



FORSCHUNG UND GESELLSCHAFT | 11

GESUNDE RAUMLUFT – AUSGEWÄHLTE ASPEKTE
DER WOHNHYGIENE

GESUNDE RAUMLUFT – AUSGEWÄHLTE ASPEKTE DER WOHNHYGIENE

**EINBLICKE IN DIE ARBEIT DER
KOMMISSION KLIMA UND LUFTQUALITÄT**

INHALT

EDITORIAL

HANNS MOSHAMMER UND PETER TAPPLER	5
--	---

BEITRÄGE

PETER TAPPLER

Einleitung	7
------------------	---

HANNS MOSHAMMER

Innenraumklima	15
----------------------	----

ANNE KASPER-GIEBL

Außenluft	21
-----------------	----

BERNHARD DAMBERGER

Luftströmungen und Diffusion von Schadstoffen in Gebäuden	25
---	----

FELIX TWRDIK, PETER TAPPLER

Bauprodukte und Mobiliar	29
--------------------------------	----

HANNS MOSHAMMER

Reinigen und pflegen, Chemikalien im Haushalt	37
---	----

WILFRIED WINIWARTER, ANNE KASPER-GIEBL

Heizen und kochen	39
-------------------------	----

HANS-PETER HUTTER	
Schimmel und Gesundheit	45
GÜNTHER SCHAUBERGER, ROBERT SCHLACHER	
Gerüche in Innenräumen	51
MANFRED NEUBERGER	
Passivrauch	55
HANNS MOSHAMMER	
Menschen, Tiere, Allergene	61
HEINZ KROPIUNIK, MANFRED NEUBERGER	
Asbest und KMF	65
WOLFGANG RINGER	
Radon in Gebäuden	71
Abschluss und weiterführende Informationen	75

EDITORIAL

HANNS MOSHAMMER UND PETER TAPPLER

Wohnen ist ein Grundbedürfnis des Menschen. Daher ist auch jede Person von der Qualität der Innenraumluft betroffen, die sich, wie zahlreiche Studien zeigen, auf die Wohnqualität auswirken kann. Viele Fachdisziplinen widmen sich dem Thema auf ihre eigene Weise, das betrifft Ärzte – und hier vor allem Umweltmediziner und Spezialisten in Wohnhygiene – sowie Experten aus den Fächern Innenraumklimatologie, Bautechnik, Bauphysik, Chemie und Biologie, aber auch Juristen.

Um der Vielfalt der Disziplinen Rechnung zu tragen, wurden Experten aus verschiedenen Bereichen eingeladen, an diesem Werk mitzuschreiben. Wir haben uns, dem interdisziplinären Charakter entsprechend, bemüht, auf komplizierte Fachsprache weitgehend zu verzichten; so soll auch interessierten Laien die Lektüre erleichtert werden. Dennoch waren die Autorin und die Autoren

aufgefordert, jeweils aktuelle und wissenschaftlich valide Aussagen zu treffen, was ihnen, wie wir mit Stolz und Freude vermerken können, außerordentlich gut gelungen ist. Es ist ja nicht leicht, präzise und korrekte Darstellungen mit verständlichem Ausdruck in Einklang zu bringen. Dem Autorenteam, den Reviewern sei für die hervorragende Zusammenarbeit gedankt.

Es ist uns bewusst, dass dieses Werk nicht alle Bereiche der Wohnhygiene abdecken kann, aber wir sind zuversichtlich, dass wir eine relevante und aktuelle Auswahl getroffen haben, und entlassen unser „Kind“ daher gerne und vertrauensvoll auf den Buchmarkt.

Wien, im September 2018

EINLEITUNG

PETER TAPPLER

Die Menschen in Mitteleuropa halten sich heute durchschnittlich zu 90 Prozent der Zeit in Innenräumen auf¹ (Abbildung 1). Pro Tag atmet der Mensch 10 bis 20 m³ Luft ein, je nach Alter und je nachdem, wie aktiv er ist. Das ist weitaus mehr als die Menge an Lebensmitteln und Trinkwasser, die eine Person täglich zu sich nimmt. Manchmal atmen wir in geschlossenen Räumen mehr Schadstoffe ein als an dicht befahrenen Straßenkreuzungen.² Ein Grund dafür sind Schadstoffquellen im Innenraum sowie moderne Fenster

und Türen, die beinahe luftdicht abschließen. Das ist sinnvoll, weil damit Energie gespart wird. Aber leider gelangt dadurch zu wenig Frischluft in die Räume. Es ist in jedem Fall wichtig, sich mit der Innenraumluftqualität zu beschäftigen.

Baustoffe, Materialien der Inneneinrichtung oder auch das Erdreich können Schadstoffquellen für den Innenraum sein. Zusätzlich können beispielsweise Zigarettenrauch, Reinigungsmittel oder Kochdunst die Atemluft belasten. Im Vordergrund stehen vor allem flüchtige Stoffe (VOC = flüchtige organische Verbindungen,³ Formaldehyd), die über



Peter Tappler ist Innenraumklimatologe, Allgemein beeideter und gerichtlich zertifizierter Sachverständiger und beschäftigt sich seit etwa 30 Jahren mit Schimmel und Schadstoffen in Innenräumen. Er ist Mitautor zahlreicher Bücher zum Thema Innenraumluft, Universitätslektor, Leiter des Arbeitskreises Innenraumluft am Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus und Mitglied der deutschen Kommission Innenraumluftthygiene.

¹ Jantunen M. J. 2000: Air Pollution Exposure in European Cities: the EXPOLIS Study. https://www.thl.fi/expolis/files/final_report.pdf zuletzt besucht: 12. Juli 2018.

² Wallner P. et al. 2015: Indoor Environmental Quality in Mechanically Ventilated, Energy-Efficient Buildings vs. Conventional Buildings. Int. J. Environ. Res. Public Health 2015, 12, 14132–14147.

³ UBA 2008: Vergleichswerte für flüchtige organische Verbindungen (VOC und Aldehyde) in der Innenraumluft von Haushalten in Deutschland. Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz 51, 109–112.

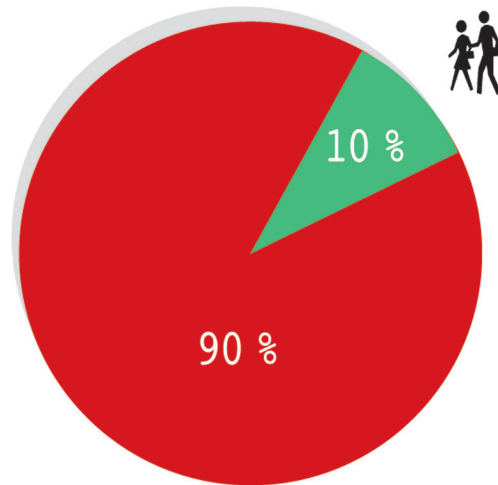


Abb. 1: 90 % seiner Lebenszeit verbringt der durchschnittliche Mitteleuropäer in Innenräumen.

die Atemwege aufgenommen werden.⁴ Dazu können im Einzelfall noch sogenannte „Altlasten“ wie Asbest, Pentachlorphenol aus Holzschutzmitteln und PCB (polychlorierten Biphenylen) kommen.

⁴ Wallace L. A. et al. 1986: Total exposure assessment methodology (TEAM) study: Personal exposure, indoor-outdoor relationships, and breath levels of volatile organic compounds in New Jersey. Environment International 12, 369–387.

Schlechte Raumluft beeinträchtigt unser Wohlbefinden und kann sogar zu dauerhaften Gesundheitsschäden führen. Deshalb sollten wir auf gute Atemluft in unseren eigenen vier Wänden achten und unser Lüftungsverhalten den heutigen Gegebenheiten anpassen.

WAS IST EIN „INNENRAUM“?

Die österreichische Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft definiert

„Innenräume“ als private Wohn- und Aufenthaltsräume wie Küche, Wohn-, Schlaf- und Badezimmer, Bastel-, Sport- und Kellerräume sowie Räume in Gebäuden, die in Hinblick auf Luftschadstoffe keinen arbeitnehmerschutzrechtlichen Bestimmungen unterliegen, wie beispielsweise Büroräume, Räume in öffentlichen Gebäuden (Krankenhäusern, Schulen, Kindertagesstätten, Sporthallen, Bibliotheken, Gaststätten, Theatern, Kinos) und andere öffentliche Veranstaltungsräume.⁵ Das Innere von Kraftfahrzeugen und öffentlichen Verkehrsmitteln zählen ebenfalls zu den „Innenräumen“.

WAS IST GESUNDE RAUMLUFT?

Von „gesunder Raumluft“ sprechen wir, wenn die Luft weitgehend frei von Verunreinigungen ist – ähnlich wie beim Trinkwasser und bei festen Nahrungsmitteln. „Gesunde Raumluft“ zeichnet sich auch durch eine behagliche Temperatur und nicht zu viel oder zu wenig Luftfeuchte aus. Wichtig ist auch die Außenluftzu-

⁵ BMNT 2018: Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft. Herausgeber BMNT unter Mitarbeit der Österreichischen Akademie der Wissenschaften. Loseblattsammlung.



Abb. 2: Auch Luft ist ein essenzielles Lebensmittel.

fuhr in ausreichender Menge, um die vom Menschen selbst verursachten Luftverunreinigungen abzuführen. In modernen Gebäuden mit dichten Fenstern kann die Fensterlüftung allein die notwendige Frischluftmenge nicht mehr einbringen, da die Grundlüftung zu gering ist. In solchen Fällen ist eine mechanische Lüftungsanlage (Komfortlüftung) erforderlich, die – richtig geplant, errichtet und gewartet – nach neuesten Studien sogar eine positive Wirkung auf die Innenraumluftqualität hat.²

Gesunde Raumluft ist das Ergebnis schadstoffarmer Baustoffe, schad-

stoffarmer Einrichtung sowie des regelmäßigen Luftaustauschs durch Außenluft. Wie „gesund“ die Raumluft tatsächlich ist, hängt von Schadstoffquellen und Verunreinigungen innerhalb des Gebäudes und natürlich auch von der Qualität der zugeführten Außenluft, die im Idealfall weitgehend frei von Staub, Luftschadstoffen, Pollen und anderen Luftverunreinigungen ist, ab.

Schadstoffquellen im Wohnraum können Baustoffe sowie Materialien der Innenausstattung und Einrichtungsgegenstände (Böden, Möbel, Teppiche usw.) sein. Auch der Mensch selbst und seine Tätigkeiten sind eine nicht zu unterschätzende Quelle an Schadstoffen: Menschen geben in nicht unbeträchtlichem Ausmaß organische Stoffe, Kohlenstoffdioxid (CO₂) und Geruchsstoffe an die Raumluft ab – dies ist vor allem in Schlafräumen und Unterrichtsräumen von Bedeutung.^{6,7}

⁶ Salthammer T. et al. 2016: Children's well-being at schools: Impact of climatic conditions and air pollution. *Environment International* 94, 196–210.

⁷ Verrièle M. et al. 2016: The MERMAID study: Indoor and outdoor average pollutant concentrations in 10 low-energy school buildings in France. *Indoor Air* 2016, 26, 702–713.

Für eine gesunde und die Leistung fördernde Raumluft in Unterrichtsräumen sowie in vielen Büroräumen, in denen wissensbasierte Arbeiten verrichtet werden, ist daher heutzutage eine mechanische Lüftung (oftmals als Hybridlüftung ausgeführt) unerlässlich. Schulräume ohne Lüftungsanlage können wir uns nicht mehr leisten, da bei reiner Fensterlüftung mit Performance-Verlusten im zweistelligen Bereich gerechnet werden muss – dies gilt auch für Schulen im ländlichen Bereich.

In diesem Zusammenhang ist es auch wichtig zu erwähnen, dass moderne, gut gewartete Lüftungs- und Klimaanlagen, die wir auf Grund der Erd erwärmung zunehmend brauchen werden, entgegen weit verbreiteter Meinung keine Keimschleudern darstellen, sondern im Gegenteil Feinstaub und Pollen effizient aus der Außenluft filtern.

GESUNDHEITLICHE BEDEUTUNG VON SCHADSTOFFEN IM INNENRAUM

Der Innenraum als unsere „dritte Haut“ ist ein wesentlicher Baustein für gesundheitliches Wohlbefinden und für hohe Lebensqualität. Die

Vermeidung von Innenraumschadstoffen, Schimmel und Allergenen sowie Radon ist deshalb besonders wichtig und kann maßgeblich beeinflusst werden. Wenn man sich in bestimmten Räumen nicht wohlfühlt oder immer wieder krank wird, ist unter Umständen das Gebäude als Ursache nicht auszuschließen.⁸

Als „Schadstoffe in Innenräumen“ im weiteren Sinn gelten alle Substanzen und Faktoren, die das Wohlbefinden und die Gesundheit der Raumnutzer beeinträchtigen können. Dem stehen Faktoren wie raumlufttechnische Anlagen in Wohnhäusern gegenüber oder auch Luftionen, die die Raumluft höchstwahrscheinlich positiv beeinflussen⁹. Von künstlicher Ionisierung von Innenraumluft oder Luftverbesserern wird allerdings abgeraten – dies zeigt die Komplexität des Themas.

⁸ Hutter H. P. et al. 2003: Health complaints after moving into a new office building: results of measurements and investigations of employees. *Healthy Buildings 2003, Proc. ISIAQ 7th International Conference* (Singapore, 7.–11. 12. 2003), 65–69.

⁹ Wallner P. et al. 2015: Exposure to Air Ions in Indoor Environments: Experimental Study with Healthy Adults. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2015, 12, 14301–14311.

Die Empfindlichkeit von Menschen gegenüber Luftschadstoffen ist individuell sehr verschieden. Manche reagieren schon auf geringste Mengen mit verringerter Leistungsfähigkeit, Schlafstörungen, Beeinträchtigungen der Atemwege oder Unbehagen.¹⁰ Andere entwickeln Beschwerden, wenn sie mit bestimmten Chemikalien in Kontakt kommen.

Zu den möglichen Befindlichkeitsstörungen zählen weiters Symptome wie Kopfschmerzen, starke Stimmungsschwankungen, Verdauungsstörungen, Übelkeit und Appetitlosigkeit. Ihre Ursachen ausfindig zu machen, erweist sich oft als schwierig, da sie sich nicht bestimmten Krankheitsbildern zuordnen lassen. In vielen Fällen werden schadstoffbedingte Befindlichkeitsstörungen durch zusätzliche Belastungsfaktoren wie beispielsweise Stress oder Lärm noch verstärkt.

Luftverunreinigungen belasten primär den Atmungsstrakt, also die Schleimhäute der Nase, des Rachens

¹⁰ Sagunski H. 2004: Umgang mit innenraumbezogenen Beschwerden. In: Österr. Institut für Baubiologie und Bauökologie (Hrsg.): *Tagungsband des Kongresses „Gesunde Raumluft. Schadstoffe in Innenräumen – Prävention und Sanierung“*, Wien. IBO-Verlag, 129–134.

und des Kehlkopfes. Betroffen sind auch Luftröhre und Lunge sowie die Bindehaut der Augen. Akute Reizerscheinungen der oberen Atemwege sowie Bindehautreizungen werden in Innenräumen meist durch flüchtige Substanzen wie Formaldehyd und Lösungsmittel sowie durch Allergene verursacht.¹¹ Extrem trockene Luft begünstigt die Entstehung dieser Beschwerden.¹²

Diese Symptome sind als Warnsignale für die Gefährdung der Gesundheit anzusehen und können auch Vorboten krankhafter Veränderungen sein. Eine besondere Gefahr stellen Schadstoffe in Innenräumen dar, wenn die Abwehrkräfte eines Menschen geschwächt sind, wie etwa in der Regenerationsphase nach einer Krankheit. Gute Luft ist besonders in Räumen wichtig, in denen sich Kinder, Schwangere, ältere Menschen und Personen, die unter Atemwegsproblemen leiden, aufhalten.

¹¹ ECA 1991: *Effect of Indoor Air Pollution on Human Health. European Concerted Action: Indoor Air Quality & its Impact on Man*, Report No. 10.

¹² Wallner P. et al. 2017: Health and Wellbeing of Occupants in Highly Energy Efficient Buildings: A Field Study. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2017, 14 (3), 314.

„Multiple Chemical Sensitivity“ (MCS) bezeichnet eine generelle Überempfindlichkeit gegen Chemikalien. Betroffene Menschen reagieren auf verschiedenste Chemikalien – auch schon in niedrigster Konzentration – mit Befindlichkeitsstörungen und Reizerscheinungen. Das sogenannte „Sick Building Syndrome“ äußert sich in unspezifischen Symptomen wie etwa Schleimhautreizungen, Müdigkeit und Kopfschmerzen. Eine sichere diagnostische Zuordnung zu diesen beiden Syndromen gelingt allerdings häufig nicht. Neben den gesundheitlichen Faktoren wird auch die Leistungsfähigkeit signifikant beeinflusst.¹³ Unzureichende Belüftung in Schlafzimmern führt zu schlechter Raumluft. Dies kann sich am nächsten Tag beispielsweise negativ auf die Fähigkeit, sich zu konzentrieren und logisch zu denken, auswirken.¹⁴

¹³ Wyon D. P. 2004: The effects of indoor air quality on performance and productivity. Indoor Air Volume 14, Issue s7 August 2004, 92–101.

¹⁴ Ström-Tejens P. et al. 2016: The effects of bedroom air quality on sleep and next-day performance. Indoor Air Volume 26, Issue 5, 679–686.

Allergien sind Überreaktionen des menschlichen Immunsystems. Substanzen, die Allergien auslösen, nennt man Allergene. Mit Allergenen kommt der Mensch über die eingeatmete Luft, die Nahrung und durch Hautkontakt in Berührung. Als Symptome treten vorwiegend Reizungen der Schleimhäute (Atmungs-trakt, Augen), Schnupfen, allergisches Asthma und Kontaktekzeme auf. Zu den wichtigsten Allergenen in Innenräumen zählen Hausstaubmilben, Schimmelpilzsporen sowie Haare und Hautschuppen von Haustieren. Auch Schadstoffe aus Baumaterialien und Einrichtungsgegenständen sowie Pflanzen können Allergien hervorrufen.

GRENZ- UND RICHTWERTE FÜR SCHADSTOFFE IM INNENRAUM

In den gesetzlichen bautechnischen Regelungen der Bundesländer ist der Schutz vor gefährlichen Immissionen bei Gebäuden enthalten. Basis ist die OIB-Richtlinie 3, die festlegt: „Aufenthaltsräume sind so auszuführen, dass gefährliche Emissionen aus Baumaterialien und aus dem Untergrund bei einem dem Verwendungszweck entsprechenden Luftwechsel nicht

zu Konzentrationen führen, die die Gesundheit der Benutzer beeinträchtigen können“.¹⁵

In den Erläuterungen zur OIB-Richtlinie 3 wird erklärt: „Immissionen können prinzipiell auf zweierlei Art auf ein vertretbares Maß reduziert werden: Durch Reduktion der Quellstärke oder durch Erhöhung der Frischluftzufuhr. Eine ausreichend hohe Luftwechselrate widerspricht allerdings dem Ziel eines möglichst niedrigen Luftwechsels im Sinne der Energieeffizienz. Als Richtwert für die Frischluftzufuhr zu Wohnräumen gilt 25 m³ pro Person und Stunde, was ausreicht, wenn nicht geraucht wird, offene Flammen (z. B. Durchlauferhitzer) einen eigenen Abzug besitzen, keine flüchtigen Lösungsmittel von Bauprodukten abgegeben werden und auch auf geruchsintensive Haushalts- und Hobbychemikalien verzichtet wird. Wegen der Unsicherheit hinsichtlich der Vor-ausberechnung der CO₂-Konzentrationen in der Planungsphase wurde

¹⁵ OIB-Richtlinie 3, 2015: Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz. Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB), OIB-330.3-009/15.

auf die Angabe eines Richtwertes verzichtet.“¹⁶

Gesetzliche Grenzwerte für Substanzen in Räumen gibt es nur für Arbeitsplätze, an denen mit gesundheitsschädlichen Substanzen gearbeitet wird. Für diese Fälle gelten Arbeitsplatzgrenzwerte (MAK-Werte = maximale Arbeitsplatzkonzentrationen, TRK-Werte = technische Richtkonzentrationen).¹⁷ Diese Grenzwerte werden allerdings nicht, wie der Titel vielleicht vermuten lässt, an allen Arbeitsplätzen angewendet, sondern nur an solchen, an denen mit gesundheitsschädlichen Stoffen gearbeitet wird, wie schon erwähnt; diese Räume gelten dann per definitionem nicht als „Innenräume“. So ist eine Belastung der Luft eines Büroraumes durch Formaldehyd, die durch Ausgasung aus spanplattenhaltigen Möbeln entsteht, wie eine Belastung im

Wohnraum zu betrachten und nicht wie eine Belastung an einem Arbeitsplatz in der chemischen Industrie.

Für „Innenräume“ wie Büros, Schulen, Wohnräume und dergleichen wurden von der WHO spezielle Richtwerte veröffentlicht, die aus Vorsorgegründen weit unter den Arbeitsplatzgrenzwerten liegen.¹⁸ In einer vom Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT) und der Österreichischen Akademie der Wissenschaften herausgegebenen Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft wurden weitere Richtwerte für die Innenraumluft festgelegt.¹⁹ Ziel dieser Richtlinie ist es, eine österreichweit einheitliche Erfassung und Bewertung der Innenraumluft zu ermöglichen. Die angegebenen Richtwerte sind als wirkungsbezogene Innenraumrichtwerte (WIR) definiert, wobei ein WIR jene Konzentration darstellt, bei deren Unterschreitung gemäß dem derzeitigen Wissensstand mit keiner

schädigenden Wirkung zu rechnen ist. Für Tetrachlorethen (auch PER oder TCE) ist der WIR mit $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und für Styrol mit $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Siebentagemittelwert festgelegt, für Toluol mit $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Stundenmittelwert. Bei Überschreitung dieser Werte sind Maßnahmen nach dem Stand der Technik einzuleiten, die geeignet sind, eine Reduktion der Raumluftkonzentration herbeizuführen – dies kann auch eine bessere Lüftung der Räume umfassen. Für Substanzen, die in Österreich nicht geregelt wurden, können Richtwerte des „Ausschusses für Innenraumrichtwerte“ (AIR, früher Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte) des deutschen Umweltbundesamtes herangezogen werden.²⁰

Neben Richtwerten können auch Leitwerte für die Innenraumluft definiert werden. Unter einem Leitwert versteht man einen hygienisch begründeten Beurteilungswert für einen Stoff oder eine Stoffgruppe. Leitwerte werden festgelegt, wenn

¹⁶ Erläuternde Bemerkungen OIB-R3, 2015: Hygiene, Gesundheit, Umweltschutz. Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB), OIB 330.3-010/15.

