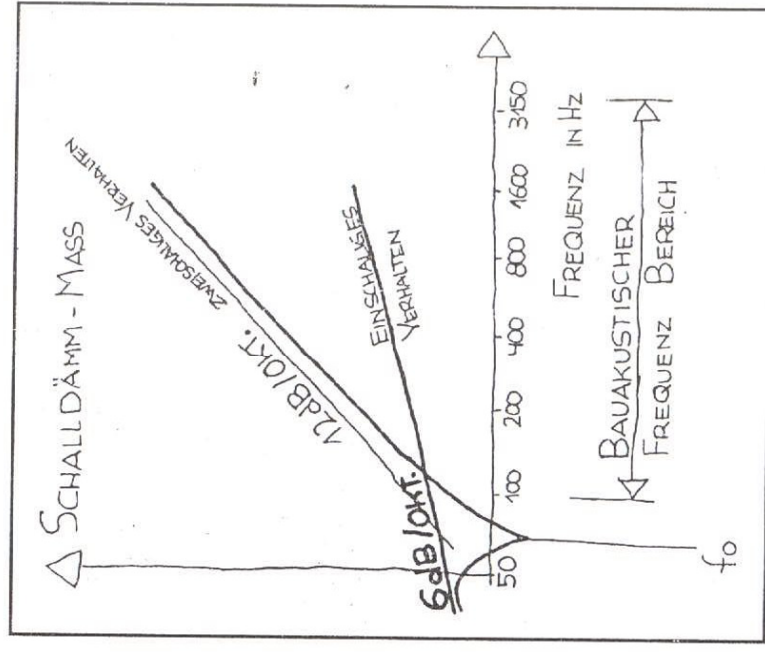
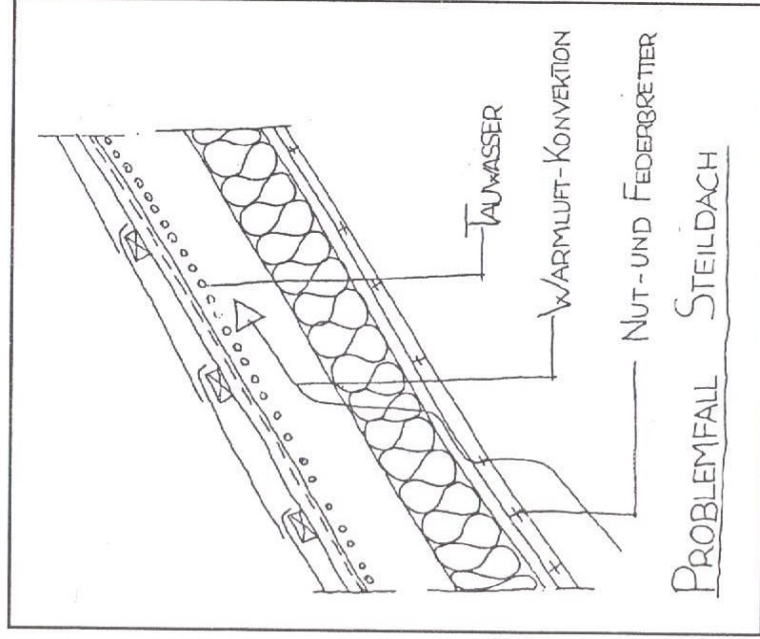


# Bauteile sicher beurteilen: Wärme, Feuchte, Schall

Erkennen der Einflüsse, einfaches Abschätzen und  
Bewerten in Planung und Ausführung



# Inhaltsverzeichnis:

Seite

## 1. Grundsätzliche Einordnungen

9

## 2. Bautechnisch relevante physikalische Phänomene

11

2.1 Behaglichkeit

11

2.2 Wärme

15

2.3 Feuchtigkeit

18

2.4 Rissebildung

29

2.5 Umweltgegebenheiten

33

2.6 Bauakustik

36

2.7 Raumakustik

45

## 3. Vereinfachte Bewertungsmethoden

49

3.1 Bewertungen zum Wärme- und Feuchteschutz

49

3.2 Bewertungen zur Bauteilverformung und Rissebildung

52

3.3 Bewertungen zur Bauakustik

55

3.4 Bewertungen zur Raumakustik

65

3.5 Bewertungen zum Schallimmissionsschutz

66

## 4. Bauphysikalische Standardbetrachtungen

72

4.1 Außenwände

72

4.2 Dächer

73

4.3 Decken über Durchfahrten

73

4.4 Wohnungstrenndecken

74

4.5 Treppenraumwände

74

4.6 Wohnungstrennwände

74

4.7 Haustrennwände

74

4.8 Kellerdecken

75

4.9 Böden über Erdreich

75

4.10 Kelleraußenwände

76

4.11 Unbeheizte Kellerräume

76

4.12 Balkone und Attiken aus Beton

76

4.13 Fenster

77

4.14 Türen

77

4.15 Treppen

77

4.16 Bad und WC

78

4.17 Laute Räume

78





2.19 - 1996

# Bauteile sicher beurteilen: Wärme, Feuchte, Schall

Erkennen der Einflüsse, einfaches Abschätzen und  
Bewerten in Planung und Ausführung

Lothar Siebel

**Forschungsauftrag:**

Bauteile sicher beurteilen:  
Wärme, Feuchte, Schall

- Erkennen der Einflüsse, einfaches Abschätzen  
und Bewerten in Planung und Ausführung -

**Auftraggeber:**

Ministerium für Bauen und Wohnen  
des Landes Nordrhein-Westfalen (MBW)  
und  
Landesinstitut für Bauwesen  
des Landes Nordrhein-Westfalen (LB)

**Auftragnehmer:**

Prof. Dr. Lothar Siebel  
Sachverständiger für Bauphysik  
Im Grüntal 22  
52066 Aachen

Bearbeitung der Grafik  
Sabine Meringdal

**Beratung:**

Prof. Dr. Jörg Schulze, Rheinisches Amt  
für Denkmalpflege  
MR Scherf, MBW  
OAR Wollert, MBW  
Dipl.-Ing. Meisel, LB  
Dipl.-Ing. Morschel, LB



9715748

**Herausgeber und Vertrieb:**

Landesinstitut für Bauwesen  
des Landes Nordrhein-Westfalen (LB)  
Theaterplatz 14, 52062 Aachen  
Tel.: 0241/ 455-01

im Auftrag des  
Ministeriums für Bauen und Wohnen  
des Landes Nordrhein-Westfalen (MBW)

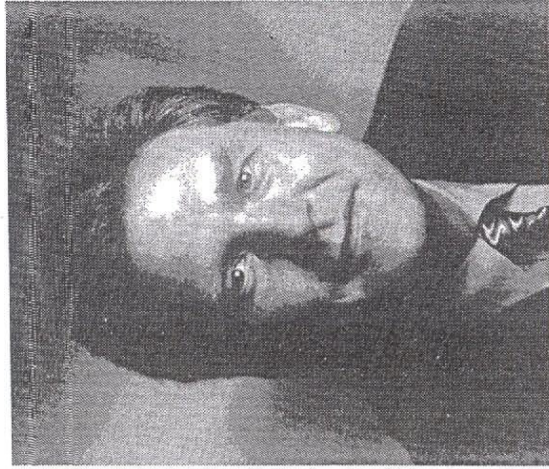
© LB Aachen 1993

1. überarbeiteter Nachdruck 1996

**Druck:**

Kartographie und Druck Peter List, Aachen  
(gedruckt auf 100 % Recyclingpapier)

## Vorwort



„Ruhe ist die erste Bürgerpflicht“. Dieser Spruch aus der „guten, alten Zeit“ gewinnt in unserer schnelllebigen Gegenwart immer mehr an Bedeutung.

Erst wenn der streßgeplagte Bürger die Behaglichkeit in seinen vier Wänden empfindet, kann er sich erholen und für den nächsten Tag neue Kräfte sammeln. Die baulichen Voraussetzungen dafür zu schaffen, erfordert von den Planerinnen und Planern fachgebietsübergreifendes Wissen.

Gesunde Nutzungsbedingungen und sichere Funktionserfüllung der Gebäude und deren Bauteile müssen gewährleistet werden.

Sie müssen Schutz vor Kälte und Feuchte, übermäßiger Wärme und Lärm bieten. Dieses Feld bauphysikalischer Phänomene wird zunehmend komplexer.

Deshalb wird es für Planerinnen und Planer immer schwieriger, vollständig zu überblicken, wie sich ihre Entscheidungen auf das Gebäude insgesamt und seine Nutzerinnen und Nutzer auswirken. Von den Planenden wird jedoch erwartet, daß sie alle Aspekte der verschiedenen Zweige der Bauphysik, die häufig von Spezialisten abgedeckt werden, zu einer zuverlässigen Lösung der Planungsaufgabe zusammenführen.

Die vorliegende Arbeit will für den nicht in Bauphysik spezialisierten Architekten und Ingenieur ein Arbeitsmittel bereitstellen, das die vereinfachte Beurteilung bauphysikalischer Zusammenhänge für verschiedene Bauteile erlaubt. Zum Grundverständnis wichtige bauphysikalische Erscheinungsbilder werden in anschaulicher Weise beschrieben, vereinfachte Betrachtungsweisen zur Abschätzung der Funktionserfüllung von Bauteilen erläutert und durch handhabbare Checklisten und Arbeitsblätter ergänzt. Dabei wird besonderer Wert darauf gelegt, Bewertungen fachgebietsübergreifend zu ermöglichen - z.B. die Beurteilung eines Dämmstoffes auch unter den Aspekten des Feuchteschutzes und der Schalldämmung.

Damit wird ein Beitrag zum Schutz von Bauherren sowie Nutzerinnen und Nutzern vor ungesunden Nutzungsbedingungen geleistet, zum Schutz vor finanziellen Verlusten durch entstehende Baumängel und Schwachstellen und zur Gewährleistung der sicheren Umsetzung bauphysikalischer Grundsätze in praktische Arbeit.

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Michael Vesper'.

(Dr. Michael Vesper)

Minister für **Bauen und Wohnen**  
des Landes Nordrhein-Westfalen



# Inhaltsverzeichnis:

Seite

<b>1. Grundsätzliche Einordnungen</b>	9
<b>2. Bautechnisch relevante physikalische Phänomene</b>	11
2.1 Behaglichkeit	11
2.2 Wärme	15
2.3 Feuchtigkeit	18
2.4 Rissebildung	29
2.5 Umweltgegebenheiten	33
2.6 Bauakustik	36
2.7 Raumakustik	45
<b>3. Vereinfachte Bewertungsmethoden</b>	49
3.1 Bewertungen zum Wärme- und Feuchteschutz	49
3.2 Bewertungen zur Bauteilverformung und Rissebildung	52
3.3 Bewertungen zur Bauakustik	55
3.4 Bewertungen zur Raumakustik	65
3.5 Bewertungen zum Schallimmissionsschutz	66
<b>4. Bauphysikalische Standardbetrachtungen</b>	72
4.1 Außenwände	72
4.2 Dächer	73
4.3 Decken über Durchfahrten	73
4.4 Wohnungstrenndecken	74
4.5 Treppenraumwände	74
4.6 Wohnungstrennwände	74
4.7 Haustrennwände	74
4.8 Kellerdecken	75
4.9 Böden über Erdreich	75
4.10 Kelleraußenwände	76
4.11 Unbeheizte Kellerräume	76
4.12 Balkone und Attiken aus Beton	76
4.13 Fenster	77
4.14 Türen	77
4.15 Treppen	77
4.16 Bad und WC	78
4.17 Laute Räume	78

### 1. Grundsätzliche Einordnungen

Der praktische und theoretische Kenntnisstand in der Bauphysik ist in den letzten Jahrzehnten so groß geworden, daß ein sicheres Konstruieren auch mit zuvor unbekanntem Konstruktionsmaterial möglich erscheint. Während man früher darauf angewiesen war, daß Baukonstruktionen nur bei hinreichender praktischer Erfahrung als geeignet angesehen werden konnten, wird seit den 60er Jahren (mit einem damals sehr schwachen Kenntnisstand) von dieser „Traditionsmethode“ abgewichen. Grundsätzlich besteht bei neuen Konstruktionen die Gefahr, daß wesentliche Dinge übersehen werden. Ebenso können auch bei bewährten Konstruktionen, durch geringe Variationen oder bei speziellen Einwirkungen infolge des Einsatzortes, problematische Verhältnisse auftreten.

Für den in der Praxis tätigen Planer ist es ungenügend schwierig, die verschiedenen Variationen von Baukonstruktionen sicher einzustufen und das Zusammenfügen mehrerer Konstruktionen problemlos zu realisieren. Zum einen sind die Anforderungen diffiziler geworden, zum anderen ist die Vielzahl der Baustoffe mit ihren unterschiedlichen Eigenschaften kaum mehr zu überblicken und sowohl die Anforderungen wie die Baustoffeigenschaften führen zu sekundären Problemen, welche erhebliche Mängel in unerwarteten Bereichen verursachen können.

Um aus dem hier skizzierten Dilemma herauszukommen, erscheint ein neues Ordnen der Sachverhalte sinnvoll, damit der Überblick über die Zielsetzungen und das Zusammenwirken der verschiedenen Mechanismen nicht verlorengeht. Eine derartige Betrachtung war sicherlich in früheren Zeiten nicht oder weniger notwendig, da von traditionellen Bauarten und erprobten Konstruktionen praktisch nicht abgewichen wurde.

Eine elementare Frage ist zunächst: Was beeinflusst Bauform und Bauart? Hierzu wird im folgenden eine Einstufung skizziert:

#### a. Primärkomponenten

Diese sind gegeben durch Zweck, Raumbedarf, Mindestanforderungen an das Raumklima u. dgl..

#### b. Sekundärkomponenten

Durch die vorgesehenen Baustoffe und Tragsysteme entstehen Konsequenzen für die Bauform und für die Bauweise, welche jedoch nicht sichtbar werden müssen. Zusätzliche Einflüsse entstehen durch ökologische

und ökonomische Aspekte.

Die Wechselwirkungen durch das Außen- und das Innenklima können alle Bereiche der Primär- und Sekundärkomponenten beeinflussen.

#### c. Tertiärkomponenten

Die physiologische und psychologische Wirkung durch visuelle Sinnesstimulation ist aus Animationsgründen gewollt und hat Einfluß auf Raumproportionen, Raumwinkel, Sichtweite, Durchsichtigkeit von Konstruktionen, Kontrast, Maßstäblichkeit, Randeffekte, Lichtwirkung u. dgl..

Eine psychologische Einwirkung auf den Menschen soll oftmals durch visuelle Signalkomponenten hergestellt werden, wie beispielsweise durch einen Monomental-, Macht-, Repräsentations-, Moral-, Individual-, Funktions- oder Collagecharakter.

Einen beachtlichen Einfluß haben hier emotionale Aspekte, welche aus einem Gruppenzugehörigkeitsgefühl (Tradition) und einer Beachtungslust zu stammen scheinen.

Hohe Ansprüche an das Raumklima hinsichtlich thermischer, hygrischer, akustischer und anderer spürbarer Einflüsse sind im wesentlichen aus physiologischer Warte begründet.

Bei den Primär-, Sekundär-, und Tertiärkomponenten, welche auf die Bauform und -art Auswirkungen haben, sind bauphysikalische Aspekte von Bedeutung. Bauphysikalische Betrachtungen sollten hier ein Bindeglied zwischen den physiologischen Erfordernissen, den physikalischen Mechanismen und den bausystem-, bauteil- und baustoffbedingten Eigenschaften sein.

Weil für eine sichere Analyse bei der Bewertung von baulichen Verhältnissen ein Verständnis für die einzelnen baupraktischen (bauphysikalischen) Phänomene notwendig ist, besteht ein wesentlicher Teil dieser Arbeit in der qualitativen Darstellung dieser Phänomene.

Die vorliegende Arbeit soll dem Entwerfer, Konstrukteur und Bauleiter dabei behilflich sein, wesentliche Einflüsse auf Bauteile und Forderungen an diese nicht zu übersehen.

Es soll ein rascher Überblick für den jeweiligen Einzelfall gegeben werden, dabei sollen für Regelfälle überragende Bewertungen möglich sein, und es sind bei Bedarf „Hintergrundinformationen“ aus dieser Arbeit zu entnehmen.

Zur Beurteilung von Bauteilen und Baukonstruktionen werden im Kapitel „Denkanstoßlisten“ auf wenigen Seiten wesentliche Hinweise gegeben. Genauere Beur-



## 1. Grundsätzliche Einordnungen

teilungen sind mittels „Vereinfachter Betrachtungsmethoden“ rechnerisch, aber im Regelfall auch ohne rechnerische Nachweise möglich.

Für den Fall, daß die physikalischen Mechanismen unklar sind, besteht die Möglichkeit, hierüber in einem abgebildeten Kapitel Aufschluß zu erhalten.

Die Literaturangaben am Ende dieser Arbeit sind speziell für die praktische Arbeit zusammengestellt.

Trotz aller Bemühungen gründlich zu sein, sind Lücken und leider auch Fehler nicht sicher zu vermeiden - deshalb sollte eine kritische Überprüfung bei der Anwendung dieser Veröffentlichung nicht unterbleiben.

Bei der Bemessung von Bauteilen sind für die einzelnen Teilaspekte - ohne die besondere Berücksichtigung von Tragfunktion und Gestaltung - folgende Gründe gegeben:

### a) Wärmeschutz

Behaglichkeit und Gesundheitserhaltung, Risikobildungsvermeidung, Tauwasservermeidung, Energieeinsparung

### b) Feuchteschutz

Behaglichkeit und Gesundheitserhaltung, Erhaltung der Bauteile (Bautenschutz), Vermeidung günstiger Bedingungen für die Ausbreitung von Pilzen und Kleintierbewesen, Schutz von feuchteempfindlichen Gütern (Betriebskosten)

### c) Schallschutz

Behaglichkeit und Gesundheitserhaltung, Nachtruhe, Ruhe im Erholungs- und Arbeitsbereich, Möglichkeit zur Diskretion

### d) Brandschutz

Schutz von Personen, Schutzmaßnahmen gegen Brandausbreitung zur Schadensbegrenzung und Schutz von Gütern

### e) Ökologisches Bauen (Umweltschutz)

Luft, Boden und Wasser sollen durch menschliche Aktivitäten - hier durch das Bauen - so wenig wie möglich belastet werden. Es sind speziell die Belastungen gemeint, welche direkt oder indirekt schädigend auf Menschen, Tiere und Pflanzen wirken.

Zu dem sind Prozesse anzustreben, welche einen ökologischen Kreislauf bilden können, so daß kein oder wenig belastender Abfall entsteht.

### f) Ökonomisches Bauen

Begrenzung der wirtschaftlichen Belastung; Herstellungs-kosten, Folgekosten, Nutzflächenrelation und gestalterische Aspekte beeinflussen die Gesamtwirtschaftlichkeit

### g) Baustoffwahl

Herstellungs- und Folgekosten, Tragfähigkeit, mögliche konstruktive Systeme, Wärmeschutz, Feuchteschutz, Schallschutz, Brandschutz, Raumklimaeflüsse, gestalterische Aspekte, Dauerhaftigkeit, Bauunterhaltung

Die verschiedenen Anforderungen an ein Bauteil lassen sich durch unterschiedliche Vorgehensweisen erfüllen. Hierbei stößt man zuweilen auf ideologische Aspekte, wie sie z. B. in den scheinbaren Gegensätzen von Funktionsintegration und Funktionstrennung gesehen werden können.

Bei der Funktionsintegration tendiert man zur einschlägigen Bauweise. Durch entsprechende Bauteildicken ist z.B. der Wärmeschutz und der Feuchteschutz (ggf. durch Gleichgewichtsbedingungen) herstellbar.

Die Funktionstrennung führt dazu, daß spezielle Bauteilschichten, wie Wärmedämmschichten, Abdichtungsschichten und mehrschalige Systeme unter anderem Wärme-, Feuchte- und Schallschutz „speziell“ realisieren sollen.

Die frühere traditionelle Bautechnik machte, bei geringen Komfortansprüchen, bauphysikalische Untersuchungen praktisch nicht erforderlich. Diese Bauweise und andere entsprechend günstige Bedingungen lassen sich in Stichworten wie folgt beschreiben:

- dicke, homogene Wände, gut vermörtelt und verputzt,
- kein Mischmauerwerk,
- Einfachfenster mit Holzrahmen,
- Fenster mit Einfachverglasung,
- Heizkörper im Fensterbereich oder Einzelöfen mit Rauchabzug,
- Steildächer mit nicht ausgebauten Dachräumen,
- keine Verwendung von Abdichtungsbahnen,
- Keller nur für Lagerungszwecke,
- keine WCs und Bäder in Wohnungen,
- keine Anwendung von Normalbeton,
- Holzbalkendecken mit Füllungen,
- hohe Geschosse,
- keine übermäßigen Fensterflächen,
- Schlafräume und Küchen auf der Ostseite,
- Hauseingänge an der Ost- oder Nordseite,
- Elternschlafräume an der Gartenseite und nicht an Treppenhäusern,
- keine Maschinen und elektroakustischen Anlagen,



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

- weichfedernde Bodenbeläge,
- keine Steinzeugbeläge.

Bauphysikalische Betrachtungen werden insbesondere bei folgenden Gegebenheiten notwendig:

- Anwendung von Dämmstoffen,
- Innendämmung,
- Betondecken,
- Einsatz von unterschiedlichen Wandbaustoffen,
- Isolierverglasung und dichte Fensterfugen bei nicht konsequent gedämmten Häusern,
- WCs und Bäder in Wohnungen
- hohe Komfortansprüche, geringe körperliche Betätigung und Ballungsstreb
- Reduzierung von Heizkosten
- anomale Bauformen
- anomale Baukonstruktionen

Im folgenden Kapitel sind die Mechanismen und Modellvorstellungen der praktisch relevanten bauphysikalischen Phänomene, mit vorwiegend qualitativen Beschreibungen, dargestellt. Die einzelnen Phänomene sind mit Begriffen bezeichnet, welche z.T. in der Bauwelt bekannt sind, aber zu einem großen Teil neu erfunden wurden, weil entsprechende Begriffe fehlten oder vorhandene nicht besonders sinnvoll erschienen. Abstrakt gesehen ist die Anzahl der bauphysikalischen Phänomene nicht so groß wie im folgenden dargestellt. Jedoch würde eine abstraktere Darstellung den Bezug zur Praxis erschweren, daher wurde einer praxisge-rechteren Betrachtung der Vorzug gegeben.

## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

### 2.1 Behaglichkeit

Die besonders relevanten Phänomene zum Thema „Behaglichkeit“ sind unter folgenden Begriffen dargestellt:

- Empfindungstemperatur,
- Fußkälte,
- Asymmetrische Wärmebelastung,
- Barackenklima,
- Plastikritenklima,
- Zugluftproblematik.

#### 2.1.1 Empfindungstemperatur

Die von einer Person empfundene Temperatur, welche ein wesentliches Behaglichkeitskriterium ist, wird durch die Lufttemperatur, die mittlere Oberflächentemperatur der umschließenden Bauteile und durch die Luftzirkulation beeinflusst. Für nicht klimatisierte Räume ist der Mittelwert aus Lufttemperatur und Oberflächentemperatur in der Regel die maßgebliche Größe. Die Ursache für diese Temperaturempfindung liegt in der Wärmeabgabe, welche im Regelfall zu ca. 35 % durch Konvektion, zu ca. 40 % durch Strahlungsaustausch und zu ca. 25 % durch Feuchtigkeitsabgabe erfolgt, wobei der Gesamtbetrag der Wärmeabgabe ohne besondere körperliche Betätigung ca. 115 W beträgt. Der Einfluß der Wärmeabgabe durch Feuchtigkeit hat

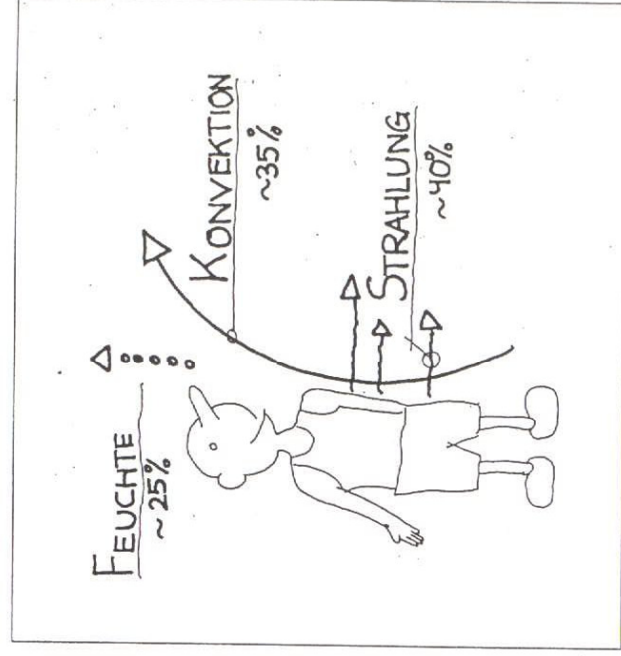


Abb. 1  
Wärmeabgabe einer Person

Die verschiedenen bauphysikalischen Aspekte sind unter Ziffer 2. nach folgenden Themen geordnet:

- 2.1 Behaglichkeit
- 2.2 Wärme
- 2.3 Feuchtigkeit
- 2.4 Rissebildung
- 2.5 Umweltgegebenheiten
- 2.6 Bauakustik
- 2.7 Raumakustik

## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

für den Regelfall eine untergeordnete Bedeutung. Erst bei relativ extremen Lufttemperatur- und Luftfeuchtigkeitswerten ist dieser Einfluß bedeutsam.

Auf einfache Weise kann die Empfindungstemperatur mittels eines normalen Flüssigkeitsthermometers bestimmt werden, bei dem ein leicht aufgeblasener Luftballon über den unteren Teil des Thermometers gestülpt ist.

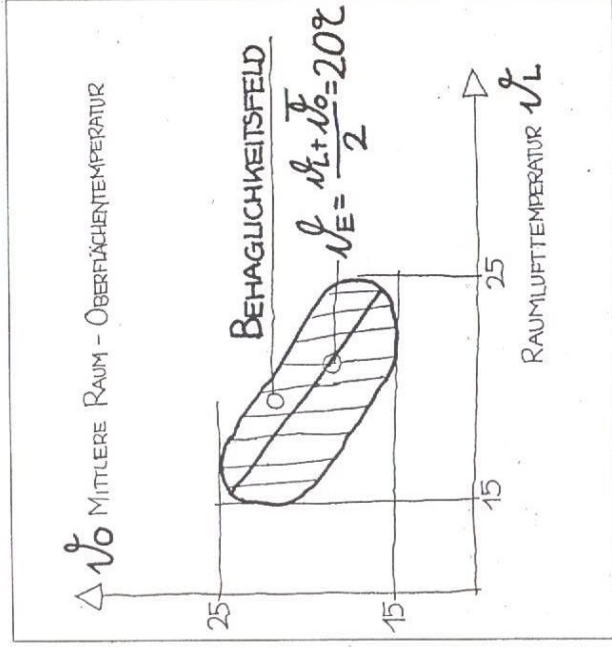


Abb. 2  
Behaglichkeitsfeld abhängig von der Raumlufttemperatur und der mittleren Oberflächentemperatur

### 2.1.2 Fußkälte

Ein nicht ausreichend fußwarmer Boden führt zu Unbehaglichkeit, wobei sowohl die Oberflächentemperatur Bedeutung besitzt, als auch der instationäre Vorgang der Wärmeableitung. D.h. man benötigt im Regelfall Fußboden-Temperaturen von mehr als 18 °C und mindestens „ausreichend fußwarme“ Bodenbeläge, welche in geringem Maße die Wärme ableiten; geeignet sind Teppichbeläge, PVC auf Filz, Kork und Holzfußböden. Bei Steinzeugbelägen (fußkalten Bodenbelägen) sind zur Herstellung von Behaglichkeit in der Regel mind. 22 °C warme Fußböden erforderlich.

Der geforderte Wärmeschutz nach DIN 4108 ist - zur Erzielung ausreichender Fußbodentemperaturen - für Böden über Erdreich, Kellerdecken, Decken über Durchfahrten und dgl. deshalb besonders hoch.

Die Wärmeableitung von Bodenbelägen wird durch die  $w_{10}$ - und  $w_{10}$ -Werte bewertbar (Wärmemenge in kJ/qm, welche von einem definierten künstlichen Fuß innerhalb der ersten Minute bzw. innerhalb der ersten zehn Minuten nach dem Aufsetzen in den Boden abfließt). Je

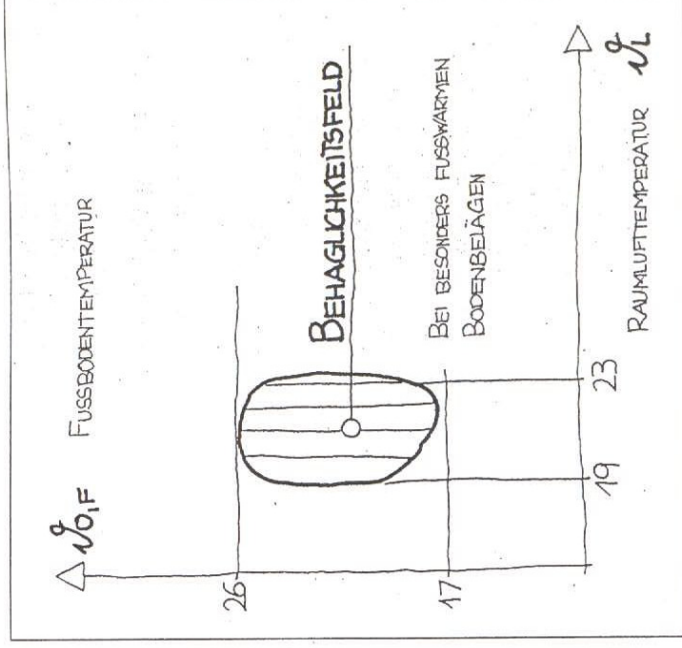


Abb. 3  
Behaglichkeitsfeld abhängig von der Raumlufttemperatur und der Fußbodenoberflächentemperatur

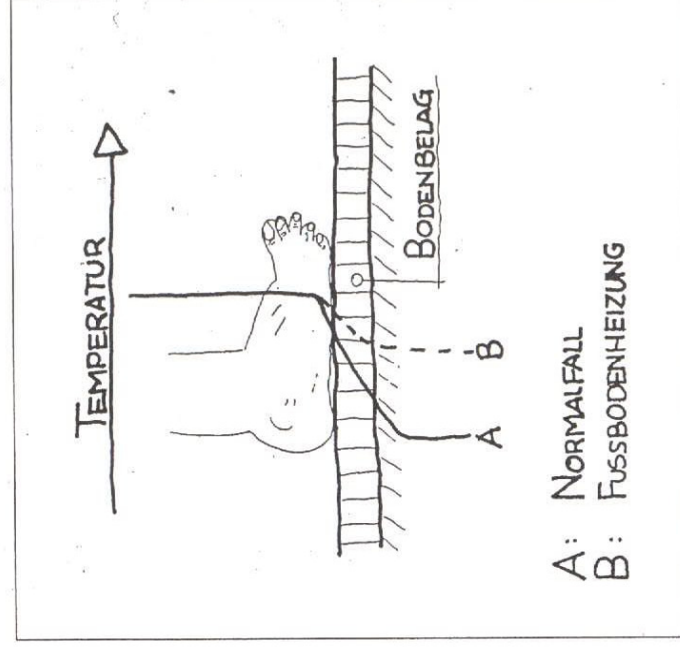


Abb. 4  
Temperatur im Bereich Fuß/Boden

kleiner diese Werte sind, um so besser ist die Fußwärme des Bodenbelags zu bewerten. Steinzeugbeläge müssen grundsätzlich als fußkalt eingestuft werden. Die Auffassung, daß eine Fußbodenheizung dieses Problem bei Steinzeugbelägen grundsätzlich beseitigt, ist nicht richtig. Zum einen ist bei Steinzeugbelägen Fußkälte dann gegeben, wenn die Fußbodenheizung nicht in Betrieb ist, und zum anderen ist der Wärmezufluß



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

durch eine Fußbodenheizung bei bekleideten Füßen (bei Fußbodentemperaturen über 23 °C) problematisch - weiterhin ist die Auskühlung des Estrichs bei einer kurzzeitigen Fensterlüftung bei dieser Situation energetisch ungünstig. Zumindest sollten daher in den Aufenthaltszonen entsprechend fußwarme Bodenbeläge vorhanden sein, welche auch den als negativ einzustufenden Wärmefluss zum Fuß (bei einer Fußbodenheizung zum bekleideten Fuß) mindern.

In den verschiedenen Bereichen können i.a. folgende Bodenbeläge als sinnvoll angesehen werden:

Küche:	PVC auf Schaum, Kork o.ä.
Bad:	PVC oder Steinzeug
Schlafraum: Wohn-, Kinder-, Arbeitsräume:	Teppich (wegen der Staubbindung)
Flur:	Teppich oder Holzböden Steinzeug, PVC o.ä. oder Teppich

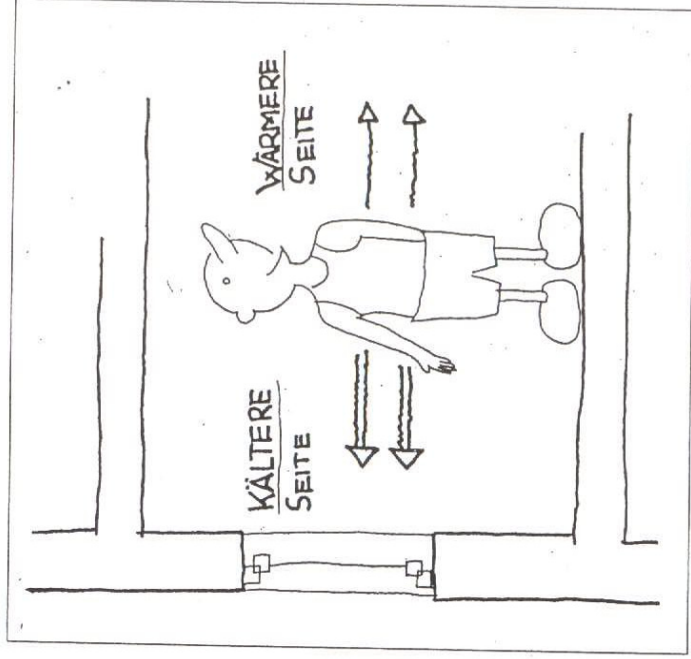


Abb. 5

Wärmestrahlung einer Person bei asymmetrischer Wärmeabgabe

### 2.1.3 Asymmetrische Wärmebelastung

Ungünstig für die Gesundheit ist eine asymmetrische Wärmebelastung des Körpers. Diese ist dann gegeben, wenn eine Körperseite, die rechte oder linke, im stärkeren Maße eine Auskühlung erfährt (s. Abb. 5). So kann der nahe Aufenthalt an Außenfenstern zu schmerzhaften Beschwerden führen. Insbesondere ist bei beheizten Schlafzimmern wegen der langen Aufenthaltsdauer ein Schlafbereich in der Nähe von Fenstern und mäßig gedämmten Außenwänden problematisch. Hier ist eine parallele Aufstellung von Betten zu solchen Bauteilen möglichst zu vermeiden, oder es sind entsprechende Abstände notwendig, um die Gesundheit langfristig nicht zu gefährden.

### 2.1.4 Barackenklima

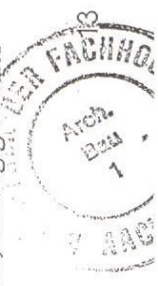
Eine geringe Wärmespeicherfähigkeit der raumumschließenden Bauteile von Räumen führt unter sommerlichen Bedingungen zu einer raschen Beeinflussung der Raumtemperaturen (Räume können wie eine Wärmefalle wirken).

Es sind hier die raumseitigen speicherfähigen Massen von Bedeutung. Nachteilig wirken sich leichte Verkleidungen an Außenwänden, Innenwänden und Decken aus. Die Raumaufheizung wird in der Regel hauptsächlich infolge der Sonneneinstrahlung durch die Fenster verursacht, aber auch über größere leichte Wände und Dächer sowie durch interne Wärmequellen (Personen, Geräte). Hierzulande kann dieses Phänomen vor allem sommertags auftreten und zu unerträglichen

Raumlufttemperaturen führen. Von großer Bedeutung ist die Vermeidung des Barackenklimas in den Klimabereichen, wo große Tagestemperaturschwankungen auftreten, was insbesondere beim Kontinentalklima und in den Subtropen der Fall ist, aber auch hierzulande, bei einer „Strahlungswetterlage“ - bei unbewölktem Himmel (besonders im Binnenland) können größere Außenlufttemperaturschwankungen auftreten, bis zu 15 K zwischen Tag und Nacht.

Das Temperaturamplitudenverhältnis TAV ( $TAV = dt/dt_a$ ) und die Phasenverschiebung sind hier Bauteilkennwerte, welche eine Bewertung von nicht transparenten Außenbauteilen ermöglichen. In Räumen sind nur geringe Temperaturschwankungen erwünscht, so daß die TAV-Werte niedrig sein sollen. Im allgemeinen wird eine Phasenverschiebung von ca. 12 Stunden angestrebt, um die - durch die Tageszeit bedingten - wärmeren und kühleren Temperaturen auf der Raumseite auszugleichen.

In unserer Klimazone ist der Effekt des Barackenklimas im allgemeinen auf Räume, welche sich unter leichten Steildächern an der Süd- und insbesondere an der Westseite von Gebäuden befinden, beschränkt. Durch verhältnismäßig große wärmespeichernde Bauteile im Raum, durch höhere Wärmedämm-Maßnahmen bei leichten nicht transparenten Außenbauteilen, und durch einen besonders guten Sonnenschutz bei größeren Fenstern kann eine übermäßige Raumaufheizung in Grenzen gehalten werden. Ein ausreichend gutes Raumklima ist für die Sommerzeit im allgemeinen mit Sonnenschutzmaßnahmen, abhängig von der





## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

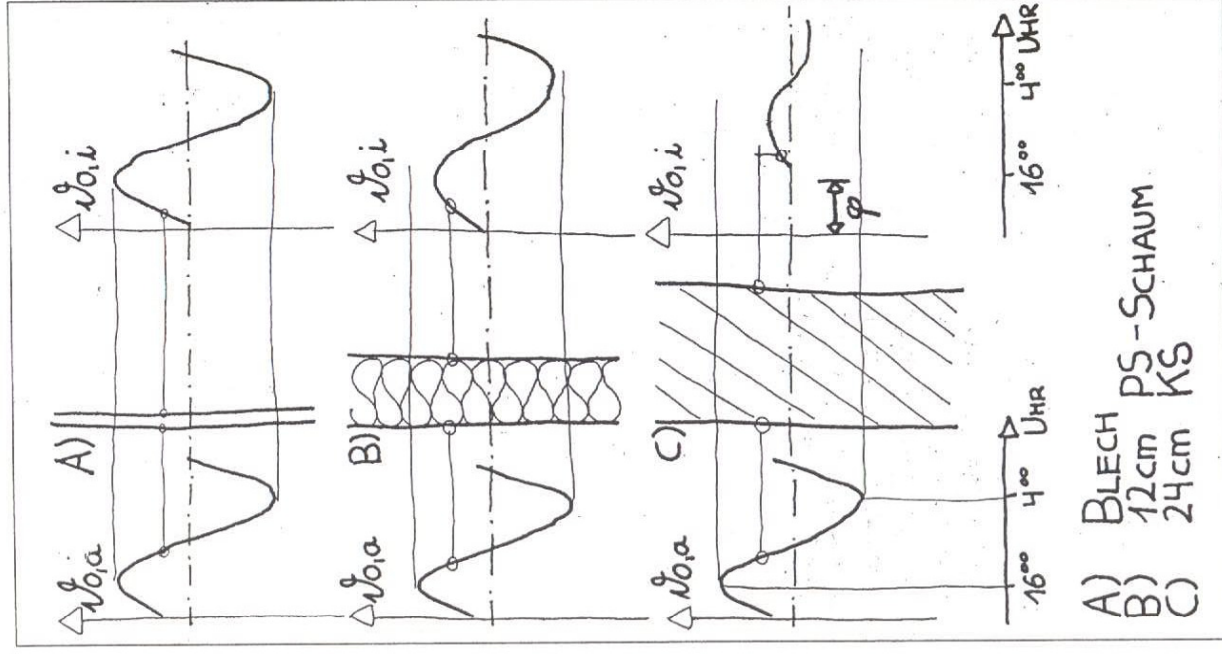


Abb. 6  
Darstellung zum Temperaturamplitudenverhältnis und zur Phasenverschiebung

Fensterorientierung, herstellbar, wenn das Verhältnis der sonnenbestrahlten Fensterflächen zu den wärmespeicherfähigen Innenbauteilen kleiner als 1/9 ist, vgl. Abb. 7.

### 2.1.5 Plastiktütenklima

Die Sorptionsfähigkeit (gegenüber Wasserdampf) der raumumschließenden Bauteile sowie die Sorptionsfähigkeit der Oberflächen von Einrichtungsgegenständen entscheiden bei üblichen Gegebenheiten über das hygrische Raumklima. Kurzfristige Belastungen werden durch Sorption aufgefangen, so daß die relative Luftfeuchtigkeit nur geringfügig schwankt - bei geringeren

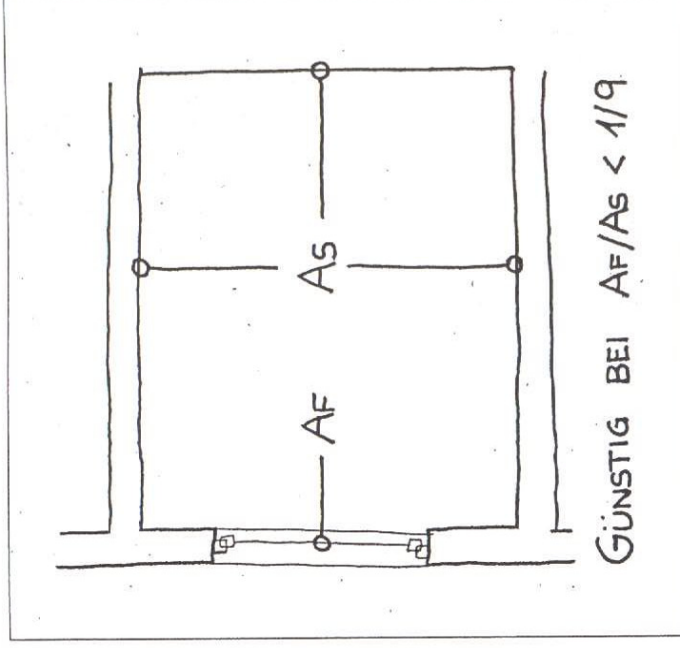


Abb. 7  
Verhältnis der wärmespeicherfähigen Bauteile zur Fensterfläche

Belastungen wird die sorbierte Feuchtigkeit wieder an die Raumluft abgegeben und durch die Lüftung abgeführt. Ist die Sorptionsfähigkeit der Oberflächen gering, so steigt die Raumluftfeuchtigkeit - schon bei geringen Belastungen - extrem. Dieser Effekt ist anzutreffen bei Räumen, welche z.B. mit Vinyltapeten o.ä. versehen sind, große lackierte Oberflächen besitzen, große Glas- und Spiegelflächen haben oder vollflächig verflies sind. Im allgemeinen sollten Bauteiloberflä-

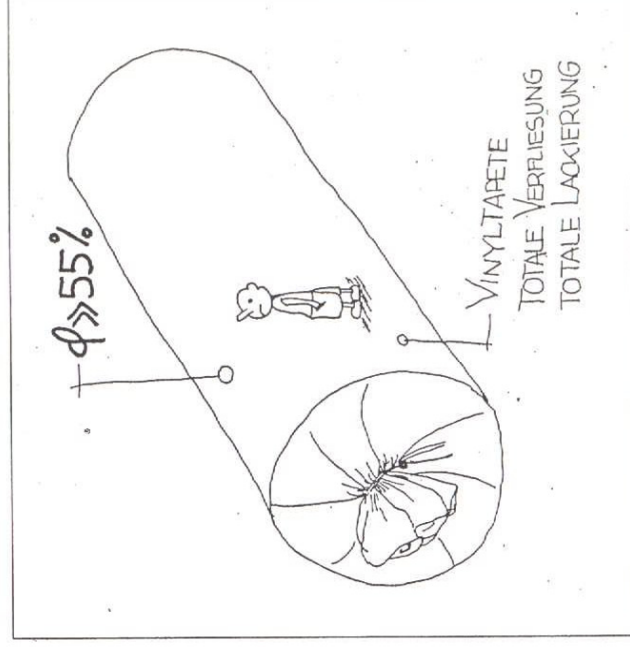


Abb. 8  
Geringe Sorptionsfähigkeit von Bauteiloberflächen kann zur unerträglichen Raumluftfeuchte führen

## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

chen mit guten Sorptionseigenschaften (poröse Oberflächen) in Räumen einen Anteil von mind. 30% und in Schlafräumen von mind. 60% haben.

Am Rande sei darauf hingewiesen, daß eine Trocknung von Betten (tagsüber mittels einer Heizdecke) zur Verbesserung der Sorptionsfähigkeit in diesem Bereich sinnvoll erscheint.

### 2.1.6 Zugluftproblematik

Luftgeschwindigkeiten bis 0,2 m/s werden i. d. R. nicht als störend empfunden. Bei luftdurchlässigen Außenbauteilen, insbesondere bei exponierter Gebäudelage sowie bei Klimaanlagen werden häufig Klagen wegen Zugluft laut. Es hat sich hier gezeigt, daß mit entsprechend empfindlichen Meßinstrumenten nachweisbar ist, daß die Luftgeschwindigkeiten zwar im Mittel  $< 0,2$  m/s sein können, dennoch aber Spitzen vorhanden sind, die offensichtlich als störend empfunden werden und überdies zu körperlichen Beschwerden führen können.

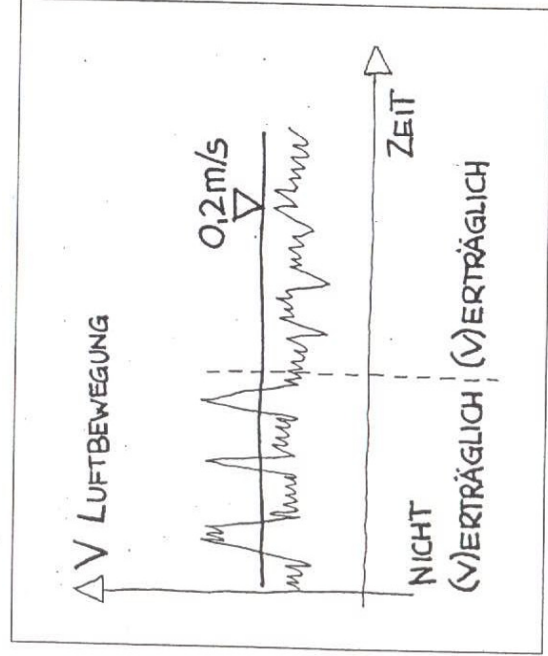


Abb. 9  
Luftbewegungen im Raum, welche nicht verträglich bzw. verträglich sind

## 2.2 Wärme

Die besonders relevanten Phänomene zum Thema „Wärme“ sind unter folgenden Begriffen dargestellt:

- Wärmedämmpentagon,
- Spatzentrick,
- Wirtschaftlichkeitskalkül,
- Treibhauseffekt,
- Energiefiltereffekt.

### 2.2.1 Wärmedämmpentagon

Durch 5 Tricks läßt sich der Wärmeverlust von Gebäuden reduzieren. Diese 5 Tricks sind in der Thermoskanne von altersher (seit 1892) eingebaut. Im einzelnen sind folgende Maßnahmen zur Minderung des Wärmeverlustes möglich:

1. luftdichte Konstruktionen
2. Luft- (Gas-)schichten oder besser noch Stoffe mit einem hohen Porenanteil, wie z.B. Dämmstoffe mit bis zu 99 % Luft.
3. metallische Oberflächen, welche einen geringen Wärmestrahlungsaustausch haben. Während die Wärmeleitung von Metallen besonders hoch ist (bei Stahl, Alu und Kupfer Faktor 60, 200 und 380 gegenüber KS 1,8), wird bei diesen Stoffen eine sehr geringe Wärmeabstrahlung von den Oberflächen beobachtet (blankes Alu: Faktor 0,05 gegenüber nichtmetallischen Stoffen).
4. trockene Konstruktionen, weil durch Feuchtigkeit die Luftporen zu Wasserporen werden und diese gegenüber Luftporen eine um den Faktor 25 höhere Wärmeleitfähigkeit besitzen, und weil durch den Feuchtetransport, welcher mit dem Wärmetransport einhergeht, eine erhebliche Wärmemenge transportiert wird.

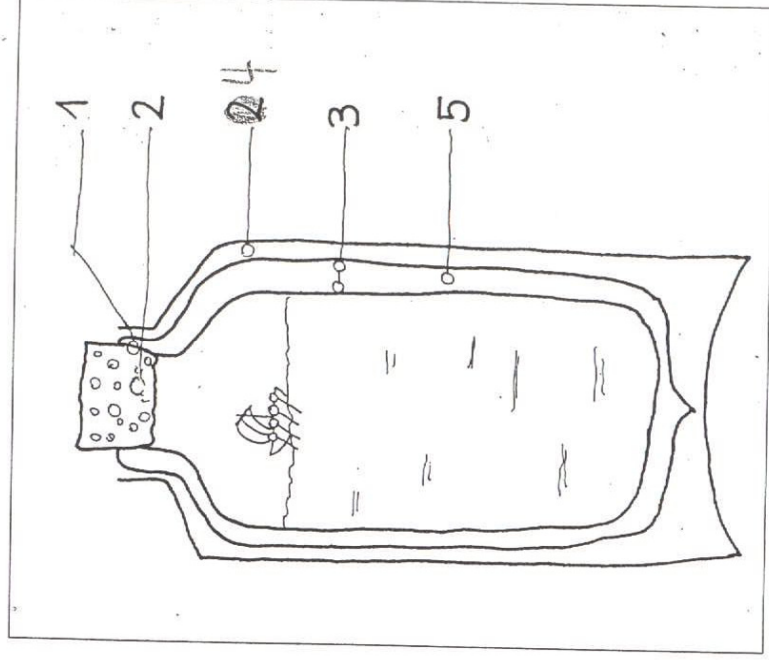


Abb. 10  
Schnitt durch eine Thermoskanne



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

5. Luftlere Schichten (Vakuum); dieser Trick kann bei ebenen Bauteilschichten wegen des atmosphärischen Druckes in der Bautechnik bisher nicht angewendet werden.

### 2.2.2 Spatzenrick

Spatzen und auch andere Vögel plustern sich bei großer Kälte zu einem runden Ball auf. Die Wärmeabgabe wird dadurch reduziert, daß eine große Anzahl von wärmedämmenden Luftschichten entsteht und zusätzlich durch die kugelige Form die Gesamtoberfläche relativ klein gehalten wird, weil die Wärmeabgabe proportional mit der umschließenden Oberfläche steigt.

