Prof. Dr. Klaus Sedlbauer
Fraunhofer-Institut für Bauphysik
Deutschland, Holzkirchen

Der Mensch in Räumen – Risiko oder Behaglichkeit?

Der Mensch in Räumen – Risiko oder Behaglichkeit?

Prof. Dr. Klaus Sedlbauer, Dr. Klaus Breuer, Andreas Kaufmann
Fraunhofer-Institut für Bauphysik

Einleitung

Die Menschen in Mitteleuropa verbringen fast 90 % ihrer Zeit in Innenräumen. Es ist verständlich, dass daraus Wünsche und Anforderungen an die Behaglichkeit und an die Gesundheitsverträglichkeit unserer Gebäude erwachsen. Hält sich ein Mensch in einem Raum auf, unterliegt er verschiedenen Einflüssen, die der Raum auf ihn ausübt. Im Gegenzug unterliegt aber auch der umgebende Raum Einflüssen, die der Nutzer durch sein Verhalten verursacht. Mensch und Raum stehen in enger Wechselwirkung zueinander. Das Dreieck „Anforderungen an Wohnräume“, „Verhalten der Bewohner“ und „Bauphysikalische, chemische, biologische Einflüsse“, das auf den Menschen in Räumen wirkt, sollte in möglichst ausgewogenem Verhältnis stehen (Bild 1). Ist das nicht der Fall, können aus dem bestehenden Behaglichkeitsanspruch Risikopotentiale erwachsen.

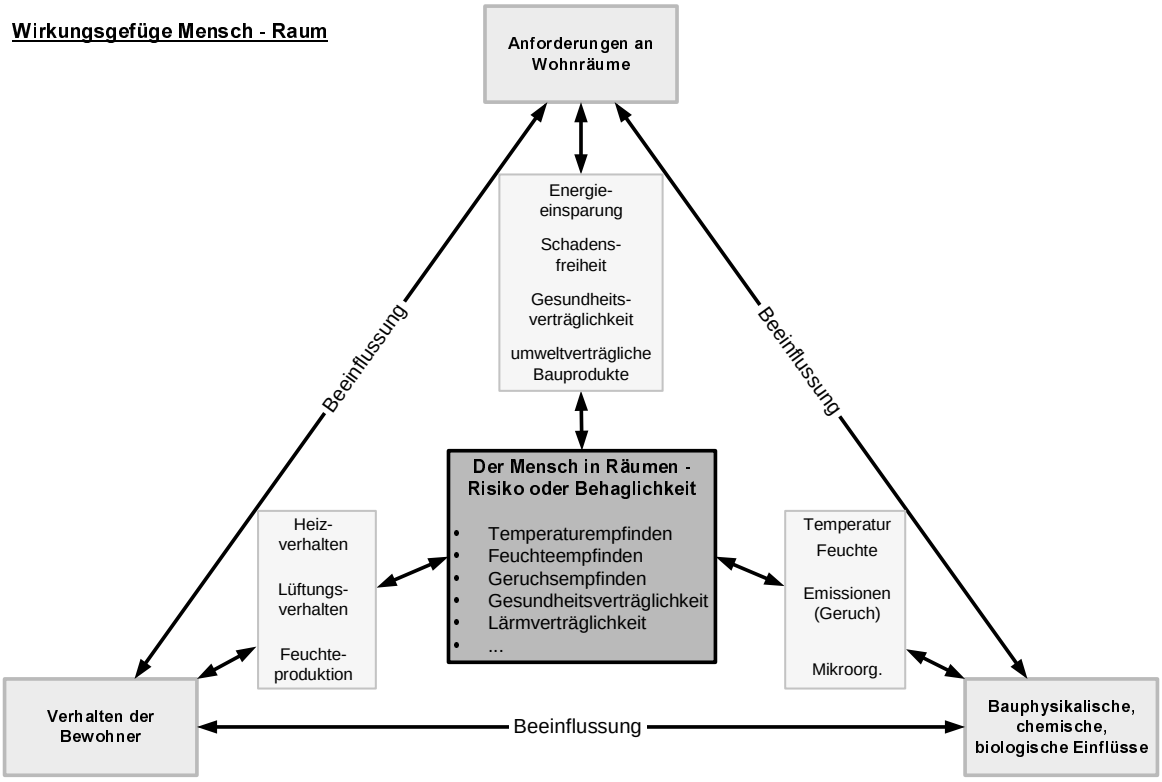


Bild 1 Dreieck der Einflüsse, die mit einem Menschen in Räumen wechselwirken.

Nachfolgend werden die einzelnen Einflüsse und Anforderungen, die mit dem „Menschen in Räumen“ wechselwirken, näher beschrieben. Auf diese Weise soll das sensible System „Mensch / Wohnraum“ erläutert und das Verständnis für die aus dem Behaglichkeitsanspruch entstehenden Probleme und Risiken erläutert und analysiert werden.

Anforderungen an Wohnräume

Energieeinsparung

Die wohl wichtigste Forderung, die an modernen Wohnraum gestellt wird, ist die der Energieeinsparung. Vorschriften zum Wärmeschutz haben zu besserer Dämmung und zu dichteren Fenstern und Türen geführt. Eine undefinierte und meist überhöhte Lüftung zum Feuchteaustrag, wie in früheren Zeiten, existiert nicht mehr. Nachfolgend sind die energetischen Anforderungen an Wohnräume kurz erläutert.

Bei der (Gebäude-Energie-) Bilanzierung betrachtet man seit Einführung der Energieeinsparverordnung (EnEV, vgl. Bild 2) im Jahr 2002, gegenüber der zuvor gültigen Wärmeschutzverordnung 95, nun auch die Verluste des Heizungssystems, den Trinkwasserbedarf und die Verluste des Warmwasserbereitungssystems sowie die Hilfsenergien, die für den Anlagebetrieb erforderlich sind. Der Primärenergieträger – z.B. Strom oder fossile Energie - wird mit Hilfe sogenannter Primärenergiefaktoren differenziert berücksichtigt. Klassische Brennstoffe werden mit einem Faktor um den Wert 1 belegt, natürlich erneuerbare Brennstoffe mit dem Faktor 0, und Strom wird derzeit aus ökologischen Gründen mit dem Faktor 3 belegt, was vor allem politisch begründet ist. Es zeigt sich in diesem Zusammenhang über die letzten 20 Jahre ganz allgemein ein deutlicher Trend zur Verringerung des Energieverbrauchs (vgl. Bild 3).

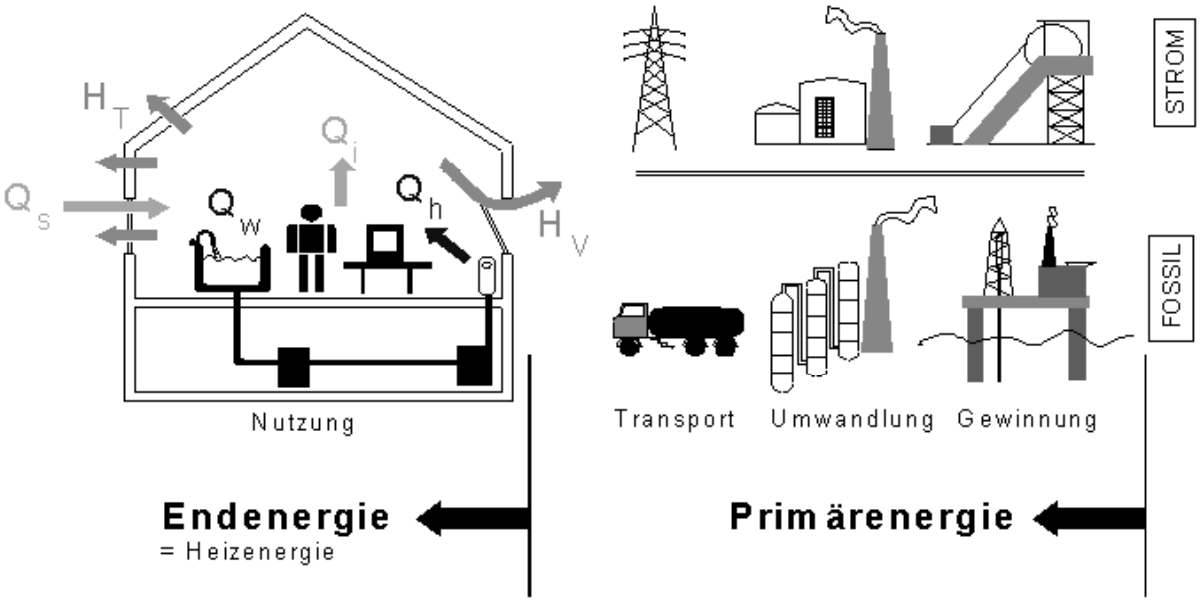


Bild 2 Energie-Bilanzierung nach Energieeinsparverordnung.

