

Dirk Krutke

Bau physik

**Basiswissen
Architektur**

einfach skizziert

avedition

Inhalt

01 Wärme- und Feuchtetransport

Wärme und Bewegungsenergie	10
Wärmeleitung	12
Wärmespeicherung	14
Phasenübergang	16
Konvektion	18
Strahlung	20
Verdunstung	22

02 Wärme- dämmung

Wärmedämmstoffe	26
Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchlasskoeffizient	28
Wärmeübergangswiderstand	30
U-Wert-Berechnung	32
Wärmebrücke	34
Außenecke	36
Deckenkopf	38
Attika	40
Fußpunkt	42
Fundamentüberstand	44
Laibung	46
Flankendämmung	48

03 Bauteilfeuchte und Dampfdruck

Glaser-Verfahren	52
Diffusionsoffene Bauteile	54
Taupunkt	56
Dampfdruck Flachdach Massivbau	58
Dampfdruck Flachdach Holzbau	60
Sorption	62
Mauerwerk	64
Materialmix	66
Algen	68
Schimmel	70
Schwamm	72

04 Glas und Strahlung

Sonneneinstrahlung auf Körper	76
Wellenlängen	78
Energiedurchlassgrad	80
Absorption	82
Reflexion	84
Tageslichtdurchlassgrad	86
g-Werte von Fenstern	88

05 Schallschutz und Akustik

Schallausbreitung	92
Schalldruck, Schall(druck)pegel	94
Luftschall	96
Körperschall	98
Schallhart und schwer	100
Schallweich und leicht	102
Flankenübertragung	104
Schallbrücke	106
Eigenfrequenz	108
Interferenz	110
Nachhall oder Nachhallzeiten	112
Reflexion	114
Echo	116
Absorber	118

06 Brandschutz

Gebäudeklassen	122
Brandklassen	124
Brandwände	126
Brand- und Rauchabschnitte	128
Flucht- und Rettungswege	130
Brandüberschlag	132
Brandschottung	134
Brandverhalten von Massivbau	136
Brandverhalten von Holz	138
Brandverhalten von Stahl	140

Brandverhalten von Wärmedämmung	142
Anleitern	144
Sicherheitstreppenhäuser	146
Entrauchung	148
Brandschutzkonzept	150
Fluchtwegeplan	152

07 Anhang

Abkürzungen im Brandschutz	155
Normen	157
Index	158
Autor, Impressum	159
Bereits in dieser Reihe erschienen	160

Wärmeleitung

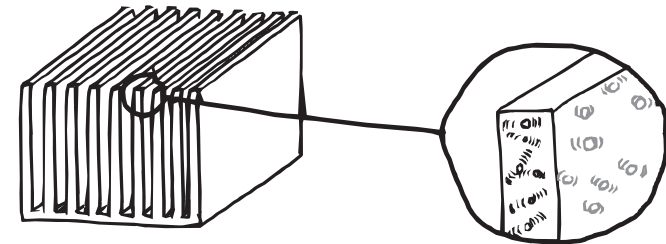
Die Thermodynamik oder auch Wärmelehre beschreibt im 2. Hauptsatz, dass sich unterschiedliche Temperaturniveaus immer ausgleichen. Und dies tun sie auch immer in nur einer Richtung, von warm zu kalt.

Ein Temperaturniveau beschreibt eine innere Bewegungsenergie und dementsprechend bewegen sich die Teilchen in einem Medium mit höherer Temperatur schneller als in einem Medium mit niedriger Temperatur.

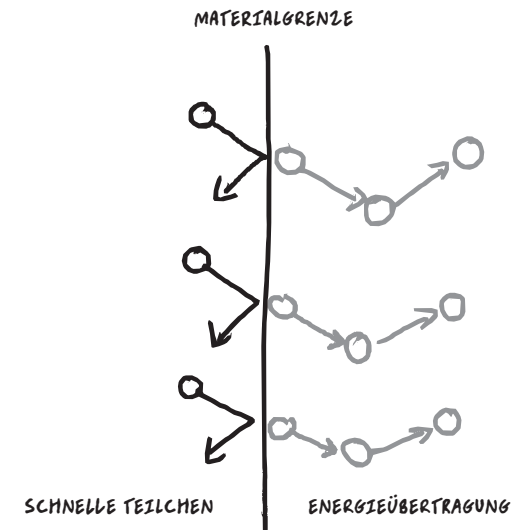
Man kann das Modell nun weiterdenken. Die Teilchen stoßen ständig aneinander. Wenn nun ein Medium mit hoher Temperatur ein Medium mit niedriger Temperatur berührt, dann werden die schnellen, hochenergetischen Teilchen an der Oberfläche auch gegen die niedrigenergetischen Teilchen des kälteren Mediums stoßen. Dabei wird Energie auf das langsamere Teilchen übertragen. Solche Energieübertragungen finden dann so lange statt, bis alle Teilchen sich gleich schnell bewegen. Würde dieser Zustand erreicht, den die Natur ständig anstrebt, hätten alle Teilchen aller Stoffe die gleiche Energie, hätte also alles die gleiche Temperatur.