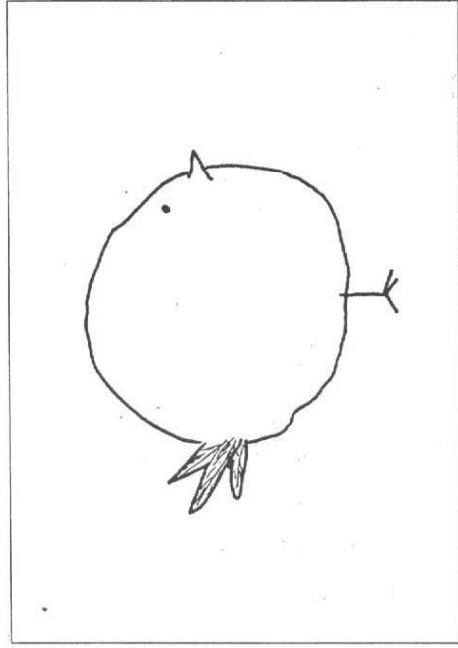


Abb. 11  
Spatz bei hoher, starker Kälte

Die Luftschichten sind in ihrer Wirkung begrenzt, weil vor allem die Durchstrahlung des Luftraumes konstant bleibt und die Konvektion ab ca. 5 cm Abstand stark zunimmt, so daß bei Abständen von ca. 2 cm schon fast der Maximalwert erreicht wird, d.h. ein Aufplustern über dieses Abstandsmaß hinaus ist - zumindest wärmetechnisch - nicht sinnvoll. Da sich die Wärmedämmwirkung bis zu dem o.g. Maß von ca. 2 cm nicht linear verändert, sind viele dünne Luftschichten wirksamer als eine Luftschicht mit 2 cm oder mehr (1 x 2 cm Luft wirkt weniger dämmend als 2 x 1 cm Luft).

### 2.2.3 Wirtschaftlichkeitskalkül

Beim Wärmeschutz ist die Frage nach der Wirtschaftlichkeit gegeben, weil Dämmmaßnahmen auch die Baukosten steigern. Aus privatwirtschaftlicher Sicht sind die Herstellungskosten, die Folgekosten und ggf. der Wohnflächenverlust bei einer derartigen Kalkulation zu berücksichtigen. Hiernach ergeben sich für derzeit übliche Bedingungen optimale Dämmschichtdicken von 12 - 16 cm für Dachkonstruktionen und 4 - 12 cm für Wandkonstruktionen.

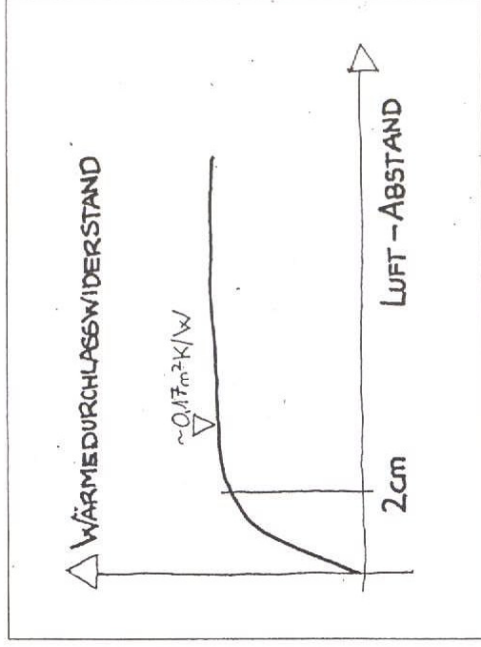


Abb. 12  
Abhängigkeit des Wärmedurchlaßwiderstandes von der Luftschichtdicke a (Luft-Abstand)

### 2.2.4 Treibhauseffekt

Die einfache Isolierverglasung läßt die Sonnenstrahlungsenergie zu 80 % hindurch. Diese kurzwellige Strahlung (0,3-3,0 µm) - einschl. des sichtbaren Lichtes - wird an den umschließenden Bauteilen eines Raumes zu einem großen Teil absorbiert, und infolge von Mehrfachreflektionen strahlt kaum noch Licht (kurzwellige Strahlung) aus den Fenstern heraus - die Fenster erscheinen von außen schwarz, wenn sich nicht unmittelbar dahinter reflektierende Stoffe befinden. Die absorbierte Strahlung führt zur Erwärmung der Bauteile und indirekt zur Erwärmung der Raumluft. Die von den Bauteilen abgestrahlte Wärme ist eine lang-

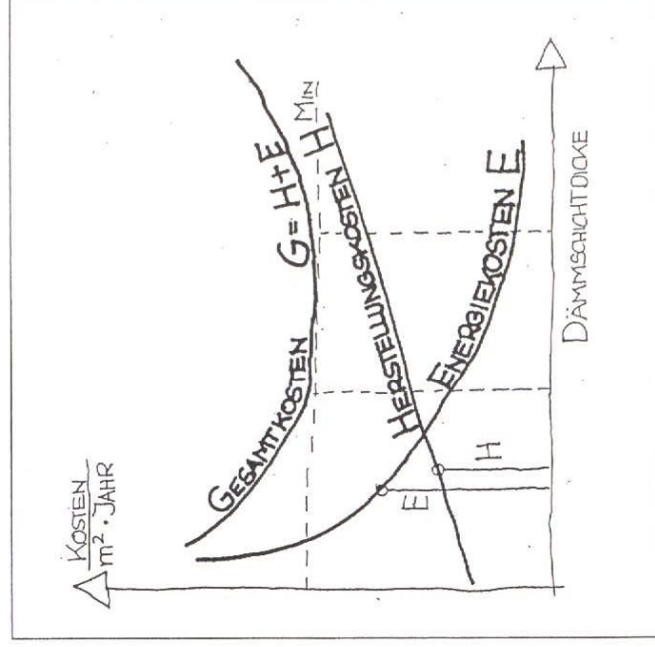


Abb. 13  
Gesamt-Bauteilkosten pro Jahr und  $m^2$  aus Herstellungskosten und Folgekosten (hier: Energiekosten)



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

wellige Strahlung ( $>3,0 \mu\text{m}$ ), welche der sichtbaren Strahlung in der Art entspricht, jedoch diese nur geringfügig durch Gläser hindurchstrahlt. Das Glas wirkt also wie ein Filter, welches kurzwellige Strahlung durchläßt, während es gegenüber der langwelligen Wärmestrahlung praktisch dicht ist.

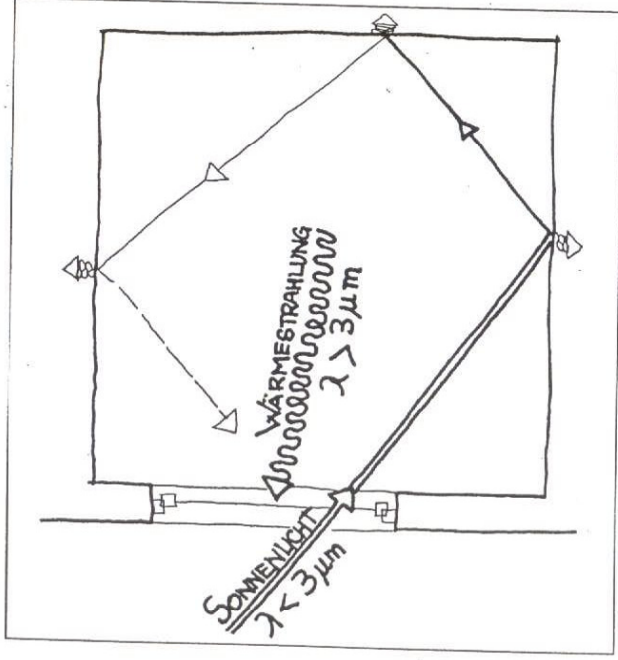


Abb. 14

Wandlung des Sonnenlichtes in langwellige Strahlung und Filterwirkung von Glas, daher Wärmefälle

Der Wärmeaustausch über das Fenster erfolgt vom Raum aus betrachtet nur über den normalen Transmissionsweg, d.h. über die Erwärmung der Verglasung, so daß nur entsprechend dem Temperaturgefälle Wärme nach außen abgegeben wird. Da zumindest in der Sommerzeit dieses Temperaturgefälle gering ist, wird kein größerer Wärmeabfluß stattfinden. Durch Lüftung mit Außenluft läßt sich natürlich ein Teil der Wärme abführen. Diese Wärmeabfuhr ist sehr begrenzt, da die Temperaturdifferenzen i.d.R. gering sind und ein mehr als 3-facher Luftwechsel zur Sommerzeit zu „Zugerscheinungen“ führt. Eine Nachtlüftung ist i.d.R. ratsam.

In unseren geographischen Breiten werden sich bei gleichen baulichen Bedingungen sommertags folgende Räume besonders stark aufheizen:

- Räume mit um  $30^\circ$  nach Süden geneigten Fensterflächen (Dachflächenfenster),
- Räume mit horizontalen oder geneigten Fensterflächen (Lichtkuppeln), mit Ausnahme von Nordausrichtungen,
- Räume mit senkrechten Fensterflächen an der Westseite von Gebäuden,
- hierauf folgen erst die nach Süden und Osten orientierten senkrechten Fensterflächen - wegen der Son-

nenstandshöhe und der täglichen Lufttemperaturentwicklung.

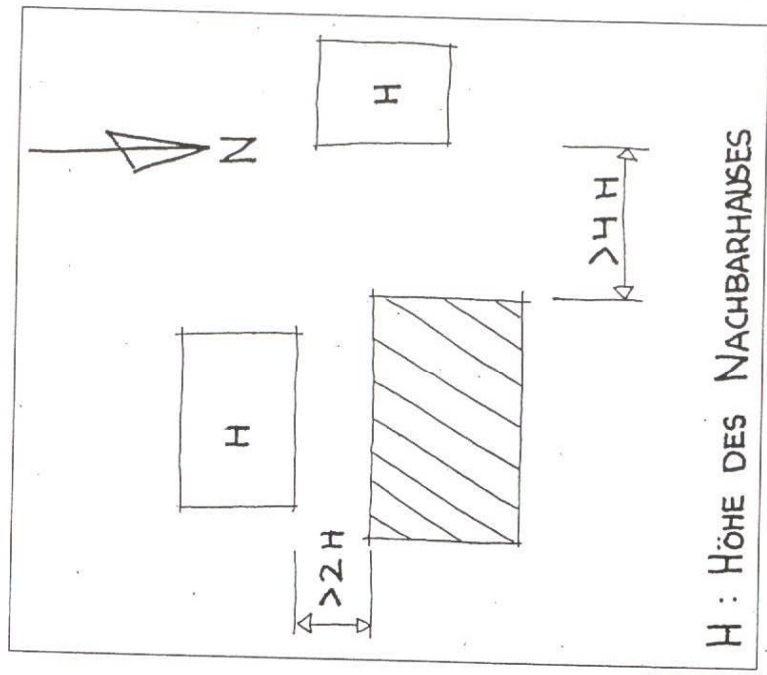


Abb. 15

Sinnvolle Hausabstände zur passiven Solar-Energienutzung

Die sommerliche Raumaufheizung wird weiterhin beeinflusst durch:

- Fenstergrößen,
- Wärmeträgheit der Räume infolge der Bauart (leicht bis schwer),
- Abschattungseinrichtungen,
- Strahlungsfilterung durch metallbeschichtete Fenstergläser,
- Lüftung.

Bei großen nichttransparenten Außenbauteilen ist zu dem das Temperaturamplitudenverhältnis von Bedeutung, vgl. 2.1.4.

### 2.2.5 Energiefiltereffekt

Ohne den Einsatz von Geräten läßt sich die Sonneneinstrahlung zur Raumaufheizung nutzen. Dies erfolgt über die, als Kollektor wirkende Verglasung, entsprechend dem Mechanismus, der beim Treibhauseffekt dargestellt wurde. Da der solare Wärmegewinn praktisch nur in der Winterzeit und Übergangszeit nützlich ist, kann ein größerer Energiebeitrag nur über Südfenster erzielt werden, weil die Sonne während der hier



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

maßgeblichen Zeit, nur zu dieser Himmelsrichtung bedeutende Strahlungsanteile, erbringt. Der hierzulande übliche hohe Bewölkungsgrad mindert diesen Effekt allerdings beträchtlich. Bei den Ost- und Westseiten eines Hauses ist noch ein gewisser Anteil an Strahlungsgewinn festzustellen, während die Nordseite nur den diffusen Himmelslichtstrahlungsanteil erhält, welcher im Winter mit i.M. ca.  $40 \text{ W/m}^2$  sehr gering ist. Der Trick, mit transparenten Elementen eine Filterwirkung hinsichtlich kurzwelliger und langwelliger Strahlung zu bewirken, kann auch durch transparente Wärmedämmstoffe und/oder mit verglasten Wänden hergestellt werden. Hier kann die Wärmeträgheit von dahinterliegenden massiven Bauteilen genutzt werden um die Wärme zu speichern und etwas zeitverzögert, d.h. in Zeiten in welchen keine solaren Gewinne über die Fenster gegeben sind, an Innenräume abzugeben. Da ein entsprechendes Wärmeangebot nur kurzfristig zur Verfügung steht und mittels üblicher Baukonstruktionen ein Langzeitspeicher nicht realisierbar ist, sind extreme Speichermassen letztlich nicht nützlich. Von Vorteil wäre es allerdings, wenn sonnenbeschienene Bauteiloberflächen, wie dies Fußböden sind, nicht mit schwimmenden Estrichen hergestellt würden, sondern mit weichfedernen Bodenbelägen, um die Wärmespeicherfähigkeit der in der Regel vorhandenen Massivdecken zu nutzen. Hierdurch könnte die unnütze Überheizung von Räumen reduziert werden und das Wärmeangebot über eine längere Zeit hinweg zur Verfügung stehen - die derzeit anzuwendenden Normen DIN 4108 und DIN 4109 lassen derartige Konstruktionen praktisch nur beim Einfamilienhaus zu.

### 2.3 Feuchtigkeit

Die besonders relevanten Phänomene zum Thema „Feuchtigkeit“ sind unter folgenden Begriffen dargestellt:

- Morgentauphänomenen,
- Zwickel-, Einbinde- und Schrankpilz,
- Nordraumproblematik,
- Raumluftfiltrierung,
- Dünnschichttröteln,
- Wärmebrückenbildeffekt,
- Abdichtungsschweiß,
- Dachputzenproblematik,
- Blasenpest,
- Kaltrohrnässe,
- Sorptionsparadoxie,
- Kapillarkraftunterbrechung,
- Entenabdichtungsmethode,
- Arbeitsraum - Wannenproblematik,
- Flugschneefiltrierung,
- Schmelzwassereinlauf,
- Abdichtungshinterwanderung,
- Aluvoltaik,
- Rotnasenarchitektur,
- Fensterbrüstungskrankheit,
- Keller - Sommernässe,
- Salzwanderung

#### 2.3.1 Morgentauphänomen

Nach sternklaren Nächten mit schwachem Wind ist insbesondere auf Dächern, welche aus Blechkonstruktionen bestehen, Tauwasser festzustellen. Es ist zu beobachten, daß auf solchen Bauteilen die Temperatur bis zu  $10 \text{ K}$  unter der Lufttemperatur liegt und infolgedessen Feuchtigkeit aus der Luft darauf niederschlägt. Die Ursache für dieses Phänomen ist darin zu sehen, daß es eine Wärmeabstrahlung in das kalte Weltall gibt, welches eine Strahlungstemperatur von nur  $3 \text{ K}$  (nach heutiger Ansicht noch Energie vom Urknall) aufweist. Die Erdatmosphäre bewahrt die Erde durch eine begrenzte Wärmeabstrahlung vor einer übermäßigen Auskühlung, so daß die nächtliche Temperaturabsenkung in Bodennähe nicht extrem ausfällt, wie dies beim Mond der Fall ist (Bodentemperatur  $-150 \text{ C}^\circ$ ). Die Tauwasserbildung aus dieser Ursache ist praktisch nur an dünnen Bauteilen zu beobachten, d.h. an Bauteilen, deren Wärmespeicherfähigkeit nicht besonders groß ist. Von praktischem Interesse ist die Tauwasserbildung unter einer Dachoberschale, da diese zu einer problematischen Durchfeuchtung der darunterliegenden Bauteilschichten führen kann.

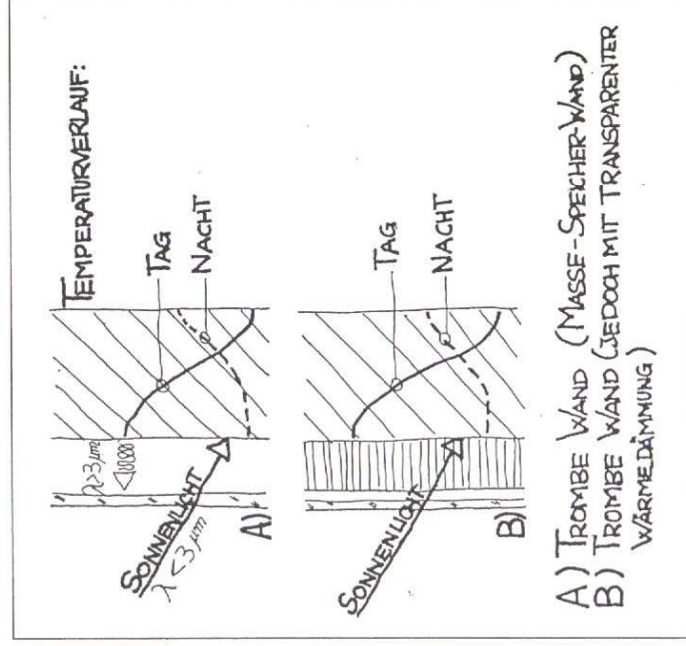


Abb. 16  
Wände mit Strahlungsfiler zur passiven Energienutzung



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

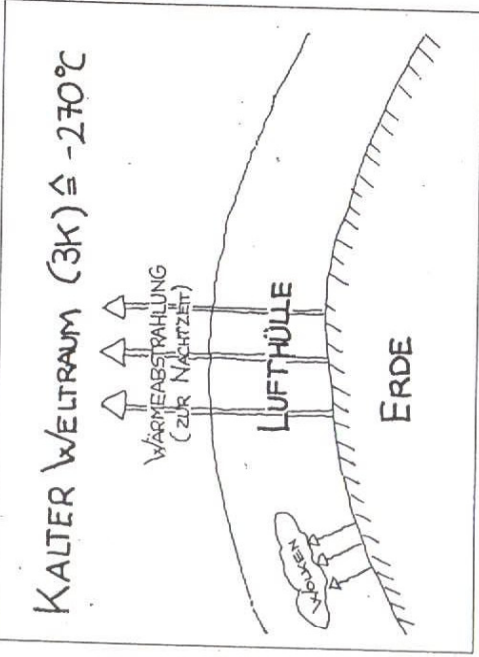


Abb. 17

Wärmeabstrahlung in den bewölkten und nicht bewölkten Himmel besonders zur Nachtzeit

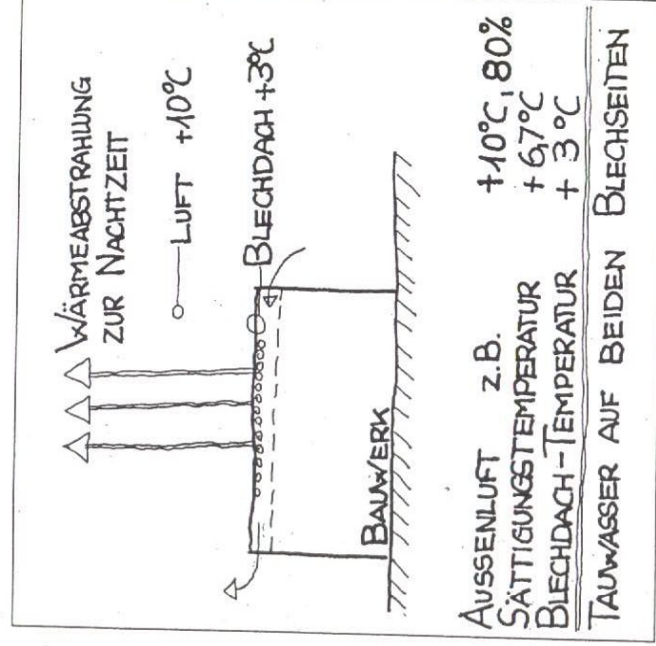


Abb. 18

Auskühlung von Blechdächern zur Nachtzeit und die damit verbundene Tauwasserbildung

Zur Vermeidung kritischer Tauwasseremengen sollte die flächenbezogene Wärmespeicherfähigkeit von Dachüberschichten nicht kleiner als  $Q_s = 30 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{K})$  sein.

Aus praktischen Erfahrungen ist bekannt, daß die Speicherkapazität von 2,5 cm dicken Holzschichten auch in Betracht der vorhandenen Sorptionsfähigkeit ausreicht, um eine kritische Tauwasserbildung auf der Unterseite einer Dachschale zu verhindern.

Auch durch besonders stark sorptionsfähige Beschichtungen kann eine nachteilige Tauwasserbildung unter Blechdächern ggf. vermieden werden.

### 2.3.2 Zwickel-, Einbinde- und Schrankpilze

Auf der Raumseite von Außenbauteilen kann zur Winterzeit Tauwasserbildung im Bereich von Wärmebrücken auftreten. Bei üblichen Raumklimabedingungen, d.h. bei 20°C und 50% rel. Raumluftfeuchtigkeit, ist nur ein effektiver Wärmedurchlaßwiderstand von 0,44  $\text{m}^2 \text{K}/\text{Watt}$  erforderlich, um eine Tauwasserbildung zu verhindern. In Außenwänden wird der effektive Wärmedurchlaßwiderstand durch das Divergieren (Auseinanderlaufen) des Wärmestroms jedoch entsprechend gering, weil eine große Auskühlfläche einer kleinen Aufheizfläche gegenübersteht. So können selbst bei einem hohen Wärmeschutz mit einer Außendämmung kritische Oberflächentemperaturen auf der Raumseite auftreten. Besonders kritisch sind hier die Verhältnisse im Bereich des Haussockels (weil dort die Außendämmung i.d.R. endet und die Kellerdecke üblicherweise nicht unterseitig gedämmt ist), sowie im Bereich der Attika. Bei einer Außendämmung ist, bei den o.g. Raumklimabedingungen, eine Dämmschichtdicke von mind. 5 cm zu empfehlen, um Tauwasser sicher zu verhindern. Wird eine solche Ecke raumseitig gedämmt, ist eine 1 - 2 cm dicke Dämmschicht ausreichend, weil die innenliegenden Schichten geometrisch bedingt hier eine bessere Dämmung bewirken. Auch im Normalbereich von Außenwänden kann das Tauwasserproblem auftreten, wenn wärmedämmende Gegenstände, wie beispielsweise Schränke, die Wandoberflächentemperaturen mindern.

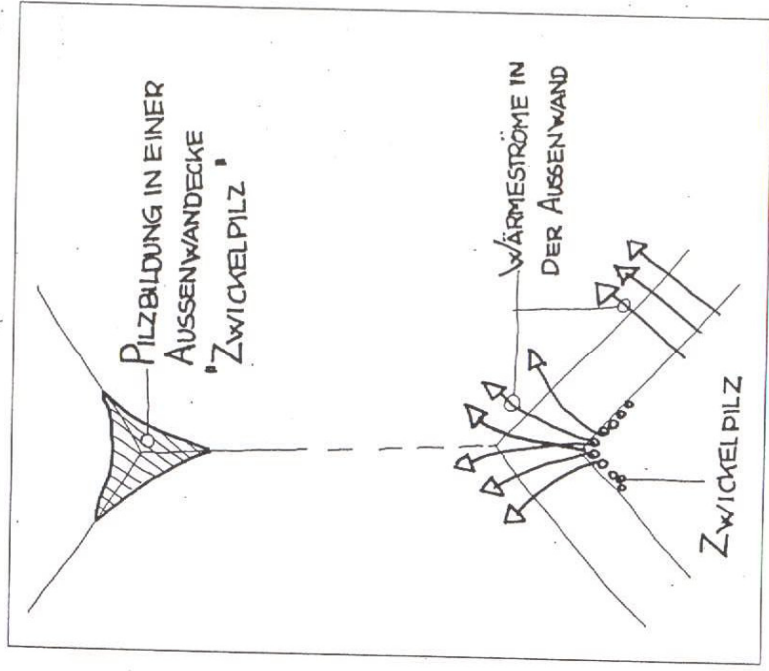


Abb. 19

Tauwasserbildung und ggf. Pilzbildung in einer Außenwanddecke als Folge der geometrisch bedingten Wärmeströme



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

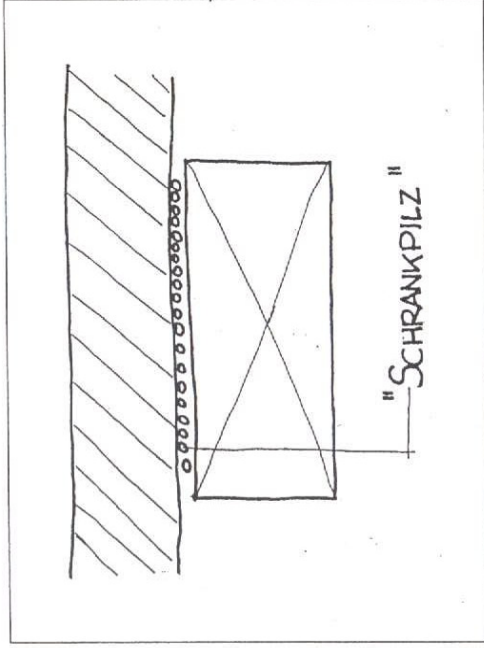


Abb. 20  
Schränke an Außenbauteilen wirken wie eine Innendämmung und entsprechend dem Temperaturgefälle ist Tauwasserbildung möglich

Bei der Anordnung von Schränken vor Außenwänden kann der Widerstand bis zur Bauteiloberfläche mit einem Wert von  $0,55 \dots 0,75 \text{ m}^2\text{K/W}$  angenommen werden. Für den Fall, daß Schränke an Außenwänden nicht zu vermeiden sind, empfiehlt es sich, ebenso wie für Außenwände, eine Dämmschichtdicke von mind. 5 cm anzuwenden. Die Anordnung von Schränken in Außenwand-Raumecken muß grundsätzlich vermieden werden, weil auch bei einer hohen Wärmedämmung eine Tauwasserbildung nicht sicher zu verhindern ist. Vorhänge sollten allerdings auch in Außenecken zulässig sein, um die Raumgestaltung nicht extrem zu reglementieren - hier ist dann mit einem Widerstand bis zur Bauteiloberfläche von  $0,55 \text{ m}^2\text{K/W}$  zu rechnen.

Bei der raumseitigen Dämmung von Außenbauteilen, welche z.B. durch Schallschutzmaßnahmen, nachträglichen Dämmmaßnahmen bei erhaltenswerten Fassaden oder auch aus konstruktiven Gründen bedingt sein kann, sind einbindende Bauteile im Hinblick auf Tauwasserbildung problematisch, weil hierdurch die Dämmschicht unterbrochen wird und die äußere Bauteilschale entsprechend kalt ist.

Sind die einbindenden Bauteile nicht thermisch zu trennen, so werden Zusatzdämmschichten an diesen erforderlich, welche i.d.R. mit Dicken von 2 cm ausreichend sind, aber über eine Breite von 50 - 100 cm, abhängig von der Wärmeleitfähigkeit der einbindenden Bauteile, eingebaut werden müssen.

Die Problematik der Tauwasserbildung, welche in früheren Zeiten meist nur auf der Einfachverglasung der Außenfenster stattfand und zuweilen zu Eisblumenbildungen führte, ist bei der heutigen Fenstertechnik in den hier beschriebenen Bereichen zu finden (in Außenwänden, hinter Schränken u.dgl. und an einbindenden

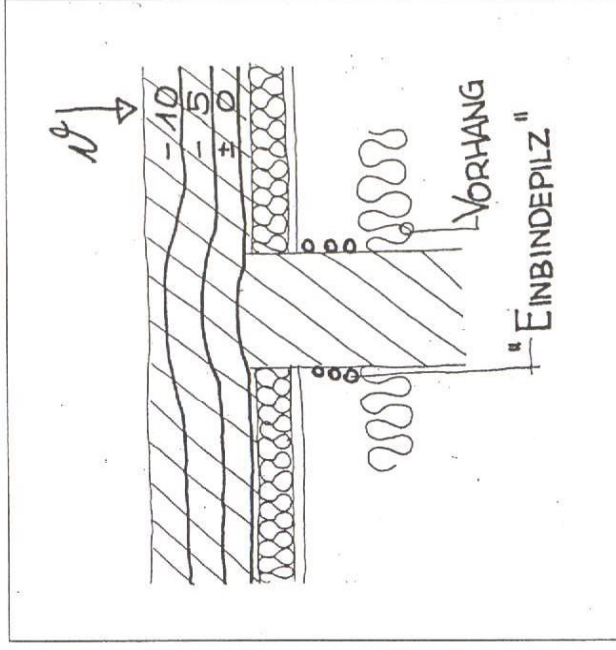


Abb. 21  
Wärmebrücken durch einbindendes Bauteil bei der Innendämmung

den Bauteilen bei Innendämmung). Da es in diesen Bereichen auch einen Nährboden für Pilze gibt, ist bei einer längeren Durchfeuchtung mit Pilzbildung zu rechnen. Sind Pilzbildungen einmal entstanden, bleibt das Problem erhalten, wenn nicht entsprechende Maßnahmen durchgeführt werden, welche das Pilzmyzel beseitigen oder vergiften, Tauwasserbildung künftig verhindern und/oder durch entsprechende Gifte das Aufkommen von Pilzen (über eine Zeit hinweg) verhindert wird.

### 2.3.3 Nordraumproblematik

Tauwasser und damit verbundene Pilzbildung ist besonders häufig in Nordräumen anzutreffen. Hier ist bei einer mäßigen Beheizung, z.B. bei Schlafräumen, infolge der fehlenden Raumaufheizung durch Sonneneinstrahlung und durch die Winddruckverhältnisse, d.h. durch das Hineinlüften von feuchter Luft aus benachbarten Räumen - durch die häufige Süd-Westwindwetterlage, eine kritische Tauwasserbildung relativ leicht möglich.

Durch besondere Bedingungen, wie beispielsweise eine hohe Wärmeträgheit der Räume, eine mäßige Fensterlüftung bei kühler Witterung, z.B. wegen einer geringen Nutzung der Wohnungen infolge Berufstätigkeit, mangelnde Querlüftungsmöglichkeit und die schlechte Austrocknungssituation von Nordwänden, werden die ungünstigen Einflüsse in der Anzahl erhöht.

Weiterhin zu beachten ist, daß Nord-Außenwände durch Regen infolge Windwirbel an Gebäudekanten belastet sein können (obwohl die Nordseite hierzulande



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

### 2.3.4 Raumluftfiltrierung (Nut-u. Federbrettersyndrom)

Luftdurchlässige Innenschalen an Außenbauteilen, wie dies Nut- und Federbrettkonstruktionen sind, können eine Bauteildurchfeuchtung herbeiführen. Dies ist auch bei Trapezblechdächern zu bedenken, weil an den Blechstößen die Luftdichtigkeit nicht sicher gegeben ist. Die Ursache hierfür liegt im Eintritt von feuchter Raumluft (durch Wasserdampf-Konvektion) in die Konstruktion. Abhängig von der thermisch bedingten Luftzirkulation innerhalb der Konstruktion, kann es hinter Dämmschichten oder Luftschichten zur Tauwasserbildung kommen. Es ist deshalb unbedingt notwendig, daß Innenschalen hinreichend luftdicht sind - wenn

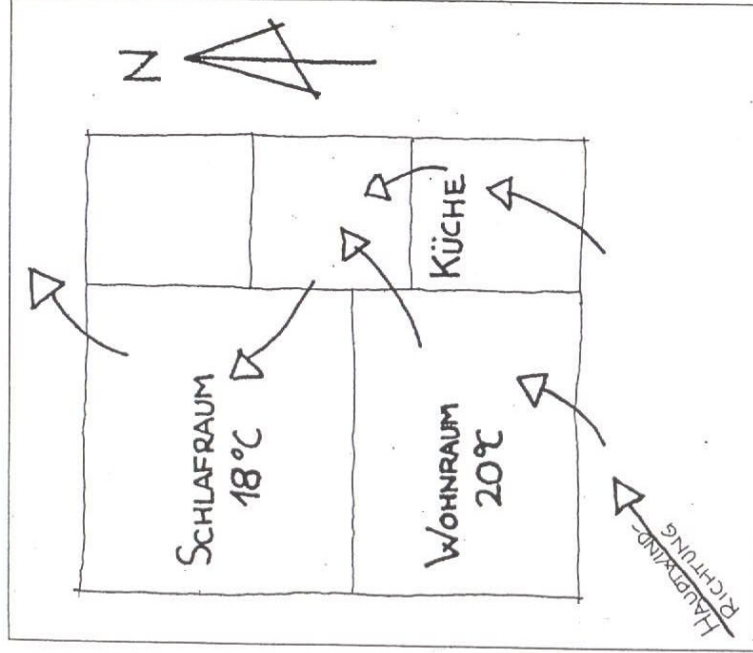


Abb. 22  
Typische Lüftungssituation

typischerweise nicht die Schlagregenseite ist). Eine Trocknung der Nordwände wird weder durch Wind, noch durch Sonneneinstrahlung in stärkerer Weise stattfinden. (daher sind auch hier häufig Veralgungen anzutreffen).

Die Raumluftfeuchtigkeit kann durch das Sorptionsverhalten der Baustoffe und der Einrichtungsgegenstände ungünstig beeinflusst werden, vgl. Ziff. 2.3.11. Dies kann praktisch in der Weise geschehen, daß bei relativ kühlen Räumen zur Sommerzeit größere Wassermengen in Bau- und Einrichtungsstoffen abgespeichert werden, wodurch zur Herbst- und Winterzeit eine besonders hohe Raumluftfeuchtigkeit aufrechterhalten wird. Bei einer derartigen „Feuchte-Vorbelastung“ aus der Sommerzeit verschärft sich das Problem der Pilzbildung, infolge Sorption auch ohne Tauwasserbildung!

Eine erste Besiedelung mit Pilzen kann, auf nicht versalzten und nicht alkalischen Oberflächen, schon ab einer rel. Luftfeuchtigkeit von 80 % auftreten.

Das hier dargestellte kann auch für andere stark abgehaltene Räume zutreffen, z.B. bei entsprechendem Baubestand. Eine sommerliche Raumaufheizung durch Sonneneinstrahlung und eine stärkere Belüftung zu Zeiten, in denen die Raumlufttemperatur höher als die Außenlufttemperatur (bei kühler Witterung) ist, kann hier als vorteilhaft angesehen werden.

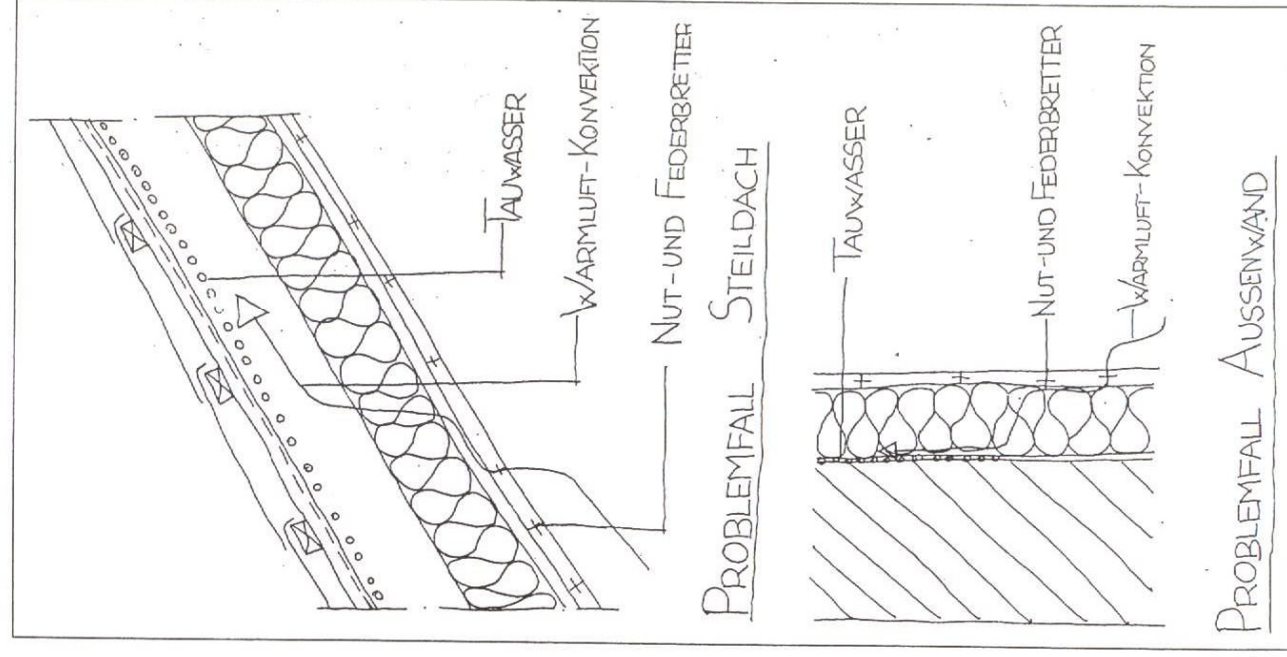


Abb. 23

Tauwasserbildung infolge luftdurchlässiger Innenschalen



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

der Wärmewiderstand (einschl. des Wärmeübergangswiderstandes) bis zur nächsten luftdichten Schicht - im Normalfall - mehr als 30 % des Gesamtwiderstands ausmacht.

Besonders kritische Bedingungen liegen dann vor, wenn Lüftungstechnische Einrichtungen einen Überdruck im Vergleich zu Luftschichten in Außenbauteilen herstellen - insbesondere bei leichten Innenschalen, weil hierbei im allgemeinen konstruktionsbedingt gegenüber massiven Schalen, eine Luftundurchlässigkeit nicht in sämtlichen Bereichen sicher hergestellt werden kann.

Durch Gipskartonplatten mit verspachtelten Fugen können im allgemeinen hinreichend luftdichte Innenschalen hergestellt werden. Die Verwendung von Folien zur Erzielung von Luftdichtigkeit ist problematisch und im Regelfall nicht zu empfehlen, da die Funktion zu sehr von der handwerklichen Ausführungsqualität abhängt und von Klebestellen, welche möglicherweise nicht dauerhaft dicht bleiben. Zusätzlich kann, insbesondere bei leichten Dachkonstruktionen, der Schallschutz bei der Anwendung von Nut- und Federkonstruktionen o.ä. erheblich begrenzt werden, wenn luftdichte Schalen (nicht Folien) fehlen - vgl. 2.6.12.

Bei Holzbalkendecken ist die Luftdichtigkeit gegenüber der Raumluft notwendig, damit keine übermäßige Tauwasserbildung an den Balkenköpfen im Außenwandbereich stattfindet.

### 2.3.5 Dünnschichtroteln

Bei belüfteten Außenbauteilen mit leichten Innenschalen (Putz-, Gipskartonschalen o.ä.) kann es raumseitig an Befestigungsmitteln aus Metall (z.B. an Nagelköpfen) - zur Tauwasserbildung und Korrosion kommen, so daß Rost- (oder dunkle Staubablagerungs-) Punkte sichtbar werden. Der Grund hierfür liegt in der hohen Leitfähigkeit von Metallteilen, wenn diese bis in kühle Bauteilzonen hineinragen.

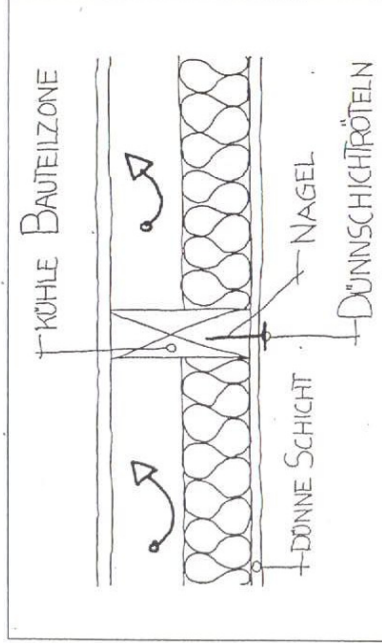


Abb. 24

Tauwasser- und Rostbildung an metallischen Befestigungsmitteln

### 2.3.6 Wärmebrückenbildeffekt

Wärmebrücken können dadurch raumseitig sichtbar werden, daß sich im stärkeren Maß Staub in solchen Bereichen anreichert. Durch geringfügige Sorptions- oder Tauwassermengen in solchen Bereichen kann Staub stärker als in anderen Bereichen durch Adhäsionskräfte (Klebekräfte) gebunden werden. Im Bereich von Betonstützen, Betonauflagern und Mauerwerksfügen aus Normalmörtel bei Leichtmauerwerk können Verfärbungen durch Staubablagerungen sichtbar werden (auch schon direkt nach der Herstellung durch unterschiedliche Baufeuchte und Austrocknungsbedingungen).

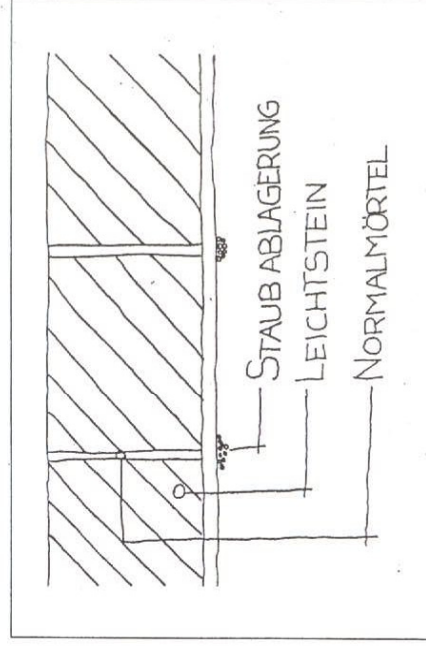


Abb. 25

Tauwasserbildung und Staubablagerungen an Mauerwerksfugen

### 2.3.7 Abdichtungsschweiß

Wasserdichte Baustoffe sind typischerweise auch besonders wasserdampfdicht. Speziell bei der Dachhaut wirkt sich diese Dampfdichtigkeit ungünstig auf den Wasserdampfdiffusionsvorgang aus, wobei dieser Ef-

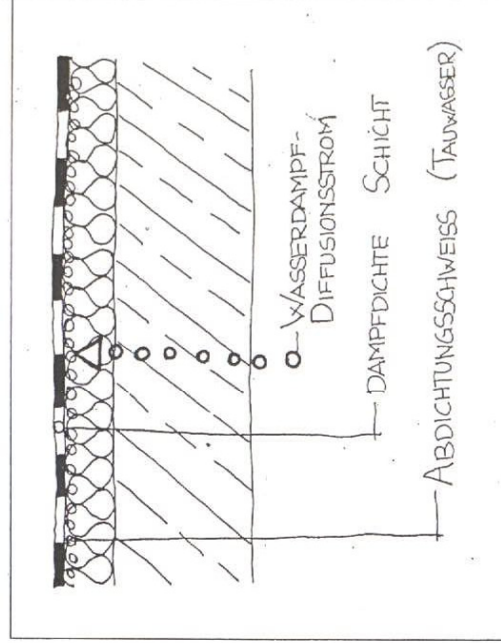


Abb. 26

Tauwasserbildung an einer dampfdichten Außenschicht



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

fekt durch die Anwendung von Dämmschichten, welche in aller Regel sehr dampfdurchlässig sind, extrem verstärkt wird. Von der wärmeren Seite eines Bauteils aus betrachtet, kann es vor wasserdichten und damit dampfdichten Schichten zur Tauwasserbildung kommen.

Bisher ist eine wasserdichte Dachhaut, welche gleichzeitig dampfdurchlässig ist und bei Verletzungen nachwächst, so wie das bei der menschlichen Haut der Fall ist, nicht erfunden worden. Es ist notwendig, daß raumseitig vor den Dämmschichten eines Außenbauteils eine Dampfsperre eingebaut wird, wenn außenseitig entsprechend dampfdichte Schichten vorhanden sind. Eine Außenschicht ist als sehr dampfdicht einzustufen, wenn sie aus einer dicken mineralischen Baustoffschicht besteht, aus Metallschichten oder aus Abdichtungsbahnen und dergleichen.

### 2.3.8 Dachpfützenproblematik

Wasserpfützen verursachen eine wasserdampfdiffusionsdichte Schicht ( $s_d > 600\text{ m}$ ), wodurch die Tauwasserbildung in einer Dachkonstruktion gefördert werden kann. Zudem ist an den Randbereichen von Pfützen bei ungeschützten Abdichtungsbahnen langfristig mit einer starken Versprödung zu rechnen, welche durch die Einwirkung von UV-Strahlung, durch wechselnde Dehnungsprozesse und Kerbrissbildungen in Schutzkrusten verursacht wird.

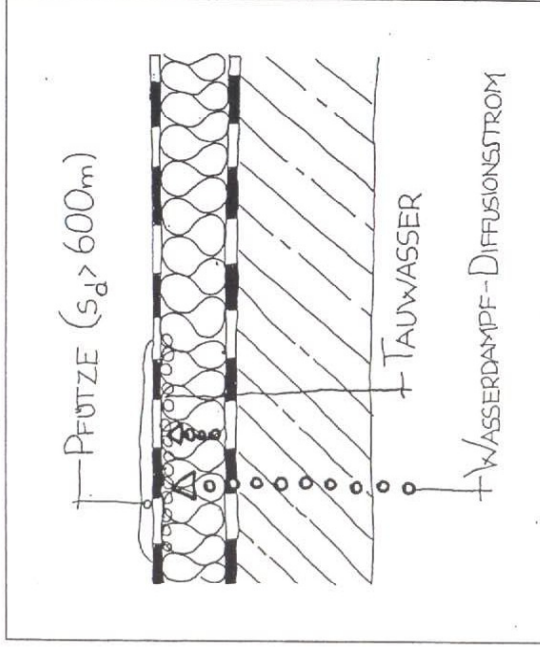


Abb. 27  
Pfützen wirken wie Dampfsperren und können die Tauwasserbildung verstärken

Beim Umkehrdach (Duodach und Plusdach) ist die Dämmschicht (i.d.R. PS-Extruderschäum mit Stufenfalz) nur einlagig einzubauen. Bei Mehrlagigkeit bildet sich ein dünner Wasserfilm zwischen den Dämm-

schichten. Infolge von Wasserdampfdiffusionsvorgängen würde es hierbei zur Durchfeuchtung des Dämmstoffes unter dem Wasserfilm kommen.

### 2.3.9 Blasenpest

Der unter dem Phänomen „Abdichtungsschweiß“ oben beschriebene Vorgang kann bei dünnen Beschichtungen (ohne Auflast) zur Blasenbildung führen. Dies ist bei Abdichtungen (Dachabdichtungen), Bodenbelägen und Anstrichen möglich. Der unter solchen Schichten möglicherweise auftretende Dampfdruck führt an Fehlstellen zu kleinen Blasen, die durch Erwärmung (insbesondere bei sonnenbeschienenen Flächen) und Wärmerabkühlung, infolge des plastischen Verhaltens dieser Schichten, immer größer werden können.

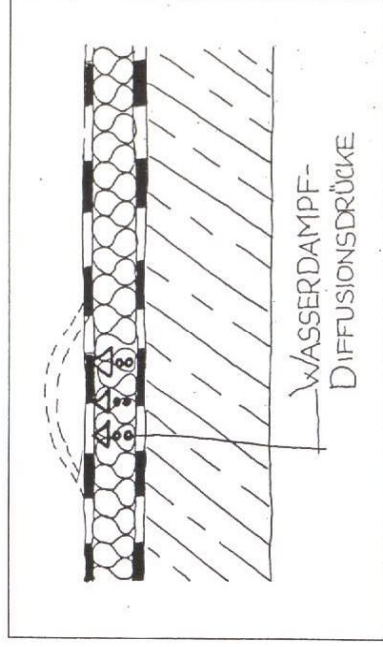


Abb. 28  
Blasenbildungen sind bei Abdichtungen über porösen Baustoffen möglich, wenn z.B. Baufeuchtigkeit einwirkt.

Wasserdampfdrücke entstehen dabei schon allein aus der Feuchtigkeit, die in Baustoffen typischerweise vorhanden ist und durch Einbaubedingungen verstärkt vorhanden sein kann. Aus diesem Grunde ist bei Beschichtungen auf wasserdampfdurchlässigen Schichten und insbesondere auf porösen Baustoffen das Blasenbildungsproblem zu bedenken.

Diese Effekte treten auch (mit anderen Dampfdrücken - ohne Wasserdampf) im Bereich von Fehlstellen zwischen verklebten Dichtungsbahnen und dgl. auf; daher ist eine fehlstellenfreie Verklebung in den entsprechenden Fällen anzustreben.

Die Blasenbildung ist nur bei aufgeklebten Schichten möglich. Zur Vermeidung der Blasenbildung kann zum einen die Dampfdichtigkeit der Beschichtungen begrenzt werden (z.B. bei Anstrichen sollte die diffusionsäquivalente Luftschichtdicke auf porösen feuchtebelasteten Bauteilen nicht größer als 2 m werden). Bei einer Dachhaut kann zum anderen über einem (mittel-



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

mäßig) dampfdurchlässigen Dämmstoff eine Dampfdruckausgleichsschicht angeordnet werden, wodurch partielle Blasenbildungen verhindert werden.

Zu beachten ist dieses Phänomen auch bei erdberührenden Bauteilen, die eine geringe Abdichtung gegen Erdfeuchtigkeit haben, wenn Anstriche oder PVC-Bahnen, verklebte Holzbeläge (o.ä.) aufgebracht werden sollen.

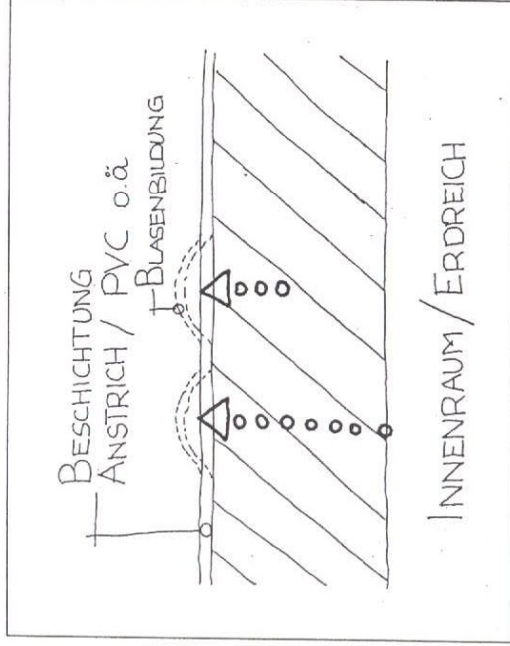


Abb. 29

Relativ dampfdichte Beschichtungen auf porösen, feuchten Baustoffen sind problematisch

### 2.3.10 Kaltrohrnässe

An freiliegenden Kaltwasserrohren, an Rohren von Dacheinläufen und Entlüftungsrohren kann Tauwasserbildung zu Problemen führen.

