

# Bauphysikalische Anforderungen an geneigte Dächer

Hans-Peter Leimer und Jens Bode, Helgo Heuer, Frank Septinus

## Baugeschichtliche Entwicklung

Bauphysikalisch betrachtet, handelt es sich beim geneigten Dach um ein zweischaliges Kaldach mit Dachdeckung, deren Außenschale bzw. Dachdeckung im Winter mit kalter Außenluft hinterströmt wird. Die Dachneigung eines geneigten Daches beträgt  $> 5^\circ$ . Bei einer Dachneigung  $> 20^\circ$  spricht man auch von einem Steildach.

Die klassische Kaldachkonstruktion der früheren Jahrhunderte ist gekennzeichnet von einem großen mit Außenluft durchströmten Dachraum. Die vor Niederschlagsnässe schützende Außenschale mit der Dachdeckung besaß so einen ausreichend großen Abstand zum Wohnraum, so dass hindurch tretende Feuchtigkeit nicht unmittelbar den Wohnkomfort beeinträchtigte. Und der oftmals in Speicher- oder Lagerräume aufgeteilte Dachraum war vor allem auch eine thermische Pufferzone die im Winter eine zu schnelle Auskühlung und im Sommer eine zu starke Aufheizung des darunter befindlichen Wohnraumes verhinderte.

Das Bestreben den Dachraum auch für Wohnzwecke nutzbar zu machen, konnte erst mit der Entwicklung entsprechender Baumaterialien und Bautechnologien verwirklicht werden. Der belüftete Dachraum schrumpfte zu einer Belüftungsebene und die geneigte Dachebene hatte nun auch eine Wärmeschutzfunktion zu erfüllen. Das geneigte Dach entwickelte sich zu einer komplexen Bauteilkonstruktion mit mehreren Funktionsebenen. Die Hauptfunktionen Regenschutz und Wärmeschutz werden durch die Dacheindeckung und einer Wärmedämmschicht erfüllt. Damit die Wärmedämmschicht jedoch ihre Funktion dauerhaft erfüllen kann, muss sie durch entsprechend aufeinander abgestimmte Bauteil- und Belüftungsschichten vor Feuchtigkeit von innen und von außen geschützt werden.

Die vorläufig letzte Entwicklungsstufe des geneigten Daches geht einher mit den wachsenden Anforderungen an den energiesparenden Wärmeschutz. Nunmehr wird zugunsten eines verbesserten Wärmeschutzes der Sparrenzwischenraum vollständig mit Wärmedämmung ausgefüllt und auf eine Belüftungsschicht wird zur Gänze verzichtet. Dass dies bauphysikalisch überhaupt funktionieren kann, ist insbesondere den stofflich hochentwickelten Funktionsschichten Dampfsperre und Unterspannung zu verdanken.

Am Beispiel des geneigten Daches kann, wie oben geschildert, eindrucksvoll veranschaulicht werden, wie sich mit steigenden Bedürfnissen und den sich entwickelnden technischen Möglichkeiten das Bauen verändert. Diese Veränderungen sind geprägt von einer stetigen

Reduzierung der Bauteildicken und einer zunehmenden Vielfalt und Komplexität von Funktionskomponenten in Form von minutiös aufeinander abgestimmten Bauteilschichten bei gleichzeitig abnehmender Fehlertoleranz. Diese Entwicklung hat die Ingenieurdisziplin Bauphysik überhaupt erst hervorgebracht.

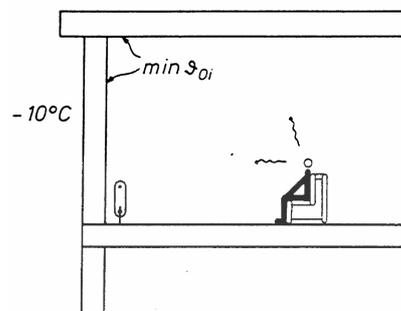
## Wärmeschutz

### *Allgemeines*

Auf dem Gebiet des Wärmeschutzes besteht die Aufgabenstellung in der Auswahl, Dimensionierung und Detailplanung von Wärmedämmmaßnahmen bei Neu- und Altbauten sowie bei Sanierungen historischer Bausubstanz für den Winter- aber auch für den Sommerfall. Mit Einführung der neuen Energieeinsparverordnung wird eine differenziertere Planung des Gebäudes aus bauphysikalischer Sicht erforderlich. Hierbei gilt es den Wärmebedarf in Hinblick auf Herstellungs- und Unterhaltungskosten zu optimieren und das energetische Verhalten des Gebäudes, somit die Bauteile, an die aktuellen Anforderungen und Normen, unter Berücksichtigung baukonstruktiver und ggf. denkmalpflegerischer Belange anzupassen.

Die Aufgabengebiete sind somit

- Mindestwärmeschutz
- Energiesparender Wärmeschutz
- Sommerlicher Wärmeschutz



**Abbildung 1** Wärmeschutz eines Gebäudes

Mindestwärmeschutz der Bauteile bedeutet Mindest-Oberflächentemperatur, somit

- kein Tauwasseranfall auf der Bauteiloberfläche (Feuchteschutz)

- Behaglichkeit im Raum

Energiesparender Wärmeschutz des Gebäudes bedeutet

- Verbesserung des Umweltschutzes
- Reduzierung von Energiekosten

Das geneigte Dach ist die ursprünglichste Dachform. Während es die vordergründigste Aufgabe eines jeden Daches ist, das Gebäudeinnere und seine Bewohner vor Niederschlag zu schützen und die Niederschlagsnässe sicher abzuleiten, sind im Verlauf der bauhistorischen und zivilisatorischen Entwicklung noch weitere Funktionen hinzugekommen, die dem Dach übertragen wurden: so z. B. der Schutz vor Kälte, vor Hitze, vor Lärm und vor Feuer.

Bauphysikalisch betrachtet, handelt es sich beim geneigten Dach um ein zweischaliges Kaldach, da die Außenschale bzw. die Dachdeckung im Winter mit kalter Außenluft hinterströmt wird. Die Dachneigung eines geneigten Daches beträgt  $> 5^\circ$ . Bei einer Dachneigung  $> 20^\circ$  spricht man auch von einem Steildach.

Die klassische Kaldachkonstruktion der früheren Jahrhunderte ist gekennzeichnet von einem großen mit Außenluft durchströmten Dachraum. Die vor Niederschlagsnässe schützende Außenschale mit der Dachdeckung besaß so einen ausreichend großen Abstand zum Wohnraum, so dass hindurch tretende Feuchtigkeit nicht unmittelbar den Wohnkomfort beeinträchtigte. Und der oftmals in Speicher- und Lagerräume aufgeteilte Dachraum war vor allem auch eine thermische Pufferzone die im Winter eine zu schnelle Auskühlung und im Sommer eine zu starke Aufheizung des darunter befindlichen Wohnraumes verhinderte.

Das Bestreben den Dachraum auch für Wohnzwecke nutzbar zu machen, konnte erst mit der Entwicklung entsprechender Baumaterialien und Bautechnologien verwirklicht werden. Der belüftete Dachraum wurde zu einer Belüftungsebene zwischen den Sparren reduziert und die geneigte Dachebene hatte auch eine Wärmeschutzfunktion zu erfüllen. Das geneigte Dach entwickelte sich so zu einer komplexen Bauteilkonstruktion mit mehreren Funktionsebenen. Die Hauptfunktionen Regenschutz und Wärmeschutz werden durch die Dacheindeckung und einer Wärmedämmschicht erfüllt. Damit die Wärmedämmschicht jedoch ihre Funktion dauerhaft erfüllen kann, muss sie vor Feuchtigkeit von innen und von außen durch entsprechende aufeinander abgestimmte Bauteil- und Belüftungsschichten geschützt werden.

### ***Anforderungen an den Mindestwärmeschutz***

Der bauliche Wärmeschutz von Holzsparrendächern über beheizten Dachgeschossen muss zunächst die bestimmungsgemäße Nutzung der Dachgeschossräume ermöglichen. Hierzu zählt

die Schaffung eines hygienischen Raumklimas und der dauerhafte Schutz der Baukonstruktion vor klimabedingten Feuchte- und Schimmelpilzschäden. Die Mindestanforderungen hierzu sind in der DIN 4108 formuliert. Demnach muss der Wärmedurchlasswiderstand eines Daches im Mittel mindestens  $R \geq 1,0 \text{ m}^2\text{K/W}$  betragen. Im mit Wärmedämmung ausgefüllten Gefachbereich zwischen den Holzsparren beträgt der geforderte Mindestwert für den Wärmedurchlasswiderstand  $R \geq 1,75 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz nach DIN 4108 können bereits durch den Einbau einer mindestens 80 mm dicken Wärmedämmung WLG 040 zwischen die Sparren erfüllt werden.