Definiert man einen Altbau als Gebäude, das mehr als 150 - 200 kWh/(m^2 a) Netto-Heizenergie verbraucht, so ergibt sich in Deutschland zahlenmäßig ein Altbau-Anteil von rund 95 %. Das bedeutet, dass die „Heizenergieschleudern“ nicht die Neubauten sind, die aufgrund der EnEV ohnehin energetisch hochwertiger gebaut werden, sondern die Altbauten. Der Schwerpunkt im Sinne der Energieeinsparung sollte deshalb auf die Sanierung der im Altbaubereich vorhandenen 38 Mio. Gebäude bzw. Wohnungen gelegt werden.

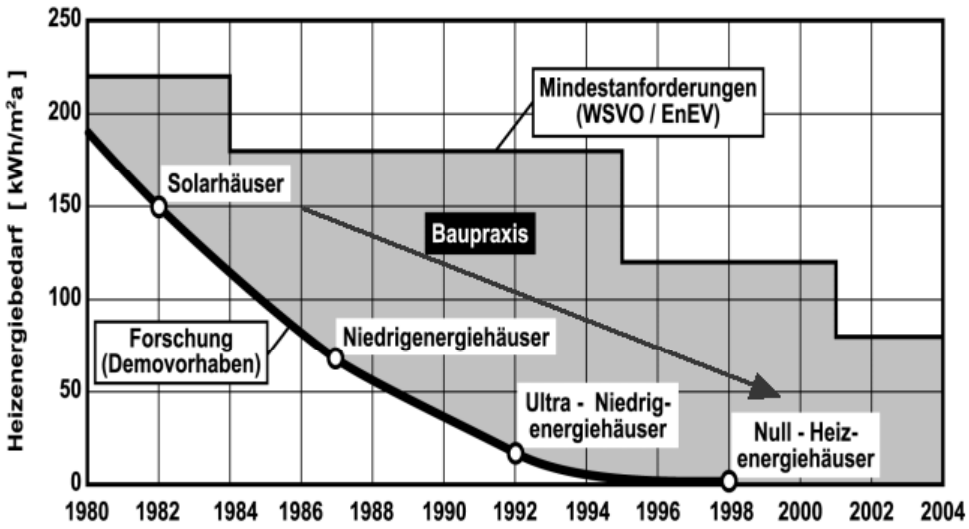


Bild 3 Darstellung des Heizenergiebedarfs von Gebäuden. Untere Kurve: Niedrigster Heizenergiebedarf, der durch Messungen an Demovorhaben ermittelt wurde. Obere Kurve: Höchster erlaubter Heizenergiebedarf, der durch die drei Wärmeschutzverordnungen und die Energieeinsparverordnung begrenzt wird. Grauhinterlegter Bereich: Baupraxis.

Dämmung

Bei Altbau-Sanierungen und Neubauten geht es nicht darum, möglichst viel Solarenergie zu nutzen, sondern möglichst wenig Energie zu verbrauchen. Das bedeutet zunächst einmal, die Wärmedämmung auszuschöpfen, d.h. das Niveau an Verlusten zu reduzieren, um dann den Restbedarf möglichst „ökologisch“ zu decken. Die Wärmedämmung eines Bauteils wird meist durch den sog. U-Wert ausgedrückt; d.h. je geringer der U-Wert eines Bauteils ist, umso höher ist dessen Wärmedämmung. Betrachtet man die Außenwand eines Gebäudes (siehe Tabelle 1), liegt nach Energieeinsparverordnung die Anforderung bei 0,45 W/(m^{2}K), der Altbau hat im Mittel 1,4 W/(m^{2}K), technisch wäre ein Wert von 0,1 W/(m^{2}K) erreichbar. Aus dieser Abschätzung ergibt sich vor allem für Altbauten ein großes Energieeinsparpotenzial, woraus dringender allgemeiner Handlungsbedarf bei schlecht gedämmten Gebäuden abgeleitet werden kann.

Nach deutschem Anforderungsniveau sind unkontrollierte Lüftungswärmeverluste ebenfalls zu reduzieren. Denn die so entstehenden undefinierten Wärmeverluste müssen über die Heizung wieder zugeführt werden.

Tabelle 1 Verschärfung der energetischen Anforderungen an die Wärmedämmung (U-Wert) in [W/(m^{2}K)] für einzelne Bauteile.

Bauteil	Altbau	WSchV 84	WSchV 95	EnEV	NEH	Potenzial
Außenwand	1,4	0,6	0,5	0,45	0,18	0,1
Fenster	5,2	2,6	1,8	1,7	0,95	0,65
Verglasung	5,7	3,1	2,0	1,5	0,7	0,4
Dach	1,0	0,3	0,3	0,3	0,185	0,1
Kellerdecke	0,8	0,55	0,5	0,5	0,2	0,2

Luftdichtheit

Für „moderne“ Gebäude werden daher Drucktests mit so genannten Blowerdoor-Einrichtungen (siehe Bild 4) durchgeführt, um die Dichtheit der Gebäudehülle zu überprüfen. Dabei wird Überdruck an ein Gebäude angelegt und der Volumenstrom gemessen, der durch die Gebäudehülle entweicht.

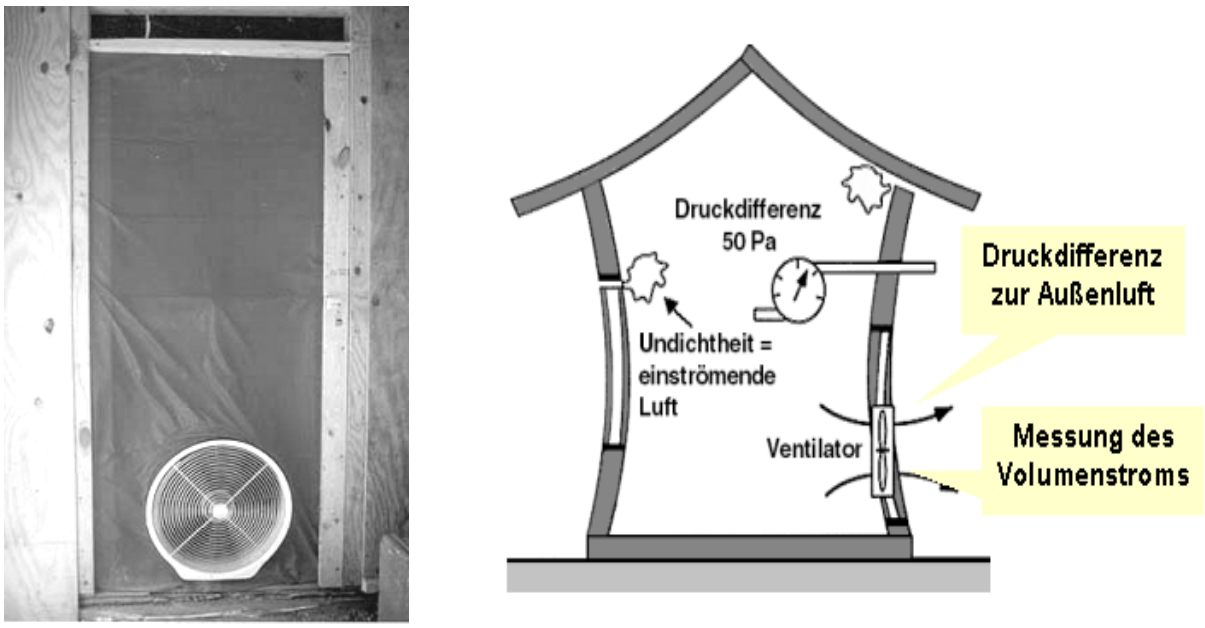


Bild 4 Blower-Door-Messung;
links: fotografische Aufnahme einer Blower-Door-Messeinrichtung an einer Tür.
rechts: Schematische Darstellung des Messprinzips.

Feuchtehaushalt von Räumen / Einfluss der Bewohner

Zur Bewertung der Humanbehaglichkeit in Räumen ist es erforderlich, die Temperatur- und Feuchteverhältnisse in der Luft sowie an den Innenoberflächen der Außenwände zu betrachten. Dadurch lässt sich auch die Gefahr einer Schimmelpilzbildung beurteilen.