Mit diesem Denkmodell erklärt sich demzufolge auch, warum große Oberflächen besser Wärme an die Umgebung abgeben als kleine. Mit mehr Oberfläche können einfach auch mehr Teilchen andere Nachbarpartikel anstoßen und dabei Energie abgeben.

Große Oberflächen übertragen Energie schneller, können daher schneller erwärmt, aber auch abgekühlt werden.



KÜHLKÖRPER MIT
GROSSER OBERFLÄCHE



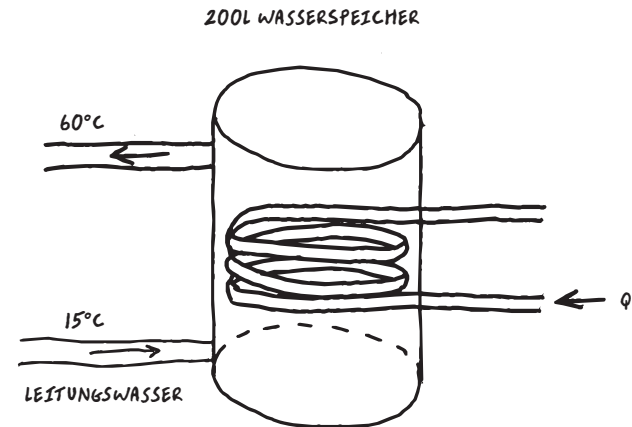
Wärmespeicherung

Ein paar Seiten zuvor habe ich bereits festgestellt, dass Wärme und Teilchenbewegung dasselbe Phänomen beschreiben. Ich habe auch bereits beschreiben, dass die Erhöhung der Temperatur äquivalent zur Erhöhung der Bewegungsenergie der Teilchen eines Mediums ist und dass diese innere Energie sich proportional zur Temperaturänderung verhält. Wenn wir also die innere Energie eines Mediums verändern können, dann ist es logisch, dass wir Energie in einem Medium in Form von Teilchenbewegung speichern können.

Und genau das tun wir in der Gebäudetechnik und Bauphysik: Wir speichern Wärme in Wasser, um diese zu einem späteren Zeitpunkt abrufen und nutzen zu können. Natürlich kann Energie auch in Feststoffen gespeichert werden, aber Wasser hat sich als äußerst praktisch erwiesen. Oder wir nutzen die Aufnahme und Speicherung von Wärme in unseren Bauteilen, um Gebäude bei konstanter Temperatur zu halten.

Um zu wissen oder berechnen zu können, wie viel Energie ich in einem Medium speichern kann, muss ich die Masse des Mediums und seine Wärmespeicherkapazität kennen. Und hier tut sich erneut Wasser hervor – denn dieses hat eine extrem hohe Wärmespeicherkapazität. Sie ist doppelt so hoch wie die von Holz oder viermal so hoch wie die von Luft.

Sieht man sich die Formel an, so erkennt man, dass die Speicherung der Energie im Medium von den Stoffkonstanten Masse und Kapazität abhängt und gleichzeitig Energie- und Temperaturdifferenz äquivalent sind. Möchte ich beispielsweise die Wassertemperatur meines Wärmespeichers um 4° C anheben und habe 200l Wasser im Speicher, so benötige ich dafür das Gewicht von Wasser in kg. 1l wiegt 1kg. Man benötigt die Wärmekapazität von Wasser. Diese ist 4200 Ws/kg K. Man multipliziert dann 200 kg mit 4200 Ws/kg K und mit den 45K und erhält 37800000 Ws, was umgerechnet 10,5 kWh sind.



$$Q = m c (\vartheta_1 - \vartheta_2)$$

$$Q = m c (\vartheta_1 - \vartheta_2)$$

$$Q = \frac{4200 \text{ Ws} \cdot 200 \text{ kg} \cdot (60^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C})}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$Q = \frac{4200 \text{ Ws} \cdot 200 \text{ kg} \cdot 45 \text{ K}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$Q = 37800000 \text{ Ws} = 37800 \text{ kWh} \quad / 3600 \text{ s/h}$$

