Initiative
kostengünstig
qualitätsbewusst
Bauen
umweltgerecht
innovativ
bezahlbar

Wärmeschutz und Behaglichkeit

- Wärmeschutz
- Behaglichkeit
- Luftdichtheit
- Schimmelpilz
- Baustoffauswahl / Raumluftqualität

Info - Blatt Nr. 5.3

Impressum

Herausgeber:
Kompetenzzentrum der Initiative
„Kostengünstig qualitätsbewusst Bauen“ im

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im
Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Fasanenstraße 87, 10623 Berlin
Telefon: 03018/401-3444
Telefax: 03018/401-3449
E-mail: kompetenzzentrum@bbr.bund.de
www.kompetenzzentrum-iemb.de

Konzeption und Bearbeitung
Institut für Erhaltung und Modernisierung
von Bauwerken e.V. an der TU Berlin (IEMB)
Salzufer 14,10587 Berlin

Grafik
Online Now!
Gesellschaft für elektronisches Marketing mbH
Kastanienallee 26, 14052 Berlin
www.online-now.de

Druck
Druckerei V+V Sofortdruck GmbH
Bunsenstraße 5, 53121 Bonn
www.vuvdruck.de

Bundesministerium
für Verkehr, Bau
und Stadtentwicklung

Initiative
kostengünstig
qualitätsbewusst
Bauen
umweltgerecht
innovativ
bezahlbar

Bundesamt
für Bauwesen und
Raumordnung

Dieses Info-Blatt soll dem breiten Kreis der Eigenheiminteressenten Informationen, Tipps und Anregungen geben. Es will und kann Gesetzestexte nicht ersetzen. Bei Rechtsfragen sollten daher immer die zuständigen Behörden oder die allgemein zur Rechtsauskunft befugten Stellen befragt werden. Dort können Sie z.B. auch Ausführungsbestimmungen erfahren, die nicht immer alle dargestellt werden können und die häufig von Bundesland zu Bundesland verschieden sind.

Stand: Januar 2009

Weitere Merkblätter und Informationen zu aktuellen Themen können auf der Internetseite **www.kompetenzzentrum-iemb.de** abgerufen und ausgedruckt werden.

Inhaltsverzeichnis

1	**Wärmeschutz**	**2**
1.1	Winter	2
1.2	Sommer	4
1.3	Erläuterungen und Begriffe	7
1.4	Resümee	8
2	**Behaglichkeit**	**9**
2.1	Vorbemerkung	9
2.2	Raumtemperatur	10
2.3	Luftbewegung	10
2.4	Raumluftfeuchte	11
3	**Luftdichtheit**	**11**
3.1	Anforderungen an die Luftdichtheit von Gebäuden	11
3.2	Nachweis und Bewertung der Luftdichtheit / Luftdurchlässigkeit	12
3.3	Wer kann Luftdichtheit herstellen?	14
3.4	Planung	15
3.5	Ausführungsempfehlungen [5, 6]	15
3.6	Schwachstellen	17
3.7	Materialien	17
3.8	Untersuchungen zur Luftdichtheit	18
4	**Schimmelpilz**	**18**
5	**Baustoffauswahl / Raumluftqualität**	**20**

5.3 Wärmeschutz und Behaglichkeit

1 Wärmeschutz

1.1 Winter

1.1.1 Wärmeschutz

Je besser der Wärmeschutz eines Gebäudes, desto geringer sind seine Energieverluste über die Wände, Fenster und Decken bzw. Dach. Maß für den Wärmeschutz des gesamten Gebäudes ist die wärmetechnische Qualität aller Bauteile der wärmeübertragenden Hüllfläche (Gebäudehülle). Zur Beurteilung der Bauteile wird der Wärmedurchgangskoeffizient U (Wärmestrom in Watt pro Quadratmeter und Kelvin, W/m²K), auch U-Wert genannt, herangezogen.

Anmerkung: Im Zusammenhang mit der Europäischen Vereinheitlichung hat es eine Umbenennung gegeben: der Wärmedurchgangskoeffizient hieß früher in Deutschland k-Wert.

Es werden vier Qualitätsstufen des baulichen Wärmeschutzes unterschieden:

- Mindestwärmeschutz
- energiesparender Wärmeschutz nach Energieeinsparverordnung
- hoher Wärmeschutz (z.B. KfW-40 und KfW-60 Standard)
- sehr hoher Wärmeschutz (Passivhaus)

Der Mindestwärmeschutz nach DIN 4108 Teil 2 verhindert Bauschäden durch Tauwasser und gewährleistet hygienische Wohnverhältnisse, wenn zweckmäßig geheizt und gelüftet wird. Diese Norm ist in den Bundesländern bauaufsichtlich eingeführt und ist grundsätzlich zu beachten.

Die Energieeinsparverordnung ist eine öffentlich-rechtliche Vorschrift, und damit grundsätzlich bindend. Sie begrenzt den zulässigen Jahres-Primärenergiebedarf (Energiebedarf einschl. Gewinnung, Erzeugung und Verteilung) sowie den Transmissionswärmebedarf (Wärmestrom durch Außenbauteile) und stellt damit indirekt auch Anforderungen an die Wärmedämmung eines Gebäudes.

Der Wärmedämmstandard nach Energieeinsparverordnung entspricht jedoch noch nicht dem eines Niedrigenergiehauses. Der erhöhte Wärmeschutz eines Niedrigenergiehauses entspricht etwa einer Unterschreitung der geltenden Energieeinsparverordnung von ca. 25 %.

Den besten zur Zeit „serienmäßig“ gebauten Wärmeschutz weisen sogenannte Passivhäuser auf. Zahlreiche Erfahrungsberichte belegen den Erfolg dieses Konzeptes.

1.1.2 Vermeidung von Wärmebrücken

Je besser der Wärmeschutz ist, umso höher ist der prozentuale Einfluss verbleibender Wärmebrücken auf den Wärmeverlust. Wärmebrücken sind wärmeschutztechnische Schwachstellen an Anschlüssen, z.B. Wand- und Deckeneinbindungen, Deckenauflagern, Fenster- und Türlaibungen und –stürzen sowie Rollladenkästen. Außer einem erhöhten Wärmeverlust können Wärmebrücken unter ungünstigen Umständen während der Gebäudenutzung zu Tauwasser- und Schimmelpilzbildung führen.

Die Minimierung bzw. Vermeidung von Wärmebrücken muss daher schon während der Planung besondere Beachtung finden. Um den Planer bei dieser Arbeit zu unterstützen, wurde eine Norm geschaffen, der man Planungs- und Ausführungsbeispiele zur Minimierung von Wärmebrücken entnehmen kann. In DIN 4108 Bbl. 2 sind diese Beispiele in Wort und Bild beschrieben.

Wie kann der gewünschte Wärmeschutzstandard erreicht werden?

In der folgenden Tabelle sind Anhaltswerte für die Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile für die unterschiedlichen Wärmeschutzniveaus zusammengefasst.

Tabelle 1: Wärmeschutzniveaus und mögliche Ausbildung der Bauteile, alle Angaben sind Anhalts-

Wärme-schutz-niveau	Jahres-Primärener-giebedarf Q_P''	Anhaltswerte für die Wärmedurchgangskoeffizienten U			
		Außenwand	Fenster	Dach	Kellerdecke
	kWh/(m²a)	W/(m²K)	W/(m²K)	W/(m²K)	W/(m²K)
EnEV	115 bis 160	ca. 0,4	1,5 bis 1,7	ca. 0,25	ca. 0,3
Niedrig-energiehaus (z.B. KfW-40 und KfW-60)	40 bis 60	0,15 bis 0,3	1,1 bis 1,3	0,15-0,20	0,15-0,25
Passivhaus	< 40	ca. 0,1	< 1,0	ca. 0,1	< 0,15

werte und abhängig vom A/V_e-Verhältnis

Ein bestimmter Wärmedurchgangskoeffizient kann mit sehr unterschiedlichen Konstruktionen erreicht werden. Um die genannten U-Werte zu veranschaulichen, werden in der folgenden Tabelle 5 exemplarisch für einige dieser Werte die Dämmstoffdicken sowie die zugehörigen Wärmeleitfähigkeiten λ [1] angegeben:

Tabelle 2: Überschlägige Umrechnung von U-Werte in reine Dämmstoffdicken ohne sonstige Schichten

Wärmedurchgangs-koeffizient U in W/(m²K)	Dämmstoffdicke in cm mit λ = 0,035 W/(m K)	Dämmstoffdicke in cm mit λ = 0,040 W/(m K)
0,4	8	9
0,3	11	13
0,25	13-14	15-16
0,2	17	19
0,1	34	40

Bei Fenstern muss darauf geachtet werden, dass der Wärmedurchgangskoeffizient für das gesamte Fenster angegeben wird, also für Glas und Rahmen zusammen und nicht nur für das Glas. Es besteht im allgemeinen kein Grund, Fenster mit geringerem Wärmeschutz als U_W = 1,4 W/m²K einzusetzen, insbesondere nicht aus Kostengründen. Lediglich bei Sonderverglasungen aus Sicherheits- oder Schallschutzgründen werden im allgemeinen Fenster mit Wärmedurchgangskoeffizienten bis zu U_W = 1,8 W/(m²K) eingesetzt.

Unabhängig von dem vorstehend ausgeführten sind die Anforderungen der geltenden Energieeinsparverordnung zu beachten.

[1] Die Wärmeleitfähigkeit beschreibt die Dämmwirkung eines Dämmstoffes. Je kleiner die Wärmeleitfähigkeit ist, desto besser ist auch die Dämmwirkung eines Dämmstoffes. Aus diesem Grund werden gleiche Wärmedurchgangskoeffizienten mit Dämmstoffen geringer Wärmeleitfähigkeit bei geringer Dämmstoffdicke wie bei mit Dämmstoffen hoher Wärmeleitfähigkeit bei hoher Dämmstoffdicke erzielt.

1.2 Sommer

1.2.1 Sommerlicher Wärmeschutz

Die Sicherstellung der *Behaglichkeit* in Räumen im Sommer ist Aufgabe des sommerlichen Wärmeschutzes. Besonders wichtig ist das Schlafen bei angenehmen Temperaturen zur Gewährleistung der nächtlichen Erholung. Insofern muss insbesondere für Wohnräume, aber auch für Büro- bzw. Arbeitsräume eine Überhitzung vermieden werden.

1.2.2 Problem

In der Vergangenheit war häufig nur die Notwendigkeit der Einhaltung des winterlichen Wärmeschutzes im Bewusstsein der Planer und Bauherren, der sommerliche Wärmeschutz wurde oft vernachlässigt.

Frühere Wärmeschutzverordnungen stellten an den sommerlichen Wärmeschutz lediglich Anforderungen beim Einbau von Anlagen zur Raumkühlung und bei Fensterflächenanteilen von mehr als 50 % je zugehöriger Fassade. Dies wurde der Bedeutung des sommerlichen Wärmeschutzes nicht mehr gerecht.

Die *Energieeinsparverordnung (EnEV)* fordert daher den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach *DIN 4108-2:2001-03 .* Diese Norm wurde zwischenzeitlich überarbeitet und liegt mit wesentlichen Änderungen als *DIN 4108-2:2003-07* vor. Es ist damit zu rechnen, dass die aktuelle Norm als Regel der Technik in nächster Zeit in die EnEV übernommen wird. Im Folgenden wird auf *DIN 4108-2:2003-07* Bezug genommen.

Ein weiterer Aspekt beim sommerlichen Wärmeschutz ist, dass nicht allgemein bekannt ist, wie der Nutzer durch ein geeignetes Verhalten zur Vermeidung von Überhitzungen beitragen kann.

1.2.3 Verwendung von Sonnenschutz

Für welche Räume ist Sonnenschutz sinnvoll oder notwendig?

Für alle Räume bzw. Fassaden, die der Sonne zugewandte *Orientierungen* aufweisen, also Ost, Süd und West, sind ab einem gewissen Fensterflächenanteil Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz sinnvoll bzw. erforderlich. *DIN 4108-2, Tabelle 7* (siehe Tabelle 3) bietet mit den angegebenen *zulässigen Werten* eine gute Orientierungshilfe hierzu. Bei Unterschreitung der angegebenen grundflächenbezogenen Fensterflächenanteile kann auf einen Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes verzichtet werden. In der Tabelle werden die Werte des Fensterflächenanteils aufgeführt, bei deren Unterschreitung auf einen Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes verzichtet werden kann.