Bei Kaltwasserrohren ist i.d.R. mit Tauwasser nur während der Sommerzeit zu rechnen.

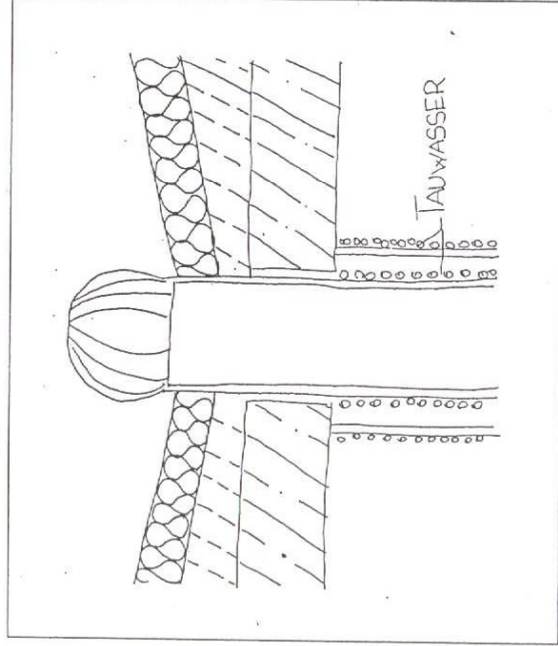


Abb. 30

Tauwasserbildung ist an kalten Rohren möglich

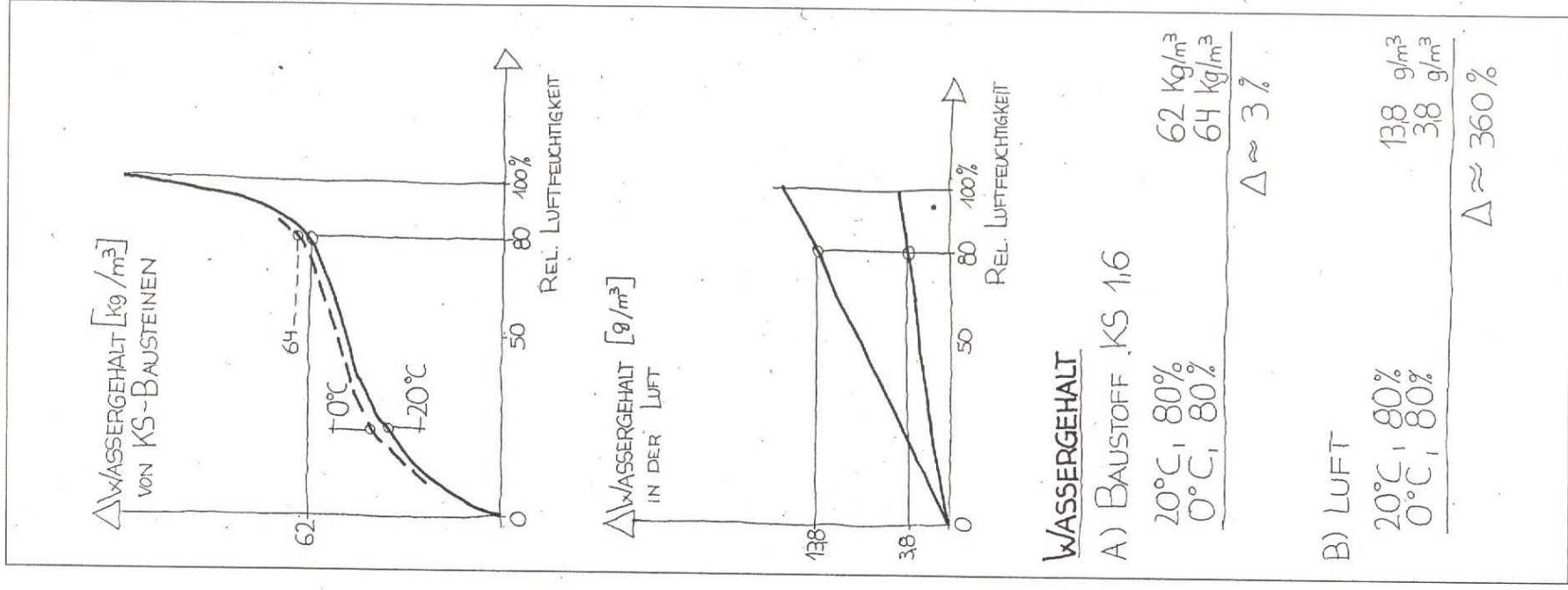


Abb. 31

Wassergehalt von KS-Bausteinen und in der Luft, abhängig von der Wasserdampfaktivität („Relative Luftfeuchtigkeit“)



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

Dachentwässerungsröhre sind i.d.R. über eine Geschoßhöhe so zu dämmen, daß keine Tauwasserprobleme auftreten.

Bei Entlüftungsröhren ist darauf zu achten, daß Tauwasser, welches typischerweise in solchen Röhren innerseits anfällt, problemlos abfließen kann und nicht durch falsch angewendete Rohrverbindungen - wie dies in der Praxis zuweilen zu beobachten ist - Feuchtigkeit aus diesen Röhren in andere Bereiche gelangt.

### 2.3.11 Sorptionsparadoxie

Poröse Baustoffe und auch nicht poröse Kunststoffe nehmen, abhängig von der relativen Luftfeuchtigkeit, einen gewissen Feuchtegehalt an. Erstaunlicherweise ist hier nicht der absolute Feuchtegehalt der Luft maßgeblich. Auch bei niedrigen Temperaturen, bei denen sehr wenig Wasserdampf in der Luft enthalten ist, nimmt ein Baustoff Feuchtigkeit, unabhängig vom Feuchtegehalt der Luft, aber abhängig von der relativen Luftfeuchtigkeit, auf. D.h. ein Baustoff wird bei Außenlagerung im Winter, bei einer typischen Luftfeuchtigkeit von 80 %, feuchter als im Sommer, bei einer typischen Luftfeuchtigkeit von < 70 %, obgleich der Wassergehalt der Luft im Sommer gegenüber der Winterzeit mehr als doppelt so groß sein kann. Andererseits resultiert daraus, daß eine Trocknung zur kalten Jahreszeit besonders effektiv ist, wenn eine Aufheizung der Baustoffe erfolgt. Durch eine Beheizung wird nämlich die relative Luftfeuchtigkeit herabgesetzt, so daß eine entsprechende Trocknung erfolgen kann. Je wärmer man die zu trocknenden Stoffe hält und je niedriger dabei die Umgebungstemperatur (Außenlufttemperatur) ist, um so rascher erfolgt eine Austrocknung, wenn eine entsprechende Luftzufuhr erfolgt.

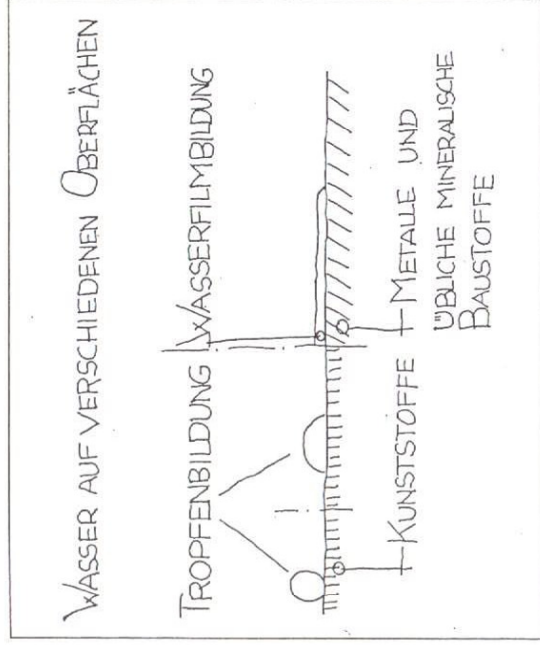


Abb. 32

Wassertropfen- und Wasserfilmbildung auf verschiedenen Stoffen

Stoffe mit sehr feinen Poren weisen eine hohe Feuchtigkeitseinsorption durch Sorption auf. Die Sorption ist praktisch nur vom Porenspektrum des jeweiligen Stoffes abhängig, wobei den feinen Poren eine große Bedeutung zukommt. Der Ziegelstein, welcher relativ große Poren aufweist, hat eine äußerst geringe Sorptionsfähigkeit und ist daher nicht in der Lage, (unverputzt) das Raumklima durch Puffern von Feuchtigkeit zu regulieren.

### 2.3.12 Kapillarkraftunterbrechung

Wasser haftet an Oberflächen durch Adhäsionskräfte zwischen den Wassermolekülen und den angrenzenden Bauteiloberflächen. Bei dünnen Poren werden die Kapillarkräfte entsprechend größer, was an der Steighöhe des Wassers erkennbar wird. Bei großen Kapillardurchmessern ist die Steighöhe sehr gering. Auch bei wechselnden Kapillardurchmessern, wie beispielsweise in Bimsmauerwerk, ist die Auswirkung von Kapillarkräften gering, d.h. die Steighöhe fällt niedrig aus. Kapillarleitende Stoffe können schnell durchfeuchten, andererseits ist die Austrocknungszeit gegenüber nicht kapillarleitenden Stoffen deutlich geringer. Der Ziegelstein hat mittelgroße Porendurchmesser, und er neigt zu einer raschen Abgabe von Feuchtigkeit. Bimsmauerwerk ist hingegen schwer zu durchfeuchten, andererseits ist die Austrocknung nach einer Durchfeuchtung äußerst langwierig und geschieht hauptsächlich durch Diffusionsvorgänge.

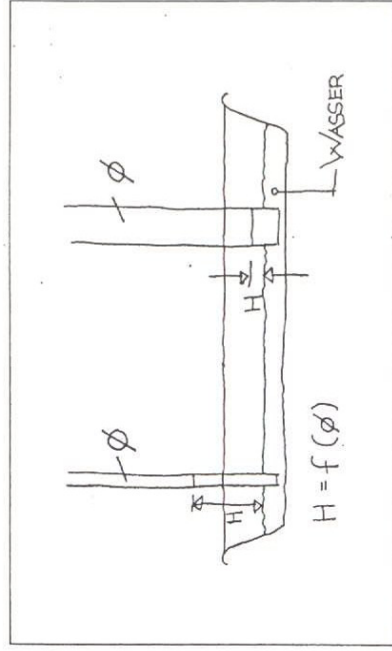


Abb. 33

Steighöhe bei unterschiedlichen Kapillardurchmessern

### 2.3.13 Entenabdichtungsmethode

Insbesondere die Wasservögel hydrophobieren ihr Gefieder, um es vor Nässe zu schützen. Poröse Baustoffe können durch Hydrophobierung vor einer Durchfeuchtung geschützt werden. Hydrophob reagieren die Oberflächen, die eine geringe Oberflächenspannung besitzen. Dies ist bei organischen Stoffen



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

fen mehr oder weniger der Fall. Poröse Baustoffe können entweder insgesamt oder auch nur in begrenzten Bereichen von Oberflächen oder Bauteilquerschnitten hydrophobiert werden, wodurch die Kapillarleitung extrem herabgesetzt wird. Auf diese Weise kann z.B. eine Horizontalabdichtung durch „Injektion“ hergestellt werden. Dabei erhalten Wandbaustoffe mit starker Kapillarleitung (über Bohrlöcher mit kleinen Abständen) Injektionen mit hydrophobierenden Mitteln. Sichtmauerwerk kann durch „Imprägnierung“ gegen Schlagregenbelastungen geschützt werden. Weiterhin werden auch Baustoffe insgesamt hydrophobiert. Speziell Mineralfaserdämmstoffe werden derzeit so ausgerüstet, daß sie als Kerndämmung geeignet sind und auch ohne weitere Schutzmaßnahmen an Außenbauteilen verwendet werden können.

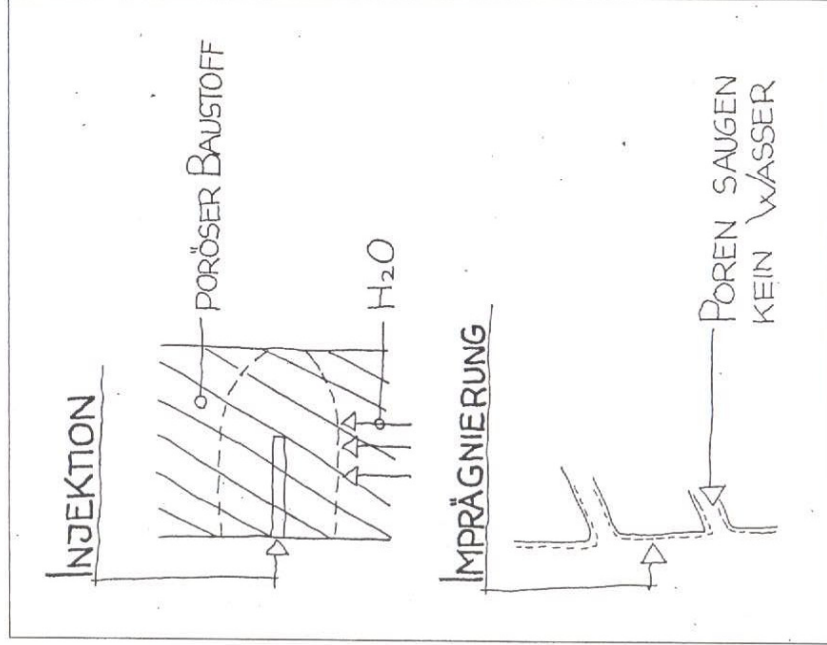


Abb. 34  
Herabsetzung der Benetzbarkeit in den Baustoffporen

### 2.3.14 Arbeitsraum - Wanneproblematik

In Arbeitsräumen, die für die Herstellung von Kellern notwendig sind, wird das Erdreich durch Arbeiten in diesem Bereich oft extrem verdichtet. Hierdurch kann sich späterhin das Niederschlagswasser in einem solchen Bereich ansammeln (es versickert nicht oder nur sehr langsam). Bei großen Fassaden kann überdies eine größere Menge von Schlagregenwasser in solche Bereiche einwirken. Durch diese Einflüsse wird die Beanspruchung der Kelleraußenwände entsprechend ange-

hoben, so daß kleine Fehlstellen in der Abdichtung zu erheblichen Schäden führen können (Wasserdruck entsprechend hydrostatischem Paradoxon!). Es ist zu empfehlen, den Arbeitsraum vor der Verfüllung im Sohlenbereich aufzulockern. Drainageplatten an Kelleraußenwänden können sich nachteilig auswirken wegen des raschen Wasserzufflusses und den dadurch entstehenden Wassersäulen, die auf den oft kritischen Wandfußpunkt einwirken (hydrostatisches Paradoxon).

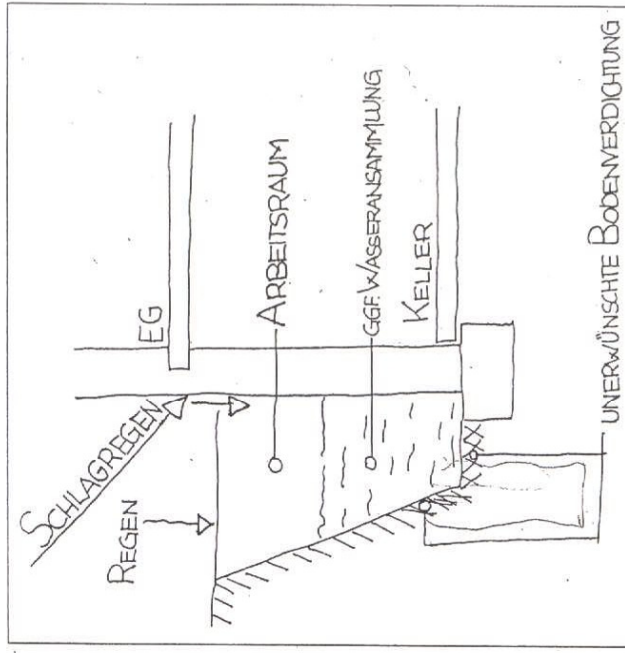


Abb. 35  
Wasseransammlung in Arbeitsräumen wegen Bodenverdichtung

### 2.3.15 Flugschneeeinfiltrierung

Eine seltene, aber gelegentlich auftretende Wetterlage ist die, daß feiner Pulverschnee durch Windeinwirkungen in feinste Ritzen - insbesondere durch die Fugen von Dacheindeckungen - eindringen kann. Damit diese Einwirkung von Feuchtigkeit keine nachteilige Wirkung auf die übrige Konstruktion ausübt, sind speziell

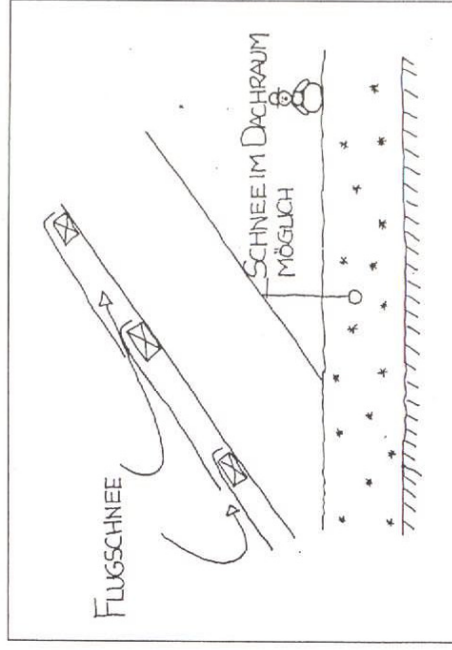


Abb. 36  
Flugschnee kann durch Spalten in die Konstruktion eindringen



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

bei Steildächern Unterspannbahnen notwendig, um das dabei anfallende Wasser abzuführen. Es ist hierbei natürlich notwendig, daß die Unterspannbahnen im Bereich von Dachflächenfenstern einen seitlichen Abfluß besitzen, und der Abfluß an der Traufe möglich ist.

### 2.3.16 Schmelzwassereinlauf

Beim Abschmelzen von größeren Schneemengen wird durch die Wärmezufuhr im Hausbereich ein Abschmelzen verstärkt eingeleitet, wodurch eine Pfützenbildung vor dem noch ungeschmolzenen Schnee auftreten kann. Auf diese Weise kann durch Fugen, die in derartigen Bereichen vorhanden sein können, Wasser eindringen. Zu beachten ist dieser Effekt insbesondere bei Dach- und Terrassenanschlüssen sowie bei Dachflächenfenstern. Die Abdichtungen müssen in derartigen Bereichen entsprechend hochgeführt werden, i.a. 15 cm.

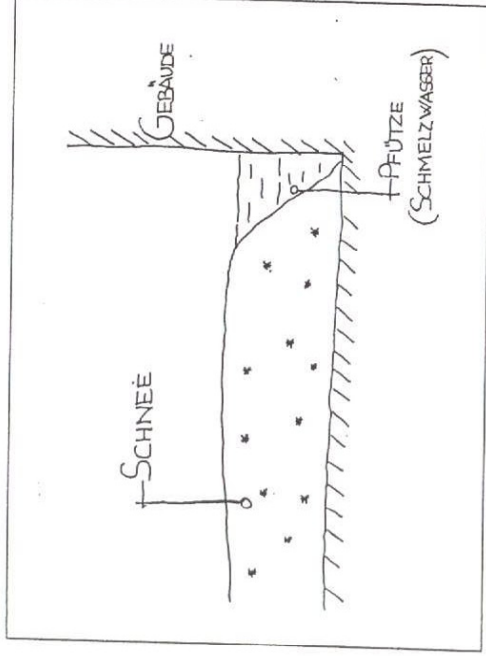


Abb. 37

Schneeschnelze an wärmeren Gebäudeteilen

### 2.3.17 Abdichtungshinterwanderung

Bei Abdichtungsmaßnahmen ist besonders an den Rändern darauf zu achten, daß Feuchtigkeit durch Schlagregen oder andere Einwirkungen nicht die Abdichtung hinterwandern kann. Besonders zu berücksichtigen ist dieser Aspekt beim Verblendmauerwerk, wo durch zusätzliche Abdichtungsmaßnahmen eine Hinterwanderung von Feuchtigkeit, z.B. im Bereich von Dächern verhindert werden muß.

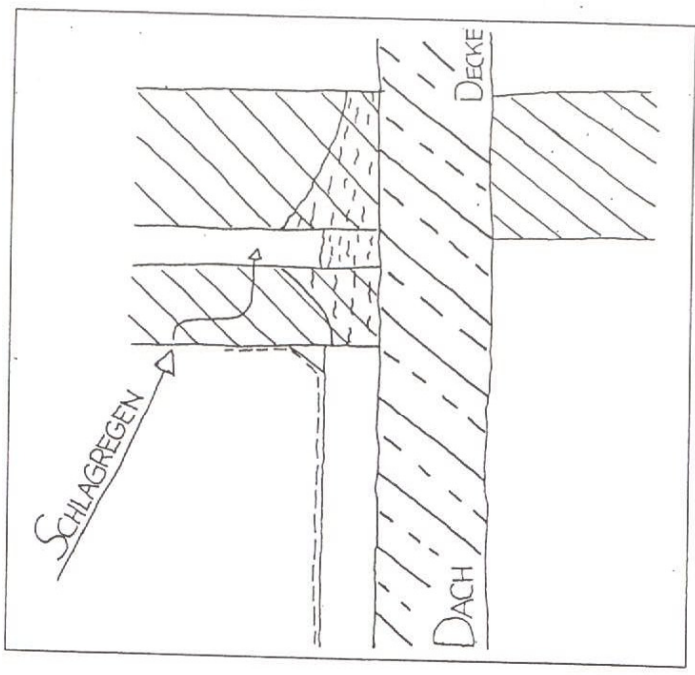


Abb. 39

Feuchtigkeitshinterwanderung z.B. bei Verblendmauerwerk

### 2.3.18 Aluvoltaik

Aluminium, das in der Bautechnik heutzutage häufig eingesetzt wird, ist ein unedles Metall, das im Zusammenspiel mit anderen Metallen unter dem Einfluß von Feuchtigkeit korrodiert. An der sog. Spannungsreihe ist erkennbar, daß zwischen unterschiedlichen Metallen ein Spannungsgefälle auftritt. Aber auch die Einwirkung von Säuren oder Laugen führen zur Zersetzung von Metallen. Deshalb muß z.B. Aluminium von Kalziumhydroxid, d.h. von zementgebundenen Baustoffen durch Trennschichten, ferngehalten werden.

### 2.3.19 Rotznasenarchitektur

Im Außenbereich lagert sich auf gering geneigten Flächen im stärkeren Maße Schmutz ab. Dieser kann bei Niederschlag, ggf. unter Einwirkung von Wind, in partiellen Bereichen der Fassade konzentriert mit dem Regenwasser abgeführt werden. Hierdurch können sog.

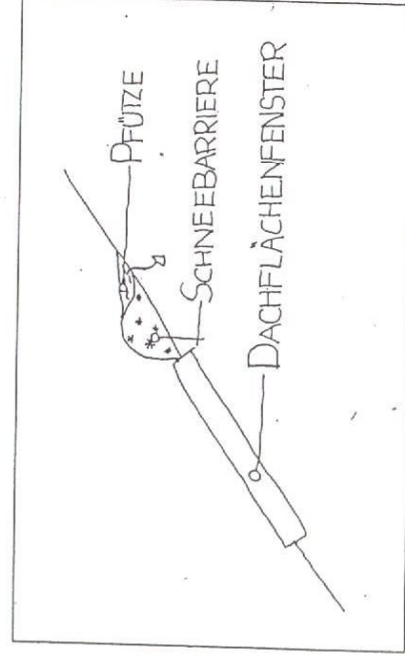


Abb. 38

Schneeschnelze an SchneebARRIERE z.B. oberhalb von Dachflächenfenstern



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

Rotnasen entstehen, d.h. Verschmutzungen der Fassade.

Durch eine Imprägnierung der Fassade kann dieser Effekt gemindert aber letztlich nicht aufgehoben werden. Zudem sind Imprägnierungen nur über einen begrenzten Zeitraum wirksam (ca. 10 Jahre). Zur Vermeidung partieller Fassadenverschmutzungen sollte - durch konstruktive Maßnahmen - ein konzentrierter Abfluß von verschmutztem Wasser verhindert werden. So ist z.B. an der Attika von Flachdächern eine Aufkantung an den Randflächen sinnvoll. Bei Fensterbänken sind gut wirksame Abtropfkanten und eine Wasserführung, welche im Fensterbankbereich einen konzentrierten Ablauf von verschmutztem Wasser verhindert, zu empfehlen.

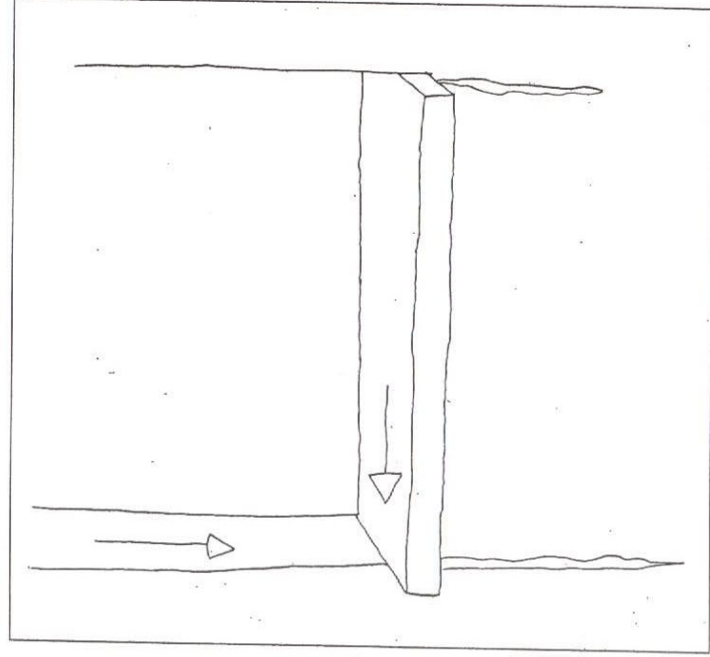


Abb. 40  
Konzentrierter Ablauf von Niederschlagswasser, welches über verschmutzten Flächen abfließt

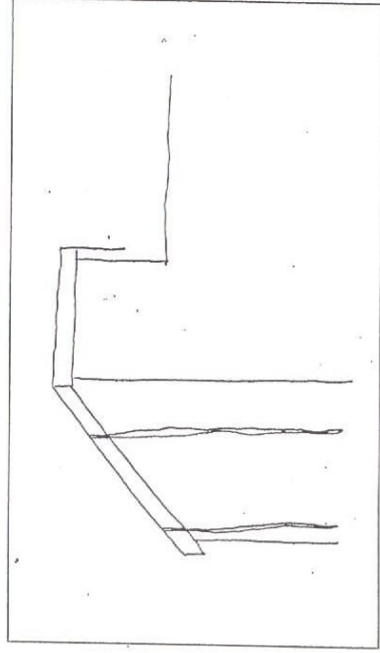


Abb. 41  
Konzentrierter Ablauf von verschmutztem Niederschlagswasser an Bleichen, z.B. im Bereich der Attika

### 2.3.20 Fensterbrüstungskrankheit

Das nicht seitliche Einbinden von Außenfensterbänken in die Laibungen kann dazu führen, daß Niederschlagswasser von den Laibungsflächen der Fenster in stärkerem Maße in den Brüstungsrandbereich eindringt. Hierdurch kann es zu Verfärbungen auf der Raumseite der Brüstungen kommen. Ungünstig kann sich hierbei außerdem auswirken, wenn Fensterbrüstungen separat, z.B. aus Bimsbetonplatten, hergestellt sind. Durch Schwinden trennen sich diese von den anschließenden Wänden, so daß durch hier auftretende Risse, das Problem der Durchfeuchtung verstärkt werden kann.

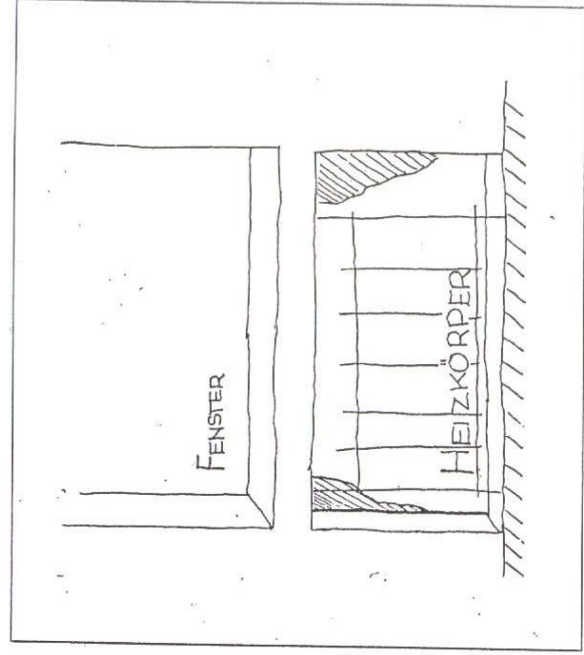


Abb. 42  
Feuchtigkeitshinterwanderung im Bereich von Fensterbrüstungscken

### 2.3.21 Keller - Sommernäse

Kellerräume hinken der thermischen Entwicklung der Außenluft im Verlauf des Jahres um ca. 3 Monate hinterher. Die Temperaturen über's Jahr im unbeheizten Keller verändern sich um maximal 10 K, während sich die Monatsmittelwerte der Außenlufttemperaturen hierzulande um mehr als 15 K verändern. Im Normalfall sinken die Temperaturen im Keller nicht unter 8°C und erreichen Maximalwerte bis zu 18 °C. Während der Keller in der Zeit zwischen Mitte Mai bis Anfang Juli Temperaturen von etwa 12 - 14 °C aufweist, können Außenlufttemperaturen über 20 °C auftreten und die Außenluft kann dabei mit entsprechenden Feuchtigkeitsmengen belastet sein. Hierdurch kann - typischerweise über eine Zeit von ca. 14 Tagen - eine stärkere Tauwasserbildung auf den Oberflächen in Kellerräumen auftreten.



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

### 2.3.22 Salzwanderung

Salze, welche in porösen Baustoffen enthalten sein können oder z.B. aus dem Erdreich eindringen, wandern mit der Feuchtigkeit (durch Kristallisationsprozesse) bis an den jeweiligen Rand der Durchfeuchtung. Durch das Sorptionsverhalten von Salzen kann es bei entsprechend hohen rel. Luftfeuchtigkeiten zu nassen Bauteiloberflächen kommen, welche bei niedrigen rel. Luftfeuchtigkeiten rasch verschwinden.

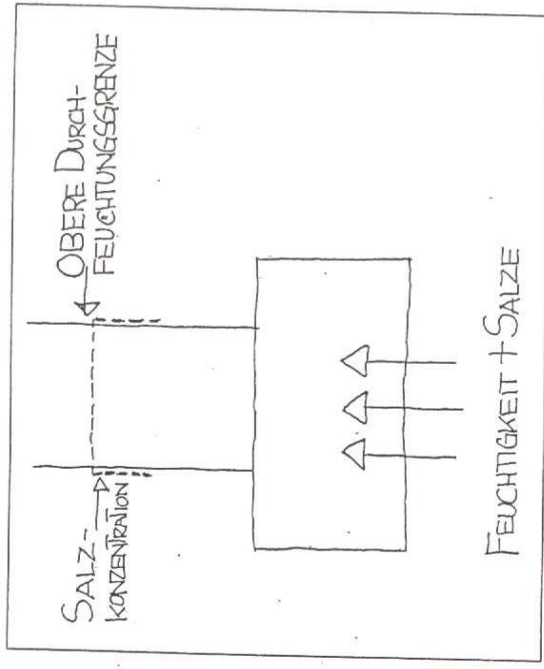


Abb. 45  
Salzwanderung verursacht durch Feuchtewanderung im Fundamentbereich

### 2.4 Rissebildung

Die besonders relevanten Phänomene zum Thema „Rissebildung“ sind unter folgenden Begriffen dargestellt:

- Mischmauerwerk,
- Massivdeckenstreß,
- Durchhängerrisse,
- Beschichtungseffekte,
- Balkopathologie,
- Geländekrankheit,
- Wurzeldruck,
- Frostsprennung / Frostbeulen.

#### 2.4.1 Mischmauerwerk

Die Verwendung von unterschiedlichen Mauerwerksmaterialien wäre grundsätzlich vorteilhaft, um bei Außenwänden den Wärmeschutz und bei Innenwänden die Schalldämmung günstig zu beeinflussen. Überdies

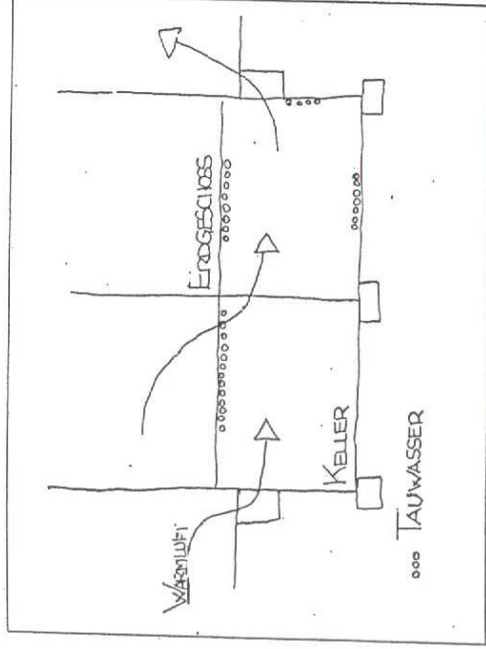


Abb. 43  
Sommerliche Tauwasserbildung in Kellerräumen

Je stärker die Lüftung bei diesen Bedingungen erfolgt, umso größer sind die Tauwassermengen, weil damit entsprechend große Mengen Feuchtigkeit an kalte Oberflächen herangeführt werden. Grundsätzlich kann daher die Tauwassermenge, durch eine mäßige Belüftung während dieser Zeit, in Grenzen gehalten werden. Um das Phänomen der Keller-Sommernässe sicher zu vermeiden, müßten die Kellerräume etwa ab Mitte April beheizt werden. Möglich, aber aufwendig ist hier die Verkleidung sämtlicher (Innen-) Bauteile mit leichten luftdichten Schalen, wodurch die Wärmeträgheit dieser Räume herabgesetzt wird. Auf diese Weise ist eine rasche Erwärmung vor der kritischen Zeit, ggf. auch mit der Außenluft, erzielbar.

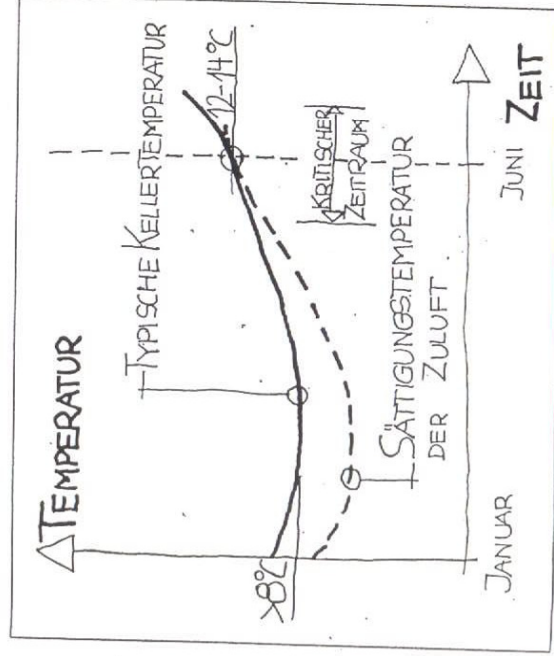


Abb. 44  
Temperaturentwicklung der Kellerraumlufte und der Sättigungstemperatur der Außenluft (Zuluft) von Januar bis Juni

## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

könnten für die Lastabtragungen unterschiedliche Mauerwerksfestigkeiten angestrebt werden.

Mit der Verwendung verschiedener Materialien sind auch deren unterschiedliche Eigenschaften bei der Gebäudeverformung mit am Werk.

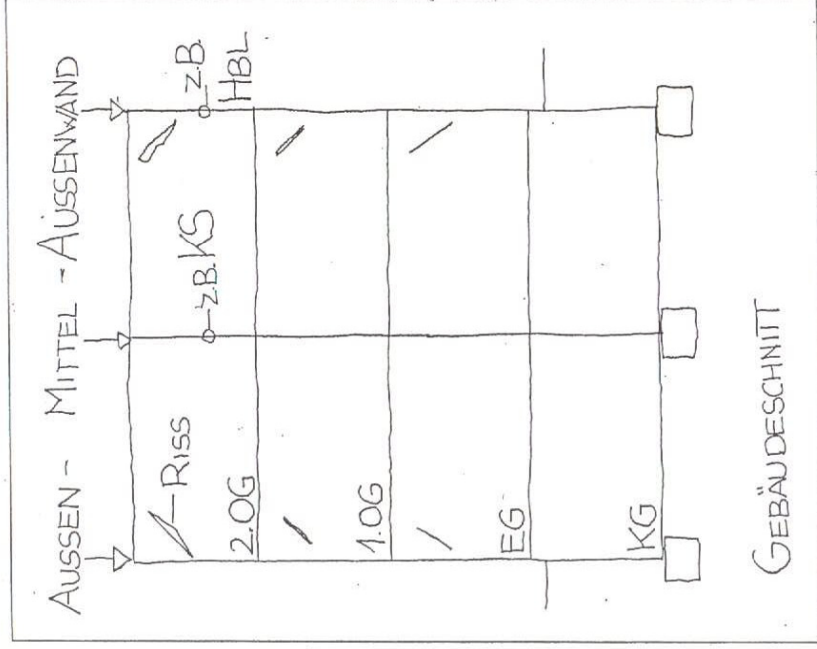


Abb. 46  
Vertikale Gebäudeverformungen können zu Rißbildungen in Wänden führen

Die praktisch relevanten Dehnungseigenschaften sind differenzierbar nach den elastischen, plastischen, thermischen und hygrischen Komponenten. Zum einen können die Dehnungseigenschaften der verschiedenen Stoffe unter gleichen Einwirkungen unterschiedlich sein, und zum anderen werden Bauteile in verschiedenen Gebäudebereichen unterschiedlich belastet. Z.B. ergeben sich Dehnungsunterschiede zwischen Innen- und Außenwänden aufgrund von

- unterschiedlichen Lasteinwirkungen und daraus resultierenden elastischen und plastischen Verformungen,
- unterschiedliche Feuchtebeanspruchungen und Austrocknung mit entsprechenden Verformungen,
- unterschiedlicher thermischer Beanspruchung und damit auftretender Verformungen,

weniger jedoch aufgrund von Unterschieden bei den Materialeigenschaften.

Außenwände ohne Wärmedämmung bzw. mit Innendämmung sind bei Mauerwerksbauten so gleichartig

wie möglich auszubilden. Um Risse in Querwänden zu vermeiden - verursacht durch die Dehnungsunterschiede zwischen Außen- und Mittelwänden - sollten bei gleichen Wandmaterialien und bei der Voraussetzung, daß die Außenwände nicht räumseitig gedämmt sind, ab 4 Geschossen entsprechende Berechnungen durchgeführt werden. Anderenfalls sollten entsprechende Betrachtungen ab 2 Geschossen vorgenommen werden. Grundsätzlich scheinen bei der Anwendung von Mischmauerwerk auch günstige Kombinationen möglich zu sein, vgl. 3.2.

### 2.4.2 Massivdeckenstreiß

Im Gegensatz zu Holzbalkendecken sind Betondecken kritisch im Hinblick auf Rissebildungen in Wänden zu bewerten - wegen thermischer Längenänderungsdifferenzen. Durch die typischerweise festen Verbindungen zwischen Betondecken und Mauerwerk werden Wände zwischen zwei Decken durch den Temperaturunterschied, welcher sich zwischen der einen und anderen Deckenplatte ergeben kann, belastet. Die größten Temperaturunterschiede sind zwischen einer Dachdecke (oder einer Decke unter einem nicht ausgebauten Dach-

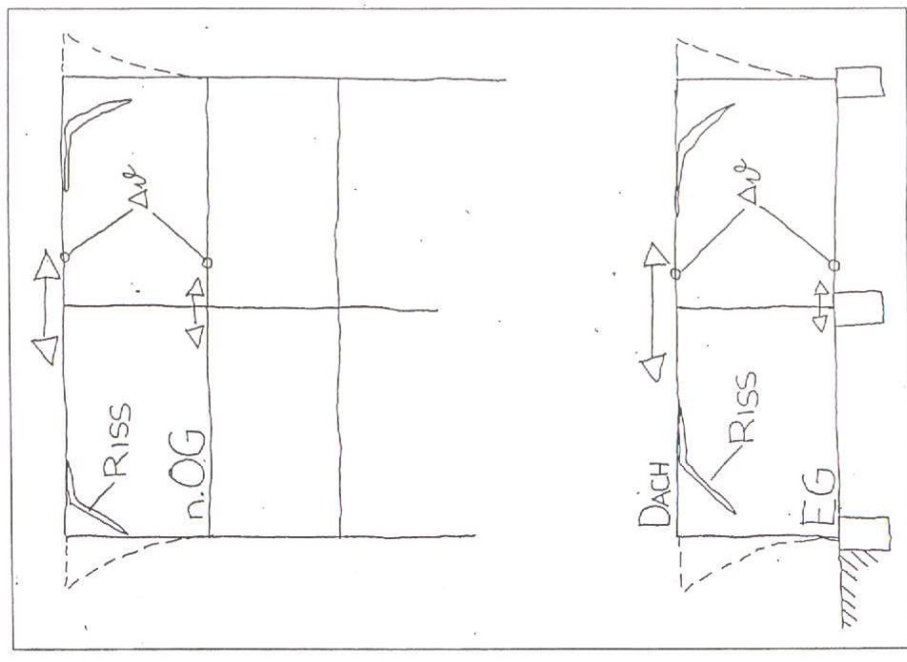


Abb. 47  
Massivdeckenverformungen können insbesondere durch Temperaturdifferenzen zu Rissebildungen führen



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

geschloß) und der darunterliegenden Decke zu erwarten, insbesondere dann, wenn es sich um eine Kellerdecke oder gar um eine Bodenplatte handelt, weil die Temperaturen im Keller oder Erdreich speziell zur Sommerzeit vergleichsweise niedrig sind und bei üblicher Konstruktionsweise die Dämmschichten hier nicht auf der kühleren Seite liegen. Zusätzlich führt die geringe Belastung der Wände unter Dachdecken o.ä. dazu, daß relativ kleine positive Dehnungen (Zugspannungen) Risse verursachen können. Im Zusammenhang mit Decken über Durchfahrten können auch kritische Verhältnisse auftreten.

Typischerweise werden Risse in dicken Bauteilschichten durch Zugspannungen verursacht, so daß grundsätzlich eine geringe Auflast für Wände problematisch ist. Bei geringen Gebäudeabmessungen, entsprechenden Wärmedämmmaßnahmen oder durch konstruktive Trennung der Decken und ggf. Bodenplatten können Rissebildungen aus dieser Ursache mit hinreichender Sicherheit vermieden werden.

### 2.4.3 Durchhängerrisse

Üblicherweise werden Stahlbetondecken schlaff behehrt, so daß durch die plastischen Verformungseigenschaften des Betons (Kriechen) erhebliche nachträgliche Deckendurchbiegungen stattfinden. Diese können nichttragende Wände belasten, und auf diese Weise können Rissebildungen in derartigen Wänden auftreten. Um Rissebildungen aus dieser Ursache zu vermeiden, ist es ratsam, nichttragende Wände so spät wie möglich einzubauen und solange wie möglich die Fuge an der Decke nicht zu verfüllen - ggf. kann diese Fuge mit einem elastischen Material geschlossen werden.

An den Deckenauflegern kann die Deckenverformung zur Kantenpressung führen, wodurch Risse infolge von Druckspannungen auftreten können. Mittels weicher Randstreifen läßt sich eine zentrierte Lasteinleitung in die Wände realisieren, wobei Putze in diesem Bereich einen Kehlenschnitt benötigen, um Rissebildungen zu vermeiden.

### 2.4.4 Beschichtungseffekte

Baustoffe mit unterschiedlichen Dehnungseigenschaften werden zuweilen zu einem Verbundsystem zusammengefügt. Hierbei werden auch bei gleichartigen Einwirkungen Verformungen oder Spannungen auftreten. Spannungen können zu Ablösungen führen, welche von Rand- und Fehlstellen ausgehen, weil nur dort Scher- spannungen auftreten.

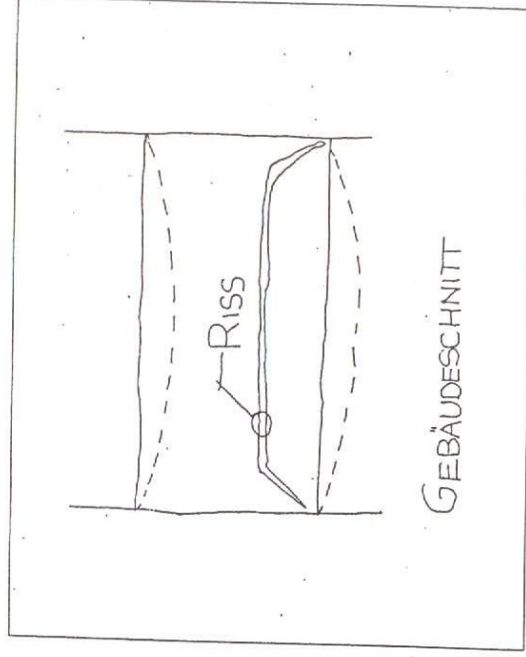


Abb. 48

Die nachträgliche Deckendurchbiegung ist für nicht tragende Wände kritisch, d.h. Rißbildung kann auftreten

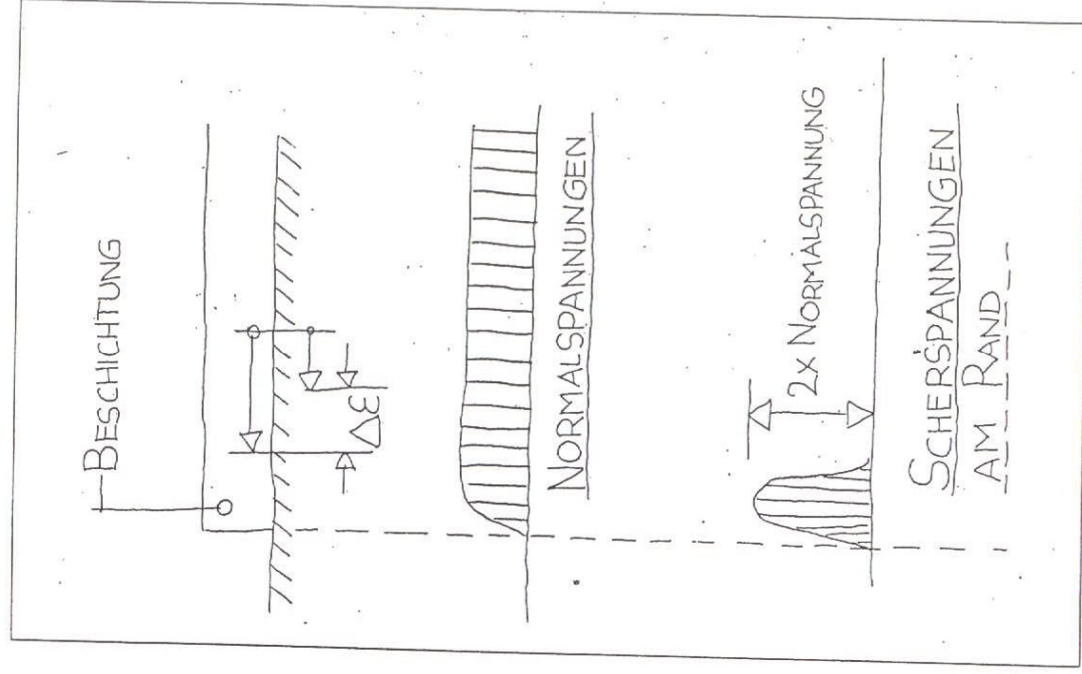


Abb. 49

Scherspannungen entstehen bei Beschichtungen nur an Rändern und Fehlstellen



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

Bei Verbundestrichen führt dieser Effekt häufig zum allmählichen Ablösen des Estrichs vom Untergrund, denn durch nicht gleichartige Feuchtigkeits- und Temperatureinwirkungen „wollen“ sich derartige Estriche verformen, und es können allein durch die Eigenlast Risesebildungen auftreten. Wenn Verbundestriche ihren Kontakt zum Untergrund nicht sicher behalten, sind Dehnungsfugen in solchen Schichten i.d.R. notwendig. Bei dünnen harten Beschichtungen (z.B. aus Keramikmaterial) sind auch Druckspannungen problematisch (Rissebildungen und Ausknickungen sind möglich) - ähnlich wie bei der Kantenpressung an Deckenaufbauten.

Werden Holzplatten beschichtet, so gilt die Regel, daß die gegenüberliegenden Holzseiten in gleicher Weise zu behandeln sind, d.h. Holzplatten sind beidseitig zu furnieren oder anzustreichen.

Beschichtungen auf einem dünnen Untergrund können zu Verformungen - wie bei einem Bimetall - führen. Dieser Effekt ist (auch bei homogenen Bauteilen) bei unterschiedlichen Einwirkungen (rechts und links von einem dünnen Bauteil) zu beobachten. So können Hauseingangstüren und Flurtüren Verformungen infolge von thermischen und hygri-schen Unterschieden erfahren. Holztüren können bei derartigen Einwirkungen durch Stahlrahmenkonstruktionen versteift werden, s.d. dieser Effekt begrenzt wird.

In dünnen Schichten ( $< 5$  mm) auf einem vergleichsweise elastischen Untergrund (z.B. Thermohautsystem) sind bei normalen thermischen und hygri-schen Einwirkungen die Verformungen und Spannungen gering, weil die Differenzen zwischen den Schichtoberflächen entsprechend klein sind.

Um Spannungen in Putzschichten klein zu halten, gilt die Regel, daß der jeweilige E-Modul von Putzschichten geringer sein soll als der des Putzgrundes.