¹⁷ Grenzwerteverordnung 2011: BGBl. II Nr. 253/2011 i. d. g. F.: Verordnung des Bundesministers für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz über Grenzwerte für Arbeitsstoffe sowie über krebserzeugende und fortpflanzungsgefährdende (reproduktionsstoxische) Arbeitsstoffe (GKV 2011).

¹⁸ WHO 2010: WHO-Guidelines for indoor air quality: selected pollutants. World Health Organisation (WHO), Regional Office for Europe, Copenhagen.

¹⁹ BMNT 2018: Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft. Herausgeber BMNT unter Mitarbeit der Österreichischen Akademie der Wissenschaften. Loseblattsammlung.

²⁰ Ad-hoc-AG 2012: Richtwerte für die Innenraumluft: erste Fortschreibung des Basisschemas. Mitteilung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumluftthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. Bundesgesundheitsblatt 2012, Nr. 55, 279–290.

systematische praktische Erfahrungen vorliegen, dass mit steigender Konzentration die Wahrscheinlichkeit für Beschwerden, nachteilige gesundheitliche Auswirkungen oder die Reduktion der Leistungsfähigkeit zunimmt, der Kenntnisstand aber nicht ausreicht, um toxikologisch begründete Richtwerte abzuleiten. Ein Beispiel ist der von Menschen abgegebene Stoff CO₂, der bei erhöhten Konzentrationen für nicht unbedeutende Leistungsverluste verantwortlich sein kann.²¹ Leitwerte wurden in Österreich außer für CO₂ auch für die Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (Total Volatile Organic Compounds [TVOC]) festgelegt. Für Feinstaub (z. B. Particulate Matter PM_{2.5}) werden Richtwerte für den Außenbereich (WHO) herangezogen.²²

²¹ Allen J. et al. 2016: Associations of Cognitive Function Scores with Carbon Dioxide, Ventilation, and Volatile Organic Compound Exposures in Office Workers: A Controlled Exposure Study of Green and Conventional Office Environments. *Environ Health Perspect* 124, 805–812.

²² WHO (2005): Air Quality Guidelines. Global update. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. World Health Organisation (WHO), Geneva, 278.

Für Schimmelsporen in Innenräumen sind fixe Grenz- oder Richtwerte nicht sinnvoll, die in Innenräumen gemessenen Werte müssen immer auf die jeweilige Außenluftkonzentration und das spezifische Artenspektrum bezogen werden. Schimmelprobleme werden im vom Arbeitskreis Innenraumluft am österreichischen Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus veröffentlichten „Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelbefall in Gebäuden“ (Schimmelleitfaden)²³ behandelt.

Mitunter werden zur Bewertung von Raumluftschadstoffen auch sogenannte „baubiologische Richtwerte“ angeführt. Diese basieren jedoch in der Regel nicht auf wissenschaftlich nachvollziehbaren Grundlagen und sollten daher nicht zur Bewertung von Innenraumfaktoren herangezogen werden.

Wichtig bei der Beurteilung von Innenraumfaktoren ist eine fachgerechte Messstrategie und die Ver-

wendung geeigneter Messmethoden, die von erfahrenen Innenraumanalysatoren durchgeführt werden.

²³ BMNT 2018: Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelbefall in Gebäuden („Schimmelleitfaden“). Herausgegeben vom Arbeitskreis Innenraumluft am BMNT gemeinsam mit der AUVA und dem Bundesverband für Schimmelsanierung und technische Bauteiltrocknung.

INNENRAUMKLIMA

HANNS MOSHAMMER

Der Klimawandel ist angekommen: in der Realität, in den Köpfen, in der Werbung. Dabei geht es nicht um den globalen Klimawandel, der mitunter ja immer noch angezweifelt wird. Die Rede ist vielmehr vom Innenraumklima. Ein Beispiel aus der Werbung gefällig? Die Kamera schaut durch ein großes Fenster hinaus auf eine kalte Winterlandschaft mit Bergen von Schnee. Dann schwenkt die Kamera in den ganz offensichtlich wohligh warmen Innenraum. Dies wird symbolisiert durch eine sehr spärlich bekleidete Schöne, die sich entweder genüsslich vor einem Kamin rekelt oder bloßfüßig durch das Zimmer tänzelt. Eine Werbung für eine Holz-, Gas- oder Ölheizung, ganz gleich. Sie ist auch völlig neutral hinsichtlich des Brennmaterials: Unser Installateur schafft unsere Wohlfühloase. Und in diesem Fall ist die Werbung zur allgemeinen Überraschung nicht einmal weit von der Realität entfernt: Der moderne Mensch möchte sich in Wohnräumen

keinen Einschränkungen im Sinne der Anpassung der Bekleidung an äußere Temperaturverhältnisse unterwerfen – dies führt dazu, dass erwartet wird, auch in der kalten Jahreszeit in sommerlicher Bekleidung beispielsweise vor dem Fernseher sitzen zu können. Raumtemperaturen von 23 °C oder mehr sind daher mittlerweile keine Seltenheit. In vielen beheizten Wohnungen werden derartige Temperaturen angestrebt und erreicht.¹ Ein weiteres Beispiel aus der Realität: ein heißer Sommertag, je nach Weltgegend also Temperaturen deutlich von 30 °C aufwärts. Ich betrete eine Hotellobby oder ein Konferenzzentrum, jedenfalls einen Raum, in dem ich nicht unmittelbar auf die Temperaturregelung Einfluss nehmen kann. Plötzlich fühle ich mich deutlich „underdressed“, will

¹ Mavrogianni A., Johnson F., Ucci M. et al. 2013: Historic Variations in Winter Indoor Domestic Temperatures and Potential Implications for Body Weight Gain. *Indoor + Built Environment* 2013, 22 (2), 360–375.



Hanns Moshammer ist Arzt, Facharzt für Hygiene, Umweltmediziner und Leiter der Abteilung für Umwelthygiene und Umweltmedizin der Medizinischen Universität Wien. Er ist im Vorstand und wissenschaftlichen Beirat mehrerer wissenschaftlicher Gesellschaften und widmet sich in seiner Forschung diversen umwelt- und arbeitsmedizinischen Fragestellungen.

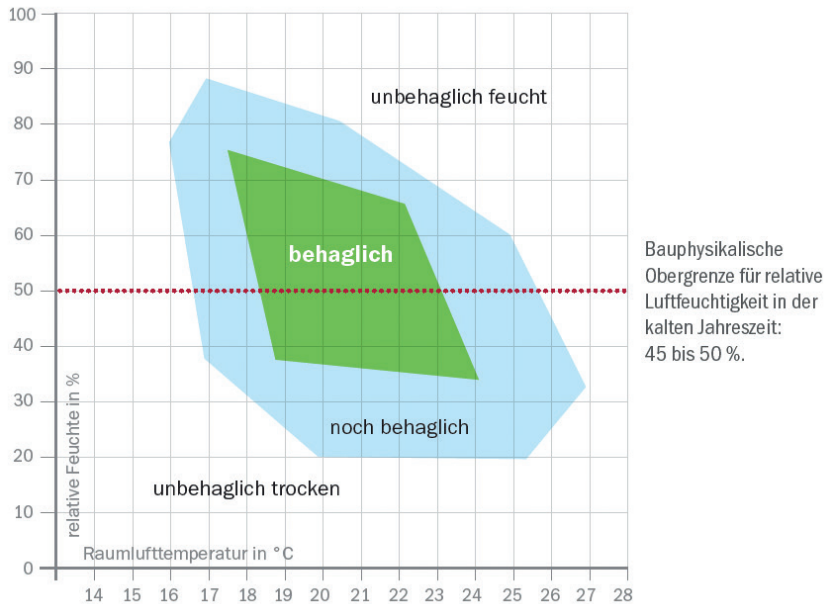


Abb. 1: Feuchte- und Temperatur-Behaglichkeitsbereich nach Leusden und Freyremark.

sagen, mir ist sehr kalt. Es mag ja stimmen, dass die Raumluft wie laut Lehrmeinung auf 20 °C hinuntergekühlt worden ist, aber angesichts des plötzlichen Wechsels fühlt sie sich deutlich kälter an.

Es ist also gar nicht so abwegig, wenn behauptet wird, dass die Raumtemperatur mancher Räume inzwischen im Sommer niedriger ist als im Winter. Die Technik macht es möglich, aber dies ist weder ökologisch noch

ökonomisch sinnvoll: Auch für den am besten gedämmten Raum ist der Energieverlust proportional zur Temperaturdifferenz! Der „Klimaextremismus“ ist aber auch nicht unbedingt gesund. Erstens ist eine gewisse Klimavariabilität stimulierend, zweitens ist Klimamonotonie auf Dauer gar nicht so angenehm. Wir können und dürfen daher unserem Körper durchaus 19 °C im Winter und 24 °C im Sommer zumuten (Abbildung 1).

Selbst extreme Wechsel wie ein Saunabesuch mit anschließender Abkühlung sind, wohl dosiert und vernünftig angewendet, gesundheitsförderlich.^{2,3} Der Körper stellt sich langfristig auf die vorgefundene Temperatur ein und passt die Hautdurchblutung, die Flüssigkeits- und Elektrolytbilanz sowie die Schweißproduktion den Umweltbedingungen an. Strahlungswärme wie beispielsweise bei einem Kachelofen bewirkt, dass wir die subjektiv empfundene Umgebungstemperatur höher einschätzen – dies ist sowohl energetisch (geringere Heizkosten) als auch gesundheitlich sinnvoll. Als gesunder Mensch halte ich natürlich auch den Wechsel vom Sommertag in die Kühlkammer des Hotels aus, auch wenn es mich zuerst „kalt erwischt“. Für den chronisch kranken Menschen kann ein so rascher Temperaturwechsel aber schon ein Problem darstellen. Eine Herzerkrankung stellt schließlich auch eine Kontraindikation für den Saunabesuch dar.

² Laukkanen T. et al. 2017: Sauna bathing is inversely associated with dementia and Alzheimer's disease in middle-aged Finnish men. *Age Ageing* 46 (2), 245–249.

³ Laukkanen T. et al. 2015: Association between sauna bathing and fatal cardiovascular and all-cause mortality events. *JAMA Intern Med.* 175 (4), 542–548.

Die Menschen haben Zelte, Hütten und Häuser gerade auch deshalb errichtet, um sich vor extremen Witterungseinflüssen wie Nässe, Kälte und Hitze zu schützen. Es ist gut und wichtig, wenn man die Extreme ausgleicht. Es ist aber jedenfalls übertrieben und vielleicht auch nicht gesund, wenn jede Variabilität unterdrückt wird. Starke Temperaturunterschiede zwischen innen und außen führen ja auch zu Temperaturunterschieden im Raum, vor allem auch bei der Strahlungswärme. Diese Temperaturunterschiede können dann unangenehme Zuglufterscheinungen⁴ bewirken – ob real oder gefühlt. Diese werden noch verstärkt, wenn man ein Fenster zu Lüftungszwecken öffnet. Und Lüftung ist nun einmal notwendig in einem benutzten Raum.

Im Folgenden geht es um ein weiteres „Markenzeichen“ des globalen Klimawandels, diesmal um Kohlenstoffdioxid (CO₂), aber wiederum nicht um den globalen Klimawandel selber, sondern um CO₂ als Parameter für Frischluftverbrauch bzw. -bedarf (Abbildung 2). Natürlich weist CO₂ ungünstige physikalische und chemische Eigenschaften auf: Es ab-

⁴ Toftum J. 2004: Air movement – good or bad? Indoor Air 14 Suppl. 7, 40–45.

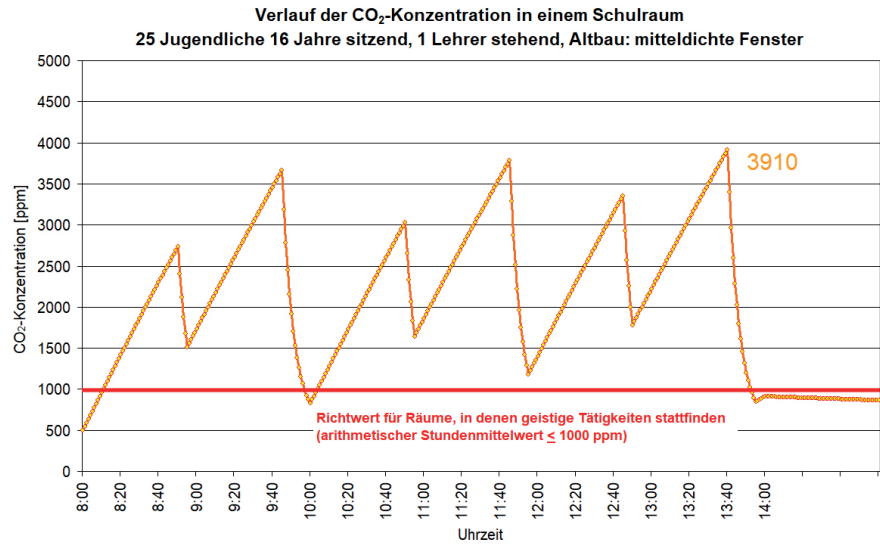


Abb. 2: Verlauf der Konzentration an CO₂ in einem neu renovierten Klassenraum bei Stoßlüftung in den Pausen. Aus www.raumluft.org. Rechenprogramm für CO₂ in Innenräumen, Version 3.0.

sorbiert Infrarotstrahlung (globaler Klimawandel)⁵ und ist schwerer als Sauerstoff, den es vom Boden (Gärkeller!) verdrängt. Es löst sich in Was-

⁵ IPCC 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Core Writing Team, Pachauri R. K. and Meyer L. A. [editors]). IPCC, Geneva, Switzerland, 151. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/> zuletzt besucht: 6. Juli 2018.

ser und bildet Kohlensäure, die zur Ansäuerung des Blutes führt. Bei typischen Konzentrationen wirkt dies sogar stimulierend auf das Atemzentrum. Unsere Ausatemluft enthält 4–5 Prozent CO₂. Bei einem Unfall- oder Ertrinkungsoffer mit Atemstillstand führt man eine Mund-zu-Mund Beatmung durch, ohne dabei das Opfer zu vergiften.

Im Innenraum wird der CO₂-Gehalt idealerweise auf 1.000 ppm

(0,1 Volumprozent) begrenzt.⁶ Nicht, weil höhere Konzentrationen bereits giftig wären, sondern weil die CO₂-Konzentration ein Maß für den Luftverbrauch durch die Bewohnerinnen und Bewohner (Menschen und Tiere) ist und damit auch für den Verbrauch von Sauerstoff und – noch bedeutsamer – den Eintrag von flüchtigen organischen Verbindungen und Geruchsstoffen. Mit steigender CO₂-Konzentration nimmt nachweislich die Konzentrationsleistung von Personen ab.^{7,8} In Räumen mit größeren Menschenansammlungen (z. B. Schulklassen) steigt bei nicht ausreichendem Luftaustausch auch die Verweildauer von Infektions-

erregern, z. B. Grippeviren, und damit das Infektionsrisiko.⁹

Mit zunehmend dichten Gebäudehüllen, auch mit dem Ziel der Energieeinsparung, wird die ausreichende Frischluftversorgung immer bedeutsamer. Im Prinzip kann Frischluftzufuhr durch überlegtes Öffnen der Fenster erreicht werden. Wenn die Außentemperaturen angenehm sind, können die Fenster dauerhaft gekippt oder einen Spalt offen gelassen werden, es sei denn, Lärm, Luftschadstoffe oder die Angst vor Einbrechern sprechen dagegen. In der Übergangszeit könnte man eher und vermehrt am Tag lüften, an heißen Sommertagen sollte man sich auf die kühleren Nachtstunden beschränken. Im Winter ist eine Dauerlüftung über die Fenster wegen des Wärmeverlustes nicht effizient und in manchen Situationen (beispielsweise in Schulklassen) in ausreichendem Ausmaß gar nicht möglich. Bei Spaltlüftung kann sich dort, wo die Frischluft die Oberflächen kühlt, Kondenswasser und unter Umständen Schimmel bilden. In diesem Fall

bietet sich eine wiederholte kurze Stoß- und Querlüftung an, die genügend Frischluft einbringt, aber nicht so lange währt, dass auch die Materialoberflächen abkühlen.

Leider muss so eine Stoßlüftung, um die CO₂-Konzentration gering zu halten, sehr oft wiederholt werden. Und wer will schon in der Nacht alle paar Stunden aufstehen? In diesem Fall ist eine bedarfsgeregelte mechanische Lüftung, mit Filterung der Zuluft und Wärmerückgewinnung, eine bessere Lösung – idealerweise eine qualitativ hochwertige sogenannte „Komfortlüftung“. Die Technik muss natürlich an Raumluftvolumen und Frischluftbedarf bzw. an die Zahl der Personen, die Eigenheiten des Bauwerkes und der Umgebung angepasst sein und muss auch mit dem Heizungskonzept harmonieren.

Während viele Wohnungen überheizt sind, gibt es auch das Gegenteil. Von „Energiearmut“ spricht man, wenn das Geld nicht zum Heizen reicht: Zu wenig Geld, um Brennstoffe bzw. Wärme zu kaufen, trifft oft auf qualitativ schlechte, mangelhaft gedämmte Wohnungen und ineffiziente alte Heizsysteme. In Österreich existieren kaum allgemein akzeptierte Definitionen dieser Art von Armut, und entsprechend unsicher sind Abschätz-

⁶ BMLFUW 2017: Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft – Richtlinienenteil „Physikalische Faktoren: Kohlenstoffdioxid als Lüftungsparameter“. Hrsg.: BMLFUW unter Mitarbeit der Österreichischen Akademie der Wissenschaften.

⁷ Wargocki P. et al. 2000: The effects of outdoor air supply rate in an office on perceived air quality, sick building syndrome (SBS) symptoms and productivity. *Indoor Air* 10 (4), 222–236.

⁸ Shaughnessy R. et al. 2006: A preliminary study on the association between ventilation rates in classrooms and student performance. *Indoor Air* 16, 465–468.

⁹ Rudnick S. N., Milton D. K. 2003: Risk of Indoor Airborne Infection Transmission Estimated From Carbon Dioxide Concentration. *Indoor Air* 13 (3), 237–245.

zungen, wie viele Österreicherinnen und Österreicher davon betroffen sind. Nach einer europäischen Erhebung aus dem Jahr 2011 wären in Österreich 2–3 Prozent der Bevölkerung betroffen.¹⁰ Im Gegensatz zu Österreich wurden im Vereinigten Königreich mehrere Interventionsstudien durchgeführt.^{11, 12} Sie zeigten, dass finanzielle Unterstützungen, die den Betroffenen helfen, zu besser gedämmten Wohnungen und effizienteren Heizsystemen zu gelangen, deren Energieverbrauch bzw. deren Energiekosten nicht senken. Vielmehr tragen sie dazu bei, dass die winterliche Raumtemperatur behaglicher wird und führen damit auch zu weniger subjektiv empfun-

denen und objektiv nachgewiesenen Krankheitsepisoden. Diese Studien konnten auch zeigen, dass diese Interventionen durch den verbesserten Gesundheitszustand, die damit geringeren Kosten für das Gesundheitssystem und die erhöhte Arbeitsleistung kosteneffizient waren.

¹⁰ E-Control: Energiearmut in Österreich. Definitionen und Indikatoren. <https://www.e-control.at/documents/20903/-/-/f822f677-5515-454e-9e2e-7c269f6c7721> zuletzt besucht: 6. Juli 2018.

¹¹ Grey C. N. et al. 2017: The short-term health and psychosocial impacts of domestic energy efficiency investments in low-income areas: a controlled before and after study. *BMC Public Health* 17 (1), 140.

¹² Kolokotsa D., Santamouris M. 2015: Review of the indoor environmental quality and energy consumption studies for low income households in Europe. *Sci Total Environ.* 1, 536, 316–330.

AUSSENLUFT

ANNE KASPER-GIEBL

Die Qualität der Außenluft wird in Österreich über die Luftgütemessnetze der Bundesländer und des Umweltbundesamtes überwacht. Art und Umfang der Messungen beruhen auf der nationalen und internationalen Gesetzgebung. Ein Blick in die jüngere Vergangenheit zeigt, dass in Österreich bei einzelnen Parametern, speziell bei Stickstoffdioxid und Feinstaub, nach wie vor Grenzwertüberschreitungen auftreten können.¹ Entsprechend groß ist das Bewusstsein, dass Maßnahmen zur Verbesserung der Qualität der Außenluft zu setzen sind.

Auch die Luftqualität in Innenräumen kann durch die Außenluft beeinflusst werden. Allerdings darf diese Wechselwirkung nicht einseitig gesehen werden. Nicht in jedem

Fall „schützt“ der Innenraum die Bewohnerinnen und Bewohner vor den schädlichen Einflüssen der Außenluft. Abhängig vom Vorhandensein und der Stärke von Emissionsquellen im Innenraum stellt sich die Situation sehr unterschiedlich dar. Unter Umständen ist die Luftqualität im Innenraum schlechter als im Freien.

Über die Verhältnisse der Konzentrationswerte einzelner Schadstoffe im Innenraum und in der Außenluft (Indoor/Outdoor Ratios, abgekürzt mit I/O Ratios) kann geschlossen werden, wo die Quelle eines Schadstoffs liegt.² Liegt die Quelle im Innenraum, so ergeben sich I/O Ratios, die größer als 1 sind. Je nach Quellstärke können die Konzentrationswerte im Innenraum ein Vielfaches der Werte in der Außenluft betragen. In diesem Fall bringt Lüften eine deutliche



Anne Kasper-Giebl ist ao. Universitätsprofessorin an der TU-Wien Institut für Chemische Technologien und Analytik und leitet dort die Forschungsgruppe „Umweltanalytik“. Ihre Forschungsinteressen liegen im Bereich der Atmosphärenchemie, mit Schwerpunkt auf der Charakterisierung atmosphärischer Aerosole in der verschmutzten und der sauberen Atmosphäre. Sie ist Mitglied der Kommission für Klima und Luftqualität der ÖAW.

¹ Spangl W., Nagl C. 2017: Jahresbericht der Luftgütemessungen in Österreich 2016. Bericht des Umweltbundesamtes, Band 0605, ISBN: 978-3-99004-419-3.

² Yocom J. E. 1982: A Critical Review, Journal of the Air Pollution Control Association, 32 (5), 500–520.



Abb. 1: Wohnen an befahrenen Straßen geht mit einer deutlich höheren Schadstoffbelastung einher.

Verbesserung der Luftqualität. Komponenten, die keine oder vernachlässigbare Quellen im Innenraum aufweisen, werden hingegen aus der Außenluft in den Innenraum eingebracht (Abbildung 1). In dem Fall

ist die I/O Ratio kleiner/gleich 1. Je nach Reaktivität der Schadstoffe ist hier eine kürzere oder längerfristige Beeinflussung der Luftqualität im Innenraum zu erwarten. Neben der Lage der Quellen beeinflusst natür-

lich der Luftwechsel die I/O Ratios sehr stark. Hohe Konzentrationsunterschiede begünstigen zusätzlich die gegenseitige Beeinflussung.