Jahresverläufe der Temperatur und Feuchte in Räumen

Trotz der zahlreichen Einflüsse, die das Raumklima beeinflussen (vgl. hierzu Bild 9), lässt sich im jahreszeitlichen Verlauf von relativer Feuchte und Temperatur in Innenräumen ein periodischer Zusammenhang erkennen. Das langfristige Verhalten von Raumlufttemperatur und -feuchte wurde, da bisher keine Daten zur Verfügung standen, vom IBP gemessen und statistisch für den Zeitraum von einem Jahr ausgewertet. Es zeigt sich ein periodischer Verlauf, wobei die Zeitpunkte von Temperatur- und Feuchtemaximum sich nicht decken. Die höchsten Raumlufttemperaturen werden im Juni erreicht, während die Raumluftfeuchte im August am höchsten ist (Bild 5).

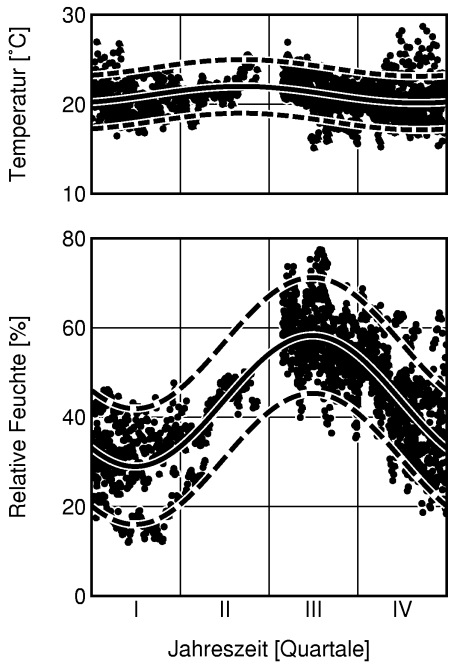
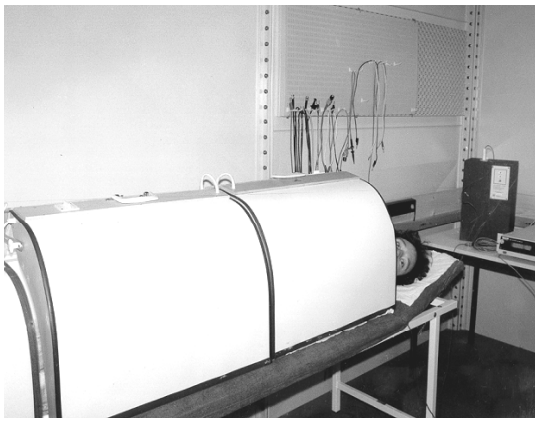


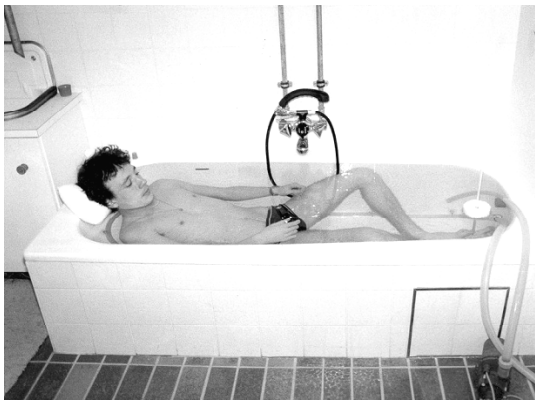
Bild 5 In zehn verschiedenen Wohnräumen gemessene Tagesmittelwerte von Tempratur und relativer Luftfeuchte mit Angabe der sinusförmigen Regressionskurve (durchgezogene Linien) und der 90 %-Grenzen (gestrichelte Linien).

Behaglichkeitsanforderungen

Raumklimatische Untersuchungen (Bild 6) haben ergeben, dass die Anzahl der mit den Temperatur- und Feuchteverhältnissen in einem Raum Unzufriedenen mindestens 5 - 15 % beträgt, was bedeutet, dass es auf Grund interindividueller Unterschiede kein optimales Klima für alle in einem Raum befindlichen Personen geben kann. Darüber hinaus lassen geringfügige Änderungen der Temperatur die Anzahl der Unzufriedenen deutlich ansteigen. Menschen verfügen nicht über einen speziellen Sinn, um Feuchtegehalte zu spüren. Vielmehr wird die vorliegende relative Feuchte indirekt wahrgenommen. Bei hohen Feuchtegehalten und gleichzeitig hohen Temperaturen wird die Luft als schwül empfunden, während extrem trockene Luft meist ein unangenehmes Austrocknen von Nasen- und Mundschleimhäuten zur Folge hat. Behaglich empfundene Luftfeuchten liegen, vorausgesetzt die Temperatur liegt ebenfalls in einem angenehmen Bereich, zwischen 35 % und 75 % (Bild 7).

Ein weiterer ganz wesentlicher Faktor für das Behaglichkeitsempfinden ist die Temperatur der Umschließungsflächen (Bild 8). Bild 8 rechts zeigt schematisch den Unterschied von empfundener Temperatur zu tatsächlicher Temperatur je nachdem, ob die umschließende Wandfläche kalt oder warm ist. Schwerpunkt derzeitiger Forschung im Bereich Raumklima ist es daher, ein individuelles Klima für jede einzelne Person in einem Raum zu schaffen. Am IBP Holzkirchen kann mittlerweile mit einem sog. DRESSMAN (Bild 6 rechts), an dem Messfühler befestigt sind, die Wärmebilanz der Haut messtechnisch nachvollzogen werden. Dabei können Empfindungen an einzelnen Körperpartien (z.B. kalte Füße, heißer Kopf, Zugerscheinungen am Rücken, etc.) visualisiert werden. Erkenntnisse können aus laufenden Forschungsarbeiten in Hinblick auf ein individuelles Klima in Wohngebäuden, öffentlichen Einrichtungen, aber auch in Flugzeugen und Kraftfahrzeugen genutzt werden.





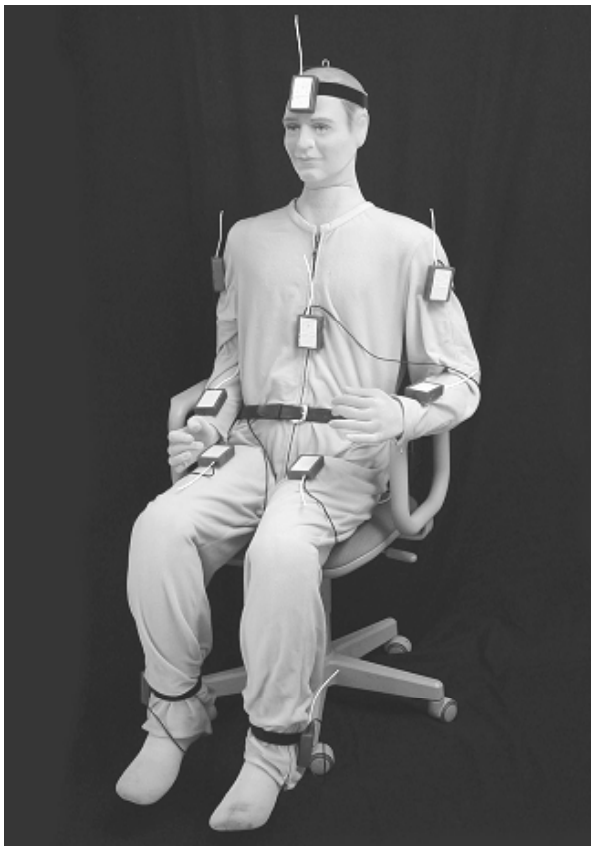


Bild 6 Bilder links, oben und unten: Fotografische Aufnahmen von Probanden während der thermischen Behaglichkeitsuntersuchungen, die am IBP durchgeführt wurden. Bild rechts: DRESSMAN (Dummy Representing Suit for Simulation of Human Heatloss).

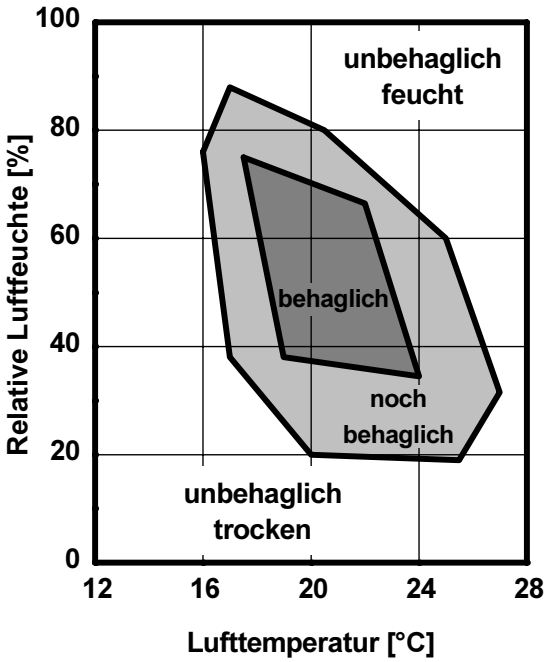


Bild 7 Behaglichkeitsdiagramm zur Bewertung der in einem Raum herrschenden Luftfeuchte bei bestimmten Temperaturen.