### 2.4.5 Balkonpathologie

Bei Balkonen aus Stahlbeton ist eine nachträgliche Durchbiegung zu erwarten. Um diese nicht sichtbar werden zu lassen, ist eine keilförmige Ausbildung oder die frontale Verkleidung der Balkonplatten sinnvoll. Zusätzlich muß bedacht werden, daß das angelegte Gefälle für die Entwässerung nachträglich beeinflußt wird. Der direkte Anschluß von Aufmauerungen an die Außenwände ist nicht zu empfehlen, da hier ein Abriss wahrscheinlich ist; das Anlegen einer Fuge (5 .. 12 cm) ist daher sinnvoll.

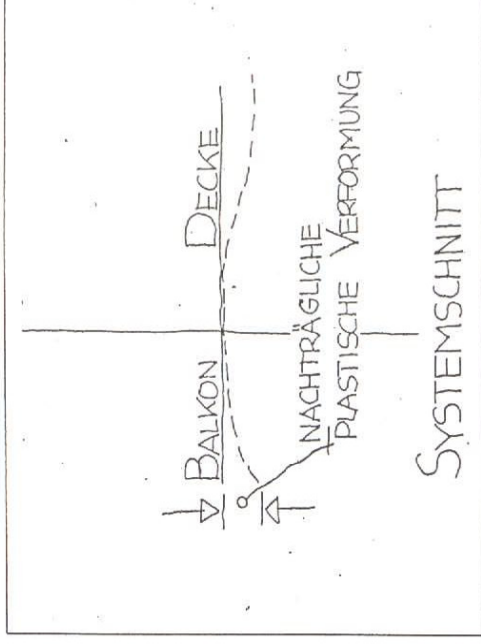


Abb. 50

Plastische Verformungen von Balkonen müssen aus gestalterischer Sicht und wegen der Entwässerung berücksichtigt werden.

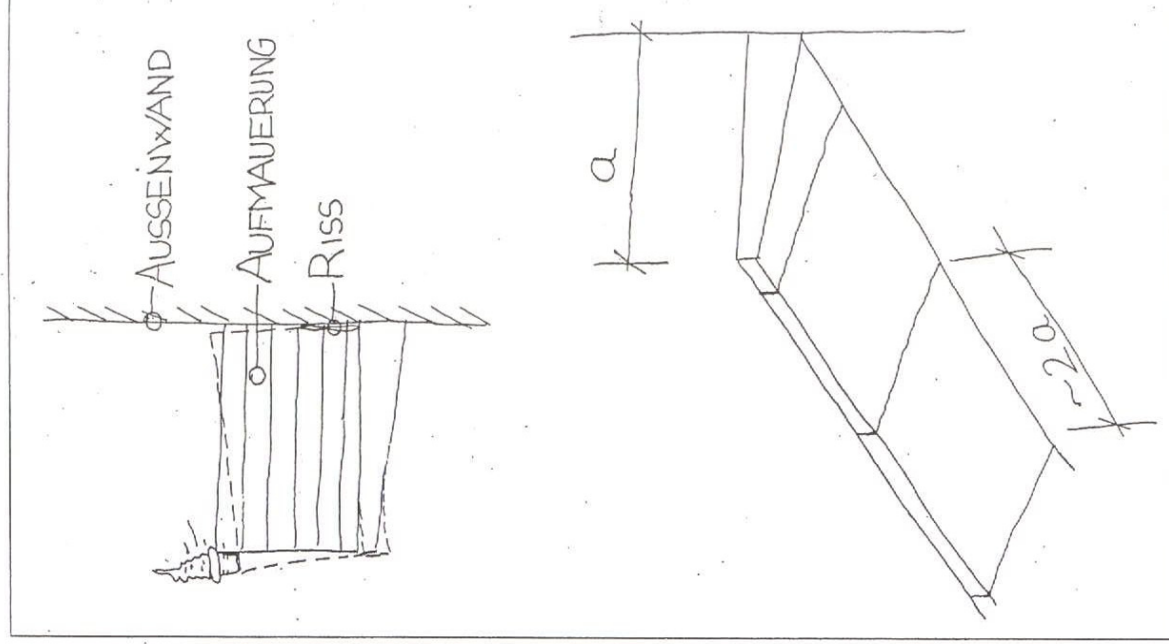


Abb. 51

Starke Rissebildungen in Beton-Balkonen können senkrecht zur Hausfront auftreten, wenn konstruktive Maßnahmen dies nicht verhindern



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

Zusätzlich zu bedenken ist, daß zwischen einer Balkon- und Deckenplatte aus Beton ein relativ großer Temperaturunterschied auftritt. Dies führt zu Rissebildungen - senkrecht zur Außenwand in typischen Abständen von zweimal der Länge der Auskragung. Zur Vermeidung nachteiliger Einflüsse aus diesem Effekt sind entweder Fugen in einem Abstand von weniger als zweimal der Auskragungslänge anzulegen, oder es ist eine feinmaschige Stahlbewehrung an der Unterseite der Balkonplatte einzubringen, um damit die Rissebildungen zu verteilen, so daß keine Risse erkennbar werden.

Bei Balkonplatten aus Beton besteht das Problem der Wärmebrücke, welches zur nachteiligen Tauwasserbildung führen kann. Durch Wärmedämm-Maßnahmen an der Unterseite der Deckenplatte (innen) oder thermischer Trennung durch spezielle Ankerverbindungen läßt sich diese Problematik beseitigen.

### 2.4.6 Geländerkrankheit

Die Einbindung von Stahlteilen in Beton oder Mauerwerk ist im Außenbereich wegen der Korrosionsproblematik bedenklich. Bei ständiger Einwirkung von Feuchtigkeit, welche durch abfließendes Wasser insbesondere im Anschlußbereich von Stahlteilen möglich ist, können durch die Volumenvergrößerung bei der Korrosion, speziell an Bauteilrändern, Abplatzungen auftreten. Es ist ratsam, Stahlteile an massiven Bauteilen so anzubringen, daß abfließendes Wasser nicht zu den angrenzenden Anschlußpunkten gelangt.

Bei größeren Geländerlängen sind zudem verschiedene Verbindungen erforderlich, wegen unterschiedlicher thermisch bedingter Dehnungsdifferenzen durch unterschiedliche Einwirkungen und Wärmeträgheit.

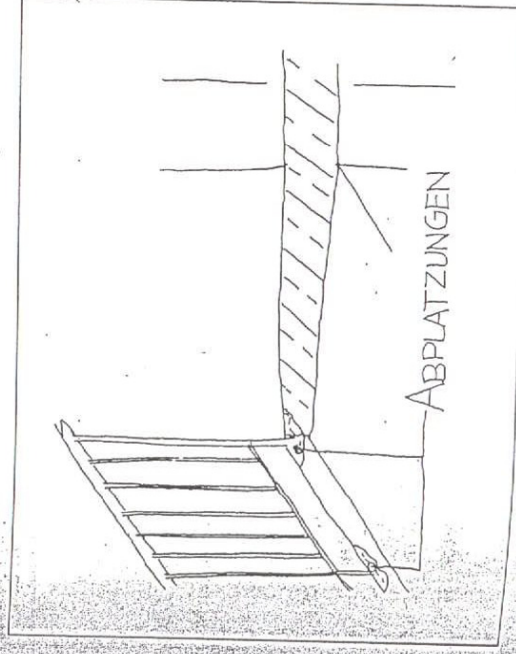


Abb. 52

Korrosionsprozesse und thermisch bedingte Längenveränderungen können zu Abplatzungen an Befestigungsstellen führen

### 2.4.7 Wurzelndruck

Bei geringer Gründungstiefe können nahe stehende Bäume dazu führen, daß Bauteile angehoben werden. Es sind hier entsprechende Abstände bei Bepflanzungen erforderlich.

### 2.4.8 Frostsprengung / Frostbeulen

Die Frostbeständigkeit von porösen Baustoffen kann nicht sicher vorhergesagt werden. Grundsätzlich sind eine hohe Festigkeit, ein geringes Porenvolumen oder gewisse Porenformen Kriterien für die Frostsicherheit. Durch Hohlräume hinter dünnen aufgeklebten Platten und dergleichen können „Frostbeulen“ verursacht werden.

### 2.5 Umweltgegebenheiten

Die besonders relevanten Phänomene zum Thema „Umweltgegebenheiten“ sind unter folgenden Begriffen dargestellt:

- UV-Verprödung,
- Windkanteneffekt,
- Immissionswetterlage,
- Grünflop,
- Bewertungsproblematik

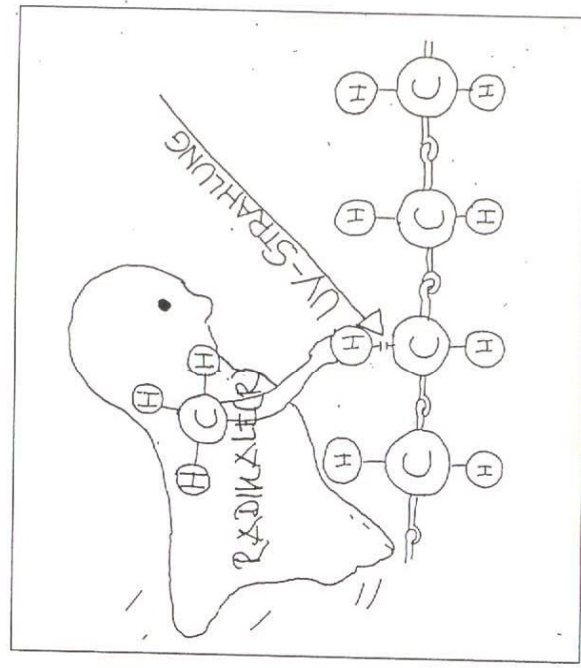


Abb. 53

Zerörung von Molekülketten (organische-Verbindungen) durch UV-Einstrahlung in Folge von photochemischen Vorgängen



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

### 2.5.1 UV-Versprödung

Organische Baustoffe (dies sind Kohlenwasserstoffverbindungen) verspröden unter der Wirkung von Sonnenstrahlung. Der ultraviolette Anteil des Lichtes führt zu Stoffveränderungen. Aus diesem Grunde sollten i.d.R. Dichtungsbahnen vor UV-Einwirkung geschützt werden (durch anorganische Baustoffe - Beschieferungen, Kiesschüttungen und Blechverwahrungen). Praktisch sind sämtliche organische Baustoffe nicht UV-beständig; dennoch ist es gelungen, eine hohe UV-Resistenz herzustellen, so daß eine lange Haltbarkeit gegenüber UV-Einwirkungen bei bestimmten Stoffen vorhanden ist. Dünne Schichten wie Polyäthylenfolien werden relativ rasch durch UV-Einwirkung zerstört. Es empfiehlt sich deshalb auch bei Unterspannbahnen unterm Steildächern nicht dünne PE-Folien, sondern dickere Unterspannbahnen zu verwenden, weil in Randbereichen UV-Einwirkungen möglich sind.

### 2.5.2 Windkanteneffekt

An Gebädekanten können relativ große Kräfte und insbesondere kritische Sogkräfte auftreten. Im Bereich von Dachkanten und Durchfahrten sind besondere Befestigungsmaßnahmen und Aussteifungen bei den Konstruktionen erforderlich. Alternativ könnten auch luftdurchlässige Bauteile dafür sorgen, daß die Sogwirkung gering bleibt.

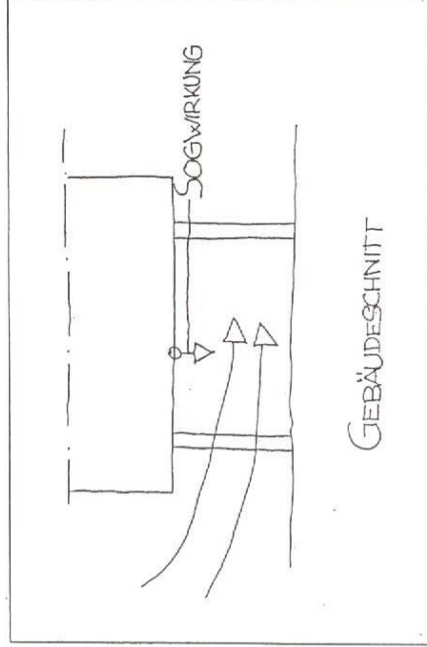


Abb. 54

Sogwirkung an Gebäudedetails durch den Wind-Düseneffekt

### 2.5.3 Immissionswetterlage

In Mitwindrichtung werden die „Schallstrahlen“ zum Boden hin abgelenkt. Dies führt zu höheren Schallpegeln in Mitwindrichtung. Diese Wetterlage wird bei der Beurteilung von Schallimmissionen angenommen. Eine noch stärkere Schallübertragung kann bei einer Inversionswetterlage auftreten. Hierbei liegt nicht die normale Lufttemperaturabnahme mit der Höhe vor,

### NORMALWETTERLAGE

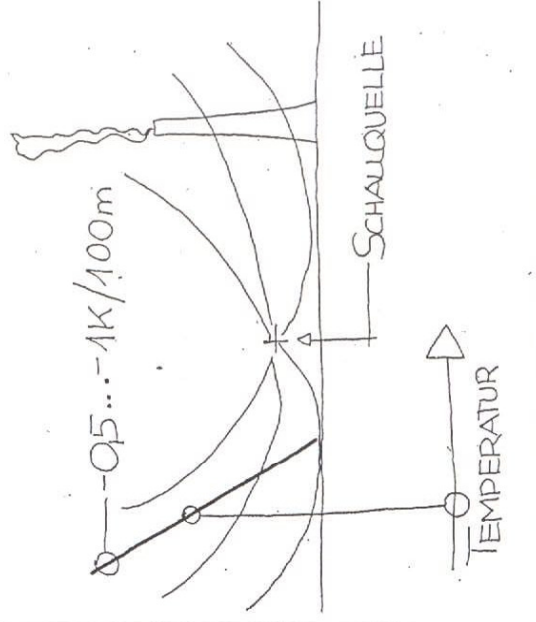


Abb. 55

Typischerweise wird die Temperatur mit steigender Höhe geringer und es entsteht dadurch eine Beugung der Schallstrahlen vom Boden weg wegen der Luftdichteverhältnisse

### INVERSIONSWETTERLAGE

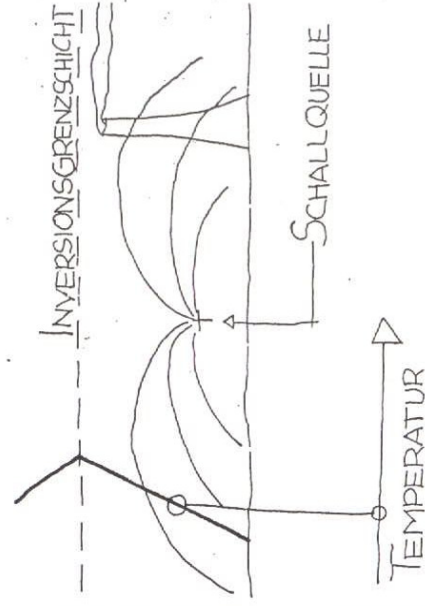


Abb. 56

Bei der Inversionswetterlage werden die Schallstrahlen zum Boden hin gebeugt

welche mit ca. 1K pro 100 m typisch ist, sondern es wird mit der Höhe zunehmend wärmer, bis zu einer Grenzschicht. Hierbei werden die Schallstrahlen in verstärktem Maße zum Boden abgelenkt, so daß in großen Entfernungen (sonst unübliche) Schallpegel gemessen werden können.

Bei der Inversionswetterlage herrschen typischerweise geringe Windgeschwindigkeiten; diese können in Mit-



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

windrichtung die Schallübertragung noch entsprechend verstärken. Inversionswetterlagen treten typischerweise häufig in den kälteren Jahreszeiten auf. Extreme Schallübertragungen können dabei auf Eisflächen auftreten, wo zusätzlich die Reflexion über die Eisfläche die Schallübertragung verstärkt. Bei einer Inversionswetterlage wird die Gas- und Staubkonzentration beim Vorhandensein entsprechender Emittenten besonders hoch werden. Es herrscht durch die Inversion eine austauscharme Wetterlage, d.h. die unteren atmosphärischen Schichten sind von den oberen isoliert. Der Rauch von Schornsteinen steigt bei dieser Wetterlage nicht hoch, sondern zieht waagrecht oder sogar nach unten hin ab.

### 2.5.4 Grünflop

Bewuchs kann sowohl den Schallpegel mindern, als auch Luftverunreinigungen ausfiltern. Bei der Schallpegelminderung ist von einer Bedämpfung zu sprechen, welche durch Schallreflexionen zu Überlagerungen von Schallwellen führt (Interferenzen) und damit zu einer teilweisen Auslöschung von Schallenergien.

Die Schallbedämpfung durch Bewuchs ist umso stärker je diffuser das Schallfeld hierdurch wird; d.h. je kleinblättriger der Bewuchs ist. Nadelbäume bewirken daher eine stärkere Pegelminderung als Laubbäume. Als pauschale (nicht differenzierte) Regel kann gelten, daß ein 10 m dichter Waldstreifen eine Pegelminderung von nur 1 dB bewirkt und durch größere Waldbreiten (>100 m) eine Pegelminderung von 10 dB kaum überschritten wird.

Oberhalb eines absoluten Pegels von 35 dB (A) wird eine Pegelminderung von 10 dB subjektiv als Halbierung empfunden. Unterhalb von 35 dB (A) wirken schon kleinere Pegelminderungen als Halbierung (3 dB bei 20dB (A), 5 dB bei 30 dB (A)).

Bei einem Laubwald ist noch zu bedenken, daß während der Winterzeit praktisch nicht mit Pegelminderungen zu rechnen ist.

Wird durch Laubbäume eine geschlossene Grünoberfläche gebildet, so kann es an dieser zu erheblichen Schallreflexionen kommen, s.d. in bestimmten Bereichen Pegelzunahmen auftreten. Bei Lärmschutzwänden ist daher zu bedenken, daß hohe Bäume - durch Schallreflexionen - die pegelmindernde Abschirmwirkung dieser Wände herabsetzen können.

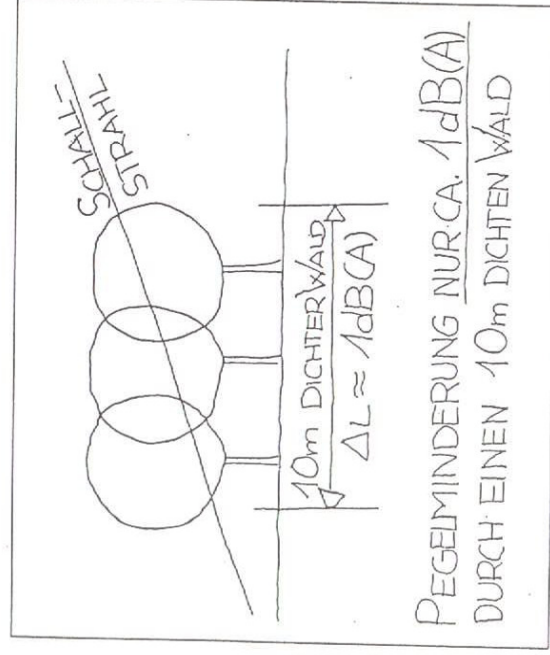


Abb. 57

Baumbewuchs führt i.d.R. nur zu geringen Pegelminderungen, je nach Situation aber auch zur Pegelzunahme infolge von Reflexionen

### 2.5.5 Bewertungsproblematik

Die Bewertung von Schallmissionen ist durch eine Reihe von Regelwerken - für Normalfälle - klar umrissen. Hierbei werden i.d.R. die mittleren Schallpegel (ggf. mit Pegelzuschlägen) und die Spitzenpegel bewertet. Je nach der Geräuschcharakteristik und nach einem messtechnisch nicht bestimmbaren Informationsgehalt des Geräusches kann zuweilen die Lästigkeit nicht allein mit dem meßbaren Schallpegel dargestellt werden. Im Regelfall können die verwendeten Beurteilungsmethoden als ausreichend gut angesehen werden, aber in Sonderfällen können die pauschalen Bewertungsmethoden fragwürdig sein. Das grundsätzliche Problem liegt im Informationsgehalt des Geräusches und ggf. in einer extremen Einzeltonhaltigkeit bzw. Impulshaltigkeit der zu bewertenden Geräusche; hierbei spielt der vorhandene Grundgeräuschpegel eine wesentliche Rolle, d.h. wie gering oder stark der Überdeckungseffekt ist, vgl. 2.7.10.



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

### 2.6 Bauakustik

Die besonders relevanten Phänomene zum Thema „Bauakustik“ sind unter folgenden Begriffen dargestellt:

- Massengesetz,
- Spuranpassungseffekt,
- Trommeleffekt,
- Wandputzeffekte,
- Betonwandproblematik,
- Kontaktstellendämpfung,
- Sprachfrequenz-Durchlaufplatten,
- Luftraumübertragung,
- Resonanzkopplung,
- Lochsteinverstärker,
- Massivbauparadoxon,
- Leichtbaufugensyndrom,
- Nichtschwimmerproblematik,
- Badewannenkomplex,
- Impulsphänomen,
- Teppichausklammerung,
- Erste Treppenhausreform,
- Verstimmungstrick,
- Massenbedämpfung

pro Masseverdoppelung. Eine Veränderung der flächenbezogenen Masse um jeweils 9 % verändert die Schalldämmung um 1 dB. Bei einem  $m' = 320 \text{ kg/m}^2$  ist  $R_w = 52 \text{ dB}$  bzw. nach DIN 4109 ist  $R_{w,R} = 50 \text{ dB}$ .

### 2.6.2 Spuranpassungseffekt

Die Schalldämmung wird bei einem mittleren Schalleinfallswinkel von  $45^\circ$  gemessen. Bei anderen Schalleinfallswinkeln, bezogen auf die Flächennormale, sind nicht die gleichen Schalldämmwerte zu erwarten. Bei senkrechtem Schalleinfall, d.h.  $\alpha = 0^\circ$ , sind die höchsten Schalldämmwerte zu erwarten und bei steilen Einfallswinkeln  $\gg 45^\circ$  sind besonders geringe Schalldämmmaße möglich.

Durch diesen Effekt können hochliegende Fenster gegenüber Fenstern im Erdgeschoß, bei entsprechenden Lärmeinwirkungen, einen geringeren Schallschutz aufweisen. Der Spuranpassungseffekt ist ein Mitschwingverhalten von Platten, welches bei nicht senkrechtem Schalleinfall durch ein Mitschwingen im Wellenlängenbereich der freien Biegewelle der Platten auftritt.

Durch diesen Effekt wird die Schalldämmung mittlerdicker Platten extrem ungünstig beeinflusst, so daß Platten mit einem Gewicht zwischen 20 bis  $100 \text{ kg/m}^2$  recht geringe Schalldämmwerte aufweisen.

### 2.6.1 Massengesetz

Bei einschaligen Bauteilen ist die flächenbezogene Masse - bei luftdichten Bauteilen - der maßgebliche Einfluß für den erzielbaren Luftschallschutz. Bei Bauteilen (aus mineralischen Baustoffen) mit mehr als  $m' = 100 \text{ kg/m}^2$  steigt die Schalldämmung mit ca. 8 dB

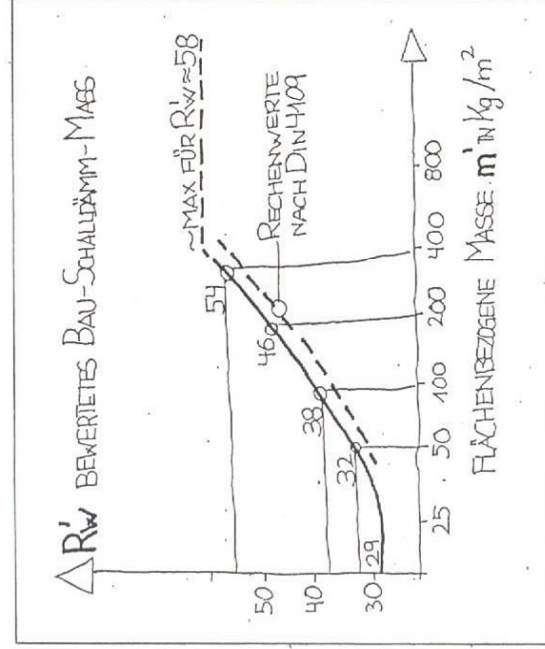


Abb. 58

Mit der Massen-Trägheit von Bauteilen ist Luftschalldämmung herstellbar

Für Platten aus Gips ergibt sich, daß mit Plattendicken zwischen 8 mm und 75 mm die Schalldämmung praktisch gleich ist und mit ca. 30 dB angenommen werden kann.

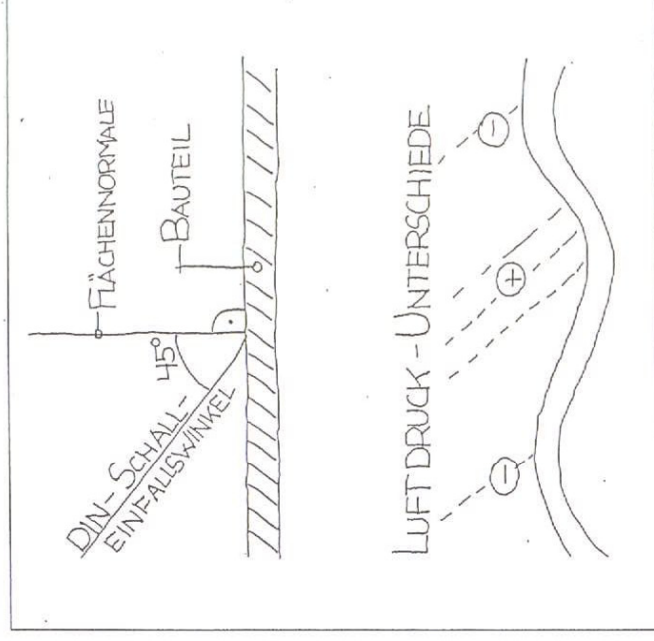


Abb. 59

Bei Anregung der freien Biegewelle einer Schale wird der Schalldurchgang vergrößert



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

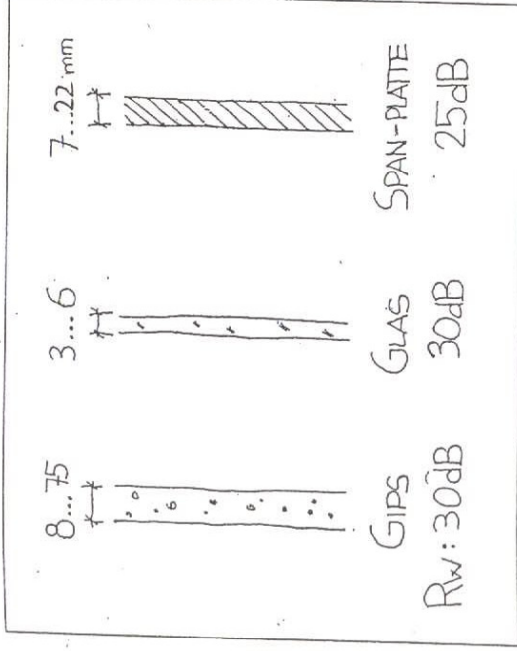


Abb. 60  
Bauteil-Schalen in einem speziellen Dickenbereich haben praktisch die gleiche Schalldämmung, d.h. unabhängig von der flächenbezogenen Masse

Mit üblichen Glasdicken (3...6 mm) wird ein Schalldämm-Maß von ca.  $R_w = 30$  dB erzielt.

Bei Spanplatten mit Dicken zwischen 7...22 mm kann das Schalldämm-Maß mit 25 dB angenommen werden.

### 2.6.3 Trommeleffekt

Werden zwei Platten zu einer zweischaligen Konstruktion zusammengefügt, so können die Schalldämmeße der Einzelschalen addiert werden, und bei großen Abständen, d.h. bei Luft-Hohlräumen von mehr als 140 mm, ist eine Minderung von -15 dB zu berücksichtigen. Wird der Hohlraum teilweise mit Mineralfaserdämmstoffen bedämpft, so wird die Schalldämmung demgegenüber um + 5 dB verbessert. Bei einer starken

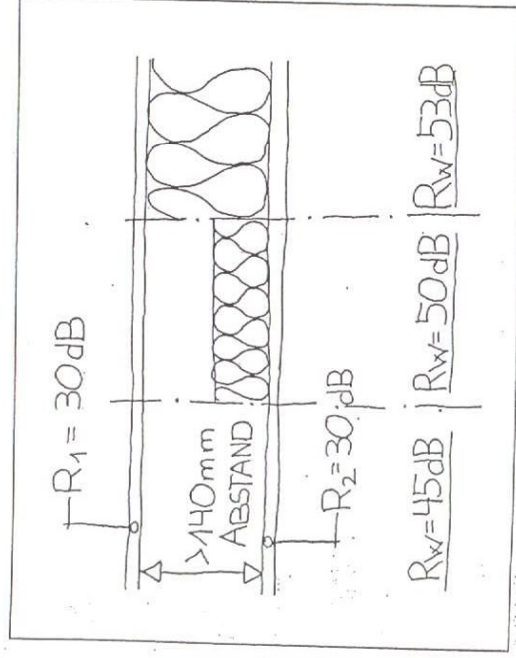


Abb. 61  
Einfluß der Hohlraumbedämpfung bei zweischaligen Bauteilen

Bedämpfung verbessert sich die Schalldämmung gegenüber der unbedämpften Situation um + 8 dB.

Der Einfluß eines Ständerwerkes ist i.a. mit 0 dB anzunehmen; bei besonders weichen Verbindungen mit + 3 dB und bei besonders steifen Verbindungen mit - 3 dB.

Bei kleinen Abständen zwischen den Schalen, die in der Baupraxis üblich sind, ist eine weitere Minderung wegen des ungünstigen Mitschwingverhaltens, durch die Federwirkung des Hohlraumes, zu berücksichtigen, -2 dB pro 26 % Abstandsverringerung. Diese Minderung kann solche Werte annehmen, daß zweischalige Konstruktionen schlechter sein können als eine Einzelschale. Z.B. hat ein 4 mm dickes Glas eine Schalldämmung von ca. 30 dB. Bei der Kombination von 2 Gläsern dieser Art, mit einem Schalenabstand von 6 mm, wird ein Schalldämmmaß von nur 26 dB erzielt. Bei einem Schalenabstand von 140 mm und mehr ist jedoch eine Schalldämmung von 53 dB erzielbar -vgl. Abb. 62.

Bei zweischaligen Konstruktionen zeigt der Verlauf der Schalldämmung unterhalb der Eigenfrequenz (eine Oktav tiefer) das Verhalten einer einschaligen Konstruktion; hier entscheidet das Gesamtmaß der flächenbezogenen Masse über den Schallschutz. Die Eigenfrequenz tritt bei üblichen Konstruktionen im Bereich zwischen 50 - 300 Hz auf, und es entsteht im Bereich der Eigenfrequenz ein Dämmwerteinbruch von ca. 10 dB. Oberhalb der Eigenfrequenz steigt die Schalldämmung mit zunehmender Frequenz (um ca. 12 dB/Frequenzverdopplung) doppelt so stark wie bei einschaligen Wänden, so daß sich erst in diesem Bereich die Zweischaligkeit vorteilhaft für die Schalldämmung auswirkt -vgl. Abb. 63.

### 2.6.4 Wandputzeffekte

Unverputzte gemauerte Wände haben ein ungesichertes Schalldämmmaß. Gegenüber einer verputzten Hbl-Wand mit einem Schalldämmmaß von 49 dB wurde im unverputzten Zustand nur ein Dämmmaß von 16 dB gemessen. Auch bei einer sehr gut vermörtelten Kalksandsteinwand ist das Verhältnis verputzt/unverputzt wie 54 dB zu 42 dB. Der hier beschriebene Effekt ist auf die Luftdurchlässigkeit zurückzuführen, so daß das Massengesetz nur für luftdichte Konstruktionen angewendet werden kann. Zu einer Abminderung der Schalldämmung kann es auch bei Wänden kommen, welche nicht vollflächig verputzt sind. Fehlender Putz oberhalb von Abhangdecken und im Bereich von schwimmenden Estrichen hat einen entsprechenden negativen Einfluß auf die Schalldämmung.



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

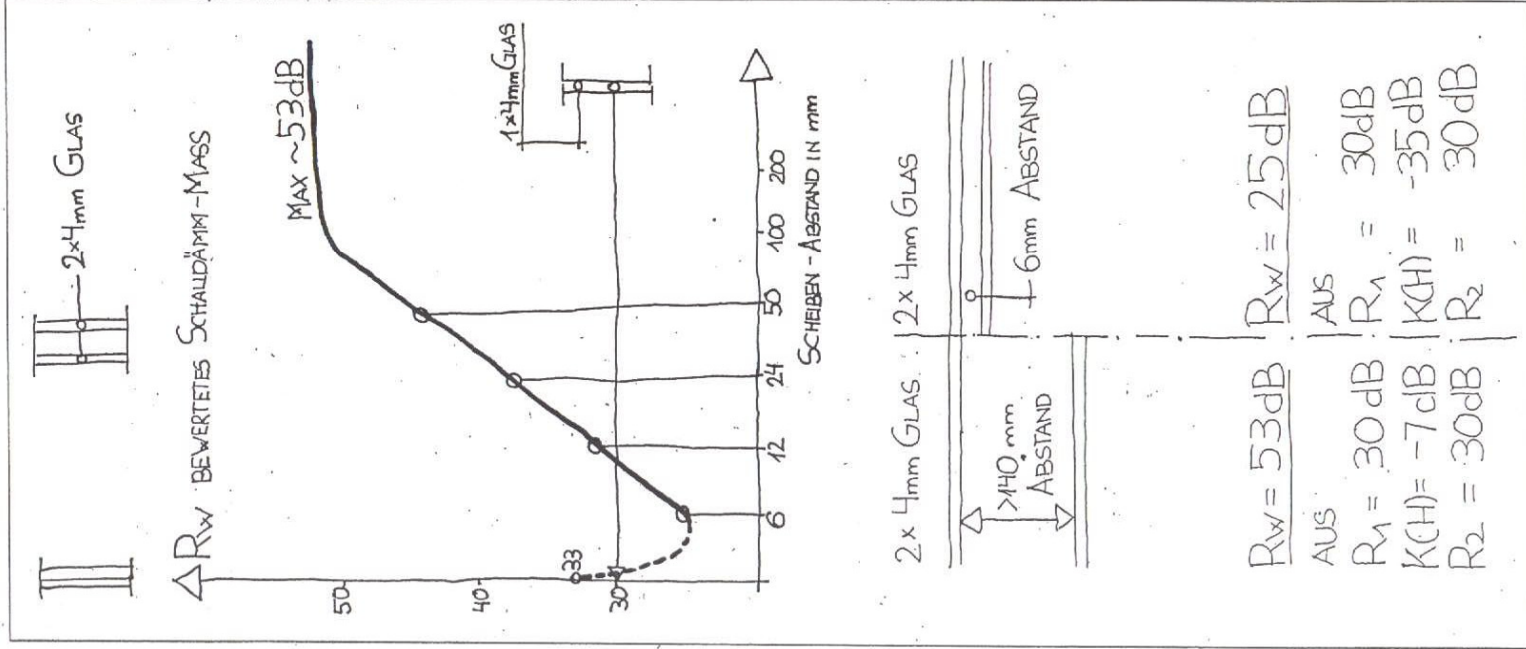


Abb. 62  
Schalldämmung von Doppelverglasung abhängig vom Scheibenabstand

In der Praxis ist deshalb eine vollflächige Verputzung sinnvoll bzw. notwendig. Eine einseitige Verputzung von gemauerten Wänden kann schon ausreichend sein. Gemauerte Wände, welche nicht verputzt sind und mit Gipskartonplatten verkleidet werden (Trockenputzverfahren) oder beidseitig Verfließungen im Mörtelbett erhalten, können sich schalltechnisch ungünstig auswirken, da eine Luftdurchlässigkeit bei der gemauerten Wand zu erwarten ist und ungünstige Eigenfrequenzen wegen dünner Luftschichten auftreten können.

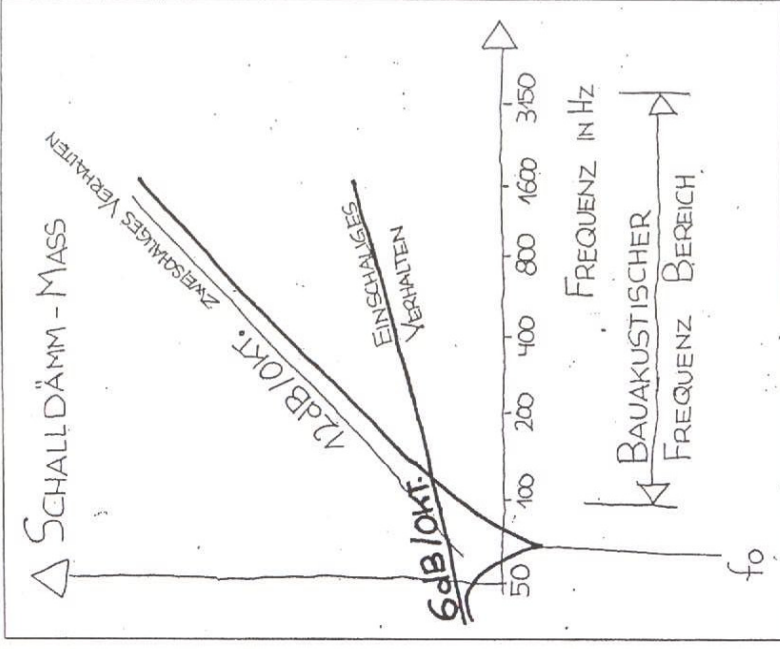


Abb. 63  
Schalldämm-Verlauf abhängig von der Frequenz bei zweigeschligten Konstruktionen

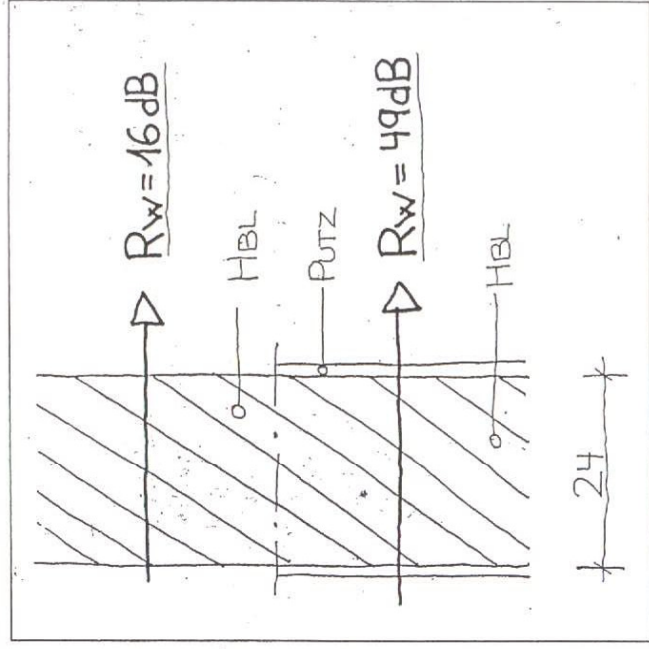


Abb. 64  
Einfluß der Luftdichtigkeit auf das Dämmverhalten von Bauteilen

Auch verputzte Wände können einen unerwartet schlechten Schallschutz aufweisen. Dies ist bei mangelnder Haftung der Putzschichten an den Steinoberflächen, da eine Luftdurchlässigkeit bei der gemauerten Wand zu erwarten ist und ungünstige Eigenfrequenzen wegen dünner Luftschichten auftreten können.

Auch verputzte Wände können einen unerwartet schlechten Schallschutz aufweisen. Dies ist bei mangelnder Haftung der Putzschichten an den Steinoberflächen, da eine Luftdurchlässigkeit bei der gemauerten Wand zu erwarten ist und ungünstige Eigenfrequenzen wegen dünner Luftschichten auftreten können.



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

chen möglich. In der Praxis wurde in einem konkreten Fall ein Einfluß von -5 dB ermittelt.

Bei Wärmedämmverbundsystemen (Thermohaut) mit harten Dämmstoffen (auch bei Mineralfaserdämmstoff mit stehenden Fasern) ist ebenso mit einer Minderung von bis zu -5 dB zu rechnen.

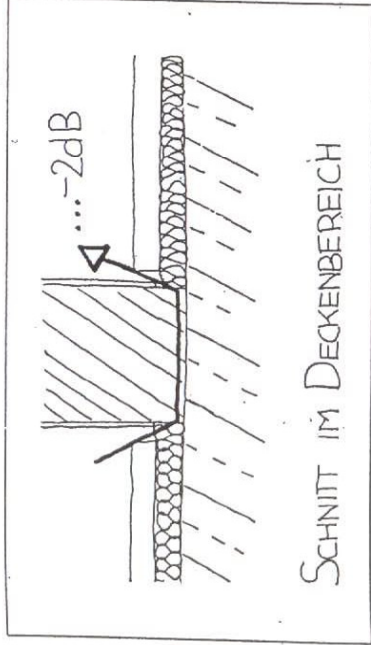


Abb. 65

Erhöhter Schalldurchgang in Folge Luftdurchlässigkeit im unverputzten Bereich

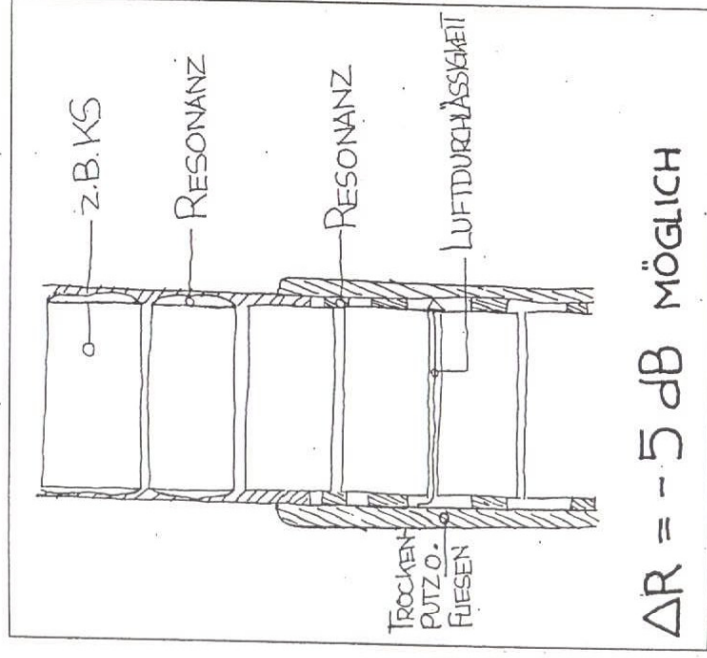


Abb. 66

Einfluß von Luftdurchlässigkeit und Resonanz bei verfliesen und verputzten Wänden

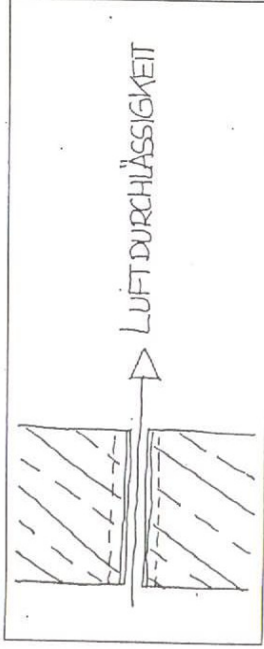


Abb. 67

Betonwände sind bei der Anwendung von Schalungspreiszahlerhalten nicht luftdicht

### 2.6.5 Betonwandproblematik

Wände aus Normalbeton sind ausreichend luftdicht, weisen jedoch zuweilen Löcher durch Schalungspreizhalterungen auf (vgl. Abb. 67). Um den zu erwartenden Luftschallschutz erzielen zu können, ist das Schließen dieser Löcher erforderlich, sinnvollerweise mit Faserdämmstoff und ggf. mit entsprechendem Abschlussmaterial.

### 2.6.6 Kontaktstellendämpfung

Die Schallübertragung über flankierende Bauteile ist abhängig vom Kontakt zwischen dem trennenden Bauteil und den flankierenden Bauteilen. Bei einer nicht verzahnten Ausführung von gemauerten Wänden wird die Schalldämmung über die flankierenden Bauteile um ca. -10 dB gegenüber der verzahnten Bauweise beeinflusst. Der feste Kontakt zwischen trennenden Bauteilen und flankierenden Bauteilen ist zur Erzielung hoher Schalldämm-Maße bei der Massivbauweise unbedingt erforderlich.

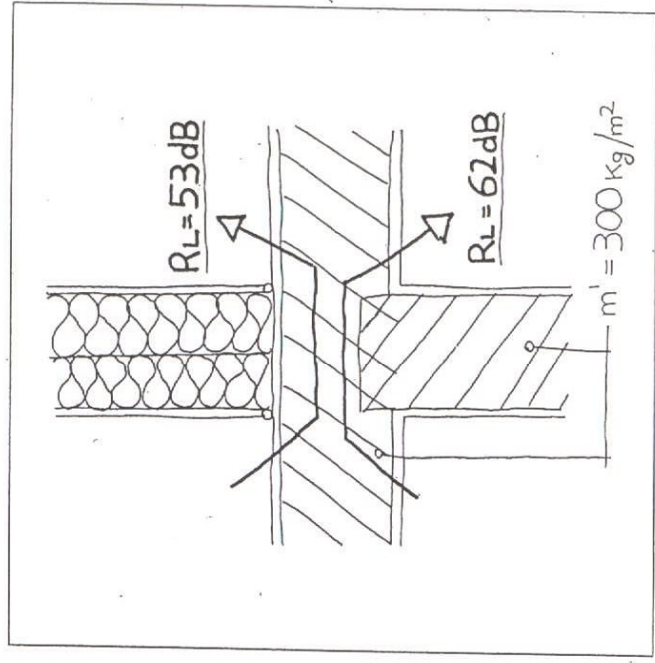


Abb. 68

Die Schall-Längsleitung ist bei verzahnten, massiven Wänden geringer als bei anderen Bedingungen

Ist die Kontaktstellendämpfung nicht gegeben, so wie dies z.B. bei leichten Trennwänden in Trockenbauweise der Fall ist, wird über die flankierenden Bauteile mit  $m'_1 > 80 \text{ kg/m}^2$  nur ein Flankenschalldämm-Maß erzielt, welches dem Schalldämm-Maß des flankierenden Bauteils + 2 dB entspricht.



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

### 2.6.7 Sprachfrequenz-Durchlaufplatten

Mitteldicke Bauelemente wie Gipsdielen, Bimsdielen und Zementestriche bei schwimmenden Estrichkonstruktionen können bei der Schallnebenwegübertragung einen beachtlichen Einfluss haben. Um höhere Schalldämmwerte erzielen zu können, sind Gipsdielen- und Bimsdielenwände von den Trennwänden und Decken zu trennen. Zur Erzielung hoher Dämmwerte dürfen schwimmende Estriche nicht unter (leichten) Trennwänden hindurchlaufen. Anderenfalls ist die Schalldämmung auf ein Maß von etwa 38 dB begrenzt. Durch das Aufschneiden oder besser durch die Entfernung der Estrichkonstruktion in diesem Bereich können Dämmmaße von 55 dB und mehr erzielt werden.

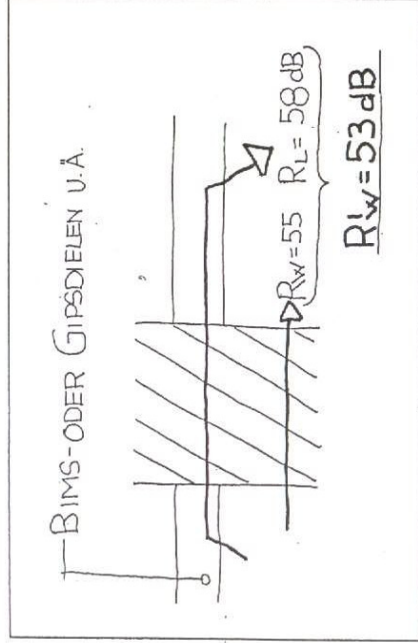


Abb. 69

Mitteldicke flankierende Bauteile können sich ungünstig auf die Schalldämmung auswirken

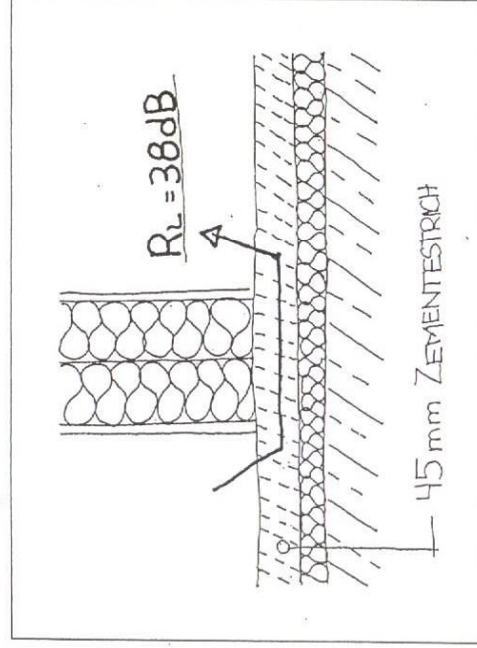


Abb. 70

Durchlaufender schwimmender Estrich begrenzt den Schallschutz

### 2.6.8 Luftraumübertragung

Maßgebliche Schallnebenwege können über Fure, bedingt durch die Raumeingangstüren, vorhanden sein und über den Luftraum oberhalb von Abhangdecken. Weiterhin sind derartige Nebenwege auch über Hohl-

körperdecken, Kanäle und Schächte möglich. Die Schalldämme der Einzelbauteile können hier unter Berücksichtigung der Flächenverhältnisse addiert werden, wobei der Hohlraum je nach den Absorptionsverhältnissen eine Dämmwertkorrektur - für diesen Schallnebenweg - bewirkt von -17 dB...+10 dB.

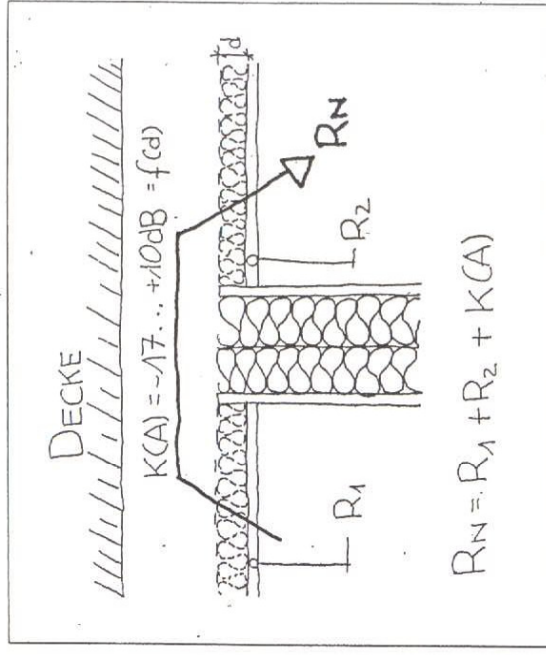


Abb. 71

Der Schallnebenweg über Deckenhohlräumen ist kalkulierbar

### 2.6.9 Resonanzkopplung

Ähnlich wie bei den trennenden Bauteilen können durch Vorsatzschalen an flankierenden Bauteilen Resonanzeffekte (Trommeleffekte) die Schalldämmung beeinflussen.