Ozon und Schwefeldioxid, beides klassische Luftschadstoffe, die im Rahmen der Immissionsmessungen in der Außenluft kontrolliert werden, sind Beispiele für I/O Ratios kleiner als 1.² Sie werden aus der Außenluft in die Innenräume eingebracht und dort abgebaut. Speziell Ozon weist im Innenraum eine sehr geringe Lebenszeit auf, d.h., hier schützt der Innenraum während Episoden mit erhöhter Ozonbelastung im Freien. Dies gilt natürlich nur mit der Einschränkung, dass keine Ozonquelle im Innenraum vorhanden ist.

Für Partikel – d.h. Feinstaub als Surrogat, aber auch einzelne Staubinhaltsstoffe oder die Konzentration besonders kleiner Staubteilchen – werden sehr unterschiedliche I/O Ratios beschrieben.^{3,4} Wenn sich Personen in Innenräumen aufhalten

³ Lazaridis M. et al. 2017: Number concentrations and modal structure of indoor/outdoor fine particles in four European cities. *Aerosol and Air Quality Research* 17, 131–146.

⁴ Chen C., Zhao B. 2011: Review of relationship between indoor and outdoor particles: I/O ratio, infiltration factor and penetration factor. *Atmospheric Environment* 45, 275–288.

und bewegen, kommt es durch die Wiederaufwirbelung von Staub zu erhöhten Konzentrationswerten der Teilchen. Zusätzliche Aktivitäten wie Kochen, Heizen oder Rauchen können eine Staubbelastung verursachen, bei der die Teilchenkonzentration weit über den in der Außenluft gemessenen Werten liegt. Auch aus gasförmigen Vorläufersubstanzen kann es im Innenraum zur Partikelbildung kommen. Sind solche Quellen aktiv, werden I/O Ratios über 1 bestimmt, und eine Erhöhung des Luftwechsels wird eine Verbesserung der Luftqualität im Innenraum bringen.

Auch für Stickstoffoxide oder Kohlenmonoxid gelten die für Partikel beschriebenen Verhältnisse. Als Quellen im Innenraum können z. B. Gasherde, aber auch andere Verbrennungsprozesse genannt werden. Diese und weitere Komponenten und Quellen werden in den folgenden Kapiteln genannt.

Spezielle Aufmerksamkeit wird in der Literatur auch den Auswirkungen der Außenluft auf die Luftqualität in Schulen geschenkt,⁵ es werden überdies mögliche Ansätze zur Ver-



Abb. 2: Emissionen aus der Industrie oder Müllverbrennungsanlagen tragen deutlich weniger als früher zur Verschmutzung der Außenluft bei.

besserung der Innenraumluft durch ein geändertes Lüftungsverhalten diskutiert (Abbildung 2).⁶

Zusammenfassend ist festzuhalten: Entsteht der Schadstoff im Innenraum, so wird eine Erhöhung des Luftwechsels, d. h. der Austausch mit der Außenluft, eine Verbesserung der

Situation bringen. Das gilt ganz unabhängig davon, ob es sich um Partikelemissionen oder die Emission gasförmiger Schadstoffe handelt und ob Einrichtungsgegenstände, Reinigungsmittel oder Verbrennungsprozesse als Emissionsquellen wirksam sind. Das einfachste und gleichzeitig sehr anschauliche Beispiel sind erhöhte Konzentrationswerte von CO₂ oder Geruchsstoffen, die alleine durch den Aufenthalt des Menschen im Innenraum entstehen. Hier sagt uns die Erfahrung, dass Lüften die Luftqualität verbessert. Sind im Innenraum keine Quellen wirksam und treten in der Außenluft erhöhte Immissionskonzentrationen auf, so wird die Luftqualität im Innenraum durch die Außenluft negativ beeinflusst.

⁵ Blondeau P. et al. 2005: Relationship between outdoor and indoor air quality in eight French Schools. *Indoor Air* 15, 2–12.

⁶ MacNeill M. et al. 2016: Can changing the timing of outdoor air intake reduce indoor concentrations of traffic-related pollutants in schools? *Indoor Air* 26, 687–701.

LUFTSTRÖMUNGEN UND DIFFUSION VON SCHADSTOFF- FEN IN GEBÄUDEN

BERNHARD DAMBERGER

In Zusammenhang mit Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) und den daraus folgenden Belastungen der Innenraumluft interessiert die Frage, unter welchen Umständen es zu sogenannten „interzonalen Luftströmungen“ – dem meist unerwünschten Übertritt von flüchtigen und geruchsrelevanten Substanzen von einem Gebäudeteil in einen anderen – kommt.¹ Sehr

häufig bemerken Nutzerinnen und Nutzer von Gebäuden diese unerwünschten Luftströmungen erst, wenn schon eine Geruchsbelästigung vorliegt, wie beispielsweise durch Zigarettenrauch oder durch Essensgeruch bei dem die Betroffenen den Speiseplan der einen Stock tiefer lebenden Familie nachvollziehen können (Abbildung 2).

Obwohl viele Aspekte zu interzonalen Luftströmungen nur unzureichend untersucht sind, ist in begründeten Fällen von einem Transfer von Schad- und Geruchsstoffen von einem Gebäudeteil zu einem anderen und einem anschließenden Übertritt in die Raumluft auszugehen – Ge-



Bernhard Damberger ist seit 1998 geschäftsführender Gesellschafter der IBO Innenraumanalytik OG und Leiter des Labors. Seine Stärke ist das Auffinden von Geruchsquellen und die Lösung von Schadstoffproblemen vor Ort. Er ist Mitarbeiter des Arbeitskreises Innenraumluft am BMNT (Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus) und führt wissenschaftliche Studien im Bereich „Luftschadstoffe“ durch.

¹ Tappler P., Damberger B. 1996: Interzonal airflow from garages to occupied zones as one reason for building related illness: three case studies using tracer gas measurements. In: Indoor Air '96 – Proc. 7th Internat. Conf. of Indoor Air Quality and Climate, Nagoya Japan, Volume 4, 119–124.

bäude sind niemals dicht! Beispiele dafür sind persistente Lösungsmittelbelastungen durch in der Tiefe liegende Bauteilschichten wie etwa lösungsmittelhaltige Beschichtungen auf Bitumenbasis die als Feuchteschutz dienen (Abbildung 1). Auch der Eintritt von VOC aus Motortreibstoffen aus Garagen² oder flüchtige Substanzen aus im Kellerbereich gelagerten Stoffen (beispielsweise Farben, Lacke, Hobbychemikalien) in Wohnräume können im Einzelfall eine relevante Rolle im Hinblick auf die Konzentration an Luftinhaltsstoffen in Wohnräumen spielen.

Der Transfer der Substanzen kann relativ rasch durch direkte Strömung über Wegigkeiten (Fugen, Spalten, nicht exakt ausgeführte Verklebungen) oder längerfristig über Diffusion durch Bauteilschichten erfolgen. Auch scheinbar dichte Bauteilschichten sind im Normalfall nicht völlig diffusions- und luftdicht; es bestehen oft Wegigkeiten, durch die vor allem flüchtige Substanzen wie Lö-

sungsmittel strömen können.³ Übliche „luftdichte“ Schichten können daher den Transfer von Schadstoffen durch Bauteilschichten hindurch in der Regel nicht vollständig verhindern. Leichtbauteile sind grundsätzlich durchlässiger als Massivbauteile, was die Emissionen aus tieferen Bauteilschichten betrifft, da bei Leichtbauweise eine Luftdichtheit vor allem im Gebäudeinneren in der Regel nicht gegeben ist.

Ein bekanntes Beispiel für den Transfer von Schad- und Geruchsstoffen ist der Übertritt von Lösungsmitteln aus benachbarten Gewerbebetrieben oder aus Betrieben für chemische Reinigung (Tetrachlorethen) in Wohn- oder Büroräume.⁴ Für die Intensität und das Auftreten von Luftströmungen sind neben konstruktionsbezogenen Details vor allem Lüftungstechni-



Abb. 1: Etwa 100 Jahre alte Teerabdichtung im Sockelbereich als Geruchs- und Schadstoffquelle.

sche Gegebenheiten bestimmend. So kann es beim Einschalten eines Abluftventilators zu einem Unterdruck in dem betreffenden Innenraum von einigen Pascal kommen, der einen Eintritt von flüchtigen Stoffen aus anderen Gebäudeteilen beträchtlich verstärkt. Bestimmend für das Ausmaß des Übertritts sind weiters der Winddruck, die Windrichtung und Temperaturdifferenzen – diese Abhängigkeiten können Gründe für das von Nutzern häufig berichtete intermittierende Auftreten von Gerüchen sein.

Neben Strömungserscheinungen, die als Hauptursache für einen Transfer von Schad- und Geruchsstoffen in Gebäuden zu nennen sind, spielt in

² Lansari A. et al. 1996: Dispersion of Automotive Alternative Fuel Vapors within a Residence and Its Attached Garage. *Indoor Air* Volume 6, Issue 2, 118–126.

³ Tappler P., Damberger B. 1998: Interzonaler Schadstofftransfer in Gebäuden als Ursache von Geruchsproblemen; Vorgehensweise, Einsatz der Tracergastechnik, Sanierung. VDI-Berichte 1373 „Gerüche in der Umwelt, Innenraum- und Außenluft“, Tagung Bad Kissingen, 4.–6. 3. 1998, 489–500.

⁴ Tappler P. et al. 2013: Bestimmung der Tetrachlorethen-Konzentration in Räumen in der Nachbarschaft von Chemisch-Reinigungsbetrieben. Projekt beauftragt durch das BMLFUW, GZ BMLFUW-UW.1.3.4/0013-V/4/2011.



Abb. 2: Luftströmung von einem Büro in ein darüber liegendes durch Zerstörung der luftdichten Ebene zwischen den Geschossen – der Schaden liegt oberhalb der abgehängten Decke und war daher nicht sichtbar.

manchen Fällen auch Diffusion eine Rolle.⁵ Lösungsmittel haben wie Wasser das Bestreben, in Richtung des geringeren Dampfdruckes zu wandern. Diffusion kann im Einzelfall sogar durch dicke mineralische Bauteile wie Gebäudetrennmauern erfolgen –

alle mineralischen Bauteile und sogar Kunststofffolien und Bitumenbahnen sind bis zu einem gewissen Grad diffusionsfähig. Durch die bei Lösungsmittelleinsatz geschaffenen Depots kann es auch bei scheinbar „luftdichten“ Konstruktionen und in der Tiefe liegenden verdeckten Quellen zu am Beginn meist geringfügigen, mit der Zeit aber zunehmenden Durchtritten mit langen Emissionszeiten kommen. Es kann daher in solchen Fällen mitunter mehrere Jahre dauern, bis die

VOC-Konzentrationen wieder unter hygienisch unbedenkliche Werte absinken.

Hilfestellung zur Charakterisierung und Messung von Luftströmungen in Gebäuden bietet das Positionspapier zu Luftströmungen in Gebäuden des Arbeitskreises Innenraumluft am österreichischen Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT).⁶

⁵ Meininghaus R. et al. 2000: Diffusion and Sorption of Volatile Organic Compounds in Building Materials – Impact on Indoor Air Quality. Environ Sci Technol 34 (15), 3101–3108.

⁶ BMNT 2018: Positionspapier zu Luftströmungen in Gebäuden. Erarbeitet und aktualisiert vom Arbeitskreis Innenraumluft am BMNT.

BAUPRODUKTE UND MOBILIAR

FELIX TWRDIK, PETER TAPPLER

Bauprodukte und Mobiliar umgeben uns in Innenräumen wie eine „dritte Haut“. Es liegt auf der Hand, dass Emissionen von Luftinhaltsstoffen aus diesen Materialien mitunter zu erhöhten Konzentrationen in der Innenraumluft führen, insbesondere dann, wenn die Lüftungssituation nicht entsprechend ist.

Lösungsmittel aus Oberflächenbeschichtungen können zu Beginn zu hohen Konzentrationen an flüchtigen Substanzen (z. B. VOC) in der Raumluft führen, die Emission nimmt jedoch mit der Zeit ab. In Bezug auf Emissionen von VOC in Verbindung mit Belastungen der Innenraumluft stellt sich die Frage, unter welchen Umständen es zu einem unerwünschten Übertritt von flüchtigen Substanzen aus tieferen Schichten kommt; siehe dazu auch das Kapitel zu Luftströmungen in Gebäuden.

Weniger bekannt ist, dass auch Naturstoffe wie Granit, „Öko-Lacke“, Lehm und sogar unbehandeltes Holz in manchen Fällen zu Problemen in der Innenraumluft führen, insbesondere dann, wenn das Wissen über die „traditionelle“ Art der Verarbeitung nicht bekannt ist oder bei der Errichtung eines Gebäudes nicht beachtet wird.¹ Natürliche Lösungsmittel stehen in ihrer toxikologischen Potenz synthetischen Produkten in nichts nach – Naturstoffe sind grundsätzlich nicht per se „gesund“.

¹ Tappler P. 2004: Ist Natur gesund? Mögliche Raumluftprobleme durch Naturstoffe. In: Österr. Institut für Baubiologie und -ökologie (Hrsg.): Gesunde Raumluft. Schadstoffe in Innenräumen – Prävention und Sanierung. Internationaler Kongress, Messezentrum-WienNeu, 12.–13. 2. 2004. IBO-Verlag, Wien, 209–216.



Felix Twrdik ist Physiker und allgemein beeideter und gerichtlich zertifizierter Sachverständiger für Schimmel sowie Hygiene bei raumlufttechnischen Anlagen. Er ist seit mehr als 20 Jahren Geschäftsführer eines auf Innenraumanalytik spezialisierten Labors (IBO Innenraumanalytik OG) und Vortragender im Rahmen von berufsbegleitender Weiterbildung.

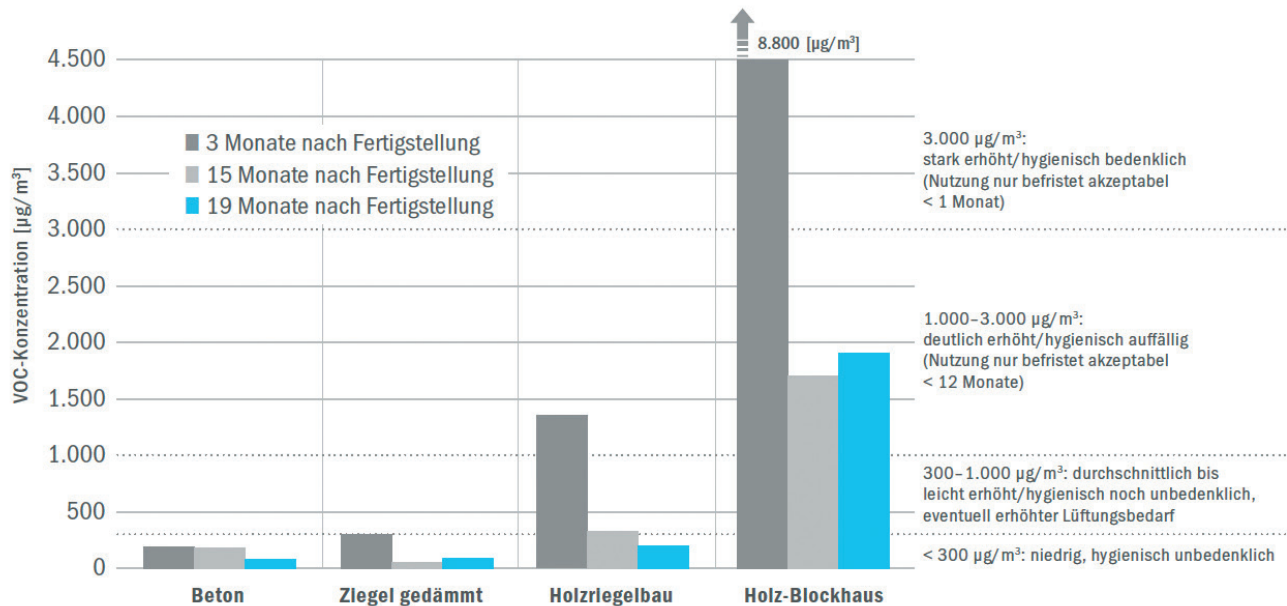


Abb. 1: Vergleich der sich einstellenden zeitabhängigen Raumluftkonzentration an TVOC bei unterschiedlichen Wandkonstruktionen. Vor allem harzreiche Hölzer wie Kiefer können eine lang anhaltende Quelle an Terpenen sein.¹

Bestimmte Holzsorten (vor allem Kiefer) müssen ausreichend getrocknet oder vermieden werden, um die Terpenkonzentration in Innenräumen auf ein akzeptables Niveau zu senken (Abbildung 1). Ein anderes

Beispiel sind Lehmwände, die unter bestimmten außenklimatischen Bedingungen aufgrund ihrer fehlenden Alkalität nicht verarbeitet werden dürfen, da sonst Schimmelbefall entstehen kann. Großflächiger Einsatz von Lehmprodukten kann in dichten Gebäuden mit unzureichender Lüftung zu einem Radonproblem führen, je nachdem wo die Tone herkommen.

Auch werden die Begriffe „offenporig“ oder „atmungsfähig“ manchmal grob missverstanden, eine undichte Ausführung der Wand- oder Deckenkonstruktion kann mitunter im Einzelfall sogar massive Bauschäden bewirken. Traditionell hergestellte offenporige Fußboden- oder Wandkonstruktionen führen aufgrund von Feuchteintritt immer wieder zu massivem Schimmel-

¹ Gesund Bauen, gesund Leben. Ergebnisse des Projektes VIVA Forschungspark. Baumit 2018.

und Hausschwammbefall. Eine zu „atmungsfähige“ Wand mit ungeplanten Öffnungen für den Luftaustausch in der Konstruktion ist weder für die Abfuhr von Schadstoffen noch für eine ausreichende Zufuhr von Frischluft geeignet – sie wird wegen ihrer bauphysikalischen Mängel sogar leicht zum Sanierungsfall.

Die Praxis zeigt, dass eine Prüfung von Bauprodukten nach den Vorgaben von nicht wirtschaftsabhängigen Labeln (dem Österreichischen Umweltzeichen, GUT, dem IBO-Prüfzeichen, natureplus etc.) ein gutes Auswahlkriterium für Verbraucher darstellt.

BAU- UND DÄMMSTOFFE

Baumaterialien üben einen großen Einfluss auf Wohnklima und -qualität aus. Für manche Wandbaustoffe, Dämmstoffe sowie Putze werden mitunter flüchtige Substanzen eingesetzt, deren Umwelt- und Gesundheitsverträglichkeit nicht immer ausreichend untersucht ist. In der Regel ist der Anteil an flüchtigen Substanzen in massiven Baustoffen aber sehr gering.

Anorganische Baustoffe wie Ziegel, Kalk- oder Gipsputze und Beton-

steine belasten das Innenraumklima in der Regel nicht. Die poröse Struktur von Putzoberflächen führt mitunter zu (oft erwünschten) Ad- und Desorptionserscheinungen, wobei flüchtige und mittelflüchtige Substanzen, die aus anderen Quellen im Innenbereich stammen, angelagert und wieder abgegeben werden. Relevanz erlangen Sorptionserscheinungen vor allem durch die persistierende Abgabe von Schadstoffen nach Entfernen der Primärquelle im Sanierungsfall. Andererseits wirken sich dickere Schichten anorganischer Baustoffe durch ihre Fähigkeit, Schadstoffe und Wasserdampf aufzunehmen, positiv auf das Raumklima aus.

Mineralische Dämmstoffe sind in Bezug auf die Emission an VOC als unproblematisch anzusehen, das Bindemittel von Mineralwolle kann allerdings in geringen Mengen Formaldehyd abspalten. Einen Sonderfall stellt trittfeste Glaswolle mit einem hohen Anteil an stickstoffhaltigen Salzen dar; dieses Material kann sich bei höherer Luftfeuchte zersetzen und unangenehme, nach Fisch riechende Geruchsstoffe (Amine) in den Innenraum abgeben.

KLEBER, LEIME UND DICHTSTOFFE

Lösungsmittelhaltige Bauchemikalien wie Klebstoffe, Leime, Dichtstoffe oder Fugen- und Ausgleichsmassen können zu einer monate- bis jahrelangen Beeinträchtigung der Innenraumluft durch flüchtige organische Stoffe (VOC) führen. Vorsicht ist vor allem bei bestimmten Dichtmassen und Bauanstrichen gegen Feuchte geboten, die auch heute noch mitunter hohe Konzentrationen aromatischer Lösungsmittel enthalten. Doch gerade bei Bitumenanstrichen und anderen Dichtanstrichen haben sich lösungsmittelarme Alternativen (arm an organischen Lösungsmitteln) gut bewährt, sodass eine Anwendung lösungsmittelhaltiger Produkte – wenn überhaupt – nur in wenigen Sonderfällen erforderlich ist.

Unmittelbar nach Fertigstellung von Neubauten oder nach Renovierungen sind erhöhte Konzentrationen an VOC zu erwarten. Bei konsequenter Vermeidung lösungsmittelhaltiger Produkte liegen die Summenkonzentrationen an VOC (TVOC) durchwegs unter 250 bis 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Lösungsmittelhaltige Kleber für Fußbodenbeläge sollten in der heutigen Zeit nahezu keine Rolle mehr spielen, werden aber mitunter immer

noch eingesetzt. Offenporiger Kork ist unmittelbar nach Verlegung für Lösungsmittel durchgängig, bei PVC, Linoleum und Gummibelägen treten Lösungsmittel teilweise erst nach einigen Wochen aus.

Auch Leime können durch ihre Ausgasungen die Raumluft mitunter über Monate oder sogar Jahre hinweg belasten. Der klassische Weißleim (PVA-Leim) sowie polyurethanbasierte Leime (PU-Leime) sind als unbedenklich für die Nutzerinnen und Nutzer von Innenräumen anzusehen. Problematisch können grundsätzlich Formaldehyd abspaltende Leime sein, die vor allem für Holzwerkstoffe eingesetzt werden. Dazu ist allerdings anzumerken, dass die Formaldehydkonzentrationen mittlerweile in ausreichend belüfteten Innenräumen bis auf wenige Ausnahmen vernachlässigbar gering geworden sind.²

OBERFLÄCHENBESCHICHTUNGEN

In der vorindustriellen Zeit wurden Lacke und Farben von den Malern



Abb. 2: Lösungsmittelhaltige Oberflächenbeschichtungen geben VOC in größeren Mengen an die Raumluft ab.

selbst aus wenigen Bestandteilen angerührt. Nicht immer waren diese Rezepturen – entgegen weit verbreiteter Meinung – gesundheitlich unbedenklich. Heute gibt es unzählige Rezepturen für Farben und Lacke. Ihre komplette Zusammensetzung ist aus den Produktdeklarationen meist nicht ersichtlich.

