

Glossar Schallschutz und Wohnungslüftung

Physik

Druck

Als Druck wird die Wirkung der Kraft auf eine Fläche bezeichnet.

$$\text{Druck} = \text{Kraft} / \text{Fläche}$$

Die Einheit des Druckes ist Pascal (Pa) oder bar. 1 Pa ist der Druck, der entsteht, wenn eine Kraft von 1 N (Newton) auf eine Fläche von 1 m² wirkt. Für größere Drücke kann auch das bar verwendet werden.

$$1 \text{ bar} = 1.000 \text{ mbar} = 100.000 \text{ Pa}$$

Der normale Luftdruck beträgt 101,325 kPa oder 1013,25 hPa bzw. 1013,25 mbar. Veraltete und angelsächsische Druckeinheiten können folgendermaßen umgerechnet werden:

$$1 \text{ mWS} = 9,81 \text{ kPa} = 98,1 \text{ mbar}$$

$$1 \text{ mmHg} = 133,3 \text{ Pa} = 1 \text{ Torr}$$

$$1 \text{ at} = 98,10 \text{ kPa}$$

$$1 \text{ atm} = 101,04 \text{ kPa}$$

$$1 \text{ psi} = 6,89 \text{ kPa}$$

Partialdruck

Luft ist ein Gemisch verschiedener idealer Gase. Nach dem Gesetz von Dalton setzt sich der Gesamtdruck eines Gasgemisches aus der Summe der einzelnen Partialdrücke (Teildrücke) zusammen. Für trockene

Luft ergeben sich folgende Anteile von Volumen und Partialdruck:

Gaskomponente	Volumenanteil (%)	Partialdruck (hPa)
Stickstoff	78,090	791,25
Sauerstoff	20,950	212,28
Edelgase	0,927	9,39
Kohlendioxid	0,033	0,33
Trockne Luft	100,000	1013,25

Natürliche Umgebungsluft enthält aber auch immer eine bestimmte Menge Wasserdampf. Der Druckanteil des in der feuchten Luft enthaltenen Wasserdampfes wird auch als *Wasserdampf-Partialdruck* (p_D) bezeichnet. Luft kann nicht beliebig viel Wasserdampf aufnehmen. Die maximal aufnehmbare Wasserdampfmenge hängt von der Temperatur ab und ist durch den Sättigungsdampfdruck (p_S) gekennzeichnet. Der *Wasserdampf-Sättigungsdruck* bei einer Lufttemperatur von 20 °C beträgt z. B. 23,38 hPa (Magnus-Gleichung). Bei -5 °C beträgt er 4,02 hPa. Das Verhältnis von vorhandenem Wasserdampfpartialdruck (p_D) zum Sättigungsdruck (p_S) wird auch als *relative Feuchte* bezeichnet.

Bau-Akustik

Schall

Schall stellt die Ausbreitung von kleinsten Druck- und Dichteschwankungen in elastischen Medien (Gase, Flüssigkeiten, Festkörpern) dar. Man unterscheidet zwischen Nutzschaall (Musik, Gespräche) und Störschall (Lärm, Verkehrs- und Fluglärm). Nach dem Frequenzbereich wird unterschieden zwischen:

Infraschall (keiner 16 Hz) für den Menschen nicht hörbar

Hörschall (16 Hz bis 20 kHz) für den Menschen hörbarer Schall

Ultraschall (20 kHz bis 1,6 GHz) für den Menschen nicht hörbar

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalls in der Luft beträgt bei 20 °C 343 m/s

Schallemission/Schallimmission

Mit dem Begriff *Schallimmission* wird die Einwirkung von Schall auf einen Ort beschrieben (am Ohr). Der Abstand von der Schallquelle ist hierbei unerheblich. Als *Schallemission* wird die Aussendung von Schall bezeichnet. Die zugehörige Messgröße ist als Schallleistungspegel L_W mit einem festgelegten Abstand definiert.

Schallpegel

Für die Beurteilung von Schallquellen wird das logarithmische Verhältnis entweder der Schallleistung W_1/W_0 (in W) oder des Schalldrucks p_1/p_0 (in Pa) verwendet. Die Einheit des Schallpegels ist das Bel (B). Das Dezibel (dB) ist der zehnte Teil. Der *Schallleistungspegel* (L_W) in dB ist folgendermaßen definiert:

$$L_W = 10 \cdot \lg (W_1/W_0)$$

Um die Stärke eines Schallereignisses beurteilen zu können, wird die Feldgröße Schalldruck herangezogen. Da die Leistung quadratisch vom Druck abhängt, ergibt sich für den *Schalldruckpegel* (L_p) in dB

$$L_p = 10 \cdot \lg (p_1/p_0)^2 = 20 \cdot \lg (p_1/p_0)$$

p ist der Effektivwert des tatsächlichen Schalldrucks in Pa. Als Bezugswert des Schalldrucks wird $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa vorgegeben (Hörschwelle). In den Gleichungen ist die Funktion \lg der dekadische Logarithmus. Eine Verdoppelung des Schalldrucks bedeutet eine Erhöhung des Schalldruckpegels um 6 dB.

Der Schalldruckpegel ist eine technische Größe und kann mit geeichten Mikrofonen gemessen werden. Das menschliche Gehör nimmt den Schall aber über den gesamten Frequenzbereich unterschiedlich wahr.