Vorsatzschalen an flankierenden Bauteilen mit geringen Luftabständen, d.h. von weniger als 3 cm, oder mit steifen Dämmschichten, wie Polystyrol-Hartschaum-

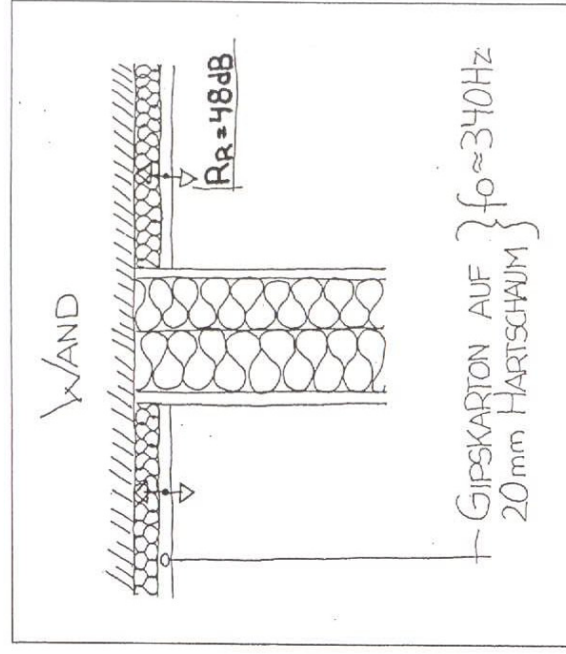


Abb. 72

Flankierende Bauteile mit Vorsatzschalen können die Schallübertragung durch ungünstige Eigenfrequenzen verstärken



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

platten bzw. anbetonierte und verputzte Holzwoolleichtbauplatten, können die Gesamtschalldämmung erheblich mindern.

Die Eigenfrequenz sollte bei derartigen Vorsatzschalen im Regelfall  $< 125$  Hz sein.

### 2.6.10 Lochsteinverstärker

Bei flankierenden Wänden aus leichten Lochsteinen sind, trotz Mauerwerksverzahnungen mit massiven Trennwänden, unerwartet hohe Schallübertragungen zu beobachten.

Die Luftdurchlässigkeit innerhalb der Leichtsteine und ein ungünstiges Mitschwingverhalten, welches im Sprachfrequenzbereich wirksam ist, führen zu einer hohen Schallübertragung. Zum anderen ist bei der horizontalen Schallübertragung eine sehr geringe Kontaktstellendämmung gegeben (nur 1 bis 2 dB), wodurch die Schalldämm-Maße entsprechend begrenzt werden (i.d.R. auf  $R'_w < 53$  dB). Die Kontaktstellendämmung (vgl. Ziff. 2.6.6) funktioniert hier schlecht, weil das weiche Stein- u. Mörtelmaterial der Leichtsteinwand akustisch nicht starr genug mit der Trennwand verbunden wird oder werden kann (wahrscheinlich wegen Rißbildungen im Anschlußbereich). Von der Ziegelindustrie wurden inzwischen spezielle Schallschutzsteine entwickelt, welche das dargestellte Problem verhindern sollen.

Es ist hier ratsam bzw. notwendig, durch Trennfugen oder, wenn möglich, durch das Einbinden massiver Bauteile diesen Schallnebenweg zu unterdrücken. Bei der vertikalen Schallübertragung verbessern die einbindenden Massivdecken die Kontaktstellendämmung.

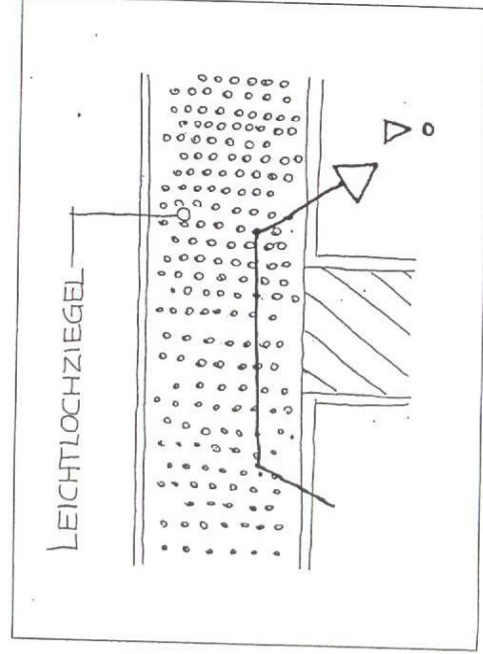


Abb. 73

Flankierende Wände aus leichten Lochsteinen können die Schalldämmung erheblich begrenzen, Minderung der Schall-Längsdämmung bis -5 dB

### 2.6.11 Massivbauparadoxon

Auch sehr schwere flankierende Bauteile (mit einer hohen flächenbezogenen Masse) können die Gesamtschalldämmung erheblich mindern. Während für trennende einschalige Bauteile und Bauteile mit biegeweichen Vorsatzschalen hier keine Probleme entstehen, ist bei der Anwendung von zwei schwereren Schalen die Gesamtschalldämmung stark begrenzt; d.h. auf Dämmwerte zwischen 48 und 55 dB - vgl. Abb. 74.

Die Ursache dieser erhöhten Schallübertragung ist in der relativ günstigen Anregbarkeit und Abstrahlung der beiden schweren Schalen zu sehen. Es ist dabei natürlich paradox, daß mit biegeweichen Vorsatzschalen Dämmmaße bis 64 dB erzielbar sind, während bei noch so schweren zweischaligen Massivwänden die Dämmung um ca. 10 dB darunter bleibt. Dieser Effekt ist beispielsweise auch bei massiven zweischaligen Haus-trennwänden zu beobachten, auch dann, wenn nur ge-

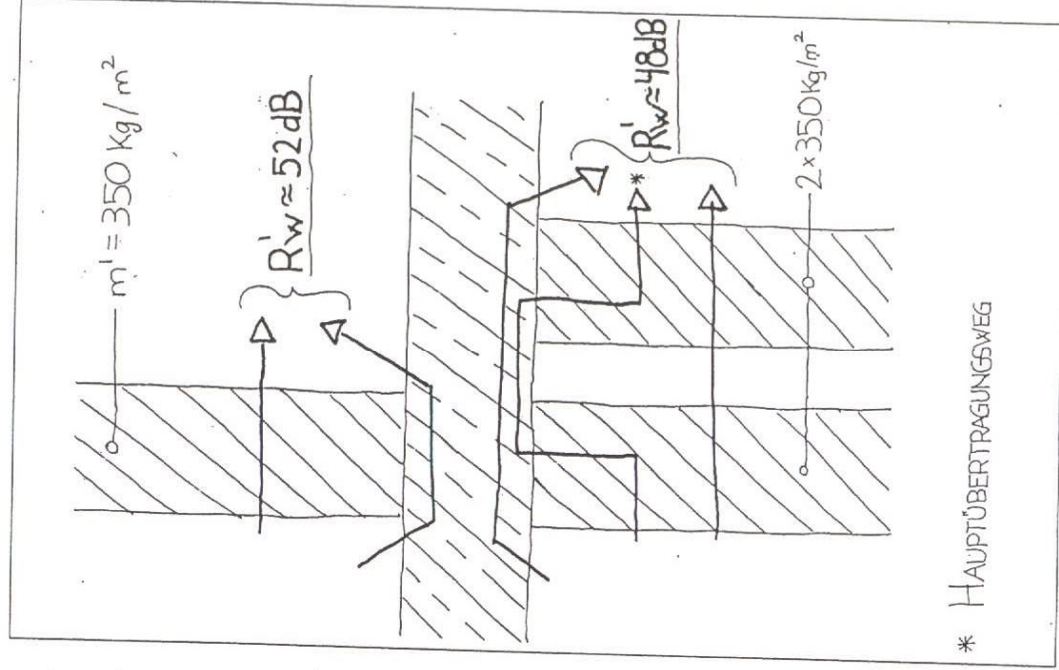


Abb. 74

Mit zweischaligen Wänden aus massiven Schalen sind hohe Dämmmaße erzielbar - ohne Körperschallbrücken. Bei Überbrückenden flankierenden Bauteilen sind erstaunliche schlechte Dämmmaße zu erwarten



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

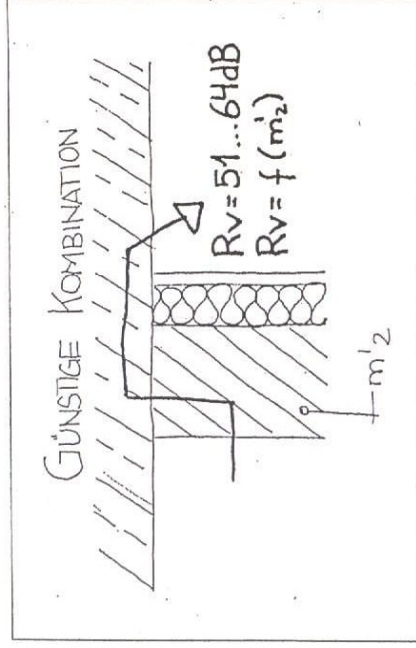


Abb. 75

Mit leichten Vorsatzschalen sind relativ hohe Schalldämmmaße erzielbar, auch wenn durchgehende flankierende Bauteile vorhanden sind

ringförmige Körperschallbrücken vorhanden sind. Während bei biegeweichen Vorsatzschalen die Schalldämmung durch Körperschallbrücken unwesentlich beeinflusst wird, ist bei biegesteifen Schalen, d.h. massiven zweischaligen Bauteilen, ein erheblicher Einfluß durch Körperschallbrücken gegeben. Die Schalldämmung wird durch Körperschallbrücken speziell im Bereich der Grenzfrequenz und darüber negativ beeinflusst, wobei die Grenzfrequenz der jeweils leichteren Schale hierbei maßgeblich ist. Daraus ergibt sich die Forderung, daß bei der Kombination von biegesteifen Schalen zu einer zweischaligen Konstruktion im besonderen darauf zu achten ist, daß keine Körperschallbrücken entstehen.

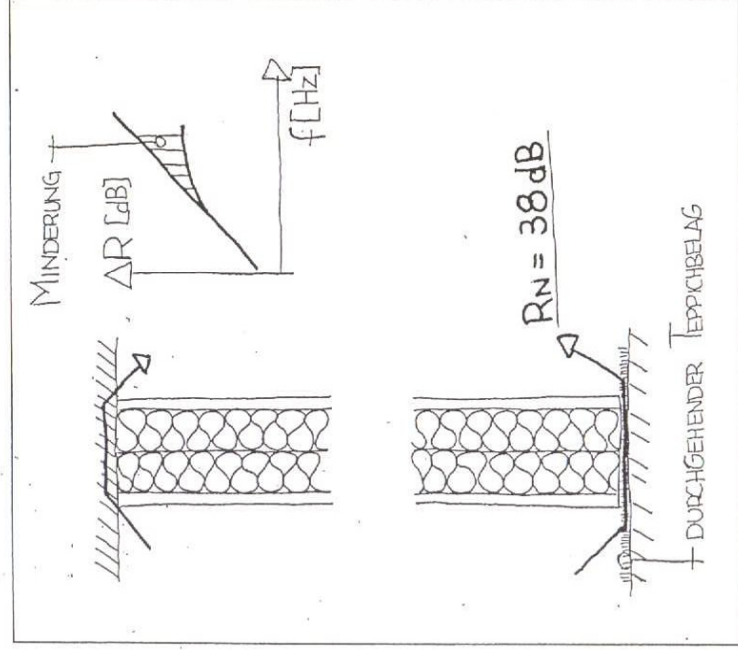


Abb. 76

Bei Leichtbauwänden stellen die Randfugen ein schalltechnisches Problem dar

### 2.6.12 Leichtbauaufgensyndrom

Bei leichten Konstruktionen ist infolge von Ausführungsängeln die Luftdichtigkeit in den Randbereiche oftmals nicht hinreichend gegeben. Diese Luftdurchlässigkeit kann die Gesamtschalldämmung von Konstruktionen erheblich mindern - vgl. Abb. 76.

Durch das Vorhandensein eines Teppichbelages, der unter einer zweischaligen leichten Trennwand hindurchgeführt ist, wird das Schalldämmmaß auf typischerweise 38 dB begrenzt.

Leichte Dachkonstruktionen mit Nut- und Federbrett-Schalungen können, wegen der dabei vorhandenen Undichtigkeiten, ebenso die Schalldämmung von Hauswänden stark begrenzen. Hierbei werden zuweilen Schalldämm-Maße von nur 45 dB erreicht.

### 2.6.13 Nichtschwimmerproblematik

Der wunde Punkt bei schwimmenden Estrichkonstruktionen ist häufig die Randfuge, bei der oftmals starre Kontakte mit den anschließenden Wänden bestehen. Bei funktionierenden schwimmenden Estrichen wird die Schallübertragung mit zunehmender Frequenz geringer. Sind dagegen im größeren Maße Körperschallbrücken an den Randfugen vorhanden, so wird die Schallübertragung mit zunehmender Frequenz nur geringfügig oder gar nicht besser.

Die häufigsten Ursachen für Körperschallbrücken bei schwimmenden Estrichen sind darin zu sehen, daß zu dünne Randstreifen, sowie kein Dämmstoff im Bereich der Türen eingebaut werden und oftmals Vermörtelungen der Randfugen oder Überbrückungen mit Fliesenklebern bei Steinzeugbelägen hergestellt werden.

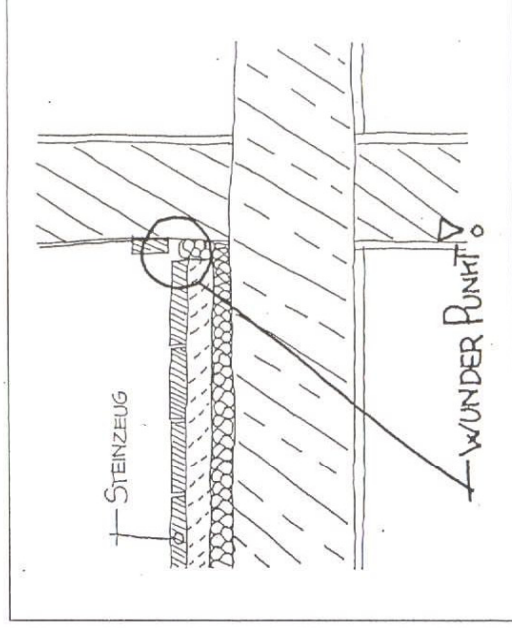


Abb. 77

Bei Steinzeugbelägen besteht ein besonderes Risiko darin, daß im Randbereich Körperschallbrücken hergestellt werden



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

### 2.6.14 Badewannenkomplex

Aufmauerungen an Badewannen und Duschtassen dürfen nicht fest mit den Wänden verbunden werden, d.h. es dürfen hier keine Körperschallbrücken zwischen der schwimmenden Estrichkonstruktion und anschließenden Wänden hergestellt werden, um den Trittschallschutz der Deckenkonstruktionen nicht nachteilig zu beeinflussen. Es ist sinnvoll, Badewannen und Duschtassen auf separate schwimmende Estriche aufzustellen oder Wannen- und Duschtassenträger zu verwenden, um Körperschallübertragungen zu reduzieren. Die Ränder der Badewannen und Duschtassen müssen aus dem gleichen Grund mit elastischen Stoffen an die Wände (zur Abdichtung) angeschlossen werden.

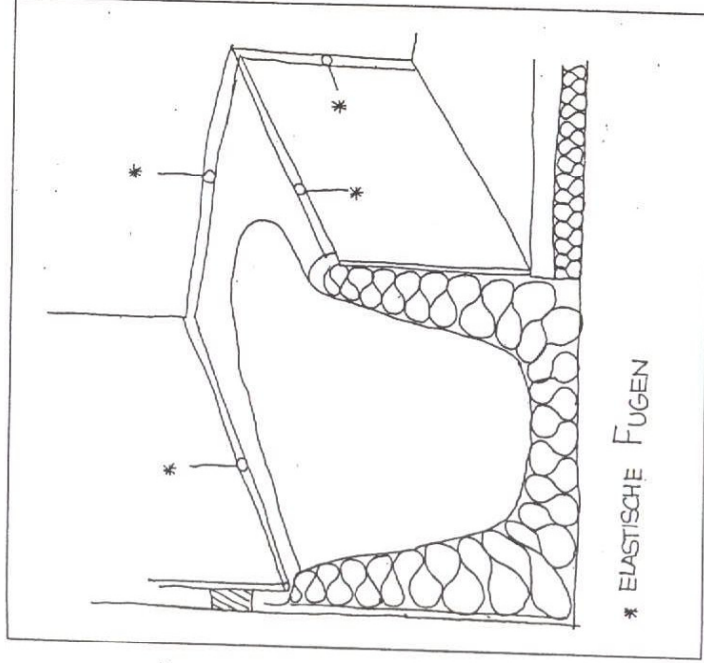


Abb. 78

Die Randfugen der Badewannenaufmauerung müssen elastisch ausgebildet sein - wegen des Trittschallschutzes. Die übrigen dargestellten Maßnahmen sind zu empfehlen

### 2.6.15 Impulsphänomen

Auch bei einem hohen Trittschallschutz, bewertet nach der entsprechenden Norm, sind erhebliche Störungen durch Körperschallübertragungen möglich. Hier sind es insbesondere laufende Kinder, welche bei leichten Deckenkonstruktionen (z.B. Holzbalkendecken) und bei extrem gut dimensionierten schwimmenden Estrichen hohe Störpegel durch Impulse auftreten lassen. Die Ursache liegt im Resonanzverhalten der Gesamtdecke oder der schwimmenden Estrichkonstruktion, wobei eine normgerechte Betrachtung nichts Bedenkliches erkennen läßt. Ebenso kann dieser Effekt bei leichten Holztreppen festgestellt werden. Hier ist offen-

sichtlich die Körperschallanregung durch entsprechend schwere Personen wesentlich ungünstiger als die durch ein Normhammerwerk.

Soll dieser Effekt gemindert oder ausgeschlossen werden, so sind schwere Estriche, Decken- und Treppenkonstruktionen erforderlich oder weichfedernde Bodenbeläge auf massiven Deckenplatten.

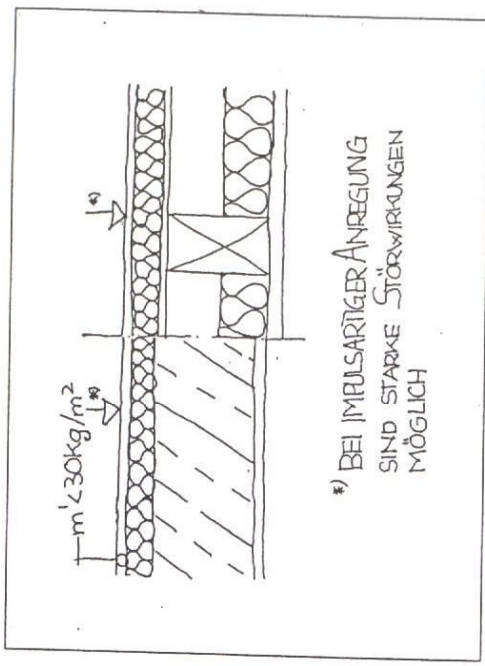


Abb. 79

Der Trittschallschutz im Bereich der Eigenfrequenz ist bei dünnen Estrichplatten kritisch

### 2.6.16 Teppichausklammerung

Obgleich Teppiche den Trittschallschutz im Gegensatz zu schwimmenden Estrichen sicher herstellen (auch dann, wenn der Teppich verkehrt herum eingebaut sein sollte), darf dieser nur in Ausnahmefällen, gemäß der Rechtslage (DIN 4109) für den Trittschallschutz, angerechnet werden. Zur Begründung wird die leichte Austauschbarkeit von weichfedernden Bodenbelägen angeführt.

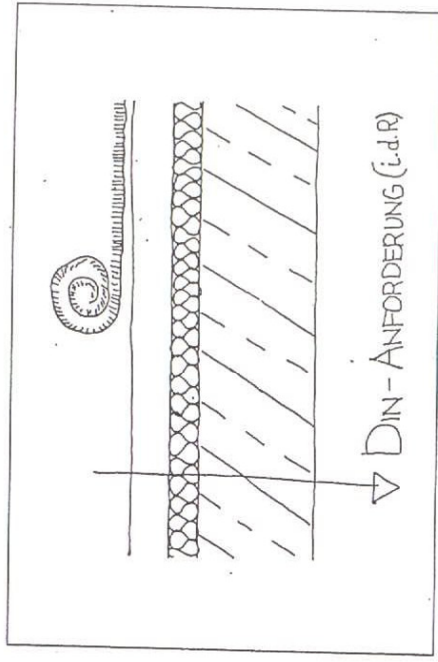


Abb. 80

In der Regel dürfen für den Mindesttrittschallschutz keine weichfedernden Bodenbeläge angerechnet werden



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

### 2.6.17 Erste Treppenhausreform

Durch die DIN 4109 wird ein relativ hoher Trittschallschutz zwischen Treppen und Nachbarräumen gefordert. Für Häuser ohne Aufzüge bedeutet dies praktisch, daß die Treppenläufe generell von den Wänden getrennt sein müssen, auf den Podesten schwimmende Estriche herzustellen sind, und für den erhöhten Schallschutz ist eine elastische Auflagerung der Treppenläufe oder ggf. der Gesamttreppe erforderlich.

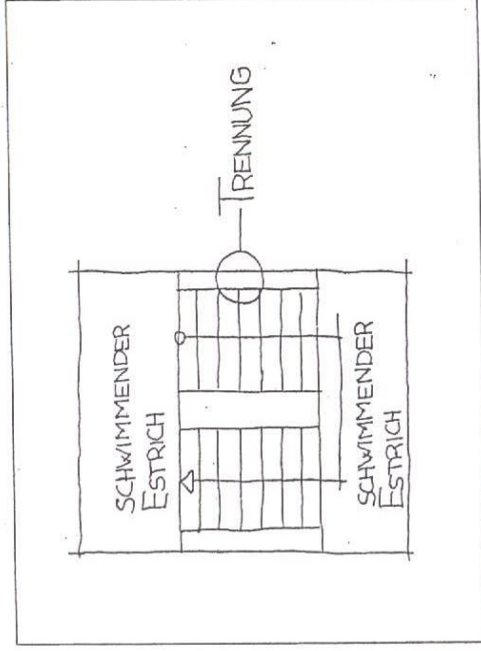


Abb. 81  
Mindestmaßnahmen für den Trittschallschutz im Treppenhaus für den mehrgeschossigen Wohnungsbau, ohne Aufzug

### 2.6.18 Verstimmungstrick

Maschinen mit rotierenden Massen müssen i.d.R. körperschall- und ggf. erschütterungs isoliert aufgestellt werden. Dies ist mit einer Abfederung herstellbar, welche zusammen mit der Maschine eine Eigenfrequenz haben sollte, welche um einen Faktor von mind. 3 kleiner ist als die Erregerfrequenz der Maschine. Die Federn sind danach entsprechend weich zu wählen. Bei der Anwendung von Stahlfedern werden i.d.R. zusätzliche Körperschallisolatoren, in Form von Gummielelementen o. dgl. erforderlich, weil Stahlfedern keine entsprechende Körperschallminderung herstellen.

### 2.6.19 Massenbedämpfung

Die günstigste Aufstellung von Maschinen mit rotierenden Massen ist auf dem gewachsenen Boden (Betonboden direkt auf dem Erdreich) gegeben, um die Schwingungsamplituden gering zu halten. Bei einer Aufstellung von Maschinen auf Decken sind entsprechend dicke Stahlbetonvoll-Deckenplatten notwendig, i.a. > 25 cm.

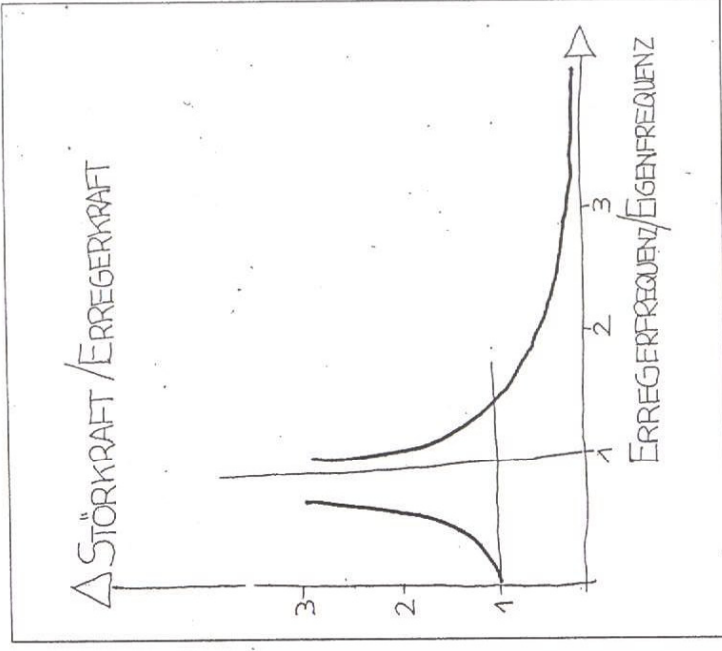
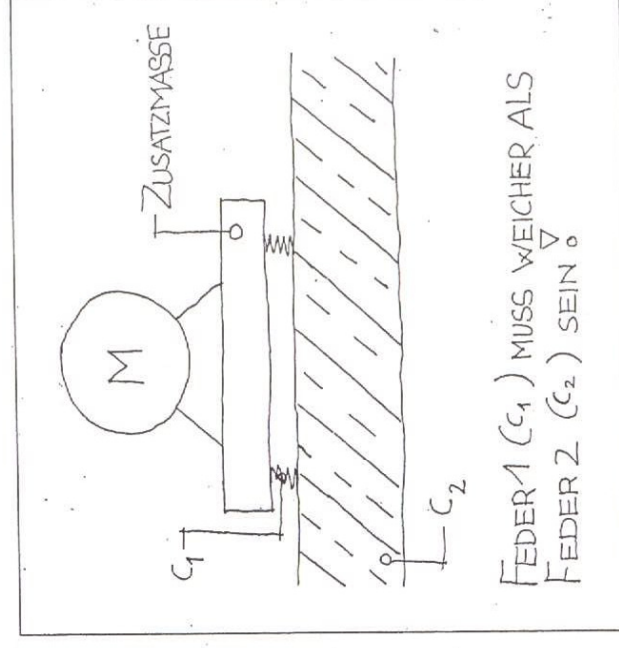


Abb. 82  
Einfluß der Verstimmung gegenüber der Erregerfrequenz bei der Erschütterungs- und Körperschallisolierung



FEDER 1 ( $c_1$ ) MUSS WEICHER ALS  
FEDER 2 ( $c_2$ ) SEIN.

Abb. 83  
Bei der Maschinenaufstellung auf Decken sind i.d.R. hohe Deckenmassen erforderlich

Die Maschinen können bzw. müssen je nach der Erregerenergie und insbesondere bei sehr tiefrequenten Anregungen (<30 Hz, d.h. bei einer Drehzahl < 1800 U/Min.) zur Schwingungsbedämpfung Massen in Form von Betonfundamenten oder Stahlplatten oberhalb der Körperschall- und Erschütterungsisolierung (Abfederung) erhalten.



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

### 2.7 Raumakustik

Die besonders relevanten Phänomene zum Thema „Raumakustik“ sind unter folgenden Begriffen darzustellen:

- Flatterecho
- Raumresonanz
- Flüstergalerien / Schallfokussierung
- Kanzelphänomen
- Lautwerferverstärkung
- Großraumunschärfe
- Flachraumakustik
- Nachhallklima
- Raumkopplungsproblematik
- Überdeckungstrick

#### 2.7.1 Flatterecho

Zwischen parallel angeordneten Bauteilen, welche relativ groß zum Abstand dieser Bauteile sind, kann durch Mehrfachreflexion ein Flatterecho störend in Erscheinung treten. Diese Flatterechowirkung ist um so stärker, je weniger andere Bauteile an Reflexionen beteiligt sind.

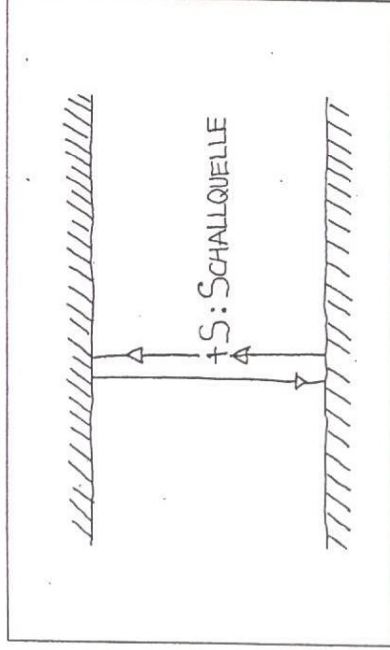


Abb. 84

Parallele relativ großflächige reflektierende Raumbegrenzungen sind kritisch in Hinblick auf Flatterechos

#### 2.7.2 Raumresonanz

In quadratischen und erst recht in kubischen Räumen können störende Raumresonanzen auftreten. Es sollte angestrebt werden, daß sich die Raumabmessungen um mindestens 50 cm voneinander unterscheiden. Die kritischen Raumresonanzen liegen bei üblichen Raumabmessungen im Bereich zwischen 100 und 200 Hz und je nach der Grundfrequenz der Sprache kann eine Störwirkung auftreten. Durch schallabsorbierende Maßnahmen und/oder durch die Herstellung einer größeren Diffusität des Schallfeldes, welches dadurch erreichbar ist, daß parallele Flächen nur in geringem Maße vorlie-

gen, kann das Problem störender Raumresonanzen beseitigt werden. Außerdem ist es möglich, durch einen großflächigen Tiefenabsorber den kritischen Frequenzbereich zu bedämpfen.

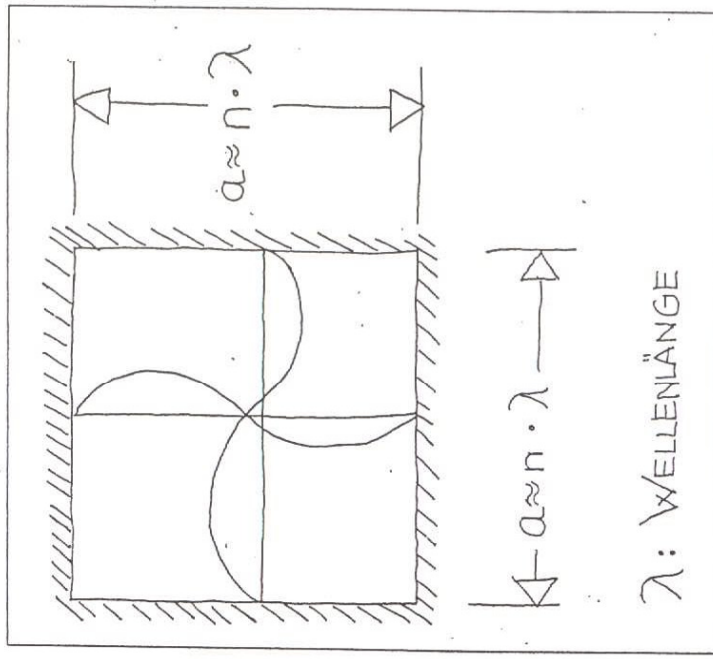


Abb. 85

In Räumen mit gleichartigen Abmessungen in Länge, Breite und/oder Höhe können ausgeprägte Raumresonanzen auftreten (stehende Wellen)

#### 2.7.3 Flüstergalerien / Schallfokussierung

Konkave Reflektoren (größere konkave Raumbegrenzungsflächen) sind grundsätzlich kritisch, weil vor solchen Flächen eine Schallfokussierung auftritt, welche die raumakustischen Verhältnisse nicht verbessern. Dieser besondere Effekt kann im Einzelfall natürlich bestaunt werden, weil weit entfernte Schallquellen,

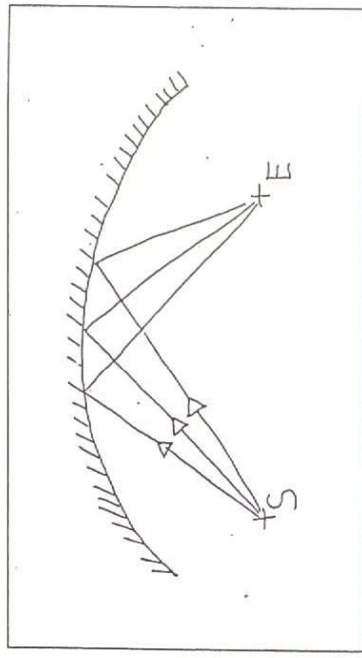


Abb. 86

Konkave Oberflächen führen zu Schallfokussierungen, welche für eine gute Raumakustik (im Bereich der Hörer und Sprecher) unerwünscht sind



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

auch bei niedrigen Pegeln, gut hörbar sein können (in bestimmten Bereichen). Schallfokussierungen sollten nicht in Hörer- oder Sprecherbereichen auftreten.

### 2.7.4 Kanzelphänomen

Ist die direkte Sichtverbindung zum Sprecher nicht gegeben, bleibt die Sprachverständlichkeit grundsätzlich schlecht. Aus diesem Grunde ist entweder der Sprecher gegenüber dem Publikum hochzustellen oder es ist eine ansteigende Publikumsflächen herzustellen, s. d. eine Sichtverbindung zwischen dem Sprecher und den Zuhörern gegeben ist.

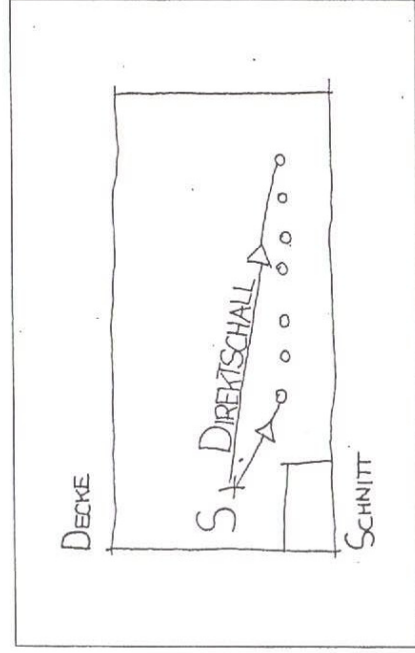


Abb. 87

Der direkte Sichtkontakt zwischen dem Sprecher und den Hörern ist für eine gute Raumakustik dringend erforderlich

### 2.7.5 Lautwerferverstärkung

Schallreflexionen verbessern die Sprachverständlichkeit, wenn die Laufzeitdifferenzen zwischen dem Direktschall und dem reflektierten Schall nicht zu groß werden, bei einer Wegdifferenz von  $< 10$  m. Insbesondere die Decken von Räumen können zur positiven Verstärkung des Schallsignals verwendet werden.

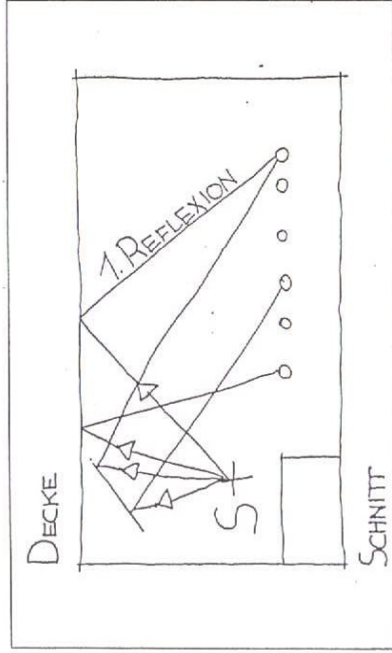


Abb. 88

Zur Unterstützung der Schallübertragung sind 1. Schallreflexionen für größere Räume notwendig

In größeren Räumen sollten mehrere Schallreflektoren so angeordnet werden, daß eine gleichmäßige Beschallung des Publikums gegeben ist - die 1. Reflexionen auf die Publikumsfläche sollten mit dem Abstand zum Sprecher zunehmen.

Es dürfen hierbei jedoch keine konkaven Reflektoren verwendet werden, um den Effekt der Schallfokussierung zu vermeiden. D.h. die einzelnen Schallreflektoren müssen eben sein oder konvex gekrümmt und Mindestmaße von ca. 2 m aufweisen, um auch den tieffrequenten Sprachanteil zu reflektieren.

Mit zunehmendem Abstand zum Sprecher sollten die einzelnen Reflektoren größer werden, damit auch entsprechende Energiemengen reflektiert werden. Reflektoren, die sehr nahe beim Sprecher liegen, können sehr klein sein, sollten aber im praktischen Fall den Wert von 2 m Kantenlänge nicht unterschreiten.

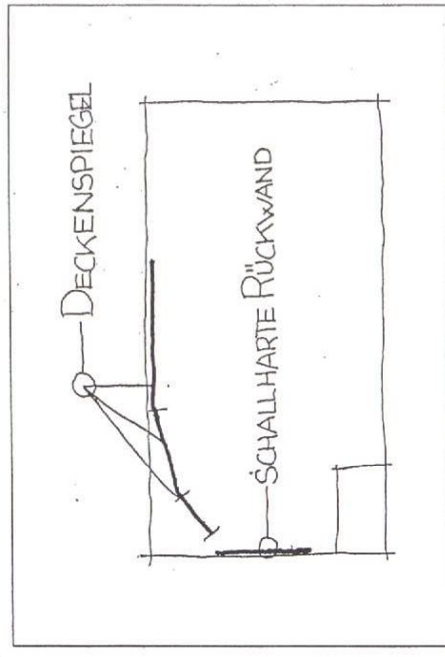


Abb. 89

Beispiel für eine sinnvolle Anordnung von Schall-Reflektoren

### 2.7.6 Großraumschärfe

In großen Räumen, d.h. in Räumen mit Abmessungen über 15 m, kann die Sprachverständlichkeit in bestimmten Bereichen vermindert sein. Die problematischen Zonen befinden sich dabei i.d.R. im Mittelfeld der Publikumsfläche. Typischerweise sind es die Reflexionen über Decke und Rückwand, welche in diesen Bereichen, infolge zu großer Laufzeitdifferenzen zwischen diesem so reflektierten Schallanteil und dem Direktschall, die Sprachverständlichkeit mindern.

Durch schallabsorbierende Maßnahmen an der Rückwand und ggf. im rückwärtigen Deckenbereich kann dieser störende Einfluß beseitigt werden. Kritische Schallreflexionen dieser Art sind insbesondere bei der Anwendung von elektroakustischen Anlagen als besonders ungünstig einzustufen.



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

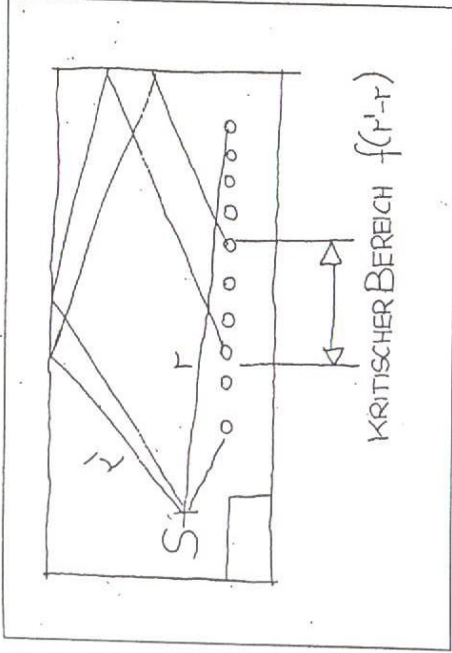


Abb. 90

In Räumen mit Abmessungen über 15 m können die Laufzeitdifferenzen zwischen direktem und reflektiertem Schall zu groß werden, so daß die Sprachverständlichkeit gering wird

### 2.7.7 Flachraumakustik

In niedrigen Räumen ist die Pegelminderung mit der Entfernung von der Schallquelle recht groß. Diese Räume sind grundsätzlich vorteilhaft, wenn eine Pegelminderung, z.B. zwischen Arbeitsplätzen, erwünscht ist. Hierbei kann durch die Verwendung von schallsorbierenden Deckenplatten eine akzeptable Pegelminderung zwischen benachbarten Bereichen hergestellt werden.

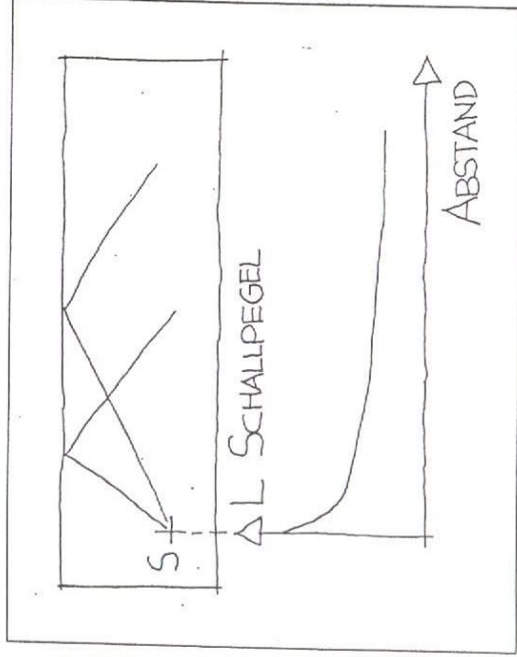


Abb. 91

In Großraumbüros ist eine starke Pegelabnahme mit der Entfernung erwünscht, welche durch Absorptionsmaßnahmen und „Flachraumausbildung“ erzielbar ist

### 2.7.8 Nachhallklima

Aus subjektiven Gründen wird bei einem größeren Raum eine größere Halligkeit gefordert als bei einem kleineren Raum. Die gewünschte Steigerung der Nachhallzeit mit dem Raumvolumen ist offensichtlich an das

physikalisch erklärbare Rechenmodell  $V^{0,25}$  geknüpft. Die Gewohnheit und auch die Tradition beeinflusst offensichtlich die Anforderungen an die Nachhallzeiten von Räumen. Dies ist besonders deutlich erkennbar bei der Darbietung von Orgelmusik, bei der extrem hohe Nachhallzeiten erwünscht sind. Hier ist offensichtlich die Erfahrung aus großen Räumen, welche in früheren Zeiten praktisch keine besonderen Schallsorbiermittel, der Maßstab für die Anforderung geworden.

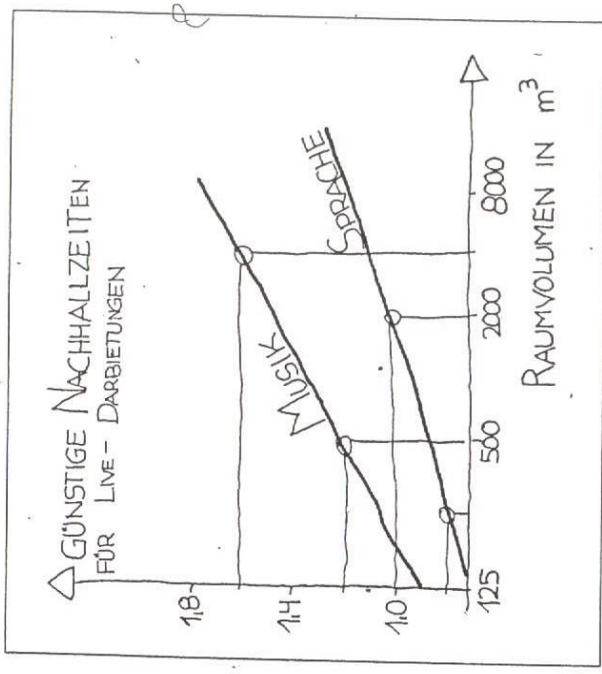


Abb. 92

Günstige Nachhallzeiten, abhängig vom Raumvolumen bei Live-Darbietungen

### 2.7.9 Raumkopplungsproblematik

Sind Räume mit einem Vortragsraum akustisch direkt verbunden (d.h. über Öffnungen), so kann es zu unangenehmen Nachhallerscheinungen kommen, welche auch die Sprachverständlichkeit herabsetzen. Es ist notwendig, daß angekoppelte Räume stärker bedämpft sind als der Vortragsraum.

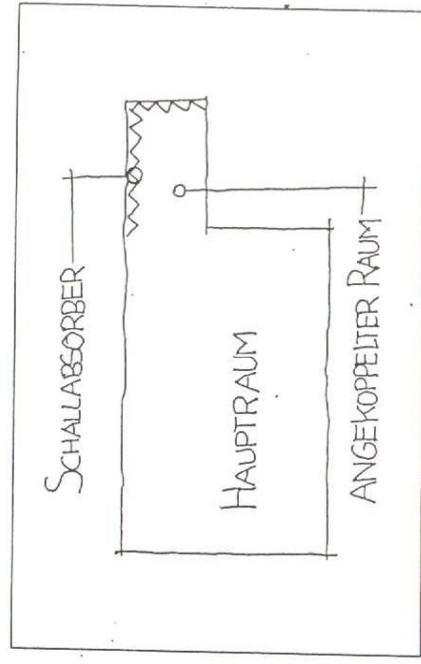


Abb. 93

Angekoppelte Räume müssen stärker bedämpft sein, als der Vortragsraum, um störende Nachhallffekte zu vermeiden



## 2. Bautechnisch relevante bauphysikalische Phänomene

### 2.7.10 Überdeckungstrick

Dort, wo Schallübertragungen aus den Nachbarbereichen in Räumen nicht erwünscht sind, ist es möglich, mit neutral erscheinenden Geräuschquellen, Störgeräusche zu überdecken. Dies geschieht praktisch in Großraumbüros, in welchen künstliche Schallquellen eingerichtet werden, welche breitbandige Geräusche in besonders diffuser Form abstrahlen.

Das diffuse (ungerichtete) Abstrahlen wird dadurch erzielt, daß oberhalb von Abhängedecken eine geschickte Lautsprecheranordnung erfolgt. Mit einem Zimmerspringbrunnen kann ebenfalls der Überdeckungstrick hergestellt werden.

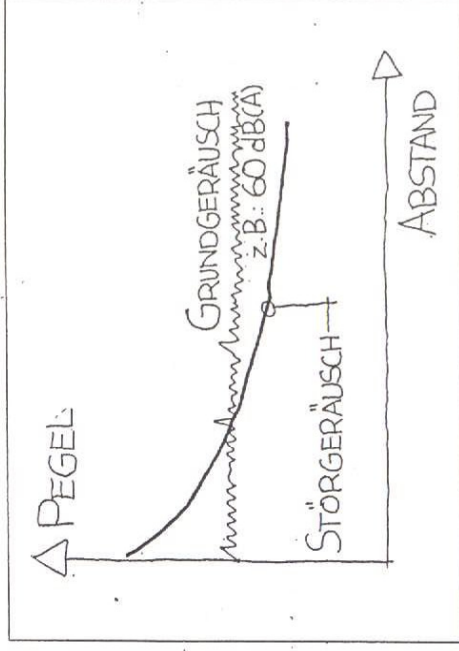


Abb. 94

Geräusche, die im Grundgeräuschpegel versacken, werden unmerkbar



### 3. Vereinfachte Bewertungsmethoden

#### 3.1 Bewertungen zum Wärme- und Feuchteschutz

##### 3.1.1 Wichtige Begriffe, Formelzeichen und Einheiten

a) zur wärmetechnischen Bemessung

Temperatur	$t, T$	$^{\circ}\text{C}, \text{K}$
Raumluft - Temperatur	$t_{i}$	$^{\circ}\text{C}$
Außenluft - Temperatur	$t_{e}$	$^{\circ}\text{C}$
Bauteiloberflächen - Temperatur - innen	$t_{oi}$	$^{\circ}\text{C}$
Temperaturdifferenz	$dt$	$\text{K}$
Wärmeleitfähigkeit	$\lambda$	$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
spezifische Wärmekapazität	$c$	$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
Wärmestromdichte	$q$	$\text{W}/\text{m}^2$
Wärmeübergangswiderstand	$1/\alpha, R_u$	$\text{m}^2 \text{K}/\text{W}$
Wärmedurchlaßwiderstand	$1/\Lambda, R_B$	$\text{m}^2 \text{K}/\text{W}$
Wärmedurchgangswiderstand	$1/k, R_G$	$\text{m}^2 \text{K}/\text{W}$
Wärmewiderstandsverhältnis	$v_o$	-
Wärmedurchgangskoeffizient	$k$	$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
Strahlungs-Absorptionszahl	$a_s$	-
Temperaturleitkoeffizient	$a_T$	$\text{m}^2/\text{h}$
Temperaturamplitudenverhältnis $a_i/a_a$	TAV	-
Phasenverschiebung	$\varphi$	$\text{h}$
Fugendurchlaßkoeffizient	$a_L$	$\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}\cdot\text{daPa}^2\cdot\text{s})$
Gesamtenergiedurchlaßgrad	$g$	-
Abminderungsfaktor von Sonnenschutzvorrichtungen	$z$	-

b) zur feuchtetechnischen Bemessung

Wasserdampfdruck	$p$	$\text{N}/\text{m}^2$
Wasserdampfsättigungsdruck	$p_s$	$\text{N}/\text{m}^2$
Sättigungstemperatur	$t_s$	$^{\circ}\text{C}$
relative Luftfeuchtigkeit	$\varphi, f$	$\%$
massebezogener Feuchtegehalt fester Stoffe	$u_m$	Masse - %
volumenbezogener " "	$u_v$	Vol. - %
Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl	$\mu$	-
Wasserdampf-Diffusionsstromdichte	$i$	$\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$
diffusionsäquivalente Luftschichtdicke	$s_d$	$\text{m}$
flächenbezogene Wassermasse	$W$	$\text{kg}/\text{m}^2$
Wasseraufnahmekoeffizient	$w$	$\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{h}^{1/2})$
Wasserreindringkoeffizient	$b$	$\text{m}/\text{h}$



### 3. Vereinfachte Bewertungsmethoden

#### 3.1.2 Vereinfachte Berechnungs- und Bewertungsmethoden

Für die Beurteilung von Konstruktionen können vereinfachte Betrachtungsweisen angewendet werden, um rasch Probleme sowie die Funktionsfähigkeit der geplanten Lösung erkennen bzw. überprüfen zu können.

Bei den üblicherweise verwendeten Dämmstoffen mit der typischen Wärmeleitfähigkeitsgruppe 040 kann der Wärmedurchlaßwiderstand  $R_B$  in  $m^2k/W$  eines Bauteils, abhängig von der Dämmschichtdicke  $s_{WD}$  in cm, aus folgender Beziehung näherungsweise ermittelt werden:

$$\text{vorh. } R_B > (s_{WD} + z) \cdot 0,25 \quad \text{in } m^2k/W$$

i.a.  $z = 1$ ,  $z = 0$  wenn zusätzlich nur dünne Schichten bzw. nur Schichten aus Normalbeton vorhanden sind, welche den Wärmeschutz kaum verbessern.