Belastungen der Raumluft werden in erster Linie durch Lösungsmittel, in geringem Ausmaß durch ausgasende Kunststoffbestandteile oder Hilfsstoffe, wie z.B. Weichmacher, erzeugt. Beschichtungen von Einrichtungsgegenständen, aber auch von Metallelementen können häufig

Quellen von VOC darstellen, die mitunter – auch durch ihre Geruchsentwicklung – zu Störungen des Wohlbefindens und zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen können (Abbildung 2).

Bei Holzoberflächen werden teilweise immer noch Imprägnierungen mit lösungsmittelhaltigen Pflanzenharzen und -ölen als „ökologische Alternative“ beworben. Lösungsmittelhaltige Rezepturen führen zu länger anhaltenden Konzentrationen an Terpen-Kohlenwasserstoffen und Aldehyden und werden als raumlufthygienisch nicht empfehlenswert eingestuft. Lösungsmittelarme Alternativen sind hier seit Jahren erfolgreich am Markt.

Als „Altlasten“ in Innenräumen findet man häufig noch Holzoberflächen, die in den 70er-Jahren des vorigen Jahrhunderts mit pentachlorphenol- (PCP-) und lindanhaltigen Holzschutzmitteln beschichtet wurden und auch heute noch relevante Abgasungen dieser Stoffe zeigen. Bei der Sanierung derartig belasteter Gebäude sind spezielle Maßnahmen erforderlich.³

² Salthammer T. 2010: Formaldehyde in the Indoor Environment. Chem. Rev. 2010 Apr 14, 110 (4), 2536–2572.

³ PCP-Richtlinie 1997: Richtlinie für die Bewertung und Sanierung Pentachlorphenol (PCP)-belasteter Baustoffe und Bauteile in

HOLZ UND HOLZWERKSTOFFE

Massives Holz emittiert entgegen einer weitverbreiteten Ansicht bei Raumtemperatur nahezu keinen Formaldehyd,⁴ bei sehr hohen Temperaturen (beispielsweise in Saunakammern) kann jedoch – abhängig von der Holzart und den Wachstumsbedingungen der Holzbauteile – Formaldehyd in relevantem Ausmaß freigesetzt werden.⁵

Die am häufigsten verwendeten Bindemittel bei der Produktion von Holzwerkstoffen (z.B. Spanplatten) für Einrichtungsgegenstände und Wandbaustoffe sind formaldehydhaltige Harze. Bis Anfang der 1980er Jahre waren Spanplatten problematisch, da diese großflächig eingesetzt wurden und als starke Emittenten von Formaldehyd (Abbildung 3) an-



Abb. 3: Auch ältere Möbel können noch Formaldehyd emittieren.

zusehen waren.⁶ Diese damals produzierten Platten emittieren auch heute noch relevante Mengen an Formaldehyd. Auch neue Span- und OSB-Platten geben kontinuierlich Formaldehyd an die Raumluft ab, allerdings in wesentlich geringerem,

für die Innenraumluftqualität meist nicht mehr relevantem Ausmaß. Der Geruch nach Holz und der wohlthuende optische Eindruck werden bekanntlich von vielen Menschen als sehr angenehm empfunden. Zirbenmöbel riechen nicht nur typisch, angeblich fördern sie auch Schlaf und Gesundheit. Diese Behauptung muss nicht zwingend falsch sein, wissenschaftlich belegt ist sie allerdings nicht. Diese Fragestellung wurde bisher nur von einer einzigen kleinen Studie untersucht. Deren Ergebnisse

Gebäuden. Deutsches Institut für Bautechnik. Mitteilungen DIBt. 1/1997.

⁴ Schäfer M., Roffael E. 2000: On the formaldehyde release of wood. Holz als Roh- und Werkstoff 58, 259–264.

⁵ Tappler P. et al. 2010: Untersuchungen von Innenraumluft und Materialien in Saunen. Eigenpublikation IBO im Auftrag des BMLFUW.

⁶ Tappler P. et al. 1996: Indoor formaldehyde concentrations and air exchange rates in Austrian prefabricated houses, Indoor Air '96 – Proc. 7th Internat. Conf. of Indoor Air Quality and Climate, Nagoya, Japan, Volume 2, 103–107.

sind aufgrund zahlreicher offensichtlicher Mängel bei der Studiendurchführung nicht vertrauenswürdig.⁷ Gesundheitlich relevant kann die Bildung reaktiver, die Schleimhaut reizender Substanzen aus Terpenen in Verbindung mit Ozon sein.⁸ Im Rahmen eines Forschungsvorhabens des deutschen Umweltbundesamtes wurden Untersuchungen zum Emissionsverhalten von Kiefernholz und daraus hergestellten Holzwerkstoffen wie OSB-Platten und Leimhölzern durchgeführt.⁹ Die Ergebnisse zeigten, dass vor allem bei der Holzart Kiefer und bei OSB-Platten auf VOC-Emissionen in der Nutzungsphase zu achten ist. Vor allem bei Brettsperrholzplatten aus Kiefernholz als Wandbaustoff ist in den ersten Monaten eine beträcht-

liche Abgabe an VOCs, vor allem an geruchlich auffälligen Terpenen und Aldehyden, zu erwarten.

In sensiblen Bereichen wie Wohnräumen, Schulen oder Büros sollte daher nur gut abgelagertes Holz ohne der Holzart Kiefer für den Wandaufbau (Brettsperrholz) eingesetzt werden.

BODENBELÄGE

Synthetische Bodenbeläge aus PVC sind kostengünstig und pflegeleicht. Die Abgabe von flüchtigen Schad- und Geruchsstoffen kann jedoch hoch sein und über einen langen Zeitraum anhalten. Eine Geruchsentwicklung kann zu Störungen des Wohlbefindens und im Einzelfall zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen. Die Ursache des typischen PVC-Neugeruchs ist noch nicht detailliert bekannt, bei den nachweisbaren Emissionen handelt es sich um ein Substanzgemisch aus sehr geruchsintensiven VOCs (beispielsweise Phenolen) und mittelflüchtigen Substanzen wie z. B. diversen aromatischen und aliphatischen Kohlenwasserstoffen. Benzothiazol in elastischen Bodenbelägen kann die Ursache von unangenehmen Gerüchen darstellen. Die Praxis

zeigt allerdings, dass geprüfte Kunststoffbodenbeläge heute nicht automatisch emissionsbehafteter sind als andere Bodenbeläge.

Der Hauptanteil von Linoleum ist Leinöl, welches unter anderem aus den Bestandteilen Linolsäure und Linolensäure besteht. Aus diesen Leinölbestandteilen entstehen in jedem Fall geruchsintensive Substanzen, die als für Linoleum typisch empfunden und von der Konsumentin bzw. vom Konsumenten in der Regel nicht beanstandet werden. Bei falscher Lagerung bzw. einer Produktion, die nicht dem letzten Stand der Technik entspricht, verstärken sich allerdings Abgasungen, die zu vor allem durch höhere Aldehyde verursachten persistenten muffigen Gerüchen führen.¹⁰

Aus Gummibelägen werden hauptsächlich Nebenprodukte, die sich in geringem Umfang bei der Herstellung von Synthetikgummi bilden (z. B. Vinyl- und Phenylcyclohexen), sowie Reaktionsprodukte aus den Vulkanisationschemikalien Butadien

⁷ Grote V. et al. 2003: Evaluation der Auswirkungen eines Zirbenholzumfeldes auf Kreislauf, Schlaf, Befinden und vegetative Regulation. Forschungsbericht Joanneum Research, Institut für Nichtinvasive Diagnostik.

⁸ Wolkoff P. et al. 2000: Formation of Strong Airway Irritants in Terpene/Ozone Mixtures. Indoor Air Volume 10, Issue 2, 82–91.

⁹ Wilke O. et al. 2012: Emissionsverhalten von Holz und Holzwerkstoffen. UBA-Texte 02/2012. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/emissionsverhalten-von-holz-holzwerkstoffen>.

¹⁰ Jensen B. et al. 1995: Characterization of linoleum, Part 1: Measurement of volatile organic compounds by use of the field and laboratory emission cell "FLEC". Indoor Air Volume 5, 38–45.

und Styrol freigesetzt. Hieraus resultiert der typische Gummigeruch. Der typische scharfe Teppichgeruch textiler Bodenbeläge und damit einhergehende Beschwerden ergeben sich in erster Linie durch ausgasende VOCs (meist aromatische Kohlenwasserstoffe) aus der Rückenbeschichtung.¹¹ In den letzten Jahren haben Beschwerden über stark riechende textile Bodenbeläge allerdings stark abgenommen und spielen heute in der gebäuediagnostischen Praxis keine Rolle mehr. Ein Holzboden kann dann zur Schadstoffquelle werden, wenn Versiegelungslacke oder Imprägnierungen, die organische Lösungsmittel (VOCs) enthalten, eingesetzt wurden und gegebenenfalls auch Formaldehyd abspalten.¹² Untersuchungen zeigen, dass werksbeschichtete Produkte deutlich weniger emittieren als vor Ort beschichtete. Auch in diesem Segment sind die Beschwerderaten in

den letzten Jahren rückläufig. Holzparkett-Beläge emittieren im Einzelfall neben Terpen-Kohlenwasserstoffen (Nadelholz) auch Aldehyde und Carbonsäuren (Eichenholz), die die typischen Holzgerüche verursachen. Als mögliche Ursache von Emissionen flüchtiger Substanzen und Geruchsstoffen ist selbstverständlich auch die vollflächige Verklebung der jeweiligen elastischen und textilen Bodenbeläge einschließlich Parkett zu nennen, vor allem dann, wenn lösungsmittelhaltige Rezepturen eingesetzt werden.

SONSTIGE QUELLEN

Neben den oben genannten Quellen von VOC und Formaldehyd gibt es eine Vielzahl weiterer Ursachen für Schadstoffbelastungen in Innenräumen durch flüchtige Substanzen aus Materialien der Innenausstattung. „Do it yourself“ als Beispiel dafür liegt im Trend. Mangelhafte Information und falsche Anwendung führen dazu, dass Heimwerker enorme Mengen an Schadstoffen – flüchtige organische Lösungsmittel, Staub oder Dämpfe aus Kunststoffen (Weichmacher, Flammschutzmittel) – einatmen. Es ist auch zu berücksich-

tigen, dass sich diese Stoffe mitunter im gesamten Wohnbereich verteilen können.

¹¹ Wilke O. et al. 2004: VOC- and SVOC-emissions from adhesives, floor coverings and complete floor structures. Indoor Air Volume 14, Issue s8, 98–107.

¹² Schriever E., Marutzky R. 1990: VOC Emissions of coated parqueted floors. Proc. Indoor Air '90, 5th Internat. Conf. on Indoor Air Quality and Climate. 29 July – 3 August 1990, Toronto, Canada, Volume 1, 551–556.

REINIGEN UND PFLEGEN, CHEMIKALIEN IM HAUSHALT

HANNS MOSHAMMER

„Nur Wasser und Seife und sonst nichts!“ Das war nicht nur ein Werbeslogan für eine bestimmte Seife, sondern auch gelebte Realität bis vor etwa hundert Jahren, als die Chemie Einzug in unseren Wohnungen hielt. Viele Haushaltstätigkeiten wie Reinigen und Kochen wurden seit jener Zeit durch zahlreiche kleine technische Errungenschaften erleichtert (Abbildung 1). Das waren einerseits technische Geräte wie Staubsauger, Waschmaschine und viele weitere Entwicklungen, andererseits spezielle Zusatzstoffe zu Werkstoffen, Reinigungsmitteln, Kosmetika und Konsumprodukten. Oberflächen wurden wasser- und schmutzabweisend, Reinigungsmittel auch gleichzeitig geruchsneutralisierend, keimabtötend und schmutzaufhellend, Verpackungsmaterialien praktischer und Klebstoffe rascher härtend und besser

klebend. Da chemische Kriegsführung immer stärker geächtet wurde, stieg die chemische Industrie in der Zeit des Wiederaufbaus nach 1945 massiv in den Haushaltsmarkt ein. Menschen, die nach den Entbehrungen des Krieges von den Verheißungen des Wirtschaftswunders geblendet waren, und insbesondere auch



Abb. 1: Viele chemische Helferlein stehen zur praktischen Anwendung bereit.

Frauen, denen die schwere Doppelrolle von Haushalt und Beruf abverlangt wurde, griffen begeistert zu.

In der Tat machen viele Chemikalien das Leben leichter und die alltäglichen Arbeiten weniger mühsam. Doch der weise Lehrsatz aus der Medizin „Keine Wirkung ohne Nebenwirkungen“, der vor unkritischer Anwendung von Medikamenten warnt, sollte auch bei Haushaltschemikalien beherzigt werden.

So bringen Menschen im guten Glauben mitunter in großer Menge Stoffe in ihre Wohnung, die nicht als gesund einzuschätzen sind. Der deutsche Umweltsurvey¹ hat gezeigt,

¹ Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit, GerES, von 1985 bis 2006. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/belastung-des-menschen-ermitteln/umweltsurvey/umweltsurveys-1985-bis-2006> zuletzt besucht: 6. Juli 2018.

dass gerade in einkommensschwächeren Familien die Verwendung von chemischen „Luftreinigern“ und Duftstoffen sehr weit verbreitet ist. Auch Desinfektionsmittel werden in Innenräumen sehr gerne gerade auch von Menschen eingesetzt, die eigentlich kein Geld zum Verschwenden übrig haben.²

Es ist erschreckend, wie viel Unnötiges die Industrie auf den Markt bringt, und noch erschreckender, wie viele Menschen diese vielfach unnötigen Chemikalien auch kaufen. Chemische Luftreiniger funktionieren in der Regel nach dem Prinzip der Oxidation: Wenn Geruchsstoffe oxidiert werden, verlieren sie häufig ihre Geruchseigenschaften. Fallweise trifft aber auch das Gegenteil zu: Durch Oxidation entstehen neue Geruchsstoffe, z. B. Aldehyde. Keinesfalls aber werden die Ausgangssubstanzen aus der Raumluft entfernt, sondern sie werden lediglich umgewandelt. Oft sind die Reaktionsprodukte sogar gesundheitsschädlicher. Billige Duftstoffe werden eingesetzt,

um störende Gerüche zu übertönen. Die Stoffe, vor denen ihr Geruch warnen sollte, werden zwar nicht mehr so intensiv wahrgenommen, bleiben aber weiterhin vorhanden. Und viele natürliche und synthetische Duftstoffe haben zusätzlich allergene Eigenschaften.³ Desinfektionsmittel sind sehr reaktive Chemikalien, deren Hauptwirkung in der Regel darin besteht, dass sie die Zellmembranen von Mikroorganismen zerstören bzw. beschädigen. Leider sind unsere eigenen Zellmembranen bzw. die Schutzbarriere unserer Haut sehr ähnlich aufgebaut wie die Membranen von Bakterien.^{4,5} Was den Bakterien schadet, ist daher auch für den Menschen nie ganz ungefährlich. Damit Desinfektionsmittel wirken, müssen sie in ausreichender Konzentration ausreichend lange einwirken. Das ist bei den gängigen „Desinfektionsmit-

teln“ für den Haushalt häufig nicht gewährleistet. In diesem Fall werden die Bakterien, die man bekämpfen will, nicht abgetötet, sondern es besteht vielmehr die Gefahr, dass sie Schutzvorkehrungen ausbilden, die sie in Zukunft auch z. B. gegen Antibiotika resistenter machen.

Zu guter Letzt sind die meisten Bakterien nicht „böse“, sondern teilweise sogar nützlich und schützen uns vor Infektionen. Die Zerstörung der bakteriellen Hautflora und der eigenen Barrierschicht der Haut begünstigt daher Infektionen, Entzündungen und Allergien. Mehrere ausführliche Studien haben gezeigt, dass Kinder aus Haushalten, die mehrere solcher Haushaltschemikalien (Desinfektionsmittel, Geruchsstoffe) einsetzen, häufiger an allergischen Erkrankungen leiden.² Man könnte meinen, dass Familien mit kranken Kindern sich intensiver mit Reinigungsarbeiten beschäftigen und dass daher nicht die Chemikalien für die Allergien wie Asthma oder Ekzeme verantwortlich sind, sondern die Allergien für den Chemikalieneinsatz. Aber einige Längsschnittuntersuchungen fanden heraus, dass der höhere Chemikalieneinsatz der Erkrankung in der Regel vorausgeht.

² Moshhammer H. 2014: Innenraum-Luft – Ein vernachlässigtes Thema. In: Hiltrud Breyer (Hrsg.): Gifffreies EUROPA 17–24. <http://www.hiltrudbreyer.eu/media/doc/1400084296319.pdf> zuletzt besucht: 6. Juli 2018.

³ Choi H. et al. 2010: Common household chemicals and the allergy risks in pre-school age children. *PLoS ONE* 5 (10), e13423.

⁴ Evans G. S. et al. 2008: Chemical pollution, respiratory allergy and asthma: a perspective. *Journal of Applied Toxicology* 28 (1), 1–5.

⁵ Kimber I., Pieters R. 2013: Household chemicals, immune function, and allergy: a commentary. *Journal of Immunotoxicology* 10 (2), 169–172.

HEIZEN UND KOCHEN

WILFRIED WINIWARTER, ANNE KASPER-GIEBL

In modernen Innenräumen finden Verbrennungsprozesse – nicht zuletzt aufgrund der damit verbundenen Feuergefahr – nur mehr selten statt. Entsprechend ist auch ihr Einfluss auf die Luftqualität deutlich reduziert. Umso wichtiger scheint es, die Situationen, in denen solche Prozesse relevant werden, deutlich aufzuzeigen, weil ihre Bedeutung inzwischen häufig unterschätzt wird. Relevant sind vornehmlich die klassischen Luftschadstoffe aus unvollständiger Verbrennung – Kohlenmonoxid (CO), flüchtige organische Verbindungen (VOC) und Feinstaub (insbesondere aus organischem Kohlenstoff, OC, und Rußkohlenstoff, BC) – sowie Stickoxide (NO_x). Einen umfassenden Überblick über die The-

matik bieten Spengler et al.¹ Auch im „Positionspapier zu Verbrennungsprozessen und Feuerstellen in Innenräumen“² werden vom Arbeitskreis Innenraumluft am österreichischen Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT) Empfehlungen zu diesem Thema ausgesprochen.

Betrachten wir die aktuelle Situation in Österreich, so dienen Verbrennungsprozesse in Innenräumen hauptsächlich dem Heizen und Kochen. Darüber hinaus sind aber

¹ Spengler J. D., Samet J. M., McCarthy J. F. 2001: Indoor Air Quality Handbook. Chapter 14: Building Fires and Smoke Management. John H. Klote.

² Positionspapier zu Verbrennungsprozessen und Feuerstellen in Innenräumen. <https://www.bmnt.gv.at/umwelt/luft-laerm-verkehr/luft/innenraumluft/positionspapiere.html> zuletzt besucht: 6. Juli 2018.



Wilfried Winiwarter forscht als Senior Research Scholar am Institut für Angewandte Systemanalyse (IIASA) in Laxenburg bei Wien sowie als Professor für Umweltchemie am Institut für Umwelttechnik der Universität Zielona Góra, Polen. Seit 2013 ist er stellvertretender Vorsitzender der Kommission „Klima und Luftqualität“ der ÖAW.

auch Kerzen, Duftlampen, Räucherstäbchen oder Zigaretten zu nennen. Das umfassende Thema „Zigaretten- und Zigarrenrauch“ wird in einem eigenen Abschnitt zu Passivrauchen behandelt.

In weniger entwickelten Teilen der Welt, speziell dort, wo kein direkter Zugang zu Elektrizität besteht, kommt den Verbrennungsprozessen in Innenräumen eine deutlich höhere Bedeutung zu. Hier wird auf die Situation in Österreich eingegangen und nur kurz und exemplarisch auf Herausforderungen, die sich durch unterschiedliche Lebensumstände und Gewohnheiten in anderen Ländern ergeben, verwiesen.

HEIZEN

Schon aus Gründen des Wohnkomforts (gleichmäßige Wärmebereitstellung, geringer Aufwand im Betrieb), aber auch aus Sicherheits-erwägungen werden Heizungsanlagen überwiegend in einer Weise betrieben, die die Raumluft und die Verbrennungsluft voneinander getrennt hält. Dies kann durch Aufstellen von Heizungsanlagen in anderen Räumen erfolgen (Keller bzw. speziell ausgewiesene Heizräume in

Gebäuden; Fernwärme) oder durch eine raumluftunabhängige Betriebsweise mit externer Luftzufuhr, die etwa bei Brennwertkesseln mit konzentrischen Luft-Abgas-Systemen zum Einsatz kommen kann. Auch in Systemen mit Luftzufuhr aus der Raumluft ist im Normalfall die Ableitung der Verbrennungsgase über Fänge gewährleistet. So geben die weithin üblichen Gasthermen, aber auch ölbetriebene Einzelöfen oder in Mode gekommene kleine Holzöfen, die oft als Zweitheizungen betrieben werden, ihre Verbrennungsluft und damit die entstandenen Schadstoffe praktisch ausschließlich an die Außenluft ab. Dadurch kann natürlich die Luftqualität im Außenbereich beeinträchtigt werden. Aus der abkühlenden Verbrennungsluft kann während der Ableitung ein großer Teil der Wärme rückgewonnen werden, wodurch diese Heizsysteme einen hohen Wirkungsgrad erreichen. Bei Fehlverhalten oder Fehlfunktion ist allerdings auch bei diesen Systemen eine Belastung der Raumluft möglich, die auch unmittelbar gefährliche Ausmaße annehmen kann. Als Beispiel wären CO-Vergiftungen durch Gasthermen zu nennen. So kann die Sogwirkung von Küchen-Dunstabzügen die Kaminwirkung aufheben

und Verbrennungsluft in die Innenräume einsaugen, daher sind technische Maßnahmen vorgesehen, die die gleichzeitige Schaltung etwa einer Therme und eines Küchenabzuges verhindern.³

Generell zeigt es sich, dass die Verwendung von Holzöfen in Innenräumen jedenfalls eine Auswirkung auf die Luftqualität hat, auch wenn die Verbrennungskammer gegenüber der Innenraumluft abgeschlossen ist. Zumindest während des Nachlegens besteht eine direkte Verbindung zur Innenraumluft. Undichtigkeiten des Gerätes können diesen Effekt weiter verstärken. Eine Beeinflussung der Innenraumluft muss jedoch nicht bedeuten, dass gültige Empfehlungen überschritten werden.⁴ Stärker ist der Einfluss durch Holzfeuer in offenen Kaminen.⁵ Trotz des Vorhandenseins von Rauchfängen kann

³ ÖVGW 2016: G K62 Verbrennungsluftversorgung. Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach, Wien.