Um die messbare technische Größe des Schalldruckpegels an die Frequenzabhängigkeit des menschlichen Gehörs anpassen zu können, wird das Messergebnis über Filter bewertet. Es sind A-, B-, C- und D-Filter bekannt. Im technischen Bereich wird allgemein der *A-bewertete Schalldruckpegel* in dB (A) verwendet.

Energieäquivalenter Dauerschallpegel

Der energieäquivalente Dauerschallpegel wird aus der zeitlichen Mittelung von diskontinuierlichen Schallereignissen berechnet. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Energie der diskontinuierlichen Schallereignisse in einem festgelegten Zeitraum die gleiche Wirkung hat, wie die eines kontinuierlichen Geräusches gleicher Energie. Da weder das menschliche Gehör noch das Gehirn Schall mitteln kann, hat er nur eine Bedeutung für technische Berechnungen. Die Berechnung des energieäquivalenten Dauerschallpegels erfolgt nach DIN 45641 (L_{eq}) oder für Fluglärm nach DIN 45643 (L_{eq4}).

Schalldämmung

Die Schalldämmung ist eine Maßnahme zur akustischen Trennung von unterschiedlichen Räumen oder von draußen. Sie bildet die Grundlage der Bauakustik und wird durch das Schalldämmmaß R in dB gekennzeichnet. Es wird zwischen Luftschalldämmung und Trittschalldämmung unterschieden.

Schalldämmmaß

Das Schalldämmmaß R ist das Verhältnis der auf eine Wand auftreffenden Schallleistung W_1 zur gesamten durch die Wand durchgelassenen Schallleistung W_2 in dB.

$$R = 10 \cdot \lg(W_1 / W_2) = 20 \cdot \lg(p_1 / p_2) = 10 \cdot \lg(1 / \tau) = -10 \cdot \lg(\tau)$$

Die Größe τ ist der Transmissionsgrad. Das Schalldämmmaß hängt von der Frequenz und vom Einfallswinkel ab.

In der Bauakustik haben sich sogenannte Einzahlangaben für das Schalldämmmaß etabliert. Sie ermöglichen die Charakterisierung der Schalldämmung eines Bauteils (z. B. einer Wand) ohne Berücksichtigung der Frequenzabhängigkeit, was die Stellung von Anforderungen vereinfacht. Das *bewertete Schalldämmmaß* R'_w wird durch Vergleich des Terz- oder Oktavband-Spektrums des Schalldämmmaßes mit einer in der Norm DIN EN ISO 717-1 festgelegten Bezugskurve (typischer Verlauf für Massivbauteile) ermittelt. Das *bewertete Bau-Schalldämmmaß* R'_{w} bezeichnet das für ein Bauteil im eingebauten Zustand („am Bau“) gemessen oder berechnet wurde. Problematisch am bewerteten Schalldämmmaß ist, dass die Frequenzabhängigkeit verloren geht (für

Nicht-Massivbauteile kann nicht mehr auf den qualitativen Verlauf der Schalldämmkurve geschlossen werden) und nur ein Frequenzbereich von 100 bis 3150 Hz betrachtet wird. Da vor allem der Bereich unter 100 Hz von Nutzern und Bewohnern als sehr störend empfunden wird, kann das bewertete Schalldämmmaß nur bedingt als Maß für die Wirkung der Schalldämmung herangezogen werden. Besser ist stets eine frequenzabhängige Betrachtung.

Das *resultierende Schalldämmmaß* $R'_{w,res}$ gibt Auskunft über die Gesamtwirkung aller schallschutzmäßigen Eigenschaften der Bauteile des betrachteten Raumes.

Schallschutztechnische Bestimmungsgrößen

R Messtechnisch ermittelte Schalldämmmaß

Entsprechend Messnorm DIN EN ISO 140-3 erfolgt die Schallübertragung ausschließlich über das trennende Bauteil.

$$R = L_1 - L_2 + 10 \cdot \lg(S / A)$$

L_1 : Schallpegel im lauten Raum

L_2 : Schallpegel im leisen Raum

S: Fläche des trennenden Bauteils

A: äquivalente Absorptionsfläche

R' Bau-Schalldämmmaß

Die Messung erfolgt nach DIN EN ISO 140-4 und berücksichtigt alle beteiligten Wege (auch Schallübertragung über flankierende Bauteile). Das Bau-Schalldämmmaß ist auch Grundlage für die DIN 4109.

R' _w Bewertetes Bau-Schalldämmmaß

Das bewertete Bau-Schalldämmmaß bewertet die frequenzabhängige Schallübertragung in einem Einzahlwert und ist die maßgebende Kenngröße für die schalltechnische Auslegung des Baukörpers. Zur Bewertung werden die Frequenzbänder von 100 Hz bis 3150 Hz herangezogen.