Der Wärmedurchgangskoeffizient  $\text{vorh. } k$  in  $W/(m^2K)$  läßt sich bei den o.g. Bedingungen näherungsweise ermitteln aus:

$$\text{vorh. } k < 4 / (s_{WD} + 1) \quad \text{in } W/(m^2K)$$

bei Dämmstoffen zwischen Fichtenholzsparrn u. dgl. ist:

$$\text{vorh. } k_m < 5 / (s_{WD} + 1) \quad \text{in } W/(m^2K)$$

Zur Vermeidung von Oberflächen-Tauwasser ist, abhängig vom Raumklima, folgender Mindestwärmeschutz erforderlich:

Raumklima	erf. effektiver Wärmedurchlaßwiderstand	
allgemein	min. $R_{B,\text{eff}} = v_s \cdot R_{\text{di}}$	in $m^2k/W$
30 °C/80%	min. $R_{B,\text{eff}} = 10,8 \cdot R_{\text{di}}$	in $m^2k/W$
20 °C/50%	min. $R_{B,\text{eff}} = 2,3 \cdot R_{\text{di}}$	in $m^2k/W$
16 °C/65%	min. $R_{B,\text{eff}} = 3,7 \cdot R_{\text{di}}$	in $m^2k/W$
12 °C/70%	min. $R_{B,\text{eff}} = 4,1 \cdot R_{\text{di}}$	in $m^2k/W$
	$v_s = (t_{si} - t_{so}) / (t_i - t_{si})$	

Hiernach ist für normale Raumklimawerte von ca. 20 °C / 50 % rel. Luftfeuchte und  $R_{\text{di}} < 0,2$  ein min.  $R_{B,\text{eff}} = 0,46 m^2k/W$  erforderlich, welches mit einer Dämmschichtdicke von 2 cm erzielbar ist; bei der typischen Wärmeleitfähigkeitsgruppe 040. Im Bereich von Außenwänden sind bei diesen Bedingungen jedoch Außendämmungen mit mind. 5 cm Dicke erforderlich - wegen des hier divergierenden Wärmestromes, vgl. Ziff. 2.3.2.

In Außenbauteile einbindende Wände und Decken sind, bei raumseitiger Wärmedämmschichtanordnung - ohne genauere Untersuchungen - im allgemeinen über eine Breite von mind. 50 cm und bei Normalbetonbauteilen über eine Breite von mind. 100 cm zu dämmen, vgl. Ziff. 2.3.2.

Der Tauwasserschutz auf Bauteiloberflächen - für Wohnungen und dgl. - kann rechnerisch oder auch messtechnisch mit Hilfe folgender Beziehung überprüft werden:

$$v_o = R_{\text{di}} / R_{G} = (t_{Li} - t_{oi}) / (t_{Li} - t_{Lo}) = dt_i / dt_{ges}$$

- $v_o$  sollte  $< 0,3$  sein, damit Oberflächen-Tauwasser bei Normalbedingungen mit hinreichender Sicherheit vermieden wird.
- $R_{\text{di}}$  sollte im Planungsfall generell mit einem Wert von 0,55 angesetzt werden, um einrichtungsbedingte Wärmewiderstände (verursacht durch Vorhänge in Ecken oder Schränke vor Außenwänden) zu berücksichtigen.

### 3. Vereinfachte Bewertungsmethoden

Tauwasser kann durch Diffusionsvorgänge in Außenbauteilen hinter einer Dämmschicht oder vor einer weniger dampfdurchlässigen Schicht (von der wärmeren Seite aus betrachtet) auftreten. Tauwasserbildung infolge dieser Vorgänge ist, nach dem Berechnungsverfahren und den Randbedingungen der DIN 4108 vermeidbar, wenn die diffusionsäquivalenten Luftschichtdicken  $s_{di}$  und  $s_{da}$ , bis zur möglichen Tauwasserene in einem entsprechenden Verhältnis stehen; dieses kann angegeben werden mit:

$$s_{di}/s_{da} > 16$$

Bei  $s_{di}/s_{da} < 16$  liegen nicht grundsätzlich kritische Verhältnisse vor. Nach DIN 4108 ist ein ausreichender Feuchteschutz gegeben, wenn die Tauwassermenge  $W_T < 0,5$  bzw.  $< 1,0 \text{ kg/m}^2$  und die mögliche Verdunstungsmenge  $W_V > W_T$  ist. Ohne genauere Ermittlungen vornehmen zu müssen, können die möglichen Tauwasser- und Verdunstungsmengen aus folgenden Beziehungen ermittelt bzw. abgeschätzt werden:

i. allgemein:  $W_T < 0,87/s_{di}$  in  $\text{kg/m}^2$

für Wände:  $W_V = 0,61 (1/s_{di} + 1/s_{da})$  in  $\text{kg/m}^2$

für Dächer im allgemeinen:  $W_V > W_T$  in  $\text{kg/m}^2$

(für klassische Flachdächer:  $W_V = 1,96 (1/s_{di} + 1/s_{da})$  in  $\text{kg/m}^2$ )

Die zulässige rel. Raumluftfeuchtigkeit kann für beliebige Randbedingungen, für die Bauteilebene, an welcher kein Tauwasser auftreten soll, aus folgenden Beziehungen ermittelt werden - sinnvollerweise mittels eines kleinen Rechnerprogramms:

a)  $t_x$  an der Bauteilebene, an welcher kein Tauwasser auftreten soll ist:

$$t_x = t_w - dt_g \cdot R_w/R_g \quad \text{in } ^\circ\text{C}$$

hierbei ist:

$t_w$ : Temperatur auf der warmen Bauteilseite i. a. die Raumlufttemperatur

$dt_g$ : Gesamt-Temperaturdifferenz

$R_w$ : Wärmewiderstand von der warmen Seite bis zur Bauteilebene an der Stelle x

$R_g$ : Gesamt-Wärmewiderstand, Wärmedurchgangswiderstand

b) Abhängig von der raumseitigen Bauteil-Oberflächentemperatur  $t_x$  und der Raumlufttemperatur  $t_w$  ist die zulässige Raumluftfeuchte zul.f. zur Vermeidung von Tauwasser auf Bauteiloberflächen:

$$\text{zul. } f_x = ((110 + t_x) / (110 + t_w))^8$$

c) Abhängig von der Temperatur  $t_x$  (i. a. hinter einer Dämmschicht von der warmen Seite aus betrachtet), der Raumlufttemperatur  $t_w$  und der Außentemperatur  $t_a$  ist die zulässige Raumluftfeuchte zul.f. zur Vermeidung von Tauwasser in Bauteilen:

$$\text{zul. } f_x = (p_a + ((s_{di} + s_{da}) \cdot (p_s(t_x) - p_a)) / s_{da}) / p_s(t_w)$$

$$p_a = p_s(t_a) \cdot f_a \quad \text{in } \text{N/m}^2$$

$p_s(t)$ : Sättigungsdampfdrücke abhängig von der Temperatur s: DIN 4108, T5, Tab.2

Anstelle der Sättigungsdampfdrücke  $p_s(t)$  und Dampfdrücke  $p$  können in der o.g. Gleichung auch die maximalen Wasserdampfmenngen  $X_s(t)$  und Wasserdampfmenngen  $X$  verwendet werden. Diese können, im Temperaturbereich von  $-30$  °C bis  $+30$  °C, hinreichend genau, aus folgender Beziehung ermittelt werden:

$$X_s = 29,365 (0,701 + t/100)^{5,075} \quad \text{in } \text{g/m}^3$$



### 3. Vereinfachte Bewertungsmethoden

Besitzt eine Konstruktion eine Dampfsperre und ist die Temperatur an dieser Stelle größer als die Sättigungstemperatur der Raumluft (der wärmeren Seite), so ist keine Tauwasserbildung in der Konstruktion zu erwarten - mit dieser Betrachtung ist eine besonders rasche Bewertung im Hinblick auf den Tauwasserschutz möglich.

### 3.2 Bewertungen zur Bauteilverformung und zur Rissebildung

#### 3.2.1 Wichtige Begriffe, Formelzeichen und Einheiten

thermischer Längenausdehnungskoeffizient	$a_t$	m/(m K)
Quell- oder (End-)Schwinddehnung	$e_s$	m/m
Endkriechzahl	$z$	-
Elastizitätsmodul	$E$	N/m <sup>2</sup>
maßgebliche Verformungs-Bauteillänge	$L$	m
Wandhöhe in einem Geschloß	$H$	m

#### 3.2.2 Vereinfachte Berechnungs- und Beurteilungsmethoden

Die horizontale Verformung von Massivdecken kann Rissebildungen in dazwischenliegenden Wänden verursachen. Besonders ungünstig sind die Bedingungen für gering belastete Wände (i.a. Wände unter Dachdecken). Bei diesen Verhältnissen sollte die Temperaturdifferenz  $dt$  zwischen den Beton-Deckenplatten - bei festen Verbindungen zu den Wänden - nicht größer werden als:

$$\text{zul. } dt_D < 33 \cdot H/L - dt_h \quad \text{in K}$$

hierbei ist:

zul.  $dt_D$  : Temperaturdifferenz zwischen zwei Beton-Deckenplatten (Mittelachsen)

$H$  : Wandhöhe im entspr. Geschloß

$L$  : maßgebliche Verformungs-Bauteillänge, in welcher eine Dehnungsrichtung vorliegt

$dt_h$  : äquivalente Temperaturdifferenz für einen hygrysch bedingten Dehnungsanteil oder für einen Dehnungsanteil aus vertikalen Verformungsdifferenzen, dieser kann mit  $dt_h = 7 \text{ K}$  angenommen werden (für  $e_s = 84 \cdot 10^{-6} \text{ m/m}$ )

Die Temperaturdifferenz  $dt_D$  ist zu ermitteln aus:

$$dt_D = t_{mo} - t_{mu} \quad \text{in K}$$

hierbei ist:

$t_{mo}$  : Temperatur in der Mittelachse der oberen Beton-Deckenplatte

$t_{mu}$  : Temperatur in der Mittelachse der unteren Beton-Deckenplatte bzw. in einer Beton-Bodenplatte

Das jeweilige  $t_m$  in der Betondecke ist zu ermitteln aus:

$$t_m = t_w - dt_g \cdot R_w/R_g \quad \text{in } ^\circ\text{C}$$

hierbei ist:

$t_w$  : Temperatur auf der warmen Bauteilseite Luft- bzw. Oberflächentemperatur

$dt_g$  : Gesamtdifferenz

$R_w$  : Wärmewiderstand von der warmen Seite bis zur Betondeckenmittelachse

$R_g$  : Gesamt - Wärmewiderstand

### 3. Vereinfachte Bewertungsmethoden

Die Temperaturen, zur Ermittlung der horizontalen Gebäudeverformungen, können wie folgt angenommen werden:

Situation:	Temperaturen in °C: Sommer	Winter
Flachdach -außen-	$t_o = +50$	$t_L = -12$
Dachraum nicht ausgebaut	$t_L = +45$	$t_L = -12$
Aufenthaltsraum unter leichter Dachkonstruktion	$t_L = +35$	$t_L = +20$
Aufenthaltsraum i.a.	$t_L = +27$	$t_L = +20$
Außenluft unter einer Decke	$t_L = +30$	$t_L = -12$
Garagenraum bei massiver Bauweise	$t_L = +27$	$t_L = -12$
Kellerraum, unbeheizt, unter Aufenthaltsraum	$t_L = +10$	$t_L = +8$
Erdreich unter Aufenthaltsraum	$t_g = +14$	$t_g = +13$
Erdreich unter einer Fußbodenheizung	$t_g = +28$	$t_g = +28$
Erdreich unter unbeheizter Garage o.ä., im EG	$t_g = +10$	$t_g = 0$

Die vertikale Verformung von Massivbauten kann zu Rissebildungen in Wänden führen. Rissebildungen können mit einer gewissen Sicherheit bei folgender maximalen positiven oder negativen Längenänderungsdifferenz  $dh$  vermieden werden:

$$\max. dh = 3 \dots 5 / 1000 \text{ m}$$

Die zu erwartenden einzelnen Dehnungsanteile sind ermittelbar aus:

A) elastische - und plastische Dehnung:

$$\begin{aligned} & 0,05 \cdot H_{ges} \cdot (1 + z)/E - && \text{"de" der Mittelwand minus} \\ & 0,02 \cdot H_{ges} \cdot (1 + z)/E && \text{"de" der Außenwand} \end{aligned}$$

B) hygrische Dehnungsdifferenz:

$$\begin{aligned} & \epsilon_s - && \text{"de" der Mittelwand minus} \\ & \epsilon_s && \text{"de" der Außenwand} \end{aligned}$$

C) thermische Dehnungsdifferenz:

$$dt_w \cdot 10^{-5} \quad \text{"de" zwischen der Mittel- und Außenwand}$$

Aus der Summe der Dehnungsanteile A) ... C) ergibt sich die Gesamt-Dehnungsdifferenz  $de_{ges}$ ; hierbei ist zu berücksichtigen, daß die maximale Gesamtdehnungsdifferenz entscheidend ist, d.h. die jeweils kritische positive oder negative thermische Dehnungsdifferenz muß berücksichtigt werden. Die maximale Längenänderungsdifferenz  $dh$  ergibt sich aus:

$$\max. dh = \max. de_{ges} \cdot H_{ges} \quad \text{in m}$$



### 3. Vereinfachte Bewertungsmethoden

Anmerkung: Hygrische- und plastische Dehnungsanteile wirken nicht kurzfristig. Bei der Betrachtung von horizontalen und vertikalen Verformungen von Gebäuden kann i.d.R. davon ausgegangen werden, daß diese Dehnungsanteile - infolge von Kriechvorgängen - nur geringfügig an Rissebildungen (in diesem Zusammenhang) beteiligt sind.

Damit kurzfristig wirkende thermisch bedingte Verformungen - im Sommer - unkritisch sind, sollte unbedingt folgende Bedingung erfüllt sein:

$$H_{ges} < b \cdot 40 / (dt_w + dt_b) \quad \text{in m}$$

es bedeuten:

- $H_{ges}$  : gesamte Wandhöhe eines Gebäudes in m
- $b$  : Abstand zwischen der Mittel- und der Außenwand in m
- $de$  : positive oder negative Dehnungsdifferenz zwischen der Mittel- und Außenwand eines Gebäudes
- $z$  : Endkriechzahl der Mittel- bzw. Außenwand
- $E$  : Elastizitätsmodul der Mittel- bzw. Außenwand in  $N/m^2$
- $e_s$  : Endschwinddehnung der Mittel- bzw. Außenwand in m/m
- $dt_w$  : Temperaturdifferenz zwischen Mittel- und Außenwand je nach Außenwanddämmung und heller bzw. dunkler Fassade
  - $dt_w = +/- 5 K$  - bei Außendämmung
  - $dt_w = +/- 18 K...23 K$  - ohne Wärmedämmschicht
  - $dt_w = +/- 28 K...38 K$  - bei Innendämmung
- $dt_b$  : Temperaturdifferenz zwischen Beton-Deckenplatten (Mittelachsen), im obersten Geschloß

Baustoffe	Endkriechzahl	Endschwindmaß in $m/m \cdot 10^{-6}$	therm. Längenausdehnungs- koeffizient in $m/m \cdot 10^{-6}$
Mauerziegel	0,75	- 100 + 100	6
Kalksandstein	*)	200	8
Porenbeton-Steine	*)	200	8
Leichtbeton (Steine)	*)	200	10
Leichtbetonsteine aus Naturbims	*)	600	10
Normalbeton - innen	3,0	600	10
Normalbeton - außen	2,0	250	10

\*) siehe nächste Tabelle.

Steinfestigkeitsklasse in $N/mm^2$	Elastizitätsmodul E in $N/mm^2$ MGII / MGIII	Endkriechzahl
2,5	1500	2,5
5	2000 / 2500	2,5
7,5 u. 10	3000 / 4000	2,0
15	5000 / 6000	2,0
25	7000 / 8000	1,5
35	8000 / 10000	1,5

Betonfestigkeitsklasse in $N/mm^2$	Elastizitätsmodul E in $N/mm^2$
B 15	26000
B 25	30000
B 35	34000

3.3 Bewertungen zur Bauakustik

3.3.1 Wichtige Begriffe, Formelzeichen und Einheiten

a) Dämmwerte und Schallpegel

bewertetes Schalldämm-Maß	$R_w$	dB
bewertetes Bau-Schalldämm-Maß	$R'_w$	dB
bewerteter Norm-Trittschallpegel	$L_{n,w}$	dB
äquivalenter bewerteter Norm-Trittschallpegel	$L_{n,w,eq}$	dB
Trittschallschutzmaß (TSM = $63 - L_{n,w}$ )	TSM	dB
Trittschallverbesserungsmaß (VM = $\Delta L_w$ )	$\Delta L_w$	dB

b) Werte für die schalltechnische Bemessung

flächenbezogene Masse	$m'$	kg/m <sup>2</sup>
flächenb. Masse flankierender Bauteile	$m'_L$	kg/m <sup>2</sup>
dynamischer Elastizitätsmodul	$E_{dyn}$	MN/m <sup>2</sup>
Schalabstand	$a$	m
dynamische Steifigkeit $s' = E_{dyn}/a$	$s'$	MN/m <sup>3</sup>
längenbezogener Strömungswiderstand	$X_i$	kN s/m <sup>4</sup>

c) Begriffe bei der frequenzabhängigen Bewertung

Frequenz	$f$	Hz
Oktavband	Okt.	
Terzband	Terz	
Grenzfrequenz	$f_g$	Hz
Eigenfrequenz	$f_o$	Hz

d) Begriffe für die Konstruktionsbewertung

- biegeweiche Schalen  $f_g > 2000$  Hz
- biegesteife Schalen  $f_g < 200$  Hz
- einschalige Bauteile, zweischalige Bauteile
- Wandvorsatzschale, zweischalige Haustrennwand
- Rohdecke, Abhangdecke, schwimmender Estrich, weichfedernder Bodenbelag
- Ausführungsschwächen: Luftdurchlässigkeit, Körperschallbrücken
- Schallnebenwege: Flanken-, Hohlraumübertragung, Resonanzkopplung
- Mindestanforderungen an den Schallschutz nach DIN 4109
- erhöhter Schallschutz nach DIN 4109, Beiblatt 2



### 3. Vereinfachte Bewertungsmethoden

#### 3.3.2 Vereinfachte Berechnungs- und Beurteilungsmethoden

##### A) Rechenwerte für die Luftschalldämmung nach DIN 4109, Beiblatt 1

Der Rechenwert (mit ca. 2 dB Vorhaltenmaß) für das bewertete Schalldämm-Maß  $R_{w,R}$  von einschaligen massiven Bauteilen kann aus folgender Gleichung näherungsweise bestimmt werden:

$$R_{w,R} = 27 \log m' - 17,5 \text{ in dB} \quad \text{gültig bei: } m' > 100 \text{ kg/m}^2 \\ m'_f > 300 \text{ kg/m}^2 \text{ und} \\ \text{Luftdichtigkeit}$$

Bewertete Schalldämm-Maße von Wohnungstrenndecken nach DIN 4109

- bei:
- Normalbeton-Vollplattendecken
  - 10 mm Kalkgipsdeckenputz
  - Zementestrich > 70 kg/m<sup>2</sup>
  - Trittschallverbesserungsmaß VM > 24 dB

mittl. flächenb. Masse der flankierenden Bauteile in kg/m <sup>2</sup>	Dicke der Normalbeton-Vollplattendecke in cm			
	16	18	20	22
100	52	53	54	55
150	53	54	55	56
200	54	55	56	57
250	55	56	57	58
300	56	57	58	59
350	57	58	59	60
400	58	59	60	61 dB

Erforderliche Rohbau-Wanddicken in cm nach DIN 4109, zur Erzielung entsprechender Schalldämm-Maße, für beidseitig verputzte Wände (2·10 kg/m<sup>2</sup>), aus Mauerwerk mit Normalmörtel:

Steinrohddichte in kg/m <sup>3</sup>	47	52	53	55	57
	erf. bewertetes Schalldämm-Maß $R_{w,R}$ in dB				
1200 a)	24	36,5	36,5	-	-
" b)	24	36,5	36,5	-	-
1400 a)	24	30	36,5	-	-
" b)	17,5	30	30	36,5	-
1600 a)	17,5	30	30	36,5	-
" b)	17,5	24	30	36,5	36,5
1800 a)	17,5	24	30	30	-
" b)	17,5	24	24	30	36,5
2000 a)	17,5	24	24	30	-
" b)	17,5	24	24	30	30 cm

### 3. Vereinfachte Bewertungsmethoden

wie vor, jedoch für unverputzte Normalbetonwände (mit abgedichteten Löchern von Schalungspreizhalterungen)

	erf. bewertetes Schalldämm-Maß $R_{w,R}$ in dB				
	47	52	53	55	57
a)	11,8	17,9	19,6	23,1	-
b)	10,9	16,6	17,9	21,3	25,2 cm

Bei einer mittleren flächenbezogenen Masse der flankierenden Bauteile

- von:
- a) ab  $100 \text{ kg/m}^2$
  - b) ab  $250 \text{ kg/m}^2$

#### B) Trittschallschutz nach DIN 4109, Beiblatt 1

Für Wohnungstrenndecken werden nach DIN 4109, abhängig von der Deckenstärke - bei einer Trittschallübertragung von oben nach unten -, folgende max. dynamische Steifigkeiten  $s'$  in  $\text{MN/m}^3$  für Dämmstoffe in schwimmenden Estrichkonstruktionen erforderlich.

- bei:
- Normalbeton-Vollplattendecken
  - 10 mm Kalkgipsdeckenputz
  - Zementestrich  $> 70 \text{ kg/m}^2$

Anforderung an den Trittschallschutz nach DIN 4109	Dicke der Normalbeton-Vollplattendecke in cm		
	16	18	20
Mindestschallschutz	$s' = 40$	50	50
erhöhter Schallschutz nach Beiblatt 2	$s' = 10$	15	20
			30 $\text{MN/m}^3$

#### C) Behandlung von Sonderfällen bei der Ermittlung des Schallschutzes (nicht nach dem Bewertungsverfahren nach DIN 4109, Beiblatt I)

Von luftdichten Bauteilschalen ist das bewertete Schalldämm-Maß  $R_w$  zu ermitteln aus:

$$R_w = 20 \log m' + K(f_f) \quad \text{in dB} \quad K(f_f) \text{ s. Tab. BA I und BA 2}$$

Die Schalldämmung von luftdurchlässigen Flächen  $S_u$  kann unter Berücksichtigung der Trennfläche  $S_T$  ermittelt werden aus:

$$R_u = 10 \log S_T/S_u \quad \text{in dB}$$



### 3. Vereinfachte Bewertungsmethoden

Durch eine zweite Bauteilschale verändert sich das bewertete Schalldämm-Maß  $R_w$  um einen Wert von:

$$dR_w = R_{w,2} + 20 \log(1/s') + K(B) \quad \text{in dB, innerhalb der Grenzen } dR_w = -3 \text{ dB bis } dR_w = R_{w,2} - 3 \text{ dB bei } s' > 1 \text{ MN/m}^3$$

$R_{w,2}$ : bewertetes Schalldämm-Maß der zweiten Bauteilschale

$$K(B) = -3 \dots -15 \text{ dB, vgl. Tab. BA 3}$$

Körperschallbrücken haben bei zweischaligen Wänden, mit einer oder zwei leichten biegeweichen Wandschalen, typischerweise nur einen geringen Einfluß auf die Schalldämmung. Während bei Trennwänden dieser Art akustisch starr wirkende Verbindungen aus konstruktiven Gründen nicht so leicht auftreten, führen Deckenabhängiger ohne elastische Zwischenlagen bei abgehängten Decken jedoch zu schalltechnisch starr wirkenden Verbindungen (infolge der Lasteinwirkungen).

Der Einfluß von Körperschallbrücken ist bei zwei massiven Schalen (nicht biegeweiche Schalen) wesentlich größer als bei zweischaligen Bauteilen mit biegeweichen Schalen, so daß durch eine massive Vorsatzschale ohne entsprechende Trennungen zu flankierenden Bauteilen (Wände und Decken, welche massive Schalen verbinden) praktisch keine Verbesserung der Schalldämmung erzielt werden kann (vgl. Ziff. 2.6.11).

Messungen zeigen, daß die Schalldämmung durch Körperschallbrücken im Grenzfrequenzbereich der jeweils leichteren Schale entsprechend gemindert wird.

Der Einfluß von punktförmigen Körperschallbrücken ist wie folgt einzuschätzen:

a) bei besonders starren Verbindungen im mittleren Bereich des trennenden Bauteils

$$dR_w = -10 \log(1200 \cdot n / f_{g1}) \quad \text{in dB} \quad \text{bei } f_{g1} < 1200 \cdot n$$

b) bei relativ weichen Verbindungen (z.B. Luftschichtanker, Nägel) oder starre Verbindungen im Randbereich des trennenden Bauteils (z.B. im Bereich der Decken)

$$dR_w = -10 \log(20 \cdot n / f_{g1}) \quad \text{in dB} \quad \text{bei } f_{g1} < 20 \cdot n$$

n: Anzahl punktförmiger Körperschallbrücken

n ca. 100 / m für durchgehende Betondecken oder massive Wände

$f_{g1}$ : Grenzfrequenz der leichteren Schale

Flankierende Bauteile, welche nicht durch Mauerwerksverzahnungen oder ähnlich feste Verbindungen an trennende Bauteile anschließen, haben ein bewertetes Schalldämm-Maß von:

$$R_{L,w} > 50 \text{ dB} \quad \text{bei } m'_L < 25 \text{ kg/m}^2$$

$$R_{L,w} = R_w(\text{FB}) + 2 \text{ dB} \quad \text{bei } m'_L = 80 \dots 300 \text{ kg/m}^2 \text{ oder aus}$$

$$R_{L,w} = 20 \log m'_L + K(f_{gL}) + 2 \quad \text{bei } m'_L = 80 \dots 300 \text{ kg/m}^2$$

$$R_{L,w} > 59 \text{ dB} \quad \text{bei } m'_L > 400 \text{ kg/m}^2 \text{ oder aus}$$

$$R_{L,w} = 20 \log m'_L + K(f_{gL}) + 4 \quad \text{bei } m'_L > 400 \text{ kg/m}^2$$

$R_w(\text{FB})$ : bewertetes Schalldämm-Maß des flankierenden Bauteils  
 $m'_L$ : flächenbezogene Masse des flankierenden Bauteils

K( $f_{gL}$ ): vgl. Tab. BA 2 für das flankierende Bauteil

### 3. Vereinfachte Bewertungsmethoden

Flankierende Bauteile, welche mit Mauerwerkverzahnungen an trennende Bauteile anschließen, haben ein bewertetes Schalldämm-Maß von:

$$R_{L,w} = R_w(\text{FB}) + 20 \log m'_t/m'_L + 9 \quad \text{bei } m'_L = 50 \dots 300 \text{ kg/m}^2 \text{ oder aus}$$

$$R_{L,w} = 20 \log m'_t + K(\text{fg}_L) + 7 \quad \text{bei } m'_L = 50 \dots 300 \text{ kg/m}^2$$

$$R_{L,w} > 67 + 20 \log m'_t/m'_L \quad \text{bei } m'_L > 400 \text{ kg/m}^2 \text{ oder aus}$$

$$R_{L,w} = 20 \log m'_t + K(\text{fg}_L) + 9 \quad \text{bei } m'_L > 400 \text{ kg/m}^2$$

$R_w(\text{FB})$ : bewertetes Schalldämm-Maß des flankierenden Bauteils  
 $m'_t$ : flächenbezogene Masse des trennenden Bauteils  
 $m'_L$ : flächenbezogene Masse des flankierenden Bauteils  
 $K(\text{fg}_L)$ : vgl. Tab. BA 2 für das flankierende Bauteil  
bei Kreuz-Verbindungen sind um 3 dB höhere Dämm-Maße zu erwarten

Wird hierbei eine leichte Zusatzschale vor einem massiven trennenden Bauteil angebracht, so ist der Nebenweg über die flankierenden Bauteile und dem massiven trennenden Bauteil zusätzlich zu berücksichtigen:

$$R_{v,w} = 51 \text{ dB} \quad \text{bei } m'_2 < 150 \text{ kg/m}^2$$

$$R_{v,w} = R_w(\text{TB}) + 8 \text{ dB} \quad \text{bei } m'_2 > 180 \text{ kg/m}^2$$

$R_w(\text{TB})$ : bewertetes Schalldämm-Maß der massiven trennenden Bauteilschale  
 $m'_2$ : flächenbezogene Masse des massiven trennenden Bauteilschale

Anmerkungen: Die schallabstrahlende Fläche ist i. d. R. mit der Trennwandfläche anzunehmen.  
Ist die massive trennende Bauteilschale nicht mit den flankierenden Bauteilen verzahnt, so wird der hier beschriebene Schallnebenweg entsprechend unterdrückt.

Bei zweischaligen Bauteilen aus massiven Schalen (nicht biegeweiche Schalen) wird ein zusätzlicher Schallnebenweg über die Trennwandschalen und die flankierenden Bauteile (oder Körperschallbrücken) dominant wirksam, vgl. Ziff. 2.6.11.

Die Schalldämmung dieses Schallnebenweges kann vereinfacht (jeweils über ein flankierendes Bauteil gerechnet), abhängig von der gesamten flächenbezogenen Masse der zweischaligen Trennwand  $m'_g = m'_1 + m'_2$ , angenommen werden mit:

$$R_{v,w} = 51 \text{ dB} \quad \text{bei } m'_g = m'_1 + m'_2 < 250 \text{ kg/m}^2$$

$$R_{L,w} = 51 + (m'_g - 250)/50 \quad \text{bei } m'_g = m'_1 + m'_2 > 250 \text{ kg/m}^2$$

Bei flankierenden Bauteilen, welche unmittelbar auf dem gewachsenen Boden liegen (Fundamente) sind um 14 dB höhere Schalldämm-Werte (+5 dB pro weiterer Kontaktstelle „Decke und Wand“) anzunehmen.

Über nicht abgeschottete Abhangdecken, Flurtüren u.ä. ist ein bewertetes Schalldämm-Maß zu erwarten von:

$$R_{N,w} = R_{w,1}^* + R_{w,2}^* + K(A) \quad \text{in dB} \quad K(A) \text{ s. Tab. BA 4}$$

$R_{w,i}^*$ : bewertetes Schalldämm-Maß der Abhang-Deckenplatten, der Flurtüren u.ä.

Bauteilschalen vor flankierenden Bauteilen - bei etwa gleich großen Flächen in den Nachbarräumen - haben ein bewertetes Schalldämm-Maß  $R_{R,w}$  von (abhängig von  $s'/m'_1$ ):



### 3. Vereinfachte Bewertungsmethoden

$s'/m_1$	$f_0$ in Hz	$R_{R,w}$ in dB
0,15	60	73
0,25	80	63
0,5	110	60
1,0	160	57
4,0	320	48
15	620	48

Ist nur in einem benachbarten Raum eine Vorsatzschale vorhanden, so kann der Einfluß hierdurch aus folgender Gleichung ermittelt werden - zusätzlich ist das bewertete Schalldämm-Maß des dahinterliegenden flankierenden Bauteiles zu berücksichtigen:

$$dR_w = R_{w,1} + 20 \log(1/s') + K(B) \quad \text{in dB, innerhalb der Grenzen } dR_w = -3 \text{ dB bis } dR_w = R_{w,1} - 3 \text{ dB}$$

bei  $s' > 1 \text{ MN/m}^3$

$R_{w,1}$ : bewertetes Schalldämm-Maß der Vorsatzschale, mit der flächenbezogenen Masse  $m_1$   
 $K(B)$ : vgl. Tab. BA 3

Für Gipskartonplatten o.ä. ist:  $dR_w$  ca.  $20 \log m_1 / s'$  in dB oder aus  $f_0$ :  $dR_w$  ca.  $40 \log 160/f_0$  in dB

Die Eigenfrequenz  $f_0$  in Hz, verursacht durch leichte Vorsatzschalen, kann folgender Tabelle entnommen werden:

Schalenabstand in mm	5	10	20	40	80	160
Vorsatzschalen mit						
$m_1 = 10 \text{ kg/m}^2$		280	200	140	100	70
$m_1 = 20 \text{ kg/m}^2$		200	140	100	70	50
						35 Hz

Die Schalldämm-Maße über den jeweiligen Übertragungsweg sind (jeweils) auf die Trennfläche zu beziehen (durch die Korrektur  $+ 10 \log S_i/S_j$ ) und nach folgender Rechenmethode ist - (jeweils) aus zwei Schalldämm-Maßen  $R_1$  und  $R_2$  - das resultierende Schalldämm-Maß zu ermitteln:

$$R_{\text{res}} = \min(R_1/R_2) - K(dR) \quad \text{in dB} \quad K(dR) = 10 \log(1 + 10^{-0,1 \cdot dR})$$

dR in dB	0...1	2...4	5...9	> 10
K(dR) in dB	3	2	1	0

Der äquivalente bewertete Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w,eq}$  von Rohdecken kann aus folgenden Gleichungen näherungsweise abgeschätzt werden:

$$L_{n,w,eq} \text{ ca. } 157 - 33 \log m' \quad \text{für Normalbetonvolldecken}$$

oder aus:

$$L_{n,w,eq} \text{ ca. } 126 - R_w \quad \text{für Normalbetonvolldecken}$$

$$L_{n,w,eq} \text{ ca. } 57 \text{ dB} \quad \text{für Betonplatten auf Erdbreich bei horizontaler Übertragung in Nachbarräume}$$

$$L_{n,w,eq} \text{ ca. } 175 - 39 \log m' \quad \text{für Hohlkörperdecken}$$

### 3. Vereinfachte Bewertungsmethoden

Das Trittschallverbesserungsmaß VM von Deckenauflagen kann aus folgenden Gleichungen näherungsweise abgeschätzt werden:

a) für Massivdecken mit schwimmenden Estrichen

$$VM_M \text{ ca. } 17,5 \log m' / s' + 20 \quad \text{in dB, bei } s' < 50 \text{ MN/m}^3$$

$m'$ : flächenbezogene Masse der Estrichplatte

oder bei bekannten  $f_0$  aus:

$$VM_M \text{ ca. } 33 \log 1/f_0 + 92 \quad \text{in dB, bei } f_0 < 130 \text{ Hz}$$

Die Eigenfrequenz  $f_0$  von zweischaligen Bauteilen ist zu ermitteln aus:

$$f_0 = 160 (s' (1/m'_1 + 1/m'_2))^{0,5} \quad \text{in Hz}$$

Zur Berücksichtigung von zusätzlichen weichfedernden Bodenbelägen kann  $s'$  ermittelt werden aus:

$$s' = \frac{1}{1/s'_E + 1/s'_T + 1/212}$$

$s'_E$ : dyn. Steifigkeit der Dämmschicht unter der Estrichplatte

$s'_T$ : äquivalente dyn. Steifigkeit eines weichfedernden Bodenbelages

b) für Holzbalkendecken mit schwimmenden Estrichen

$$VM_H \text{ ca. } 17,5 \log m' / s' + 4 \quad \text{in dB}$$

$s'$  ist zu ermitteln aus:

$$s' = \frac{1}{1/s'_E + 1/s'_T + 1/47}$$

Das Trittschallverbesserungsmaß VM von Teppichbelägen ist bei den üblichen Teppichdicken (5... 8 mm) im Bereich von  $VM = 20...30 \text{ dB}$  zu erwarten.

Für Teppiche kann eine äquivalente dynamische Steifigkeit  $s'_T$  bei der Anordnung von Trockenestrichen, wie folgt angegeben werden:

VM des Teppichs	15	20	25	30 dB
$s'_T$ in $\text{MN} / \text{m}^3$	50	30	8	4



### 3. Vereinfachte Bewertungsmethoden

Der bewertete Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$  von Rohdecken mit Deckenauflagen kann nach folgenden Gleichungen näherungsweise abgeschätzt werden:

a) für Massivdecken

$$L_{n,w} \approx L_{n,w,eq}(\text{Rohdecke}) - VM_M$$

- 5 dB je Kontaktstelle „Rohdecke und Wand“ für Empfangsorte, welche nicht unmittelbar unter dem Senderraum liegen

$$L_{n,w} \text{ ca. } L_{n,w,eq}(\text{Rohdecke}) - VM_1(\text{Teppichunterlage}) - VM_2(\text{Teppich}) + 16 \text{ dB}$$

b) für Holz balkendecken

$$L_{n,w} \approx L_{n,w,eq}(\text{Rohdecke}) - VM_H$$

zusätzlich hat eine Massenerhöhung auf der Oberschale der Holz-Rohdecken einen Einfluß, von:

- 13 dB / Massenverdopplung der Rohdecke, d.h.

- 1 dB je 5,5 % Massenzuwachs (flächenbezogen)

bei einer Massenerhöhung zwischen den Holzbalken ist ein Einfluß zu erwarten von:

- 7 dB / Massenverdopplung der Rohdecke, d.h.

- 1 dB je 10,5 % Massenzuwachs (flächenbezogen)

Holz-Rohdecke	$L_{n,w,eq}$ in dB
a) nur 16 mm Spanplatten auf den Holzbalken	82
b) wie a), jedoch mit 12,5 mm Gipskartonunterschale und bedämpfitem Hohlraum	69
c) wie b), jedoch Gipskartonunterschale an Federbügel- oder -schienen	62
d) wie c), jedoch 2 Lagen Gipskarton auf der Deckenunterseite	60
e) Holzbalkendecken nach alter Bauart mit Füllung	66

Für Holz-Rohdecken mit Unterschalen kann, abhängig vom bewerteten Schalldämm-Maß  $R_w$ , der bewertete Norm-Trittschallpegel ermittelt werden aus:

$$L_{n,w,eq} \approx 118 - R_w$$

### 3. Vereinfachte Bewertungsmethoden

Tab. BA 1: Bezug-Grenzfrequenz  $f_{gB}$  und dynamischer Elastizitätsmodul  $E_{dyn}$

Baustoff	$f_{gB}$ Hz · m	$E_{dyn}$ MN/m <sup>2</sup>
Glas/Stahl/Aluminium/Fichtenholz	12	
Normalbeton/Zementestrich	17	
Faserzementplatten/Sperrholzplatten	20	
Spanplatten/Mauerwerk aus Ziegel, KS u. dgl.	25	
Gips/Gipskartonplatten/Leichtbeton/Plexiglas	30	
Putz auf Putzträger (Metalle o. HWL-Platten)	38	
Porenbeton/Holz-Weichfaserplatten	45	
Blei	50	
<b>bei leichten Vorsatzschalen</b>		
Luftschicht o. mit Faserdämmstoff		0,14
Kork eingeklebt		21
HWL-Platten anbetoniert u. verputzt		60
<b>zwischen schweren Schalen (Haustrennwände)</b>		
Luftschicht bei glatten Baustoffen		0,75
Luftschicht bei porösen Baustoffen		0,45
Mineralfaser lose eingelegt		0,17
Mineralfaser fest verbunden		0,20
PS-Hartschaumplatten lose eingelegt		0,80
PS-Hartschaumplatten fest verbunden		2,00
<b>bei schwimmenden Estrichen</b>		
Rockwool RT		0,15
Isover 73 T		0,15
Isover Trockenestrichplatten T		0,20
Basalan		0,20
PE-Schaum		0,25
Unimat 251 T		0,30
PS-Hartschaumplatten		0,8...2,00
Korkplatten		6,60
Korkschüttung		1,80
Blähgimmerschüttung		2,60
Sandschüttung		7,80
PS-Extruderschaum		30,0
Holzwohle-Leichtbauplatten		5,20



### 3. Vereinfachte Bewertungsmethoden

Tab. BA 2: Dämmwertkorrektur K ( $f_g$ )

Grenzfrequenz $f_g$ in Hz	K ( $f_g$ ) in dB	Grenzfrequenz in Hz	K ( $f_g$ ) in dB
50	+ 8	500	- 4
63	+ 7	630	- 2
80	+ 6	800	0
100	+ 4	1000	+ 1
125	+ 2	1250	+ 3
160	0	1600	+ 5
200	- 1	2000	+ 7
250	- 2	2500	+ 8
315	- 3	3150	+10
400	- 5	>4000	+12

Tab. BA 3: Einfluß der Hohlraumbedämpfung auf die Luftschalldämmung bei zweischaligen Bauteilen K(B)

Hohlraumbedämpfung	K(B) in dB
unbedämpft	- 15 (...-20)
mäßig bedämpft	- 10
stark bedämpft auch bei Doppelverglasung	- 7
schwere zweischalige Haustrennwand bedämpft oder unbedämpft	- 7
Verbundsysteme mit luftdichten Dämmschichten wie PS-Schaum o.ä.	- 3 .....- 7

Tab. BA 4: Einfluß der Raumabsorption und Zusatzdämmung auf die Luftschallübertragung K (A) bei Nebenwegen über Abhangdecken, Flure und Türen o.ä.

Deckenhohlraum mit Mineralfaserdämmstoff vollflächig	Flure u.ä	K(A) in dB
0 mm		- 17
20 mm		- 11
30 mm		- 8
40 mm		- 6
50 mm		- 3
80 mm		+ 5
100 mm		+ 10
	unbedämpft bedämpft	0 *) + 5 + 1,5 dB/m (Tür-) Abstand *) *) bezogen auf 10 m <sup>2</sup>

3.4 Bewertungen zur Raumakustik

3.4.1 Wichtige Begriffe, Formelzeichen und Einheiten

Nachhallzeit	T	s
Schallabsorptionsgrad	$a_s$	-
Raumvolumen	V	m <sup>3</sup>
Fläche	S	m <sup>2</sup>
Schallabsorptionsfläche	A	m <sup>2</sup>
Hallradius $r_H = 0,141 \cdot A^{1/2}$	$r_H$	m
Weglänge des Direktschalles	r	m
Weglänge des reflektierten Schalles	r'	m

3.4.2 Vereinfachte Berechnungs- und Beurteilungsmethoden

Die rechnerische Ermittlung der Nachhallzeit erfolgt nach der Beziehung:  
 $T = 0,163 V/A$   
 in s, bei  $a_{s,m} < 0,5$

hierbei ist:

$A = S \cdot a_s$  in m<sup>2</sup>

Abhängig von der Frequenz f ergibt sich:

$T(f) = 0,163 V/A(f)$  in s

Die Absorptionsfläche in einem leeren unausgestatteten Raum ergibt sich näherungsweise nach der Gleichung:  
 $A_0 = 0,45 V^{2/3}$  in m<sup>2</sup>

Die Nachhallzeit verändert sich durch Schallabsorber wie folgt:

$T = 0,163 V / (0,163 V/T_0 + a_s \cdot S)$  in s

Die erforderliche Absorptionsfläche A für den Frequenzbereich oberhalb von 500 Hz kann ermittelt werden aus:  
 $erf.A = 0,163 V/T_{op} - 0,45 (V^{2/3} + n_{Pers})$  in m<sup>2</sup>

hierbei ist:

$T_{op}$ : optimale Nachhallzeit in s

$n_{Pers}$ : Anzahl der Personen, i.a. sollte mit 80 % der max. Raumbesetzung gerechnet werden

Zur Absorption der tiefen Frequenzen sind Platten-, Loch- oder Schlitzabsorber notwendig. Diese können ggf. durch „Sowiesomaßnahmen“ wie Möblierung, Diffusoren und Akustikdecken installiert werden.

Zur Vermeidung störender Schallreflexionen muß die Schallabsorption an den jeweiligen reflektierenden Flächen folgende Bedingung erfüllen - vgl. 2.7.6; abhängig von der Weglänge des Direktschalles r und der Weglänge des reflektierten Schalles r' z.B. über Decke und Rückwand, ist der Schallabsorptionsgrad  $a_s$  in %, an den hier reflektierenden Flächen (in der Summe), mindestens wie folgt zu wählen:

r'	r	8	10	12	14	16	18	20	24	28	32
26	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-
28	0	0	3	0	0	0	0	-	-	-	-
30	0	0	12	18	12	0	0	0	-	-	-
32	0	2	20	26	29	21	0	0	0	-	-
36	0	8	29	37	43	43	42	10	0	-	-
40	0	17	35	42	50	53	55	51	19	0	-
50	0	30	43	55	61	66	67	69	70	66	-
60	0	28	48	59	68	72	74	78	79	80	-
80	0	0	30	48	60	69	75	81	85	87%	-



### 3. Vereinfachte Bewertungsmethoden

#### 3.5 Bewertungen zum Schallimmissionsschutz

##### 3.5.1 Wichtige Begriffe, Formelzeichen und Einheiten

Schall-Leistungspegel	$L_w$	dB(A)
Raumschallpegel	$L_r$	dB(A)
bewertetes Schalldämm-Maß	$R_w$	dB
Pegelminderung durch Abschirmung	$D_z$	dB(A)
schallabstrahlende Fläche	$S$	m <sup>2</sup>
Entfernung von der Schallquelle	$s$	m
Einwirkzeit	$t_i$	h
Beurteilungszeitraum	$T_B$	h
Beurteilungspegel	$L_r$	dB(A)

##### 3.5.2 Vereinfachte Berechnungs- und Beurteilungsmethoden

Erforderliche Abstände von Straßenachsen in m, bei zulässigen Fahrgeschwindigkeiten von 50 km/h, zur Erzielung zulässiger Immissionspegel - bei relativ ungünstigen Randbedingungen:

M = Kfz pro Std	zulässige Immissionspegel in dB(A)			55	60	65
	35	40	45			
6	275	120	52	23		
12	450	195	85	37	16	
25	760	330	150	63	28	12
50	1250	550	240	105	45	20
100	2050	900	390	170	75	33
200	3400	1500	650	280	125	54
400	5600	2400	1100	470	200	90
800	9200	4000	1750	770	340	145
1000		4700	2050	900	390	170
1500					520	230
2000					650	280
3000					870	380
						165 m

(ermittelt aus:  $L_r = 10 \lg(M + M(0,82) + 39 + 13,9 \lg 25/s)$ )

( $L_{r,typ} = 50 \text{ dB(A)} \pm 5 \text{ dB(A)}$ , bei  $M = 50 \text{ Kfz/h}$  und  $s = 50 \text{ m}$ )

Erforderliche Abstände in m von „fahrenden“ Pkw's und Lkw's, welche sich auf fremden (gewerblichen) Grundstücken bewegen, bei normalen Randbedingungen:

a) Erforderliche Abstände in m, nach dem Spitzenpegelkriterium, unabhängig von der Einwirkzeit, abhängig vom zulässigen Immissionsspitzenpegel, bei normalen Schallreflexionseinflüssen:

Kfz Art	zul. Immissionsspitzenpegel in dB(A)		(t a g s)	typischer max. Schall- Leistungspegel
	(n a c h t s)	(WA) (WR) (MI)		
	55	60	80	85
	60	65	85	90
	(WA) (WR) (MI)	(WA) (WR) (MI)	(WA) (WR) (MI)	(WA) (WR) (MI)
Pkw	57	32	3	1,5
Lkw	179	100	10	6
			3	0,8
			10	3 m
				98 dB(A)
				108 dB(A)

(ermittelt aus:  $\text{erf. } s = 0,4 \cdot 10^{\frac{dL/20}{10}}$ )

normale Randbedingungen sind hier : Schallabstrahlung in den Halbraum, freie Schallausbreitung mit den typischerweise zu erwartenden Schallreflexionen

### 3. Vereinfachte Bewertungsmethoden

b) Erforderliche Abstände in m, nach dem Mittelungspegelkriterium, abhängig von der Einwirkzeit und dem zulässigen Immissionsmittelungspegel, bezogen auf eine Nachtstunde bzw. auf 16 Stunden am Tag:

$t_{E,A}$ Einwirk- zeit +)	zul. Immissionsmittelungspegel in dB(A)			(t a g s)			
	30 (n a c h t s)	35 (WR)	40 (WA)	45 (MI)	50 (WR)	55 (WA)	60 dB (A) (MI)
8 s	39	25	16	10	2	1	1
16 s	51	33	21	14	3	2	1
30 s	65	42	27	17	4	2	2
1 Min.	85	55	35	23	5	3	2
2 Min.	111	72	46	30	7	4	3
4 Min.	146	93	60	39	9	5	4
8 Min.	190	122	78	50	11	7	5
16 Min.	248	159	102	66	15	9	6
30 Min.	316	203	130	84	19	12	8
1 h	412	265	170	109 m	24	16	10
2 h					32	20	13
4 h					41	26	17
8 h					54	35	22
16 h					70	45	29
20 h					76	49	32
28 h					87	56	36 m

dieser Tabelle liegen folgende Randbedingungen zugrunde:

- $L_w = 95$  dB (A),
- Schallabstrahlung in den 1/4 Raum,
- $L_{EB} = 98$  dB (A)

+ Die Einwirkzeit ist zu ermitteln aus:

$$t_{E,A} = \text{Summe } (n_{PKW} \cdot t_i \cdot f_R + n_{Lkw} \cdot 10 \cdot t_i \cdot f_R)$$

hierbei ist:

$n$  : Anzahl der Pkw oder Lkw

$t_i$  : jeweilige Einwirkzeit

$f_R$  : Faktor für Ruhezeiten,  $f_R = 4$  bei einem Ruhezeitenzuschlag von 6 dB(A), i.a. ist  $f_R = 1$

Für beliebige Schallquellen ist:

$$t_{E,A} = \text{Summe } (f_{95} \cdot t_i \cdot f_R)$$

$f_{95}$ : Korrekturfaktor, zum Bezug auf einen Schall-Leistungspegel von 95 dB(A)

$L_w$ in dB(A)	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
$f_{95}$	0,01	0,032	0,10	0,316	1	3,16	10	32	100	320



### 3. Vereinfachte Bewertungsmethoden

Der passive Schallschutz für Aufenthaltsräume wird durch die Norm „DIN 4109“ geregelt; abhängig vom zu erwartenden „Maßgeblichen Außenlärmpegel  $L_M$ “ vor Außenbauteilen von Aufenthaltsräumen und von der Raumnutzung (Wohn- u.ä., Büro- oder Krankenbettenräumen) werden entsprechende Anforderungen gestellt. Für Wohn- und Unterrichtsräume wird ein Schallschutz erf.  $R_{res}$  gefordert von:

$$\text{erf.}R_{res} = L_M - 30 + 10 \log (S_{W+F}/S_G \cdot 1,25) = L_M - 29 + 10 \log S_{W+F}/S_G$$

$L_M$ : „Maßgeblichen Außenlärmpegel“, dieser ist hier in Stufen von  $< 60/ < 65/ < 70/ < 75/ < 80$  dB (A) anzunehmen, d.h. aufzurunden.

Für Krankenbettenräume werden um 5 dB höhere und für Büroräume werden ab  $L_M < 65$  dB (A) um 5 dB niedrigere Dämmwerte nach der o.g. Norm gefordert.