⁴ Salthammer T. et al. 2014: Impact of operating wood-burning fireplace ovens on indoor quality. *Chemosphere* 103, 205–211.

⁵ Moriske H.-J. et al. 1996: Indoor air pollution by different heating systems: coal burning, open fireplace and central heating. *Toxicology Letters* 88, 349–354.



Abb. 1: Zimmeröfen ohne Abzug beeinflussen direkt die Qualität der Innenraumluft.

ein Teil der Abluft im Innenraum verbleiben. Diese Systeme arbeiten sehr ineffizient und werden in Österreich wenig verwendet.⁶ In anderen

⁶ Winiwarter W., Schmidt-Stejskal H., Windpinger A. 2007: Aktualisierung und methodische Verbesserung der österreichischen Luftschadstoffinventur für Schwebstaub ARC—sys-0149. Austrian Research Centres – systems research, Wien, Seite 19.

Ländern kommt es durch die Verbrennung unterschiedlicher fester Brennstoffe auf offenen Feuerstellen allerdings zur massiven Beeinflussung der Luftqualität im Innenraum, wobei hier die Verwendung der Feuerstellen zumeist auch dem Kochen dient.

Besondere Berücksichtigung verdienen offene Feuerstellen, die weniger

zur Raumheizung, sondern als Dekorationselemente Verbreitung finden. Diese Feuerstellen werden zumeist mit Ethanol betrieben. Eine Besonderheit dabei ist, dass keine Vorrichtung zur Ableitung der Verbrennungsgase vorgesehen ist (Abbildung 1). Natürlich kommt es trotzdem zur Bildung von Verbrennungsprodukten, wobei in erster Linie die Emission von feinen Partikeln sowie von CO, CO₂ und Stickoxiden, aber auch von Benzol und Formaldehyd anzuführen ist.⁷ Unabhängig von der Belastung der Innenräume mit gasförmigen und partikulären Schadstoffen sollte der Sicherheitsaspekt nicht übersehen werden.

KOCHEN

Emissionen beim Kochen können einerseits aus der Wärmebereitstellung stammen, andererseits direkt aus den zuzubereitenden Speisen kommen. Um die Übertragung der Wärme auf Flüssigkeiten, insbesondere auf Speisen, zu erreichen, werden unterschiedliche Technologien verwendet.

⁷ Schripp T. et al. 2014: Chamber Studies on nonvented decorative fireplaces using liquid or gelled ethanol fuel. Environ. Sci. Technol. 48, 3583–3590.

Kommen dabei offene Flammen zum Einsatz, so werden Verbrennungsabgase an die Raumluft abgegeben (Abbildung 2). Ein in Österreich gängiges System ist die Verwendung von Gasherden. Gasbrenner arbeiten gewöhnlich sehr sauber, bei regelmäßiger (grober) Reinigung sind kaum Verengungen an den Düsen zu befürchten, die die Verbrennungsqualität beeinträchtigen können. Trotzdem ist beim Einsatz von Gasherden eine erhöhte Konzentration von Stickoxiden in der Raumluft zu erkennen, auch wenn diese Bedingungen keine besorgniserregend hohen Werte auslösen müssen.⁸ In Spezialfällen können aber erhöhte Emissionen auftreten. So erfolgt eine verstärkte Bildung von Substanzen wie Formaldehyd, wenn Gasflammen rasch abgekühlt werden (etwa durch einen zu erwärmenden Wasserkessel). Die Verwendung von Festbrennstoffen trägt insbesondere zur Bildung von Partikeln bei. Während in Österreich Festbrennstoffe (wie beim klassischen Sparherd)

⁸ Traynor G. W., Apte M. G., Chang G. M. 1996: Pollutant Emission Factors from Residential Natural Gas Appliances: A Literature Review, LBNL-38123, Berkeley, CA, Lawrence Berkeley National Laboratory. <https://escholarship.org/uc/item/49z4g2xr> zuletzt besucht: 6. Juli 2018.

kaum mehr zum Kochen verwendet werden, ist deren Einsatz in manchen Entwicklungsländern bedeutend und die daraus resultierende Gesundheitsauswirkung hoch, da sich die erhöhten Konzentrationen direkt auf die eingeatmete Luft in Innenräumen auswirken.^{9, 10, 11} Die Wirkung ist auf die offene Verbrennung zurückzuführen und tritt genauso auf, wenn etwa moderne offene Grillgeräte in Innenräumen eingesetzt werden.¹² Betrachtet man die Zubereitung der Speisen selbst, so sind besonders die Partikelemissionen beim Braten und Grillen anzuführen. Es bestehen große Unterschiede der Emis-

⁹ Sood A. 2012: Indoor Fuel Exposure and the Lung in Both Developing and Developed Countries: An Update. *Clin Chest Med* 33, 649–665.

¹⁰ Albalak R. et al. 2001: Indoor Respirable Particulate Matter Concentrations from an Open Fire, Improved Cookstove, and LPG/Open Fire Combination in a Rural Guatemalan Community. *Environmental Science & Technology* 35 (13), 2650–2655.

¹¹ Fullerton D. G. et al. 2008: Indoor air pollution from biomass fuel smoke is a major health concern in the developing world. *Trans R Soc Trop Med Hyg* 102 (9), 843–851.

¹² Huang H.-L. et al. 2016: Emissions of air pollutants from indoor charcoal barbecue. *Journal of Hazardous Materials* 302, 198–207.



Abb. 2: Beim Kochen mit Gas entstehen Emissionen aus der Verbrennung sowie aus der Zubereitung der Speisen.

onsfaktoren, abhängig von der Zubereitungsart und Temperatur, den verwendeten Fetten und der Art der Speise.¹³ Neben der Emission von Partikeln stellt der Kochprozess auch eine Quelle für gasförmige Komponenten, wie Terpene, dar.¹⁴

¹³ Abdullahi K. L. et al. 2013: Emissions and indoor concentrations of particulate matter and its specific chemical components from cooking: A review. *Atmos. Environ.* 71, 260–294.

¹⁴ Klein F. et al. 2016: Indoor terpene emissions from cooking with herbs and pepper and their secondary organic aerosol production potential. *Scientific Reports* 6, 36623.

BELEUCHTEN

Seit dem Aufkommen der elektrischen Beleuchtung spielen Verbrennungsprozesse zur Raumbelichtung in vielen Ländern nur mehr eine untergeordnete Rolle. Gasbeleuchtung, eine ähnlich dem Kochen mit Gas emissionsarme Form der Verbrennung, war zu Beginn des 20. Jahrhunderts in Städten verbreitet, weiters können Kerzen (Fackeln) oder Petroleumlampen als Lichtquellen dienen. Auch Kerzen verbrennen im Normalzustand unter Emission von vor allem ultrafeinen Partikeln. Unter schlechten Verbrennungsbedingungen (bei rußender Flamme oder Glimmen des Doctes nach dem Auslöschten der Flamme) tragen Kerzen beträchtlich zu den Feinstaubemissionen bei.¹⁵ Das Auslöschten einer großen Zahl von Kerzen (etwa bei Christbäumen) kann die Feinstaubemission stark erhöhen. Dennoch handelt es sich dabei um Sondersituationen, über gesundheitliche Auswirkungen ist nichts bekannt.

¹⁵ Hu T. et al. 2012: Compilation of Published PM2.5 Emission Rates for Cooking, Candles and Incense for Use in Modeling of Exposures in Residences. LBNL Report Number LBNL-5890E, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, August 2012.

Anders liegt der Fall für Teile der Welt, die nicht ausreichend mit Elektrizität versorgt werden. Petroleumlampen sind in weiten Bereichen die wichtigste Beleuchtungsform, sie tragen beträchtlich zur Belastung der Innenluft mit Feinstaub bei.¹⁶

Im Vergleich mit der Verbrennung von Kerzen sollen analoge Vorgänge bei Duftkerzen oder bei durch Kerzenflammen erwärmten Duftstoffen erwähnt werden. Hier kommt es zusätzlich zu den Emissionen durch den Verbrennungsprozess zu einem Eintrag von Duftstoffen in die Raumluft. Dies kann, wie im Abschnitt „Reinigen und Pflegen“ beschrieben, problematisch sein. Besonders deutlich sind die Auswirkungen von Räucherstäbchen oder anderen Räucherwaren¹⁵, die zu einer massiven Beeinflussung der Luftqualität in Innenräumen führen.

¹⁶ Lam N. L. et al. 2016: Kerosene subsidies for household lighting in India: what are the impacts? *Environmental Research Letters*, 11 (4), 044014 (1–11).

SCHIMMEL UND GESUNDHEIT

HANS-PETER HUTTER

Schon lange bevor man Schimmelpilze identifizierte, gab es den Begriff „Schimmel“ für sichtbare Flecken auf Materialien, die bei Feuchtigkeit entstanden und sich, damals unerklärlich, fast von alleine weiterentwickelten. Der Ausdruck stammt aus dem Mittelhochdeutschen und ist seit dem 9. Jahrhundert (damals noch in der Form von „schimel“) belegt. Der moderne Begriff „Schimmel“ ist ein Überbegriff und bezeichnet Schimmelpilze, Hefen, bestimmte Bakterien und Protozoen. Zum Nachweis von Schimmelfall sind Schimmelpilze die Leitorganismen.¹

¹ BMNT 2018: Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelfall in Gebäuden („Schimmelleitfaden“). Herausgegeben vom Arbeitskreis Innenraumluft am BMNT gemeinsam mit der AUVA und dem Bundesverband für Schimmelsanierung und technische Bauteiltrocknung.

Wohnhygienische Probleme mit Schimmelbildung sind häufig. In Österreich berichteten ca. 11 Prozent der Bevölkerung in der letzten Mikrozensus-Wohnungserhebung (2016) darüber.² Damit stellt Schimmel den am häufigsten berichteten Wohnmangel dar. Armut, Arbeitslosigkeit und andere negative Sozialindikatoren gehen mit einem erhöhten Risiko schlechter Wohnbedingungen und unter anderem auch mit Schimmel- und Feuchteproblemen einher. Diese Probleme sind aber nicht auf Randgruppen beschränkt.

Die gesundheitliche Bedeutung von mikrobiellen Verunreinigungen in der Innenraumluft von Wohn- und Aufenthaltsräumen wurde in der Vergangenheit unterschätzt. In den

² Statistik Austria 2017: Wohnen 2016 – Zahlen, Daten und Indikatoren der Wohnstatistik.



Hans-Peter Hutter, OA Assoz.-Prof. Priv.-Doz. Dipl.-Ing. rer. nat. Dr. med. univ., Facharzt für Hygiene und Mikrobiologie, Schwerpunkt Umwelt- und Präventivmedizin, Physikatsarzt sowie Landschaftsökologe und Landschaftsgestalter; stellvertretender Leiter der Abteilung für Umweltmedizin und Umwelthygiene am Zentrum für Public Health der Medizinischen Universität Wien. Vorstand „ÄrztInnen für eine gesunde Umwelt“ (österreichische Sektion der „International Society of Doctors for the Environment“).



Abb. 1: Massiver Schimmelbefall nach Wasserschaden.

letzten Jahren zeigte sich jedoch immer deutlicher, dass Feuchtigkeitsprobleme und Schimmelbefall in Wohnungen zu den gesundheitlich gewichtigsten Innenraumproblemen gezählt werden müssen.³ Bei zunehmend dichter schließenden Fenstern

³ Mendell M. J., Kumagai K. 2017: Observation-based metrics for residential dampness and mold with dose-response relationships to health: A review. *Indoor Air* 27, 506–517.

bleibt die Feuchtigkeit bei ungenügender Lüftung im Innenraum gefangen – die Folge: Es entstehen günstige Bedingungen für das Wachstum von Schimmel. In durchfeuchtetem Material mit Schimmelbefall ist zwar meist auch mit einem Wachstum von Bakterienspezies zu rechnen, aus gesundheitlicher Sicht ist dies aber im Vergleich zu den Schimmelpilzbelastungen eher von untergeordneter Relevanz (Abbildung 1).

Entscheidend für die Wirkung von Schimmel auf den Menschen sind dessen Gesundheitszustand sowie Pathogenität und Gesamtzahl der auf den Menschen einwirkenden Pilze/Pilzsporen und anderer Mikroorganismen, deren Stoffwechselprodukte sowie die Häufigkeit ihres Einwirkens – unabhängig davon, aus welcher Quelle sie stammen.⁴

Selbst wenn der Wirkmechanismus im Einzelnen noch nicht entschlüsselt ist, so gilt ein Zusammenhang zwischen Feuchte- und Schimmelschäden im Wohnumfeld und bestimmten Krankheitsrisiken als erwiesen.⁵ Aktuelle umfassende Übersichtsarbeiten zeigen eine Risikoerhöhung vor allem für kindliches Asthma, aber auch für andere Atemwegserkrankungen wie Bronchitis. Auch gibt es zunehmend Studien, die eine Verbesserung der Asthmasymptomatik nach Wohnungssanierung belegen.

⁴ Kuhn D., Ghannoum M. 2003: Indoor mold, toxigenic fungi, and *Stachybotrys chartarum*: infectious disease perspective. *Clin Microbiol Rev* 16, 144–172.

⁵ Fisk W. J., Eliseeva E. A., Mendell M. J. 2010: Association of residential dampness and mold with respiratory tract infections and bronchitis: a meta-analysis. *Environmental Health: A Global Access Science Source* 9, 72.

Es wird angenommen, dass entzündliche Atemwegserkrankungen aus einer Kombination von Reiz- und allergischen Einwirkungen resultieren, wobei die verantwortlichen Allergene und auch die Toxizität bestimmter Stoffwechselprodukte im Detail noch nicht bekannt sind.⁶ Jedenfalls ist der Zusammenhang zwischen Schimmel und Atemwegserkrankungen allgemein akzeptiert und auch mit objektiven Untersuchungen (unter anderem der Lungenfunktion) belegt. Auch die weniger spezifischen Symptome des „Sick Building Syndrome“ wie Kopfschmerzen und Müdigkeit werden mit Schimmelbefall in Zusammenhang gebracht. Nicht zuletzt fanden sich Hinweise eines negativen Einflusses von Schimmelbefall auf die geistige Entwicklung von Kindern, wobei hierfür wahrscheinlich Mykotoxine verantwortlich sind.⁷

⁶ World Health Organization 2009: WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould. WHO Regional Office for Europe, Kopenhagen. http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0017/43325/E92645.pdf?ua=1.

⁷ Jedrychowski W. et al. 2011: Cognitive function of 6-year old children exposed to mold-contaminated homes in early postnatal period. Prospective birth cohort study in Poland. *Physiology & Behavior* 104, 989–995.

Neben diesen allergenen und toxischen Wirkungen können Schimmelpilze unter bestimmten Umständen auch Infektionen hervorrufen. Eine Infektion setzt einen sehr immungeschwächten Organismus voraus (z. B. von Personen nach Organtransplantation, Krebspatienten). Insgesamt sind Infektionen durch Schimmelpilze selten (z. B. von Lunge, Nasennebenhöhlen, Zentralnervensystem) und erfolgen am ehesten inhalativ. Die üblichen Innenraumpilze stellen aber für die überwiegende Mehrzahl der Menschen kein Infektionsrisiko dar.

Die Einschätzung internationaler Körperschaften wie der Weltgesundheitsorganisation (WHO), dass Feuchteschäden und Schimmelbefall einen wohnhygienischen Mangel darstellen, wird durch die neuesten Forschungsarbeiten unterstrichen.⁸ Auch der Arbeitskreis Innenraumluft am österreichischen Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT) stellte fest, dass Schimmelpilzwachstum im Innenraum als ein hygienisches Problem zu be-

⁸ World Health Organization 2009: WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould. WHO Regional Office for Europe, Kopenhagen.

trachten ist, das aus ärztlicher Sicht nicht zu tolerieren ist und dessen Ursachen aus vorsorgemedizinischen Gründen so rasch wie möglich beseitigt werden sollten. Schimmelprobleme in Gebäuden werden im vom Arbeitskreis veröffentlichten „Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelbefall in Gebäuden“ behandelt.¹ Auch im „Positionspapier zu Schimmel in Innenräumen“ werden zusammenfassend Empfehlungen zum Thema „Schimmel“ ausgesprochen⁹ (Abbildung 2).

Dabei können meist mehrere Ursachen für einen Schimmelbefall verantwortlich sein (häufig Benutzerverhalten und/oder bauliche bzw. technische Mängel). Hier gilt es, die Verhaltensweisen entsprechend zu ändern (z. B. Lüftungsverhalten) und/oder die Ursachen nachhaltig zu sanieren. Reine „Kosmetik“ (z. B. Anwendung von Fungiziden in „Schimmelsprays“) ist jedenfalls langfristig nicht zweckmäßig.

Aus langjährigen Erfahrungen des öffentlichen Gesundheitsdienstes ist zu betonen, dass „Wandfeuchtig-

⁹ BMNT 2018: Positionspapier zu Schimmel in Innenräumen. Erarbeitet und aktualisiert vom Arbeitskreis Innenraumluft am BMNT.



Abb. 2: Kultivierte Schimmelpilze nach einer Raumluftmessung.

keit und Schimmel“ vorrangig als ein Problem einkommensschwacher Haushalte gilt. So stellt die WHO bezüglich Schimmelbekämpfung fest: „Schwerpunkt sollte auf Bevölkerungsschichten mit geringem Einkommen und Migranten, auf Bevölkerungsgruppen, von denen bekannt

ist, dass sie unter den schlechtesten Wohnbedingungen leben, sowie auf diejenigen, die in undichten Gebäuden leben und die Wohnung nicht wie erforderlich heizen können, gelegt werden.“¹⁰

Zur Vermeidung von Feuchtigkeitsproblemen und Schimmelwachstum ist die Feuchtigkeitskontrolle entscheidend und damit insbesondere das Lüften und die Benutzung von Abluftventilatoren in Küche und Bad bzw. von ins Freie mündenden Dunstabzügen in der Küche. Zur Kontrolle sollte ein elektronisches Hygrometer verwendet werden. Eine verstärkte Lüftung ist wegen der Restfeuchte aus Baumaterialien insbesondere in Neubauten sowie in sehr dichten Gebäuden nötig. Weitere Maßnahmen sind etwa:

- Heizbeginn nicht verzögern bzw. bei schlecht gedämmten Altbauten Heizbeginn vorziehen.
- Gegenstände nicht direkt an Außenmauern platzieren.
- Pflanzen regelmäßig umtopfen.

¹⁰ World Health Organization 2010: Fachliche und politische Empfehlungen zur Verringerung von Gesundheitsrisiken durch Feuchtigkeit und Schimmel. Projektbericht. WHO Regional Office for Europe, Kopenhagen.

- Wenn Wäsche in der Wohnung getrocknet wird, muss bei höheren Feuchtwerten zusätzlich gelüftet werden.
- Bei Neubauten und Sanierungsfällen Komfortlüftungsanlagen oder Einzellüfter einplanen.
- Bei Lüftungsanlagen auf regelmäßige Wartung und Filterwechsel achten.
- Bauseitige Mängel beheben: Wassereintritt ist umgehend und nachhaltig zu beseitigen, bauphysikalische Konstruktionsfehler (z.B. Wärmebrücken) oder Ausführungsfehler (undichte Anschlüsse) müssen behoben werden. Allenfalls ist der Grundluftwechsel deutlich zu erhöhen.
- Je nach Ausführung der Außenwände sollten im Winter ca. 50 bis 55 Prozent relative Luftfeuchtigkeit nicht längerfristig überschritten werden.

Zusammenfassend sind folgende Punkte in Bezug auf Schimmel in der Wohnung besonders hervorzuheben:

- Für Gesunde stellt die Inhalation von Sporen normalerweise kein Infektionsrisiko dar.
- Das gesundheitsgefährdende Potenzial gründet sich im Wesentlichen auf die allergisierenden und toxischen Eigenschaften

der beteiligten Mikroorganismen. Besondere Vorsicht ist bei Kleinkindern, Allergikerinnen und Allergikern sowie bei Menschen mit Abwehrschwäche und chronischen Erkrankungen des Atemtraktes geboten.

- Jedes Schimmelwachstum ist im Wohnbereich prinzipiell unerwünscht.
- Ursachen der Schimmelbildung sind nachhaltig zu sanieren. Die bloße Anwendung von Fungiziden („Schimmelsprays“) ist im Regelfall nicht zweckmäßig.
- Bei umfangreicherem und immer wieder auftretendem Schimmelbefall Experten bei der Ursachen- und Sanierungsplanung heranziehen (www.bv-schimmel.at).

GERÜCHE IN INNENRÄUMEN

GÜNTHER SCHAUBERGER, ROBERT SCHLACHER

Der Geruch in Innenräumen wird zu meist mit „verbrauchter“ Luft gleichgesetzt, von „reiner“ Luft wird angenommen, dass keine luftfremden Substanzen vorhanden sind.¹ Damit wird oftmals der Geruch in Innenräumen mit der Luftqualität gleichgesetzt.² Die Güte dieser empfundenen Luftqualität ist dabei für das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit von wesentlicher Bedeutung.³

¹ Tappler P. 2007: Gerüche in Innenräumen. IBOmagazin 4/07, 24–29.

² Frontczak M., Wargocki P. 2010: Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. Building and Environment 46, 922–937.

³ Bitter F. et al. 2004: Handbuch zur Messung der empfundenen Luftqualität. Luftqualität in Innenräumen. TU Berlin, Hermann-Ritschel-Institut, Berlin.

Der Geruch ist keine Eigenschaft eines Stoffes, sondern eine Wahrnehmung des Menschen von chemischen Substanzen. Das Vorhandensein eines Geruchsstoffs in der Luft bedeutet daher nicht zwangsläufig, dass die Luftqualität deshalb als schlecht einzustufen ist.

Ob wir einen Geruch wahrnehmen, hängt einerseits von der Flüchtigkeit des betreffenden Stoffs ab, d. h. von seiner Eigenschaft, dass die Moleküle in der Luft verdampfen können.⁴ Andererseits sind die physiologischen Fähigkeiten unseres Riechepithels dafür verantwortlich, ob wir diese Moleküle in der Luft feststellen können. Bei einigen Stoffen reichen kleinste Mengen aus. Für den Geruch

⁴ Mücke W., Lemmen C. 2010: Duft und Geruch: Wirkungen und gesundheitliche Bedeutung von Geruchsstoffen. ecomed Medizin, Heidelberg.



Günther Schauburger ist Leiter der AG Umweltgesundheit an der Veterinärmedizinischen Universität Wien. Neben der Beschäftigung mit der biologischen Wirkung von solarer und künstlicher UV-Strahlung (Solarien) ist er seit vielen Jahren im Bereich der Emission und Immission von Geruchsstoffen in der Umwelt tätig. In der Kommission für Klima und Luftqualität der ÖAW leitet er den Arbeitskreis „Geruch“.

der Vanille beispielsweise genügt die Menge eines Nebeltröpfchens von 0,2 mg, das in einem Volumen einer Turnhalle mit 10.000 m³ verteilt wird.