Tabelle 3: Werte des Fensterflächenanteils, bei deren Unterschreitung auf einen Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes verzichtet werden kann nach DIN 4108-2, Tabelle 7

Zeile	Neigung der Fenster gegenüber der Horizontalen	Orientierung der Fenster	Grundflächen bezogener Fensterflächenanteil in %
1	über 60° bis 90°	Nord-West über Süd bis Nord-Ost	10
2		Alle anderen Nordorientierungen	15
3	Von 0° bis 60°	Alle Orientierungen	7

Welcher Sonnenschutz ist wirksam?

Grundsätzlich gilt das Prinzip Wärmeeintrag in das Gebäudse zu vermeiden.

Am wirksamsten sind außen liegende Sonnenschutzvorrichtungen wie Rollläden, Klappläden, Jalousien. Aber auch Vordächer sind ein wirksamer Sonnenschutz, insbesondere wenn sie so dimensioniert sind, dass die Fenster im Sommerhalbjahr bei hoch stehender Sonne verschattet sind, aber im Winter direktes Sonnenlicht erhalten, um die passiven Wärmegewinne nutzen zu können. In DIN 4108-2, Tabelle 8 (siehe Tabelle 4) werden Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren von fest installierten Sonnenschutzvorrichtungen angegeben. In der Norm selbst finden sich Anmerkungen und Erläuterungen zu den einzelnen Zeilen. Der Abminderungsfaktor beschreibt den Teil der Sonneneinstrahlung der in den Raum gelangt - je kleiner er ist, desto wirksamer ist der Sonnenschutz.

Tabelle 4: Abminderungsfaktoren von Sonnenschutzvorrichtungen nach DIN 4108-2, Tabelle 8

Zeile	Sonnenschutzvorrichtung	Abminderungsfaktor F_C
1	Ohne Sonnenschutzvorrichtung	1,00
2	Innenliegend oder zwischen den Scheiben	
2.1	Weiß oder reflektierende Oberfläche mit geringer Transparenz	0,75
2.2	Helle Farben oder geringe Transparenz	0,80
2.3	Dunkle Farben oder höhere Transparenz	0,90
3	Außenliegender Sonnenschutz	
3.1	Drehbare Lamellen, hinterlüftet	0,25
3.2	Jalousien und Stoffe geringer Transparenz, hinterlüftet	0,25
3.3	Jalousien, allgemein	0,40
3.4	Rollläden, Fensterläden	0,30
3.5	Vordächer, Loggien, freistehende Lamellen	0,50
3.6	Markisen, oben und seitlich ventiliert	0,40
3.7	Markisen, allgemein	0,50

Wie verhalte ich mich als Nutzer?

Am besten ist es, die Strahlung gar nicht erst in die betreffenden Räume hineinzulassen. Das bedeutet, Sonnenschutzvorrichtungen sind zu betätigen, sobald die Fenster direkt besonnt werden, und nicht erst, wenn es zu warm wird. Außerdem sollten in der zweiten Nachthälfte, also dann, wenn die Außentemperaturen das Tagesminimum erreichen, die Fenster „sperrangelweit“ geöffnet werden. „Querlüftung“, das Öffnen von Fenstern gegenüberliegender Fassadenseiten, hat dabei die größte Wirkung, um auch die in den massiven Bauteilen gespeicherte Wärme abzuführen. Am Tage sollten, insbesondere wenn die Außentemperaturen höher als die Raumtemperaturen sind, die Fenster geschlossen gehalten werden.

1.2.1 Hintergrundwissen

Wie kommt die Wärme in den Raum?

Um zu verstehen, warum Räume im Sommer durch Sonnenstrahlung so aufgeheizt werden, dass wesentlich höhere Raumtemperaturen als Außentemperaturen auftreten können, ist eine Erläuterung der Funktionsweise der Fensterverglasung notwendig.

Jeder hat schon einmal den Begriff „Wärmefalle" gehört. Was verbirgt sich dahinter?

Die Verglasungen von Fenstern haben ganz bestimmte bauphysikalische Eigenschaften, die vom Glashersteller z.T. gezielt verändert werden können. Grundsätzlich besitzen übliche Verglasungen eine hohe Durchlässigkeit für sichtbares Licht (Wellenlänge: 380 bis 780 nm) und eine geringe Durchlässigkeit für andere Wellenlängenbereiche. Oder anders ausgedrückt, die Durchlässigkeit (Transmission) von Verglasungen für Strahlungsanteile mit kleinerer Wellenlänge (UV-Strahlung) und mit größerer Wellenlänge (Infrarot-Strahlung) ist deutlich geringer als die Transmission für sichtbares Licht. Dieser Effekt bewirkt z.B., dass man sich hinter Fensterglas nicht bräunen kann, ist aber eben auch die Ursache für die „Wärmefalle" Fensterglas. Denn die sichtbare Sonnenstrahlung wird, sobald sie auf massive Bauteile (z.B. Innenwände) trifft, in Wärme umgewandelt. Die Wärmeabstrahlung dieser Bauteile aber erfolgt langwellig und kann daher die Verglasung nur noch in geringem Maße durchdringen und verbleibt im Raum (Prinzip des Gewächshauses).

Was kann man gegen den Wärmeeintrag tun?

Es gibt zwei Möglichkeiten:

- den Strahlungseintrag in den Raum minimieren (*Verschattung*),
- die im Raum entstehende Wärme in Zeiten niedrigerer Außentemperaturen „ablüften" (*Nachtlüftung*).

Eine anlagengestützte Raum(luft)kühlung sollte wegen des hohen Einsatzes an Elektroenergie im Wohnungsbau nur in Ausnahmefällen, z.B. bei hohen inneren Lasten (Wärmequellen im Raum), angewendet werden. Ausnahme könnte die Vorkühlung der Zuluft über einen Erdreichwärmeübertrager sein.

Welche Einflussfaktoren sind wesentlich?

Die Notwendigkeit für die Durchführung von Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz und deren Wirksamkeit hängt von vielen einzelnen Faktoren ab. Dabei sind bauphysikalische Randbedingungen wie *Orientierung nach Himmelsrichtung, Verschattung*, *Fensterflächenanteil*, *Verglasungsart*, *Nachtlüftung* und *Bauart* der betroffenen Räume von zentraler Bedeutung.

Welche Empfehlungen sollten beachtet werden?

Für Neubauten sind bezüglich sommerlichen Wärmeschutzes gemäß EnEV die Anforderungen nach DIN 4108-2 zu erfüllen. Der Vergleich von zulässigem und vorhandenem Sonneneintragskennwert entsprechend DIN 4108-2 ist darüber hinaus auch bei bestehenden Gebäuden ein Indiz für Notwendigkeit und Qualität von Maßnahmen zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes. Für eine objektive Bewertung werden bei der Berechnung des Sonneneintragskennwertes die o.g. Einflussfaktoren berücksichtigt.

Bei Überschreitung der zulässigen Werte der grundflächenbezogenen Fensterflächenanteile in DIN 4108-2, Tabelle 7 muss bei Neubauten über die Einhaltung und sollte bei Altbauten über die Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes nachgedacht werden. Weitere Kriterien wie Standort, Bauart, Fensterneigung und -orientierung sind zu beachten, die bei der Nachweisführung mit entsprechenden Zu- bzw. Abschlagswerten (vgl. DIN 4108-2, Tabelle 9) versehen werden.

Durch Vergleich der zulässigen und vorhandenen Sonneneintragskennwerte wird die Notwendigkeit und Qualität von Maßnahmen zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes ersichtlich.

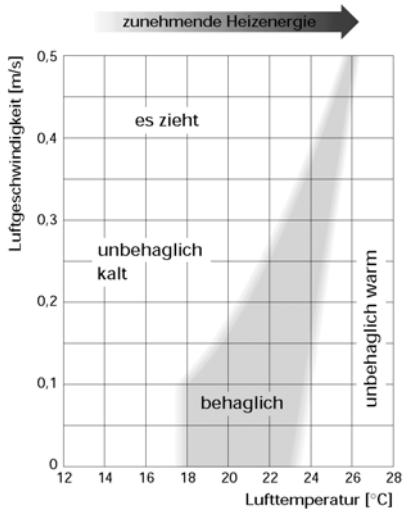
Bei speziellen Anforderungen an die Qualität des sommerlichen Wärmeschutzes, z.B. in Form von Überschreitungsdauern bestimmter Temperaturen, ist die Abschätzung nach DIN nicht mehr ausreichend. Hier wird die Hilfe von Fachplanern benötigt, die thermische Simulationen durchführen und anhand von Variantenrechnungen den Einfluss verschiedener Maßnahmen zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes auf das Raumklima darstellen.

1.3 Erläuterungen und Begriffe

Bauart

Mit Bauart ist die Fähigkeit des Gebäudes, Wärme zu speichern, gemeint. Gebäude schwerer Bauart (z.B. aus Stahlbeton) können viel, Gebäude leichter Bauart (z.B. Holzständerbauweise) wenig Wärme speichern. Die Speicherfähigkeit ist auch bei Decken und Fußböden vorhanden und wird aber durch abgehängte Decken oder aufgeständerte Fußböden vermindert. Die Bauart allein sagt allerdings nichts über die zu erwartenden klimatischen Verhältnisse im Sommer aus. Sie ist lediglich ein Indiz für die Möglichkeit, Wärmeeinträge zu speichern und damit einen schnellen Temperaturanstieg zu vermeiden.

Behaglichkeit



In Deutschland gelten Raumtemperaturen als behaglich, wenn sie nicht wesentlich (max. 3 K) über der Außentemperatur liegen. In Abhängigkeit von der körperlichen Konstitution und der gerade ausgeübten Tätigkeit werden Temperaturen über 26°C bis 28°C als unbehaglich empfunden. Die Behaglichkeit ist auch abhängig von der relativen Luftfeuchte, auf die Maßnahmen zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes keinen Einfluss haben. Anhaltswerte zur Behaglichkeit in Abhängigkeit von Raumlufttemperatur und Raumluftfeuchte enthält das folgende Diagramm.

Bild 1: Behaglichkeitsdiagramm [1]

DIN 4108-2:2003-07

In der DIN 4108-2 (Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden; Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz) Ausgabe Juli 2003 werden Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz formuliert. Die Norm enthält das Verfahren zum Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes, auf das die Energieeinsparverordnung verweist.

Energieeinsparverordnung (EnEV)

Unter **http://www.enev-online.de** kann die Energieeinsparverordnung heruntergeladen werden. Die Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV) ist am 01.02.2002 in Kraft getreten. Die EnEV ersetzt die Wärmeschutzverordnung von 1995 und die Heizungsanlagenverordnung.

Fensterflächenanteil

Anteil der Fensterflächen im Verhältnis zur betrachtenen Fassadenfläche der jeweiligen Orientierung.

Gesamtenergiedurchlassgrad

Verglasungen mit niedrigerem Gesamtenergiedurchlassgrad besitzen eine geringere Durchlässigkeit für Sonnenstrahlung und sind dementsprechend günstiger für den sommerlichen Wärmeschutz. Niedrigere Gesamtenergiedurchlassgrade bedeuten allerdings auch geringere solare Wärmegewinne im Winter und i.d.R. (bei gleichzeitig verringerter Lichtdurchlässigkeit) höhere Einschaltdauern für Beleuchtung.

Nachtlüftung

Ein langes und intensives Durchlüften der am Tag erwärmten Räume während der zweiten Nachthälfte, also wenn die Außentemperaturen ihr Tagesminimum erreichen - in der Literatur auch als „Intensive Nachtlüftung" bezeichnet -, stellt die wirksamste Möglichkeit dar, diese Räume zu kühlen .„Querlüftung" (Fenster gegenüber liegender Fassadenseite und dazwischenliegende Türen öffnen) ist dabei am besten.

Orientierung

Die Himmelsrichtung einer Fassade wird als Orientierung bezeichnet. Eine nach Süden orientierte Fassade wird um 12 Uhr Ortszeit von der Sonne mit dem größtmöglichen Winkel beschienen.