Der folgenden Tabelle ist die zulässige maximale Differenz  $R_{WA} - R_F$  zu entnehmen (ermittelt aus:  $\max R_{wa} - R_F = 10 \log (10 \exp (R_w - \text{erf.} R_{res}) / 10) - 1/f + 1$ ):

f	$dR_w = R_{wa} - \text{erf.} R_{res}$														dB																																																			
in %	2	4	6	8	10	12	16	20	24	26	30	34	38	42	46	50	54	58	62	66	70	74	78	82	86	90	94	98	102	106	110	114	118	122	126	130	134	138	142	146	150	154	158	162	166	170	174	178	182	186	190	194	198	202	206	210	214	218	222	226	230	234	238	242	246	250
10	8	12	15	17	20	22	26	30	34	38	42	46	50	54	58	62	66	70	74	78	82	86	90	94	98	102	106	110	114	118	122	126	130	134	138	142	146	150	154	158	162	166	170	174	178	182	186	190	194	198	202	206	210	214	218	222	226	230	234	238	242	246	250			
15	7	10	13	16	18	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100	104	108	112	116	120	124	128	132	136	140	144	148	152	156	160	164	168	172	176	180	184	188	192	196	200	204	208	212	216	220	224	228	232	236	240	244	248	252		
20	6	9	12	14	17	19	23	27	31	35	39	43	47	51	55	59	63	67	71	75	79	83	87	91	95	99	103	107	111	115	119	123	127	131	135	139	143	147	151	155	159	163	167	171	175	179	183	187	191	195	199	203	207	211	215	219	223	227	231	235	239	243	247	251		
25	5	8	11	13	16	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	58	62	66	70	74	78	82	86	90	94	98	102	106	110	114	118	122	126	130	134	138	142	146	150	154	158	162	166	170	174	178	182	186	190	194	198	202	206	210	214	218	222	226	230	234	238	242	246	250		
30	5	8	10	13	15	17	21	25	29	33	37	41	45	49	53	57	61	65	69	73	77	81	85	89	93	97	101	105	109	113	117	121	125	129	133	137	141	145	149	153	157	161	165	169	173	177	181	185	189	193	197	201	205	209	213	217	221	225	229	233	237	241	245	249	253	
40	4	7	9	12	14	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100	104	108	112	116	120	124	128	132	136	140	144	148	152	156	160	164	168	172	176	180	184	188	192	196	200	204	208	212	216	220	224	228	232	236	240	244	248	252	
50	3	6	8	11	13	15	19	23	27	31	35	39	43	47	51	55	59	63	67	71	75	79	83	87	91	95	99	103	107	111	115	119	123	127	131	135	139	143	147	151	155	159	163	167	171	175	179	183	187	191	195	199	203	207	211	215	219	223	227	231	235	239	243	247	251	
60	3	5	8	10	12	14	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	58	62	66	70	74	78	82	86	90	94	98	102	106	110	114	118	122	126	130	134	138	142	146	150	154	158	162	166	170	174	178	182	186	190	194	198	202	206	210	214	218	222	226	230	234	238	242	246	250	
80	2	5	7	9	11	13	17	21	25	29	33	37	41	45	49	53	57	61	65	69	73	77	81	85	89	93	97	101	105	109	113	117	121	125	129	133	137	141	145	149	153	157	161	165	169	173	177	181	185	189	193	197	201	205	209	213	217	221	225	229	233	237	241	245	249	253

es bedeuten:

erf.  $R_{res}$ : erforderliches resultierendes Schalldämm-Maß der Außenbauteile

$R_{wa}$ : Schalldämm-Maß der Außenwand

$R_F$ : Schalldämm-Maß des Fensters

$S_F$ : Fensterfläche in  $m^2$

$S_{W+F}$ : Wand- und Fensterfläche in  $m^2$

$S_G$ : Raum-Grundfläche in  $m^2$

f: Fensterflächenanteil  $S_F/S_{W+F}$

Bei Geräuschen von Einzelschallquellen, durch die Schallabstrahlung von Bauteilen (Hallen) oder von anderen Flächenschallquellen, sind i.d.R. differenzierte Betrachtungen erforderlich.

Um eine überschlägliche Kalkulation vornehmen zu können, wird folgende Vorgehensweise empfohlen.

Ermittlung eines berechtigten Emissionspegels  $L_{EB}$  und einer Referenz-Einwirkzeit für einen Referenzpegel von 100 dB(A), bei folgenden Randbedingungen:

Hallen - Raumschallpegel oder Schall-Leistungspegel:

Impuls- oder Einzeltonzuschlag:

zum Immissionsort hinstrahlende Hallenfläche:

Schallabstrahlung in den 1/2-, 1/4- oder 1/8-Raum:

mittl. Schalldämm-Maß der Hallen-Außenbauteile:

Abschirmung:

Einwirkungszeit des Geräusches  $t_i$ :

Beurteilungszeitraum  $T_B$ :

unberechtigter Emissionspegel  $L_E$

95	dB(A)
0	dB(A)
250	$m^2$
1/2	Raum
20	dB
0	dB(A)
8	h
16	h
95	dB(A)

s. Tab.A)

### 3. Vereinfachte Bewertungsmethoden

a) Pegelanhebungen durch:

Korrektur für Impulse u. Einzeltöne  $+3/6 + 3/6$

Korrektur für flächenf. Quellen  $+10 \log (S/2,5)$ ,  $S = 1,25$  für Punktschallquellen

Reflexionen am Emissionsort  $f(1/x\text{-Raum}) + 3/6/9$

+ 0 dB(A)  
+ 20 dB(A)  
+ 3 dB(A)

Zwischenergebnis

118 dB(A)

b) Pegelminderungen durch:

Schalldämmung bei gekapselten Quellen

Abschirmung

Korrektur aus Einwirk- und Beurteilungszeitraum

s.Tab.B) - 20 dB  
s.Tab.C) - 0 dB(A)  
s.Tab.D) - 3 dB(A)

berichtigter Emissionspegel  $L_B$

95 dB(A)

c) Referenz-Einwirkzeit  $t_{i,R}$ :

abhängig von der Differenz  $dL = L_{E_B} - L_V$ ,

bezogen auf einen beliebig vereinbarten Referenzpegel z.B.  $L_V = 100$  dB(A) und

abhängig vom Beurteilungszeitraum  $T_B$ :

$$t_{i,R} = 10^{(dL)/10} \cdot T_B = 10^{-0,5} \cdot 16 \text{ h} = 5,06 \text{ h}$$

Die Referenz-Einwirkzeit ist eine äquivalente Einwirkzeit für einen festgelegten Emissions-Schall-Leistungspegel bei der jeweiligen Emissionssituation. Damit steht eine Einwertangabe für Schall-Emittenten zur Verfügung, welche direkt mit zulässigen Werten verglichen werden kann.

Die zulässigen Referenz-Einwirkzeiten  $z$ ul.  $t_{i,R}$  von berichtigten Emissionspegeln  $L_{E_B}$  (z.B. kann  $L_{E_B} = L_V$  gesetzt werden) können, abhängig vom Beurteilungszeitraum und vom Abstand zum Emittenten, ermittelt werden aus:

$$z\text{ul. } t_{i,R} = T_B / 10^{(L_V - z\text{ul. } L_{i,R} - 26 \log s) / 10}$$

Die hiernach betrachteten Abstände „s“ können im Lageplan eingetragen werden (jeweils vom Immissionsort aus), so daß eine leichte Beurteilung von Schall-Emissionen möglich ist.

Tabelle A) Unberichtigte Emissionspegel  $L_B$

Schallquelle Art	Schall-Leistungspegel Mittelungspegel dB(A) /m <sup>2</sup>	Spitzenpegel dB(A)	dB(A) /m <sup>2</sup>	Raumschallpegel Mittelungspegel dB(A)
Pkw	95	typ 98 ...105	-	-
Lkw	105	typ 108 ...115	-	-
Gabelstapler	100	typ 105 ...110	-	-
Sportplatz	-	70	110	-
Cafeterrasse	-	50...65	-	-
Freibad	-	70	-	-
Gaststätte	-	-	-	80...85
Diskotheek	-	-	-	100...115
Schreinerei	-	-	-	85...95
Schlosserei	-	-	-	90...105
Websaal	-	-	-	100



### 3. Vereinfachte Bewertungsmethoden

Tabelle B) Schalldämmung von Bauteilen  $R_w$  in dB

Bauteil	Schalldämm-Maße		max. ca.
	min. ca.	typ. ca.	
Tore	15	20	50
leichte Dächer	18	20	50
leichte Wände	20	30	50
massive Wände	20	>45	>60 dB
Fenster	10 - bei ca. 10 % Öffnungsanteil		
"	20 - bei luftdurchlässigen Randfugen		
"	30 - Einfachglas und dichte Randfugen		

Tabelle C) Näherungswerte für Pegelminderungen durch Abschirmung, abhängig von der Differenz „z“ aus dem Weg um ein Hindernis und dem Direktweg (durch das Hindernis), zwischen dem Emissionsort und dem Immissionsort

z in m	Pegelminderung in dB(A) Schallquellenform linient./punktf.
0	4 / 5
0,1	9 / 11
1,0	15 / 19
4,0	20 / 25

Tabelle D) Pegelkorrektur, abhängig von der Einwirkzeit  $t_{1,p}$  bei Beurteilungszeiträumen von  $T_B = 16$  Std. bzw.  $T_B = 1$  Std.:

Einwirkzeit $t_k$ *	Beurteilungszeitraum	
	16 h	1 h
8 s	-38,6	-26,5
15 s	-35,8	-23,8
30 s	-32,8	-20,8
60 s = 1 Min.	-29,8	-17,8
120 s = 2 Min.	-26,8	-14,8
240 s = 4 Min.	-23,8	-11,8
480 s = 8 Min.	-20,8	- 8,8
960 s = 16 Min.	-17,8	- 5,7
= 1 h	-15,1	- 3,0
30 Min.	-12,0	0
60 Min.	- 9,0	
120 Min.	- 7,3	
= 2 h	- 6,0	
3 h	- 4,3	
4 h	- 3,0	
6 h	- 2,0	
8 h	- 1,2	
10 h	0	
12 h	+ 1,0	
16 h	+ 2,4 dB	
20 h		
28 h		

\*) Die Einwirkzeit ist zu ermitteln aus:  $t_{i,k} = \text{Summe}(t_i \cdot f)$

hierbei ist:

$t_i$ : jeweilige Einwirkzeit

$f$ : Faktor für Ruhezeiten

$f = 4$  bei einem Ruhezeitenzuschlag von 6 dB(A)

### 3. Vereinfachte Bewertungsmethoden

Erforderliche Abstände von Schallquellen, abhängig von der Differenz zwischen dem berichtigten Emissionspegel  $L_{Eb}$  und dem erwünschten Immissionspegel  $L_I$ :

$L_{Eb} - L_I$ *) in dB(A)	erforderlicher Abstand in m ermittelt aus: $erf\ s = 10^{\frac{erf}{26}}$
15	3,8
20	5,9
25	9,2
30	14
35	22
40	35
45	54
50	84
55	130
60	203
65	316
70	492
75	767 m

\*) berichtigter Emissionspegel  $L_{Eb}$  minus dem erwünschten Immissionspegel  $L_I$

Die hier genannten Abstände können im Lageplan eingetragen werden (jeweils vom Immissionsort aus), so daß eine leichte Beurteilung von Schall-Emissionen möglich ist.

Zulässige Immissionspegel nach VDI 2058 und TA-Lärm:

Gebietsausweisung	Mittlungspegel in dB(A)		Maximalpegel in dB(A)	
	tags	nachts	tags	nachts
Industriegebiet	70	70	100	90
Gewerbegebiet	65	50 **)	95	70
Mischgebiet	60	45 **)	90	65
allgemeines Wohngebiet	55	40 **)	85	60
reines Wohngebiet	50	35 **)	80	55

\*\*\*) Für Straßenverkehrsgeräusche werden in DIN 18 005, Teil 1, Orientierungswerte genannt, welche um 5 dB(A) über den hier angegebenen Immissionsmittlungspegel für die Nachtzeit liegen, für GE-, MI-, WA- und WR-Gebiete.

Für Freizeitlärm sind - nach der 18. Bundes-Immissionsschutzverordnung - werktags während den Ruhezeiten (tags) von 6...8 und 20...22 Uhr und an Sonn- und Feiertagen während den Ruhezeiten von 7...9, 13...15 und 20...22 Uhr, um 5 dB(A) niedrigere Immissions-Mittlungspegel, als oben für GE-, MI-, WA- und WR-Gebiete angegeben, einzuhalten, wobei die genannten zul. Immissions-Mittlungspegel, bei bestehenden Anlagen mit seltenen Ereignissen (max. 18/Jahr), um bis zu 10 dB(A) überschritten werden dürfen - die genauen Regelungen sind der Verordnung zu entnehmen.



## 4. Bauphysikalische Standardbetrachtungen

### 4. Bauphysikalische Standardbetrachtungen

#### Allgemeine Hinweise zu den Anforderungen an Bauteile:

- Wärme- und Feuchteschutz nach DIN 4108: Aus Gründen der Behaglichkeit und des Schutzes der Baukonstruktion.
- Wärmeschutz nach der Wärmeschutzverordnung WSchV: Aus Gründen der Energieeinsparung und vermutter klimatischen Auswirkungen durch  $\text{CO}_2$ -Gase
- Schallschutz nach DIN 4109: Mindestschallschutz entsprechend der Landesbauordnung.
- Schallschutz nach DIN 4109, Beiblatt 2: Der „Erhöhte Schallschutz“ nach dieser Norm kann durch den Bauherrn gefordert werden. Der Bauherr ist auf die Bedeutung des Schallschutzes hinzuweisen.
- Brandschutz nach der Landesbauordnung und der DIN 4102: Durch entsprechende Baustoffwahl und Bauteilausbildung soll einer Rauch- und Brandausbreitung entgegengewirkt werden, und der Zusammenbruch von Konstruktionen soll bei Brandeinwirkung über eine gewisse Zeit nicht gegeben sein.
- Immissionsschutz nach TA-Lärm, VDI 2058, DIN 18005 u.a.: Bei Projekten in der Nähe von, sowie bei der Planung von Gewerbe- und Industrieanlagen, Parkplätzen, Garagen, Straßen, Sportanlagen und ähnlichem werden immissionstechnische Untersuchungen erforderlich, welche Einfluß auf die Ausbildung von Bauteilen haben können.

Mit der Kurzformel „DBC-WASSER“ können die wesentlichen Probleme beim Konstruieren gedanklich sortiert werden. Jeder Buchstabe in DBC-WASSER steht für eine Problemstellung, das heißt:

D - Dehnungen und Verformungen  
B - Brandschutz

C - chemische Reaktionen, UV-Schutz u.ä.

W - Wärme- und Tauwasserschutz

A - Abdichtung gegen Wasser,  
Wasserdampf und Luft

S - Luftschallschutz

S - Körper- und Trittschallschutz

E - Erschütterungen

R - Raumakustik

#### 4.1 Außenwände (AW)

sind nach DIN 4108 zu dämmen mit:  
 $\text{min. } R_B = 0,55 \text{ m}^2\text{K/W}$

Bei AW mit leichten Innenschalen, mit einem  $m_i < 300 \text{ kg/m}^2$  - vor Dämmschichten von mehr als ca. 1 cm Dicke -, wird ein

$\text{min. } R_B = \dots 1,75 \text{ m}^2\text{K/W}$

gefordert - Grund: sommerl. Wärmeschutz, vgl. 2.1.4, ausgenommen sind kleinflächige Ausfachungen, vgl. DIN 4108, T2.

Bei hinterlüftetem Mauerwerk nach DIN 1053 darf die Luftschicht (mit  $R = 0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$ ) und die Außenschale bei der Ermittlung von  $R_B$  mit angerechnet werden, vgl. DIN 4108, T2, dort Ziff. 5.2.

Im Hinblick auf die Bau- und Heizkosten sind unter Berücksichtigung von Wohn- und Nutzflächenausfall i.d.R. Dämmschichtdicken von 4 ... 6 cm bei Massivbauten sinnvoll, nach der WSchV'94 werden i.d.R. größere Dämmschichtdicken erforderlich  $d > 8 \text{ cm}$ .

Die Wärmeschutzverordnung ist zu beachten!

Der Tauwasserschutz ist ein wesentliches Kriterium für den Mindestwärmeschutz. Unter Berücksichtigung heutiger Fensterkonstruktionen muß für kritische Randbereiche ein

$\text{min. } R_B = 1,5 \text{ m}^2\text{K/W}$  gefordert werden, bzw.

$\text{min. } R_{B,\text{eff}} > 0,44 \text{ m}^2\text{K/W}$  oder  $v_0 < 0,3$  (Ermittlungen ggf. n. Ziff. 3),

wobei eine Möblierung nicht in Außenecken erfolgen darf. Aus feuchtetechnischen Gründen sollte  $s_{\text{ai}} > 1,74 \text{ m}$  und  $s_{\text{ai}} > s_{\text{au}}/2,35$  sein (mind.  $s_{\text{ai}} = 0,5 \text{ m}$ . DIN 4108, T3 bei gewissen Bedingungen beim Mauerwerksbau).

Schalltechnisch kritisch können raumseitig angebrachte Dämmschichten und leichte Lochsteinwände sein, vgl. Ziff. 2.6.9 und 2.6.10.

Zu berücksichtigen ist auch die evtl. Minderung der Schalldämmwirkung bei Wärmedämm-Verbundsystemen (Thermohaut) bis zu - 5 dB, vgl. Ziff. 2.6.4. Mit üblichen Konstruktionen wird i.d.R. der geforderte Schallschutz nach DIN 4109, zum Schutz gegen Außenlärm erfüllt; eine Überprüfung ist bei nahe gelegenen, stark befahrenen Straßen unbedingt erforderlich. Je nach Außenlärmpegel, der zu schützenden Raumart, der Fenstergröße und der Schalldämmung der Fenster



## 4. Bauphysikalische Standardbetrachtungen

werden für Außenwände folgende Schalldämm-Maße nach DIN 4109 gefordert:

$$R_w = 30 \dots 60 \text{ dB}$$

Heizkörpermischen müssen nach der WSchV'94 mindestens so gut wie die (daneben vorhandenen) Außenwände gedämmt werden. Bei Heizkörpern vor Fensterflächen s. WSchV'94.

Der Brandschutz ist ggf. zu beachten.

### 4.2 Dächer (DA)

sind bei massiven Tragkonstruktionen i.d.R. ausreichend mit mind. 4 cm WD zu dämmen ( $\min R_B = 1,1 \text{ m}^2 \text{K/W}$ ), wobei weniger als 20% des Gesamtwärmeverstandes unterhalb der Dampfsperre vorhanden sein darf - Grund: Verformungsunterschiede zwischen den Massivdecken, wodurch in den dazwischenliegenden Wänden Risse entstehen können, vgl. 2.4.2.

Bei Dächern mit leichten Innenschalen, d.h. bei  $m'_i < 50 \text{ kg/m}^2$  - unter Dämmschichten von mehr als ca. 1 cm Dicke -, wird ein

$$\min R_B = \dots 1,75 \text{ m}^2 \text{K/W}$$

(i.d.R. mind. 6 cm WD) gefordert, vgl. DIN 4108, T2. Grund: sommerl. Wärmeschutz vgl. 2.1.4.

Im Hinblick auf die Bau- und Heizkosten sind i.d.R. Dämmschichtdicken von 10 ... 16 cm sinnvoll.

Die Wärmeschutzverordnung ist zu beachten!

Schallschutz vgl. Ziffer 4.1

Der Brandschutz gegenüber Nachbarhäusern ist zu beachten (Forderungen bis F30).

Unbelüftete Dächer benötigen i.d.R. Dampfsperren mit  $s_d > 100 \text{ m}$  unterhalb oder durch eine Wärmedämmschicht.

Die Dachunterschale (Innenschale) muß generell aus Gründen des Tauwasserschutzes, der Winddichtigkeit und des Luftschallschutzes luftdicht sein! Innenschalen aus Nut- und Federbrettschalungen benötigen i.d.R. zusätzlich dichte Unterschalen (Gipskartonplatten). Bei Trapezblechdächern u.ä. wird aus Gründen des Tauwasserschutzes eine besondere Dichtungslage unter der Dachdämmung erforderlich.

Bei Dächern mit Dampfsperren  $s_d > 100 \text{ m}$  darf der Wärmedurchlaßwiderstandsanteil unterhalb der jeweili-

gen Dampfsperre höchstens 20% ausmachen (oder es ist ein genauerer Nachweis zu führen).

Belüftete Dächer mit Dachneigungen  $> 10^\circ$  benötigen i.d.R. Dampfsperren mit  $s_d > 10 \text{ m}$  - unterhalb der Wärmedämmschicht. Die Belüftungsquerschnitte unter- und oberhalb des ggf. vorhandenen Unterdaches (Unterspannbahn) müssen ein  $h > 2 \text{ cm}$  aufweisen. Ist die Dachneigung  $< 10^\circ$  muß  $h > 5 \text{ cm}$  sein.

Dünne PE-Folien sind als Unterspannbahn nicht günstig, weil diese eine zu geringe UV-Widerstandsfähigkeit besitzen - günstiger sind dickere Folien oder Bitumenabdichtungsbahnen.

Sparren u. dgl. dürfen für den wärmetechnischen Nachweis nur mit der Höhe rechnerisch angesetzt werden, welche nicht unmittelbar an belüftete Bereiche angrenzt.

Dachoberschalen müssen zur Vermeidung kritischer Tauwassermengen infolge des Morgentauphänomens (vgl. Ziff. 2.3.1) eine Wärmespeicherfähigkeit

$$Q_s = c \cdot \text{Rohd.} \cdot s \text{ von größer } 30 \text{ kJ/(m}^2 \text{K)}$$

aufweisen; i.d.R. Bauteilschalen mit  $s > 2 \text{ cm}$ .

Blechdächer müssen ggf. aufgrund der Schallentwicklung durch Niederschläge Unterschalen erhalten. Blecheindeckungen, welche nicht auf mind. 24 mm dicken Holzschalungen aufgebracht werden, sind hinsichtlich des Morgentauphänomens (vgl. 2.3.1) sehr problematisch; ggf. können hierbei durch die Ausbildung eines Überdruckdaches oder durch stark sorptionsfähige Beschichtungen auf der Unterseite der Blecheindeckung kritische Verhältnisse vermieden werden.

### 4.3 Decken über Durchfahrten u.ä.

sind nach DIN 4108 zu dämmen mit:

$$\min R_B = 1,75 \text{ m}^2 \text{K/W}$$

Grund: Erzielung einer ausreichenden Fußwärme, vgl. 2.1.2.

Die Wärmeschutzverordnung ist zu beachten! Bei einer Fußbodenheizung ist unterhalb dieser - nach der WSchV'94 -

$$\max k = 0,35 \text{ W / (m}^2 \text{K)} \text{ gefordert.}$$

Zur Erzielung dieser Anforderung ist eine Wärmedämmstoffdicke von ca. 12 cm erforderlich, wobei



## 4. Bauphysikalische Standardbetrachtungen

diese sinnvollerweise in die Estrichkonstruktion einzubauen ist; ein Horizontalverformungsnachweis sollte vorgenommen werden.

Die Anforderung nach DIN 4109 an den Luftschallschutz zu Aufenthaltsräumen lautet:

$$\min.R'_w = 55 \text{ dB}$$

Der Brandschutz ist ggf. zu beachten (Forderungen bis F 90).

Die Dämmschicht in der Estrichkonstruktion sollte i.d.R. wie in den übrigen Geschossen gewählt werden; bei der Dämmstoffwahl ist der Trittschallschutz zu beachten (i.a.  $\max.L_{n,w} = 53 \text{ dB}$ ). Unterhalb der tragenden Decke ist sinnvollerweise der wesentliche Teil der Wärmedämmung (80 %) einzubauen - Gründe: Vermeidung von kritischen Wärmebrücken im Bereich der Außen- und Innenwände sowie zur Begrenzung der Horizontalverformungsdifferenzen zwischen Massivdecken; ggf. ist ein Horizontalverformungsnachweis zu führen.

### 4.4 Wohnungstrenndecken

sind nach DIN 4108 zu dämmen mit:

$$\min.R_B = 0,35 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Die Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 lauten:

$$\begin{array}{ll} \min.R'_w = 54 \text{ dB} & \text{(Dämm-Maß)} \\ \max.L_{n,w} = 53 \text{ dB} & \text{(Pegel)} \end{array}$$

Der Brandschutz ist speziell bei Holzbalkendecken zu beachten (Forderungen bis F 90).

Mit 16 cm dicken verputzten Normal-Betonvollplattendecken, 2 cm dicken Mineralfaser-Trittschalldämmplatten oder PS-Trittschalldämmplatten und Zementestrichplatten können diese Mindestanforderungen erfüllt werden, wobei sehr schwere flankierende Wände vorhanden sein müssen (mittl.  $m'_L > 200 \text{ kg/m}^2$ ). Bei leichteren flankierenden Wänden (mittl.  $m'_L$  ca.  $100 \text{ kg/m}^2$ ) muß (ohne Abhangdecken) eine Normal-Betonvollplattendecken-Dicke von 20 cm gewählt werden (n. DIN 4109, Beiblatt I).

### 4.5 Treppenraumwände

sind im Regelfall nach DIN 4108 zu dämmen mit:

$$\min.R_B = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Die Wärmechutzverordnung muß bei unbeheizten Treppenträumen beachtet werden!

Die Anforderung an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 lautet:

$$\min.R'_w = 52 \text{ dB}$$

Der Brandschutz ist zu beachten (Forderungen bis F 90).

Mit 24 cm dickem, verputzten KS 1,8 Mauerwerk werden diese Mindestanforderungen erfüllt; bei dieser Wanddicke sind andere Wandausführungen hinsichtlich der Anforderungen problematisch.

### 4.6 Wohnungstrennwände

sind - bei nicht zentral beheizten Gebäuden - nach DIN 4108 zu dämmen mit:

$$\begin{array}{ll} \min.R_B = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W} \\ \text{(sonst } \min R_B = 0,07 \text{ m}^2\text{K/W)} \end{array}$$

Die Anforderung an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 lautet:

$$\min.R'_w = 53 \text{ dB}$$

Der Brandschutz ist zu beachten (Forderungen bis F 90).

Mit 24 cm dickem, verputzten KS 1,8 Mauerwerk werden diese Mindestanforderungen i.d.R. erfüllt; bei dieser Wanddicke sind andere Wandausführungen hinsichtlich der Anforderungen problematisch.

### 4.7 Haustrennwände

sind nach DIN 4108 zu dämmen mit:

$$\min.R_B = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Die Anforderung an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 lautet:

$$\min.R'_w = 57 \text{ dB}$$



## 4. Bauphysikalische Standardbetrachtungen

Erhöhter Schallschutz nach DIN 4109, Beiblatt 2:

$$\min.R'_w = 67 \text{ dB}$$

bei zweischaligen Haustrennwänden  
Pflicht!

Der Brandschutz wird gefordert mit: F 90

Ein Schalldämm-Maß von  $R_w = 57 \text{ dB}$  ist - mit entsprechendem Aufwand - mit einschaligen Wänden erzielbar; die Schallnebenwegübertragungen müssen besonders beachtet werden. Haustrennwände aus Normalbeton sind wegen des geforderten Wärmeschutzes problematisch, weil eine dabei notwendige dünne Dämmschicht die Schalldämmung verringern kann; hier können ggf. Dämmputze verwendet werden.

Der erhöhte Schallschutz ist nur mit zweischaligen Haustrennwänden, bei unterdrückten Nebenwegübertragungen, herstellbar. Es sind hier sinnvollerweise gemauerte Wände ( $m' > 2 \cdot 200 \text{ kg/m}^2$ ) mit einem Abstand von ca. 5 cm und einer vollflächigen Zwischenlage aus 4 cm dicken Mineralfaser-Trittschalldämmplatten herzustellen (eine Wandschale kann auch betoniert werden). Bei derartigen Wänden wirken sich Körperschallbrücken besonders ungünstig auf die Schalldämmung aus. Im Bereich von Ortbetondecken ist besondere Sorgfalt erforderlich. Hier müssen, z.B. mittels später zu entfernter Zwischenlagen und PE-Folien-Abdeckungen, Körperschallbrücken sicher vermieden werden. Es ist sinnvoll erst eine Wandschale je Geschoss herzustellen, den Dämmstoff anzukleben und mit PE-Folien abzudecken. Danach ist die zweite Wandschale zu mauern. Eine Trennung der Fundamente ist dann ratsam, wenn unmittelbar über diesen Wohnräume vorgesehen sind - wird eine Fundamenttrennung bei diesen Bedingungen nicht vorgenommen, so sind Wandschalen mit  $m' > 2 \cdot 250 \text{ kg/m}^2$  notwendig, um den geforderten Schallschutz zu erzielen (bei ca. 5 cm Wandschalenabstand).

Schallnebenwege über leichte Dachkonstruktionen müssen beachtet werden - bei Gipskartonunterschalen und mit Mineralfaserdämmstoff bedämpften Hohlräumen sind ausreichende Verhältnisse zu erwarten. Der Raum zwischen den Randsparren und den Wandschalen ist mit Mineralfaserdämmstoff auszufüllen. Ebenso sollte über den Giebelwänden eine Dämmschicht aufgebracht werden, um auch kritische Wärmebrücken zu vermeiden.

### 4.8 Kellerdecken

sind nach DIN 4108 zu dämmen mit:

$$\min.R_B = 0,90 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Grund: Erzielung einer ausreichenden Fußwärme, vgl. 2.1.2.

Die Wärmeschutzverordnung ist zu beachten!

Bei einer Fußbodenheizung ist unterhalb dieser - nach WSchV '94

$$\max k = 0,35 \text{ W / (m}^2\text{K)}$$

einzuhalten - hierfür ist eine ca. 12 cm dicke Wärmedämstoffschicht erforderlich, wobei diese sinnvollerweise in die Estrichkonstruktion einzubauen ist; ein Nachweis der Horizontalverformung sollte vorgenommen werden, um Rissebildungen in den Wänden zu vermeiden.

Die Anforderung an den Mindestschallschutz - gegenüber Aufenthaltsräumen - lautet nach DIN 4109:

$$\min.R'_w = 52 \text{ dB}$$

Der Brandschutz ist ggf. zu beachten (Forderungen bis F 90).

Die Dämmschicht in der Estrichkonstruktion sollte i.allg. wie in den übrigen Geschossen gewählt werden; bei der Dämmstoffwahl ist der Trittschallschutz zu beachten. Bei leichteren flankierenden Wänden (mittl.  $m'_L$  ca.  $100 \text{ kg/m}^2$ ) wird eine mind. 16 cm dicke Normal-Betonvollplattendecke erforderlich (n. DIN 4109, Beiblatt 1). Unterhalb der tragenden Decke ist sinnvollerweise eine größere (mind. 4 cm dicke) Dämmschicht einzubauen - Gründe: Vermeidung von kritischen Wärmebrücken und Begrenzung der Horizontalverformungsdifferenzen zwischen Massivdecken, speziell bei eingeschossiger Bauweise; ggf. ist ein Horizontalverformungsnachweis zu führen.

### 4.9 Böden über dem Erdreich

sind nach DIN 4108 - unter Aufenthaltsräumen - zu dämmen mit:

$$\min.R_B = 0,90 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Grund: Erzielung einer ausreichenden Fußwärme, vgl. 2.1.2.

Die Wärmeschutzverordnung ist zu beachten!



#### 4. Bauphysikalische Standardbetrachtungen

Bei einer Fußbodenheizung ist unterhalb dieser - nach der WSchV '94 -  $\max k = 0,35 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  einzuhalten, hierfür ist eine ca. 12 cm dicke Wärmedämmstoffschicht erforderlich. Betonbodenplatten sind hierbei sinnvollerweise von den Wänden zu trennen, damit die Wände nicht durch Dehnungsdifferenzen zwischen massiven Bodenplatten und Decken übermäßig belastet werden; ggf. ist ein Nachweis der Horizontalverformung notwendig.

Die Dämmschicht (i. allg. mind. 4 cm; bei der Dämmstoffwahl ist der Trittschallschutz gegenüber benachbarten fremden Aufenthaltsräumen zu beachten) kann in die Estrichkonstruktion eingebaut werden oder ggf. auch unterhalb der Bodenkonstruktion (hierbei sind feuchteunempfindliche Dämmstoffe wie Schaumglas anzuwenden). Insbesondere bei eingeschossigen Gebäuden sollten die Betonbodenplatten von den Wänden getrennt werden, damit die Wände nicht durch Dehnungsdifferenzen zwischen massiven Bodenplatten und Decken übermäßig belastet werden; ggf. ist ein Nachweis der Horizontalverformung notwendig.

Verklebte Bodenbeläge können nur bei einer Abdichtung gegen nicht drückendes oder ggf. drückendes Wasser (mit praktisch dampfdichten Dichtungsbahnen) aufgebracht werden. Grund: Ohne dampfdiffusions-sperrende Schichten kann in der Sommerzeit Feuchtigkeit aus dem Erdreich in die Bodenkonstruktion eindringen, s.d. Blasenbildungen bei relativ dampfdichten Beschichtungen (auch bei Anstrichen) auftreten können.

#### 4.10 Kelleraußenwände

sollten insbesondere im oberen Außenwandbereich Wärmedämm-Maßnahmen - auf der Außenseite - erhalten.

Grund: Verringerung der Wärmebrückenproblematik im Sockelbereich.

Die Wärmeschutzverordnung ist bei beheizten Kellerräumen zu beachten!

Raumseitige Wandverkleidungen im Kellerbereich sind bei einer Abdichtung gegen nicht drückendes oder ggf. drückendes Wasser (mit Dichtungsbahnen) relativ problemlos einzubauen. Im Gegensatz hierzu sollte oder muß bei einer einfachen Abdichtung, d.h. gegen Erdfeuchte, i.d.R. eine raumseitige Trocknungsmöglichkeit der Wand gegeben sein, s.d. hierbei nur mit entsprechenden Zusatzmaßnahmen (Verkieselung o.a.) Wandvorsatzschalen eingebaut werden können. Bei einer

Wandverkleidung ist zudem auf eine besonders luftdichte Ausführung der Innenschalen zu achten, und bei einer Innendämmung sind i.d.R. raumseitige Dampfsperren erforderlich.

Eine raumseitige Dämmung mit Schaumglas, welche mit einer Putzschicht versehen wird, kann ggf. auch bei ungünstigen Bedingungen angewendet werden (bei einfachen Abdichtungen ist hierbei mit einer Durchfeuchtung der Außenwandschale zu rechnen, s.d. die Horizontalabdichtung zum Erdgeschoß sichergestellt werden muß). Der Einsatz von Dämmputzen wäre hier feuchtetechnisch günstiger - allerdings kann der geforderte Wärmeschutz nach der WSchV'94 hiermit kaum hergestellt werden.

Kellerwände sind unterhalb der unteren Horizontalabdichtung nicht zu verputzen oder mit einem Anstrich zu versehen.

Grund: Ausblutungsgefahr, vgl. Ziff. 2.3.22.

Damit durch Erddruck keine Risse in Kellerwänden auftreten, ist der Arbeitsraum erst bei entsprechender Auflast (EG) zu verfüllen. Vor der Verfüllung sollte die Arbeitsraumsohle aufgelockert werden, damit wieder Wasser durch diesen Bereich sickern kann, vgl. Ziff. 2.3.14.

#### 4.11 Unbeheizte Kellerräume

sind im Frühsommer tauwassergefährdet. Typischerweise kann Tauwasser über ca. 14 Tage infolge der Wärmeträgheit des Kellers auftreten, vgl. Ziff. 2.3.21. Während dieser Zeit sollte keine starke Belüftung erfolgen. Zur sicheren Vermeidung von Tauwasser müßten Kellerräume langfristig (ab Mitte April) vorgeheizt werden.

#### 4.12 Balkone und Attiken aus Beton

können kritische Wärmebrücken verursachen. Hier sind thermische Trennungen sinnvoll. Innendämmungen müssen im Hinblick auf die Verlagerung der Tauwasserproblematik und ggf. auf Resonanzkopplung, vgl. Ziff. 2.6.9, überprüft werden.

Die Durchbiegung und thermische Beanspruchung von Balkonen aus Beton ist hinsichtlich des Gefalles für die Entwässerung, der sichtbaren Auswirkungen und der Ribbildung unter Berücksichtigung der Balkongröße zu überprüfen, vgl. Ziff. 2.4.5 und Ziff. 5.3.



## 4. Bauphysikalische Standardbetrachtungen

### 4.13 Fenster

müssen die Anforderungen an den passiven Schallschutz nach DIN 4109 erfüllen; abhängig vom Außenlärmpegel werden Schalldämm-Maße bis ca. 50 dB erforderlich. Die Herstellung von Schalldämm-Maßen über  $R_w - 35$  dB scheint mit Einfachfenstern zuweilen in der Baupraxis noch schwierig zu sein - wegen Luftdurchlässigkeiten!

Wegen der Forderungen an den Wärmeschutz (WschV) sind i.d.R. keine Einfachverglasungen zulässig.

Zur Vermeidung einer übermäßigen Raumaufheizung während der Sommerzeit sollten die Flächen der wärmespeicherfähigen raumumschließenden Innen-Bauteile mind. 9 mal größer sein, als die sonnenbestrahlte Fensterfläche eines Raumes - ohne Sonnenschutzmaßnahmen ist, je nach der Fensterausrichtung, ein Verhältniswert bis 32/1 erforderlich, vgl. Ziff. 2.1.4.

Der auf die Fensterfläche bezogenen maximalen Gesamtwärmestromdichte  $Q$  in  $W/m^2$ , aus solarer Last und internen Wärmequellen, welche auf den Raum einwirken, sollte eine wärmespeicherfähige Masse von mind.  $7 \times Q$  in  $kg/(m^2 \text{ Fensterfläche})$  - ermittelt nach DIN 4108 - gegenüberstehen, z.B.

$$\begin{aligned} \text{Fenster max. } I \cdot g \cdot z \cdot a &= 600 \cdot 0,8 \cdot 0,4 \cdot 1,0 = 192 \text{ W/m}^2 \\ \text{opake AW} \cdot \text{TAV} \cdot A \cdot 20 &= 0,2 \cdot 10 \cdot 20 = 40 \text{ W/m}^2 \\ \text{interne W-Last } 500/5 \text{ m}^2 \text{ Fensterfläche} &= 100 \text{ W/m}^2 \\ \text{Gesamtwärmelast} &= 332 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

erf. wärmespeicherfähige Masse, bezogen auf die Fensterfläche

$$\text{aus } 7 \cdot Q = 7 \cdot 332 = 2324 \text{ kg} / (\text{m}^2 \text{ Fensterfläche})$$

a : Himmelsrichtungsabhängig für O/S/W : 0,75 / 1,0 / 1,5

\*bei großflächigen opaken Außenbauteilen ist die solare Last um den Wert  $\text{TAV} \cdot A \cdot 20$  zu erhöhen.

Mit einer extrem leichten Bauweise (weniger als 25 kg wärmespeicherfähige Masse bezogen auf den  $m^3$  Raumvolumen) und einem besonders guten sommerlichen Wärmeschutz ( $\text{TAV} < 0,25$  und  $g_f \times f < 0,12$ ) scheint es denkbar zu sein, daß mittels starker Belüftung zur Abendzeit hinnehmbare thermische Verhältnisse für die Nachtzeit herstellbar sind, so daß Schlafräume z.B. unter leichten Dachkonstruktionen auch in der Sommerzeit vertretbar sein können.

Im Fensterbereich können aus konstruktiven Gründen Wärmebrücken vorhanden sein. Diese sind i.d.R. im Hinblick auf Tauwasserbildung nicht problematisch, weil hier typischerweise die Wärmeeinwirkung von

Heizkörpern vorhanden ist; „günstig“ wirken sich dabei Vorhänge aus, welche über die Heizkörper reichen. Ist diese Wärmeinwirkung nicht vorhanden, so muß jegliche Wärmebrücke vermieden werden, wobei zu berücksichtigen ist, daß hierbei Vorhänge und Schabracken die thermischen Verhältnisse ungünstig gestalten; der Wärmewiderstand  $R_i$  ist dann mit  $0,55 \text{ m}^2 \text{ K/W}$  anzunehmen, um diese Gegebenheiten zu berücksichtigen.

### 4.14 Türen

müssen zuweilen Anforderungen an den Schall- und Brandschutz erfüllen. Flureingangstüren in Mehrfamilien-Wohnhäusern und Türen in Bürogebäuden, Beherbergungsstätten, Krankenhäusern und Schulen müssen nach DIN 4109 entsprechende Schalldämm-Maße aufweisen

( $R_w = 27$ ; 32 oder 37 dB, je nach Situation).

Die Herstellung von Schalldämm-Maßen über

$R_w = 25$  dB scheint mit Einfachtüren derzeit in der Baupraxis noch schwierig zu sein - wegen Luftdurchlässigkeiten, speziell an der Türschwelle und in Türenecken.

Holztüren zwischen unterschiedlich temperierten Räumen neigen zu Verformungen. Zur Vermeidung derartiger Probleme sind bei dieser Situation ggf. Stahlrahmen in den Holztürläutern erforderlich.

### 4.15 Treppen

sollten nicht an schutzbedürftigen Räumen angrenzen, dies sind im allgemeinen Schlafräume von Erwachsenen.

Mindestens sind die Podeste mit schwimmenden Estrichen zu versehen, die Betontreppenläufe müssen mind. 12 cm dick und von den Wänden getrennt sein, vgl. DIN 4109, Beiblatt 1.

Ein sehr hoher Trittschallschutz ist durch folgende Lösung erzielbar:

die Betontreppenläufe mit Dicken von mind. 12 cm sind von den Wänden zu trennen und elatisch auf den Podesten zu lagern, wobei die Podeste schwimmende Estriche erhalten müssen, vgl. DIN 4109, Beiblatt 1.



## 4. Bauphysikalische Standardbetrachtungen

### 4.16 Bad und WC - Räume

hier sollten keine Wände mit Sanitärinstallationen unmittelbar an schutzbedürftigen Räumen (waagrecht oder darunter) vorhanden sein. Badewannen und Badewannenschürzen sind körper-schallgedämmt aufzulagern oder auf separate schwimmende Estriche zu stellen.

Badewannen und Badewannenschürzen sind von Wänden zu trennen (Verfügen mit elastischem Dichtstoff auf Polyurethanbasis).

Auf dem Boden stehende Klosettbecken sind auf schwimmende Estriche zu stellen und nur hierauf zu befestigen. Wandhängende Sanitärgegenstände, z.B. wandhängende Klosettbecken, Waschtische und Ablagen sollten körperschallgedämmt zu befestigt werden.

Wände, an denen Abwasserleitungen befestigt werden, sollten ein

$m^2 > 220 \text{ kg/m}^2$  besitzen.

Fallrohre sollen möglichst nicht in Wänden schutzbedürftiger Räume geführt werden oder darin gar ihre Richtung ändern.

### 4.17 Laute Räume

benötigen i. d. R. gegenüber schutzbedürftigen Räumen einen Luftschallschutz von  $R_w > 57 \text{ dB}$ . Schalldämm-Maße bis  $R_w = 57 \text{ dB}$  können noch mit einschaligen Konstruktionen realisiert werden, wenn die flankierenden Bauteile entsprechend ausgebildet sind. Höhere Dämm-Maße sind praktisch nur durch eine Raum in Raum-Bauweise sicher herstellbar. Dies kann durch Gipskartonschalen erfolgen, wobei die Hohlräume (mit Faserdämmstoff) bedämpft werden müssen. Bei Dek-

kenschalen ist auf eine besondere Körperschallbrückenfreiheit zu achten - Deckenabhängiger müssen elastische Zwischenschichten enthalten.

Bei Außenbauteilen ist zu beachten, daß durch diese Bauweise eine Innendämmung hergestellt wird - vgl. Ziff. 5.2 (es werden im Regelfall Dampfsperren erforderlich). In Deckenhohlräume dürfen Lüftungskanäle u. dgl. nicht eingebaut werden. Schalldämpfer sind in ruhigeren Nachbarräumen anzuordnen (ist dies nicht herstellbar, so sind i. allg., doppelwandige Kanalausführungen notwendig). Lüftungskanäle müssen mit Segeltuchverbindungen an Lüfter und Schalldämpfer angeschlossen werden, um Körperschallübertragungen zu vermeiden.

Entstehen Körperschallanregungen z.B. durch Trittschall, so sind entsprechende schwimmende Estrichkonstruktionen erforderlich. Ein hoher Trittschallschutz kann zu seitlich gelegenen Räumen und zu darunter liegenden Räumen hergestellt werden; hier können schwimmende Estrichkonstruktionen auf Mineralfaserdämmstoff (ggf. abgedeckt mit Holzwool-Leichtbauplatten) einen hohen Schallschutz erzielen.

Maschinen sind je nach Schwingungsintensität und Frequenz erschütterungs- und körperschallisoliert aufzustellen. Besonders kritisch sind Kompressoren (z.B. Kältemaschinen). Hierbei sind besondere Schwingungsisoliermaßnahmen erforderlich, und eine Aufstellung auf den „gewachsenen Boden“ ist i. a. zu empfehlen, vgl. Ziff. 5.4., dort e. Rohre von Kühlmaschinen benötigen Kompensatoren, um die Schwingungsübertragung zu reduzieren, vgl. Ziff. 5.4., dort e.

Bei lauten Räumen ist auch der Immissionsschutz zu nicht baulich verbundenen Anlagen zu betrachten. Die umschließenden Bauteile müssen eine ausreichende Schalldämmung aufweisen, und die Schallabstrahlung von Lüftern muß entsprechend begrenzt werden. Ggf. werden auch Schallschleusen bei Eingangstüren erforderlich.



### 5. Bauphysikalische Sonderfälle und Besonderheiten

#### 5.1 Tauwasser auf Bauteilen

Die Bildung von Tauwasser ist bei Außenbauteilen mit relativ geringem Wärmeschutz und dichten Fenstern mit Isolierverglasung unter folgenden zusätzlichen Gegebenheiten leicht möglich:

- a) durch Einwirkung von:
  - Baufeuchtigkeit
  - Schlagregen, Bodenfeuchtigkeit und Niederschlagswasser im Bereich von Dachrandanschlüssen o.ä.
  - Feuchtequellen, wie Kochstellen, Wäschetrockner u.a.
  - feuchte Luft aus Nachbarräumen, infolge der Winddruckverhältnisse

b) durch besondere Verhältnisse:

- gering beheizte und/oder gering besonnte Räume, welche in Luftverbindung mit beheizten Räumen stehen; besonders bei stärker gelegenen Räumen. vgl. Ziff. 2.3.3 (Nordraumproblematik)
- Räume mit großer Wärmeträgheit und nicht kontinuierlicher Beheizung

- unzureichende Querlüftung

- geringe Sorptionsfähigkeit der raumumschließenden Bauteile

- starke Raumnutzung in Relation zur Raumgröße

- nicht kontinuierliche und geringe Raumlüftung

c) in den typischen Bereichen:

- im Erdgeschoß im Bereich des Haussockels (insbesondere in der Sommerzeit)

- unter Geschoßdecken an Außenwänden, insbesondere bei Stahlbetonbalkonen

- unter Dachdecken im Bereich der Attiken

- in Außenwänden bei einer ungedämmten Außenwand oder bei einer mäßigen Außendämmung

- im Bereich einbindender Bauteile bei einer Innendämmung

#### 5.2 Innendämmung

Die Außendämmung ist aus bauphysikalischer Sicht recht unproblematisch, daher wird hier die INNENDÄMMUNG diskutiert.

a) Gründe für eine Innendämmung

- Verbesserung des Schallschutzes, i.d.R. zur Reduzierung der Schall-Längsleitung
- Minderung des Wärmeverlustes bei bestehenden Gebäuden mit erhaltenen Fassaden oder aus Kosten- und Organisationsgründen
- Vermeidung von Oberflächen-Tauwasser in Kellerräumen zur Sommerzeit und bei ungünstigen Außenwandkonstruktionen im Alt- und Neubaufall zur Winterzeit

- rasche Aufheizbarkeit bei großflächigen Verkleidungen, sinnvoll bei nicht ständig beheizten Räumen

- konstruktionsbedingt bei Leichtkonstruktionen, hierbei liegen i.d.R. die Probleme der Innendämmung vor, z.B. bei leichten Dachkonstruktionen u.ä.

- konstruktionsbedingt bei Decken mit schwimmenden Estrichen über nicht beheizten Räumen - hierbei können die Probleme der Innendämmung vorliegen, z.B. bei Kellerdecken und Decken über der Außenluft (Decken über Durchfahrten)

b) Probleme mit der Innendämmung

- Wärmebrücken mit Tauwassergefahr im Bereich einbindender Bauteile (Querwände und Decken)

- Kern-Tauwasser bei ungünstigen Konstruktionen (durch Raumlufteintritt oder bei ungünstigen Wasserdampf-Diffusionswiderstandsverhältnissen)

- Verschlechterung des sommerlichen Wärmeschutzes bei großflächigen Verkleidungen (Barackenklima)

- Verschlechterung des Schallschutzes bei großflächigen Verkleidungen und bei der Verwendung dünner oder steifer Dämmschichten (ungünstige Eigenfrequenz, Resonanzkopplung)

- Verringerung der Austrocknungsmöglichkeit der Außenschale (dies ist insbesondere bei Kellerwänden und bei mit Schlagregen belasteten Fachwerk-wänden zu beachten)

- verstärkte Gebäudeverformung bei Massivbauten, infolge größerer Temperaturdifferenzen zwischen



## 5. Bauphysikalische Sonderfälle und Besonderheiten

der Außen- und Mittelwand sowie zwischen Decken und Dachdecken

-Raumverlust bei nachträglichem Einbau; ggf. problematisch in Bad und Küche, wegen knapper Raummaße

-Beeinträchtigung der Gebäudebenutzer beim nachträglichen Einbau

-geringfügige Wärmebrücken wie z.B. Nägel sind kritisch, weil kein thermischer Ausgleich durch die i.a. dünne Innenschale erfolgt (Tauwassergefahr)

### c) Vorteile der Innendämmung

-Die Verbesserung des Schallschutzes ist möglich.

-Eine rasche Raumaufheizung ist möglich, damit wird bei einer Heizunterbrechung (z.B. während der Nacht) Heizenergie eingespart.

### a) Nachteile der Innendämmung

-Abhängig von den Flächenverhältnissen (Außenbauteile mit Innendämmung, wärmespeicherfähige Innenbauteile und sonnenbeschienene Fensterflächen) kann bei heißen Tagen ein „Barackenklima“ auftreten.

-Besondere Sorgfalt und ein entsprechender Aufwand sind bei der Planung, Ausführung und Befestigung der Innenschale notwendig.

-Wärmedämmschichten an einbindenden Bauteilen erhöhen den Aufwand und können ein gestalterisches Problem sein.