WIE STARK RIECHT ES?

Damit ein Geruchsstoff als Geruch wahrgenommen wird, muss die Konzentration höher als die Geruchsschwelle sein. Erst dann können wir feststellen, dass wir etwas riechen. Wenn die Konzentration dieses Geruchsstoffs ansteigt, dann wird die Erkennungsschwelle erreicht. Damit können wir den Geruch benennen (z. B.: „Es riecht nach Zitrone“). Die Intensität der Geruchswahrnehmung steigt mit der Konzentration an und kann verbal beschrieben werden (etwa auf einer fünfstufigen Skala [0: Es riecht nicht, 1: Es riecht schwach, ... 5: Es riecht sehr stark]).³

ANGENEHME UND UNANGENEHME GERÜCHE: DUFT ODER GESTANK!

Neben der Intensität können wir auch die Geruchsqualität durch die Beurteilung „angenehm“ bzw.



Abb. 1: Gerüche in Innenräumen können erwünscht oder auch unerwünscht sein.

„unangenehm“ beschreiben.^{3,5} Die Angenehm-unangenehm-Qualität (Hedonik) ist primär eine Stoffeigenschaft, die durch individuelle Erfahrungen modifiziert werden kann. Die hedonische Geruchswirkung ist auch von der Geruchsintensität abhängig. Bei steigenden Konzentrationen werden auch jene Gerüche, die grundsätzlich als angenehm empfunden werden, als zunehmend unangenehm wahrgenommen (Kaffee, Parfums etc.).

⁵ BMNT 2014: Leitfaden Gerüche in Innenräumen. Sensorische Bestimmung und Bewertung. Erarbeitet vom Arbeitskreis Innenraumluft am BMNT. <http://www.bmnt.gv.at/umwelt/luft-laerm-verkehr/luft/innenraumluft/positionspapiere.html> zuletzt besucht: 6. Juli 2018.

Gerüchen können wir uns nicht entziehen. Augen lassen sich schließen, die Ohren kann man zuhalten, aber die Geruchswahrnehmung lässt sich nicht verhindern. Schließlich muss man atmen, und mit jedem Atemzug dringen die Moleküle der Geruchsstoffe in die Nase oder den Mund ein.

GESUNDHEIT UND GERUCH

Aus der empfundenen Luftqualität und der Geruchswahrnehmung in Innenräumen lassen sich keine unmittelbaren Rückschlüsse auf die gesundheitliche Auswirkung ziehen. Eine Ausnahme stellt ekelregender Geruch dar, der unmittelbar zu Übelkeit und Erbrechen führt. Andauernde und immer wiederkehrende Geruchswahrnehmungen können über die dadurch bedingte Geruchsbelästigung zu Befindlichkeitsstörungen und körperlichen Funktionsstörungen führen. Auch das „Sick Building Syndrom“⁴ kann dadurch ausgelöst werden. Darunter versteht man Reizungen im Bereich von Augen, Nase und Rachen sowie leichte Allgemeinbeschwerden während des Aufenthalts in entsprechenden Räumen. Diese gesundheitlichen Auswirkungen werden oftmals durch die Verrin-

gerung des Luftwechsels, um Heiz- und Kühlenergie zu sparen, sowie die damit verbundene Anreicherung von Luftinhaltsstoffen verursacht.

WOHER KOMMT DER GERUCH IN RÄUMEN?

In Räumen gibt es eine Vielzahl von Quellen, die Geruchsstoffe freisetzen. Die wichtigste Maßnahme zur Reduktion der Geruchsstoffkonzentration in Räumen ist einerseits eine weitgehende Vermeidung bzw. Reduktion der Freisetzung und andererseits eine Verdünnung dieser chemischen Substanzen durch einen ausreichenden Luftwechsel. Die wesentlichen Quellen von Geruchsstoffen sind (1) der Mensch und Haustiere, (2) Baumaterialien, Möbel, Einrichtungsgegenstände und die Raumausstattung, (3) durch Mikroorganismen (Schimmel etc.) freigesetzte flüchtige Verbindungen und (4) die Umwandlung und der Abbau all dieser chemischen Verbindungen.^{1,4}

Eine wesentliche Quelle für Geruchsstoffe in Innenräumen ist der Mensch selbst. Abhängig von der Körperhygiene (Reinigung und Kleidung) gibt der Mensch flüchtige organische Ver-

bindungen (VOC) ab, die meistens zu einer Geruchswahrnehmung führen. Alters- bzw. krankheitsbedingte Veränderungen des Stoffwechsels des Menschen und seiner Haustiere können das übliche Ausmaß der Geruchsstofffreisetzung überschreiten. Daneben führt der bewusste Einsatz von Parfüm, Deodorants und Körperreinigungsmitteln zu einer zusätzlichen Freisetzung von zumeist synthetischen Geruchsstoffen.

Die Materialien der Bausubstanz bzw. der Innenraumgestaltung können Geruchsstoffe abgeben. Zumeist werden diese Substanzen von den Oberflächen der Materialien (von Holz, Teerprodukten, Feuchtigkeitsisolierungen, Holzschutzmitteln etc.) emittiert, wobei die Emissionen in der Regel mit zunehmender Alterung abnehmen.

Auch die vielen mikrobiell freigesetzten organischen Verbindungen (MVOC) mit geringen Geruchsschwellen bewirken den typischen fauligen, modrigen Geruch.¹

Viele Sekundär- und Abbauprodukte der Geruchsstoffe führen zur Geruchswahrnehmung in Innenräumen. Der analytische Nachweis solcher chemischen Substanzen ist oftmals aufgrund der geringen Konzentrationen und der fehlenden Charakteri-

sierung in der Praxis kaum möglich.¹ Geruchsstoffe können aber durch sensorische Prüfungen mit Probanden gemäß dem Leitfaden „Gerüche in Innenräumen. Sensorische Bestimmung und Bewertung“ des Arbeitskreises Innenraumlufthilf am österreichischen Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT) erfasst werden.⁵

WIE FUNKTIONIEREN DUFTSTOFFE?

Der bewusste Einsatz von Geruchsstoffen in Innenräumen wird einerseits zur Maskierung von unangenehmen Gerüchen eingesetzt und andererseits zur gezielten emotionalen Beeinflussung von Menschen. Der Einsatz von Duftstoffen zur Überdeckung von unangenehmen Gerüchen kann die Gerüche jedoch nicht beseitigen, sondern durch ausreichend große Konzentrationen nur verstecken. Dabei wird aber die Gesamtkonzentration von luftfremden Stoffen notwendigerweise erhöht (Abbildung 2). Ausreichende Hygiene und ein angepasster Luftwechsel reichen allerdings in den meisten Fällen zur Reduktion ungewollter Geruchsstoffe in der Raumluft aus. Im Marke-



Abb. 2: Neben Gerüchen werden bei Rauchwaren wie Räucherstäbchen auch viele andere Verbrennungsprodukte wie Feinstaub freigesetzt.

ting werden oftmals Geruchsstoffe eingesetzt, um Erwartungshaltungen zu erfüllen und unbewusste Reaktionen bei den Kunden auszulösen. Dies wird als „Air-Design“ bezeichnet. Dazu gehören erwartete Gerüche in Verkaufsräumen wie z.B. Ledergeruch im Autohandel oder die Verstärkung von Kaffeegeruch in Lokalen. Durch diese spezifischen Gerüche wird unter anderem die Verweildauer der Kunden in Geschäften verlängert, und die Kaufbereitschaft und der Umsatz werden erhöht.

Die Raumluft wird durch Riech-, Aroma- oder Duftstoffe nicht „besser“, sondern sie riecht nur anders und ist stärker mit Chemikalien belastet. Dabei ist auch zu beachten, dass natürliche Duftstoffe grundsätzlich nicht besser als synthetische Duftstoffe sind. So sollte man auch mit sogenannten ätherischen Ölen vorsichtig umgehen, da sie allergieauslösende und giftige Stoffe enthalten können. Generell wird daher empfohlen, auf den Einsatz von Geruchsstoffen zu verzichten, um

Allergien, Reizungen, Unverträglichkeiten und umweltbezogene Gesundheitsstörungen wie z. B. die Multiple Chemikalienunverträglichkeit⁵ (MCS) zu vermeiden.

Zusammenfassend gilt für Geruchsstoffe in Innenräumen: Durch einen angepassten Luftwechsel kann die Konzentration der Geruchsstoffe so weit reduziert werden, dass die Geruchsschwelle unterschritten und dadurch keine Geruchswahrnehmung beim Menschen ausgelöst wird. Letztendlich muss man aber auch bedenken, dass Gerüche alleine an sich keinen Hinweis auf ein Gesundheitsrisiko darstellen.

PASSIVRAUCH

MANFRED NEUBERGER

Das Tabakrauchen kam in der Neuzeit nach Europa und verbreitete sich vor allem im 20. Jahrhundert weltweit. Die Folgen des Rauchens für Raucherinnen und Raucher und ihre Umgebung wurden seit der Zwischenkriegszeit wissenschaftlich untersucht, unter anderem vom Internisten Fritz Lickint¹, der den Begriff „Passivrauchen“ prägte. Heute wird angenommen, dass die meisten Raucherkrankheiten auch bei Passivraucherinnen und -rauchern auftreten, nur in geringerer Häufigkeit. Dennoch wird geschätzt, dass Passivrauchen weltweit über 600.000 Todesfälle pro Jahr verursacht.²

Der Rauch, den Nichtraucher hier einatmen, besteht aus dem Rauchanteil, den der Raucher nicht vollständig

aufgenommen hat und daher wieder ausatmet, sowie aus dem Nebenstromrauch, der in den Zuggapen von der Zigarettenspitze entweicht. Schon 1982 fand ein deutsches Labor im Auftrag eines Tabakkonzerns heraus, dass der Nebenstromrauch, den Passivraucher inhalieren, gefährlicher ist als der Hauptstromrauch, den der Aktivraucher freiwillig einatmet, durfte diese Ergebnisse aber nicht veröffentlichen.³ Durch das Glosen entstehen viel höhere Konzentrationen an Pyrolyseprodukten als im Hauptstrom, den der Raucher durch den Zigarettenfilter einatmet. Der Nebenstromrauch enthält kleinere Partikel, die tiefer in die Lunge und zum Teil bis ins Blut vordringen und krebsfördernde Stoffe wie Nitrosamine transportieren, die sich



Manfred Neuberger, 1977 Facharzt innere Medizin, 1980 Facharzt Hygiene und Präventivmedizin, 1997 Facharzt Arbeitsmedizin. 1989–1999 Institut für Umweltmedizin der Stadt Wien (stellvertretender ärztlicher Leiter). 1992–2011 Leiter der Abteilung für Präventivmedizin am Universitätsinstitut für Umwelthygiene und ab 1999 Ordinarius für Umwelthygiene an der Medizinischen Universität Wien.

¹ Lickint F. 1929: Tabak und Tabakrauch als ätiologischer Faktor des Carcinoms. In: Zeitschrift für Krebsforschung 30, 349-365.

² http://www.who.int/gho/phe/secondhand_smoke/en/ zuletzt besucht: 6. Juli 2018.

³ Schick S., Glantz S. 2005: Philip Morris toxicological experiments with fresh sidestream smoke: more toxic than mainstream smoke. Tobacco Control 14, 396–404.

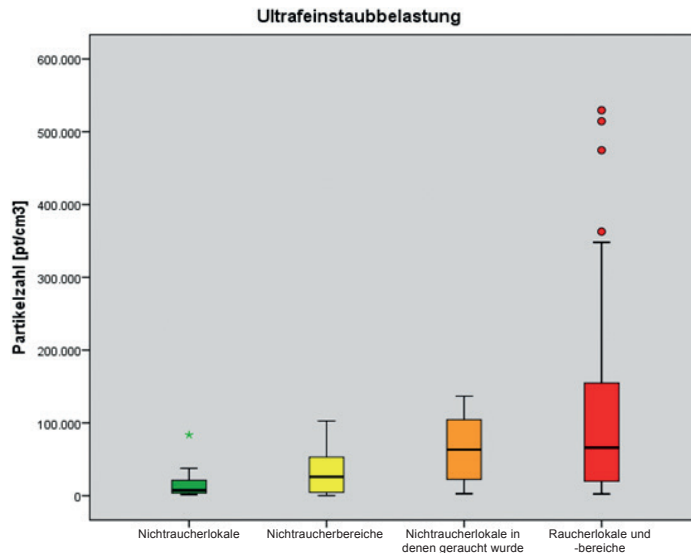


Abb. 1: Ultrafeinstaubbelastung in verschiedenen Zonen bzw. Arten von Lokalen.⁴

in Innenräumen rasch anreichern und das Lungenkrebsrisiko in Arbeitsräumen verdoppeln können. Bereits bei nur einer Raucherin bzw. einem Raucher im Haushalt ist das Krebsrisiko für Mitbewohnerinnen und Mitbewohner (Familienmitglie-

der und auch Haustiere) signifikant erhöht.⁵

Während das Krebsrisiko (bei Lunge, Brustdrüse, Kehlkopf, Nebenhöhlen, Harnblase etc.) und das Risiko einer chronisch-obstruktiven Lungenerkrankung (COPD) mit der über die Jahre inhalierten Passivrauchmenge

linear ansteigen,⁶ sind die Zusammenhänge zwischen Passivrauchen und Herz-Kreislauf-Erkrankungen nicht linear. Schon kurzes Passivrauchen (z.B. beim Essen in einem verrauchten Lokal) beeinträchtigt Herzfunktionen und die Durchblutung, was bei Vorgeschädigten einen Herzinfarkt auslösen kann⁷ (Abbildung 1). Denn die Herzkranzgefäße verlieren binnen einer halben Stunde ihre Fähigkeit, sich (mittels Stickstoffmonoxid, das aus Endothelzellen freigesetzt wird) selbstständig zu erweitern, wodurch die Blut- und Sauerstoffversorgung des Herzens beim Passivrauchen abrupt abnimmt. Auch nimmt die Regenerationsfähigkeit der Gefäße ab, während im Blut Gerinnungsfaktoren ebenso rasch zunehmen wie Entzündungsfaktoren

⁴ Neuberger M., Moshammer H., Schietz A. 2013: Exposure to ultrafine particles in hospitality venues with partial smoking bans. Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology 23(5), 519-524.

⁵ Neuberger M. 2003: Passive Opfer der Luftverschmutzung durch Tabakrauch – können Ärzte helfen? Umweltmed Forsch Prax 8 (5), 283-288.

⁶ CDC – CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION 2006: 2006 Surgeon General's Report – The Health Consequences of Involuntary Exposure to Tobacco Smoke, Atlanta (GA), USA. http://www.cdc.gov/tobacco/data_statistics/sgr/2006/index.htm zuletzt besucht: 6. Juli 2018.

⁷ Barnoya J., Glantz S. A. 2005: Cardiovascular Effects of Secondhand Smoke. Nearly as Large as Smoking. Circulation 111, 2684-2698.

ren und Sauerstoffradikale.⁸ Diese ersten Wirkungen sind so wie die Blutdruckerhöhung über das Vegetativum bei Gesunden noch reversibel, können bei Kranken aber Herzrhythmusstörungen oder Angina Pectoris auslösen.⁹ Schon bei gesunden Kindern und Jugendlichen lassen sich Funktionsstörungen und Versteifungen der Arterien durch Passivrauchen nachweisen. Diese akute Folge wird bei fortgesetztem Passivrauchen chronisch und wird weiters von einer Wandverdickung der Arterien begleitet, die nach Jahren schließlich zu einer Arteriosklerose (Gefäßverkalkung) führen kann. Folgen dieser Erkrankung manifestieren sich vor allem in den Organen mit hohem Sauerstoffbedarf wie Herz und Gehirn.

Bei Schwangeren sind akute Wirkungen des Passivrauchens wie Verschlechterung der Durchblutung des Mutterkuchens und Herzfrequenzzu-

nahme beim Ungeborenen¹⁰ zu beobachten. Passivrauchende Schwangere bringen ihre Babys häufig zu früh oder untergewichtig zur Welt. Später zeigen sich häufiger Störungen der Lungen- und Hirnentwicklung, besonders wenn das Kind auch nach der Geburt Tabakrauch ausgesetzt ist. Als Folgen sind unter anderem verzögerte Lungenreifung, Infektanfälligkeit, Atopie, Asthma und Lungenfunktionsdefizite beschrieben sowie Hyperaktivität, Aufmerksamkeitsstörungen, Intelligenzdefizite, verzögerter Spracherwerb, Schlafstörungen, Hörverluste, Lernprobleme, Leseschwäche, Sprachschwäche, asoziales Verhalten, Aggressivität, Schererziehbarkeit, Suchtanfälligkeit, psychiatrische Symptome und häufigeres Auftreten von Schizophrenie, Autismus, Tourettesyndrom, höherer Bedarf an Psychopharmaka sowie auch Störungen des Wachstums, der Sexualhormone und der Regulation von Blutdruck (Hochdruck) und Stoffwechsel (Fett- und Zuckerstoffwechsel, Stammfettsucht und

Diabetes II als Spätfolge). Kinder von Raucherinnen haben schon bei der Geburt ein kleineres Gehirn und bleiben später in Motorik, Artikulation, Rhythmusgefühl, auditivem Gedächtnis und Sprachverständnis hinter ihren Altersgenossen zurück. Das Passivrauchen nach der Geburt ist ein unabhängiger Risikofaktor für die Lungen- und Hirnentwicklung, fördert plötzlichen Säuglingstod, Mittelohr- und Lungenentzündungen sowie Depressionen und kann im späteren Leben zu frühzeitigem geistigen Abbau beitragen und zum vorzeitigen Tod durch Krebs, Lungen- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen führen¹¹ (Abbildung 2).

Jahrelang haben die finanzkräftige Tabakindustrie und der einflussreiche Tabakhandel versucht, vom Passivrauchen abzulenken und diese Krankheitsursache zu verharmlosen oder völlig zu leugnen, obwohl dadurch allein in Österreich jährlich etwa 30 Menschen an COPD, 90 an Lungenkrebs und je 500 an Schlaganfall und Herzinfarkt sterben. Doch gelang es schließlich der WHO 2003, ein Rahmenübereinkommen zur

⁸ Adams T. et al. 2015: Secondhand Smoking Is Associated With Vascular Inflammation. *Chest* 148 (1), 112–119.

⁹ Neuberger M. 2008: Feinstaub und akutes Koronarsyndrom. *Universum Innere Medizin* 01/08, 90–91.

¹⁰ Moshhammer H., et al. 2007: Passive Smoking: Assessing the Health Impact on Children. In: Jeorgensen N. A. (editor): *Passive Smoking and Health Research*. Nova Science Publishers, New York, 245–265.

¹¹ Hwang S-H., et al. 2012: Environmental Tobacco Smoke and Children's Health. *Korean Journal of Pediatrics* 55.2, 35–41.



Abb. 2: Die schlimmste Schadstoffquelle im Innenraum.

Tabakkontrolle (FCTC)¹² zu schaffen, das inzwischen von 180 Staaten ratifiziert wurde. Auch Österreich hat 2005 mit der Ratifikation dieses völkerrechtlich verbindlichen Vertrages anerkannt, dass Passivrauchen Krankheit, Invalidität und Tod verursacht und deshalb Arbeitsräume, öffentlich zugängliche Räume und somit Nichtraucherinnen und Nichtraucher zu 100 Prozent vor Tabakrauch zu schützen sind (Artikel 8). Aber die Empfehlung der EU (2009) zur Umsetzung in die Praxis bis 2012 wurde von Österreich, Tschechien und der Slowakei nicht unterstützt.

¹² http://www.who.int/fctc/text_download/en/ zuletzt besucht: 6. Juli 2018.

Tschechien führte im Mai 2017 rauchfreie Gastgewerbelokale ein (so wie Irland und Norwegen 2004, Italien 2005, fast ganz Westeuropa 2006–2010 und Ungarn 2012). Österreich hinkt der Entwicklung hinterher und hat die für Mai 2018 beschlossene Regelung, dass Lokale rauchfrei sein müssen, wieder aufgehoben. Ebenso wenig gibt es rauchfreie Trafiken. In Italien trat 2016 ein Rauchverbot um Spitäler und in Autos in Kraft, zum Schutz von Kranken, Schwangeren und Kindern. Während Tabakverkaufsstellen in Ungarn drastisch reduziert wurden, erst ab 18 Jahren zugänglich sind und außen nicht werben dürfen, werden in Österreich Kinder mit Zeitschriften, Süßigkeiten, Softdrinks und Spielzeug in Trafiken gelockt, sind dort schutzlos Tabakrauch und -werbung ausgesetzt, erhalten Zigaretten legal ab einem Alter von 16 Jahren (ab 2019 ab 18 Jahren), doch in der Praxis häufig schon früher. In Österreich wurde nicht einmal im Inneren von Spitälern völlige Rauchfreiheit etabliert. International geht der Trend zu ausnahmslos rauchfreien Innenräumen sowie rauchfreien überdachten Gastgärten, Wartehäuschen etc., weil es auch hier zu Schadstoffanreicherungen kommt, die z. B. für

Asthmatikerinnen und Asthmatiker gefährlich werden können. Selbst im Freien ist die Abgaswolke eines Rauchers als Belastung anzusehen, die über mehrere Meter krebsfördernde Stoffe verteilt; diese lassen sich im Harn von danebenstehenden Personen nachweisen.¹³ Kurzzeitig ist die Belastung mit Fein- und Ultrafeinstaub beim Vorbeigehen an einem Raucher etwa dreimal so hoch wie beim Überqueren einer verkehrsreichen Straße.

Passivrauchen, Brandgefahr und Kontamination durch Zigarettenstummel sind zusätzliche Gründe, warum an zunehmend mehr öffentlichen Plätzen wie in Stadien, an Badestränden, in Parkanlagen etc. das Rauchen untersagt wird. Das bringt gleichzeitig eine Denormalisierung des Rauchens in der Öffentlichkeit mit sich, was im Hinblick auf die Tabakprävention bei Kindern und Jugendlichen von großem Wert ist. Rauchverbote vor Eingängen öffentlicher Gebäude dienen demselben Zweck und verhindern gleichzeitig, dass Rauchwolken und Rauchin-

¹³ Wall MA. et al. 1988: Cotinine in the serum, saliva, and urine of nonsmokers, passive smokers, and active smokers. *American Journal of Public Health*. 78(6), 699–701.

haltsstoffe in den Eingangsbereich des Gebäudes strömen.