$$Q = 10,5 \text{ kWh}$$

<p>WASSER $c = 4200 \text{ Ws/kg K}$ $m = 200 \text{ L} = 200 \text{ kg}$</p>

Wärmebrücke

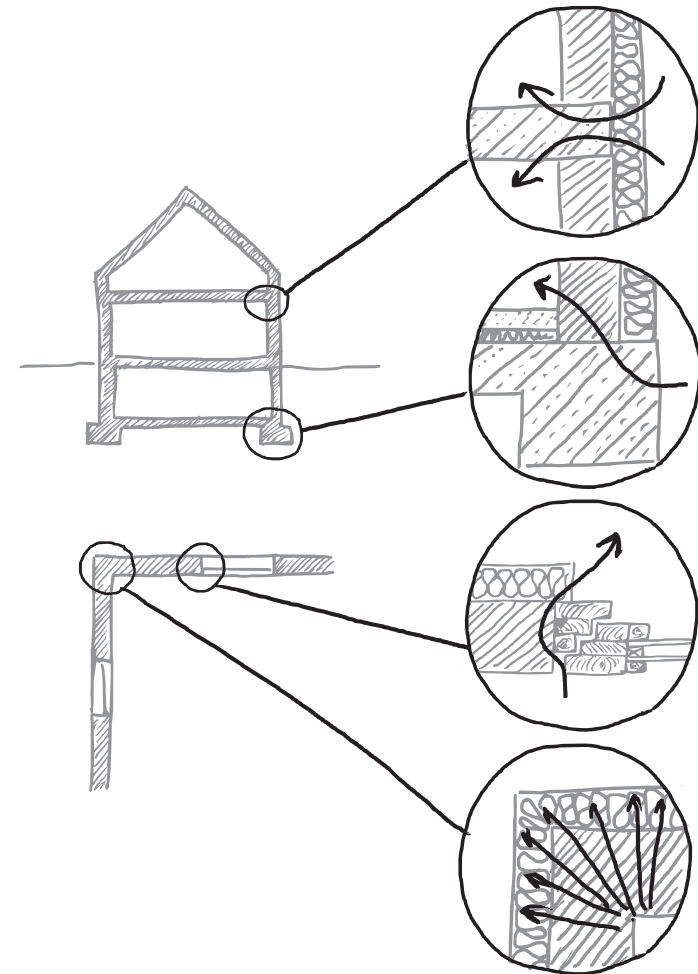
Zuerst wäre hier mit einem weit verbreiteten Fehler aufzuräumen. Aufgrund des Phänomens, dass sich Bauteile im Bereich von Wärmebrücken auf der warmen Seite kälter anfühlen, werden sie häufig fälschlicherweise als Kältebrücken bezeichnet. Da sich aber Energie immer nur vom Ort mit hohem Potenzial zu Orten mit niedrigem Potenzial, also von warm zu kalt, bewegt, handelt es sich folgerichtig um eine Wärmebrücke. Eine Brücke, die es der Energie oder Wärme ermöglicht, sich schneller durch das Bauteil an den Ort niedrigerer Energie als in seinen benachbarten Bereichen zu bewegen.

Wärmebrücken gibt es beim Bauen viele, einige davon sind unvermeidbar. Andere entstehen durch Konstruktionsfehler. Manche von ihnen sind harmlos, da sie einfach nur wenig erhöhten Energiefluss erzeugen. Andere können zu Bauteilabkühlungen, Bauteilfeuchte, Schimmel und zur Zerstörung von Bauteilen führen.

Wärmebrücken mit sehr starkem Energiefluss entstehen in der Regel durch schlechte Konstruktion, unsachgemäße Details und falschen Materialeinsatz. Sie sind also nicht nur vermeidbar, sondern zählen sogar zu den klassischen Planungsfehlern.

Die harmlosen und oft unvermeidbaren Wärmebrücken führen im Allgemeinen nicht zu Schäden, sind aber zum Beispiel im Wärmeschutznachweis rechnerisch zu betrachten und zu berücksichtigen. Sie gehen unter anderem auch in den Wärmebrückenzuschlag bei der Berechnung der Transmissionswärmeverluste von Gebäuden mit ein.

Wärmebrücken grundsätzlich zu verstehen ist nicht schwer. Es gibt solche, die dadurch entstehen, dass Wärmedämmungen aus konstruktiven Gründen reduziert werden müssen. Andere entstehen dadurch, dass es zu einem Wechsel der Materialien mit unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten kommt. Sehr häufig entstehen auch Wärmebrücken, weil sich aufgrund der Geometrie das Verhältnis von innerer und äußerer Oberfläche eines Bauteils ändert. Auf den folgenden Seiten werden einige typische Wärmebrücken vorgestellt.



Materialmix

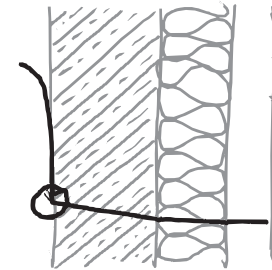
Die jüngere Phase im Bauwesen war geprägt von Innovationen im Bereich der Hochleistungsmaterialien und Materialverbunde. Es wurde versucht, dünner und leichter zu bauen. Wenn aber die Schichten dünner werden, müssen deren Wärmedurchlasswiderstände entsprechend zunehmen. Fensteranschlüsse wurden immer dichter, die Bauteilaufbauten komplexer und damit anfälliger für Ausführungsfehler. Die dünneren Bauteile wurden, um Dämmungen zu schützen, ebenfalls immer dichter ausgeführt. Dies führte in ihnen zu immer stärkeren Dampfdrücken. Dünnere Dämmungen verursachen außerdem ein stärkeres Temperaturgefälle innerhalb der Bauteile, was die Taupunkte immer weiter in die Teile und damit an kritische Stellen verlagert.