#### ***Anforderungen an den energieeinsparenden Wärmeschutz***

Darüber hinaus existieren Anforderungen an den energiesparenden Wärmeschutz. Der energiesparende Wärmeschutz dient dazu, den zur Aufrechterhaltung eines erforderlichen Gebäudeinnenklimas notwendigen Energieaufwand, sowohl während der Heiz- als auch während der Sommerperiode, auf ein per Verordnung vorgeschriebenes Maß zu reduzieren. Hierdurch sollen in erster Linie politische Zielsetzungen in Bezug auf Energieeinsparung und Reduzierung des  $\text{CO}_2$ -Ausstoßes durchgesetzt werden. Die Anforderungen an den energiesparenden Wärmeschutz sind in der Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV) vom 16.11.2001 kodifiziert. Rechtsgrundlage der EnEV ist das Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (Energieeinsparungsgesetz – EnEG) vom 22.07.1976 mit letzter Änderung vom 10.11.2001. Der Anwendungsbereich der Energieeinsparverordnung (EnEV) auf geneigte Dächer gliedert sich in drei Tatbestände:

Fall 1: Neubaustandard eines Daches

Fall 2: Ausbau eines bestehenden Dachgeschosses

Fall 3: Bauliche Änderungen an einem bestehenden (bereits wärmegeädämmten) Dach

#### ***Fall 1:***

Um den Neubaustandard eines Daches zu erreichen, muss man zunächst unterscheiden, ob es sich bei dem Gebäude um ein Gebäude mit normalen Innentemperaturen ( $\theta_i \geq + 19 \text{ }^\circ\text{C}$ ) oder um ein Gebäude mit niedrigen Innentemperaturen ( $+ 12 \text{ }^\circ\text{C} < \theta_i < + 19 \text{ }^\circ\text{C}$ ) handelt. Für den ersteren der beiden Fälle sind zwei Anforderungsgrößen, die die Dachkonstruktion unmittelbar betreffen, einzuhalten:

Spezifischer, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogener Transmissionswärmeverlust (entspr. mittlerer U-Wert)

### Jahres-Primärenergiebedarf

Beide Anforderungen beziehen sich auf das gesamte Gebäude, so dass die Bilanzierung der Anforderungsgrößen neben dem Dach auch alle anderen wärmeübertragenden Begrenzungsflächen des beheizten Gebäudevolumens mit einschließt. Das heißt, weniger gut gedämmte Bauteile können durch besser gedämmte Bauteile kompensiert werden. Jedoch immer unter der Voraussetzung, dass der Mindestwärmeschutz nach DIN 4108 nicht unterschritten wird. Um das Anforderungsniveau der EnEV zu erfüllen, ist, üblicher Dämmstandard der übrigen Außenbauteile vorausgesetzt, für das geneigte Holzsparrendach ein Wärmedurchgangskoeffizient von  $U = 0,20 \dots 0,30 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  erforderlich, wobei mit zunehmender Gebäudegröße das Anforderungsniveau abnimmt. D. h. die kleineren (bzw. strengeren) U-Werte sind eher für Einfamilienhäuser zutreffend. Die erforderliche Dämmdicke bei einem Dämmstoff der Wärmeleitfähigkeitsgruppe WLG 040 beträgt dann je nach Gebäudegröße  $d = 140 \dots 220 \text{ mm}$ . Bei diesen Dämmdicken bietet es sich an die Wärmedämmung über die gesamte Sparrenhöhe (Vollsparrendämmung) einzubauen und einen Teil (20...50 mm) der erforderlichen Dämmschichtdicke unterhalb der Sparren in einer Ausgleichslattung zu verlegen (Untersparrendämmung). Die Untersparrendämmung schützt gleichzeitig die Dampfbremsschicht, die üblicherweise an der Sparrenunterseite angebracht ist, und kann auch als Installationsebene genutzt werden.

Sowohl Vollsparrendämmung als auch Untersparrendämmung weichen von dem früher üblichen Dachaufbau mit Belüftungsebene und Dampfsperre ab. Die dauerhafte Funktionstüchtigkeit des unbelüfteten geneigten Daches mit oder ohne Untersparrendämmung ist nur möglich wenn alle Funktionsebenen, wie Dämmung, Dampfbremse, Unterspannung / Unterdeckung, evtl. Schalung und Eindeckung mit ihren physikalischen Eigenschaften sorgfältig aufeinander abgestimmt werden. Diese Planung bindet auch alle übrigen Lastfälle denen ein geneigtes Dach ausgesetzt ist mit ein, wie z. B. Material der Dacheindeckung, Dachneigung, Sparrenlänge, Dachflächenorientierung, nutzungsbedingtes Klima im Dachgeschoss, Besonderheiten des Außenklimas u. a.

#### Fall 2:

Beim Ausbau eines kalten Dachgeschosses zum beheizten Aufenthaltsraum handelt es sich um eine Erweiterung des beheizten Gebäudevolumens die in den Geltungsbereich der Energieeinsparverordnung fällt, wenn die Erweiterung zusammenhängend mindestens 30 Kubikmeter umfasst. Der bauliche Wärmeschutz des Daches ist dann nach dem Hüllflächen-Bilanzverfahren analog zu einem Neubau zu dimensionieren. Hierbei bleibt es dem Entwurfsverfasser freigestellt, ob er lediglich die wärmedämmte Hüllfläche des Daches oder die des ge-

samten Gebäudes bezüglich Transmissionswärmebedarf und Jahres-Primärenergiebedarf bilanziert. In der Regel wird bei einem Dachgeschossausbau gegenüber einem kompletten Neubau ein etwas besserer Wärmeschutz erforderlich, es sei denn die Baumaßnahme schließt die wärmeschutztechnische Verbesserung aller übrigen Außenbauteile des Gebäudes mit ein. Um die notwendige Wärmedämmung unterzubringen kann also eine Aufdopplung der bestehenden Holzsparren durchaus erforderlich werden, es sei denn es kann nachgewiesen werden dass eine Aufdopplung der Sparren unwirtschaftlich ist, da die Aufwendungen hierzu in keinem Verhältnis zu der üblichen Nutzungsdauer des Gebäudes steht. Wesentliche Erleichterungen im Anforderungsniveau des baulichen Wärmeschutzes ergeben sich für den Fall, dass die Gebäudeheizung zu mindestens 70 % aus erneuerbaren Energien (z. B. Solarwärme) oder aus einer Kraft-Wärme-Kopplung gespeist wird.

Beträgt der zum beheizten Gebäudevolumen hinzukommende Dachraum nur 100 Kubikmeter oder weniger, kann für die Dimensionierung des baulichen Wärmeschutzes das so genannte Bauteilverfahren nach Anhang 3 der EnEV angewendet werden. Demnach muss der Wärmedurchgangskoeffizient des geneigten Daches (ohne Fenster) mindestens  $U \leq 0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  betragen. Das entspricht einer Wärmedämmdicke von  $d = 140...180 \text{ mm}$ , je nach Holzsparrenanteil und Dämmmaterial.

#### Fall 3:

Wird ein bestehendes, bereits wärme gedämmtes, geneigtes Dach in der Form baulich verändert dass

das Dach komplett ersetzt wird

die Dachdeckung erneuert wird

das Unterdach erneuert wird

die raumseitige Bekleidung erneuert wird

Dämmschichten eingebaut werden

ist gemäß Energieeinsparverordnung der Wärmedurchgangskoeffizient der Dachfläche (ohne Fenster) oder Kehlbalkenlage auf  $U \leq 0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  zu begrenzen (ca. 140...180 mm). Im Unterschied zu Fall 2 (Dachgeschossausbau) wird hier vom Ordnungsgeber jedoch eine Zumutbarkeitsgrenze festgelegt. Diese besagt, dass die Anforderung auch dann als erfüllt angesehen werden kann, wenn die, entsprechend der vorhandenen Sparrenhöhe, höchstmögliche Dämmschichtdicke (Vollsparrendämmung) eingebaut wird. Insofern ist eine Aufdopplung der Sparren nicht erforderlich. Allenfalls wird das belüftete Dach zu einem unbelüfteten Dach umgebaut, so dass analog zum Fall 1 (Neubau) zur Vermeidung von Bauschäden eine bau-

physikalische Prüfung aller Funktionsebenen (Dampfsperre, Unterdach, Unterspannung, Dacheindeckung...) dringend erforderlich ist.

### ***Die Entwicklung und der Einsatz von Dachsystemen***

Aufgrund der zuvor dargestellten umfangreichen Abhängigkeiten ergibt sich ein höchst komplexes Bauteil!

Im ersten Teil dieser Veröffentlichungsreihe wurde ausschließlich der Mindestwärmeschutz und der Energieeinsparende Wärmeschutz betrachtet. Ergänzend, und diese Betrachtung wird in weiteren Veröffentlichungen dieser Reihe geschehen, müssen die bauphysikalischen Einflüsse des

Feuchteschutzes

Schallschutzes

Brandschutzes

berücksichtigt werden!

Diese unterschiedlichen bauphysikalischen Belastungen führen zu jeweils unterschiedlichen Anforderungen an die einzelnen Bauteilschichten wobei sich die Materialkennwerte der Baustoffe direkt auf die Qualität der Baumaßnahme auswirken. Da falsche Planungen oftmals erst nach Jahren zu Bauschäden führen, kommt der Abstimmung der Materialien je nach Anwendungsbereich und Konstruktion eine bedeutende Rolle zu. Hierbei sind die eingesetzten Bauteilschichten nicht einzeln zu beurteilen, sondern müssen in ihrem Schichtenverbund betrachtet werden!