Sonneneintragskennwert

Der Sonneneintragskennwert (Kenngröße für den Wärmegewinn in Gebäuden durch Sonneneinstrahlung) wird nach *DIN 4108-2* bestimmt.

Standort

Der Standort sagt etwas über das zu erwartende sommerliche Klima aus. Deutschland wurde dementsprechend in drei Klimaregionen unterteilt. Für Gebiete mit mittleren monatlichen Außenlufttemperaturen höher als 18 °C muss entsprechend *DIN 4108-2* ein höherer *Sonneneintragskennwert* zu Grunde gelegt werden als für Gebiete mit Außenlufttemperaturen von 18 °C und niedriger.

Verglasungsart

Mit der Verglasungsart werden insbesondere folgende Eigenschaften von Verglasungen beschrieben:

- die Anzahl der Fensterscheiben (Einfach-, Zweifach-, Dreifachverglasung, auch Sicherheitsglas)
- die Füllung des Scheibenzwischenraums und die Art der Beschichtung einzelner Scheiben.

Diese Parameter wirken sich auf die bauphysikalischen Eigenschaften (Wärmedurchgangskoeffizient, Durchlässigkeit gegenüber Sonnenstrahlung) aus.

Wärmedurchgangskoeffizient

Der Wärmedurchgangskoeffizient ist ein Maß für den Wärmeverlust durch das Bauteil bei unterschiedlichen Temperaturen zwischen Raum und Umgebung. Im Sommer können bei höheren Außen- als Raumtemperaturen Wärmegewinne (= negative Wärmeverluste) auftreten. Je niedriger der Wärmedurchgangskoeffizient, desto höher der Wärmeschutz.

Der Wärmedurchgangskoeffizient von Fenstern inkl. Rahmenkonstruktion wurde früher als k_F-Wert, nach neuer europäischer Normung wird er als U_W-Wert bezeichnet.

Wirksamkeit

Die Wirksamkeit von Sonnenschutzvorrichtungen lässt sich aus den Abminderungsfaktoren ablesen, für die Anhaltswerte in DIN 4108-2, Tabelle 8 (siehe Tabelle 4) angegeben sind.

1.4 Resümee

Zusammenfassend ist festzustellen, dass bei Beachtung einfacher Grundregeln, wie beispielsweise der Wahl einer sinnvollen Gebäudeausrichtung (geschickte Anordnung und Festlegung der Größe der Fenster), Verschattung (besser die Fenster außen an-

statt innen verschatten) und Auswahl der Wand- und Deckenkonstruktionen (schwere Bauteile können Temperaturspitzen besser abpuffern), in der Regel ein behagliches Raumklima erzeugt werden kann. Bei einer rechtzeitigen Berücksichtigung der Belange des sommerlichen Wärmeschutzes in einem frühen Planungsstadium können somit zusätzliche Kosten für den (nachträglichen) Einbau von Sonnenschutzvorrichtungen oder sogar Kühlanlagen vermieden werden.

2 Behaglichkeit

2.1 Vorbemerkung

Gesundheit und Behaglichkeit des Menschen werden hauptsächlich durch folgende Raum-Parameter bestimmt:

- Raumluftqualität / Lufterneuerung,
- operative Raumlufttemperatur,
- Luftgeschwindigkeit,
- Raumluftfeuchte,
- Beleuchtung (natürlich und künstlich),
- Bauakustik / Lärmimmission,
- empfundene Ästhetik und
- Material / Farbe.

Die das Raumklima direkt betreffenden Parameter werden im Folgenden näher erläutert.

Einflussfaktoren:

Der Mensch fühlt sich behaglich, wenn seine Hauttemperatur zwischen 33 °C und 37 °C liegt. Grundlage für die Erfüllung dieser Basisbedingung ist, dass alle relevanten Faktoren der sogenannten thermischen Behaglichkeit im jeweils günstigsten Bereich liegen [R/S/SCH].

Neben Alter, Geschlecht, Gesundheitszustand, Konstitution, allgemeinem Befinden, Kleidung, Aufenthaltsdauer im Raum und umgebungsbedingten Faktoren spielt die thermische Behaglichkeit die dominierende Rolle für das Wohlbefinden im beheizten Raum.

„Thermische Behaglichkeit ist definiert als das Gefühl, das Zufriedenheit mit dem Umgebungsklima ausdrückt. Unzufriedenheit kann durch Unbehagen des Körpers insgesamt aufgrund von der Einwirkung von Wärme oder Kälte ... hervorgerufen werden. Aber thermische Unbehaglichkeit kann auch durch eine ungewollte Abkühlung (oder Erwärmung) eines bestimmten Körperteils verursacht werden, z.B: durch Zugluft. Lokale Unbehaglichkeit kann durch eine anormal hohe vertikale Temperaturdifferenz zwischen Kopf und Knöchel verursacht werden, durch zu warmen oder zu kühlen Fußboden oder durch eine zu hohe Asymmetrie der Strahlungstemperatur. Unbehaglichkeit kann auch durch einen zu hohen Energieumsatz oder durch zu schwere Bekleidung verursacht werden.“ [DIN EN ISO 7730]

Maßgebliche und messbare Einflussfaktoren auf die thermische Behaglichkeit sind demnach die Höhe und räumliche Verteilung der Raumklimaparameter, Raumluft- und Umschließungsflächen-Temperaturen, der Luftbewegung (Luftgeschwindigkeit) in Körpernähe sowie zusätzlich der Raumluftfeuchtigkeit.

Die Einhaltung der nachfolgend aufgeführten empfohlenen Einzelbereichsgrenzen für die vorgenannten Raumklimaparameter muss für den sogenannten Aufenthaltsbereich gewährleistet werden. Dieser beginnt im Standardfall in 0,5 m bzw. 1,0 m (Außenwand bzw. Fenster) Entfernung von der äußeren Raumbegrenzung und reicht von 0,1 m bis zu 1,8 m über dem Fußboden [DIN EN 12792].

2.2 Raumtemperatur

In beheizten Räumen wirken sich neben der bekannten Lufttemperatur auch die Temperaturen der Umschließungsflächen einschließlich der Heizkörper auf das menschliche Wohlbefinden aus. Kalte Flächen bewirken eine Abkühlung der diesen zugewandten Körperoberfläche (auch als „Strahlungszug“ bezeichnet), warme Flächen sorgen für eine Erwärmung. Zur Gesamtbeurteilung der Temperatureinflüsse wurde deshalb eine operative oder empfundene Raumtemperatur θ_o definiert. Sie bezeichnet das arithmetische Mittel aus Raumlufttemperatur θ_L und resultierender Strahlungstemperatur (Oberflächentemperatur von z. B. der Wand) der Umschließungsflächen θ_U gemäß nachfolgender Gleichung:

$$\theta_o = 0{,}5 \times (\theta_L + \theta_U).$$

Empfohlene Wertebereiche für θ_o, die sich für Wohnräume für „leichte, hauptsächlich sitzende Tätigkeit“ an [DIN EN ISO 7730] anlehnen, sowie die Normalwerte der Raumlufttemperatur θ_L für die Ermittlung der Heizlast (Beiblatt zu [DIN EN 12831]) können der Tabelle 5 entnommen werden.

Tabelle 5: Empfohlene operative Raumtemperaturen $\mathbf{q}_o$ für die Heizzeit sowie Normwerte der Raumlufttemperaturen $\mathbf{q}_L$ für die Ermittlung der Heizlast in °C

Raumart	Bereiche für die operative Raumtemperatur θ_o	Raumlufttemperatur θ_L nach DIN EN 12831
Wohnräume	20 bis 24	20
Schlafräume	16 bis 20	20
Badezimmer	22 bis 24	24
Küchen	18 bis 20	keine explizite Angabe
WC-Räume	18 bis 20	20
Flure, Vorräume (beheizt)	15 bis 18	15
Treppenräume (beheizt)	10 bis 15	15

Die in der Spalte „operative Raumtemperatur“ angegebenen Bereichsgrenzen hängen von den in Abschnitt 2.1 aufgeführten Einzelfaktoren ab und sind als Richtwerte zu betrachten.

Hinweis:

Bei Temperaturen unter 15 °C besteht erhöhte Gefahr, dass Feuchtigkeitsprobleme einschließlich Schimmelpilz-Wachstum auftreten.

2.3 Luftbewegung

Die Luftbewegung sollte in Abhängigkeit von der Raumlufttemperatur während der Heizperiode im Aufenthaltsbereich nicht größer sein als die in der Tabelle 6 aufgeführten entsprechenden Luftgeschwindigkeiten v.

Tabelle 6: Abhängigkeit der maximal zulässigen Luftgeschwindigkeit v (Standardwert) von der Raumlufttemperatur $\boldsymbol{\theta}_L$ nach DIN EN 13779

Raumlufttemperatur θ_L	20	22	24	26	°C
Luftgeschwindigkeit v	≤ 0,13	≤ 0,15	≤ 0,17	≤ 0,20	m/s

Lüftungstechnische Maßnahmen müssen dementsprechend so bemessen und ausgeführt werden, dass diese Werte bei normalem (Grund-) Lüftungsbetrieb (siehe auch Infoblatt 6.2 Wohnungslüftung) nicht überschritten werden. Andernfalls besteht ein erhöhtes Zugluftrisiko.

2.4 Raumluftfeuchte

Der Mensch fühlt sich wohl, wenn bei Normaltemperaturen von 20 °C bis 22 °C die relative Luftfeuchte im Bereich von 35 % bis 65 % liegt [R/S/SCH]. Steigt die Temperatur an, reduziert sich der obere Grenzwert (bei 26 °C auf 55 %). Weil bei Raumlufttemperaturen zwischen 18 °C und 24 °C die Verdunstung bei der Thermoregulation des menschlichen Körpers kaum eine Rolle spielt, entstehen hinsichtlich der thermischen Behaglichkeit kaum Probleme, wenn die relative Feuchte zwischen 30 % und 70 % liegt [DIN EN 13779].

Da im Wohnungsbau aus hygienisch-gesundheitlichen Gründen kaum Klimaanlagen eingesetzt werden, kann die Luftfeuchte nicht reguliert werden. Es stellen sich deshalb im Winterhalbjahr auch geringere Werte ein. Um trockene Augen und Schleimhautreizungen zu vermeiden, wird empfohlen, die untere Grenze bei 30 % festzulegen. Für begrenzte Zeiträume kann aber auch eine geringere Feuchte toleriert werden. Es gibt bisher keine gesicherten Erkenntnisse bezüglich eines diesbezüglich auftretenden Gesundheitsrisikos.

Wird die Luftfeuchte mit handelsüblichen Befeuchtungseinrichtungen angehoben, sollte beachtet werden, dass in untertemperierten (auch Neben-) Räumen u. U. Feuchtigkeitsprobleme auftreten können. Bevor Befeuchtungseinrichtungen eingesetzt werden, sollte deshalb und aus hygienisch-gesundheitlichen Gründen immer erst geprüft werden, ob nicht die Raumlufttemperatur (auch nur vorübergehend) um ein bis zwei Grad abgesenkt werden kann. Dadurch lässt sich die relative Luftfeuchte um einige Prozente erhöhen, ohne zusätzliche Feuchtigkeit zuführen zu müssen.

Die Absenkung hoher Sommerwerte ließe sich nur durch Raumluftkühlung und die damit verbundene Luftentfeuchtung erreichen. Wegen der hohen Kosten wird sich diese aber auch in naher Zukunft vermutlich auf wenige prädestinierte Räume mit vorzugsweise hoher Strahlungslast (z.B. Dachräume) beschränken, für die der Einsatz von Klimageräten in Frage kommt.

Schlussbemerkung [DIN EN ISO 7730]:

Aufgrund individueller Unterschiede ist es unmöglich, ein Umgebungsklima festzulegen, das jedermann zufrieden stellt. Es wird immer einen Prozentsatz Unzufriedener geben. Aber es ist möglich, ein Umgebungsklima festzulegen, von dem voraus gesagt werden kann, dass es von einem gewissen Prozentsatz von dem Klima ausgesetzten Personen als annehmbar empfunden wird.