Das komplexe Bauen mit diesen Materialien schafft neue Herausforderungen. Die Anzahl der Planungs- und Bauschäden ist enorm gewachsen. Spezialisten wie Bauphysiker oder Fassadenplaner müssen immer häufiger in den Planungsprozess einbezogen werden. Das Angebot an Abdichtungsfolien und -bändern in den unterschiedlichsten Ausführungen ist kaum überschaubar.

Im Grunde folgt aber jedes mehrschichtige Außenbauteil, also jede Außenwand oder jedes Dach, demselben Prinzip – wie im Kapitel „Diffusionsoffene Bauteile“, S. 54, schon erwähnt:

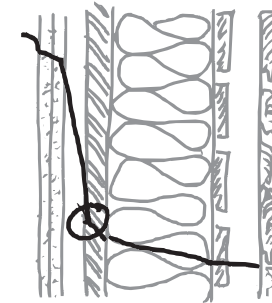
Innen dicht, außen dampfdiffusionsoffen.

Beherzigt man diesen Grundsatz, wird das Bauteil zumindest mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht ernsthaft durch Wasserdampf beschädigt werden.



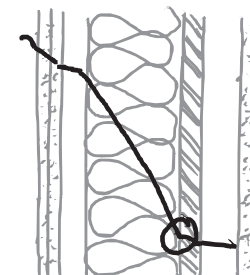
FEUCHTE RAUM SEITIG
UNPROBLEMATISCH, TROCKNET AB

STAHLBETON
WÄRMEDÄMMUNG
LUFTSCHICHT
HOLZVERSCHALUNG



FEUCHTE RAUM SEITIG
UNPROBLEMATISCH, TROCKNET AB

GIPSKARTON
LUFTSCHICHT
OSB3
WÄRMEDÄMMUNG/HOLZSTÄNDER
SPARSCHALUNG
LUFTSCHICHT
HOLZVERSCHALUNG



FEUCHTE AUSSEN IN DER WÄRMEDÄMMUNG
KANN NICHT ABTROCKNEN, DA OSB ZU DICHT,
BAUSCHADEN ZU ERWARTEN

GIPSKARTON
LUFTSCHICHT
WÄRMEDÄMMUNG/HOLZSTÄNDER
OSB3
LUFTSCHICHT
PUTZTRÄGERPLATTE

Schimmel

Schimmel bildet sich, wenn das passende Milieu angeboten wird. Die Schimmelsporen sind allgegenwärtig: Keine Räume sind frei davon. Die Frage ist nur, ob diese einen Platz finden, wo sie sich wohlfühlen und vermehren können.

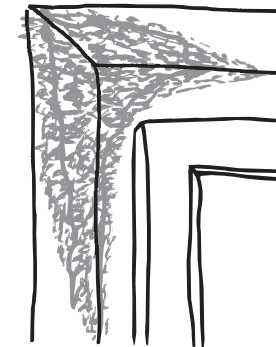
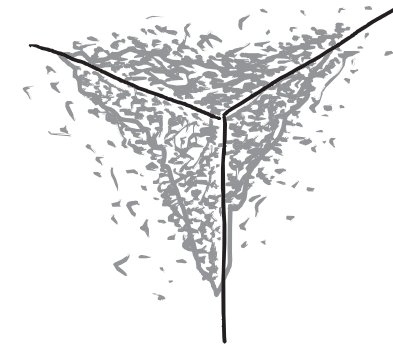
Da Schimmel ganz bestimmte Rahmenbedingungen braucht, um zu wachsen, ist er gleichzeitig ein Indikator für:

- hohe Luftfeuchtigkeit im Gebäude oder Raum
- niedrige Temperaturen der Bauteiloberflächen
- geringen Luftaustausch

Zum einen mag es Schimmel eher etwas kälter. Oberflächentemperaturen von 12 bis 14° C findet er angenehm. Zum anderen bevorzugt er ein feuchtes Milieu. Da ist es natürlich ideal, dass bei 20° C Raumtemperatur an den Bauteilen eine übliche relative Luftfeuchte von 40 bis 60 % bei zirka 14 bis 15° C ausfällt. Unterstützt wird Schimmelbildung, indem man besonders viel Nahrung anbietet, zum Beispiel in Form von Tapetenkleister.