R' _{w,res} Resultierendes Schalldämmmaß

Mit dem resultierenden Schalldämmmaß können die schalltechnischen Wirkungen von Bauteilen mit unterschiedlichen Schalldämmungen auf einen Raum ermittelt werden.

$$R'_{w,ges} = -10 \cdot \lg[1/S_{ges} \cdot \sum(S_j \cdot 10^{-R'_{wj}/10})]$$

für $j = 1$ bis n

D_{NT} Standard-Schallpegeldifferenz

Sie berücksichtigt die auf die Nachhallzeit bezogene Pegeldifferenz zwischen zwei Räumen.

$$D_{NT} = L_1 - L_2 + 10 \cdot \lg(T / T_0)$$

T: Nachhallzeit im Empfangsraum

T_0 : Bezugs-Nachhallzeit (für Wohn- und Arbeitsräume $T_0 = 0,5$ s)

D_{nt,w} Einzahlwert der bewerteten Standard-Schallpegeldifferenz

Zwischen $D_{nt,w}$ und R'_w besteht folgende Beziehung:

$$D_{nt,w} = R'_w + 10 \cdot \lg(0,32 \cdot V/S)$$

V: Volumen des Empfangsraumes

S: Fläche des trennenden Bauteils

Für quaderförmige, nicht versetzte Räume kann mit der Raumtiefe l auch geschrieben werden:

$$D_{nt,w} = R'_w + 10 \cdot \lg(0,32 \cdot l) = R'_w - 10 \cdot \lg(3,1/l)$$

T Nachhallzeit

Die Nachhallzeit T ist die Zeit, die nach Abschalten der Schallquelle benötigt wird, um die Schallenergie auf ein Millionstel des Anfangswertes abklingen zu lassen. Sie kann über die Sabine'sche Gleichung ermittelt werden:

$$T = 0,16 \cdot V/A$$

V: Raumvolumen

A: äquivalente Absorptionsfläche

A Äquivalente Absorptionsfläche

Die äquivalente Absorptionsfläche ist eine frequenzabhängige theoretische Fläche, die der Gesamt-Schallabsorption eines Raumes entspricht. Sie ist das Summenprodukt aller realen Umschließungsflächen des Raumes (Wände, Boden, Decke, Tür, Fenster, Möbel, Menschen) und deren Absorptionsgrad (materialabhängig).

$$A = \sum \alpha_j \cdot S_j$$

für $j = 1$ bis n

S: reale Bauteilfläche

α : Absorptionsgrad der Bauteilfläche

Messtechnisch kann sie über die Sabine'sche Gleichung aus der Nachhallzeit ermittelt werden. Für normale Wohnräume kann mit dem Einzahlwert $A = 10 \text{ m}^2$ gerechnet werden.

C Spektrum-Anpassungswert für mittlere und höhere Frequenzen

Nach DIN EN ISO 717-1 berücksichtigt dieser Wert die Art des Geräusches (Frequenz). Er wird zu den erforderlichen Einzahlwerten addiert.

C_{tr} Spektrum-Anpassungswert für tiefe Frequenzen (Fluglärm)

In der DIN 4109 werden zur Zeit Spektrum-Anpassungswerte nicht berücksichtigt.

- Koinzidenzgrenzfrequenz

Die Koinzidenzgrenzfrequenz gibt die Schallabstrahlungseigenschaften an. Unterhalb dieser

Grenzfrequenz wird der Schall schlecht, oberhalb gut abgestrahlt. Bei Grenzfrequenzen unterhalb 200 Hz spricht man von biegesteifen, oberhalb von 1600 Hz von biegeweichen Bauteilen.

- Vorhaltemaß

Das Vorhaltemaß wird als Sicherheit gegenüber der Berechnungsprognose eingeführt. Es wird als Abminderung der schalltechnischen Leistungsfähigkeit eines Bauteils verstanden und beträgt üblicherweise 2 dB (für Türen 5 dB).

Schallschutzklasse

Zur Vereinfachung der Kennzeichnung und Auswahl von Fenstern sind diese nach VDI 2719 in Schallschutzklassen von 1 bis 6 eingeteilt worden. Die bewerteten Schalldämmmaße des eingebauten Fensters R'_w und des Fensters im Prüfstand R_w betragen:

Schallschutzklasse	R'_w (dB)	R_w (dB)
1	25 – 29	> 27
2	30 – 34	> 32
3	35 – 39	> 37
4	40 – 44	> 42
5	45 – 49	> 47
6	> 50	> 52

Die Angaben in den Prüfzeugnissen der Fensterhersteller beziehen sich in der Regel auf R_w

Schallschutzniveau

Mit dem Schallschutzniveau wird die Anzahl der Überschreitungen eines Maximalpegelwertes während einer festgelegten Zeitspanne bezeichnet. Als Wertfestlegung wird das *NAT-Kriterium* verwendet (NAT = number above threshold).

NAT 6 x 55 dB(A) in der Nacht bedeutet, dass der Pegelschwellwert von 55 dB (A) sechsmal während einer Nacht (ohne obere Begrenzung) überschritten werden darf.

Beim Fluglärm werden zur Bewertung der Pegelüberschreitungen die sechs verkehrsreichsten Monate des Jahres zugrunde gelegt und auf eine Durchschnittsnacht bzw. einen Durchschnittstag umgerechnet. NAT 6 x 55 dB (A) für eine Durchschnittsnacht (von 22:00 bis 06:00 Uhr) bedeutet also, dass das Kriterium erst bei der 1080. Pegelüberschreitung in den sechs verkehrsreichsten Monaten erreicht wird. Dabei können während einer realen Nacht durchaus mehr als sechs Pegelüberschreitungen auftreten.