Am weitaus gefährlichsten ist das Passivrauchen allerdings in Innenräumen, weil schon die Quellstärke einer einzigen Zigarette Lüftungs- und Klimageräte überfordert.¹⁴ Drei nacheinander im Aschenbecher verblühende Zigaretten erhöhen die Feinstaubkonzentration in einem 60-m³-Raum zehnmals mehr als ein Pkw-Dieselmotor (Abgasklasse Euro 3).¹⁵ Passivrauchen schädigt sowohl Raucher wie Nichtraucher. Letztere müssen den Rauch in einem Arbeitsraum oder einem öffentlich zugänglichen Raum nicht dulden.¹⁶ Der in Innenräumen emittierte Tabakrauch sammelt sich auch im Hausstaub und auf Oberflächen (Teppichen, Tapeten, Polstermöbeln, Bettzeug, Spielzeug wie Stofftieren etc.), Schadstoffe werden später von

diesen Materialien wieder an die Raumluft abgegeben bzw. von Kleinkindern auch abgeleckt oder über die Haut aufgenommen. Dieser „Rauch aus dritter Hand“ ist langlebiger als „Passivrauch“ („Rauch aus zweiter Hand“). Er verursachte im Tierversuch oxidativen Stress und erhöhte Insulinresistenz und könnte daher bei Kindern (neben der Ernährung) einen Risikofaktor für eine spätere Diabetes-II-Erkrankung darstellen.¹⁷

¹⁴ <https://repository.publisso.de/resource/fri:4079136> zuletzt besucht: 6. Juli 2018.

¹⁵ Invernizzi G. et al. 2004: Particulate matter from tobacco versus diesel car exhaust: an educational perspective. *Tobacco Control* 13, 219–221.

¹⁶ Neuberger M. 2015: Das österreichische Tabakgesetz: Besteht Hoffnung für die Zukunft? *Jatros Pneumologie & HNO* 5/15, 72–73.

¹⁷ Adhami N. et al. 2017: Biomarkers of disease can be detected in mice as early as 4 weeks after initiation of exposure to third-hand smoke levels equivalent to those found in homes of smokers. *Clinical Science* Sep 15, 131 (19), 2409–2426.

MENSCHEN, TIERE, ALLERGENE

HANNS MOSHAMMER

MENSCHEN (UND TIERE)

Jeder Mensch und jedes Haustier geben Stoffe an die Umgebung ab: Wir atmen Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf aus. Wir sondern Schweiß ab, der auch diverse organische Verbindungen enthält, die teilweise von den Bakterien unserer Haut zu geruchsintensiven Stoffen umgewandelt werden. Wir geben ständig flüchtige organische Verbindungen und Hautschuppen an unsere Umgebung ab, die – als kleine Fettteilchen – mit diversen in der Luft vorhandenen Chemikalien reagieren können, beispielsweise mit Ozon unter Bildung von sehr aggressiven Sauerstoffradikalen. Darüber hinaus sind wir ständig von einer sehr differenzierten mikrobiellen Flora umgeben: Bakterien besiedeln unsere Haut und unsere Schleimhäute. Unsere eigene

Flora ist immer mit der Umwelt im Austausch, wir wandern praktisch in unserer eigenen „Bakterienwolke“. Es handelt sich dabei um Keime, die optimal an die Oberflächen des menschlichen Körpers angepasst sind. In der Evolution über Jahrtausende haben diese Mikroorganismen gelernt, dass es dem Wirtkörper schadet und daher langfristig auch für sie schädlich ist, wenn sie tiefer in den Körper eindringen. So trainieren sie ständig unser Immunsystem, führen aber nicht zu Infektionen, sondern verhindern sogar, dass fremde, eventuell infektiöse Keime unsere Schleimhäute besiedeln können. Wenn Schweiß, Hautschuppen, Geruchsstoffe und Bakterien überhandnehmen, dann verschlechtert sich die Luftqualität merklich. Jeder, der in einen überfüllten und schlecht belüfteten Raum eintritt, hat schon be-

merkt, wie abgestanden und unangenehm die Luft wirkt. Die Leute, die sich schon länger im Raum aufgehalten haben, nehmen die Gerüche nicht so deutlich oder gar nicht mehr wahr. Studien, die im Experiment oder in tatsächlichen Schulsituationen die Leistungsfähigkeit von Personen gemessen haben, konnten wiederholt zeigen, dass mit sinkender Luftqualität auch die Arbeitsgeschwindigkeit abnimmt, während die Fehlerhäufigkeit deutlich ansteigt.

Es ist nicht im Detail bekannt, welche von Menschen abgegebenen Stoffe im Einzelnen für die schlechteren Leistungen verantwortlich sind. Als Maß für die Luftqualität bzw. für den „Luftverbrauch“ durch die Menschen hat sich allerdings Kohlenstoffdioxid (CO₂) als sehr nützlich erwiesen. Schon seit den bahnbrechenden Untersuchungen des Münchner

Hygienikers Max von Pettenkofer im 19. Jahrhundert ist bekannt, dass eine CO₂-Konzentration deutlich über 0,1 Volumprozent (1.000 ppm) eine zu geringe Luftwechselrate bzw. eine schlechte Raumlufqualität anzeigt. Auf den notwendigen Luftwechsel wird näher im Kapitel „Innenraumklima“ eingegangen.

HAUS- UND NUTZTIERE: INFEKTIONSRSIKO UND ALLERGIEN

Manche Gerüche empfinden wir wahrscheinlich deshalb eher als störend, weil uns die Evolution gelehrt hat, dass diese Gerüche mögliche Gefahren anzeigen. So empfinden wir den Geruch von Fäkalien wie Hühnermist als störend, während wir Gerüche wertvoller Lebensmittel eher als angenehm empfinden. Daneben spielt unsere kulturelle Prägung eine Rolle, daher erscheinen uns gewohnte Lebensmittelgerüche angenehmer als unbekannte Gerüche. Das enge Zusammenleben mit Menschen und mit Tieren birgt tatsächlich manche Infektionsgefahren, und daher wundert es nicht, dass wir den intensiven Geruch nach Menschen oder Tieren als abstoßend empfinden. Die natür-

liche Reaktion, die Fenster zu öffnen bzw. den Luftwechsel zu erhöhen, ist daher aus hygienischen Überlegungen sinnvoll.

Auch die herzlichsten und lieblichsten Haustiere sind keine Menschen. Sie haben eine andere Darmflora, und ihr Immunsystem unterscheidet sich deutlich von dem des Menschen. Ein allzu enger Kontakt kann daher für manchen Tierliebhaber böse enden. Eine vernünftige Distanz zum Tier ist auch für dieses weitaus angemessener als ein extrem anthropomorpher Umgang (Abbildung 1).



Abb. 1: Des Einen Freud', des Anderen Leid.

Abseits der Infektionsgefahr – bei von Tieren auf den Menschen übertragenen Infektionskrankheiten spricht man von „Anthropozoonosen“ – spielen Tiere im Wohnraum

auch als mögliche Allergenquellen eine Rolle.¹ An erster Stelle ist hier an Katzen zu denken,² in deren Speichel sich Eiweißmoleküle mit hohem Allergenpotenzial finden. Durch ihre regelmäßige Körperreinigung übertragen sie diese Moleküle auf ihr Fell, und wir können daher auf Katzenhaare allergisch reagieren.³ Ein sehr früher Kontakt mit Fremdeiweiß kann eventuell zur Toleranzentwicklung führen. So ist immer noch nicht sicher, ob frühkindlicher Kontakt mit Hunden die Allergieentwicklung eher fördert oder hemmt. Bei Katzen weisen die vorhandenen Studien jedoch darauf hin, dass Katzenhaltung vor allem dann die Entwicklung von

¹ Stemeseder T. et al. 2017: Exposure to Indoor Allergens in Different Residential Settings and Its Influence on IgE Sensitization in a Geographically Confined Austrian Cohort. PLoS One. 12 (1), e0168686.

² Institute of Medicine (US) Committee on the Health Effects of Indoor Allergens; Pope A. M., Patterson R., Burge H. (editors) 1993: Indoor Allergens: Assessing and Controlling Adverse Health Effects. Washington (DC): National Academies Press (US), 1993, 99–102.

³ Matsui E. C. et al. 2016, Section on Allergy and Immunology: Council on Environmental Health. Indoor Environmental Control Practices and Asthma Management. Pediatrics 138 (5), pii: e20162589.

Allergien fördert, wenn der Katze erlaubt wird, in das Zimmer zu kommen, in dem sich das Kleinkind aufhält.⁴ Eine geringere Belastung mit Katzenallergenen scheint dagegen eher kein Risiko für die Entwicklung einer Allergie darzustellen. Wenn allerdings eine Allergie gegen Katzenhaare (oder auch andere Tierhaare) besteht, dann reichen schon geringe Mengen des Allergens aus, um einen allergischen Anfall (Heuschnupfen, Asthma oder Augenbrennen) auszulösen. Die feinen Katzenhaare halten sich sehr hartnäckig auf textilen Oberflächen, und so lassen sich Katzenallergene beispielsweise sogar im Staub von Schulklassen nachweisen, wenn einzelne Schüler zu Hause Katzen halten.

Allergene finden sich nicht nur an den Haaren von Säugetieren. Auch Vogelfedern können Allergene tragen, der Kot der Hausstaubmilben ist eine bedeutende Allergenquelle (Abbildung 2). Fische und insbesondere Fischfutter für Aquarienfische können allergische Reaktionen auslösen. Falls daher ein Haushaltsmitglied an einer Typ-I Allergie leidet,

ist jedenfalls eine genaue allergologische Abklärung der Ursachen und allenfalls die Vermeidung der auslösenden Allergene notwendig.

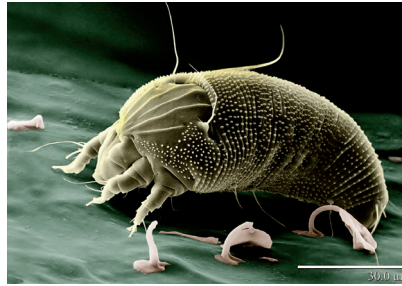


Abb. 2: Hausstaubmilben sind die bedeutendste Allergenquelle in Innenräumen.

PFLANZEN: GUT UND BÖSE

Auch Zimmerpflanzen können Allergene freisetzen. Ein bekanntes Beispiel ist die beliebte Birkenfeige (*Ficus benjamina*), auch „Benjamins“ genannt. Latexallergikerinnen und -allergiker können heftig auf deren Absonderungen reagieren, sodass sie auf diese Pflanze in ihrer Umgebung verzichten sollten.⁵

Grundsätzlich ist nichts gegen Topfpflanzen in der Wohnung einzuwenden. Das Grün im eigenen Heim erfreut das Auge. Die notwendige Betreuung ist nicht sehr aufwendig und kann z.B. für Schulkinder eine Aufgabe darstellen, die sie lehrreich zu eigener Verantwortung und zu späteren „größeren Aufgaben“ hinleitet. Wenn man einmal ein paar Wochen auf das Gießen vergessen hat, ist das eigene Versagen offensichtlich.

Im irdischen Ökosystem spielen Pflanzen im Stoffkreislauf, im Bodenschutz, in der Bindung von Kohlenstoffdioxid, in der Bildung von Biomasse und Sauerstoff sowie im Feuchthehaushalt eine entscheidende Rolle. Im Innenraum tragen Pflanzen in einem sehr beschränkten Ausmaß zur Feuchteregulierung bei und können Staub und diverse gasförmige Luftschadstoffe binden. Bei üblicher Bepflanzungsdichte ist dieser Effekt jedoch vernachlässigbar. Wollte man wirklich einen relevanten Effekt der Pflanzen auf physikochemische Eigenschaften des Wohnraumes erreichen, müsste man schon in einem Treibhaus wohnen – und in diesem Fall würde man rasch erkennen, dass sich unsere Anforderungen und die unserer grünen Zimmergenossen nicht unbedingt decken. Selbstver-

⁴ Pomés A. et al. 2016: Indoor Allergens and Allergic Respiratory Disease. *Curr Allergy Asthma Rep.* 16 (6), 43.

⁵ Aydin Ö. et al. 2014: Allergic sensitization to ornamental plants in patients with allergic rhinitis and asthma. *Allergy Asthma Proc.* 35 (2), e9–14.

ständig erfordern Zimmerpflanzen auch ein gewisses Maß an Pflege. Kranke Pflanzen, verschimmelte Blumenerde und parasitäre Insekten sind nicht nur unschön, sondern können mitunter zu einem wohnhygienischen Problem werden.

ASBEST UND KMF

HEINZ KROPIUNIK, MANFRED NEUBERGER

ASBEST

Das griechische Wort „asbestos“ bedeutet so viel wie „unauslöschlich“ oder „unzerstörbar“ und weist damit schon auf wesentliche Materialeigenschaften dieses Stoffes hin: Asbest ist unbrennbar und in hohem Ausmaß temperaturbeständig (bis zu ca. 1.000 °C), er ist beständig gegenüber Säuren und Laugen, weist gute Wärme- und Schalldämmeigenschaften auf und wirkt elektrisch isolierend. Asbestfasern haben eine sehr hohe Zugfestigkeit. Aus technischer Sicht ist Asbest somit ein multifunktionaler Werkstoff, der diesen Eigenschaften zufolge über mehr als 100 Jahre auch mannigfachen Einsatz in mehr als 3.000 unterschiedlichen Produkten fand, bis er 1990 in Österreich und 2005 in der gesamten EU verboten wurde. Die kritische Potenz von Asbest wird vor allem durch den hohen Anteil an lungengängigen

und gleichzeitig sehr biobeständigen Fasern gebildet.¹

Aus naturwissenschaftlicher Sicht bezeichnet Asbest eine Gruppe von in der Natur vorkommenden silikatischen Mineralen, die sich vor allem durch ihre faserige Struktur von anderen Silikaten unterscheiden. Je nach chemischer Zusammensetzung unterscheidet man mehrere Asbestarten, deren wichtigste Vertreter der Weißasbest oder „Chrysotil“ aus der Untergruppe der Serpentin-asbeste und der Blauasbest oder „Krokydolith“ sowie der Braunasbest oder „Amosit“ aus der Gruppe der Amphibolasbeste sind.

¹ WHO, Geneva: International Programme on Chemical Safety. Environmental Health Criteria 53 (Asbestos and Other Natural Mineral Fibres, 1986), 77 (Man-made Mineral Fibres, 1988), 151 (Selected Synthetic Organic Fibres, 1993), 203 (Chrysotile Asbestos, 1998).



Heinz Kropiunik ist Geschäftsführender Gesellschafter der aetas Ziviltotechniker GmbH. Er hat seit etwa 30 Jahren Erfahrung im Bereich des Schadstoffmanagements in Bauwerken mit besonderer Berücksichtigung von Asbest und KMF. Er leitet Sachkundelehrgänge für Asbestsanierungs-Fachkräfte in Österreich. Kropiunik ist Autor zahlreicher nationaler und internationaler Fachpublikationen.

Die bei Weitem häufigste Anwendung fanden Asbestzementprodukte im Außenbereich als Dachdeckungs- und Fassadenbekleidungsmaterial, aber auch in Innenräumen für Fensterbänke, Lüftungs- und Abflussleitungen, Vorsatzschalen als Hitzeschutz oder Füllungen von Brandschutztüren, um nur einige Beispiele zu nennen. In intakten Asbestzementprodukten sind Asbestfasern mit einem Gewichtsanteil von bis zu ca. 15 Prozent fest in eine Zementmatrix eingebunden und werden erst bei Bearbeitung mit hochtourigen Werkzeugen in größerem Ausmaß freigesetzt. Wird diese Zementmatrix infolge jahrzehntelanger Umwelteinflüsse abgebaut, können auch Wind- oder Regenwassereinflüsse zu Asbestfaseremissionen führen. Asbestfasern können allerdings auch bei der Bearbeitung solcher Produkte oder auch schon bei deren Brechen in nicht unerheblicher Zahl in die Luft freigesetzt werden, was bei einem hohen Verwitterungsgrad umso leichter erfolgen kann.

Wesentlich bedeutender für den Innenraum sind jedoch Asbestanwendungen, bei denen die Asbestfasern in schwach gebundener Form vorliegen und deshalb umso leichter in die Innenraumluft freigesetzt werden

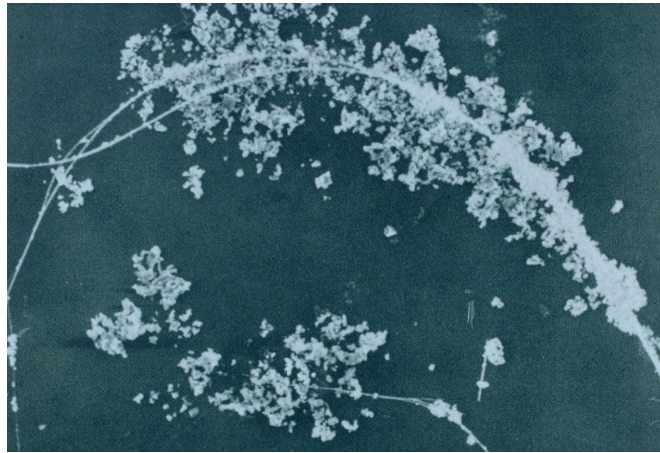


Abb. 1: Blaupasbest im REM: Die hohe Beladung der Fasern mit kleineren Partikeln weist auf eine hohe Oberflächenaktivität der kristallinen Fasern hin.

können. Während Spritzasbest als wohl brisanteste Asbestanwendung nahezu ausschließlich in öffentlichen oder gewerblich genutzten Bauwerken eingebaut wurde, können viele sonstige schwach gebundene Asbestprodukte auch in Wohnobjekten gefunden werden. Dazu gehören beispielsweise Leichtbauplatten als Brandschutzverkleidung (je nach Bauweise), Dichtschnüre und Dämmplatten in Heizgeräten wie Gaskonvektoren oder Speicherheizgeräten, Pappen als Isolierungen in elektrischen Geräten und Anlagen

oder als mobile Hitzeschutzschirme sowie bestimmte Typen von PVC-Bodenbelägen. Ist man sich nicht sicher, ob man es mit einem asbesthaltigen Produkt zu tun hat oder nicht, bringt eine Materialanalyse bei einem erfahrenen Prüfinstitut Gewissheit (Abbildung 1).

Der Ausbau und die fachgerechte Entsorgung asbesthaltiger Produkte ist stets Fachunternehmen mit entsprechender behördlicher Erlaubnis zu übertragen, damit bei der Sanierung nicht erst recht wieder Asbeststaub in die Innenraumluft

freigesetzt wird. Bei unsachgemäßer Wartung, Reparatur, Demontage und Entsorgung (z. B. Bohren, Schneiden mit Trennschleifer, Schleifen, Fräsen, Reinigung mittels Hochdruckreiniger, Abwurf vom Dach) werden Fasern aus Asbestzementprodukten freigesetzt.² Aus diesem Grund ist mit Asbestzementprodukten möglichst zerstörungsfrei umzugehen. Erhöhte Vorsicht ist bei schwach gebundenen Asbestmaterialien geboten, besonders im Innenraum. Solche Materialien müssen meist in abgeschotteten und unter Unterdruck gehaltenen Sanierungszonen ausgebaut werden, wobei das Personal geeignete Schutzkleidung und Atemschutzmasken zu verwenden hat. Asbesthaltige Nachspeicheröfen sollten möglichst im Ganzen abtransportiert und nicht in der Wohnung zerlegt werden. Nach umfangreicheren Entsorgungsmaßnahmen ist durch visuelle Überprüfungen und durch nachfolgende Luftmessungen sicherzustellen, dass im Innenraum keine Asbestfaserbelastung mehr zu befürchten ist. Bei größeren Umbauarbeiten oder bei Abbrucharbeiten ist

es jedenfalls erforderlich und gesetzlich vorgeschrieben, asbesthaltige Produkte vor Beginn solcher Arbeiten fachgerecht zu entfernen und zu entsorgen.

Vielfach noch unbekannt ist, dass Asbest in geringen Konzentrationen bis in die 90er-Jahre des vorigen Jahrhunderts in vielen Spachtelmassen, Putzen und Fliesenklebern enthalten war, wenn auch im Allgemeinen in fest gebundener Form. Im Sanierungsfall und bei entsprechender mechanischer Beanspruchung kann dies bei der Bearbeitung betroffener Oberflächen zu relevanten Konzentrationen an Asbestfasern in der Innenraumluft führen. Derzeit werden auf internationaler Ebene geeignete Strategien zur Bewältigung der Auswirkungen solcher „subtilen“ Asbestanwendungen erarbeitet. Für bestimmte Fälle wie etwa für mobile Asbestprodukte (z. B. Blumentröge aus Asbestzement, Hitzeschutzschirme aus Asbestpappe etc.) ist es für Privatpersonen zulässig, diese bei den örtlichen Problemstoffsammelstellen, dicht verpackt in Kunststofffolien oder -säcken, abzugeben.

KMF – KÜNSTLICHE MINERALFASERN (GLASWOLLE, STEINWOLLE ETC.)

Im Gegensatz zum natürlich vorkommenden Asbest werden künstliche Mineralfasern aus der Schmelze mineralischer Ausgangsstoffe über Düsen- oder Schleuderverfahren industriell hergestellt. Zur Herstellung von Glaswolle werden Mischungen aus Flaschenglas oder Fensterglas mit Sand, Soda und Kalk, im Falle von Steinwolle solche aus unterschiedlichen Gesteinsarten und Steinwolle-Abfällen (Recyclingmaterial), jeweils unter Zusatz von Chemikalien und Flussmitteln, verwendet.

Zum überwiegenden Teil werden KMF-Produkte im Baubereich in der Wärme- und Kälte­dämmung, im Brandschutz und im Schallschutz verwendet. Vielfach finden sich KMF-Produkte für die gleichen Zwecken wie Asbest eingesetzt, aber auch in Geräten und Anlagen, z.B. auch in bestimmten Haushaltsgeräten.

Beim Ausbau alter KMF-Produkte ist Vorsicht geboten, da sie in den meisten Fällen auch Anteile lungen­gängiger Fasern enthalten, die unter bestimmten Voraussetzungen eine höhere Biobeständigkeit aufweisen,

² https://www.wko.at/branchen/ooe/gewerbe-handwerk/Asbest_Leitfaden_2014.pdf zuletzt besucht: 6. Juli 2018.