Um die Planungssicherheit zu erhöhen werden von kompetenten Herstellern

### ***Dachsysteme***

angeboten. Diese bestehen aus sorgfältig aufeinander abgestimmten Bauteilschichten und berücksichtigen durch eine sorgfältige Abstimmung aller Baustoffe aufeinander alle Bereiche der Bauphysik. Für diese Systeme übernimmt der Systemanbieter für den Planer und Handwerker die bauphysikalische Kompetenz.

Bestandteil dieser Systeme ist der Systemaufbau mit den

Dämmstoffen

Unterspann-/Unterdeckbahnen

Dampfsperren/-bremsen

Kleber und Dichtbänder

Abdichtungslösungen für jegliche Anschlüsse.

Durch den Einsatz so speziell abgestimmter *Dachsysteme* können Qualität, Wirtschaftlichkeit und insbesondere die Funktionssicherheit von Dächern deutlich erhöht werden!

## Feuchteschutz

### *Allgemeines*

Die ein Gebäude belastenden Feuchten zu bewerten und damit Schäden an der Bausubstanz vorzubeugen ist eine grundsätzliche Fragestellung in der Bauphysik.

Es wird so erforderlich, den Feuchteandrang an das Gebäude, z.B. mittels dimensionierter Dränagen und geplanter Abdichtungsmaßnahmen zu reduzieren. Mit der Beurteilung des Schlagregenschutzes von Außenbauteilen und der Bestimmung des Tauwasseranfalls auf der raumseitigen Wandoberfläche bei schlecht wärmegeprägten Außenbauteilen, hier zumeist im Bereich von Wärmebrücken, kann ein feuchtetechnisch einwandfreies Gebäude konzipiert werden. Grundlage jeder Berechnung sind hierbei die kapillar-, diffusions- und wärmetechnischen Eigenschaften der Baustoffe.



**Abbildung 2** Tauwasserschutz (Oberfläche, Querschnitt)

Feuchteschutz der Bauteile bedeutet Vermeidung von Bauschäden infolge

1. Tauwasser an der Oberfläche
2. im Querschnitt
3. Niederschlag
4. Feuchte aus Erdreich oder angrenzenden feuchten Stoffen
5. Feuchte aus angrenzenden feuchten Stoffen

### *Niederschlagsfeuchte*

Eine der Hauptfunktionen eines Daches ist der Schutz des Gebäudes infolge Niederschlagswasser. Je nach konstruktiver Eignung oder Beschaffenheit des Daches unterscheidet man so in abgedichtete und in gedeckte Dächer. Alle nachfolgenden Betrachtungen beziehen sich auf gedeckte Steildächer, wobei von einer regelkonformen funktionstüchtigen Dachdeckung ausgegangen wird. Diese regelkonforme Ausbildung bezieht sich im

Wesentlichen auf die Einhaltung der Regeldachneigungen gemäß der Regeln des Dachdeckerhandwerks [4], die in Abhängigkeit der gewählten Dacheindeckung eingehalten werden muss.

### ***Wasserdampfdiffusion***

Neben der Feuchtebelastung von außen sind wärmegeämmte Außenbauteile auch durch Feuchte aus dem inneren Raumklima belastet.

Atmosphärische Luft ist ein Gasgemisch aus trockener Luft und Wasser. Eine Besonderheit dieses Gasgemisches ist es, dass die warme Luft mehr Feuchte aufnehmen kann als kältere Luft. Somit sind auch die Partialdrücke des Wasserdampfes von der rel. Luftfeuchte und der Temperatur abhängig. Auch wenn während der kalten Jahreszeit die Außenluft eine relative Luftfeuchte von mehr als 80 % aufweist, was der Regelfall ist, so ist sie dennoch bezüglich ihres absoluten Wasserdampfgehaltes deutlich trockener als aufgewärmte Raumluft mit nur 50 % relativer Luftfeuchte. Der Partialdruck des Wasserdampfes kann somit innen und außen erhebliche Unterschiede aufweisen. Bedingt durch das Bestreben nach Ausgleich, im Winter von innen nach außen bzw. im Sommer auch von außen nach innen, entsteht ein Wasserdampfdiffusionsstrom in Richtung des Wasserdampfdruckgefälles. Diesen auf Molekularbewegungen basierenden passiven Konzentrationsausgleich bezeichnet man als Diffusion. Wasserdampfdiffusion findet also zunächst innerhalb des Gasgemisches „feuchte Luft“ statt. Aber auch Festkörper sind für die Feuchtebewegung mittels Diffusion kein unüberwindbares Hindernis. Im Gegenteil: Aufgrund der vergleichsweise geringen Größe der Wasserdampfmoleküle (kleiner als die meisten anderen Luftmoleküle) weisen die allermeisten im Bauwesen verwendeten Baustoffe eine gute Wasserdampf-Diffusionsdurchlässigkeit auf. Je mehr offene Poren der Baustoff aufweist, desto durchlässiger ist er für Wasserdampfmoleküle. Als Maß dieses unterschiedlichen diffusionstechnischen Verhaltens der Baustoffe wurde die Größe  $\mu$  eingeführt.

Der Diffusionswiderstand einer Bauteilschicht wird durch die so genannte wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke  $s_d$  beschrieben. Diese Größe ermittelt sich aus der Materialkonstanten und der Schichtdicke  $s_d = \mu \cdot d$ . Die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke ist die Dicke einer ruhenden Luftschicht, die den gleichen Wasserdampf-Diffusionswiderstand besitzt wie die betrachtete Bauteilschicht bzw. das aus Schichten zusammengesetzte Bauteil. Nachfolgend sind einige  $s_d$ -Werte von typischen Dacheindeckungen zusammengestellt [8]:

- Biberschwanzziegel  $s_d \approx 0,15 \text{ m}$
- Holzschindeleindeckung  $s_d \approx 0,40 \text{ m}$
- Naturschiefer  $s_d \approx 3,4 \text{ m}$
- Kunstschiefer  $s_d \approx 6,0 \text{ m}$
- Blecheindeckung  $s_d > 50 \dots 1500 \text{ m}$
- Unterdach aus Vollholzschalung
  - mit Bitumenpappe V13  $s_d \approx 100 \text{ m}$
  - mit hochdiffusionsoffener Unterspannbahn  $s_d = 0,5 \dots 4,5 \text{ m}$
- Unterdach aus Holzschalung mit ca. 1 cm Abstand verlegt
  - mit hochdiffusionsoffener Unterspannbahn  $s_d = 0,3 \text{ m}$
- Unterspann- / Unterdeckbahnen
  - konventionell für belüftete Steildächer  $s_d \geq 3,0 \text{ m}$
  - hochdiffusionsoffen für unbelüftete Steildächer  $s_d \leq 0,1 \text{ m}$

Die Heizperiode stellt eine große klimabedingte Belastung für ein Außenbauteil dar, indem der in der warmen feuchten Raumluft enthaltene Wasserdampf im Bestreben nach Konzentrationsausgleich zur kälteren trockeneren Außenluft durch das Porengefüge der Baustoffe hindurch diffundiert. Dieser Prozess würde nur in Abhängigkeit des Diffusionsverhaltens der einzelnen Schichten ablaufen, wenn nicht über den Winter auch ein Temperaturgefälle über das Bauteil bestehen würde. So wird die feuchtwarme Raumluft bei ihrem Diffusionsweg durch das Bauteil abgekühlt. Es steigt während dieses Transportes die rel. Luftfeuchte an und kann ihren maximalen Wert von 100 % erreichen. In diesem Fall kommt es innerhalb des Bauteils zur Taupunktunterschreitung. Der Wasserdampf geht in flüssiges Wasser über, woraus sich je nach Intensität der Tauwasserbildung ein Feuchteschadensrisiko ergeben kann, da die Gebrauchstauglichkeit der Baustoffe oder des Bauteils nicht mehr gegeben ist..

Gegenüber der Tauwasserbildung im Bauteilinneren sind insbesondere alle wärmegeprägten Außenbauteile gefährdet, bei denen die Wärmedämmung weit innen oder eine Diffusionsdämmung weit außen liegt.

Beim geneigten Dach kann die Dacheindeckung nebst Unterdeckung oder Unterspannung einen vergleichsweise hohen außenliegenden Diffusionswiderstand darstellen. Im Gefachbereich zwischen den Sparren besteht daher die Gefahr, dass es zwischen Wärmedämmung und Unterdeckung bzw. Unterspannung zu Tauwasserausfall kommen kann.

Konstruktive Lösungen die eine bauschädliche Tauwasseransammlung im Bauteilinnern verhindern können sind u. a.:

#### Belüftetes Dach [1]

Hier wird eine Belüftungsebene über der Wärmedämmung zwischen den Sparren und z.B. Unterdeckung mit einem freien Lüftungsquerschnitt von mindestens 20 mm Höhe zur Abfuhr des durch das Bauteil diffundierenden Wasserdampfes an die Außenluft eingeplant. Das so genannte belüftete Dach stellt die konventionelle Variante dar, die wegen ihrer allgemein bekannten Nachteile heutzutage im Neubaubereich nur noch in Ausnahmefällen ausgeführt wird.