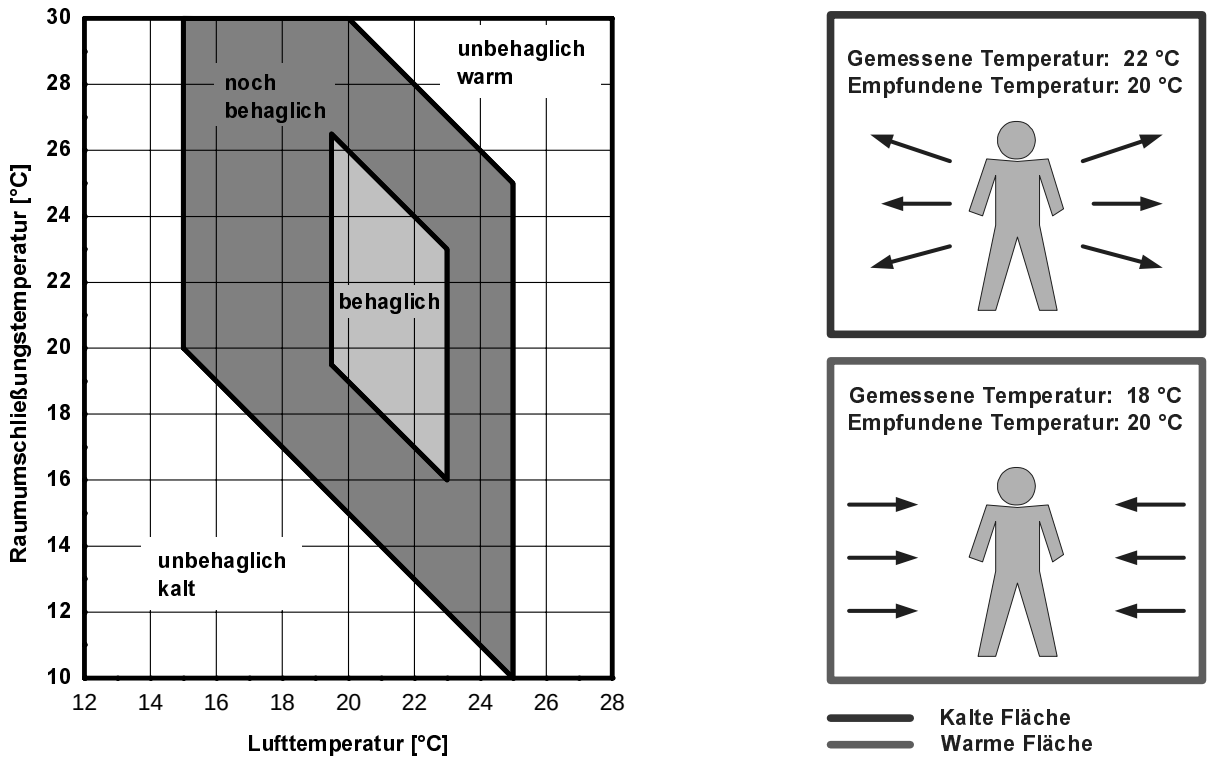


Bild 8 links: Behaglichkeit in Abhängigkeit von der Umschließungstemperatur.
rechts: Unterschied von empfundener zu tatsächlicher Temperatur bei kalter und warmer Umschließungsfläche.

Raummodell

Am IBP werden hygrothermische Raummodelle für gekoppelte hygrische und thermische Gebäudeberechnungen herangezogen. Zugrunde liegt diesem Schwerpunkt internationaler Forschung die Notwendigkeit, hygrothermische Bauteilberechnungen mit Berechnungen des energetischen Gebäudeverhaltens zu verknüpfen. In Bild 9 ist die bauphysikalische Kopplung von Raum und Gebäudehülle schematisch dargestellt. Dieses Modell, das in der sog. hygrothermischen Gebäudeberechnung Anwendung findet, ermöglicht eine Analyse der Wärme- und Feuchte-Wechselwirkungen zwischen dem Gesamtgebäude und seinen Bauteilen, wie beispielsweise die Feuchtepufferwirkung der Umschließungsflächen bei Änderungen der Feuchtelast im Raum oder die Feuchtesorption bzw. -desorption bei Temperaturänderungen an den Bauteiloberflächen (z.B. durch Bauteiltemperierung oder Nachtabsenkung). Ein wesentlicher Zweck dieser Entwicklung ist die Schaffung von Planungswerkzeugen zur rechnerischen Ermittlung der potentiellen Reduzierung des Energieaufwandes in Gebäuden. Durch gezielte Nutzung des Wärme- und Feuchtespeichervermögens der Gebäudemasse oder spezieller Einbauten sollen Raumklimaschwankungen soweit wie möglich begrenzt werden. Ähnliches gilt für die Temperierung temporär genutzter Gebäude. Bei richtiger Auslegung und Steuerung kann dort der Energieeinsatz auf das zum Erhalt der Bausubstanz notwendige Minimum beschränkt werden.

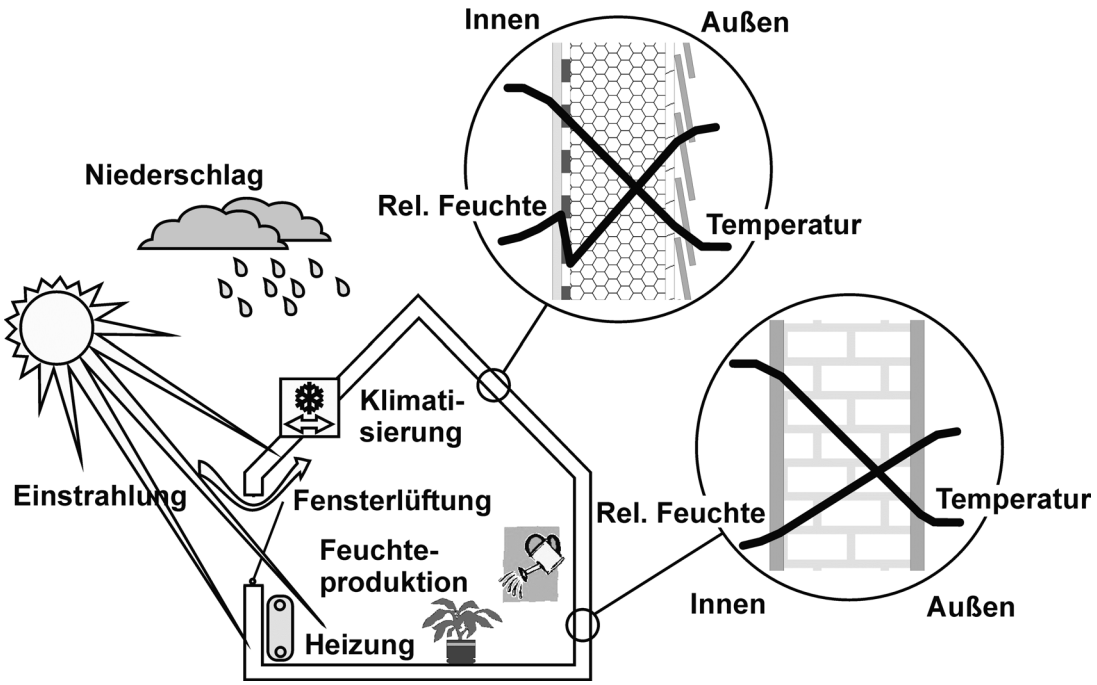


Bild 9 Schematische Darstellung zur hygrothermischen Gebäudeberechnung unter Berücksichtigung der hygrothermischen Wechselwirkung zwischen Raumluft und Gebäudehülle.

Folgerungen aus Raummodell und Behaglichkeitsanforderungen

Einen erheblichen Einfluss auf die Behaglichkeit, wie auch auf das in Innenräumen vorhandene Risikopotential, z.B. in Form von Feuchteschäden oder Schimmelpilzbildung, haben Verhalten und Lebensgewohnheiten der Bewohner. Abhängig von der jeweils vorliegenden Wohnsituation ergeben sich ganz spezifische Einflüsse auf das Raumklima. Heiz- und Lüftungsverhalten spielen dabei, neben der Feuchteproduktion, die wesentliche Rolle.

