

Leseprobe

Hans-Peter Leimer

Bauphysik / Building Physics

Deutsch / Englisch mit Wörterbuch

ISBN (Buch): 978-3-446-44586-4

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-44586-4>

sowie im Buchhandel.

Inhalt

Content

1	Einführung in die Bauphysik	11	1	Introduction to Building Physics	11
1.1	Welche Gebiete umfasst die Bauphysik?	11	1.1	Which areas does Building Physics include?	11
1.1.1	Wärmeschutz	11	1.1.1	Heat Protection	11
1.1.2	Feuchteschutz	12	1.1.2	Moisture protection	12
1.1.3	Schallschutz	13	1.1.3	Noise Protection	13
1.1.4	Brandschutz	14	1.1.4	Fire Protection	14
2	Wärmeleitung	15	2	Thermal conduction	15
2.1	Definition	15	2.1	Definition	15
2.2	Die stationäre eindimensionale Wärmeleitung durch eine ebene Wand (ohne Wärmequelle)	15	2.2	Steady-state linear thermal conduction through an even wall (without heat source)	15
3	Konvektion	18	3	Convection	18
	Definition	18		Definition	18
	Grundgleichung	18		Principal equation:	18
4	Wärme- oder Temperaturstrahlung	19	4	Thermal radiation	19
4.1	Definition	19	4.1	Definition	19
4.2	Energiebilanz der Strahlung	19	4.2	Energy balance of radiation	19
4.3	Erfassung des Wärmeaustausches bei praktischen Berechnungen	20	4.3	Survey of heat exchange in practical computations	20
5	Wärmedurchgang	23	5	Heat transfer	23
5.1	Der eindimensionale Wärmedurchgang durch eine homogene Wand	23	5.1	Linear heat transfer through a homogenous wall	23
5.2	Der eindimensionale Wärmedurchgang durch ein mehrschichtiges Bauteil	26	5.2	Linear heat transfer through a multilayer construction element	26
5.3	Der eindimensionale Wärmedurchgang durch ein Bauteil mit Luftschichten	26	5.3	Linear heat transfer through a construction element with air layers	26
6	Wärmeübertragungsvorgänge infolge Sonnenstrahlung	28	6	Heat transfer processes due to solar radiation	28
6.1	Allgemeines	28	6.1	General Information	28
6.2	Wärmedurchgang durch nichttrans- parente Bauteile mit Sonnenstrahlung	28	6.2	Heat flow through non-transparent con- struction elements with solar radiation	28
6.3	Wärmedurchgang durch transparente Bauteile mit Sonnenstrahlung	30	6.3	Heat flow through transparent con- struction elements with solar radiation	30
6.4	Treibhauseffekt	32	6.4	Greenhouse effect	32

7	Mindestwärmeschutz	33	7	Minimum thermal protection	33
7.1	Zweck	33	7.1	Purpose	33
7.2	Tauwasserfreiheit der raumseitigen Bauteiloberfläche	33	7.2	Prevention of condensate on interior surfaces	33
7.3	Tauwassergefahr an der Bauteil- oberfläche	35	7.3	analysis of the risk for water condensa- tion at the construction element surface	35
8	Wärmebrücken	36	8	Thermal bridges	36
8.1	Klassifizierung	36	8.1	Classification	36
8.1.1	Materialbedingte Wärme- brücken	36	8.1.1	Material thermal bridges	36
8.1.2	Geometrisch bedingte Wärme- brücken	37	8.1.2	Geometric thermal bridges	37
8.2	Mindestanforderungen an den Wärme- schutz im Bereich von Wärmebrücken ..	37	8.2	Minimum requirements for thermal protection when dealing with thermal bridges	37
	Einzelnachweis zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung	37		Single check to avoid mould fungus formation	37
9	Sommerlicher Wärmeschutz	40	9	Summer thermal protection	40
9.1	Zweck	40	9.1	Purpose	40
9.2	Behaglichkeitsniveau	40	9.2	Comfort level	40
9.3	Der Sonneneintragskennwert	41	9.3	The solar transmittance value	41
10	Thermisch-energetische Simulationsberechnungen für Gebäude	43	10	Thermal-energy simulation calculations for buildings	43
10.1	Grundlagen	43	10.1	Basics	43
10.2	Das Simulationsmodell	45	10.2	The simulation model	45
10.2.1	Das Informationsflussschema	45	10.2.1	Diagram of information flow	45
10.2.2	Außenklimadaten	46	10.2.2	Exterior climate data	46
10.2.3	Modell zur Umrechnung der Strahlungsdaten auf die Flächen- orientierungen	47	10.2.3	Model for converting radiation data to surface orientations	47
10.2.4	Das thermische Modell des Gebäudes	48	10.2.4	Thermal building model	48
10.2.5	Zeitunabhängige Parameter	51	10.2.5	Time-independent parameters ...	51
10.2.6	Zeitabhängige Eingangswerte	52	10.2.6	Time-variable input values	52
10.3	Typische Aufgabenstellungen für eine Gebäudesimulation	53	10.3	Typical tasks for a building simulation ..	53
10.3.1	Klimasimulation für den Sommerfall	53	10.3.1	Climate simulation for the summer	53
10.3.2	Energiediagnosen	54	10.3.2	Energy assessments	54
10.3.3	Weitere Anwendungsfälle	55	10.3.3	Further areas of application	55
10.4	Schlussbemerkung	55	10.4	Final remark	55