Die Nachteile sind:

- eingeschränkte Belüftung bei stark zergliederten Dächern (z. B. infolge von Gauben)
- Gefahr der Durchwehung der Wärmedämmung mit kalter Außenluft, somit Verlust der Dämmeigenschaften der Wärmedämmschicht
- Feuchteintrag und Feuchteausfall infolge nächtlicher Abkühlung der Luft in der Außenschale
- Beschränkung des baulichen Wärmeschutzes
- erforderlicher chemischer Holzschutz der Sparren

Anwendungsgebiete können sein:

- Dächer mit diffusionsdichter Bedachung (z. B. Metalleindeckung)
- Dächer mit diffusionsdichter Unter- oder Vordeckung (z. B. Schieferdeckung auf Vordeckung mit Bitumenbahn)
- besondere klimatische Belastung

#### Nicht belüftetes, diffusionsoffenes Dach

Nicht belüftete Dächer besitzen keine Belüftungsebene zwischen den Sparren und z.B. einer Unterspannung. Bei diesen Dächern wird der Diffusionstransport über den Dachquerschnitt nicht oder nur geringfügig eingeschränkt, sodass kein oder nur wenig Tauwasser im Bauteilquerschnitt ausfallen kann. Diffusionsoffen kann eine Dachkonstruktion bezeichnet werden, deren Unterdeck- oder Unterspannbahn eine wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke von  $s_d \leq 0,3 \text{ m}$  [6] aufweist.

Die durch das Bauteil hindurch diffundierenden Feuchten müssen entweder über eine ausreichende Belüftung über die Dacheindeckung (z. B. nicht vermörtelte Dachziegel) oder über eine zusätzliche Belüftungsebene unterhalb der Dachdeckung (z. B. zwischen der Konterlattung) abgeführt werden.

Diese Belüftung unterhalb der Dacheindeckung zwischen der Konterlattung, wie es beispielsweise bei Dachziegel- und Dachsteindeckungen die Regel ist, kann nicht als Belüftungsebene im Sinne der Begriffsbestimmung „belüftetes Dach“ angesehen werden. Diese Luftschicht, die sich relativ ungeschützt oberhalb der Unterdeckung bzw. Unterspannung befindet, kann unter dem Einfluss von Nässe, Flugschnee, Vereisung und Verschmutzung aber nicht die Funktion einer dauerhaften Feuchtigkeitsregulierung übernehmen.

#### Einbau einer Dampfsperre bzw. Dampfbremse

Durch den Einbau einer Dampfsperr- oder Dampfbremsefolie vor der dem Innenraum zugewandten Seite der Wärmedämmung soll der in die Bauteilkonstruktion eindiffundierende Wasserdampfstrom soweit verringert werden, dass es an der kalten Außenseite der Wärmedämmung vor der diffusionsbehindernden Unterdeckung zu keinem bauschädlichem Tauwasserausfall kommen kann.

Für die Gewährleistung der Gebrauchstauglichkeit der Dachkonstruktion, nimmt die Dimensionierung der Dampfsperre einen übergeordneten Stellenwert ein. D.h. die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke ( $s_d$ -Wert) muss sorgfältig abgestimmt werden mit

- den Nutzungs- und Klimabedingungen in den darunter befindlichen Räumen
- den regionalen Außenklimabedingungen
- den übrigen Komponenten der Dachkonstruktion
- der Dachneigung und Sparrenlänge
- der Himmelsorientierung der Dachfläche

Anhaltswerte für die Auslegung der Dampfsperre sind in DIN 4108-3 [1] enthalten. Demnach können unbelüftete Steildachkonstruktionen als bauphysikalisch unbedenklich eingestuft werden, wenn die außen- und raumseitig zur Wärmedämmschicht liegenden Schichten folgende  $s_d$ -Werte aufweisen:

Außen $s_{d,e}$	Innen $s_{d,i}$
$\leq 0,1 \text{ m}$	$\geq 1,0 \text{ m}$
$\leq 0,3 \text{ m}$	$\geq 2,0 \text{ m}$
$> 0,3 \text{ m}$	$s_{d,i} \geq 6 \cdot s_{d,e}$

Für belüftete, geneigte Dächer (Dachneigung  $\geq 5^\circ$ ) nach DIN 4108-3 [1] ist mindestens eine Dampfsperre deren wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke  $s_d \geq 2,0$  aufweist vorzusehen.

Prinzipiell gilt bei der Planung zu berücksichtigen, dass der  $s_d$ -Wert der Dampfsperre so groß wie notwendig und so niedrig wie möglich gewählt werden soll. Zum einen führt ein möglichst großer Dampfdiffusionswiderstand auf der dem Innenraum zugewandten Seite der Wärmedämmung zu der erwünschten Reduzierung des Diffusionsstromes. Zum anderen erhöht sich mit größer werdenden  $s_d$ -Werten aber auch die Gefahr, das unplanmäßig vorhandene bzw. klima- oder nutzungsbedingt eingedrungene Feuchtigkeit im Bauteil nicht mehr nach innen entweichen kann (so genannte Feuchtefälle) und die Holzkonstruktion einem allmählichen Fäulnisprozess ausgesetzt wäre. Aus diesem Grund sind unbelüftete Holzsparrendächer mit diffusionshemmendem Unterdach besonders schadensträchtig. Unbelüftete Dächer mit Vollsparrendämmung sind daher nach außen immer möglichst diffusionsoffen auszubilden ( $s_{d,e} \leq 0,3$  m).

Eine Verbesserung der Fehlertoleranz der Dachkonstruktion kann mit so genannten feuchteadaptiven Dampfbremsen aus Polyamidfolien erreicht werden. Diese Dampfbremsfolien besitzen einen variablen  $s_d$ -Wert mit Dampfbremsfunktion ( $s_d \uparrow$ ) während der Tauperiode im Winter und mit Trocknungsfunktion ( $s_d \downarrow$ ) während der Verdunstungsperiode im Sommer.

Daher eignen sich feuchteadaptive Dampfbremsen besonders bei

- Dächern mit konstruktionsbedingt diffusionshemmenden Unterdächern oder Vordeckungen (z. B. Metall-, Schiefer- oder Bitumenschindeldeckung)
- Dächer mit überdurchschnittlicher Klimabelastung (z. B. Nass- und Feuchträume)
- sehr steile Dächer mit Nordorientierung
- Dachgeschossausbau bei intakter Dachdeckung und Einbringen der Wärmedämmung von innen

### ***Feuchtekonvektion***

Als Feuchtekonvektion bezeichnet man den Feuchtetransport über die Luftströmung. Die durch Feuchtekonvektion über Undichtigkeiten auf der Innenseite des Dämmpaketes eindringende feuchtwarme Luft übertrifft den Feuchtestrom infolge Wasserdampfdiffusion um ein Vielfaches. Dementsprechend hoch ist auch das Feuchteschadensrisiko wenn der Wasserdampfes Bauteilquerschnitt kondensiert. Die Folgen sind neben erhöhten Lüftungswärmeverlusten auch Minderung der Dämmwirkung und erhöhte Gefahr von Holzfäule bis hin zu Schädigungen infolge ablaufenden Wassers aus der Konstruktion.

Die bisherige Erfahrung zeigt, dass der überwiegende Teil von klimabedingten Feuchteschäden an geneigten Dächern auf Feuchtekongvektion zurückzuführen ist. Aus den o. g. Gründen besitzt die Herstellung einer Luftdichtigkeitsebene auf der Innenseite des Dämmpaketes oberste Priorität. Diese Luftdichtheitsebene kann u.U. auch auf der Außenseite des Daches als Luft- / Windsperre ausgeführt werden. Anforderungen an die Luftdichtigkeit und Ausführungsbeispiele sind in DIN 4108-7 [2] enthalten. Das Messverfahren zur Überprüfung der Luftdichtigkeit ist in DIN EN 13829 [7] beschrieben (Blower-Door-Verfahren). In der Regel wird die Luftdichtigkeitsebene durch das luftdichte Verlegen einer Folie, die auch das Diffusionsverhalten des Bauteils beeinflusst, hergestellt. Hierzu müssen die Überlappungsstöße werkstoffgerecht und dauerhaft luftdicht verklebt werden. Die Anschlüsse an benachbarte Bauteile können zum Beispiel mit geeigneten Dichtungsbändern und Anpressleisten ausgeführt werden. Dachdurchbrüche sind mit Manschetten einzudichten.

Eine weitere Möglichkeit, eine luftdichte Bauteilfläche herzustellen, ist die Herstellung einer Ebene mittels großflächigen Bekleidungen oder Beplankungen. Diese können aus miteinander verspachtelten oder geklebten Gipskarton- oder Gipsfaserplatten bestehen. Für diesen Fall sollte eine doppelte Beplankung mit versetzt angeordneten Bauplatten gewählt werden. Die Anschlussfugen zu den benachbarten Bauteilen sind mit geeigneten Dichtbändern o. ä. dauerhaft luftdicht auszubilden und raumseitig mit einer mechanischen Schutzschicht zu versiegeln.