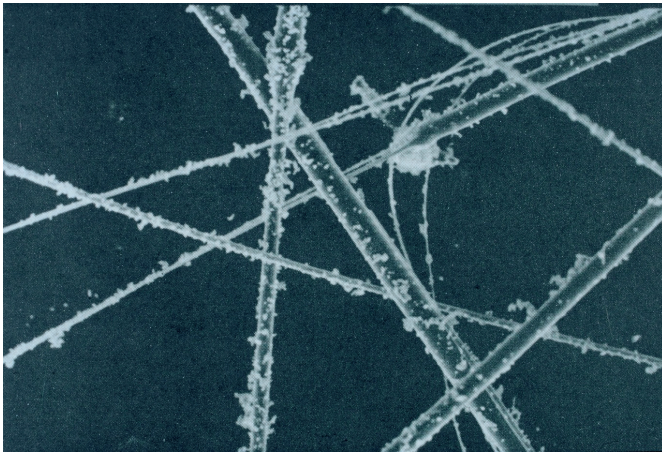


Abb. 2: Glasfasern im REM: Die spärliche Beladung ihrer Oberfläche mit kleineren Partikeln weist auf eine relativ geringe Oberflächenaktivität der amorphen Fasern hin.

wenn auch bei Weitem nicht in dem Ausmaß wie Asbest³ (Abbildung 2). An die Entsorgung krebserregender KMF-Produkte werden zunehmend vergleichbare Anforderungen gestellt wie an jene von Asbestprodukten, so dass künftig mit einem Ansteigen der Entsorgungskosten für KMF-Abfälle zu rechnen ist.

³ IARC, Lyon: Monograph 43 (Man-made Mineral Fibres and Radon, 1988), 68 (Silica, Some Silicates, Coal Dust and para-Aramid Fibrils, 1997), 100C (Arsenic, Metals, Fibres and Dusts, 2012).

GESUNDHEITLICHE ASPEKTE ZU ASBEST UND KMF

Asbest und andere lungenpersistente Fasern werden erst durch Inhalation in die Lunge gefährlich. Bei beruflicher Belastung können alle Asbestarten zu bindegewebiger Umwandlung des Lungengewebes (Asbestose) und als Spätfolge zu Krebs führen. Auch andere natürlich vorkommende Faserminerale wie Erionit und Chabazit aus der Gruppe der oberflächenaktiven Faserzeolithe können zu Krebs führen. KMF haben den Vorteil, dass sie nicht

wie Asbest längs spalten, sondern quer brechen. Fasern sind dann nicht lungengängig, wenn sie dicker als $3\ \mu\text{m}$ sind. Biopersistente Fasern werden durch Fresszellen in der Lunge problemlos abtransportiert, wenn sie nicht länger als $5\ \mu\text{m}$ sind. Bei einem Länge-zu-Durchmesser-Verhältnis von mehr als 3 zu 1 können lange Fasern über längere Zeiträume in der Lunge verbleiben und chronische Entzündungsprozesse unterhalten, die schließlich zu Krebs führen. Von den KMF waren vor allem Keramikfasern (RCF-refractory ceramic fibers) im Tierversuch krebserregend, aber auch Steinwolle, die durch das Schleuderverfahren bei der Herstellung an ihren Enden ausreichend dünn für eine Lungengängigkeit wurde. Die meisten Glaswollefasern sind nicht lungengängig und führen nur zu Reizerscheinungen an Haut und Schleimhäuten. Allerdings haben besonders dünne und durch spezielle Glassorten lungenpersistente Glaswollefasern, die als Isoliermaterial nicht handelsüblich sind, im Tierversuch Krebs ausgelöst.⁴

⁴ Neuberger M. 1990: Künstliche Mineralfasern und Krebsrisiko. Pneumologie 44, 855–857.

Neue Gefahren könnten sich durch organische Fasern im Nanobereich anbahnen: Mit mehrwandigen Carbon-Nanoröhrchen wurden im Tierversuch Lungen- und Rippenfellkrebs ausgelöst. Auch dünne Carbonfasern aus kohlenstoffverstärkten Kunststoffen (CFK) sind wegen ihrer hohen Lungenpersistenz und ihrer Länge problematisch, besonders wenn sie nicht agglomerieren, sondern an bestimmten Arbeitsplätzen als rigide Einzelfasern bei Bearbeitung von CFK auftreten. Die Faserbelastung an Arbeitsplätzen, an denen CFK verarbeitet werden, muss überwacht werden, und nach Bränden von CFK ist eine Entsorgung unter Vollschutz durchzuführen. Umweltgefahren durch CFK für die Bevölkerung sind aber keine bekannt.⁵

In der Regel stellt Asbest ein Arbeitsplatz- und weniger ein Umweltproblem dar. Bei fortgesetzter Zufuhr nimmt die Konzentration von Weißasbest (Chrysotil) in der Lunge nur bis zu einer bestimmten Höhe zu, bei

der Aufnahme und Abbau ein Gleichgewicht erreichen; nach Expositionsende nimmt die Weißasbestbelastung der Lunge wieder ab. Daher traten Lungenkrebsfälle im Allgemeinen nach hoher beruflicher Belastung auf, besonders durch langfaserigen Chrysotil, wie er z. B. in der Textilindustrie verwendet wurde. Rippenfellkrebs wurde nur nach extremen Belastungen oder bei einer natürlichen Kontamination des Weißasbests mit dem Amphibolasbest Tremolit beobachtet. Amphibolasbeste wie Blauasbest (Krokydolith) oder Braunasbest (Amosit) sind säurebeständiger, steifer und in der Lunge langlebiger. Bei fortgesetzter Zufuhr wird nie ein Gleichgewicht zwischen Aufnahme und Abbau erreicht, sondern die Konzentration in der Lunge nimmt während der Exposition ständig weiter zu und bleibt dann nach Expositionsende auf dem zuletzt erreichten hohen Niveau. Durch ihre hohe Biobeständigkeit wandern lange Amphibolasbeste von der Lunge ins Rippenfell und Bauchfell und lösen auch dort nach Jahrzehnten besonders bösartige Neubildungen (Mesotheliome) aus. Solche Mesotheliome wurden nicht nur bei hochexponierten und der Zufuhr lange ausgesetzten Arbeitern beobachtet, sondern auch nach relativ

kurz andauernden Belastungen, allerdings oft erst 50 Jahre später. Auch Frauen erkrankten, die nur die asbestverschmutzte Arbeitskleidung ihres Mannes regelmäßig gereinigt hatten.

In Österreich wurden bei einem natürlichen Vorkommen von relativ kurzfasrigem Tremolit keine erhöhten Krebsraten in der Bevölkerung beobachtet, wohl aber ein endemisches Vorkommen von Rippenfellverkalkungen. Umschriebene Verdickungen und Verkalkungen des Rippenfells weisen auf eine frühere Asbestbelastung hin, sind aber für sich allein noch kein Zeichen eines Krebsrisikos. Dagegen treten diffuse Pleuraverdickungen und bindegewebige Lungenveränderungen nur nach höheren Asbestbelastungen auf und zeigen ein zukünftiges Krebsrisiko an.⁶ Unabhängig von diesen Zeichen sollten frühere Asbestarbeiter, die eine größere Asbestdosis in ihrer Lunge gespeichert haben, regelmäßig eine Computertomografie ihrer Lunge durchführen lassen und vor

⁵ Wang J. et al. 2017: Transformation of the released asbestos, carbon fibers and carbon nanotubes from composite materials and the changes of their potential health impacts. *J Nanobiotechnology* 15 (1), 15.

⁶ Neuberger M. 1989: Pleural Plaques from Low Levels of Asbestos. In: *Sourcebook on Asbestos Diseases, Volume 4 (Medical Research)*, editors G. A. & B. J. Peters, Garland Publ., New York, Butterworth Publ., Salem, 231–275.

allem nicht rauchen.⁷ Für Amphibol-asbeste ist nachgewiesen, dass sie in Kombination mit Tabakrauch das Lungenkrebsrisiko noch viel stärker erhöhen, als die Summe der Risiken durch Asbest und Tabakrauch erwarten ließe.

⁷ Moshammer H., Neuberger M. 2009: Lung function predicts survival in a cohort of asbestos cement workers. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 82 (2), 199–207.

RADON IN GEBÄUDEN

WOLFGANG RINGER

Es ist kein Zufall, dass das radioaktive Edelgas Radon zunehmend als Innenraumschadstoff Beachtung findet, denn Radon ist nach dem Rauchen die zweithäufigste Ursache für Lungenkrebs. Was ist Radon? Wie kann das Radonrisiko in Gebäuden begrenzt werden? Welche Regelungen gibt es und durch welche Maßnahmen können geringe Radonkonzentrationen in Innenräumen gewährleistet werden?

WAS IST RADON?

Radon (Rn-222) ist ein radioaktives Edelgas; man kann es nicht riechen, nicht sehen und nicht schmecken. Es entsteht aus dem radioaktiven Zerfall von Uran-238 und kommt praktisch überall im Boden vor. Durch das Eindringen von geringen Mengen an

radonhaltiger Bodenluft durch das Fundament in das Gebäude kommt Radon in die Raumluft. Radon und seine Folgeprodukte gelangen über die Atemluft in den Körper, wobei Radon selbst großteils wieder ausgeatmet wird. Die radioaktiven Folgeprodukte jedoch verbleiben in den Atemwegen und bestrahlen das Gewebe.

LUNGENKREBS DURCH RADON

Untersuchungen an Bergarbeitern haben schon früh gezeigt, dass hohe Radonkonzentrationen in Bergwerksstollen Lungenkrebs auslösen. Metaanalysen von großen epidemiologischen Studien ergaben, dass auch durch den Aufenthalt in Gebäuden ein erhöhtes Krebsrisiko entsteht. Radon wurde schon 1988 von der



Wolfgang Ringer ist Leiter der Abteilung „Radon und Radioökologie“ der Österreichischen Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES). Er leitet außerdem die Österreichische Fachstelle für Radon und nimmt als Experte an Radonprojekten der WHO und IAEA sowie an Radonforschungsprojekten der EU (RADPAR, MetroRADON) teil. Seit 2018 ist er Präsident der European Radon Association (ERA).

International Agency for Research on Cancer (IARC) als Karzinogen der Gruppe 1 (nachweislich krebs-erregend, wie z.B. Asbest, Tabakrauch oder Benzol) eingestuft.¹ Laut WHO ist Radon nach dem Rauchen die zweithäufigste Ursache für Lungenkrebs.² Es wurde zudem ein Synergieeffekt zwischen Rauchen und Radon nachgewiesen; demzufolge ist das Gesamtrisiko größer als die Summe aus Rauch- und Radonrisiko. In Österreich werden der Radonexposition in Innenräumen etwa 400 Sterbefälle pro Jahr zugeschrieben. Die meisten davon treten bei Raucherinnen und Rauchern durch die Kombinationswirkung von Radon und Tabakrauch auf.

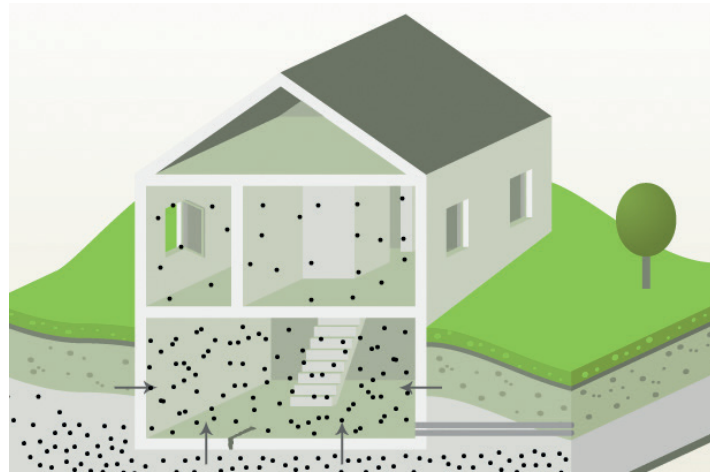


Abb. 1: Radon entsteht im geologischen Untergrund und dringt durch Ritzen im Fundament in die Keller von Gebäuden ein. Je nach den Druckverhältnissen im Gebäude und je nach Luftwechselrate verteilt es sich im Gebäude, wobei die unteren Geschosse meist höher belastet sind.

RADON IN GEBÄUDEN

Durch den Kamineffekt in der kalten Jahreszeit wird radonhaltige Bodenluft in das Gebäude gesaugt. In ge-

¹ International Agency for Research on Cancer 1988: Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans – Man-made Mineral Fibres and Radon, IARC/WHO, Volume 43, Lyon.

² World Health Organisation 2009: WHO Handbook on Indoor Radon, WHO, Genf.

schlossenen Räumen kann es so zu einer Anreicherung von Radon in der Atemluft kommen. Wesentliche Einflussfaktoren im Hinblick auf die Radonkonzentration im Gebäude sind:

- Dichtheit des Gebäudefundaments
- Nutzerverhalten (Lüftungsverhalten)
- Radonkonzentration im Boden
- Durchlässigkeit des Bodens (Abbildung 1)

Demgemäß treten in älteren, nicht unterkellerten Gebäuden mit Strei-

fenfundament häufiger hohe Radonwerte auf als in neueren, energieeffizienten Gebäuden mit dichter Gebäudehülle und kontrollierter Raumlüftung. Problematisch ist in diesem Zusammenhang die thermische Sanierung bestehender Gebäude, da hier nur die obere Gebäudehülle, jedoch nicht der Fundamentbereich dichter wird. So wird zwar die Luftwechselrate gesenkt, nicht aber die Radoneintrittsrate.

Heutzutage können neue Gebäude so errichtet werden, dass im Innenraum keine hohen Radonkonzentrationen auftreten. Wenn also in einem neuen Gebäude ein Radonproblem besteht, dann ist es ein „Bauproblem“.

REGELUNGEN ZUM RADONSCHUTZ

Gemäß einer Empfehlung der Strahlenschutzkommission gelten in Österreich ein Planungsrichtwert von 200 Bq/m^3 für Neubauten sowie ein Eingreifrichtwert von 400 Bq/m^3 für bestehende Gebäude. Auf gesetzlicher Ebene ist der Radonschutz im Strahlenschutzgesetz (§ 38b) und in der „Natürliche Strahlenquellen-Verordnung“ (betrifft Arbeitsplätze) verankert.³

Mit der im Jänner 2014 veröffentlichten neuen europäischen Strahlenschutzgrundnormen-Richtlinie 2013/59/EURATOM werden alle Mitgliedsstaaten zur Senkung des

Radonrisikos für die Bevölkerung und an Arbeitsplätzen verpflichtet. Die Richtlinie ist bis 2018 in nationales Recht umzusetzen. Wesentliche Änderungen werden in Österreich die Einführung eines Referenzwertes von 300 Bq/m^3 , die Verpflichtung zur Radonmessung an allen Arbeitsplätzen im Keller und im Erdgeschoß in Radonschutzgebieten (z.B. in Büros, Geschäften, Kindergärten und Schulen) sowie die Erarbeitung und Umsetzung eines nationalen Radonmaßnahmenplanes sein.⁴

RADONSICHERES BAUEN

In den Baugesetzgebungen der Bundesländer ist der Radonschutz bei Gebäuden enthalten. Basis ist die OIB-Richtlinie 3, die festlegt: „Aufenthaltsräume sind so auszuführen, dass keine die Gesundheit der Benutzer beeinträchtigende ionisierende Strahlung aus Baumaterialien und

Radonemission aus dem Untergrund auftritt.“⁵

RADONSCHUTZ BEI NEUBAUTEN

Bei der Planung und Ausführung von Neubauten ist ein ausreichender Radonschutz zu gewährleisten. Dabei kann auf die ÖNORM S 5280-2 Bezug genommen werden. Grundsätzlich gilt: Je dichter die Gebäudehülle gegen das Erdreich ausgeführt ist, desto geringer das Radonrisiko. Vorsorgemaßnahmen bei Neubauten sind wesentlich einfacher, effektiver und kostengünstiger als eine nachträgliche Radonsanierung. Sie sollten auch bei Um- und Zubauten schon in der Planung Berücksichtigung finden.⁶

RADONSCHUTZ BEI BESTEHENDEN GEBÄUDEN

Gewissheit über die Radonkonzentration in einem Gebäude gibt nur

³ Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit betreffend Strahlenschutz bei natürlichen terrestrischen Strahlenquellen (Natürliche Strahlenquellen-Verordnung – NatStrV) StF: BGBl. II Nr. 2/2008.

⁴ Richtlinie 2013/59/Euratom des Rates vom 5. Dezember 2013 zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom und 2003/122/Euratom.

⁵ Österreichisches Institut für Bautechnik, OIB-Richtlinie 3, OIB-330.3-009/15, Ausgabe März 2015, 6.

⁶ Österreichisches Normungsinstitut: Radon – Teil 2: Bautechnische Vorsorgemaßnahmen bei Gebäuden ÖNORM S 5280-2: 2017 10 15.



Abb. 2: Ein Passivsammler für Radon, wie er von der AGES zur Verfügung gestellt wird.

eine Messung. Dazu werden in den beiden meistgenutzten Räumen in einem Haushalt Radondetektoren (Abbildung 2) über einen längeren Zeitraum von 6 Monaten aufgestellt, und die Ergebnisse werden anschließend ausgewertet.

Bei erhöhten Radonkonzentrationen stehen erprobte Maßnahmen zur Sen-

kung des Radongehaltes im Gebäude zur Verfügung. Sie sind in der VORNORM ÖNORM S 5280-3 beschrieben und umfassen Maßnahmen zur Verringerung des Radoneintrittes aus dem Boden (Abdichten, Druckausgleich oder Druckumkehr innen/außen) sowie zur Verdünnung der Innenraumluft (kontrollierte Raumlüftung, Außenluftdurchlässe etc.).⁷

RADON AN ARBEITSPLÄTZEN

An bestimmten Arbeitsplätzen – z. B. in Wasserwerken, Radonkureinrichtungen, Schaubergwerken und -höhlen sowie Stollen – können sehr hohe Radonkonzentrationen auftreten. Die Ermittlung und Begrenzung der Radonexposition der Beschäftigten ist durch die „Natürliche Strahlungsquellen-Verordnung“ geregelt. Fällt ein Unternehmen in den Geltungsbereich der Verordnung, so ist eine Dosisüberwachungsstelle mit der Dosisabschätzung der Beschäftigten zu beauftragen, und je nach Ergebnis sind Maßnahmen zur Senkung der Dosis bzw. zur laufenden Überwa-

chung zu ergreifen. Wie oben schon erwähnt, wird künftig in Radonrisikogebieten eine Radonmessung an allen Arbeitsplätzen erforderlich sein.

BERATUNG, INFORMATION, FÖRDERUNGEN, AUS- UND FORTBILDUNG

Weitere Informationen können der Radon-Website des Bundes, www.radon.gv.at, entnommen werden.

Die Fachstelle für Radon betreibt zur Beratung und Information eine Radon-Infoline.

Radonmessungen werden zurzeit in Wohngebäuden kostenlos durch die Österreichische Fachstelle für Radon der AGES durchgeführt (Bestellformular unter www.ages.at/radonmessung).

Förderungen für Radonenschutzmaßnahmen gibt es in den Bundesländern Oberösterreich, Steiermark und Kärnten.

⁷ Österreichisches Normungsinstitut: Radon – Teil 3: Sanierungsmaßnahmen an Gebäuden ÖNORM S 5280-3: 2005 06 01.

ABSCHLUSS UND WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN

Innenraumlufthausqualität ist ein komplexes Thema, das eine sehr differenzierte und interdisziplinäre Herangehensweise erfordert. Dies sollte an einigen Beispielen anschaulich dargestellt werden. Die Interdisziplinarität führt auch zu unterschiedlichen Herangehensweisen an die Materie, was sich unter anderem auch in recht unterschiedlichen Stilen der einzelnen Textabschnitte manifestiert. Wir hoffen, dass dies als Bereicherung und nicht als Mangel des Buches empfunden wird.

Selbstverständlich konnte dieses Buch nur auf einige und – wie das Autorenteam hofft – wichtige Aspekte der Innenraumlufthaus eingehen. Es stellt aber sicher kein umfassendes und systematisches Kompendium aller möglichen Problemstoffe und -quellen dar. So wurden beispielsweise Dioxine, Biozide, Holz- und Flammenschutzmittel, Weichmacher oder auch Perfluorverbindungen nicht

ausführlich besprochen, sondern allenfalls nur am Rande erwähnt.

Gebäude-„Altlasten“, zu denen neben dem angesprochenen Asbest beispielsweise auch PCB und PAK zählen, wurden auch nicht in der gleichen Ausführlichkeit behandelt. Beide Stoffe spielen auch heute noch eine Rolle.

Grundsätzlich lassen sich ja viele Stoffe in der Innenraumlufthaus oder im Hausstaub messen bzw. nachweisen. In vielen Fällen gelingt aber keine eindeutige Zuordnung zu Quellen, und noch weniger kann ein Zusammenhang zu gesundheitlichen Beschwerden in diesem Niedrigkonzentrationsbereich hergestellt oder gar belegt werden.

Trotz allem ist die Innenraumlufthaus für jede Bürgerin und jeden Bürger ein wichtiges Thema, das unmittelbare vitale Interessen in den Bereichen der Gesundheit, des Wohlbefindens und der Leistungsfähigkeit

berührt. Mögen die in diesem Buch versammelten Texte Anregungen bieten, Interesse für eine weitere und ausführlichere Befassung mit den angesprochenen Problembereichen wecken und so über den engeren professionellen Rahmen hinaus wirken!

Sollte dieses Interesse geweckt worden sein, so bieten sich unter anderem folgende weiterführende Internet-Links an:

<http://www.bmnt.gv.at/umwelt/luft-laerm-verkehr/luft/innenraumlufthaus>

<https://www.bmnt.gv.at/umwelt/strahlen-atom/radon>

<http://www.raumlufthaus.org>

<http://www.komfortlufthaus.at>

<http://www.innenraumanalytik.at>

<http://www.bv-schimmel.at>

<http://www.radon.gv.at>

IMPRESSUM

Herausgeber:

Präsidium der Österreichische Akademie der Wissenschaften

Dr. Ignaz Seipel-Platz 2, 1010 Wien

www.oeaw.ac.at

Herausgeber des Bandes:

Hanns Moshhammer

Peter Tappler

ABBILDUNGEN / FOTOS

Cover: © IBO Innenraumanalytik OG

Neben Gerüchen werden bei Rauchwaren wie Räucherstäbchen auch viele andere Verbrennungsprodukte wie Feinstaub freigesetzt.

Fotos: S. 7, 15, 21, 25, 29, 39, 51, 55, 65, 71: privat; S. 45: Dujmic

Abbildungen: S. 8, 9, 17, 22, 23, 26, 27, 32, 33, 37, 41, 42, 46, 48, 52, 54, 56, 58, 62, 63, 66, 68, 72, 74:

© IBO Innenraumanalytik OG

sowie S. 16, 30: © Baumit Beteiligungen GmbH

Werden Personenbezeichnungen aus Gründen der besseren Lesbarkeit lediglich in der männlichen oder weiblichen Form verwendet, so schließt dies das jeweils andere Geschlecht mit ein.

REDAKTION

Ingrid Weichselbaum

Alle Rechte vorbehalten

Copyright © 2018

Die inhaltliche Verantwortung und das Copyright für die jeweiligen Beiträge liegen bei den einzelnen Autoren.



9 783700 183679 >
ISBN 978-3-7001-8367-9



WWW.OEAW.AC.AT