Die Wirksamkeit der Lüftung kann mit Hilfe der Luftwechselzahl beschrieben werden, wobei eine Luftwechselzahl 1 bedeutet, dass ein mal pro Stunde das gesamte Raumvolumen durch Frischluft ausgetauscht wird. Bei einer Luftwechselzahl von n = 0,5 wird die Hälfte erneuert, bei 0,2 sind es 20 %.

Nimmt man eine mittlere Feuchteproduktion in einem Gebäude von 3 g/(h m³) an, die sich nicht nur aus den Tätigkeiten der Bewohner ergibt, sondern auch durch Feuchteabgabe der Zimmerpflanzen (siehe Tabelle 2), so zeigt sich, dass, bei einem nach Norm DIN 4108 vorgeschriebenen hygienisch bedingten Luftwechsel von 0,5, die relative Feuchte im Raum meist unter 40 % liegt (siehe Bild 10 links). Ein verringerter Luftwechsel von 0,2 ist auch noch unkritisch, da die relative Feuchte im Raum meist unter 50 % liegen wird.

Ein weiterer Aspekt kommt hinzu, wenn Baufeuchte durch ein schnelleres Bauen und einen früheren Einzug in Neubauten verstärkt vorhanden ist. Bei einem geringen Luftwechsel von 0,2 übersteigt dann die relative Feuchte zeitweise, bei n = 0,1 lange anhaltend kritische Werte von 60 % bzw. 70 % relativer Feuchte im Raum (Bild 10 rechts). Dieser einfache Vergleich belegt, dass verminderte Lüftung bei vorhandener Baufeuchte kritisch sein kann. Insgesamt ist davon auszugehen, dass vielfach mangelnde Kenntnis über richtiges Verhalten in Wohnungen (Lüftung, Feuchteeintrag durch Pflanzen und häusliche Aktivitäten) zu mikrobiellem Befall führen kann.

Tabelle 2 Zusammenstellung der Feuchteabgabe in Räumen bei einer Zimmertemperatur von 20 °C.

Emittent	Art	Emission in g/h
Mensch	leichte Aktivität	**30 - 60**
	mittelschwere Arbeit	120 - 200
	schwere Arbeit	200 - 300
Bad	Wannenbad	ca. 700
	Duschen	ca. 2600
Küche	Koch- und Arbeitsvorgänge	600 - 1200
Pflanzen	Zimmerblumen	5 - 10
	Topfpflanzen	7 - 15
	mittelgroßer Gummibaum	10 - 20
	Wasserpflanzen	6 - 8
Wäsche	4,5 kg geschleudert	50 - 200
	4,5 kg tropfnass	100 - 500
freie Wasseroberfläche	pro m²	ca. 40

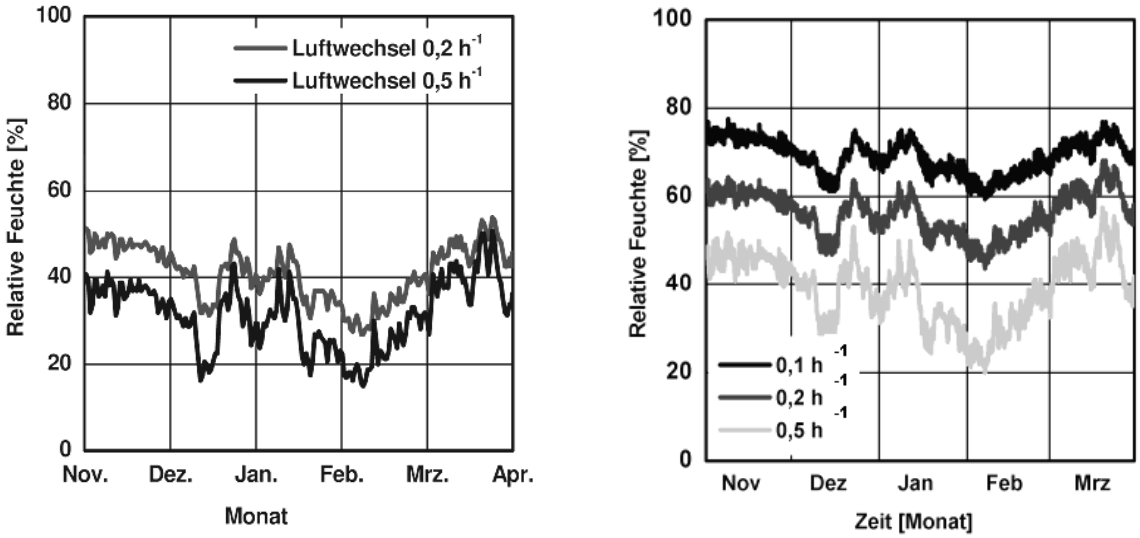


Bild 10 Zeitlicher Verlauf der mit einem hygrothermischen Raummodell errechneten relativen Feuchte in einem Raum bei Annahme einer mittleren Feuchteproduktion von 3 g/(h m^3) für verschiedene Luftwechselzahlen (Bild links) sowie, bei Annahme derselben mittleren Feuchteproduktion und vorhandener Baufeuchte für verschiedene Luftwechselzahlen (Bild rechts).

Mikroorganismen: Schimmelpilze in Räumen

Die energetisch sinnvolle Reduzierung von Lüftungsverlusten steht in engem Zusammenhang mit der Schimmelpilzproblematik in Innenräumen. So treten beispielsweise relativ häufig Schimmelpilze in Raumecken in Erscheinung (Bild 11 links). Bild 11 rechts zeigt mikroskopische Vergrößerungen von häufig auftretenden Schimmelpilzen.

Der Anstieg der Zahl wissenschaftlicher Publikationen zum Thema Schimmelpilze in den letzten 20 Jahren zeigt, dass die Problematik deutlich häufiger aufgegriffen wird. Es ist allerdings nicht bekannt, ob Schimmelpilzfälle tatsächlich häufiger auftreten. Nach Aussagen von Medizinern nimmt möglicherweise „nur“ die Sensibilisierung bzw. Allergisierung zu.

Bild 11 Fotografische Aufnahmen von Schimmelpilzen.
links: Schimmelpilze als grauer Belag in einer Raumecke.
rechts: Mikroskopische Aufnahmen von Schimmelpilzen.

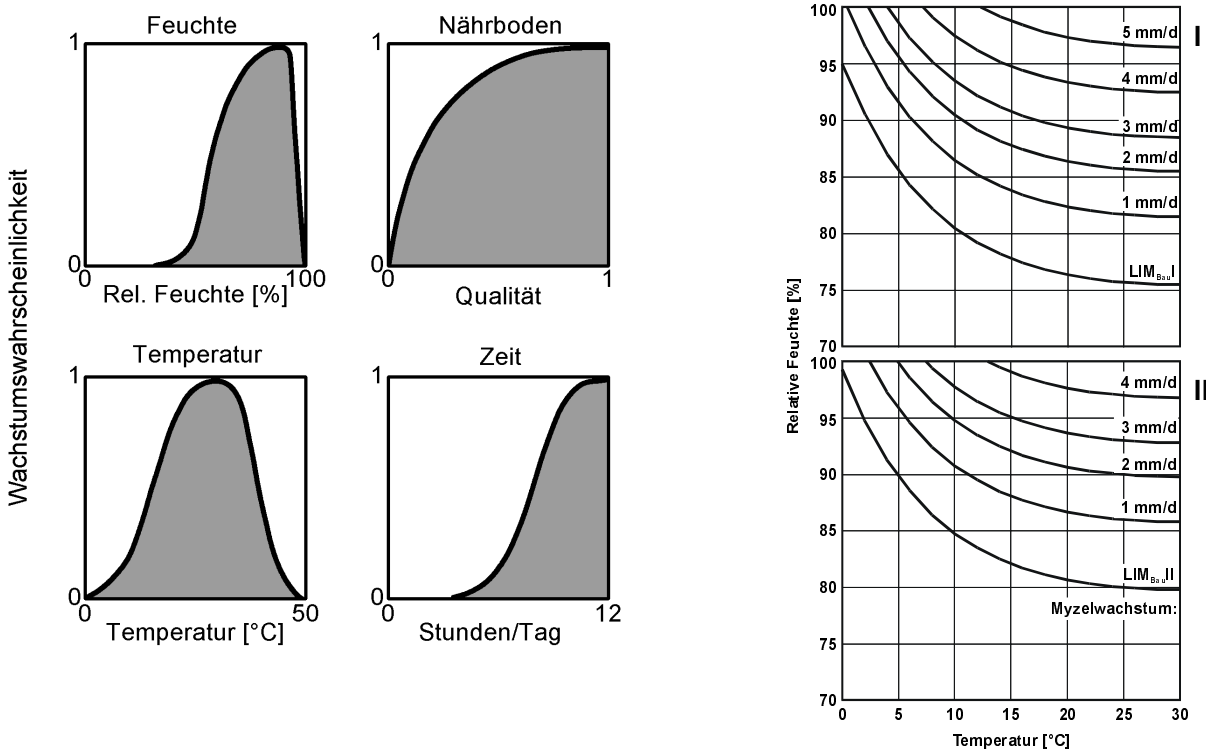


Bild 12 Wachstumsvoraussetzungen für Schimmelpilze (links) und das daraus abgeleitete Isoplethenmodell (rechts).