Energie

Wärmedurchgangswert (U-Wert)

Der Wärmedurchgangswert oder Wärmedurchgangskoeffizient U ist ein spezifischer Kennwert eines Bauteils. Er hängt von der Wärmeleitfähigkeit und der Dicke des verwendeten Materials sowie von den Konvektionsbedingungen und der Wärmestrahlung an den Oberflächen ab. Der U-Wert wird für den stationären Zustand angegeben (konstante Temperaturverhältnisse). Durch Multiplikation des U-Wertes mit der Fläche des Bauteils und der Temperaturdifferenz zwischen außen und innen werden die Transmissionsverluste durch die Bauteile ermittelt. Die Dimension ist $W / (m^2 \cdot K)$. Je höher der U-Wert, umso größer sind die Wärmeverluste.

Der Kehrwert des Wärmedurchgangskoeffizienten ist der Wärmedurchgangswiderstand R.

Energiedurchlassgrad (g-Wert)

Unter dem Energiedurchlassgrad versteht man jenen Anteil der Sonnenstrahlung, der durch eine transparente Fläche (Verglasung) dringt. Ein g-Wert von 0,6 bedeutet, dass 60% der eingestrahelten Energie ins Innere des Raumes gelangt. Der Rest der eingestrahelten Energie wird reflektiert oder von der Scheibe absorbiert. Der g-Wert nimmt allgemein mit der Dicke des Glases und der Anzahl der Scheiben ab.

Während in der Heizperiode ein hoher g-Wert vorteilhaft ist, führt er im Sommer zur Überhitzung des Raumes. Für den sommerlichen Wärmeschutz werden deshalb auch vollverglaste Fassaden oder Autoscheiben mit speziellen Sonnenschutzgläsern (Metallschichtbedampfung) verwendet. Durch die Abhängigkeit von Energiegewinn (g-Wert) und Energieverlust (U-Wert) sollte der Einsatz von Fenstern

immer in Hinblick auf die Himmelsrichtung und Verschattung optimiert werden.

Wärmerückgewinnung (Lüftung)

Wenn Zuluft und Abluft in einem Lüftungsgerät zusammengeführt werden, lässt sich auf einfache Art und Weise über einen Plattenwärmetauscher ohne Vermischung der beiden Luftvolumenströme die thermische Energie der warmen Abluft auf die zugeführte Frischluft übertragen. Die kalte Zuluft ist dadurch bereits vorgewärmt.

Die Effizienz der Wärmerückgewinnung wird durch die Rückwärmezahl, den Wärmerückgewinnungsgrad oder den Wärmebereitstellungsgrad ausgedrückt.

Unter Annahme, dass die zugeführte und abgeführte Luftmenge identisch ist, gibt die *Rückwärmezahl* (bezogen auf die Fortluft) das Verhältnis der Temperaturdifferenz zwischen Ab- und Fortluft zur Temperaturdifferenz zwischen Ab- und Außenluft an. Sie gibt also an, welcher Teil der fühlbaren Wärme der Abluft entzogen wird. Bei guten Wärmetauschern kann die Rückwärmezahl unter optimalen Verhältnissen bis zu 90 % betragen.

Der *Wärmerückgewinnungsgrad* wird aus dem Verhältnis des der Abluft entzogenen Wärmeinhalts zur Differenz zwischen dem Wärmeinhalt von Ab- und Außenluft gebildet. Er berücksichtigt also auch die latente Wärme der feuchten Luft.

Der *Wärmebereitstellungsgrad* ist das Verhältnis des der Zuluft zugeführten Wärmeinhalts zur Differenz zwischen dem Wärmeinhalt von Ab- und Außenluft. Er berücksichtigt auch die Abwärme des Gerätes.

Im Mittel über die Heizperiode kann mit 50 % Energieeinsparung für die Lüftungsverluste gerechnet werden.

Lüftung

Luftvolumenstrom

Der Volumenstrom ist eine Kenngröße für die Luftleistung in einem Lüftungssystem. Er wird meistens in m^3/h , bei größeren Luftleistungen auch in m^3/s angegeben. Da das Volumen eines Gases von der Temperatur abhängig ist, muss die Dichte beachtet werden. Ein m^3 Luft hat bei 20 °C eine Masse von 1,20 kg. Die Durchsatzmenge wird in kg/h bzw. kg/s angegeben.

Lüftung von Wohnungen

Durch Stoffwechselprodukte und Wohnprozesse sowie Ausdünstungen aus Baustoffen und Einrichtungsgegenständen werden Schadstoffe und Feuchtigkeit freigesetzt, die Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Bewohner sowie die Bausubstanz gefährden

können. Um die Konzentration der Schadstoffe zu begrenzen ist ein Austausch der belasteten Raumluft mit frischer Außenluft notwendig. Die Größe der erforderlichen Luftvolumenströme und die Lüftungstechnischen Maßnahmen für deren Einhaltung regelt die DIN 1946-6.

Luftwechselzahl

Die Luftwechselzahl n eines Raumes oder einer Wohnung ergibt sich, wenn der Außenluftvolumenstrom V_L auf das lichte Volumen des Raumes V bezogen wird.

$$n = V_L / V$$

Eine Luftwechselzahl von n gleich 1 pro Stunde (h^{-1}) bedeutet, dass die Luft des Raumes in einer Stunde voll ausgetauscht wird. Bei einem Luftwechsel $n = 0,5 h^{-1}$ wird die Raumluft in zwei Stunden ausgetauscht.