3 Luftdichtheit

3.1 Anforderungen an die Luftdichtheit von Gebäuden

Da alle Gebäude aus unterschiedlichen Baustoffen bzw Bauteilen errichtet werden, entstehen Stöße, Überlappungen und Durchdringungen, die nicht völlig luftdicht verschlossen werden können. Im Laufe der Zeit können sich durch bauübliche Bewegungen diese Undichtheiten vergrößern oder u. U. auch neue entstehen. Auch die Funktionsfugen von Fenstern und Türen sind bis zu einem gewissen Grade undicht.

Diese nicht vermeidbaren Undichtheiten haben zur Folge, dass vorrangig auf der windzugewandten (Luv-) Seite im Winter kalte Außenluft in das Gebäude ein- und auf der windabgewandten (Lee-) Seite sowie im Dachbereich als feuchtwarme Raumluft wieder ausdringen kann (Luftin- und -exfiltration), sofern keine wirksamen Gegenmaßnahmen getroffen werden.

Ein großer Teil der infiltrierten Außenluft ist für Lüftungszwecke unverzichtbar (Wohnungslüftung). Neuere Untersuchungen haben aber ergeben, dass bei der bis vor einigen Jahren noch üblichen Ausführungsqualität unserer Einfamilienhäuser im Mittel mehr kalte Luft infiltriert wird, als notwendig ist. Daraus können eine Vergrößerung der **Lüftungswärmeverluste** und damit erhöhte Heizkosten-Aufwendungen resultieren.

Hinzu kommt, dass sich die zu Lüftungszwecken benötigte Luft nicht so auf die Räume verteilt, wie es wünschenswert wäre. Das kann neben einem Ungleichgewicht der Lüftungswärmeverluste auch noch lokal und zeitlich begrenzte **Zugluftерscheinungen** und damit Unbehaglichkeit zur Folge haben.

Da die ausströmende Raumluft außerdem die **Kondensation** der **Raumluftfeuchte** in der Baukonstruktion und infolgedessen auch das Auftreten von Bauschäden begünstigt, schreibt die seit 2002 geltende Energieeinspar-Verordnung EnEV Gegenmaßnahmen zur Verbesserung der Dichtheit der Baukonstruktion und der Fugendurchlässigkeit von Fenstern und Fenstertüren vor.

Um die gestellten Anforderungen einzuhalten, ist insbesondere bei Leichtkonstruktionen häufig ein hoher konstruktiver und planerischer Aufwand erforderlich. Insofern ist dringend anzuraten, diesen Punkt schon sehr frühzeitig in der Planung zu berücksichtigen, da auch eine Nachbesserung i. d. R. nur mit großen Schwierigkeiten und entsprechenden Kosten möglich ist.

Innere Undichtheiten:

Nicht nur die Gebäudeaußenhülle, sondern auch die innere Raumhülle weist Undichtheiten auf. Während diese innerhalb von Wohnungen/ EFH, z. B. als Luftspalte unter oder in Innentüren, überwiegend notwendig sind, begünstigen sie im Mehrfamilienhaus (MFH) zwischen einzelnen Wohnungen und zwischen Wohnung und Treppenhaus unerwünschte Luftströmungen. Vor allem über **Installationsdurchführungen** bzw. -schächte sowie Bauteil- und Materialanschlussfugen im Bereich von Decken und Trennwänden zwischen Wohnungen kann es zum Luftübertritt und damit mindestens zu **Geruchsbelästigungen** kommen. Je nach Reaktion des Nutzers wird in deren Folge nicht selten eine vermehrte Fensterlüftung praktiziert, die zu einem höheren als dem notwendigen Luftwechsel und damit zu erhöhtem **Heizwärmebedarf** führen kann.

3.2 Nachweis und Bewertung der Luftdichtheit / Luftdurchlässigkeit

3.2.1 Erfüllung der Anforderungen (Luftdichtheitsprüfung)

In Umsetzung und Überprüfung der Forderungen zur Dichtheit der gesamten Baukonstruktion wurden folgende **Kenngrößen** definiert [DIN 4108-7 und EN 13 829]:

- **Luftwechsel n_{50}** in 1/h,
  als Quotient des bei einem Differenzdruck von $\Delta p = 50$ Pa zwischen innen und außen gemessenen Luftvolumenstroms $q_{v,50}$ und dem beheizten Wohnungs-/ EFH-Volumen;
- **Luftvolumenstromrate $q_{v,50,G}$** in $m^3/(h \cdot m^2)$
  als Quotient des Luftvolumenstroms $q_{v,50}$ und der Nettogrundfläche A_G;
- **Luftvolumenstromrate $q_{v,50,H}$** in $m^3/(h \cdot m^2)$
  als Quotient des Luftvolumenstroms $q_{v,50}$ und der Hüllfläche A_H.

Tabelle 7:Bereichsgrenzen der Kennwerte für die Luftdichtheit von Gebäuden für Luftwechsel n_{50} bzw. Luftraten $q_{v,50,G}$ oder $q_{v,50,H}$ beim Differenzdruck $\Delta p = 50$ Pa nach DIN 4108-7

Kenngrößen		Gebäude ohne Lüftungsanlage	Gebäude mit Lüftungsanlage
Luftwechsel (n_{50}) [1/h] *oder*		≤ 3	≤ 1,5
Luftvolumenstrom [$m^3/(h \cdot m^2)$], bezogen auf ...	Nettogrundfläche ($q_{v,50,G}$), wenn $H_R \leq 2{,}6$ m	≤ 7,8	≤ 3,9
	Gebäudehüllfläche ($q_{v,50,H}$)	*kann im Wertebereich von ≤ 3 zusätzlich zur Beurteilung der Gebäudehülle herangezogen werden*	

In Abhängigkeit vom geplanten/ vorhandenen Lüftungssystem (Wohnungslüftung) dürfen die Werte in der Tabelle 6 nicht überschritten werden, wenn die energetische (auf die Minimierung des Heizwärmeverbrauchs abzielende) und bautechnische (der Vermeidung von Feuchtigkeitsproblemen dienende) **Qualität der Gebäudehülle** gewährleistet werden soll.

Für die Überprüfung der Kennwerte zur Luftdichtheit werden national und international stufenlos regelbare Spezialventilatoren unterschiedlicher Hersteller eingesetzt. Eingespannt in den Türrahmen einer geöffneten Tür des zu untersuchenden Bereichs können sie einen beliebigen Unter- oder Überdruck von bis zu ca. 100 Pa erzeugen (Bild 2). Aus den bei Betrieb des Ventilators aus diesem Bereich abgesaugten oder diesem zugeführten messtechnisch erfassten Luftvolumenströmen q_v werden der Luftwechsel n bzw. die Luftraten $q_{v,G}$ bzw. $q_{v,H}$ berechnet.

Die energetische bzw. bautechnische Qualität der Gebäudehülle eines freistehenden EFH wird durch Vergleich der messtechnisch ermittelten Mittelwerte für n_{50} (z.B. Kennlinie 1.2 im Bild 3) bzw. $q_{v,50,G}$ oder auch $q_{v,50,H}$ aus je einer Messung bei 50 Pa Über- und Unterdruck mit den Grenzwerten in Tabelle 6 beurteilt. Soll zusätzlich untersucht werden, ob die Dichtheit von Teilbereichen (z.B. Keller und ausgebautes Dachgeschoss) vom Durchschnittswert abweicht, sind mehrere Messungen mit zeitweiliger luftdichter Abtrennung der Teilbereiche erforderlich. Auch die inneren Leckagen von Wohnungen in Mehrfamilienhäusern (z.B. im Bild 2 über die Installationsdurchführungen als Wertdifferenz aus den Messpunkten der Kennlinien 1.0 und 1.1) können bei Erweiterung der Messdatenerfassung auf diese Art und Weise separat ermittelt werden.

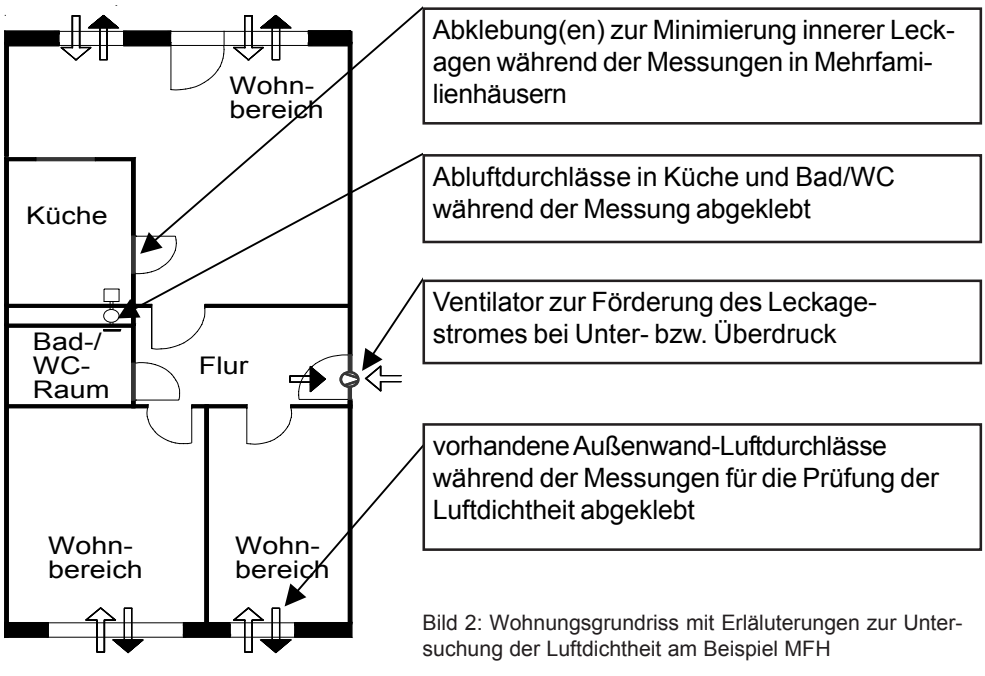
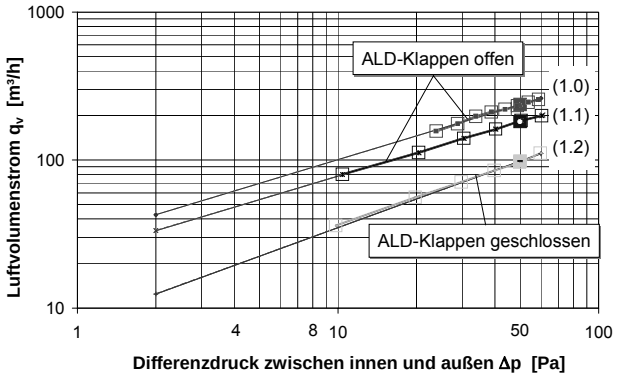


Bild 2: Wohnungsgrundriss mit Erläuterungen zur Untersuchung der Luftdichtheit am Beispiel MFH

3.2.2 Erforderliche Luftdurchlässigkeit für ausreichende Lüftung (Prüfung der lüftungstechnischen Eigenschaften von Wohnungen)

Das Messverfahren eignet sich über die reine Prüfung der Luftdichtheit hinaus auch gut für die Beurteilung der **lüftungstechnischen Eignung** der Hüllkonstruktion von Wohnungen bzw. EFH. Durch Aufnahme weiterer Messpunkte zwischen (10) 20 bis 60 Pa können die **Differenzdruck-(Δp-) Luftvolumenstrom- (q_v-) Kennlinien** der jeweiligen Messbereiche aufgenommen und dargestellt werden. Aus diesen kann vom Fachmann auf die Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle und damit auf die mögliche **nutzerunabhängige Lüftung** (bei geschlossenen Fenstern) auch unter real auftretenden Differenzdrücken (meist im Bereich von 1 bis 8 Pa) geschlossen werden (Bild 3).



