinder und kranke Menschen. Sie „*[...] helfen im Einzelfall zu klären, ob eine gesundheitlich bedenkliche Innenraumluftqualität besteht. Bei Streitigkeiten [...]*“ können „*sie als Grundlage der Gutachterbeurteilung dienen, ob eine Wohnung ‚krank‘ macht oder nicht.*“ [IRK09]

Substanz	MAK [DFG15]		AGW [TRGS900]	
	ml/m ³ ppm	mg/ m ³	ml/m ³ ppm	mg/ m ³
Aceton H ₃ C-CO-CH ₃	500	1.200	500	1.200
Ammoniak NH ₃	20	14	20	14
Chlor Cl ₂	0,5	1,5	0,5	1,5
Fluor F ₂			1	1,6
Formaldehyd HCHO	0,3	0,37 ¹⁾	0,3	0,37
Kohlenstoffdioxid CO ₂	5.000	9.100	5.000	9.100
Kohlenstoffmonoxid CO	30	35	30	35
Naphthalin			0,4	2
Nikotin				0,5
Quecksilber Hg		0,02		0,02
Schwefeldioxid SO ₂	1	2,7	1	2,7
Stickstoffdioxid NO ₂	0,5	0,95	0,5	0,95
Stickstoffmonoxid NO	0,5	0,63	2	2,5
Gesamtstaub ¹⁾				1,25 ²⁾ (A); 10 ³⁾ (E)

¹⁾ unter Berücksichtigung der Kombinationswirkung mit Schwefeldioxid SO₂
²⁾ Arbeitsschichtmittelwert: Alveolen gängige Fraktion (A-Staub) [TRGS900]
³⁾ Jahresmittelwert, einatembare Fraktion (E-Staub) [TRGS900]
⁴⁾ Ein Momentan-Wert von 1 ml/m³ entsprechend 1,2 mg/m³ sollte nicht überschritten werden.
⁵⁾ nicht toxikologisch abgeleitet

Tabelle 1.3: Ausgewählte Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) im Vergleich zu MAK-Werten [Heinz11]

Substanz	RW II ¹⁾	RW I ²⁾	Einheit	seit:
Toluol	3	0,3	mg/m ³	1998
Dichlormethan	2 (24 h) ³⁾	0,2	mg/m ³	1997
Kohlenstoffmonoxid CO	60 (½ h)	6 (½ h)	mg/m ³	1997
	15 (8 h)	1,5 (8 h)		
Pentachlorphenol (PCP)	1	0,1	µg/m ³	1997
Stickstoffdioxid NO ₂	0,35 (½ h)		mg/m ³	1998
	0,06 (1 Woche)	–		
Phenylethen (Styrol)	0,3	0,03	mg/m ³	1999
Quecksilber (als metallischer Dampf)	0,35	0,035	µg/m ³	1999
Tris(2-chlorethyl)-phosphat (TCEP)	0,05	0,005 ⁴⁾	mg/m ³	2002
Bicyclische Terpene	2	0,2	mg/m ³	2003
Naphthalin	0,02	0,002	mg/m ³	2004
Aromatenarme Kohlenwasserstoffgemische (C9-C14)	2	0,2	mg/m ³	2005
TVOC	1 ... 3	0,2 ... 0,3	mg/m ³	1999 (2008)

- ¹⁾ Richtwert II (RW II) ist ein wirkungsbezogener Wert, der sich auf die gegenwärtigen toxikologischen und epidemiologischen Kenntnisse zur Wirkungsschwelle eines Stoffs unter Einführung von Unsicherheitsfaktoren stützt. Er stellt die Konzentration eines Stoffs dar, bei deren Erreichen bzw. Überschreiten unverzüglich zu handeln ist. Diese höhere Konzentration kann, besonders für empfindliche Personen bei Daueraufenthalt in den Räumen, eine gesundheitliche Gefährdung sein. Je nach Wirkungsweise des Stoffs kann der Richtwert II als Kurzzeitwert oder Langzeitwert definiert sein.
- ²⁾ Richtwert I (RW I) beschreibt die Konzentration eines Stoffs in der Innenraumluft bei der bei einer Einzelstoffbetrachtung nach gegenwärtigem Erkenntnisstand auch dann keine gesundheitliche Beeinträchtigung zu erwarten ist, wenn ein Mensch diesem Stoff lebenslang ausgesetzt ist. Aus Gründen der Vorsorge sollte auch im Konzentrationsbereich zwischen RW I und II gehandelt werden, sei es durch technische und bauliche Maßnahmen am Gebäude... oder durch verändertes Nutzerverhalten. RW I kann als Zielwert bei der Sanierung dienen.
- ³⁾ Alle Klammerwerte entsprechen gemittelten Einwirkungszeiträumen, hier z. B. 24 Stunden [h].
- 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 eindeutiger Hinweise zur Genotoxizität und des Bedarfs an Orientierungshilfen die Ableitung von Richtwerten für TCEP als vertretbar an.