## **Literatur**

- [1] DIN 4108-3: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung, Ausgabe 07/2001
- [2] DIN 4108-7: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie – beispiele, Ausgabe 08/2001
- [3] DIN 68800-2: Holzschutz, Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau, Ausgabe 05/1996
- [4] Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks: Dachdeckerrichtlinien, Rudolf-Müller-Verlag, 2000
- [5] Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks: Merkblatt Unterdächer, Unterdeckungen und Unterspannungen, Ausgabe 09/1997
- [6] Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks: Merkblatt Wärmeschutz bei Dächern, Ausgabe 09/1997
- [7] DIN EN 13829: Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden, Ausgabe 02/2001
- [8] Hubweber, C.; Petrik, H.: Technische Regeln zur Voldämmung von Altdächern mit unterschiedlichen Dachdeckungen (außer Dachsteindeckung), Kurzberichte aus der Bauforschung, Bericht Nr. 103, Dezember 1994
- [9] Schulze, H.: Dampfsperren in Holzaußenbauteilen – Erfordernis und Risiko, Bauphysik 18 (1996), H. 6, S. 175 ff.
- [10] Künzel, H. M.: Kann bei voll gedämmten, nach außen diffusionsoffenen Steildachkonstruktionen auf eine Dampfsperre verzichtet werden?, Bauphysik 18 (1996), H. 1, S. 7 ff.
- [11] DIN EN ISO 12572: Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit, Ausgabe 09/2001

## **Schallschutz**

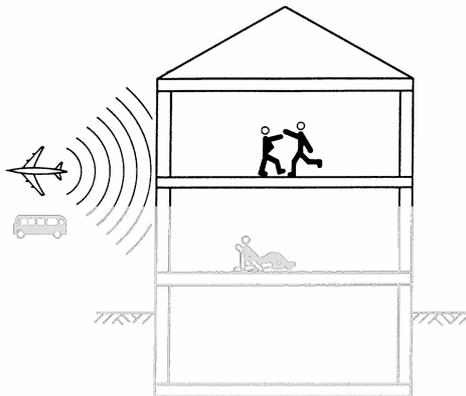
### **Allgemeines**

Der Schallschutz, die Bauakustik, in Gebäuden hat große Bedeutung für die Gesundheit und das Wohlbefinden des Menschen, ist also ein Teil des Umweltschutzes. Besonders wichtig ist der Schallschutz im Wohnungsbau, weil die Wohnung dem Menschen sowohl zur Entspannung und zum Ausruhen dient als auch den eigenen häuslichen Bereich gegenüber dem Nachbarn abschirmen soll. Auch in Schulen, Krankenanstalten, Beherbergungsstätten und

Bürobauten ist der Schallschutz von Bedeutung, um eine zweckentsprechende Nutzung der Räume zu ermöglichen.

Allerdings darf nicht erwartet werden, dass Geräusche von außen oder aus benachbarten Räumen nicht mehr wahrgenommen werden; der dafür erforderliche bauliche Schallschutz wäre heute in den meisten Fällen nicht mehr bezahlbar. Die Notwendigkeit gegenseitiger Rücksichtnahme durch Vermeidung unnötigen Lärms bleibt daher bestehen.

Das Arbeitsgebiet des Schallschutzes umfasst die ingenieurmäßigen Aufgaben im Bereich der Bau- und Raumakustik. Hierbei stehen die schalltechnischen Planungen aber auch Messungen und Überprüfungen des Luftschalldämm-Maßes sowie des Trittschallpegels von Bauteilen im Vordergrund.



**Abbildung 3 Schallschutz in Gebäuden**

### ***Grundlagen zum Schallschutz***

Das Schalldämm-Maß eines Bauteils ist ein Maß für das Verhältnis der auf ein Bauteil auftreffenden Schallenergie  $P_1$  zur übertragenen Schallenergie  $P_2$ . Um mathematisch besser handhabbare Zahlenwerte zu erhalten, wird der dekadische Logarithmus gebildet. Die logarithmische Darstellung entspricht zudem der Wahrnehmung des menschlichen Gehörs. Durch Multiplikation mit zehn können Dezimalbrüche vermieden und ganzzahlige Angaben erzielt werden:

$$R = 10 \cdot \lg(P_1/P_2) \quad (1.)$$

mit:

R	Schalldämm-Maß [dB]
$P_1$	auftreffende Schallenergie
$P_2$	übertragene Schallenergie

Das Schalldämm- Maß  $R$  wird in Terzbändern, in denen mehrere Frequenzen zusammengefasst sind, gemessen. Die Breite eines Frequenzbandes entspricht einer dritten Oktave, genannt Terz. Da das Schalldämm- Maß zum Vergleich mit den normativen Anforderungen herangezogen wird, sind die Fläche des übertragenden Bauteils sowie die akustischen Eigenschaften des Empfangsraumes, in dem die übertragene Schallenergie gemessen wird, zu berücksichtigen:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \cdot \lg(S/A) \quad (2.)$$

mit:	$R$	Schalldämm- Maß [dB]
	$L_1$	Schalldruckpegel im Senderraum [dB]
	$L_2$	Schalldruckpegel im Empfangsraum [dB]
	$S$	Fläche des Trennbauteils [m <sup>2</sup> ]
	$A$	äquivalente Schallabsorptionsfläche im Empfangsraum [m <sup>2</sup> S]

Im Allgemeinen werden Anforderungen an den Schallschutz nicht als frequenzabhängige Angaben sondern in Form von Einzahlangaben gestellt. Um aus dem frequenzabhängigen Verlauf des Schalldämm- Maßes einer Konstruktion das bewertete Schalldämm- Maß  $R_w$  zu erhalten, ist der Bewertungsalgorithmus der DIN EN ISO 717-1 [1] anzuwenden. Das Resultat ist ein durch Vergleich der Messwerte mit einer Standardkurve gewonnener einzahliger Wert. Da an der Schallübertragung nicht nur das trennende Bauteil sondern auch die flankierenden Bauteile beteiligt sind, müssen diese berücksichtigt werden. Messwerte, Berechnungsergebnisse und Anforderungsgrößen, die die flankierende Schallübertragung mit einbeziehen, werden durch ein Apostroph gekennzeichnet:  $R'_w$ .

### ***Anforderungen zum Schutz gegen Außenlärm***

Bei Dächern sind aufgrund ihrer Nutzung zwei generelle Bereiche des Schallschutzes zu unterscheiden:

- der Schutz gegen Außenlärm (Verkehr, Fluglärm)
- der Schutz gegen flankierende Schallübertragung (Reihen-/ Doppelhäuser)

Beiden gilt als Voraussetzung, dass der Raum unter dem Dach ein Schutzbedürfnis aufweist. Dies ist bei Wohn- oder / und Büroräumen der Fall. Wird der Dachraum nicht ausgebaut und z. B. nur als Lagerraum genutzt, beziehen sich die Anforderungen an den Schallschutz auf Dach und Decke des Aufenthaltsraumes unter dem Dachboden.

Als Anforderungsgröße dient das resultierende bewertete Schalldämm- Maß  $R'_{w,res}$ , welches die Schallübertragung über flankierende Bauteile ebenso berücksichtigt wie die Auswirkung von Teilflächen mit unterschiedlicher Schalldämmung. Bei Außenbauteilen sind dies

typischerweise Fenster, Rolladenkästen, Lüftungseinrichtungen, etc. Auf die Berechnung des resultierenden Schalldämm- Maßes wird im folgenden Kapitel näher eingegangen.

Die Anwendung der Korrekturwerte  $C_{tr}$  gemäß DIN 717-1 ist im deutschen Regelwerk bisher noch nicht vorgesehen, sollte jedoch in Fällen mit besonderen Anforderungen gesondert vereinbart werden.

Bauordnungsrechtlich verbindliche Anforderungen an den Schallschutz sind in der DIN 4109 „Schallschutz im Hochbau“ [2] definiert. Die Anforderungen gegen Außenlärm werden dabei für drei verschiedene Raumarten („Bettenräume in Krankenanstalten...“, „Aufenthaltsräume in Wohnungen...“ und „Büroräume“) in Abhängigkeit vom „maßgeblichen Außenlärmpegel“ für sogenannte Lärmpegelbereiche angegeben. Ein Lärmpegelbereich umfasst dabei immer eine Spanne des maßgeblichen Außenlärmpegels von 5 dB(A). Der maßgebliche Außenlärmpegel kann für die verschiedenen Lärmquellen

- Straßenverkehr
- Schienenverkehr
- Wasserverkehr
- Luftverkehr
- Gewerbe- und Industrieanlagen

entweder aus Berechnungen oder aus Messungen ermittelt werden.