1.0 Wohnung unverändert, Abluft-Durchlässe abgeklebt

1.1 wie 1.0, innere Abdichtung gemäß Bild 1

1.2 wie 1.1, ALD im gesamten Wohnbereich geschlossen

Bild 3: Differenzdruck-(Dp-)Luftvolumenstrom-(q_v-)Kennlinien einer Wohnung mit ALD

Ausgenommen beim Vorhandensein von Zu- und Abluftanlagen strömt in der überwiegenden Zahl aller bestehenden Gebäude bei geschlossenen Fenstern (noch) ein Großteil der für die Lüftung benötigten Außenluft über die **Gebäudehülle** ein und bei freier Lüftung auch wieder aus. Das ist möglich, weil neben vorhandenen konstruktiv bedingten Undichtheiten auch die **Fensterfugen** meist eine hohe Durchlässigkeit besitzen. Mit dem Einbau moderner Fenster mit stark reduzierter Fugendurchlässigkeit geht diese Luftin- und -exfiltration in vielen Fällen nahezu gegen Null. Wenn dann nicht ausreichend mittels mehrmals täglich geöffneter Fenster gelüftet wird bzw. werden kann (z.B. infolge täglicher länger währender Abwesenheit), können vor allem bei freier Lüftung durch Ansteigen der Luftschadstoff-Konzentration sowie der Luftfeuchte im Raum hygienisch-gesundheitliche sowie Feuchtigkeits-Probleme (z.B. Schimmelpilz-Wachstum) auftreten (vgl. hierzu Infoblatt 6.2 Wohnungslüftung).

Um solche Probleme mit größerer Sicherheit vermeiden zu können, wird in DIN 1946-6 empfohlen, über definierte Luftdurchlässigkeiten (z.B. in Form von Außenwand-Luftdurchlässen/ALD) einen ständigen nutzerunabhängigen Luftaustausch in Form einer Mindest- bzw. Grundlüftung sicher zu stellen. Auch die **EnEV 2002 bzw. 2004** hat auf diese Möglichkeit hingewiesen.

3.3 Wer kann Luftdichtheit herstellen?

Luftdichtheit der Gebäudehülle beginnt mit der Planung einer Luftdichtheitsebene. Im **Planungsstadium** ist somit erst einmal der Planer für die Luftdichtheit zuständig. In vielen Fällen wird das der zuständige Architekt sein. Da aber vom Bauherrn aus Kostengründen gerne auch Eigenleistungen erbracht werden, kann auch der Bauherr für die Planung einer Luftdichtheitsebene zuständig sein.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass Luftdichtheit auch in **Eigenleistung** erbracht werden kann. Wer diese Eigenleistung erbringen will, sollte sich jedoch frühzeitig umfangreich informieren. Wesentliche Vorraussetzung für Planung von Luftdichtheitsebenen ist das Wissen um Schwachstellen und häufig gemachter Fehler. Als Informationsquellen sollten Sie nicht nur Unterlagen der Hersteller von Materialien und Baustoffen zur Herstellung von Luftdichtheitsebenen genutzt werden, sondern es empfiehlt sich auch unabhängige Quellen von Bund, Ländern, Instituten, Fachverbänden etc. zu nutzen. Darüber hinaus sind zahlreiche Fachpublikationen zu diesem Thema erschienen, die teilweise im Internet recherchiert werden können.

Wird Luftdichtheit als **Fremdleistung** erbracht, ist unbedingt darauf zu achten, dass sie Bestandteil der Ausschreibung ist und vertragliche vereinbart wird. In der **Ausschreibung** muss auch der Nachweis der Luftdichtheit durch eine entsprechende messtechnische Untersuchung enthalten sein.

3.4 Planung

Der **Verlauf der luftdichtenden Ebene** [2] wird in der Ausführungsplanung kenntlich gemacht. Die Umsetzung in eine sachgemäße Ausführung muss von den Handwerkern geleistet werden.

*„Zusätzlich sind die **Anschlusspunkte** [3] in der Ausführungsplanung zu zeichnen. Die Lösung muss so gestaltet sein, dass der Handwerker auf der Baustelle das Konzept möglichst selbstständig umsetzen kann. Wichtig ist, dass der Handwerker durch Erläuterung vor Ort den Sinn und die Notwen*digkeit für die Umsetzung erkennt."

Zur Erreichung einer hohen Luftdichtheit der Gebäudehülle können folgende **Planungs- und Ausführungsempfehlungen** [4] gegeben werden:

- Die verwendeten Bau- und Werkstoffe müssen miteinander verträglich sein. Die verwendeten Bau- und Werkstoffe müssen abhängig vom Einbau eine ausreichende Feuchte-, Oxidations- und UV-Beständigkeit aufweisen.
- Fugen sind bereits in der Planungsphase zu berücksichtigen. Die Verarbeitungsrichtlinien der jeweiligen Fugenmaterialien sind zu beachten.
- Beim Herstellen der Luftdichtheitsschichten ist auf eine sorgfältige Ausführung aller am Bau Beteiligten zu achten. Luftdichtheitsschichten und ihre Anschlüsse dürfen während und nach dem Einbau weder durch Witterungseinflüsse noch durch nachfolgende Arbeiten beschädigt werden.
- Bei der Festlegung der bau- und haustechnischen Konstruktion ist die Lage der Luftdichtheitsschicht zu beachten. Ein Wechsel der Luftdichtheitsmaterialien in den jeweiligen Konstruktionen ist problematisch und nach Möglichkeit zu vermeiden.
- Die Anzahl von Fugen, Stößen und Überlappungen ist auf ein Minimum zu reduzieren.
- Unvermeidbare Fugen sind so zu planen, dass sie dauerhaft luftdicht verschlossen werden können.
- Verputztes Mauerwerk und massive Dachkonstruktionen sind im Allgemeinen luftdicht. Bei anderen Konstruktionen kann häufig mittels Folien eine Luftdichtheitsschicht erzielt werden, wobei jedoch den Stößen, Durchdringungen usw. besonderes Augenmerk zu schenken ist.
- Um Durchdringungen der Luftdichtheitsschichten zu reduzieren, sollten alle Installationsebenen auf der Rauminnenseite vor der Luftdichtheitsschicht vorgesehen werden

Luftdichtheit ist Ihr gutes Recht [2]

Die dauerhaft luftdichte Ausführung von Bauteilen und Anschlüssen entsprechend dem Stand der Technik wird in der DIN 4108 bereits seit 1982 gefordert. Die Energieeinsparverordnung fordert einen Nachweis der Luftdichtheit der Gebäudehülle bei allen Gebäuden mit lüftungstechnischer Anlage. Die DIN 4108-7 nennt ebenso wie die EnEV entsprechende zahlenmäßige Anforderungen.

Bei erstmaligem Einbau, Ersatz oder Erneuerung von Bauteilen im Gebäudebestand wird von der EnEV ebenfalls eine dauerhaft luftdichte Ausführung verlangt. Messungen der Luftdichtheit von Gebäuden sind nach der Norm EN 13829 durchzuführen (s.o.).

3.5 Ausführungsempfehlungen [5, 6]

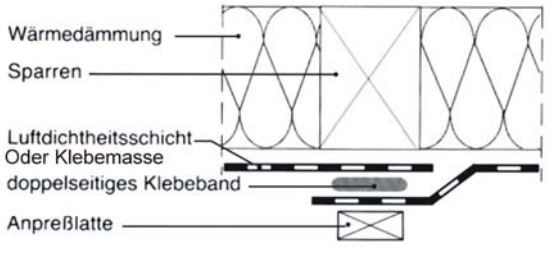


Bild 4: Überlappung zweier Folienbahnen auf der Innenseite des Dachraumes

Dieser Bereich kann beispielsweise durch ein beidseitig klebendes Band, das aber mit einer Anpresslatte zu sichern ist, oder einer Klebemasse luftdicht ausgebildet werden.

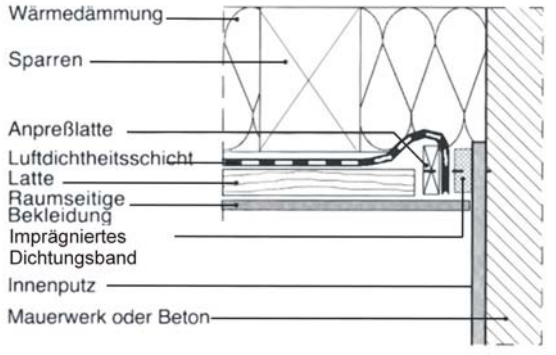


Bild 5: Ortgang

Der Anschluss einer Folie an eine Giebelwand: Die Folie muss mit einer Anpresslatte und einem vorkomprimierten Dichtband am Giebel abgedichtet werden. Um einen ausreichenden Anpressdruck zu gewährleisten, muss die Latte an der Giebelwand befestigt werden. Sofern der Putz erneuert wird, kann die Folie alternativ mit eingeputzt werden. Dabei muss zwischen Folie und Innenputz ein Rippenstreckmetall eingebaut werden.

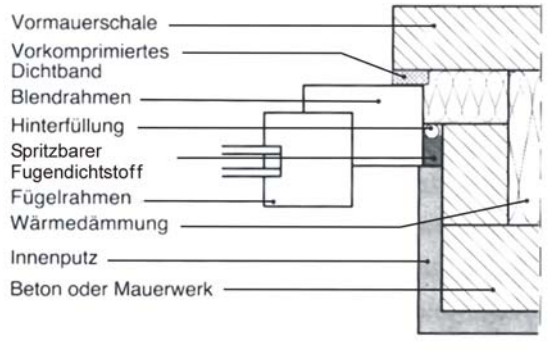


Bild 6: Fenster

Blendrahmen sind raumseitig mit Hinterfüllung und spritzbarem Fugendichtstoff (z.B. aus Silikon) und außenseitig mit imprägnierten Dichtungsbändern abzudichten.

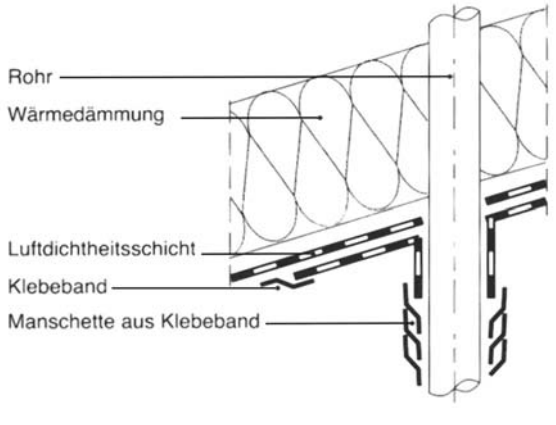


Bild 7: Durchdringungen

Auf Durchdringungen der Luftdichtheitsschicht sollte grundsätzlich soweit wie möglich verzichtet werden. Rohrdurchführungen werden mit Folienmanschette und Klebeband abgedichtet. Es dürfen hier nur für diese Anwendung vorgesehene Spezialbänder zum Einsatz kommen.

Verarbeitungsrichtlinien [7] Um eine sachgemäße Ausführung zu gewährleisten müssendie Verarbeitungsrichtlinien eingehalten werden. In den Verarbeitungsrichtlinien wird der Stand der (Klebe-) Technik aktuell beschrieben. Es lohnt sich auf jeden Fall aktuelle Verarbeitungsrichtlinien vor allem im Kleingedruckten zu lesen. Nicht die Werbeaussagen in den Überschriften, sondern die Ausnahmen der Regel, die auf jeder Bau-

stelle vorkommen können, sind wesentlich.

Arbeitsschritte für schadenfreies Bauen [7]

- Definition der Luftdichtheitsschicht,
- Benennung der Materialien,
- Anbringen, faltenfreies Verlegen und sicheres Befestigen der luftdichten Schichten,
- Vorbehandlung der Untergründe,
- Säubern der Oberfläche,
- luftdichte Verarbeitung in der Fläche,
- luftdichtes Anschließen der angrenzenden Bauteile,
- luftdichte Ausführung der Durchdringungen und
- gegebenenfalls mechanische Sicherung.

Tipps

Beschreiben Sie genau die Qualität, die Sie fordern. Verlagern Sie nicht zu schnell Lösungen an die Industrie oder den Handwerker. Eine Planung auf der Baustelle ist zu spät. Die Luftdichtheitsschicht soll innen verlegt werden, dann sind Verklebungen gegen zu hohe Temperaturunterschiede und Feuchteeinflüsse geschützt. Es gilt das Prinzip: Der Bauherr fordert, der Planer plant, der Handwerker setzt um und die Ausführungsqualität ist zu überprüfen [7].