Nun versteht vielleicht der eine oder andere, warum gerade die Innenseiten von Wärmebrücken, wie Raumecken, Fensterlaibungen und Deckeneinbindungen, so gern schimmeln. Wärmebrücken kühlen auf der Innenseite immer stärker ab als der Rest der Außenbauteile. Der erhöhte Energiefluss an diesen Stellen führt auch zu einem größeren Durchgang von Wasserdampf. Kühlt der Bereich auf 14° C ab, fällt das Wasser aus und das Biotop ist geboren.

Dem Schimmel begegnet man nicht, wie es einige Hausverwaltungen gern tun, mit Fungiziden und neuem Anstrich. Grundsätzlich ist die Ursache zu bekämpfen. Die Wärmebrücke ist zu verbessern, die relative Luftfeuchte zu senken. Und beides ist durch bauliche Maßnahmen, nicht durch Bewohnerverhalten zu erreichen. Die Luftfeuchte reduziert man durch gezielte Zwangslüftung und die Wärmebrücke ist geeignet zu dämmen.



Energiedurchlassgrad

Gläser oder allgemeiner transparente Bauteile lassen die Sonnenenergie direkt in das Innere eines Gebäudes. Dies nennt man Energiedurchlass. Wobei der Anteil an Energie, der hindurchgelassen wird, also das Maß in Prozent, der Energiedurchlassgrad ist. Dieser ist für jedes Glas verschieden und hängt im Wesentlichen von zwei Eigenschaften ab:

Reflexionsvermögen des Glases

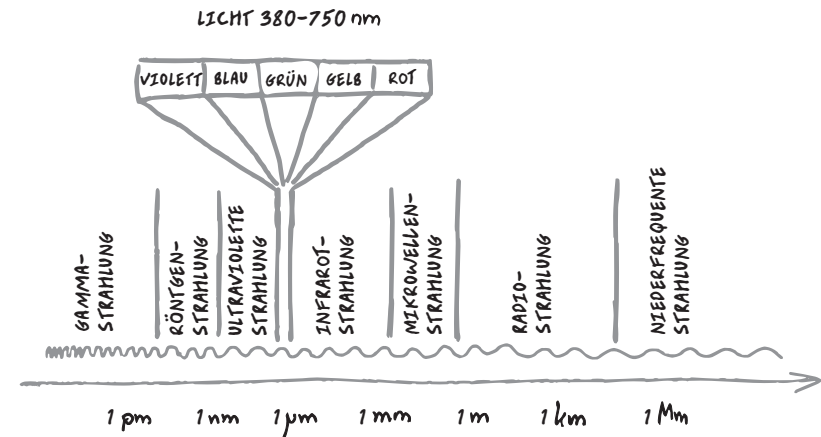
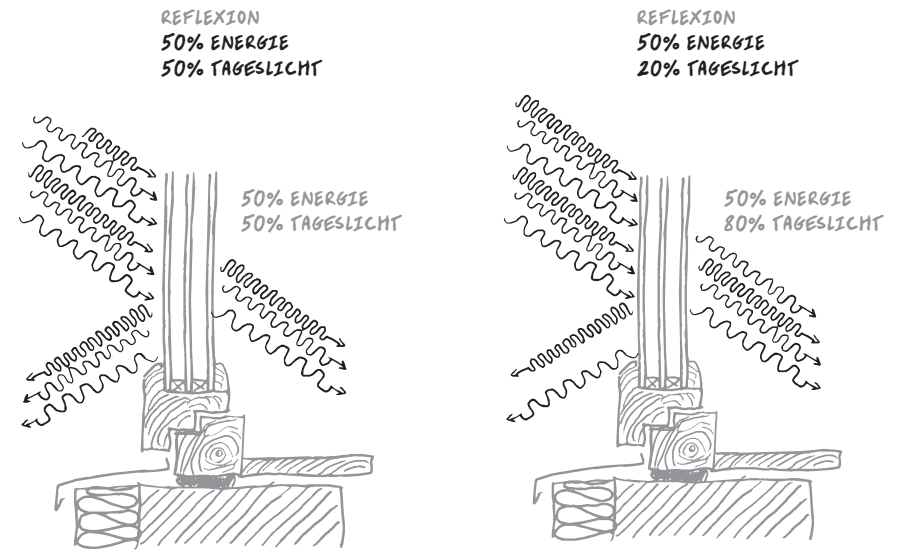
So wie Glas Licht reflektieren kann, kann es auch Sonnenenergie reflektieren. Dabei erhalten die Gläser, die wir in unseren Gebäuden verbauen, ihre verschiedenen Reflexionsvermögen durch Oberflächenbehandlungen. In der Regel werden die Gläser zur Verstärkung der Reflexion mit Metallen bedampft, die wie bei einem Spiegel die Reflexion erhöhen.

Absorptionsvermögen des Glases

Gläser können auch Sonnenenergie absorbieren. Dabei erwärmt sich das Glas im Laufe des Tages und strahlt diese Wärme im Idealfall nachts wieder an die Umgebung ab. Um die Absorption eines Glases zu erhöhen, wird es in der Regel getönt. Wir kennen blaue, grüne oder sogar orangefarbene bis braune Gläser an Gebäudefassaden.