Eine Besonderheit stellt die Lärmbelastung im Bereich von Flughäfen dar. Hierfür wurden vom Gesetzgeber mit der „Verordnung über bauliche Schallschutzanforderungen nach dem Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm (SchallschutzV)“ [3] gesonderte Anforderungen an bauliche Anlagen erlassen. Es werden zwei Schutzzonen definiert. In Schutzzone 1 liegt der äquivalente Dauerschallpegel über 75 dB(A), in Schutzzone 2 zwischen 67 und 75 dB(A). Krankenhäuser, Altenheime, Schulen etc. dürfen nicht in der Schutzzone eines Flugplatzes errichtet werden, Wohngebäude nur in der Schutzzone 2. Aufenthaltsräume für andere Nutzungen (Arbeits- Büroräume) sind zulässig. Gegenüber der DIN 4109 [2] werden die Anforderungen hier für Lärmpegelbereiche von 10 dB(A) Spannweite angegeben:

SchallschutzV			DIN 4109			
Schutz- zonen	Außenlärm- pegel [dB(A)]	erf. $R'_w$ [dB]	Lärmpegel- bereich	Außenlärm- pegel [dB(A)]	erf. $R'_w$ [dB]	
					Büro	Wohnungen
2	68 ... 75	<b>45</b>	IV	66 ... 70	35	40
			V	71 ... 75	40	<b>45</b>
1	> 75	<b>50<sup>1)</sup></b>	VI	76 ... 80	45	50
			VII	> 80	<b>50</b>	<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> <sup>2)</sup>	In Schutzzone 1 sind keine Wohnnutzungen zulässig Anforderungen sind aufgrund örtlicher Gegebenheiten festzulegen
--------------------------------	--

Im Vergleich wird deutlich, dass die Anforderungen des Gesetzes über die bauordnungsrechtlichen Anforderungen der DIN 4109 hinausgehen. Das Gesetz definiert ferner Regelungen über Entschädigung bzw. Erstattung bei Gebäuden und Grundstücken, die sich bereits in der Schutzzone befinden.

### **Schalldämmung von Dächern nach DIN 4109**

Geneigte Dächer bestehen aus mehreren Funktionsebenen (vergleiche vorhergehende Teile der Veröffentlichung *Bauphysikalische Anforderungen an geneigte Dächer*). Bei ausgebauten Dachräumen treten dabei i. A. folgende Schichten auf (von innen nach außen)

- innere Dachbekleidung
- Dämmung
- äußere Dachhaut (Eindeckung)

Die oben genannten Schichten bilden wie bei Trockenbaukonstruktionen ein zweischaliges System aus biegeweichen Schalen, dessen schalltechnisches Verhalten durch die Parameter Schalengewicht, Schalenabstand und Dämmstoffeigenschaften bestimmt wird.

Dächer mit einer Aufsparrendämmung entsprechen diesem Modell sehr genau. Die DIN 4109 [5] berücksichtigt jedoch ausschließlich Systeme mit einer Hartschaumdämmung nach DIN 18164, Teil 1, Anwendungstyp WD oder WS und WD. Das bewertete Schalldämm-Maß für ein solches Dach inklusive Dachdeckung wird mit  $R'_w = 37$  dB angegeben. Dieser Wert ist stark durch die relativ hohe dynamische Steifigkeit  $s'$  geprägt. Untersuchungen an einem Aufsparrendämmsystem der Firma URSA bestehend aus zwei Lagen Sperrholzplatten mit dazwischen liegender Mineralfaserdämmung haben jedoch gezeigt, dass schon die Sandwichelemente allein ohne Dachdeckung ein bewertetes Schalldämm-Maß von  $R'_w \geq 30$  dB erbringen [6]. In Verbindung mit einer dichten Dachdeckung (z. B. Betondachsteine nach DIN 1115) sind auch mit einem Aufsparrendämmsystem Schalldämm-Maße von  $R'_w \geq 40$  dB möglich.

Bei geneigten Dächern mit einer Zwischensparrendämmung sind die beiden Schalen durch die Sparren linienförmig verbunden, so dass hier ein weiterer Schallübertragungsweg zu beachten ist. Dennoch können auch hier Schalldämm-Maße von  $R'_w = 45$  dB erreicht werden.

Beispiele für ausgeführte Dächer finden sich im Beiblatt 1 zur DIN 4109 [5].

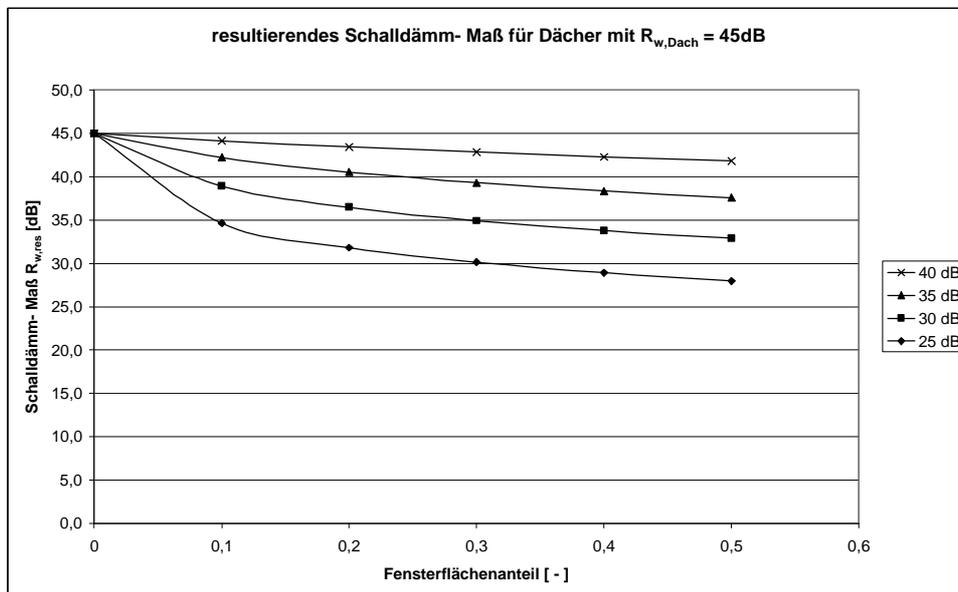
Der neuralgische Punkt bei der Schalldämmung von Dächern (und Außenbauteilen allgemein) sind jedoch die Fenster, da sie häufig eine wesentlich geringere Schalldämmung aufweisen als die Dachkonstruktion. Das resultierende Schalldämm- Maß  $R'_{w,res}$  errechnet sich aus den Schalldämm- Maßen der unterschiedlichen Teilflächen im Verhältnis zur Gesamtfläche nach folgender Formel:

$$R'_{w,res} = -10 \cdot \lg\left(\frac{1}{S_{ges}} \cdot \sum (S_i \cdot 10^{(-R_i/10)})\right) \quad (3.)$$

mit:

$R'_{w,res}$	resultierendes Schalldämm- Maß [dB]
$S_{ges}$	Gesamtfläche des Trennbauteils [m <sup>2</sup> ]
$R_i$	Schalldämm- Maß des Bauteils i [dB]
$S_i$	Fläche des Bauteils i [m <sup>2</sup> ]

Für ein typisches Sparrendach beträgt die Schalldämmung ca.  $R_{w,Dach} = 45$  dB. In Abhängigkeit vom Fensterflächenanteil und dem Schalldämm- Maß der Fenster kann das resultierende Schalldämm- Maß des Daches (inklusive Fenster) der folgenden Abbildung entnommen werden.



**Abbildung 4: resultierendes Schalldämm- Maß für Dächer mit einem bewerteten Schalldämm- Maß von  $R_{w,Dach} = 45$  dB in Abhängigkeit vom Fensterflächenanteil sowie vom Schalldämm- Maß der Fenster**

Aus Abbildung 4 wird deutlich, dass die resultierende Schalldämmung eines Daches in erster Linie durch die Schalldämmung der Fenster  $R_{w,\text{Fenster}}$  und in zweiter Linie durch den Fensterflächenanteil  $S_{\text{Fenster}}/S_{\text{ges}}$  bestimmt wird.

#### ***Mögliche Verbesserung der Schalltechnischen Eigenschaften von geneigten Dächern***

Einen großen Einfluss hat das Flächengewicht des Dachsystems. Hier können durch Massivdächer (Beton, Stahlstein, Fertigelemente) deutliche Erhöhungen der Schalldämm-Maße erreicht werden.

Sollen Schalldämm-Maße von üblichen Holzsparrendächern von über  $R'_{w,\text{res}} \geq 45$  dB erreicht werden, ist z. B. die raumseitige Verkleidung durch Federschienен elastisch von den Sparren zu entkoppeln. Das Flächengewicht sollte mindestens  $18 \text{ kg/m}^2$  betragen (z. B.  $2 \times 12,5 \text{ mm}$  GK). Die Schalldämmung einer solchen Konstruktion ist durch Messung im Prüfstand zu ermitteln. Der Fensterflächenanteil ist in Abhängigkeit vom Prüfergebnis der Dachkonstruktion und vom Schalldämm-Maß der Fenster individuell festzulegen. Überschlägig kann davon ausgegangen werden, dass bei einem Schalldämm-Maß der Fenster von  $R_{w,\text{Fenster}} = 40$  dB der Flächenanteil 20 % nicht übersteigen darf.