3.6 Schwachstellen

Regelmäßige Kontrollen helfen Schwachstellen zu erkennen und Mängel zu vermeiden: **Kontrollen** dienen der Überprüfung der Funktionstüchtigkeit der Verklebung bzw. Verbindung und sollen grundsätzlich in jeder Phase eines Bauprojektes erfolgen [7].

Sie müssen als Verarbeiter feststellen, ob der Untergrund „haltbar“ ist. Haltbar ist er z.B., wenn durch Reiben mit dem Finger auf der Oberfläche kein Material abgelöst werden kann. Oder wenn ein Klebetest eine ausreichende Festigkeit feststellt.

Jeder Verarbeiter muss feststellen, ob der Untergrund trocken ist. Wenn Klebebänder auf einer staubfreien Oberfläche keine Haftung erzeugen, oder sich nach einigen Tagen ablösen, ist zu vermuten, dass der Untergrund zu feucht war.

Eine Klebeverbindung ist so anzubringen, dass keine Schälkräfte entstehen. Das Klebeband darf keiner Krafteinwirkung unter einem Winkel von 90 Grad oder größer ausgesetzt sein.

Unebene Flächen massiver Baustoffe sollen immer erst durch eine glatte Putzschicht vorbereitet werden. Unebenheiten bei Holz müssen durch die Verwendung von pastösen Klebemassen oder imprägnierter Fugendichtungen ausgeglichen werden. Nur solche Materialien verwenden, die für die Luftdichtheitsschicht hergestellt wurden.

Durch einen Test kann man Staub feststellen: Streicht man mit dem Finger über die Klebefläche und man spürt Staub, sind Klebebänder nicht geeignet.

3.7 Materialien

Materialien für die Luftdichtheitsschicht sind [6]:

- Bahnen z.B. aus Kunststoff, Elastomer, Bitumen oder auf Papier Basis,
- Holzwerkstoffplatten (Spanplatte, Bau-Furniersperrholzplatten),
- Gipskarton-Bauplatten, Gipsfaserplatten.

Grundsätzlich gilt: Sämtliche Überlappungen, Stoßfugen und Anschlüsse müssen luftdicht ausgeführt werden.

Für Luftdichtheitsschichten und luftdichte Anschlüsse bietet der Baustoffhandel eine große Materialvielfalt an. Materialien für Anschlüsse und Überlappungen sind:

- Imprägnierte Fugendichtungsbänder, die auf die Luftdichtheitsschicht abgestimmt sind. Die Bänder sind nur bei einer ausreichenden Komprimierung wirksam.
- Einseitige und Doppelseitige Klebebänder. Es sollten keine Klebebänder verwendet werden, die nicht explizit vom Hersteller für die vorgesehene Anwendung empfohlen werden.

3.8 Untersuchungen zur Luftdichtheit

Da Luftdichtheit bzw. die fehlende Luftdichtheit der Gebäudehülle nicht mit bloßem Auge sichtbar ist, ist ein messtechnischer Nachweis notwendig (s.o.).

Wie ist die **Rechtslage** bei Streit über Baumängel [2]?

EnEV 2004, DIN EN 13 829 und DIN 4108-7 (befindet sich zur Zeit in Überarbeitung) bilden die rechtliche Handhabe dafür, dass die Luftdichtheit der Gebäudehülle gemäß dem Stand der Technik einer Überprüfung standhalten muss (siehe dazu auch EnEV 2004 §5).

Dies hat zur Folge, dass der Ausführende beim Nachweis mangelnder Dichtheit zur Rechenschaft gezogen werden kann; egal ob ein Grenzwert für die Luftwechselrate vertraglich vereinbart wurde oder nicht. Die rechtzeitige Luftdichtheitsprüfung erspart den kostenintensiven und nervenaufreibenden Rechtsstreit.

Sinnvollerweise erfolgt der messtechnische Nachweis der Luftdichtheit, wenn Nachbesserungen noch ohne großen Aufwand vorgenommen werden können [3].

Wird die Messung vor Beginn des Innenausbaus vorgenommen, können Fehlstellen zumeist rasch und problemlos beseitigt werden. Die Luftdichtheitsmessung sollte Bestandteil jeder Bauabnahme sein. Diese Prüfung sollte, wenn nicht vom Architekten oder Bauunternehmer bereits vorgesehen, in den Bauvertrag mit aufgenommen werden [2]!

Am Messtermin muss die luftdichtende Ebene durchgängig geschlossen sein. Überprüfen Sie den Baufortschritt diesbezüglich, nur so vermeiden Sie unnötige Anfahrten und somit unnötige Kosten.

Bauliche Vorraussetzungen [3]:

- Massive Außenwände sind innenseitig verputzt.
- Leichtbauwände und das Dach sind innenseitig mit der Luftdichtheitsebene versehen.
- Alle Außenfenster und Türen sind eingebaut.
- Bauteildurchbrüche sind abgedichtet.
- Luftdichte Abschlüsse zwischen verschiedenen Bauteilen sind hergestellt.
- Stromanschluss muss vorhanden sein.

Zur **Auffindung von Lufteintrittstellen** [2] werden zusätzlich zur Luftdichtheitsuntersuchung u.a. Windgeschwindigkeitsmessgeräte (Anemometer), Strömungsprüfröhrchen, Nebelmaschinen und thermografische Messungen eingesetzt.

Die **Kosten** [6] der Dichtheitsmessung betragen z.B. für ein Einfamilienhaus für die Basismessung ca. 300 bis 450 € und mit detaillierter Dokumentation und Leckageermittlung bis ca. 900 €. Der Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen gibt Hilfestellung bei der Suche nach zertifizierten Dienstleistern.

4 Schimmelpilz

Schimmelpilz-Wachstum entsteht, wenn **an inneren Oberflächen** (Raumumschließung oder in deren Nähe befindliche Einrichtungsgegenstände) die relative **Raumluftfeuchte** über längere Zeiträume Werte von **75 % oder mehr** erreicht. Das geschieht besonders an Oberflächen mit niedrigen Temperaturen. In älteren Gebäuden betrifft das häufig die Fenster. Dort wird zu hohe Feuchtigkeit an den Scheiben in Form von Kon-

densat direkt sichtbar. Bei modernen Fenstern mit guter Wärmedämmung ist dieses Phänomen nur noch lokal eingegrenzt bei tiefen Außentemperaturen und gleichzeitig hoher Feuchtigkeitsfreisetzung (z.B. während und unmittelbar nach Duschbädern) feststellbar. Ehe der Feuchtigkeits-Niederschlag am modernen Fenster auftritt, ist die kritische Grenzfeuchte an anderen Oberflächen meist schon - leider unsichtbar - erreicht worden und bewirkt dort nach einiger Zeit das unerwünschte Schimmelpilz-Wachstum.

Zumeist handelt es sich bei den betroffenen Oberflächen um die sogenannten konstruktiven, geometrischen oder stoffbedingten **Wärmebrücken**. Das sind vor allem die Flächen im Nahbereich von Raumkanten und -ecken. Aber auch zu dicht an Außenwänden befindliche bzw. auf kalten Fußböden stehende Einrichtungsgegenstände sowie unzweckmäßig angebrachte Wandverkleidungen können bei unzureichender Hinterlüftung Oberflächentemperaturen verursachen, die deutlich unter denen der frei zugänglichen Flächen liegen.

Bild 8 zeigt den Effekt der zusätzlichen Dämmung einer 40 cm-Klinkerwand hinsichtlich der sich einstellenden inneren Oberflächentemperaturen bei gleichbleibender Raum- und Außenlufttemperatur. Sie erhöht sich infolge der Wärmedämmung von 14,3 °C (ohne zusätzliche Wärmedämmung) auf 19,5 °C (mit zusätzlicher Wärmedämmung).

Um diese Problematik zu reduzieren, darf deshalb vor allem die **Wärmedämmung** der wärmeübertragenden Umfassungsfläche ein bestimmtes Maß nicht unterschreiten. Wie

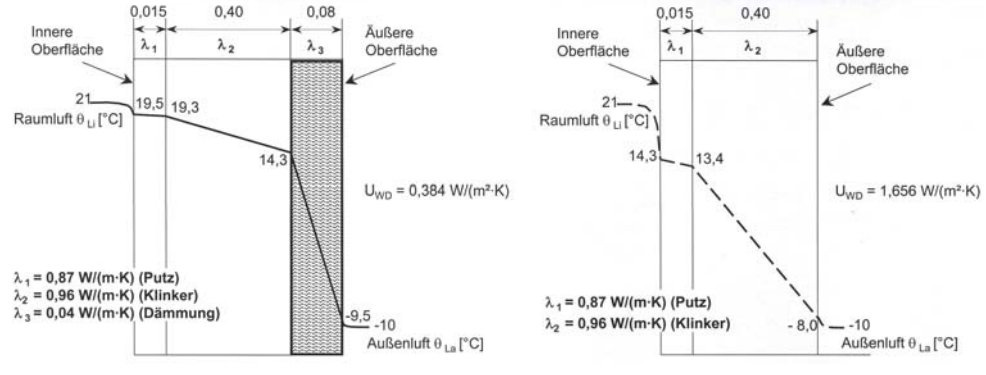


Bild 8: Vergleich des Temperaturverlaufes durch Wände mit unterschiedlicher Wärmedämmung

gut die Wärmedämmung mindestens sein sollte, ist nach DIN 4108-2 bzw. DIN EN ISO 13788 über die Einhaltung des zulässigen Mindestwertes für den sogenannten Temperaturfaktor f_{Rsi} mit

$$f_{Rsi} = (\theta_{si} - \theta_{au})/((\theta_i - \theta_{au}) \geq 0,70$$

am Beispiel von Wärmebrücken geregelt.

Dabei bedeuten (in [°C]):

θ_{si} innere Oberflächentemperatur,

θ_{au} Außenlufttemperatur und

θ_i Innenlufttemperatur.

Eine weitere Empfehlung, die Ergebnis wissenschaftlicher Untersuchungen des IBP der Universität Stuttgart ist, besagt, dass **Einrichtungsgegenstände** in einem Abstand von mindestens 10 cm von Außenwänden aufgestellt werden sollten. Gleichzeitig muss eine wirksame Hinterlüftung durch ungehinderten Luftzutritt unterhalb und Luftaustritt oberhalb derselben möglich sein.

Anzumerken ist, dass zur Schimmelpilz-Prophylaxe neben einer ausreichenden und sorgfältig ausgeführten Wärmedämmung auch noch folgende Vorsorgemaßnahmen Beachtung finden sollten:

- Heizung aller, auch der seltener genutzten Räume auf im Tages-Mittel mindestens 16 °C bei guter bzw. 18 °C bei weniger guter Wärmedämmung,
- ausreichende Lüftung aller ständig genutzten Räume (siehe Infoblatt 6.2 Wohnungslüftung) und
- Vermeidung extensiver Feuchtefreisetzung (z.B. durch freies Wäschetrocknen und unabgedeckte Aquarien in Wohnräumen) in der Heizperiode und insbesondere der Übergangszeit.

5 Baustoffauswahl / Raumluftqualität

Die Qualität der Raumluft hat entscheidende Auswirkungen auf das Wohlbefinden des Gebäudenutzers.

Aufgrund der Tatsache, dass sich die meisten Menschen mindestens 2/3 des Tages in geschlossenen Räumen aufhalten, ist es von größter Bedeutung, dass wir hohe Anforderungen an die Raumluft unserer Gebäude stellen. Wie im Punkt 2 und 3 beschrieben, kann durch richtiges Lüften (einhalten der Mindestluftwechselrate) die relative Luftfeuchte sowie der Anteil an Sauerstoff und Kohlenmonoxid in der Raumluft optimiert werden. Die in den genannten Normen geregelten Vorgehensweisen berücksichtigen in der Regel jedoch nicht den Einfluss zusätzlicher Emissionsquellen auf die Raumluftqualität. D.h. nach dem derzeitigen Stand des Wissens, kann es trotz Einhalten der Mindestluftwechselrate zu Schadstoffanreicherungen in der Raumluft kommen.

Gebäude sollten deshalb grundsätzlich so gebaut werden, dass eine Beeinträchtigung der Raumluftqualität durch Luftverunreinigungen weitestgehend ausgeschlossen werden kann.