Luftdichtheit

Gebäude sind abhängig von der Bauweise und der verwendeten öffnungschließenden Bauteile (Fenster, Außentüren) sowie vom Gebäudealter und des Instandhaltungszustandes unterschiedlich luftdicht. Die Luftdichtheit wird mit einem genormten Differenzdruck-Messverfahren (Blower Door) festgestellt. Da die Messungen bei einem Differenzdruck von 50 Pa durchgeführt werden, wird die Dichtheit des Gebäudes durch einen n_{50} -Wert (Luftwechselzahl bei 50 Pa) gekennzeichnet.

Als Voraussetzung für den Einsatz von ventilatorgestützten Lüftungssystemen wird ein n_{50} -Wert von kleiner gleich $1,5 \text{ h}^{-1}$ gefordert. Für Passivhäuser und zur Erlangung eines KfW-Kredites sind n_{50} -Werte von kleiner gleich $0,6 \text{ h}^{-1}$ messtechnisch nachzuweisen. Um einen Luftaustausch vom Gebäudeinneren nach außen zu verhindern und Feuchteinträge zu vermeiden, wird auf der Innenseite der Wärmedämmung eine sogenannte Dampfsperre bzw. *Dampfbremse* angeordnet, die unbedingt luftdicht ausgeführt sein muss. Als Schutz gegen kalte Außenluft wird auf der Außenseite der Wärmedämmung eine *Windsperre* eingebaut.

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) fordert für neu errichtete und modernisierte Gebäude, dass die wärmeübertragende Umfassungsfläche einschließlich der Fugen dauerhaft luftundurchlässig abgedichtet ist. Wenn ein messtechnischer Nachweis für die Dichtheit durchgeführt wird, dürfen bei der Berechnung der Lüftungswärmeverluste geringere Werte angesetzt werden.

Eine hohe Luftdichtheit des Gebäudes ist eine notwendige Voraussetzung für den Wärme- und Feuchtigkeitsschutz, für den Brand- und Schallschutz sowie für die Wohnbehaglichkeit und Schadstofffreiheit.

Blower Door-Messung

Mit einer „Blower Door“ kann die Luftdichtheit einer Nutzungseinheit bestimmt werden. Dieses Druckdifferenzverfahren ist international genormt (DIN EN 13829). Mit einem in die Eingangs- oder Terrassentür luftdicht eingespannten Gebläses wird ein Druck von 50 Pa erzeugt und der zugehörige Luftvolumenstrom gemessen. Die Messung wird sowohl bei Überdruck als auch bei Unterdruck durchgeführt. Bei Unterdruck ist eine gezielte Lecksuche mittels Thermoanemometer im Bereich von Fugen, Anschlüssen und Durchdringungen möglich.

Im Ergebnis der Messung wird durch Division des Leckagestroms durch das lichte Raumvolumen die Luftwechselrate bei 50 Pa (n_{50} -Wert) ausgewiesen. Aus dem n_{50} -Wert kann der Luftwechsel bei natürlichen Wetterverhältnissen abgeleitet werden.

Fugendurchlässigkeit

Die Fugendurchlässigkeit von Fenstern ist nach DIN EN 12207 in 4 Klassen unterteilt und entweder auf die Gesamtfläche oder die Fugenlänge des Fensters bezogen. Die Prüf-Referenzdruckdifferenz beträgt 100 Pa. Bisher wurde die Dichtheit von Fenstern mittels des *Fugendurchlasskoeffizienten* a bewertet. Dieser ist auf eine Prüf-Referenzdruckdifferenz von 10 Pa bezogen. Die Luftdurchlässigkeit in m^3/h bei 100 Pa und der Fugendurchlasskoeffizient in den Klassen 1 bis 4 haben folgende Werte:

Klasse	pro 1 m^2 Fläche	pro 1 m Fugenlänge	Fugendurch- lasskoeffizient
	bei 100 Pa		bei 10 Pa
1	50	12,50	2,69
2	27	6,75	1,45
3	9	2,25	0,48
4	3	0,75	0,16

Freie Lüftung

Die freie Lüftung beruht auf Antriebskräften durch Wind und Dichteunterschiede infolge von Temperaturdifferenzen, ohne den Einsatz von motorgetriebenen Strömungsmaschinen (Ventilatoren). Ist die Infiltration von Außenluft nicht ausreichend, um den Volumenstrom zum Feuchteschutz zu erreichen, sind Lüftungstechnische Maßnahmen (ItM) erforderlich. Als Einrichtungen zur freien Lüftung zählen das öffnbare Fenster (Fensterlüftung), Außenluftdurchlässe und Lüftungsschächte (Schachtlüftung).

Ventilatorgestützte Lüftung

Bei der ventilatorgestützten Lüftung wird der Luftwechsel, der aus hygienischen und bautenschutztechnischen Anforderungen notwendig ist, durch den Einsatz von Ventilatoren realisiert. Es wird zwischen der *Unterdrucklüftung* (Abluftanlage), *Überdrucklüftung* (Zuluftanlage) und *Gleichdrucklüftung* (Zu-/Abluftanlage) unterschieden. Die Lüftungsanlagen können als Einzelraum-, Wohnungs- oder Gebäudezentralanlagen ausgeführt werden. Bei der Unterdruck- und Überdrucklüftung sind Außenluftdurchlässe und Überströmdurchlässe einzusetzen. Fehlende Außenluftdurchlässe führen bei der Überdrucklüftung zur Durchfeuchtung der Außenbauteile.