### **Neue Berechnungsmethode nach DIN EN 12354-3**

In der neuen europäischen Normung [7] werden Ansätze gemacht, die schalltechnischen Eigenschaften von Bauteilen aus den Materialeigenschaften zu berechnen. Analog zum Schalldämm- Maß aus Gleichung 1 wird hier jedoch der Transmissionsgrad als Verhältnis der abgestrahlten Schalleistung eines Bauteils zur auf das gesamte Außenbauteil einfallenden Schalleistung definiert und verwendet. Die energetische Addition der über alle beteiligten Übertragungswege transmittierten Schalleistung ergibt das resultierende Schalldämm- Maß des Außenbauteils. Dabei werden sowohl Teilflächen unterschiedlicher Schalldämmung (vergl. Gleichung 2) als auch alle flankierenden Übertragungswege gleichermaßen betrachtet:

$$\mathbf{R'_{w,res} = -10 \cdot \lg(St_{e,i} + St_f)} \quad (4.)$$

mit:	$R'_{w,res}$	resultierendes Schalldämm- Maß [dB]
	$\tau_{e,i}$	Verhältnis der abgestrahlten Schalleistung eines Fassadenbauteils i zur einfallenden Schalleistung infolge Direktübertragung
	$\tau_f$	Verhältnis der abgestrahlten Schalleistung eines flankierenden Bauteils f zur einfallenden Schalleistung infolge Flankenübertragung

Die Transmissionsgrade können aus akustischen Parametern der Bauteile, z. B. Norm-Schallpegeldifferenzen oder auch Schalldämm- Maßen rechnerisch bestimmt werden. Die dazu erforderlichen Angaben sollen hier nicht weiter beleuchtet werden. Für tieferegehende Informationen sei darum auf die Norm [7] verwiesen.

### **Flankierende Schallübertragung**

In ähnlicher Weise wie das Schalldämm- Maß ein Maß für die Übertragung von Schallenergie „durch“ ein trennendes Bauteil ist, kann auch für die Längsleitung durch flankierende Bauteile das sogenannte Schall- Längsdämm- Maß  $R_{L,w}$  definiert werden.

Bei schallschutztechnischen Betrachtungen zu geneigten Dächern wird häufig vergessen, dass die Dachkonstruktion entscheidend zur Schallübertragung zwischen benachbarten Nutzungseinheiten z. B. bei Dachgeschosswohnungen oder Reihenhäusern beitragen kann. Da es bei Gebäuden geringer Höhe ausreicht, die Trennwände nur bis unter die Dachhaut zu führen, kann es durch die durchlaufende Dachkonstruktion zu einer erhöhten flankierenden Übertragung kommen, so dass u. U. sogar die Mindestanforderungen an den Schallschutz nicht mehr eingehalten werden können.

Insbesondere bei Reihenhäusern mit einer zweischaligen Gebäudetrennwand sind die Erwartungen an den Schallschutz hoch. Auch wenn explizit keine erhöhten Werte vereinbart

sind, darf der Eigentümer den bei ansonsten mangelfreier Ausführung möglichen Schallschutz erwarten. Um hier jedoch gute Werte von  $R'_{w} \geq 60$  dB erreichen zu können, muss das Schall-Längsdämm-Maß  $R_{L,w} \geq 65$  dB sein.

Einige allgemeine Ratschläge hierfür sind:

- Bei Aufsparrendämmsystem sind hierfür zwischen oder unter den Sparren biegeweichen Vorsatzschalen erforderlich.
- Dämmungen aus Hartschaumstoffen sind im Trennwandbereich auszusparen und durch mineralische Faserdämmstoffe zu ersetzen.
- Die Dachlattung ist im Wandbereich mindestens durch einen Sägeschnitt zu trennen.
- Fugen sind luft- und schalldicht abzudichten.

### ***Allgemeine Anforderungen***

Ein Höchstmaß der Aufmerksamkeit bei der Gewährleistung des Schallschutzes von geneigten Dächern ist, wie eigentlich bei allen Baukonstruktionen, auf die ordnungsgemäße Ausbildung der Konstruktion zu legen, da schon kleinste Fehler in der Bauausführung den Schallschutz einer aufwendig geplanten und teuren Konstruktion zerstören kann.

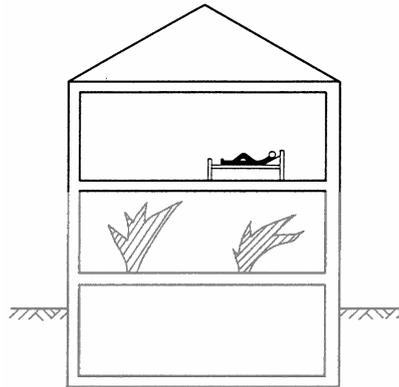
### ***Literatur***

- [1] DIN EN ISO 717-1: Akustik - Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 1: Luftschalldämmung, Ausgabe 01/1996
- [2] DIN 4109: Schallschutz im Hochbau – Anforderungen und Nachweise, Ausgabe 11/1989
- [3] SchallschutzV – Verordnung über bauliche Schallschutzanforderungen nach dem Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm vom 5. April 1974
- [4] Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm vom 30. März 1971
- [5] DIN 4109, Beiblatt 1: Schallschutz im Hochbau – Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren, Ausgabe 11/1989
- [6] BBS INSITUT Bericht 553-P6 Messung des Luftschalldämm- Maßes eines Aufsparrendämmsystems (TOPUP), 06/2004
- [7] DIN EN 12354-3 Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften - Teil 3: Luftschalldämmung gegen Außenlärm; Ausgabe 03/2000

## ***Brandschutz***

### ***Allgemeines***

Die Hauptaufgabe bei einer brandschutztechnischen Bearbeitung von Bauobjekten liegt in der Erarbeitung eines ganzheitlichen Brandschutzkonzeptes. Hierbei steht die Optimierung der Gesamtkonzeption unter Beachtung der vielfältigen Vorschriften Bestimmungen, Normen und Richtlinien unter Abstimmung mit den Beteiligten im Vordergrund, ohne die sicherheitstechnischen Forderungen zu vernachlässigen. Brandschutztechnische Berechnungen ergänzen hierbei ebenso das Konzept wie die Erstellung von Flucht-, Lösch- und Rettungsplänen für Personen sowie die Planung der Sicherstellung der bei historischen Gebäuden wertvollen Ausstattungen.



**Abbildung 5 Brandschutz der Konstruktion bedeutet: Sicherheit der Bewohner, Schutz von Sachwerten**

Die bei der Gebäudeplanung zu bewältigenden Aufgaben werden so immer komplexer, hier ergeben sich vielfältige Abhängigkeiten aus den konstruktiven, bauphysikalischen, statischen und baurechtlichen Belangen.

Immer neue Vorschriften, Materialien, Forschungsergebnisse, in Verbindung mit gestrafften zeitlichen und finanziellen Vorgaben erleichtern diese Aufgabe nicht. Speziell die, oft erst mit der Baugenehmigung eingehenden, bauaufsichtlichen Forderungen bezüglich des Brandschutzes gefährden nicht selten ganze Planungskonzeptionen. Bei Nichtbeachtung o.g. Abhängigkeiten ist es nach Abschluss der Planungsphase oftmals schwierig (nicht selten unmöglich), den Anforderungen des vorbeugenden Brandschutzes genüge zu tun, ohne tief greifende Änderungen an der fertigen Konzeption auszulösen.

So gilt es diese Anforderungen und Problemstellungen im Rahmen des vorbeugenden Brandschutzes zu bearbeiten. Die bestehenden Baurechtsbestimmungen befassen sich in

erheblichem Umfang mit dem Brandschutz. Nach den allgemeinen Anforderungen der Musterbauordnung –MBO [1] sind

*...Anlagen so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Leben, Gesundheit und die natürlichen Lebensgrundlagen, nicht gefährdet sind.*

In MBO § 14 wird diese allgemeine Anforderung hinsichtlich des Brandschutzes konkretisiert:

*Bauliche Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandausbreitung) vorgebeugt wird und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind.*

Der Sachschutz nimmt eine untergeordnete Bedeutung ein und ist in der Regel, ggf. gemeinsam mit dem Sachversicherer, zu definieren.

Da Brandschutz Landesrecht ist, werden weiterführende Anforderungen an einzelne Bauteile in den jeweiligen Landesbauordnungen gestellt. Bemühungen der Schaffung bundeseinheitlicher Regelungen für den Brandschutz schlugen bis jetzt immer wieder fehl. So müssen alle an der Errichtung einer baulichen Anlage Beteiligten sich mit dem jeweiligen Landesrecht auseinandersetzen.

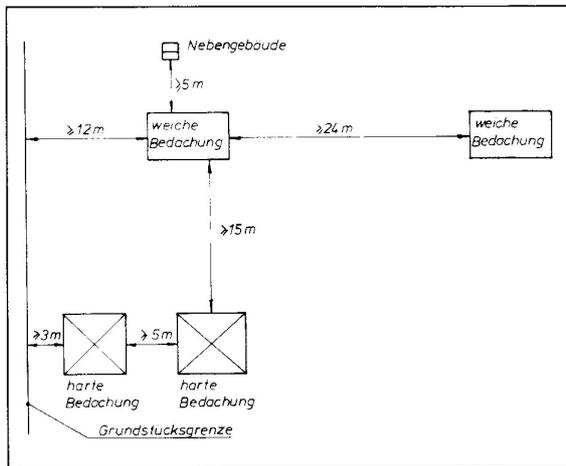
#### ***Anforderungen der Landesbauordnungen***

Dächer werden entweder

- von unten (der Innenseite) oder
- auf der Außenseite

durch Feuer beansprucht.