Die Einträge in die Raumluft erfolgen dabei auf sehr unterschiedliche Weise:

- Eintrag von Schadstoffen über die Außenluft (z.B. Abgase)
- Eintrag von Schadstoffen durch Emissionsquellen im Raum (z.B. Bauprodukte)
- Eintrag von Schadstoffen durch die Art der Nutzung (z.B. Lagerung chemischer Erzeugnisse, Dünger, Pestizide).

Nahezu jede Baumaßnahme, egal ob Neubau eines Einfamilienhauses oder Renovierung eines Zimmers (unabhängig des Umfangs), führt in der Regel zu Auswirkungen auf die Raumluft. Unter Auswirkungen auf die Raumluft versteht man dabei die Belastung der Raumluft durch Emissionen z.B. von chemischen Substanzen und freien Fasern aus Baumaterialien sowie Stäuben hervorgerufen durch die Verarbeitung etc. über die empfohlenen Normalkonzentrationen für Innenräume hinaus.

Exemplarische Zusammenstellung von Substanzklassen / Emissionsquellen

Tabelle 8: „Was kann wo enthalten sein?“

Nr	Substanzklasse	Quelle (Bauprodukte bzw. bauliche Nutzung)
1	Stäube	Abrieb von Fußböden, z.T. weichmacherhaltige Dämmstoffe Verarbeitung von Bauprodukten
2	Kohlenmonoxid	Defekte und schlecht ventilierte Heizungsanlagen
3	Radon	Untergrund (in regional begrenzten Gebieten)
4	Formaldehyd (HCHO)	Holzwerkstoffe, säurehärtende Lacke

Nr	Substanzklasse	Quelle (Bauprodukte bzw. bauliche Nutzung)
5	Flüchtige organische Verbindungen (VOC) darunter	Lösemittelhaltige Produkte, wie Farben und Lacke, Fußbodenkleber, Teppichböden
	Alkane	
	Aromaten	
	Aldehyde (o. HCHO), Ketone	
	Ester	Besonders sog. Biofarben
	Alkohole	
	Terpene	Hölzer
	Glykole	
	chlorierte Kohlenwasserstoffe	Abbeizer
6	Weichmacher	PVC-Böden, -Tapeten
7	Biozide	Holzschutz, Topfkonservierer
8	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	Estriche, Fußbodenkleber auf Teerbasis
9	Mikrobielle flüchtige organische Verbindungen(MVOC)	Schimmelpilze

Rechtlich gesehen liegen nicht für alle Luftschadstoffe verbindliche Angaben zu Richtwerten in Innenräumen vor. In der Regel existieren deshalb nur für eine Teilgruppe von Schadstoffen Konzentrationsempfehlungen (siehe Tabelle 8), während die Immissionen in der Außenluft durch zahlreiche Gesetze und Verordnungen geregelt und limitiert sind (insbesondere durch das Bundes- Immissionsschutzgesetz (BImSchG) mit seinen Verordnungen und durch die TA Luft (technische Anleitung Luft)).

Richtwerte und Orientierungen für die Beurteilung von Innenraumluftverunreinigungen wurden von der adhoc-Arbeitsgruppe bestehend aus der Innenraumlufthygiene-Kommision (IRK) des Umweltbundesamtes und der Arbeitsgemeinschaft der obersten Landesgesundheitsbehörden (AOLG) erarbeitet. Diese können der Tabelle 9 entnommen werden.

Tabelle 9: Richtwerte der adhoc-Arbeitsgruppe IRK / AOLG; www.umweltbundesamt.de

Verbindung	**RW II** (mg/m^3)	**RW I** (mg/m^3)	Jahr der Festlegung
Toluol	3	0,3	1996
Dichlormethan	2 (24 h)[1)]	0,2	1997
Kohlenmonoxid	60 (1/2 h)	6 (1/2 h)	1997
	15 (8 h)	1,5 (8 h)	
Pentachlorphenol	1 $\mu g/m^3$	0,1 $\mu g/m^3$	1997
Stickstoffdioxid	0,35 (1/2 h)	-	1998
	0,06 (1 Woche)		
Styrol	0,3	0,03	1998
Quecksilber (als metallischer Dampf)	0,35 $\mu g/m^3$	0,035 $\mu g/m^3$	1999
Tris(2-chlorethyl)phosphat	0,05[2)]	0,005[2)]	2002
Bicyclische Terpene[3)]	2	0,2	2003
Naphthalin	0,02	0,002[4)]	2004
TVOC	[5)]		1999
Diisocyanate (DI)	[6)]		2000

[1] In Klammern ist, soweit er ausdrücklich festgelegt wurde, ein Mittelungszeitraum angegeben, z.B. 24 Stunden (h);

[2] Obwohl die Ergebnisse tierexperimenteller Studien auf ein krebserzeugendes Potenzial der Verbindung hinweisen und für krebserzeugende Stoffe das Basisschema zur Richtwertableitung keine Anwendung finden sollte, sieht die Kommission aufgrund des Fehlens von eindeutigen Hinweisen zur Genotoxizität und des Bedarfs an Orientierungshilfen die Ableitung von Richtwerten für TCEP für vertretbar an;

[3] Leitsubstanz α-Pinen;

[4] Der RW I-Wert für Naphthalin dürfte Schutz auch vor geruchlichen Belästigungen bieten

[5] Um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass die Innenraumluft eine Vielzahl von organischen Verbindungen enthält und gesundheitliche Beschwerden oft auch dann geäußert werden, wenn bestehende Richtwerte für einzelne Innenraumluftverunreinigungen eingehalten werden, wurden von der IRK Bewertungsmaßstäbe für die Beurteilung der Innenraumluftqualität mit Hilfe der Summe der **flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC**) erarbeitet. Es muss aber ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass diese TVOC-Werte nicht nach dem Basisschema abgeleitet sind. Zur Verdeutlichung der Unsicherheiten, die bei der Ableitung entstanden, wurden nicht einzelne Zahlenwerte, sondern Konzentrationsbereiche angegeben. Danach ist in Räumen mit TVOC-Konzentrationen zwischen 10 und 25 mg/m^3 ein Aufenthalt allenfalls vorübergehend täglich zumutbar (derartige Konzentrationen können im Falle von Renovierungen vorkommen). In Räumen, die für einen längerfristigen Aufenthalt bestimmt sind, sollte auf Dauer ein TVOC-Wert im Bereich von 1-3 mg/m^3 nicht überschritten werden. Ziel sollte es sein, in Innenräumen im langzeitigen Mittel eine TVOC-Konzentration von 0,2-0,3 mg/m^3 zu erreichen bzw. nach Möglichkeit sogar zu unterschreiten.

[6] Die Festlegung eines Richtwertes II für Diisocyanate (DI) wurde in der Arbeitsgruppe nicht für sinnvoll erachtet, da trotz anfänglich höherer Luftkonzentrationen bei der Verarbeitung von Diisocyanat-haltigen Lacken und Klebern (Konzentrationen im Bereich des MAK-Wertes) die Konzentrationen in der Raumluft rasch abfallen und nach Beendigung des Aushärtevorgangs nicht mit einer Dauerexposition zu rechnen ist. Generell ist beim Verarbeiten von DI-haltigen Produkten für gute Durchlüftung zu sorgen.

Von einer Ad-hoc Arbeitsgruppe aus Mitgliedern der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) des Umweltbundesamtes und der Arbeitsgemeinschaft der Obersten Gesundheitsbehörden der Länder (AOLG) werden für einzelne Stoffe Innenraumluft-Richtwerte auf der Grundlage eines 1996 veröffentlichten Basisschemas erarbeitet. Danach werden zwei Richtwerte festgelegt.

Richtwert II (RW II) ist ein wirkungsbezogener, begründeter Wert, der sich auf die gegenwärtigen toxikologischen und epidemiologischen Kenntnisse zur Wirkungsschwelle eines Stoffes unter Einführung von Unsicherheitsfaktoren stützt. Er stellt die Konzentration eines Stoffes dar, bei deren Erreichen bzw. Überschreiten unverzüglich Handlungsbedarf besteht, da diese Konzentration geeignet ist, insbesondere für empfindliche Personen bei Daueraufenthalt in den Räumen eine gesundheitliche Gefährdung darzustellen. Je nach Wirkungsweise des betrachteten Stoffes kann der Richtwert II als **Kurzzeitwert** (RW II K) oder **Langzeitwert** (RW II L) definiert sein.

Der Handlungsbedarf ist als unverzüglicher Prüfbedarf zu verstehen, z.B. im Hinblick auf Sanierungsentscheidungen zur Verringerung der Exposition.

Richtwert I (RW I) ist die Konzentration eines Stoffes in der Innenraumluft, bei der im Rahmen einer Einzelstoffbetrachtung nach gegenwärtigem Erkenntnisstand auch bei lebenslanger Exposition keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen zu erwarten sind. Eine Überschreitung ist mit einer über das übliche Maß hinausgehenden, hygienisch unerwünschten Belastung verbunden. Aus Vorsorgegründen besteht auch im Konzentrationsbereich zwischen RW I und RW II Handlungsbedarf. Der RW I wird vom RW II durch Einführen eines zusätzlichen Faktors (in der Regel 10) abgeleitet. Dieser Faktor ist eine Konvention.

Der RW I kann als Sanierungszielwert dienen. Er soll nicht „ausgeschöpft“, sondern nach Möglichkeit unterschritten werden.

Die nach dem Basisschema der Ad-hoc-AG IRK/AOLG abgeleiteten Richtwerte sind als Einzelstoffbetrachtung zu sehen und beinhalten keine Aussage über mögliche Kombinationswirkungen verschiedener Substanzen.

Weiterführende Informationen erhalten sie bei der Kommission Innenraumlufthygiene des Umweltbundesamtes (Fachgebiet II 1.3 („Gesundheitsbezogene Exposition, Innenraumhygiene")) bzw. bei der Ad-hoc Arbeitsgruppe (Fachgebiet II 1.2 („Toxikologie und Humanbeobachtung").

Tabelle 10: Richtwerte unabhängig von IRK/AOLG

Substanz	Anmerkung
Formaldehyd	Vom Bundesgesundheitsamt BGA wurde 1977 für Innenräume der Wert 0,1ppm (0,12 mg/m³) vorgeschlagen, der derzeit für beschichtete und unbeschichtete Holzwerkstoffe (Spanplatten, Tischlerplatten, Furnierplatten und Faserplatten) in der Chemiekalienverbotsverordnung vom 14.10.1993 (Anhang zu § 1, Abschnitt 3) als Ausgleichskonzentration in der Luft eines Prüfraumes seinen Niederschlag gefunden hat.
Kohlendioxid	Ein Wert von 0,15 % CO_2 sollte nicht überschritten werden. Es wird allgemein als hygienischer Innenraumluftrichtwert empfohlen (bei sitzender oder leichter Tätigkeit in Räumen mit raumlufttechnischen Anlagen). Grundsätzlich kann auch die "alte", traditionelle Pettenkofer-Zahl (0,10 %) zur Bewertung herangezogen werden.
Radon	Für Radon wird zur Zeit kein einheitlicher Wert als verbindlich angesehen. Zulässige Radonkonzentrationen für das Innere von Gebäuden werden derzeit in einer Arbeitsgruppe der Projektgruppe "Schadstoffe" der Bauministerkonferenz (ARGEBAU) diskutiert.
Leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe	Für Räume, die an Betriebsräume von chemischen Reinigungsanlagen angrenzen, existiert nach der 2. Verordnung zu Bundesimmissionschutz-Gesetz (BimschG) ein Grenzwert von 0,1 mg/m³ für Tetrachlorethen (Perchlorethylen).
Polychlorierte Biphenyle (PCB)	Die vom Bundesgesundheitsamt BGA 1990 empfohlenen Werte sind seit 1995 in einer Richtlinie der ARGEBAU bzw. in Ausführungsvorschriften einzelner Bundesländer wie z.B. Hessen und Berlin, die diese Richtlinie enthalten, baurechtlich reguliert: Raumluftkonzentration < 300 ng/m³ sind als langfristig tolerabel anzusehen. Bei Raumluftkonzentrationen zwischen 300 ng/m³ und 3000 ng/m³ sind die Quellen aufzuspüren und unter Beachtung der Verhältnismäßigkeit zu beseitigen oder zumindest eine Verminderung der PCB-Konzentrationen mit dem Zielwert 300 ng/m³ anzustreben. Bei PCB-Konzentrationen > 3000 ng/m³ sind unverzüglich Kontrollanalysen durchzuführen. Bei Werten > 3000 ng/m³ sind unverzüglich Maßnahmen zu ergreifen. Die Sanierungsmaßnahmen müssen geeignet sein, die PCB-Aufnahme der Betroffenen wirksam zu mindern. Die Eingriffswerte für PCB sind in der Richtlinie für die Bewertung und Sanierung PCB-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden enthalten.