Tabelle 1.4: Richtwerte (RW) für die Innenraumluft [IRK09] [Heinz11]

Die Richtwerte in Tab. 1.4 beziehen sich lediglich auf Einzelstoffe. Sie erlauben deshalb auch keine Aussagen über mögliche Kombinationswirkungen unterschiedlicher Substanzen.

Beachtenswert sind außerdem folgende Angaben zu wohnungsrelevanten Richt-/Grenzwerten:

- **Kohlendioxid (CO₂)** in der Raumluft:
Konzentrationen unter 1.000 ppm in der Raumluft gelten lt. Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte des

Umweltbundesamts und der Obersten Landesgesundheitsbehörden als unbedenklich, Konzentrationen zwischen 1.000 und 2.000 ppm als auffällig und Konzentrationen über 2.000 ppm als inakzeptabel [UBA08-1].

- Für **Radon** in Wohnungen gilt:
Radon bzw. seine Zerfallsprodukte sind die zweitwichtigste Ursache für Lungenkrebs. Das Risiko, daran zu erkranken, steigt statistisch signifikant bei einer längeren Radonexposition ab $100 \text{ Bq}/(\text{m}^3_{\text{Luft}})$ [EURATOM]. Im Europäischen Strahlenschutzgesetz EURATOM ist deshalb für Arbeitsplätze und Aufenthaltsräume ein Referenzwert von $\leq 300 \text{ Bq}/\text{m}^3$ im Jahresmittel definiert, von dem aber begründet national abgewichen werden kann.

Mit dem Strahlenschutzgesetz [StrlSchG] und der Strahlenschutzverordnung wird im nationalen Strahlenschutzrecht erstmalig auch der Schutz der Gebäudenutzer und Arbeitnehmer vor Radon in Gebäuden gesetzlich verankert. Im Strahlenschutzgesetz wird für Aufenthaltsräume und Arbeitsplätze für die Radon-Aktivitätskonzentration im Jahresmittel ein Referenzwert (kein Grenzwert!) von $300 \text{ Bq}/\text{m}^3$ festgelegt. Dazu sind zunächst generell im Neubau die Maßnahmen zum Feuchteschutz einzuhalten. Wird im Gebäudebestand im Bereich von Aufenthaltsräumen und Arbeitsplätzen durch bauliche Maßnahmen der Luftwechsel deutlich reduziert, sind Maßnahmen zum Radonschutz zu prüfen.

In der Strahlenschutzverordnung wird für Neubauten dazu u. a. konkretisiert, dass durch die Bundesländer auf Basis der bestehenden Verwaltungsgrenzen Gebiete festzulegen sind, in denen aufgrund einer möglichen Radonexposition im Erdreich geeignete Maßnahmen zur

Vermeidung des Radoneintritts in Gebäude zu ergreifen sind. Als geeignete Maßnahmen gelten danach:

1. Verringerung der Radonkonzentration unter dem Gebäude
2. Beeinflussung der Luftdruckdifferenz zwischen Gebäudeinnerem und Bodenluft
3. Begrenzung der Rissbildung in Wänden und Böden mit Bodenkontakt
4. Absaugung von Radon an Randfugen und unter Abdichtungen
5. Einsatz diffusionshemmender, konvektionsdicht verarbeiteter Materialien oder Konstruktionen

Die Festlegung der Gebiete mit einer möglichen Radonexposition durch die Bundesländer steht gegenwärtig noch aus, möglich wäre u. a. eine Orientierung an der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft.