Zu den Wachstumsvoraussetzungen von Schimmelpilzen gehören unter anderem Feuchte und Temperatur. Darüber hinaus benötigen sie bestimmte Nahrungsquellen (Bild 12). Um erläutern zu können, bei welchen Randbedingungen Schimmelpilze in Räumen auftreten, hilft die eingehendere Betrachtung der Temperatur- und Feuchteverhältnisse in Wohnräumen. Die Zusammenhänge im Einzelnen erläutert für eine Außenwand Bild 13 links. Die Wärmeleitung durch das Mauerwerk nach außen bedingt eine Absenkung der Oberflächentemperatur im Inneren. Ein vor der Wand stehender Schrank schirmt Strahlung und Konvektion ab. Man hat also bei ruhender Luftschicht eine verringerte Temperatur an der Oberfläche der Außenbauteile. Je niedriger die Temperatur, desto höher wird die relative Luftfeuchte, da kältere Luft weniger Feuchte aufnehmen kann. Dies führt bei einem schlecht gedämmten Altbau (Bild 13 rechts) unter Normbedingungen (20 °C Raumtemperatur, 50 % relative Feuchte) in der freien Raumecke zu 12 °C und 81 % r.F. und hinter dem Schrank zu 11 °C und 89 % r.F. In der durch den Schrank verdeckten Raumecke wird der Taupunkt unterschritten und Tauwasser entsteht auf der inneren Wandoberfläche.

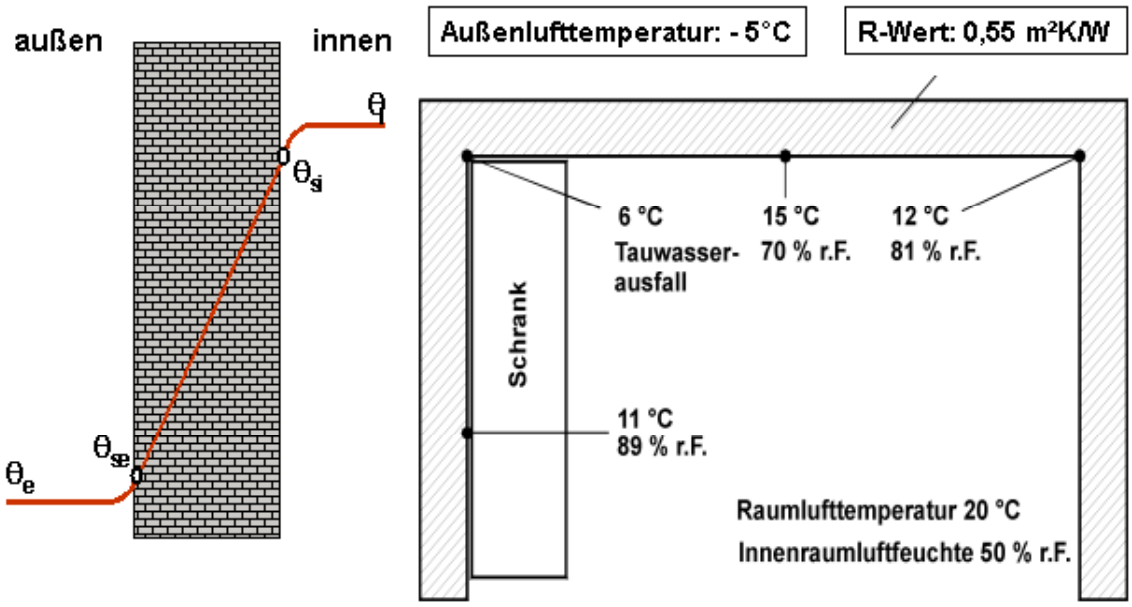


Bild 13 Temperaturprofil durch eine Außenwand (Bild links) sowie Temperatur- und Feuchteverhältnisse in einem schlecht gedämmten Raum mit einem R-Wert von 0,55 m²K/W, was einem U-Wert von 1,8 W/m²K entspricht (Bild rechts).

Geht man davon aus, dass temperaturabhängig ab etwa 80 % relativer Feuchte Schimmelpilzbildung möglich ist (Bild 12 links), passiert bei einem gut gedämmten Gebäude, wie in Bild 14 links (in grüner Schrift) dargestellt, bei 20 °C und 50 % relative Feuchte hinter dem Schrank nichts. Das heißt: Besser Dämmen schützt vor Schimmelpilzbildung! Da allerdings heutzutage weniger gelüftet wird, kann quasi als kritische Randbedingung die relative Feuchte im Raum mit 60 % angenommen werden (siehe Bild 14 links, rote Schrift). Unter dieser Randbedingung wird hinter dem Schrank gerade der Zustand erreicht, ab dem Schimmelpilzwachstum einsetzen kann. Somit ergibt sich die Fragestellung, mit welcher Wahrscheinlichkeit, gerade bei gut abgedichteten Fenstern, die relative Feuchte in gut gedämmten Gebäuden auf 60 % steigen kann.

Nach der Auftrittshäufigkeit von Schimmelpilzschäden (Tabelle 3) ist festzustellen, dass in Schlafzimmern der höchste Anteil an Schimmelpilzschäden gefunden wurde. Auch dies deutet auf fehlerhaftes Nutzungsverhalten hin, wie Bild 14 rechts zeigt. Durch geöffnete Türen zwischen einem warmen Wohnraum und einem kalten Schlafzimmer erfolgt ein Befeuchten des kühlen Raumes, ohne eine Erwärmung desselben. Schimmelpilze sind die Folge.

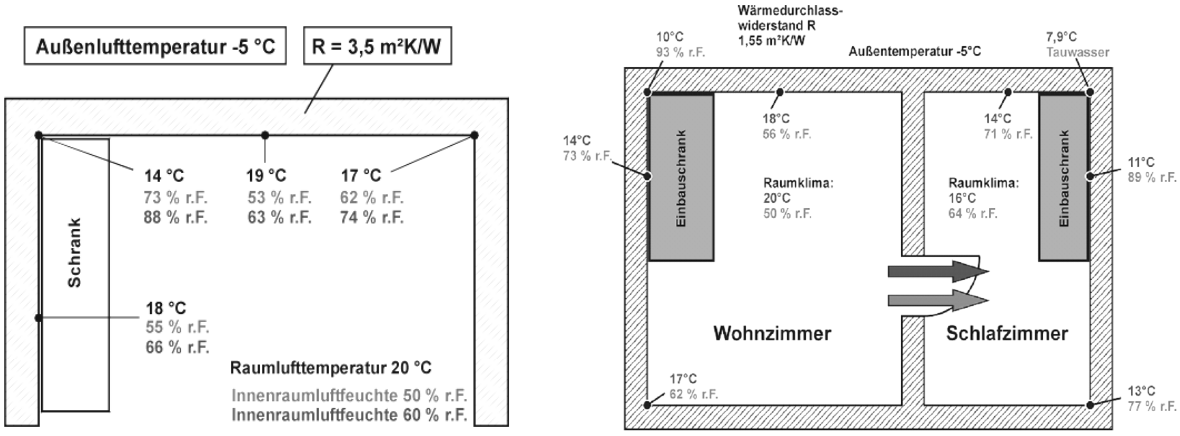


Bild 14 Temperatur- und Feuchteverhältnisse in einem gut gedämmten Raum, mit einem R-Wert von 3,5 m²K/W, was einem U-Wert von 0,29 W/m²K entspricht (Bild links). Schematische Darstellung der sich in einem Wohn- und Schlafraum einstellenden Temperatur- und Feuchtebedingungen, wenn zwischen beiden Zimmern ein Luftaustausch besteht (Bild rechts).

Tabelle 3 Häufigkeit von Schimmelpilzschäden in Wohnungen.

Raum	Mittelwert
Schlafzimmer	41
Kinderzimmer	26
Wohnzimmer	16
Bad	8
Küche	8
sonstige (z.B. Flur)	2

Luftqualität und Gerüche

Die Sensibilität der Öffentlichkeit gegenüber möglichen Beeinträchtigungen der Wohnumwelt durch luftverunreinigende Stoffe jeglicher Art ist groß. Verstärkend wirkt eine Vielzahl von Berichten, welche gesundheitliche Probleme und Befindlichkeitsstörungen mit dem häuslichen Umfeld oder mit einzelnen Gebäuden in Verbindung bringen. Problemfälle solcher Art werden mit Begriffen wie Sick-Building-Syndrome (SBS) oder Building-Related-Illness (BRI) umschrieben.