Die empfohlenen Konzentrationen hängen des weiteren von den allgemeinen verfolgten Schutzzielen ab. Unter Schutzzielgruppen sollen hier die betroffenen Personengruppen verstanden werden, die sich in den Räumen kurzfristig bis dauerhaft aufhalten.

Schutzzielgruppen:

- Handwerker,
- Nutzer / Bewohner,
  - gesunde Erwachsene,
  - Kleinkinder,
  - Kinder,
  - ältere Erwachsene und
  - Kranke.

Neben der Unterteilung in die betroffenen Personengruppen, muss ebenfalls über die **Aufenthaltsdauer** innerhalb der Räume nachgedacht werden. Speziell für Handwerker sind die Annahmen in den Arbeitsschutzbestimmungen der Berufsgenossenschaften geregelt. Hier wird davon ausgegangen, dass sich ein gesunder Arbeiter im Durchschnitt 8 Stunden in dem entsprechende Arbeitsbereich aufhält und die entsprechenden Arbeitsschutzbestimmungen (z.B. Lüften, Schutzmaske etc.) eingehalten werden. Das hatte in der Vergangenheit zur Folge, dass schon die mittlerweile veralterten MAK-Werte (Maximale Arbeitsplatz Konzentrationen) nicht für Wohnbereiche anwendbar waren.

Ein weiteres Kriterium ist der **Gesundheitszustand** (die Stabilität des Immunsystems) von Menschen. Speziell Kleinkinder und ältere Erwachsene sind hier vor unnötigen Belastungen zu schützen. In Wohnbereichen, egal ob Wohnung oder Wohnhaus, ist die Mindestaufenthaltsdauer deutlich höher und liegt bei kranken Menschen bei bis zu 24 Stunden pro Tag.

Ein weiteres Kriterium ist die Unterscheidung zwischen Neubau- und Bestandsarbeiten. Insbesondere bei Renovierungsarbeiten ist auf einen ausreichenden Zeitraum zwischen Einbau der Bauprodukte und der Nutzung der Räume zu achten, damit ggf. vorhandene Emissionen abklingen können.

Im Rahmen von Neubauarbeiten kann schon im Vorfeld durch gezielte planerische Maßnahmen bzw. durch die Auswahl und Abstimmung der Bauprodukte, eine Reduzierung der baubegleitenden Emissionen erreicht werden. Hier sind bei der Planung in der Regel die Primäremissionen zu beachten. Im Gegensatz zum Neubau werden im Bestand auf alten, teilweise unbekannten Untergründen, neue Bauprodukte aufgebracht. Neben den Primäremissionen kann es zu sekundären Reaktionen zwischen alten und neuen Bauprodukten kommen.

Beim Kauf eines bestehenden Gebäudes sind deshalb diese Fragen hinsichtlich vorhandener Problemstoffe ebenfalls zu untersuchen. Durch Baumaßnahmen im Bestand können von Baumaterialien, die im Gebäude verdeckt vorhanden sind (z.B. Asbestfaserplatten, teerhaltige Kleber, chemischer Holzschutz) und ggf. aufgrund ihres Einbaus und Nutzung des Gebäudes bisher keine direkte Gefahr darstellten, Gefahrenpotentiale ausgehen. Falsche Sanierungstechniken, Unwissenheit aber auch bewusstes Ignorieren dieser Gefahrstoffquellen führten in der Vergangenheit zu Gesundheitsbelastungen bei Nutzern. Für diese Materialien bestehen mittlerweile Einsatz- und Verwendungsverbote, so dass sie in Neuprodukten auszuschließen sind.

Grundsätzlich sollten im Rahmen eines Vorsorge- bzw. Vermeidungskonzeptes nur emissionsarme Produkte und Materialien verwendet werden, da Emissionen aus Bauprodukten und insbesondere auch aus Ausstattungsgegenständen (z.B. Einbaumöbel $\rightarrow$ Harzausdünstungen) die Innenraumluftqualität entscheidend beeinflussen.

Beispiel:

Speziell im Bereich des Dachausbaus, der für den privaten Bauherrn eine beliebte Maßnahme der Wohnraumerweiterung darstellt, kann der in der Vergangenheit im Gebäudebestand verstärkt eingesetzte chemische Holzschutz im Dachstuhlbereich zu erheblichen Emissions- bzw. Gesundheitsbelastungen führen. Ein ehemals ungenutzter belüfteter Dachstuhl wird gedämmt und durch „Folien“ (z.B. Dampfbremsen, Unterspannbahnen etc.) wird die Luftdichtheit erhöht. Die Erhöhung der Raumtemperatur kann zum Austreiben des chemischen Holzschutzes führen. Offene, unverkleidete Hölzer

(z.B. Stützen, Pfetten, Sparren) stellen dabei potentielle Emissionsquellen dar. Speziell in den Sommermonaten heizen sich Dachstühle mit geringem sommerlichem Wärmeschutz erheblich auf. Aufgrund der Luftdichtheitsanforderungen können diese Emissionen nur noch durch gezielte Lüftung aus den betroffenen Räumen abtransportiert werden. Sofern durch den einzuhaltenden Mindestluftwechsel die Emissionen nicht ausreichend reduziert werden können, besteht die Gefahr, dass die in der Raumluft verbleibenden Schadstoffe zu gesundheitlichen Belastungen (z.B. Müdigkeit, Atemwegsreizungen, Allergien etc.) führen können.

Tabelle 11 stellt eine Zusammenstellung der wichtigsten Fragen dar, die im Zusammenhang mit einem Konzept zur Vermeidung von Luftschadstoffen in Innenräumen zu klären sind.

Tabelle 11: Frageliste Vermeidungskonzept

Frageliste			
		ja	nein
Schutzzielgruppe:	Handwerker		
	Nutzer / Bewohner		
	• Gesunder Erwachsener		
	• Kleinkinder		
	• Kinder		
	• Ältere Erwachsene		
	• Kranke		
Aufenthaltsdauer	bis 8 h		
	bis 16 h		
	bis 24 h		
Baumaßnahme	Neubau		
	Bestandsgebäude		
	unbewohnter Zustand		
	bewohnter Zustand		
Schadstoffeintrag	über die Außenluft		
	durch Emissionsquellen im Raum		
	durch die Art der Nutzung		
Mögliche Schadstoffe	Chemische Substanzen		
	Mineralische Substanzen (staubbildend)		
	Faserige Substanzen		
	Verdacht auf Schadstoffkontamination		
	durch Primäremissionen		
	durch Sekundäremissionen aufgrund Produktunverträglichkeiten		
Bauprodukte	Hinweis auf Emissionsprüfung		
	Hinweis auf Schadstoffprüfung		
	Hinweis auf		
	Technische Merkblätter		
	EG-Sicherheitsdatenblätter		
	Einzelprüfzeugnisse		
	Prüf-/ Zulassungszeugnisse (DIBt)		
	Umweltdeklarationen (EPD environmental		
Messungen	Raumluftmessung erforderlich		
	Materialanalyse erforderlich		

Bei Verdacht oder Vorliegen von Raumluftbelastungen mit chemischen Stoffen (z.B. Lösungsmittel aus Bodenbelagsklebern, chemischen Holzschutz) sollten Raumluftuntersuchungen in den betroffenen Gebäuden erfolgen, um das genaue Ausmaß der Belastungen qualitativ und quantitativ erfassen und mögliche Schritte zur Minimierung einleiten zu können. Einen Sonderfall der Raumluftuntersuchung bildet die Bestimmung des Schwebstaubes sowie seiner Inhaltsstoffe. Für den Bauherrn stellt die Durchführung einer Raumluftuntersuchung immer eine finanzielle Belastung dar. Deshalb sollte sie wenn möglich immer nur als Kontrollmessung dienen. Viele Fragen können nämlich im Vorfeld relativ kostensparend geklärt werden. An dieser Stelle sei auch darauf hingewiesen, dass Geruchsbelästigungen durch Schadstoffe möglich sind, bei Kontrollmessungen die toxikologisch empfohlenen Konzentrationen jedoch oftmals unterschritten werden. Das liegt unter anderem daran, dass der Zusammenhang zwischen Geruch und toxischer Wirkung nicht immer im gleichen Verhältnis steht und Gerüche sehr subjektiv von Menschen wahrgenommen werden können.

Ob belästigende Gerüche (z.B. von Farben, Lacken, dauerelastischen Fugenmassen), reizende Stäube oder giftige Schadstoffe (chemischer Holzschutz), Ziel muss eine grundsätzliche Vermeidung derartiger Stoffe sein. Durch Anwendung dieses Vermeidungsprinzips, kann der Eintrag von schädlichen Stoffen in das Gebäude auf ein Minimum reduziert werden. Basis des Vermeidungsprinzips ist, dass zur Kontrolle der eingebauten Produkte und ihrer Inhaltsstoffe, von den ausführenden Betrieben, technische Merkblätter und EG-Sicherheitsdatenblätter zu den verarbeiteten Produkten anzufordern sind. In den Ausschreibungs- bzw. Vergabeunterlagen sind durch den fachkundigen Planer diese erforderlichen Materialnachweise als Bedingung zu formulieren. Das gilt auch für die zu verwendenden Bauhilfsstoffe (Kleber, Spachtelmassen, Verfugungsmaterial etc.), die in der Regel in der Ausschreibung und Vergabe nicht gesondert ausgewiesen werden. Anhand dieser Bauproduktdeklarierung kann durch den Planer eine gezielte Auswahl an emissionsarmen, aufeinander abgestimmten Bauprodukten erfolgen.

Hinweis: Mit zunehmender **planerischer** Eigenleistung des privaten Bauherrn, übernimmt dieser auch verstärkt die Verantwortung für das Gebäude bzw. die Gebäudeausstattung. Sofern er die Auswirkungen von Baumaterialien auf die Raumluftqualität bauvertraglich nicht regelt bzw. durch entsprechende Beschreibung von Leistungstexten berücksichtigt, haftet er selbst für die möglichen Folgen.

Quellen:

[1] Energiegerechtes Bauen und Modernisieren; Grundlagen und Beispiele für Architekten, Bauherren und Bewohner; Wuppertal Institut; Planungsbüro Schmitz Aachen; Hrsg. Bundesarchitekten; Birkhäuser Verlag 1996

[2] Hompage Fachverband für Luftdichtheit im Bauwesen (flib): www.flib.de

[3] Energieagentur NRW: Luftdichte Gebäudehülle – Qualitätssicherung durch Blower-Door Messung (www.ea-nrw.de)

[4] DIN V 4108-7: Wärmeschutz im Hochbau – Luftdichtheit von Bauteilen und Anschlüssen. Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie Beispiele. November 1996

[5] FLiB e.V.: Technische Empfehlungen und Ergänzungen des FLiB e.V. zur DIN 4108-7, Ausgabe August 2001: „Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele“

[6] Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser, Dipl.-Ing. Kirsten Höttges, Dr.-Ing. Frank Otto, Dipl.-Ing. Horst Stiegel: Energieeinsparung im Gebäudebestand – Bauliche und anlagentechnische Lösungen. Berlin, Gesellschaft für rationelle Energieanwendung e.V., 3. Auflage, Januar 2001.

[7] Fachtagungsbeitrag; 12. Baufachtagung des e-u-z „Praxis der energetischen Gebäudemodernisierung“. Wilfried Walther: Luftdichtheit der Gebäudehülle – Haltbarkeit von Verklebungen. Hannover 2004.