Während der gesunde, widerstandsfähige Mensch auf viele Luftbeimengungen u. U. gar nicht oder höchstens mit kurzzeitigen Irritationen reagiert, können dieselben bei *„unzureichender Regenerationsdauer [...] bei Allergikern, chronisch Kranken, Schwangeren und Kindern zu irreversiblen Schädigungen führen“* [Rat87].

Hinsichtlich Luftbeimengungen, die zu Krebserkrankungen führen können, wird in [LAI04] Folgendes ausgeführt: *„Krebs erzeugende Umweltschadstoffe stellen innerhalb der Beurteilung gesundheitlicher Wirkungen eine Besonderheit dar. Sie unterliegen keiner Wirkschwelle, d. h. grundsätzlich kann eine Krebserkrankung durch nur ein Molekül des jeweiligen Stoffs hervorgerufen werden.“*

Die Wahrscheinlichkeit, mit der eine Krebserkrankung ausgelöst wird, steigt mit der zugeführten Dosis eines

kanzerogenen Stoffe und dessen Krebs erzeugender Potenz. Kanzerogene Effekte werden folglich in Dosis-Häufigkeitsbeziehungen beschrieben, die das Auftreten zusätzlicher Krebsfälle abbilden.“

Als Orientierungs-/Zielwerte für kanzerogene Luftschadstoffe wird in [LAI04] u. a. angegeben:

- Benzol 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Arsen 6 ng/m^3
- Cadmium 5 ng/m^3
- Nickel 20 ng/m^3 (Ableitung nicht auf der Basis der kanzerogenen Wirkung)
- PAK(BaP) 1 ng/m^3 und
- Asbest 220 Fasern/ m^3

Die Lüftung spielt eine u. U. entscheidende Rolle bei der Absenkung der im Innenraum vorzufindenden Schad- und Geruchsstoff-Konzentrationen. In [Witthauer93] wird diesbezüglich festgestellt, dass eine ausreichende Lüftung nicht nur die *„Konzentrationserhöhung chemischer Luftbelastungen, sondern auch eine Anreicherung von Keimen und Viren, die die Wahrscheinlichkeit aerogener Infektionen erhöht“*, reduziert.

Interessant sind in diesem Zusammenhang auch die folgenden Auszüge aus einer EntschlieÙung des Bundesrats für einen verbesserten Schutz vor Luftverunreinigungen in Innenräumen, die, obwohl schon im Jahre 1992 verkündet, bis Redaktionsschluss kaum etwas von ihrer Aktualität eingebüÙt haben:

„Bisher bekannt gewordene Untersuchungen belegen, dass in der Luft von Innenräumen gemessene Konzentrationen bestimmter Schadstoffe oft nicht nur beachtlich höher sind als in der Außenluft, sondern z. T. an die Werte der MAK heranreichen und diese überschreiten. [...] Der überwiegende Teil der Beeinträchtigungen, über die Patienten (in Umweltmedizinischen Beratungsstellen) berichten, wird in einen Zusammenhang mit Verunreinigungen der Innenraumluft gebracht. Vor diesem Hintergrund erbringt der Abbau der mit der Innenraumluftbelastung verbundenen Gefahren nicht nur eine direkte Verbesserung der individuellen Lebenssituation, sondern stellt auch einen erheblichen Beitrag zum vorsorgenden Gesundheitsschutz dar.“ [Beschluss92]

Wegen ihrer gesundheitlichen Bedeutung werden in dieser EntschlieÙung u. a. folgende Verunreinigungen und Quellen hervorgehoben:

- *„Es ist davon auszugehen, dass passiv inhalierter Tabakrauch in seinem gesundheitlichen Risikopotenzial vermutlich alle anderen luftgetragenen Schadstoffe übertrifft.*
- *Abschätzungen bringen etwa 10 % der in Deutschland jährlich zu verzeichnenden Lungenkrebs-Todesfälle mit dem Einatmen von Radon sowie seinen Zerfallsprodukten in Zusammenhang.*
- *Reinigungs- und Pflegemittel, Farben, Klebstoffe und andere Haushalts- und Hobbyprodukte können durch Abgabe von leichtflüchtigen organischen Verbindungen v. a. kurzfristig zu akut toxisch irritativen Gesundheitsstörungen führen.*
- *Baumaterialien, Möbel, Textilien und andere Raumausstattungs-Materialien sowie der Einsatz von Holzschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln können*