Der Energiedurchlassgrad einer einfachen unbehandelten Glasscheibe liegt ungefähr bei 90% ($g=0,9$). Ab einem Energiedurchlassgrad von 40% und kleiner sprechen wir von einem Sonnenschutzglas ($g \leq 0,4$).

Durch entsprechende technische Behandlung lässt sich der Energiedurchlassgrad ohne Weiteres auf 30% reduzieren. Und sogar dieser Wert lässt sich noch unterschreiten.



Schallausbreitung

Schall ist ein ganz besonderes Thema der Bauphysik. Nirgendwo anders haben sich Experten so stark spezialisiert. Da der Bereich so umfangreich und kompliziert ist, kann in diesem Buch nur oberflächlich über die wichtigsten Rahmenbedingungen gesprochen werden. Aber ich bin auch hier überzeugt, dass es für den entwerfenden Planer keiner tieferen Kenntnisse bedarf und im Zweifel immer besser der Experte heranzuziehen ist.

Schall breitet sich als Welle im Raum aus. Um Schall übertragen zu können, ist ein elastisches Medium notwendig, er kann sich also nicht im Vakuum ausbreiten. Innerhalb desselben Mediums breitet sich der Schall von der Quelle (Erreger) in alle Richtungen gleichermaßen aus. Dies tut er in verschiedenen Frequenzen, die wir als Töne wahrnehmen. Aus der Anschauung wissen wir, dass Schall eine begrenzte Reichweite hat, was daran liegt, dass er eine Energie ist, die Moleküle, wie etwa die der Luft, in Bewegung versetzt. Durch Reibung der Moleküle untereinander wird die Bewegungsenergie jedoch abgebaut und in Reibungsenergie umgewandelt. Vereinfacht wird 1 dB/100 m abgebaut. Das nennt man Absorption.

Trifft Schall auf ein anderes Medium, löst dies typische physikalische Reaktionen aus, die den Schall in Frequenz und Amplitude ändern können:

Reflexion

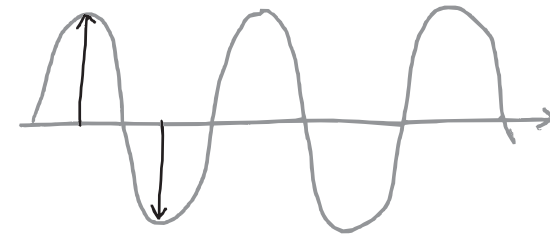
Schall weist wie Licht die Eigenschaft der Reflexion an Oberflächen auf. So kann Schall zum Beispiel über gegenüberliegende Flächen um die Ecke reflektiert werden oder zwischen zwei glatten Gebäudeoberflächen (Glasfassaden) nach oben.

Beugung

Alle Wellen können an Objekten gebeugt werden. Sprich, sie besitzen die Fähigkeit, um eine Ecke herumzuwandern. Je niedriger die Frequenz, desto stärker kann die Beugung ausfallen. Daher hören wir die Bässe (tiefen Töne) auch gefühlt überall.

SCHALL IST EINE ENERGIE, DIE TEILCHEN BEWEGT

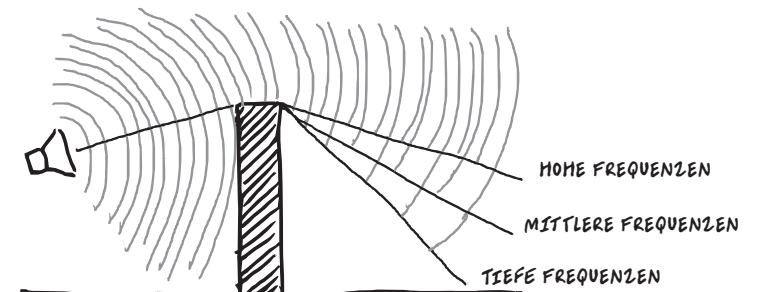
WELLENBERG = HOHER DRUCK



WELLENTAL = NIEDRIGER DRUCK



SCHALLBEUGUNG AN DER KANTE



Brandwände

Brandwände sind per Definition Wände, die direkt auf einer Grundstücksgrenze oder weniger als 2,5m davon entfernt errichtet werden. Diese Wände dienen der Verhinderung der Brandausbreitung auf benachbarte Grundstücke.

Es gibt auch interne Brandwände. Diese sind immer dann zu planen, wenn ein Gebäude länger oder breiter als 40m ist.