### e) Konstruktionsregeln für die Innendämmung

-besonders geeignete Dämmstoffe sind:

für massive Außenschalen:  
Mineralfaserdämmstoff, PS-Trittschalldämmplatten, Schaumglas, Holzwolle-Leichtbauplatten mit Luftabstand für leichte Dächer: Mineralfaserdämmstoff, ggf. Holzwolle Leichtbauplatten

für schwimmende Estriche:  
Mineralfaserdämmstoff,  
PS-Trittschalldämmplatten, PE-Schaum

-Aus Gründen des sommerlichen Wärmeschutzes ist die DIN 4108, T2, Tab. 2 zu beachten, i.d.R. wer-

den Dämmschichtdicken von mind. 6 cm erforderlich.

-Aus schalltechnischen Gründen muß die Systemeigenfrequenz  $f_0 < 100$  Hz sein, daher ist i.d.R. ein mind. 3 cm Schalenabstand erforderlich.

-Zur Erzielung einer ausreichenden Fußwärme sind bei Decken über nicht beheizten Räumen entsprechende Dämm-Maßnahmen erforderlich, vgl. DIN 4108, T2, Tab.1; 4 cm WD über KG, 8 cm WD über Durchfahrten o.ä.

-Die Innenschale muß luftdicht sein - auch an den Rändern, vgl. 2.3.4 u. 2.6.12.

Gipskartonplatten sind für Außenwände und leichte Dachkonstruktionen als Baustoff für die Innenschale sinnvoll.

-Nachteilige Diffusionsverhältnisse müssen vermieden werden, i.a. sind Dampfsperren einzubauen, z.B. Gipskartonplatten mit rückseitiger Alukaschierung.

-Die Befestigung kann durch punktförmiges Ankleben erfolgen oder mittels eines Ständerwerkcs, welches ohne kritische Wärmebrücken herzustellen ist. Kunststoffummantelte Anker können ggf. auch zur Befestigung der Dämmplatten verwendet werden.

-Holzwohle-Leichtbauplatten, welche verputzt werden sollen, sind (aus schalltechnischen Gründen) mit einem entsprechenden Luftabstand zur Außen(Unter)schale einzubauen.

-Im Bereich einbindender Bauteile sind i.d.R. zusätzliche Dämm-Maßnahmen erforderlich; i.a. sind hier Dämmschichtdicken von 2...3 cm über eine Breite von 0,4 mal der Wärmeleitfähigkeit des Baustoffes, aus dem das einbindende Bauteil besteht, ausreichend. Ggf. ist eine genauere Berechnung im Hinblick auf Tauwasserbildung vorzunehmen. Bei leichten Außenbauteilen ist eine kopfseitige Dämmung der einbindenden massiven Bauteile ratsam.

-An Bauteilen mit geringem Wärmeschutz (Taufwasserschutz) - wie z.B. Alu-Fensterrahmen - sind Innenschalen nicht unmittelbar anzuschließen - es ist hier zu empfehlen, ca. 1 cm breite Kunststoffprofile einzubauen.

-Befestigungsmittel (z.B. Nägel) müssen so angebracht werden, daß hierdurch keine nachteilige Tauwasserbildung auftritt, vgl. Ziff. 2.3.5.

-Die vertikale Gebäudeverformung sollte bei mehrgeschossigen Bauten aufgrund der stärkeren thermischen Belastung untersucht werden, vgl. Ziff. 3.2.



## 5. Bauphysikalische Sonderfälle und Besonderheiten

### 5.3 Bauteilverformung

- Risse entstehen typischerweise durch Zugspannungen in Bauteilen aus mineralischen Baustoffen, wobei diese Bauteile i.d.R. eine geringe Auflast haben. In Leichtbeton und an Leichtkonstruktionen treten auch häufig „Abrisse“ durch Windkräfte auf.

- Thermisch und hygrysch stark belastete Bauteile aus mineralischen Baustoffen sollten speziell bei der Einwirkung durch Sonneneinstrahlung dünn  $< 12$  cm oder dick  $> 35$  cm ausgebildet werden, um Eigenanspannungen klein zu halten.

Plattenförmige Bauteile (z.B. Balkone), welche in einem (Randbereich) thermisch und hygrysch gegenüber anderen Bereichen unterschiedlich belastet werden - hier kann es sich z.B. um Auskragungen in den Außenbereich handeln - sind mit Dehnungsfugen zu versehen, oder zur Vermeidung kritischer Rißbreiten sind Stahlbewehrungen einzubauen. Ab einer Temperaturdifferenz von ca. 10 K zwischen einem warmen massiven Auflager (z.B. Betonfundament) und einer kühleren unbewehrten Wandschale, können Risse in der Wandschalé auftreten, wenn die Wandlänge mehr als 3 x größer ist als die Wandhöhe. Bei Normal-Betonwänden oder -platten sowie bei Gasbetonwänden und dgl. ist ab einer Länge von 2 x der Breite (Höhe) mit Rissen zu rechnen - ohne besonderen Bewehrungsmaßnahmen. Durch viskose Zwischenlagen (Bitumendichtungsbahnen ohne Höhenversatz) könnte der Rißbildung wahrscheinlich entgegen gewirkt werden; hierdurch werden die Dehnungsdifferenzen verringert und die Kerbwirkungen durch Rißansätze eingedämmt. Das Mauerwerkmaterial und der Mauerwerksverband haben offensichtlich Bedeutung (günstiger scheinen eine hohe Steinfestigkeit, eine geringe Mörtelfestigkeit und ein Kreuzverband mit kurzen Steinen in der Längsrichtung zu sein).

Bei plattenförmigen Bauteilen, welche auf den gegenüberliegenden Seiten thermisch und hygrysch ungleichmäßig belastet werden, sollte die Dreipunktlast vermieden werden, weil dabei vergleichsweise große Kräfte im Bereich des mittleren „Festpunktes“ auftreten und dort Rißbildungen möglich sind.

- Rissebildungen in Wänden von mehrgeschossigen Gebäuden können unter folgenden Bedingungen i.d.R. sicher vermieden werden:

- bei weniger als 5 Geschossen und
- Vermeidung von Mischmauerwerk oder
- Verwendung von KS-Mittelwänden oder

bei Verformungsunterschieden zwischen Mittel- und Außenwand von weniger als 0,003 m. - Prüfung durch rechnerischen Nachweis, vgl. Ziff. 3.2.

- Rissebildung in gemauerten Wänden mit geringer Auflast, welche durch Temperaturdifferenzen zwischen massiven Deckenplatten verursacht werden, sind i.d.R. zu vermeiden durch:

Temperaturdifferenzen  $dT < H/L \cdot 33 - 7$  K, vgl. Ziff. 3.2.

Vermeidung von Ziegel-, Leicht- und Bimsmauerwerk unter der obersten Decke. Wegen der geringen Festigkeit sind hier auch Porenleichtbetonwände weniger sinnvoll.

Ränder von nicht belasteten Stahlbetondecken sind außenseitig zu verkleiden, damit Risse nicht sichtbar werden.

Kantenpressung von Mauerwerk ist durch entsprechende Auflagerausbildung zu vermeiden.

Bei Temperaturdifferenzen über  $dT = H/L \cdot 33 - 7$  K sind konstruktive Maßnahmen in Form von Gleitlagern o. dgl. erforderlich.

- Rissebildungen in nichttragenden Wänden sind unter folgenden Bedingungen hinreichend sicher vermeidbar:

später Einbau dieser Wände und ggf. elastische Ausbildung der Deckenfugen

- Bei Balkonen o.ä. Konstruktionen ist die Durchbiegung zu berücksichtigen durch:

entsprechendes Gefälle für die Entwässerung

Abstand von gemauerten oder betonierten Brüstungen zur Außenwand

- Bauteile und Schichten aus Beton, Mörtel und dgl. sind bei der Herstellung und danach so zu behandeln, daß eine rasche Austrocknung oder Abkühlung verhindert wird (durch Abdeckung und ggf. durch Wärmedämm-Maßnahmen).

- Beschichtungen müssen auf den Untergrund abgestimmt werden - bei größeren thermischen, hygrysch oder plastischen Differenzen -, hierbei muß der E-Modul der Beschichtung gegenüber dem E-Modul des Untergrundes geringer sein. Grund: Begrenzung der Spannungen in der Beschichtung - infolge von thermischen, hygrysch und plastischen Dehnungen.



## 5. Bauphysikalische Sonderfälle und Besonderheiten

### 5.4 Bauakustik

#### a) Luftschallschutz allgemein

- Vorhalte nach DIN 4109 gegenüber Meßergebnissen aus Prüfständen:
- 2 dB für Wände, Decken, Fenster, Schächte und Kanäle
- 5 dB für Türen
- Gemauerte Wände sind erst verputzt sicher luftdicht. I.d.R. ist eine vollflächige Verputzung, auch im Bereich der Estriche und Abhangdecken, erforderlich.
- Trockenputz auf beiden Wandseiten ist bei gemauerten Wänden ungünstig, vgl. Ziff. 2.6.4.

- Löcher in betonierten Bauteilen (von der Schalungshalterung) sind sorgfältig mit Mineralfaserdämmstoff auszufüllen und zu verspachteln.

- Flankierende Bauteile sind bei fester Verbindung mit dem trennenden Bauteil schalltechnisch günstig i.d.R. verzahnter Mauerwerksanschluß.

- Flankierende Wände aus gelochten Steinen mit einer Rohdichteklasse  $< 0,8$  (Leichtlochziegel o.ä.) können die Schalldämmung sehr ungünstig beeinflussen. Aufgrund von Luftdurchlässigkeit und Hohlraumresonanzen im Steinmaterial sowie einer wahrscheinlich geringen Kontaktstellendämpfung (vgl. Ziff. 2.6.10) ist hierbei zur Erzielung einer hohen Schalldämmung eine Trennung der Wandschalen bzw. Wandvorsatzschalen an den flankierenden Wänden notwendig.

- Flankierende und anbindende Bauteile mit Dicken zwischen ca. 3...13 cm können die Schalldämmung mindern - typischerweise Bims- und Gipsplattenwände - hier sollten ggf. feste Anschlüsse an das trennende Bauteil und an Decken vermieden werden.

- An trennenden und flankierenden Bauteilen sind verkleidete dünne und oder harte Dämmschichten (wie Hartschäume) oder dünne Luftschichten ungünstig (der Trommeleffekt oder die Resonanzkopplung können die Schalldämmung verschlechtern). Ungünstige Resonanzen mit  $f_0 > 100$  Hz müssen bei großflächigen Bauteilen vermieden werden. Schalltechnisch unkritisch oder verbessernd sind Dämmschichten aus PS-Trittschalldämmplatten und Mineralfaserdämmstoffen mit Dicken (einschl. Luftschichten) von mind. 30 mm (bei besonders hohen Anforderungen mind. 80 mm) oder Holzwolleleicht-

bauplatten, welche mit einem entsprechenden Luftabstand (vgl. DIN 4109, Beiblatt 1) angeordnet werden.

- Die Schalldämmung über Deckenhohlräumen, Flurtüren o.ä. sollte bzw. muß entsprechend hoch sein.

#### b) Einschalige Bauteile

- Luftdichtigkeit und Nebenwegübertragungen sind zu beachten.

- Bei flankierenden Bauteilen, welche nicht fest (verzahnt) mit den trennenden Bauteilen verbunden sind oder ein  $m'_f < 250 \text{ kg/m}^2$  besitzen, sind genauere Betrachtungen notwendig.

#### c) Zweischalige Bauteile

- Bei leichten zweischaligen Bauteilen ist eine besondere Sorgfalt bei der Ausführung erforderlich, der Rechenwert sollte gegenüber den Meßergebnissen aus Prüfständen um mind. 5 dB geringer angenommen werden. Luftdurchlässigkeit in den Randbereichen ist in der Baupraxis typischerweise das größte Problem.

- Bei zweischaligen massiven Haustrennwänden müssen wegen des hohen erreichbaren Schallschutzes Körperschallbrücken, welche in der Baupraxis häufig im Bereich der Decken auftreten, vermieden werden. Im Dachbereich dürfen keine Luftverbindungen auftreten (Gipskartonplatten sind als Unterschale bei Leichtdächern zu empfehlen), und die Dachhohlräume müssen bedämpt sein (mit Faserdämmstoff).

- Die flankierenden Bauteile müssen genauer betrachtet werden, vgl. DIN 4109 und Ziff. 3.3.

- (Leichte) Trennwände sind nicht auf durchgehenden schwimmenden Estrichen aufzustellen (die Schalldämmung würde dabei  $>$  wie vor  $<$  auf ca. 38 dB begrenzt).

- (Leichte) Trennwände sind nicht auf durchgehende Teppichböden aufzustellen (die Schalldämmung würde dabei  $>$  wie vor  $<$  auf ca. 38 dB begrenzt).

- Bei zweischaligen Wänden aus biegeweichen (dünnen) Schalen entsteht keine Kontaktstellendämpfung. Die Schallübertragung über die flankierenden Bauteile ist entsprechend ungünstig und bedarf der Überprüfung.



## 5. Bauphysikalische Sonderfälle und Besonderheiten

-Ggf. können die flankierenden Bauteile zur Unterdrückung der Nebenwegübertragungen luftdichte Wandvorsatzschalen erhalten - sinnvollerweise Gipskartonplatten mit mind. 4 cm Abstand und Hohlraumbedämpfung (i.d.R. Mineralfaserdämmstoff). Nicht durchgehende schwimmende Estriche wirken ähnlich.

-Bei zweischaligen Wänden aus biegesteifen (dicken) Schalen ist die Schallübertragung über die flankierenden Bauteile und Trennwandschalen so stark, daß die Schalldämmung auf ca.  $R'_w = 48 \dots 58$  dB begrenzt wird. Eine Verbesserung des Schallschutzes ist bei diesen Verhältnissen nur durch zusätzliche Vorsatzschalen an den trennenden Bauteilen erzielbar; ggf. können hierbei auch Vorsatzschalen an den flankierenden Bauteilen notwendig werden.

-Für zweischalige Haustrennwände wird (durch die Rechtsprechung) ein Schalldämm-Maß gefordert von  $R_w > 67$  dB, dies ist bei einer körperschallbrückenfreien Trennung der Wandschalen erzielbar. Zu empfehlen ist ein Schalenabstand von ca. 50 mm, wobei der Hohlraum mit 40 mm dicken Mineralfaser-Trittschalldämmplatten zu bedämpfen ist, vgl. DIN 4109, Beiblatt 1.

-Körperschallbrücken wirken sich bei mehrschaligen Wänden in den Fällen besonders ungünstig aus, in denen keine biegeweichen Schalen verwendet werden. Körperschallbrücken bei biegeweichen Schalen haben i.d.R. keinen großen Einfluß auf die Schalldämmung, d.h. sehr ungünstig sind Schallbrücken bei zwei biegesteifen Schalen (z.B. bei massiven zweischaligen Haustennwänden). Aus Messungen zeigt sich, daß Körperschallbrücken von der Grenzfrequenz (der leichteren Schale) beginnend die Schalldämmung mindern.

### d) Hinweise zur Trittschalldämmung

-Bei der Anwendung schwimmender Estriche ist besondere Sorgfalt erforderlich. Insbesondere sind dann entsprechende Vorkehrungen zu treffen, wenn Böden aus Mörtel aufgebracht werden, weil Kleber oder Mörtel ggf. in die Estrichrandfugen eindringen kann und bei der Anbringung von Steinzeugrandsockeln oder beim Einbau von Badewannen Mörtelverbindungen auftreten können.

-Bei weichefedernden Bodenbelägen ist ein schalltechnisch falscher Einbau praktisch nicht möglich. Die Trittschallverbesserungsmaße von üblichen Teppichbelägen reichen von 20 dB bis etwa 30 dB, der

typische Wert liegt bei ca. 25 dB. Zu beachten ist, daß weichefedernde Bodenbeläge nach DIN 4109 für den Nachweis des Mindestschallschulzes i.d.R. nicht anrechenbar sind.

### e) Schwingungsisolierung von Maschinen

-Maschinen sind i.a. überkritisch abzustimmen, d.h. gegenüber der Eigenfrequenz  $f_0$  der Schwingungsisoliermaßnahme sollte die Erregerfrequenz  $f_B$  i.a. um den Faktor 3...4 höher sein. Große Maschinen- und Fundamentmassen sowie hohe Maschinendrehzahlen sind anzustreben. Durch große Massen werden die Schwingwege verringert. Hohe Maschinendrehzahlen sind grundsätzlich günstig, weil hierbei eine gute Isolierwirkung herstellbar ist (günstiges Verstimungsverhältnis).

-für lotrechte Schwingungen ist - für  $f_0 < f_B/3$  Hz - der statische Federweg  $y_s$  der Isolierkörper wie folgt zu bemessen (bei der üblichen Situation, d.h. bei einem Einmassenschwinger-System):

$$y_s = (0,5/f_0)^2 \quad \text{in m}$$

Vereinfacht:

$$\text{erf. } y_s > (3000/\text{Maschinendrehzahl pro Min.})^2 \quad \text{in mm}$$

-Die Aufstellung von großen Maschinen - insbesondere bei niedrigen Drehzahlen - erfolgt sinnvollerweise, einschl. der ggf. notwendigen Schwingungsisoliermaßnahmen auf Betonplatten, welche unmittelbar auf dem dem Baugrund aufliegen.

-Die Aufstellung von Maschinen auf Decken kann kritisch sein. Bei leichten Maschinen - in Relation zur Deckenmasse - kann ein Einmassenschwinger für die Berechnung angenommen werden. Relativ weiche Federn werden bei dieser Situation i.a. erforderlich, s.d. die schwingungsisolierten Maschinen stärker schwingen können und dies zu einer zusätzlichen Belastung für die Maschinen und ggf. von Anschlußrohren u. dgl. führt. Es muß ggf. überprüft werden, ob stärkere Schwingungen für die Maschine und die anschließenden Teile unkritisch sind. Die Federkonstante der Maschinenisolierung muß kleiner als die Federkonstante des Deckensystems sein, weil anderenfalls keine wirksame Schwingungsisolierung auftritt.

-Es kann günstig sein, mehrere gleichzeitig laufende Maschinen auf ein gemeinsames Fundament aufzustellen; zwei Maschinen gleicher Bauart verhalten



## 5. Bauphysikalische Sonderfälle und Besonderheiten

sich hierbei jedoch ungünstig (wegen dem dabei auftretenden Auf- und Abschwellen der Schwingungen bei fast Gleichlauf).

- Bei der Anwendung von Stahlfederisoliertkörpern sind i.a. zusätzliche Körperschallisolatoren aus Gummi, Kork o.ä. erforderlich. Es muß dabei eine kleine Masse zwischen der Stahlfeder und der Körperschallisolierung wirksam sein, ggf. ist eine zusätzliche Betonplatte einzubauen.

- Bei einer nicht symmetrischen Lastverteilung auf dem abgefederten Maschinenfundament werden sinnvollerweise sechs Isolierkörper verwendet, um gleichmäßige Lastverteilungen für die Isolierkörper herzustellen.

- Zur Schwingungsminderung einer Maschine können ggf. Tilgermassen (abgefederte Massen mit entsprechender Eigenfrequenz an der Maschine oder im Fundament) zusätzlich verwendet werden.

- Die Unwucht von rotierenden Maschinenteilen sollte so gering wie möglich sein, damit entsprechend kleine Erregerkräfte auftreten.

- Dämpfer sind bei stoßartigen und ggf. nichtperiodischen Einwirkungen oder auch bei Maschinen mit größeren Unwuchten erforderlich. Stoßartige Erregungen treten speziell bei Pressen, Stanzen und Schmiedehämmern auf. Resonanzaufschaukelungen beim An- und Auslaufen der Maschinen werden zweckmäßigerweise durch ein schnelles Durchlaufen im Resonanzbereich begrenzt.

- Rohre, welche von der Maschine in andere Bereiche geführt werden, sind i.d.R. mit Kompensatoren (zur Schwingungsisolierung) zu versehen. Ggf. sind die weiter geführten Rohre durch die Anbringung von entsprechenden Massen zu bedämpfen, vor allem dann, wenn die Rohre durch das in ihnen enthaltene Medium zum Schwingen angeregt werden.

- Schalldämpferstrecken werden in Kanälen erforderlich, welche ansonsten eine übermäßige Schallabstrahlung in benachbarte Bereiche verursachen würden. Schalldämpferstrecken müssen i.d.R. außerhalb von Maschinenräumen mit Segelfuchverbänden angeordnet werden, um eine Luft- und Körperschallanregung auf den Kanal zu vermeiden bzw. zu reduzieren.

- Schaltschranke sind körperschallisoliert aufzustellen bzw. anzubringen.

- Aufzugsanlagen sollten i.d.R. einen getrennten Schacht erhalten, sonst sind mind. zwei Wandschächten mit  $m' > 350 \text{ kg/m}^2$  zu Aufenthaltsräumen notwendig, wobei die Aufzugstüren besonders stoßfrei schließen müssen, die Aufzugsschachtdecke sollte aus mind. 25 cm Vollbeton bestehen; auf dieser sind die Aufzugsmaschinen erschütterungs- und körperschallisoliert aufzustellen.

- Ölbrenner und dgl.; Schwingungsisolierung bei einer kritischen Aufstellung so, daß  $f_0 < 20 \text{ Hz}$  ist. Es sollte auch Platz für einen evtl. notwendigen Abgasschalldämpfer vorgesehen werden.

- Lüftungsanlagen auf Dächern oder in leichten Dachkonstruktionen können im Hinblick auf die Körperschallisolierung, speziell bei leichten Dachkonstruktionen, schwierig werden. Hier sind entsprechende Untersuchungen hinsichtlich der Luft- und Körperschallabstrahlung in schutzbedürftige Nachbarbereiche notwendig. Die hohe Körper-schallübertragung auf leichte Konstruktionen ist zu beachten - es werden i.d.R. konsequente Trennungen zu leichten Konstruktionen notwendig.

### 5.5 Raumakustik

Von Einfluß auf die raumakustischen Verhältnisse sind:

- Raumfunktion

- Raumabmessung, Raumproportionen, vgl. Ziff. 2.7.1 bis 2.7.6

günstig sind:

- Nischen, Fenster-, Türnischen u. dgl. - zur Erhöhung der Schalldiffusität

- Schallreflexionen mit  $r' - r < 10 \text{ m}$  - zur nützlichen Schallverstärkung

unkritisch sind:

- Bereiche mit Schallwegen von  $r < 8 \text{ m}$  oder  $r' < 30 \text{ m}$  bzw.  $r'/r > 7$  - weil in diesen keine nachteiligen Laufzeitdifferenzen auftreten.

ungünstig sind:

- kalottenförmige Raumausbildungen und großflächige konkave reflektierende Flächen - wegen der Schallfokussierung, wenn diese in den Hörer- oder Sprecherbereich hineinreicht, vgl. Ziff. 2.7.3



## 5. Bauphysikalische Sonderfälle und Besonderheiten

- quadratische und kubische Räume - wegen Raumresonanzen (stehende Wellen), vgl. Ziff. 2.7.2
  - großflächige parallele Bauteile (zum Abstand) - wegen Flatterechos, vgl. Ziff. 2.7.1
  - angekoppelte hallige Räume - wegen ungünstigem Nachhall, vgl. Ziff. 2.7.10
  - große Abstände zwischen Sprecher und Reflektoren - wegen geringer Sprachverständlichkeit (Grobraumunschärfe), vgl. Ziff. 2.7.6
- zu berücksichtigten sind:
- Schallabsorber wie Vorhänge, Akustikplatten, Teppiche u.a. sowie deren Lage und Anordnung, Sitzmöbelart (un- bzw. gepolsterte), Anzahl der Personen und Sitzplätze.
  - Elektroakustische Anlage; eine Beschallung bis  $V = 6000 \text{ m}^3$  ist, bei besonders guten raumakustischen Verhältnissen auch ohne Elektroakustik, möglich.
  - Vorhandene Nachhallzeiten bzw. Schallabsorption bei bestehenden Räumen, für unausgestattete Räume ist  $A_{\text{verh.}} \text{ ca. } 0,45 * V^{2/3} \text{ m}^2$ .

### Forderungen:

- a) für musikalische Darbietungen
  - Raumvolumen mind.  $8 \text{ m}^3$  / Person
  - hohe Diffusität, Flatterechos vermeiden
  - Direktschall sinnvoll, aber nicht unbedingt notwendig
  - je nach Darbietung und Raumvolumen relativ lange Nachhallzeiten  $T = 1,0 \dots 2,0 \text{ s}$ , für elektroakustische Darbietungen  $T = 0,3 \dots 0,6 \text{ s}$
  - niedriger Grundgeräuschpegel

### b) für Sprachdarbietungen

- Raumvolumen mind.  $4 \text{ m}^3$  / Person
- günstige Raumproportionen  $h/b/l = 1/1,2 \dots 1,6/1,5 \dots 2,2$
- Flachräume, quadratische - und besonders würfelförmige Räume sind ungünstig. Ähnliche Maße in Länge, Breite und/oder Höhe können zu hörbaren Raumresonanzen führen und sollten daher vermieden

### c) Großraumbüros

- Flachräume sind günstig
- Kurze Nachhallzeiten von  $T = 0,3 \dots 0,5 \text{ s}$  sind erforderlich.

werden. Bei ungünstigen Verhältnissen können durch Absorber und Diffusoren vertretbare Bedingungen hergestellt werden.

- Direktschall (direkter Sichtkontakt zum Sprecher ist notwendig); Sichtwinkel über den Köpfen ca.  $12^\circ$  ( $2 \text{ m}/10 \text{ m}$ ) sinnvoll. Daher ist ein erhöhtes Podium oder ein ansteigendes Gestühl größere Räume erforderlich.
- Erste Reflexionen insbesondere über der Deckenflächen (mittleres Deckenfeld schallhart), bei größeren Räumen auch durch schräg gestellte Deckenflächen (für „Schallausbreitungs-Segmente“ von je  $> 15^\circ$ ), abgestuft nach der Raumtiefe: für entferntere Zuhörer ist eine größere Anzahl von ersten Reflexionen sinnvoll bzw. notwendig
- Schallharte Reflektoren für die ersten Reflexionen benötigen ein min.  $R_w = 30 \text{ dB}$ , d.h. min.  $m' = 10 \text{ kg/m}^2$ .
- Mindestabmessung für Schallreflektoren  $2 \text{ m}$ ; Sinnsegment von mind.  $15^\circ$  ausfüllen (vom Sprecher aus betrachtet), wobei  $r' - r < 10 \text{ m}$  sein muß.
- Vermeidung von Flatterechos, d.h. große reflektierende parallele Flächen (i.a. Wände) müssen vermieden werden, günstig sind schräggestellte Vorsatzschalen oder Fenster (z.B. sägezahnartig) an einer Seite oder auch an beiden Seiten.

- Vermeidung von kritischen Laufzeitdifferenzen; bei Raumabmessungen über  $15 \text{ m}$  sollte eine Überprüfung erfolgen.

- Vermeidung von „Schallkonzentrationen“ durch größere konkave Flächen.

- Schallabsorber am Deckenrand und an der Rückwand sind günstig.

- je nach Raumvolumen relativ niedrige Nachhallzeiten  $T = 0,8 \dots 1,3 \text{ s}$

- niedrige Grundgeräuschpegel

- Raumzugänge schallbedämpft, ggf. mit Schallschleusen

- Weichfedemde Bodenbeläge sind sinnvoll, damit störende Gehgeräusche vermieden werden.



## 5. Bauphysikalische Sonderfälle und Besonderheiten

- Relativ hohe breitbandige Grundgeräuschpegel (50...60dB (A)) sind i.d.R. notwendig, wobei diese diffus abgestrahlt werden müssen, i.a. über einem Deckenhohlraum. Ggf. kann auch ein Zimmerspringbrunnen günstige Verhältnisse herstellen.
- Direkte Sichtverbindungen zu Mitarbeitern sollten vermieden werden, z.B. durch Stellwände.

reichenden Immissionsschutzes besonders kritisch zu betrachten:

- Kfz - Verkehr auf fremden (Betriebs-) Grundstücken
- Lüftungsöffnungen und Lüftungsgeräte
- offene Türen, Tore und dgl. von Hallen oder Räumen mit hohen Schallpegeln
- Maschinen, welche Erschütterungen und/oder Körperschall verursachen und diese Einwirkungen im stärkeren Maße auf den Baugrund oder auf raumumschliessende Bauteile übertragen.
- Maschinen, welche weder umhaust noch gekapselt sind
- Geräusche außerhalb von Gebäuden mit hoher Impulshaltigkeit, z.B. Tennisgeräusche
- Geräusche in Ruhezeiten und in der Nachtzeit
- kleine Abstände zu Immissionsorten, auch wegen des Spitzenpegelkriteriums, bei Geräuschen außerhalb von Gebäuden; speziell durch Kfz-Verkehr, vgl. Ziff. 3.5.

### 5.6 Schallimmissionsschutz

- Die zulässigen Immissionspegel werden i.d.R. vom Planungsamt festgelegt. Die Richtwerte werden dabei gemäß der Gebietsausweisung gefordert - i.a. so, wie diese in den Regelwerken, d.h. in der TA-Lärm, VDI 2058 oder DIN 18005 u.a. genannt werden.

- Umhauste oder gekapselte Geräuschquellen bereiten i.a. keine größeren Probleme, weil die Schalldämmung von umschliessenden Bauteilen entsprechend hoch ausgelegt werden kann. Bei großflächigen, schallabstrahlenden Bauteilen in der Nähe von Immissionsorten können, wegen hoher Baukosten für entsprechende schalldämmende Bauteile, Probleme auftreten. Typischerweise sind folgende Geräuschquellen und -situationen für die Erzielung eines aus-

## 6. Denkanstoßlisten für eine Baukonstruktionsanalyse

## 6.1 Kritische Aspekte bei Baustoffen, Bauteilen und Räumen

## a) Baustoffe

Normal-Beton	Wärmebrücken, Betonwandproblematik, Massivdeckenstreß
Gips- oder Bimsplatten	Spuranpassung, Sprachfrequenz-Durchlaufplatten
Leichtlochziegel	Lochsteinverstärker, als Putzuntergrund schwierig
Hohlkörperdecken und dgl.	Luftraumübertragung, geringer Trittschallschutz
Kalksandstein	Wandputzeffekte
Porenbeton (Gasbeton)/ Leichtbeton	Rißbildungsempfindlichkeit
Vinyltapeten o.ä.	Plastiktütenklima
Bauteile aus Holzwerkstoffen	Brandschutz
Bauteile aus Stahl	Brandschutz, Korrosionsschutz, Geländerkrankheit
Bauteile aus Aluminium	Brandschutz, Aluvoltaik
HWL anbetoniert und verputzt	Trommeleffekt, Resonanzkopplung
Hartschaumplatten	Trommeleffekt, Resonanzkopplung, Wandputzeffekte
dünne Dämmschichten < 3 cm	Trommeleffekt, Resonanzkopplung
dünne Luftschichten < 3 cm	Trommeleffekt, Resonanzkopplung
unverputzte Wände	Luftschallschutz gering
Anstriche	Blasenpest, Beschichtungseffekt
PVC und ä. dichte Kunststoff-Bodenbeläge	Blasenpest, UV-Versprödung
Dachabdichtungen	Blasenpest, UV-Versprödung
Putz	Beschichtungseffekt, Salzwanderung
Verbundestrich	Beschichtungseffekt

## b) Bauteile

Betondecken	Massivdeckenstreß
Holzbalkendecken	Schallschutz schwierig, fehlende Kontaktstellendämpfung, Brandschutz
abgehängte Decken	Luftraumübertragung, Massivdeckenstreß, Raumluftfiltrierung, Wasserdampfdiffusion, Brandschutz
Kellerdecke/Boden auf Erdreich	Fußwärme, Massivdeckenstreß speziell bei Eingeschossigkeit
Decken über Durchfahrten u.ä.	Fußwärme, Luftschallschutz, Massivdeckenstreß, Wärmebrücken, Windkanteneffekt
Balkone	Balkonpathologie, Wärmebrücken, Geländerkrankheit, Rotznasenarchitektur



## 6. Denkanstoßlisten für eine Baukonstruktionsanalyse

Parkdecks	Schall-Immissionsschutz, Bauakustik, Raumschallabsorption, hohe Punktlasten
schwimmende Estriche	Nichtschwimmerproblematik, Sprachfrequenz-Durchlaufplatten
Teppiche	Teppichausklammerung, Leichtbaufugensyndrom
Steinzeugfußboden	Nichtschwimmerproblematik, Fußwärme
Treppen	Erste Treppenhausreform, Brandschutz, Schallabsorption
leichte Holztreppen	Impulsphänomen (Trittschallschutz)
Nut- und Federbrettschalungen	Raumluftinfiltrierung, Leichtbaufugensyndrom
Trapezblechdächer	Raumluftinfiltrierung
Blechdächer	Schallschutz bei Niederschlag, Morgentauphänomen
leichte Steildächer	Raumluftinfiltrierung, Außen- und Niederschlagslärm, Schallschutz zum Nachbarn, Flugschneeinfiltrierung, Schmelzwassereinlauf, Barackenklima, Brandschutz
Flachdächer/Terrassen u.ä.	Massivdeckenstreß, Beulenpest, Dachpfützenproblematik, Abdichtungshinterwanderung, Kaltrohrmasse, Rotznasenarchitektur, Windkantenereffekt, Trittschallschutz
zweischalige Haustrennwände	Massivbauparadoxon, Brandschutz
Wohnungs- und Treppenhauswände	Luftschallschutz, Brandschutz, Wärmeschutz
leichte Trennwände (Gipskartonwände)	Leichtbaufugensyndrom, fehlende Kontaktstellendämmung
nicht tragende Wände	Durchhängerriß
Außenwände mit Innendämmung	Raumluftinfiltrierung, Wärmebrücken an einbindenden Bauteilen, Wasserdampfdiffusion, Resonanzkopplung, Barackenklima
Kellerwände	Abdichtung, Salzwanderung, Keller-Sommernässe, Arbeitsraum-Wannenproblematik
Fenster	Inmissionsschutz, Luftschallschutz, Treibhaus-, Energiefiltereffekt, Tageslicht, Rotznasenarchitektur, Tauwasser
Fensterbrüstungen	WSchV, Fensterbrüstungskrankheit
Wohnungseingangstüren	es wird ein hoher Schallschutz gefordert!
Türen in Arzt- und Anwaltspraxis	relativ hoher Schallschutz sinnvoll

### c) Räume

Nordräume	Nordraumproblematik (Tauwasser)
Kellerräume	Keller-Sommernässe
Gaststätten	es wird ein extrem hoher Schallschutz gefordert!
Kegelbahnen	es wird ein extrem hoher Schallschutz gefordert!

### d) Einrichtungen

Badewannen und Duschen	Badewannenkomplex
Aufstellung von Maschinen	Verstimmungstrick, Massenbedämmung, Luftschallschutz
Aufzüge	besonderer Körperschallschutz

## 6. Denkanstoßlisten für eine Baukonstruktionsanalyse

### 6.2 Kriterien bei der Dämmstoffauswahl

Forderungen und Einwirkungen	geeignete Dämmstoffe
hoher Wärmeschutz	PUR - Schaum
Trittschallschutz	Mineralfaserdämmstoff, PS-Trittschalldämmpl., PE-Schaum
Luftschallschutz (Hohlraumbedämpfung)	Mineralfaserdämmstoff, HWL-Platten mit Luftabstand
Schallabsorption (in Räumen)	Faserdämmstoff, Weich- und Holzfaserplatten, HWL-Platten (unverputzt), PS-Akustikplatten, Bläh-Perlit-Akustikplatten
Feuchtigkeitseinwirkung	Schaumglas, PS-Extruderschaum, PE - Schaum, PUR-Schaum
geeign. als Kerndämmstoff	Perlite, Harnst.-Formaldehydharz-Ortschaum, hydrophobierte Mineralfaserdämmstoffe
geeign. für Umkehrdächer	PS-Extruderschaum, PUR-Ortschaum, hydrophobierte Mineralfaserdämmstoffe
geeign. im Erdreich	Schaumglas, PS-Extruderschaum
Dampfdichtigkeit	Schaumglas, im geringeren Maße auch PS- u. PUR-Schaum
wasserdicht bzw. begrenzte Wasseraufnahme	Schaumglas, PE-, PS- u. PUR - Schaum, hydrophobierte Mineralfaserdämmstoffe
anbetonierbar/verputzbar	HWL-Platten, PS - Schaum u. Schaumglas
nicht brennbar, Baustoffkl. „A“	Mineralfaserdämmstoffe, Schaumglas, Perlite
hohe Lasteinwirkungen	Schaumglas, Kork, bei großflächiger Lasteinleitung auch PS-Extruderschaum
hohe Last- u. Schwingungseinwirkungen	Kork, spezielle Gummi(Schaum)platten
UV - Widerstandsfähigkeit	Schaumglas, Perlite, HWL-Platten, (Mineralfaserd., PS - Schaum)
	(HWL-Platten: Holzwolle-Leichtbauplatten)

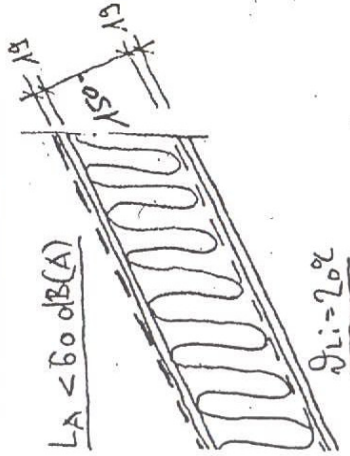


## 6. Denkanstoßlisten für eine Baukonstruktionsanalyse

### 6.3 Bewertungsbogen für Bauteile - Anwendungsbeispiel

Bauteil: Sanierungsfall Dach

Skizze:



Stoff v. i) n. @	m'	$\lambda$	$S_d$
Spanplatte	~ 13		0,95
Alu - Folie			> 1500
Mineralfaserdecke		0,040	0,12
Spanplatte (mögl. Tauwasserebene)			1,9
Dachhaut			960

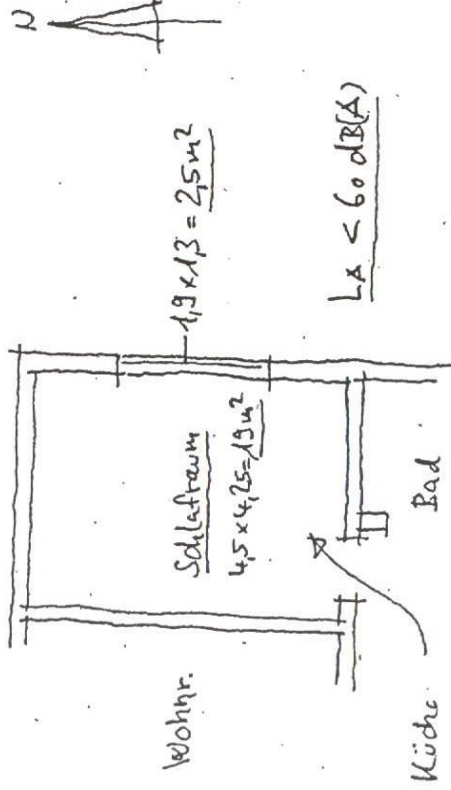
	Wärmeschutzverordnung		DIN 4108		DIN 4109		Brandschutz
	min s +) mm	max k W/(m²K)	minR <sub>g</sub> (m) m²K/W	W <sub>T</sub> W <sub>v</sub> g/m²	R <sub>w,B</sub> dB	L <sub>n,w,R</sub> dB	
erf.		≤ 0,3	1,53	< 500 > W <sub>T</sub>	30	-	-
vorh.		< 0,3	> 3	~ 0 ~ 0	35	-	-
zul.		ja	ja	ja	ja	-	-
Wärmeschutz n. WSch. V., Bauteilverfahren							
Wärmeschutz n. WSchV., A/V Verfahren							
Wärmeschutz n. DIN 4108							
Feuchteschutz TO) Tauwasser an der Bauteilinnenoberfläche							
(n. DIN 4108) TD) Tauwasser im Bauteil d. Diffusion							
TK) Tauwasser im Bauteil d. Konvektion							
TM) Tauwasser durch Morgentau							
FN) Niederschlag (Schlagregenschutz)							
FE) Erdfeuchte / nicht-o. drückendes Wasser							
FS) Schmelz- und Spritzwasserschutz							
FF) Flugschneeschutz							
Austrocknungsmöglichkeit der porösen Bauteilschichten							
Verformungsbelastung für das Bauteil, Ribbildungsrisiko							
UV-Schutz für organische Baustoffe (Kunststoffe u. Holz)							
Frostbeständigkeit von porösen Baustoffen im Außenbereich							
Insekten- und Pilzschutz der Holzwerkstoffe							
Korrosionsschutz für metallische Baustoffe							
Brandschutz n. DIN 4102							
Schallschutz SD) direkte Schallübertragung							
(n. DIN 4109) SL) Schall-Längsleitung							
SR) Schall-Resonanzkopplung							
SH) Schall-Hohlraumübertragung							
+) Wärmeleitfähigkeitsgruppe des Dämmstoffes 040							
*) A ausreichend K kritisch, unzureichend							
O ohne Bedeutung N noch nicht geklärt							

# 6. Denkanstoßlisten für eine Baukonstruktionsanalyse

## 6.4 Bewertungsbogen für Räume - Anwendungsbeispiel

Raum: Schlafraum I. OG

Skizze:



$LA < 60 \text{ dB(A)}$

	Bewertung *)	
	A oder O	K oder N
Belichtung	A	
Besonnung	A	
Fernblick	A	
Querlüftung		
Belüftung mit belasteter Luft		K
Beheizung		K
trockene Konstruktionen	A	
sorptionsfähige Raumausstattung	A	
gehweiche Bodenbeläge	A	
Fußwärme	A	
asymmetrische Wärmebelastung an Aufenthaltsorten		
Zugluft an Aufenthaltsorten		K
Wärmeschutz		
winterlicher Wärmeschutz	A	
sommerlicher Wärmeschutz	A	
gegen Außenlärm	A	
Schallschutz		
Luftschall aus Nachbarwohnungen	A	
Trittschall aus Nachbarwohnungen	A	
Installationsgeräusche aus Nachbarwohnungen	A	
Raumakustik		K
Raumresonanzen	O	
Flatterecho und Diffusität	O	
Bedämpfung	O	
Direktschall	O	
1. Reflexionen	O	
kritische Laufzeitdifferenzen	O	

\*) A ausreichend  
 O ohne Bedeutung  
 K kritisch, unzureichend  
 N noch nicht geklärt



## 6. Denkanstoßlisten für eine Baukonstruktionsanalyse

### Bewertungsbogen für Bauteile

Bauteil: \_\_\_\_\_

Skizze : \_\_\_\_\_

	Wärmeschutzverordnung		DIN 4108			DIN 4109		Brandschutz
	min s +) mm	max k W/(m <sup>2</sup> K)	minR <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> K/W	W <sub>T</sub> g/m <sup>2</sup>	W <sub>V</sub> g/m <sup>2</sup>	t <sub>0</sub> °C	R <sub>w,R</sub> dB	
erf.				>W <sub>T</sub>				
vorh.								
zul.								
Bewertung *)								
						A oder O	K oder N	
Wärmeschutz n. WSch. V., Bauteilverfahren								
Wärmeschutz n. WSch. V., A/V Verfahren								
Wärmeschutz n. DIN 4108								
Feuchteschutz TO) Tauwasser an der Bauteilinnenoberfläche								
(n. DIN 4108) TD) Tauwasser im Bauteil d. Diffusion								
TK) Tauwasser im Bauteil d. Konvektion								
TM) Tauwasser durch Morgentau								
FN) Niederschlag (Schlagregenschutz)								
FE) Erdfeuchte / nicht-o. drückendes Wasser								
FS) Schmelz- und Spritzwasserschutz								
FF) Flugschneeschutz								
Austrocknungsmöglichkeit der porösen Bauteilschichten								
Verformungsbelastung für das Bauteil, Ribbildungsrisiko								
UV-Schutz für organische Baustoffe (Kunststoffe u. Holz)								
Frostbeständigkeit von porösen Baustoffen im Außenbereich								
Insekten- und Pilzschutz der Holzwerkstoffe								
Korrosionsschutz für metallische Baustoffe								
Brandschutz n. DIN 4102								
Schallschutz SD) direkte Schallübertragung								
(n. DIN 4109) SL) Schall-Längsleitung								
SR) Schall-Resonanzkopplung								
SH) Schall-Hohlraumübertragung								
+) Wärmeleitfähigkeitsgruppe des Dämmstoffes 040								
*) A ausreichend K kritisch, unzureichend								
O ohne Bedeutung N noch nicht geklärt								

## 6. Denkanstoßlisten für eine Baukonstruktionsanalyse

Bewertungsbogen für Räume

Raum: \_\_\_\_\_

Skizze : \_\_\_\_\_

	Bewertung *)	
	A oder O	K oder N
Belichtung		
Besonnung		
Fernblick		
Querlüftung		
Belüftung mit belasteter Luft		
Beheizung		
trockene Konstruktionen		
sorptionsfähige Raumausstattung		
gehweiche Bodenbeläge		
Fußwärme		
asymmetrische Wärmebelastung an Aufenthaltsorten		
Zugluft an Aufenthaltsorten		
Wärmeschutz	winterlicher Wärmeschutz	
	sommerlicher Wärmeschutz	
Schallschutz	gegen Außenlärm	
	Luftschall aus Nachbarwohnungen	
	Trittschall aus Nachbarwohnungen	
	Installationsgeräusche aus Nachbarwohnungen	
Raumakustik	Raumresonanzen	
	Flatterecho und Diffusität	
	Bedämpfung	
	Direktschall	
	1. Reflexionen	
	kritische Laufzeitdifferenzen	
*)	A. ausreichend O ohne Bedeutung	K kritisch, unzureichend N noch nicht geklärt



## 7. Literatur

### 7. Literatur

#### 7.1 Literatur zu den bauphysikalischen Grundlagen

Bergmann, Schäfer,

H. Gobrecht:

Lehrbuch der Experimentalphysik, Band I, 10. Aufl.  
Mechanik, Akustik, Wärme, Verlag: Walter de Gruyter, Berlin 1990

Berber, J.:

Bauphysik, Wärmetransport-Feuchtigkeit-Schall. Verlag Handwerk und Technik GmbH, Bernh. Friedr. Voigt (1979)

#### 7.2 Literatur zum Wärme-, Feuchte- und Brandschutz

DIN 4108

Wärmeschutz im Hochbau, Teil 1...5, Ausg. August 1981 und Ausg. Nov. 1991

WSchV

Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden,  
16. August 1994 (BGBl. I S. 2121)

DIN 18 195

Bauwerksabdichtungen, Teil 1...6 und 8...10, Ausg. August 1983  
und Februar 1984

DIN 4102

Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Teil 1...4, Ausg. Mai 1981,  
Sept. 1977, und März 1994

Klopfer, H.

Lehrbuch der Bauphysik, 3. Aufl. Kapitel III, Teubner GmbH, Stuttgart 1994

Kupke, C.

Analyse von Feuchteschäden durch Oberflächenkondensation,  
Gesundheits-Ingenieur 106/1985, Heft I

Siebel, L.

Feuchtigkeit in Wohnungen, DBZ, Heft 9/1989, S. 1171-1176

Siebel, L.

Bemessung von Fenstern aus bauphysikalischer Sicht, DBZ,  
Heft 10/1993, S. 1995 - 1706

Siebel, L.

Bauphysikalische Betrachtungen bei der Altbausanierung, DBZ,  
Heft 1/1995, S. 129 - 133

#### 7.3 Literatur zur Bauteilverformung

DIN 18 530

Massive Deckenkonstruktionen für Dächer, Ausg. März 1987

DIN 1053 Teil I

Mauerwerk, Berechnung und Ausführung, Ausg. Nov. 1996

Pfefferkorn, W.

Konstruktive Planungsgrundsätze für Dachdecken und ihre  
Unterkonstruktionen, Verlagsg. R. Müller GmbH

Schubert u. Wesche Verformung und Rißsicherheit von Mauerwerk, Mauerwerkskalender 85,  
Verlag W. Ernst & Sohn

#### 7.4 Literatur zur Bauakustik

DIN 4109

Schallschutz im Hochbau, Anforderungen und Nachweis, Ausg. Nov. 1989

DIN 4109

Schallschutz im Hochbau, Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren,  
Beiblatt I Ausg. Nov. 1989

- DIN 4109  
Beiblatt 2 Schallschutz im Hochbau, Hinweis für die Planung und Ausführung...,  
Ausg. Nov. 1989
- VDI 3726E Schallschutz bei Gaststätten und Kegelbahnen, 11.81
- Fasold, Sonntag,  
Winkler Bau- und Raumakustik, Verlagsg. R. Müller GmbH, 1987
- Gösele, K. Zur Schalldämmung von doppelschaligen Haustrennwänden,  
DAB 11 (1984), H. 6/84, FBW-Blätter, S. 1473-1476
- Gösele, K. Neues über zweischalige Haustrennwände, Baugewerbe, H. 4/92, S. 27-30
- Siebel, L. Schallschutz und seine Probleme, DBZ, Heft 8/1988, S. 1087-1091
- Siebel, L. Schallschutz-von Decken, DBZ, H. 12/91, S. 1795-1799
- Siebel, L. Schallschutz von Haustrennwänden, DBZ, H. 8/92, S. 1175-1178
- Siebel, L. Beurteilung des Luftschallschutzes im Sanierungsfall,  
Bundesbaublatt H.8/96, S. 617-621

### 7.5 Literatur zur Raumakustik

- Hartmann, G. Praktische Akustik, Band 2, Raum- und Bauakustik,  
R. Oldenburg Verlag München - Wien 1968
- Siebel, L. Methoden zur raumakustischen Planung, TAB 7/77, S. 695-699

### 7.6 Literatur zum Schallimmissionsschutz

- TA Lärm Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm, Ausg. Juli 1968
- VDI 2058 Beurteilung von Arbeitslärm in der Nachbarschaft, Bl.1, Ausg. September 1985
- VDI 2571 Schallabstrahlung von Industriebauten, Ausg. August 1976
- VDI 2714E Schallausbreitung im Freien, Ausg. Dezember 1976
- DIN 18 005 Schallschutz im Städtebau, Teil 1 Ausg. Mai 1987
- RLS-81 Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen, Ausg. Juli 1981
- VDI 2081 Lärminderung bei lüftungstechnischen Anlagen, Ausg. März 1983
- VDI 2567 Schallschutz durch Schalldämpfer, Ausg. September 1971
- VDI 2711 Schallschutz durch Kapselung, Ausg. Juni 1978
- VDI 2720E Schallschutz durch Abschirmung im Freien, Bl. 1, Aug. Februar 1991
- VDI 2719E Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen, Ausg. Sept. 1983
- Verordnung der Bundesregierung über Schallschutzanforderungen nach dem Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm,  
vom 5. April 1974 (BGBl. I S. 903)
- Bericht der Bundesregierung über die Erfahrungen bei der Durchführung des Gesetzes zum Schutz gegen  
Fluglärm vom 30. März 1971 (BGBl. I S. 282)
- Fluglärmbericht - Drucksache 8/2254 - Deutscher Bundestag 8. Wahlperiode