Hybridlüftung

Die Hybridlüftung ist eine Sonderform und stellt eine Kombination von Unterdrucklüftung (ventilatorgestützte Lüftung) und Schachtlüftung (freie Lüftung) dar. Die thermischen Auftriebskräfte unterstützen dabei den Ventilator. Wenn die Auftriebskräfte ausreichend sind, um den reduzierten Volumenstrom si-

cherzustellen, wird der Ventilator abgeschaltet. Die Umschaltung erfolgt außentemperaturabhängig.

Querlüftung

Als Querlüftung wird im Sinne der DIN 1946-6 die freie Lüftung bezeichnet, die aufgrund von Windkräften (Luv und Lee) in einer Nutzungseinheit über die Undichtigkeiten der Umschließungsflächen als Infiltration und Exfiltration bei geschlossenen Fenstern entsteht. Querlüftung in einem einzigen Raum setzt gegenüberliegende Fenster voraus. Mit der Querlüftung können keine hygienischen Forderungen in einer Wohnung abgedeckt werden, weil sich die Windrichtung ändert. Nach DIN 1946-6 muss die Querlüftung nutzerunabhängig den Volumenstrom zum Feuchteschutz ermöglichen. Ist das aufgrund der Dichtheit der Gebäudehülle (z. B. bei Schallschutzsanierungen) nicht möglich, sind Lüftungstechnische Maßnahmen erforderlich (z. B. Einbau von Außenluftdurchlässen).

Schachtlüftung

Schachtlüftung ist eine Kategorie der freien Lüftung. Der Luftwechsel wird durch thermische Auftriebskräfte in einem Abluftschacht realisiert.

Fensterlüftung

Fensterlüftung bezeichnet die aktive Nutzung des Fensters zu Lüftungszwecken. Sie kann über Kipp- oder Drehflügel der Fenster in Intervallen oder dauerhaft als Spaltlüftung realisiert werden. Die Fensterlüftung kann auch durch Fensterantriebe automatisiert werden.

Stoßlüftung

Den Begriff Stoßlüftung gibt es in der DIN nicht. Unter diesem Begriff ist eine freie Lüftung zu verstehen, mit der durch zeitlich begrenzte volle Fensteröffnung in einem oder mehreren Räumen einer Nutzungseinheit in bestimmten Zeitabständen (z. B. 8 x pro Tag für 10 Minuten) die Raumluft ausgetauscht wird, um als Mittelwert einen Nennluftwechsel zu erreichen.

Mindestlüftung

Die frühere Bezeichnung „Mindestlüftung“ wurde in der neuen Fassung der DIN 1946-6 in die Lüftungsbetriebsstufe „reduzierte Lüftung“ geändert.

Grundlüftung

Die frühere Bezeichnung „Grundlüftung“ wurde in der neuen Fassung der DIN 1946-6 in die Lüftungsbetriebsstufe „Nennlüftung“ geändert.

Bedarfslüftung

Die Bedarfslüftung ist eine Kategorie der ventilatorgestützten Lüftung, bei der der erforderliche Luftvolumenstrom mittels Sensortechnik an den jeweiligen Bedarf angepasst wird. Das kann in Stufen (Lüftungsbetriebsstufen) oder stetig durch Drehzahlregelung erfolgen.

Lüftungsbetriebsstufen

Zur Abdeckung unterschiedlicher Bedarfsfälle im Betrieb und bei der Auslegung von Einrichtungen zur freien oder Anlagen und Geräten zur ventilatorgestützten Lüftung in Wohnungen sind in der DIN 1946-6 *Gesamt-Außenluftvolumenströme* definiert. Die Festlegung des Gesamt-Außenluftvolumenstroms erfolgt abhängig von der Fläche der Nutzungseinheit grundsätzlich für die Nennlüftung. Die anderen drei Lüftungsbetriebsstufen sind davon abgeleitet.

Die Maßnahmen zur Realisierung des Gesamt-Außenluftvolumenstroms unterscheiden sich bei der freien Lüftung durch aktive Unterstützung mit Fensterlüftung von der ventilatorgestützten Lüftung. Die jeweilige Luft-In- und Exfiltration ist bei der Realisierung zu berücksichtigen. Folgende Lüftungsbetriebsstufen sind in der DIN 1946-6 festgelegt:

Lüftung zum Feuchteschutz

Durch den erforderlichen Außenluftvolumenstrom zum Feuchteschutz soll verhindert werden, dass auf Oberflächen kälterer Bauteile längerzeitige Taupunktunterschreitungen auftreten können, die zu Schimmelpilzwachstum führen. Deshalb ist dieser Luftvolumenstrom unabhängig von der Lüftungsart (freie oder ventilatorgestützte Lüftung), von der Gebäudedichtheit und vom Nutzerverhalten (bei geschlossenen Fenstern) jederzeit zu garantieren. Lässt sich der Außenluftvolumenstrom zum Feuchteschutz aufgrund der Gebäudedichtheit nicht nachweisen, sind Lüftungstechnische Maßnahmen erforderlich.

Reduzierte Lüftung

Der Außenluftvolumenstrom zur reduzierten Lüftung soll weitestgehend nutzerunabhängig die hygienischen Mindestanforderungen (z. B. bei zeitweiliger Abwesenheit von Nutzern) sowie den Bautenschutz (Feuchteschutz) sicherstellen.

Nennlüftung

Der Außenluftvolumenstrom für die Nennlüftung gilt bei normaler Nutzung der Wohnung. Bei der freien Lüftung kann der Nutzer hierzu mit aktiver Fensterlüftung herangezogen werden.