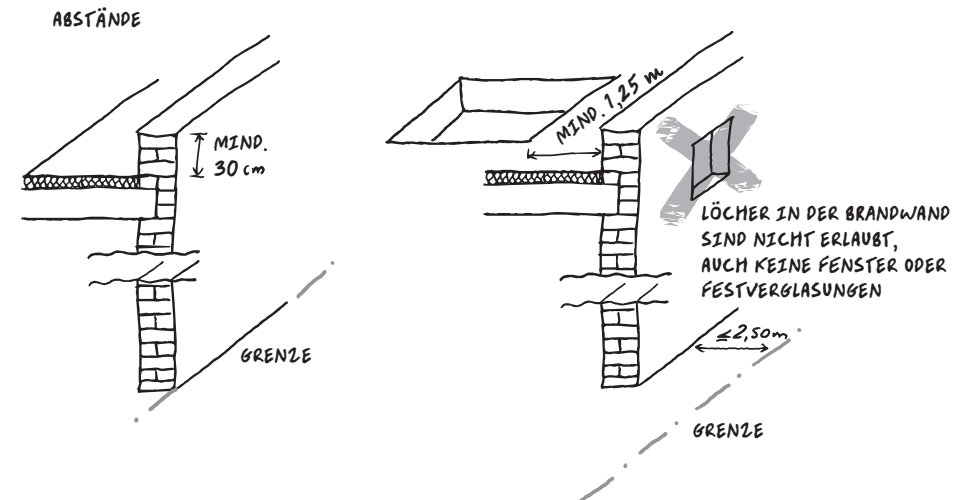
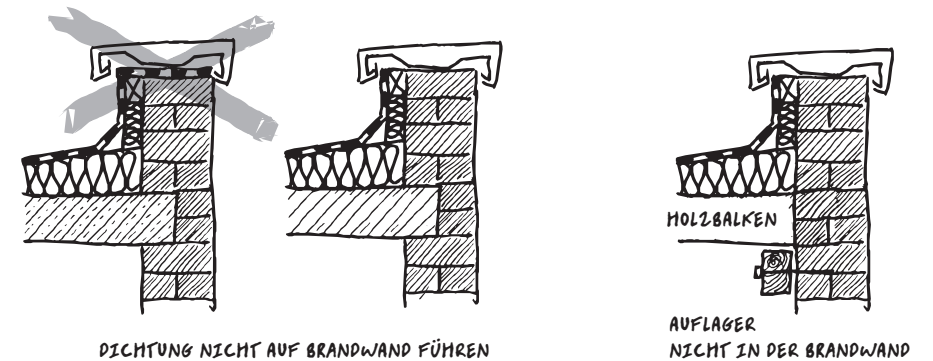
Eigenschaften von Brandwänden an Grundstücksgrenzen:

- feuerbeständig (fb)
- unter zusätzlicher mechanischer Beanspruchung (wmB)
gem. DIN 4102-3 90 mind. 3 000 Nm mehrfacher horizontaler Stoß
- bestehend ausschließlich aus nichtbrennbaren Baustoffen Klasse A1 oder A2
- ohne Öffnungen
- 30 cm über Oberkante Dachdeckung zu führen
- in allen Geschossen übereinander angeordnet

Eigenschaften von internen Brandwänden:

- feuerbeständig (fb)
- unter zusätzlicher mechanischer Beanspruchung (wmB)
gem. DIN 4102-3 90 mind. 3 000 Nm mehrfacher horizontaler Stoß
- bestehend ausschließlich aus nichtbrennbaren Bauteilen
- 30 cm über Oberkante Dachdecke zu führen
- alternativ Verhinderung von Brandüberschlag mittels 1 m breiter feuerbeständiger Ausführungen der Decken
- Öffnungen feuerbeständig auszuführen

Landesbauordnungen können geringfügige geänderte Anforderungen aufweisen.



Brandschutzkonzept

Das Brandschutzkonzept stellt der Planer eines Gebäudes auf. Es hat sich eingebürgert, dass viele Architekten dies nicht mehr selbst übernehmen, sondern sich für diese Leistung einen „Fachplaner“ vom Bauherrn beauftragen lassen. Dieses Vorgehen ist seitens des Architekten jedoch nicht ganz richtig:

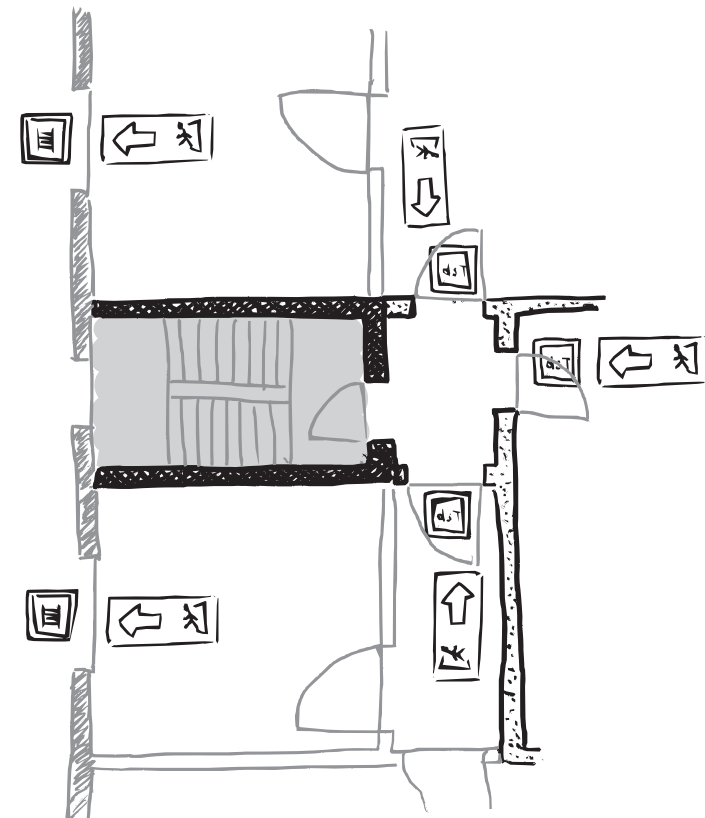
Das BGH hat bereits mit Urteil vom 26.01.2021 VII ZR 128/11 klargestellt, dass der Brandschutz, außer für den Sonderbau, eine Grundleistung des Architekten und in den HAOI Grundleistungen der LPH 3–4 enthalten ist.

Ein Brandschutzkonzept ist im Grunde keine schwierige Sache. Man muss nur die Planung auf ihre Zulässigkeit gemäß der Landesbauordnung überprüfen und ein paar Eigenschaften des Gebäudes festlegen. Hier wird oft übersehen, dass der Brandschutzplaner die Anforderungen des Gebäudes festlegt. Ein guter Planer wird also die Bauordnung so sparsam wie möglich auslegen, um keine Forderungen aufzustellen, die unnötig viel Material oder Geld kosten.

Was legen wir fest:

- Wir stufen die Bauteile danach ein, ob sie tragend oder notwendig sind, und ordnen ihnen dann gemäß der Bauordnung Brandschutzqualitäten zu.
- Wir planen die Fluchtwege und stellen sie dar.
- Wir definieren Anleiterorte und Aufstellflächen für die Feuerwehr.

Interessant wird es, wenn ein Gebäude eine Anforderung der Bauordnung oder einer Richtlinie nicht erfüllen kann. Dann ist es die Aufgabe des Aufstellers eines Brandschutzkonzepts, eine Alternative oder Kompensation zu finden, um das Gebäude dennoch möglich zu machen.



07

Anhang

Abkürzungen im Brandschutz

nb	nichtbrennbar	90-D	feuerbeständig, dicht- und selbstschließend
wnb	in den wesentlichen Teilen nichtbrennbar	T 90-RS	feuerbeständig, rauchdicht und selbstschließend
bwB	brandschutztechnisch wirksame Bekleidung	RS	rauchdicht und selbstschließend
bnb	Bekleidung nichtbrennbar	dsT	dicht- und selbstschließend
M	unter zusätzlicher mechanischer Belastung	dT	dichtschließend
fb	feuerbeständig		
hf	hochfeuerhemmend		
fh	feuerhemmend		
se	schwerentflammbar		
ne	normalentflammbar		
-A	und aus nichtbrennbaren Baustoffen		
-AB	und in den wesentlichen Teilen aus nichtbrennbaren Baustoffen		
-B	und aus brennbaren Baustoffen		
T 30-D	feuerhemmend, dicht- und selbstschließend	A1, A2, B1, B2, B3	Baustoffklassen
T 30-RS	feuerhemmend, rauchdicht u. selbstschließend	F 30, F 60, F 90	Feuerwiderstandsklassen
T 60-D	hochfeuerhemmend, dicht- u. selbstschließend	W 90, T 90, L 90, K 90, I 90, R 90, G 90, E 90	Feuerwiderstandsklassen von Sonderbauteilen
T 60-RS	hochfeuerhemmend, rauchdicht und selbstschließend		
		HolzR/4	umfangreiche zusätzliche Anforderungen nach MHolzBauRL Abschnitt 4
		HolzR/5	umfangreiche zusätzliche Anforderungen nach MHolzBauRL Abschnitt 5

Die Bauphysik liefert die wissenschaftlichen Grundlagen für Bauklimatik, Haustechnik und Baukonstruktion. Umso mehr ist es notwendig, in der Reihe „einfach skizziert“ auch diesen Bereich zu beleuchten sowie schnell und einfach zugänglich zu machen. Wieder geht es dem Autor und Hochschuldozenten nicht darum, Physiker auszubilden, sondern dem Planer durch Vereinfachung Übersicht zu verschaffen.

Aus dem Inhalt:

Wärme- und Feuchtetransport – Wärmedämmung –
Bauteilfeuchte und Dampfdruck – Glas und Strahlung –
Schallschutz und Akustik – Brandschutz

ISBN 978-3-89986-414-4



9 783899 864144