Neben den Lebens- und Konsumgewohnheiten (Lüftungsverhalten, Einsatz von Haushaltschemikalien, Hygieneartikeln etc.) haben auch Baustoffe und Ausstattungsmaterialien einen Einfluss auf die Qualität der Innenraumluft. Untersuchungen haben gezeigt, dass zwischen dem Einsatz von Baumaterialien und dem Auftreten gesundheitlicher Probleme ein signifikanter Zusammenhang bestehen kann. Bei BRI scheint es z.B. in Einzelfällen möglich, Ursachen direkt in einem verbauten Material zu finden. Deshalb nimmt seit Jahren bei Herstellern und Verwendern von Bauprodukten die Unsicherheit darüber zu, ob diese gesundheitlich unbedenklich sind; z.Zt. besteht selbst traditionellen bewährten Baustoffen gegenüber eine gewisse Skepsis.

Die Verbesserung der Luftqualität, auch die der Innenraumluft, gehört zu den wesentlichen Aufgaben der Umweltgütesicherung. Anforderungen an Bauprodukte hierzu leiten sich u.a. aus der EG-Bauproduktenrichtlinie und den damit in Verbindung stehenden Dokumenten ab. Forderungen zu "Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz" sehen zum Thema Luftqualität in Innenräumen vor, dass die Produktkontrolle hinsichtlich der Abgabe von "Schadstoffen" in die Luft einen Weg darstellt, Schadstoffabgaben künftig zu beseitigen, zu begrenzen oder zu minimieren.

Eine Voraussetzung für die Durchführung von Produktkontrollen ist die Entwicklung von standardisierten Mess- und Bewertungsverfahren. Im Rahmen der Entwicklung solcher Verfahren muss geklärt werden, welche Messgrößen (Stoffe) unter welchen experimentellen Randbedingungen mit welchen experimentellen Verfahren (Methoden) erfasst werden sollen, um eine Datengrundlage für die Bewertung eines Produktes zu erhalten. Im Auftrag der EG-Kommission arbeitet das Europäische Normungsgremium CEN an Normen zu Untersuchungsverfahren an Bauprodukten. So ist eine Arbeitsgruppe des technischen Komitees TC 264 (Air Pollution Control) damit befasst, ein Prüfkammerverfahren zur Bestimmung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC - Volatile Organic Compounds) aus Bauprodukten zu standardisieren. VOCs, z.B. Lösemittel, Restmonomere, aber auch Verarbeitungshilfsmittel oder andere Additive gehören zu den Hauptemissionen aus Bauprodukten und können zu messbaren oder geruchlich wahrnehmbaren Raumluftkonzentrationen führen. Eine Messeinrichtung für derartige Fragestellungen ist in Bild 15 links dargestellt.

Bild 15 Fotografische Aufnahme einer Prüfkammer zur Emissionsbestimmung bei Bauprodukten (Bild links) und human-olfaktometrische Charakterisierung von Produkten im Prüfkammerversuch (Bild rechts).

Neben der chemischen Analyse von emittierten Stoffen ist es möglich, auch die von Produkten ausgasende Geruchsstoffmenge durch spezielle Verfahren der Humanolfaktometrie zu erfassen (Bild 15 rechts). Die Beurteilung der Luftqualität aufgrund von Geruchssinnesreizen und -empfindungen gewinnt zunehmend an Bedeutung, da ein direkter Zusammenhang zwischen dem Prozentsatz unzufriedener Personen und der geruchlich empfundenen Luftqualität besteht.

Beispiele für Emissionsmesswerte von verschiedenen Holzprodukten für den sog. TVOC-Summenwert (Total Volatile Organic Compounds) sowie einzelstoffliche Werte im Vergleich von Schnitthölzern und Holzwerkstoffplatten geben Tabelle 4 und Bild 16 wieder. Allein der Nachweis einer Substanz ist aber noch kein Beleg für ihre „Schädlichkeit“ oder ein Materialdefizit. Derartige Messwerte bilden in der Regel erst die Grundlage für eine Beurteilung von Materialien im Hinblick auf die Luftqualität in Innenräumen.

Tabelle 4 Zusammenstellung einzelner VOC- (Volatile Organic Compounds), Aldehyd- und Geruchsemissionen von unterschiedlich alten, unbehandelten Hölzern und einem Holzprodukt, nach [1], sowie nach eigenen Untersuchungen.

VOC- und Aldehydemissionen von unbehandelten Hölzern und Holzprodukten [µg/m²/h] sowie flächenbezogene Verunreinigungslast an Geruchsstoffen [olf/m²]						
chemische Verbindung	Kiefernholz	Fichten-holz	Birkenholz	Holzfaser-Dämmplatte		
	30 d	30 d	30 d	3 d	10 d	30 d
1-Pentanol			6			
2-Ethyl-hexylacetat				13		
2-Ethyl-hexylpropionat				8		
α-Pinen	17	15				
β-Pinen	7	5				
Δ^3-Caren	6	3				
Acetaldehyd				49	10	1
Acrolein				2	1	
Benzaldehyd				1	1	
Butanon				1		
Crotonaldehyd				3	3	
Dodecan				1		
Essigsäure				102		
Essigsäure-methylester				16		
Ethylacetat				6		
Hexanal	6	8	20	10	5	
Hexan	2	1	1			
Limonen	10	5				
Nonanal				1	1	
Pentanal	2	3	6			
Propionaldehyd				2	1	
Styrol		4	2			
Tetradecan				1		
Toluol			3			
Tridecan						
Valeraldehyd				2		
Vinylacetat				231	2	1
TVOC (Hexan/Hexadecan)	69	72	50	152	3	<1
Formaldehyd	3	4	3	47	33	0,5
Geruchsstoffe				0,3	0,3	0,2

Eine stoffliche Sonderstellung im Hinblick auf Luftqualität und Behaglichkeit nehmen Gerüche ein. Gerüche und geruchsaktive Substanzen sind in der Innenraumluft allgegenwärtig. Sofern bestimmte Geruchswahrnehmungen nicht dem üblichen Nutzungsverhalten von (Wohn-) Räumen, wie z.B. Reinigungsmaßnahmen oder der Nahrungszubereitung, zugeordnet werden können, sondern von einzelnen Materialien wie Bauprodukten, Innenausstattungsmaterialien oder Haushaltsgeräten emittiert werden, bilden Gerüche vielfach den Auslöser von

Ängsten über gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Materialausgasungen oder den „angeblichen“ Grund für Befindlichkeitsstörungen. Ein Zusammenhang zwischen geruchlichen Empfindungen, Missempfindungen, subjektiven Assoziationen und Phänomenen (wie z.B. dem Sick Building Syndrom) wird bereits diskutiert.

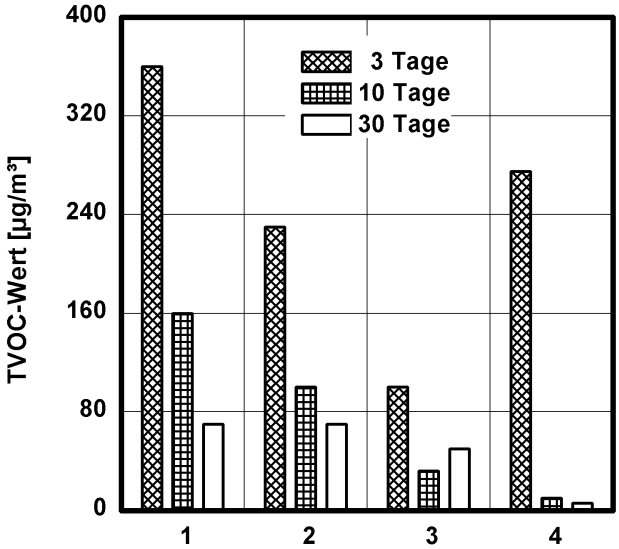


Bild 16 TVOC (Total Volatile Organic Compounds) – Emissionswerte von Holzprodukten unterschiedlichen Alters.

Ein direkter Zusammenhang zwischen dem Emissionsverhalten von geruchsaktiven Substanzen und der Gesamtemission an volatilen Verbindungen (TVOC-Wert = **T**otal **V**olatile **O**rganic **C**ompounds) besteht, wie Bild 17 zeigt, jedoch vielfach nicht. Somit ist eine Verringerung der Gesamtemission von Materialien nicht unbedingt mit einer Verbesserung der Materialqualität „Geruch“ verbunden. Bislang kann davon ausgegangen werden, dass Materialgerüche noch weitgehend ein Zufallsprodukt der industriellen Fertigung von Bauprodukten, Innenausstattungsmaterialien oder Haushaltsgeräten darstellen und ihre Ursachen in Rezepturbestandteilen bzw. im Herstellprozess zu suchen sind.