Die Komponenten und Geräte der ventilatorgestützten Lüftung sind nach dieser Lüftungsbetriebsstufe zu bemessen. Eine Auslegung ausschließlich für die Lüftung zum Feuchteschutz oder für die reduzierte

Lüftung ist bei der ventilatorgestützten Lüftung nicht zulässig.

Intensivlüftung

Diese Betriebsstufe dient zum Abbau von zeitweilig erhöhten thermischen und Schadstofflastspitzen (z. B. durch Kochen, Waschen, sommerliche Wärmelasten).

Zur Realisierung des Außenluftvolumenstroms für die Intensivlüftung darf sowohl bei der freien Lüftung als auch bei ventilatorgestützter Lüftung von einer Nutzerunterstützung durch manuelles Fensteröffnen ausgegangen werden, sofern das nicht aus Schallschutzgründen ausgeschlossen ist.

Bauphysik

Luftfeuchte

Luft kann in Abhängigkeit von der Temperatur eine bestimmte Menge Wasserdampf aufnehmen. Je höher die Temperatur, umso größer ist die maximal aufnehmbare Wasserdampfmenge. Der Wasserinhalt der Luft in g/(kg trockene Luft) wird als *absolute Feuchte* bezeichnet.

Weil nicht immer beliebig viel Wasser verdunsten kann, enthält die Luft meistens nur einen Teil der maximal möglichen Wasserdampfmenge. Das Verhältnis der vorhandenen zur maximal möglichen Wasserdampfmenge wird als *relative Feuchte* bezeichnet und in Prozent angegeben. Eine relative Feuchte z. B. von 50 % enthält nur die Hälfte der maximal aufnehmbaren Wasserdampfmenge. Die alleinige Angabe der relativen Feuchte ist für den Zustand der Luft unbestimmt. Es muss gleichzeitig immer die zugehörige Lufttemperatur bekannt sein.

Taupunkt

Wird feuchte Luft abgekühlt, steigt die relative Feuchte bis sie bei 100 % vollkommen mit Wasserdampf gesättigt ist. Die Temperatur, die sie bei diesem Zustand hat, wird als *Taupunkttemperatur* bezeichnet. Bei weiterer Abkühlung unter die Taupunkttemperatur tritt *Tauwasser* aus. Durch die Angabe der absoluten Feuchte ist der Taupunkt der Luft eindeutig bestimmt.

Feuchtetransport

Der Feuchtetransport in die Baukonstruktion kann auf zwei unterschiedlichen Wegen stattfinden:

1. Feuchtetransport durch Diffusion innerhalb des Baustoffes
2. Konvektiver Feuchtetransport in die Baukonstruktion durch Mitnahme von Wasserdampf beim Abströmen der Raumluft über Leckagen

Bei ungenügender Luftdichtheit der Gebäudehülle übersteigt der konvektive Feuchteeintrag in Außenbauteile um ein Vielfaches den durch Diffusion (leicht mehr als das Tausendfache). Durch Feuchteinträge in die Baukonstruktion verschlechtert sich das Wärmedämmvermögen der Bauteile und droht Tauwasseranfall mit *Schimmelpilzbildung* und Schädigung von Holzbauteilen. Deshalb ist es besonders wichtig, durch Dampfbremse- und Luftdichtheitsebenen und deren qualitative Ausführung den Feuchteeintrag in die Bauteile so gering wie möglich zu halten.

Feuchteeintrag durch Diffusion

Über Poren und Kapillaren diffundiert Wasserdampf in Bauteile. Die Menge des Feuchtetransports wird durch die dimensionslose werkstoffspezifische *Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl* (μ) bestimmt. Sie gibt an, um welchen Faktor das betreffende Material gegenüber Wasserdampf dichter ist als eine gleich dicke, ruhende Luftschicht. Je größer die μ -Zahl, desto dampfdichter ist ein Baustoff. Die *diffusionsäquivalente Luftschichtdicke* (S_D) in Meter eines Bauteils ergibt sich durch Multiplikation der Bauteildicke mit dem μ -Wert. Die μ -Werte für die gebräuchlichsten Baustoffe werden in der DIN EN ISO 12542 angegeben. So ist z. B. Polyethylen 5000 mal diffusionsdichter als Kalksandstein.

Um feststellen zu können, ob Tauwasser innerhalb der Bauteile ausfällt bzw. anschließend wieder austrocknen kann, werden Außenwand- und Deckenkonstruktionen entsprechend berechnet.

In den 60er Jahren entwickelte Helmut Glaser dazu ein grafisches Nachweisverfahren, das 1981 in die DIN 4108-3 übernommene wurde. Das eindimensionale *Glaser-Verfahren* dient der näherungsweise Ermittlung von Feuchtigkeitsanreicherung durch Diffusion in Gebäudebauteilen und geht von standardisierten Randbedingungen aus. Über der diffusionsäquivalenten Luftschichtdicke werden der Wasserdampf-sättigungsdruck und der Wasserdampfpartialdruck grafisch aufgetragen und anhand der Kurvenverläufe festgestellt, ob und an welcher Stelle Tauwasser ausfällt.