Als Schutz gegen die Brandbeanspruchung von außen (Flugfeuer, strahlende Wärme) sind die Dächer mit einer so genannten „harten Bedachung“ auszuführen. Ausgenommen sind Gebäude geringer Höhe mit ausreichend Abstand zu Grundstücksgrenzen bzw. Nachbargebäuden.

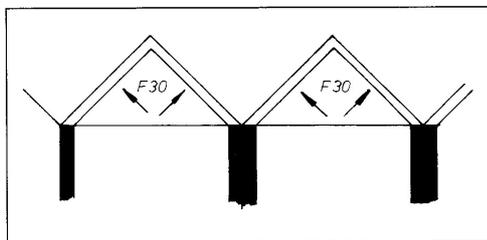


**Abbildung 6: Abstände aufgrund der Bedachung [4]**

In DIN 4102 Teil 4 sind alle Bedachungen aufgeführt, die ohne weitere Prüfungen als harte Bedachungen verwendet werden können. Hierunter fallen z.B. Bedachungen aus natürlichen und künstlichen Steinen, aber unter Einhaltung verschiedener Randbedingungen auch Metallbleche, Bitumenbahnen usw. Bedachungen, welche die Anforderung „harte Bedachung“ nicht erfüllen, werden als „weiche Bedachung“ bezeichnet.

Bei Brandbeanspruchung von innen werden im Normalfall keine weiteren Anforderungen gestellt. Ausnahmen bilden aneinandergebaute, giebelständige Gebäude, bestimmte Dächer, in denen sich über mehrere Geschosse Aufenthaltsräume befinden, Dächer von Anbauten, die an Wände mit Fenstern anschließen.

Bei aneinandergebauten giebelständigen Gebäuden muss das Dach von innen nach außen einschließlich der sie tragenden und aussteifenden Bauteile der Feuerwiderstandsklasse *feuerhemmend* entsprechen.



**Abbildung 7: Feuerwiderstände der Dächer von giebelständigen Reihenhäusern [4]**

Für Sonderbauten (Gebäude besonderer Art oder Nutzung, z. B. Hochhäuser, Krankenhäuser usw.) können auch bezüglich des Daches besondere Anforderungen gestellt werden.

### ***Baustoffklassen/Feuerwiderstandsklassen***

Gemäß der Musterbauordnung werden Bauteile nach ihrer Feuerwiderstandsfähigkeit unterschieden in

- feuerbeständige,
- hochfeuerhemmende und
- feuerhemmende.

An diese bauaufsichtliche Bezeichnung gekoppelt ist die Feuerwiderstandsdauer in Minuten und die Baustoffklasse.

### **Baustoffklassen**

Man unterscheidet die Baustoffklassen A – nichtbrennbare, und B – brennbare.

Nach DIN 4102 Teil 1 ergibt sich folgende Einteilung:

<b>Baustoffklasse</b>		<b>Bauaufsichtliche Benennung</b>	<b>Definition</b>
A	A1	nichtbrennbare Baustoffe	<i>reine</i> nichtbrennbare Baustoffe (z. B. Sand, Steine, Glas)
	A2		brennbare Bestandteile in geringem Umfang enthalten (z. B. Gipskartonplatten nach DIN 18180 mit geschlossener Oberfläche)
B		brennbare Baustoffe	
	B1	schwerentflammbare Baustoffe	erfordern hohe Zündenergie und brennen nach Erlöschen des Stützfeuers nicht weiter (z.B. Wärmedämmputzsysteme, Eichen-Parkettfußböden)
	B2	normalentflammbare Baustoffe	lassen sich durch Zündquellen entflammen und brennen – abhängig von den Umgebungsbedingungen – von alleine weiter (z. B. u.a. Holz und elektrische Leitungen)
	B3	leichtentflammbare Baustoffe	sind alle weiteren Baustoffe die in keine andere Klasse einzuordnen sind (z.B. Papier)

Die Klassifizierung bezüglich des Brandverhaltens sagt grundsätzlich nichts über die Feuerwiderstandsklasse eines Bauteils aus. Dennoch ist sie von großer Bedeutung, da die

Zulässigkeit der Verwendung einzelner Bauteilkomponenten bauaufsichtlich in Abhängigkeit der Baustoffklasse zu sehen ist.

Im Zuge der Europäisierung werden die neuen Baustoffklassenbezeichnungen A – F eingeführt. Zusätzlich zum Brandverhalten werden Brandnebenscheinungen (Rauchentwicklung, Wärmeentwicklung, Abtropfverhalten) geregelt.

Die Bezeichnungen nach DIN EN 13501-1 beinhalten folgende Angaben:

- Baustoffklassen A – F,
- Rauchentwicklung s1 bis s3,
- Brennendes Abtropfen d0, d1, d2.

### Feuerwiderstandsklassen

Die Feuerwiderstandsdauer ist die Mindestdauer in Minuten, während der ein Bauteil die in DIN 4102-2 aufgeführten Prüfanforderungen erfüllt. Hieraus ergeben sich die Feuerwiderstandsklassen:

Feuerwiderstandsklasse	Feuerwiderstandsdauer in Minuten
F 30	= 30
F 60	= 60
F 90	= 90
F 120	= 120
F 180	= 180

Ein nach DIN 4102 geprüftes Bauteil der Feuerwiderstandsklasse F 90 erfüllt die Anforderungen in der Regel von beiden Seiten. Bei der tragenden Wand ist es egal auf welcher Seite ein Feuer auftritt. Anders beim Dach, hier wird nur das Szenario Brandbelastung von unten (der Innenseite) untersucht.

Erst die Verknüpfung der bauaufsichtlichen Bezeichnung mit den Benennungen nach DIN 4102 ergibt ein brandschutztechnisch eindeutig beschriebenes Bauteil. Mit den Zusatzbezeichnungen

- A aus nichtbrennbaren Baustoffen
- AB in den wesentlichen Teilen aus nichtbrennbaren Baustoffen
- B aus brennbaren Baustoffen

und der entsprechenden Feuerwiderstandsdauer F 30 bis F 180 ist das Bauteil umfassend definiert. Den bauaufsichtlichen Benennungen werden, länderabhängig, die Benennungen nach DIN 4102 zugeordnet. So ergibt sich für die Bauteilanforderung *feuerhemmend* die

Kurzbezeichnung F 30-B, ein Bauteil der Feuerwiderstandsklasse F 30 mit brennbaren Baustoffen.

DIN EN 13501-2 regelt die Klassifizierung von Bauteilen für den europäischen Raum. Hiernach werden die Feuerwiderstandsklassen 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180 und 240 in Verbindung mit den Bezeichnungen

- R = Résistance (Tragfähigkeit)
- E = Etanchéité (Raumabschluss)
- I = Isolation (Wärmedämmung unter Brandeinwirkung)

vorgesehen.

Eine Verknüpfung von europäischen Bauteilkassen mit europäischen Baustoffklassen ist nicht vorgesehen.

### ***Baurechtskonforme Konstruktionen***

Es bestehen mehrere Möglichkeiten, eine Dachkonstruktion den Anforderungen entsprechend ausreichend feuerwiderstandsfähig zu konstruieren. In Abhängigkeit der Sparrenabmessungen und der oberen und unteren Bekleidung sowie der Dämmschicht ergeben sich unterschiedliche Ergebnisse. Dampfsperren beeinflussen den Feuerwiderstand nicht.

Die Zuhilfenahme der DIN 4102 Teil 4 ermöglicht eine standardisierte Nachweisführung. Hier sind *klassifizierte Bauteile* aufgeführt. Je nach Anforderung ergeben sich entsprechende Schichtenaufbauten und Abmessungen.

Neben der Nachweisführung durch klassifizierte Bauteile besteht die Möglichkeit eines besonderen Nachweises durch ein *allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis*. Hierbei wird das Brandverhalten von Bauprodukten, z.B. das komplexe System Steildach, durch Prüfzeugnisse amtlicher Materialprüfanstalten nachgewiesen.

Der sich hieraus ergebende Vorteil ist darin zu sehen, dass sämtliche Bauteilkomponenten eines Dachsystems aufeinander abgestimmt sind und so alle bauphysikalischen Belange bis hin zum Brandschutz erfüllen.

### ***Literatur***

- [1] Musterbauordnung- MBO, Fassung November 2002
- [2] DIN 4102 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen
- [3] Brandschutzatlas, Josef Mayr, Verlag für Brandschutzpublikationen, Wolfratshausen
- [4] Brandschutz im Bild, Frieder Kircher, WEKA Medien GmbH, Kissing
- [5] Holz Brandschutz Handbuch, Cordina, Meyer, Ottens, DGfH
- [6] Vorbeugender baulicher Brandschutz, Kurt Klingsohr, Kohlhammer Verlag, 4. Auflage, 1994
- [7] Holzbau, Wände, Decken, Dächer, Horst Schulze, Teubner Verlag Stuttgart 1998