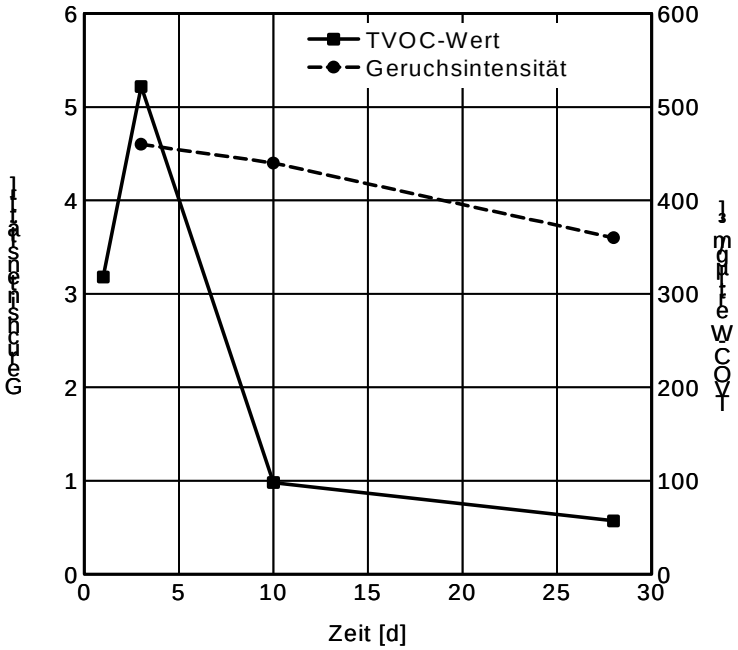


Bild 17 Vergleich der Gesamtemission (TVOC-Wert) mit der human-olfaktorisch bestimmten Geruchsintensität im 28-Tage-Prüfkammerversuch des untersuchten Parkett-

bodens.

Aussagen zu stofflichen Ursachen, also zur chemischen Natur der geruchsaktiven Substanzen eines Materialgeruchs, waren bisher nur bedingt möglich. Gerade die Kenntnis der geruchsaktiven Substanzen stellt jedoch eine Voraussetzung für die Produktverbesserung bzw. die Verbraucherinformation dar. So könnten mit Hilfe eines neuen Untersuchungsverfahrens, der sogenannten Geruchsaufklärung (Bild 18) künftig im Einzelfall z.B. Informationen gegeben werden, dass ggf. hinter unvermeidbaren Materialgerüchen keine gesundheitlich bedenklichen Stoffkonzentrationen stehen, sondern lediglich Spurenkonzentrationen geruchsaktiver Substanzen, die durch den empfindlichen „Detektor“ menschliche Nase wahrgenommen werden.

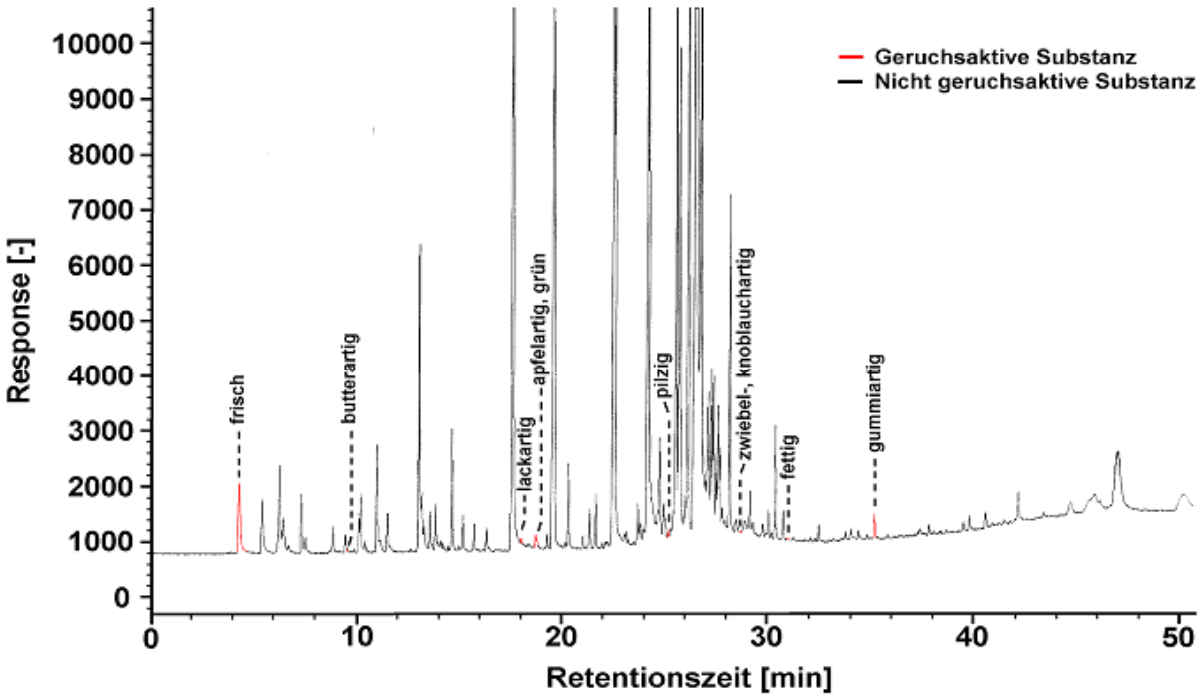


Bild 18 Beispielchromatogramm einer sog. Geruchsaufklärung, die es erlaubt die geruchsaktiven Stoffe eines Materials aufzuspüren (Beispiel: Holzbodenbelag).

In Bild 18 sind beispielhaft Emissionen aus einem Holzbodenbelag als schwarze Kurve dargestellt, aber nur die rot markierten Peaks sind geruchsaktive Stoffe. Das geschilderte Beispiel zeigt ein sehr häufiges Phänomen, das belegt, dass gerade das, was emittiert wird und gleichzeitig riecht, nur einen kleinen Teil der an die Luft abgegebenen Stoffe darstellt und nur mit besonderen Messverfahren wie der Geruchsaufklärung aufgedeckt werden kann.

Da Materialgerüche letztendlich nicht völlig und in allen Fällen zu vermeiden sein werden, eröffnen solche Untersuchungen auch neue Wege in der Verbraucherinformation. So können Geruchsstoffkonzentrationen, welche die Ursache für konkrete Materialgerüche darstellen (z.B. Spurenkonzentrationen geruchsaktiver Substanzen, die durch den empfindlichen Detektor menschliche Nase wahrgenommen werden) auch unter gesundheitlichen Aspekten betrachtet werden. Ein Instrumentarium zur Aufklärung von Verbrauchern und somit zur Bekämpfung von im Einzelfall unbegründeten Ängsten, hervorgerufen durch Geruchswahrnehmungen im Zusammenhang mit Materialausgasungen bildet die Grundlage hierfür.

Fazit

Die Frage, ob der Wunsch nach einem behaglichen Wohnraum immer zwingend mit einem Risiko für Bausubstanz und Bewohner verbunden ist, lässt sich sicherlich verneinen. Allerdings ist es andererseits unmöglich, jegliches Risiko von vorne herein auszuschließen. Wie gezeigt wurde, ist Behaglichkeit eine recht subjektive Empfindung. Behaglichkeit lässt sich nicht in technischem Sinn exakt einstellen, sondern ist abhängig von zahlreichen Umgebungsbedingungen und von jeder Person im Einzelnen. Das Fazit, das sich daraus ziehen lässt, ist, dass sich das Risiko für den Bewohner dadurch minimieren lässt, dass er neben einer überlegten Materialauswahl auch sein Heiz-, Lüftungs- und Wohnverhalten an die baulichen Gegebenheiten anpasst. Das heißt beispielsweise, dass in schlecht gedämmten Altbauten möglichst kein großflächiges Möbel an Außenwänden platziert, dass regelmäßig in richtiger Weise gelüftet und in korrekter Weise der Wohnraum beheizt und gleichmäßig in allen Räumen temperiert wird. Generell lässt sich daraus auch folgern, dass Dämmung sowohl der Behaglichkeit als auch einer Risikominimierung dient. Es geht kein Risiko vom Wunsch auf Behaglichkeit aus, sondern meist nur von der nicht an die Gegebenheiten angepassten Nutzung.