Im Glaser-Verfahren werden eine Kondensationsperiode (60 Tage im Winter) und eine Verdunstungsperiode (90 Tage im Sommer) unter festgelegten Randbedingungen betrachtet. Nach DIN 4108-3 gilt eine Konstruktion als zulässig, wenn die Kondensatmenge kleiner als die potentielle Verdunstungsmenge ist und ein Grenzwert (abhängig von der Konstruktionsart) nicht überschritten wird.

Durch die vereinfachten Annahmen unterliegt das Glaser-Verfahren gewissen Einschränkungen. Deshalb werden heute vermehrt rechnergestützte instationäre Berechnungsverfahren herangezogen. Bekannte Softwarelösungen sind: „Delphin“ (Institut für Bauklimatik, Dresden) und „WUFI pro“ bzw. „WUFI 2D“ (Fraunhofer-Institut für Bauphysik).

Alle beschriebenen Berechnungsmodelle gehen davon aus, dass die Schichten im Bauteil luftdicht sind und kein konvektiver Feuchteintrag stattfindet.

Konvektiver Feuchteintrag

Luft nimmt im Raum Wasserdampf auf. Ein konvektiver Feuchteintrag in die Außenbauteile entsteht, wenn durch Überdruck im Raum diese Luft durch Undichtheiten nach außen abströmt. Durch das Temperaturgefälle im Winter zwischen Innenraum und Außen kühlt sich die Luft unter ihre Taupunkttemperatur ab und es kommt zwangsläufig zur Kondensation innerhalb der Bauteile. Feuchteschäden und Schimmelpilzbildung sind die Folgen. Besonders gravierend sind die Schädigungen, wenn durch Zuluftgeräte ein konstanter Überdruck erzeugt wird und die Raumluft nicht kontrolliert über dafür vorgesehene Außenluftdurchlässe abströmen kann. Da die Luft nicht gleichmäßig über die gesamte Außenfläche des Gebäudes, sondern punktuell über einige nicht entdeckte Undichtheiten abströmt, kommt es dort zu beträchtlichem Tauwasseranfall. Die Größenordnung soll ein Beispiel verdeutlichen:

Bei einer Raumtemperatur von 22 °C und einer relativen Feuchte von 50 % enthält Luft pro m³ 9,75 g Wasserdampf. Die Taupunkttemperatur beträgt 11,1 °C und würde im Winter innerhalb der Außenwand garantiert unterschritten werden. Sollte in einem Einfamilienhaus 120 m³/h über Fugen abströmen und dabei auf 0 °C abgekühlt werden, so würde pro Tag mehr als 14 Liter Tauwasser in den Außenbauteilen freigesetzt werden (120 m³/h • 4,89 g/m³ / 1000 = 0,59 kg/h oder 14 Liter pro Tag).

Dampfsperre / Dampfbremse

Zur Vermeidung von Feuchteschäden in der Baukonstruktion und zusätzlicher Wärmeverluste durch unkontrollierten Luftwechsel werden bei Außenwandkonstruktionen sogenannte Dampfbremsen und Luftdichtheitsschichten raumseitig eingebaut. Unter unseren klimatischen Bedingungen wird meist die Luftdichtheitsschicht in Funktionseinheit mit einer diffusionshemmenden Schicht (Dampfbremse)

ausgeführt. Diese Funktionsschicht soll sowohl diffusionsoffen bleiben, um ein Austrocknen zu ermöglichen, aber auch gleichzeitig luftdicht angeordnet werden, um einen konvektiven Feuchteintrag zu verhindern.

Schimmelpilz

Sporen und Stoffwechselprodukte von Schimmelpilzen gelangen über die Atmung in den menschlichen Körper und können allergische und reizende Reaktionen, bei Risikogruppen auch Infektionen auslösen. Die am häufigsten beschriebenen Symptome sind Bindehaut-, Hals- und Nasenreizungen sowie Husten, Kopfweg oder Müdigkeit.

Das Schimmelpilzwachstum im Innenraum wird hauptsächlich durch drei Faktoren bestimmt: Feuchtigkeit, Nährstoffangebot und Temperatur. Die meisten Baumaterialien bieten den Schimmelpilzen ausreichende Nährböden und die Temperatur in Innenräumen liegt zumeist im günstigen Bereich. Der entscheidende Faktor für das Wachstum von Schimmelpilzen ist die Feuchtigkeit. Schimmelpilze können auf Materialien nur wachsen, wenn eine bestimmte freie Mindestfeuchte vorhanden ist. Optimal für Schimmelpilzwachstum sind relative Feuchtigkeitswerte an der Materialoberfläche von über 90 %. Besonders gute Wachstumsbedingungen ergeben sich, wenn es zu Tauwasserbildung auf oder im Material kommt.

Die Sanierung von schimmelpilzbefallenen Materialien in Innenräumen ist in der Regel sehr aufwändig. Die Schimmelpilze müssen vollständig entfernt werden, da auch von abgetöteten Schimmelpilzen allergische und reizende Wirkungen ausgehen können. Während bei glatten Oberflächen (Metall, Keramikfliesen, Glas) der Schimmelpilz mit Wasser und normalem Haushaltsreiniger entfernt werden kann, sind poröse Materialien (Tapete, Gipskartonplatten, leichte Trennwände, poröse Deckenverschalungen) zu entfernen bzw. auszubauen oder wenn sie nicht entfernt werden können (Mauerwerk oder Beton) bis in tiefer liegenden Schichten zu behandeln (Ausschleifen). Holz ist sehr schwer zu sanieren und muss meist ersetzt werden.