<p>11 Bauklimatik 57 Thermodynamik der „Feuchten Luft“ ... 57</p> <p>12 Feuchteschutz 63 12.1 Die Grundstadien des Feuchte- transportes 64 12.2 Baustofffeuchten 66 12.2.1 Sorption 68</p> <p>13 Kapillarleitung 71 13.1 Numerische Ermittlung des Wärme- und Feuchtetransports 74 13.2 Thermische und hygrische Bauteil- simulationsberechnung 75 13.3 Wasserdampfdiffusion 76</p> <p>14 Praktischer Feuchteschutz 81 14.1 Feuchteproduktion in Räumen 81 14.2 Tauwasser in Bauteilen infolge Wasser- dampfkonvektion 82 14.3 Sommerkondensation und Umkehr- diffusion 83 14.4 Schlagregenschutz 83</p> <p>15 Schallschutz 85 15.1 Schwingungen und Wellen 85 15.1.1 Longitudinalwellen (Längswellen) 86 15.1.2 Transversalwellen (Querwellen) .. 87 15.1.3 Dehnwellen 87 15.1.4 BiegeWellen 88 15.2 Ausbreitung und Geschwindigkeit des Schalls 88 15.3 Frequenz f 89 15.4 Wellenlänge λ 90 15.5 Ton, Klang, Geräusch 91 15.6 Schall, Schallschutz 91 15.7 Schalldruck, Schalldruckpegel 92 15.8 Lautstärke 94 15.9 Addition mehrerer Schalldruckpegel 96 15.10 Ausbreitung des Schalls in Luft (freies Schallfeld) 96</p>	<p>11 Building climate control 57 Thermodynamics of “humid air” 57</p> <p>12 Moisture protection 63 12.1 The basic stages of moisture transport .. 64 12.2 Building material moisture content 66 12.2.1 Sorption 68</p> <p>13 Capillary conduction 71 13.1 Numerical determination of heat and moisture transport 74 13.2 Thermal and hygric computer simulation for building components 75 13.3 Water vapour diffusion 76</p> <p>14 Practical moisture protection 81 14.1 Moisture production in rooms 81 14.2 Condensate in construction elements due to water vapour convection 82 14.3 Summer condensation and reverse diffusion 83 14.4 Driving rain protection 83</p> <p>15 Purpose of sound protection 85 15.1 Oscillations and waves 85 15.1.1 Longitudinal waves (l-waves) 86 15.1.2 Transverse waves 87 15.1.3 Quasi-longitudinal waves 87 15.1.4 Bending waves 88 15.2 Diffusion and speed of sound 88 15.3 Frequency f 89 15.4 Wavelength λ 90 15.5 Pure tone, complex sound, noise 91 15.6 Acoustic noise, sound insulation 91 15.7 Acoustic pressure, sound pressure level 92 15.8 Sound volume 94 15.9 Adding several sound levels 96 15.10 Propagation of sound in the air (free sound field) 96</p>
--	--

16 Grundlagen zum Luftschallschutz ..	99	16 Principles for protection against airborne noise ..	99
16.1 Allgemeines	99	16.1 General information	99
16.2 Schalldämm-Maß R, R'	99	16.2 Sound insulation index R, R'	99
16.3 Bewertetes Schalldämm-Maß R_w und R'_w	102	16.3 Weighted sound insulation index R_w and R'_w	102
16.4 Subjektive Wirkung der Schalldämmung	103	16.4 Subjective effect of sound insulation	103
16.5 Abschätzung des Schallpegels im leisen Raum	104	16.5 Appraising the sound level in a quiet room	104
16.6 Zusammenwirken von Flächenanteilen mit unterschiedlicher Schalldämmung ($R'_{w\text{ res}}$)	105	16.6 Interrelation of area portions with different sound insulation ($R'_{w\text{ res}}$)	105
16.7 Grenzfrequenz, biegesteife Bauteile, biege weiche Schalen	106	16.7 Cut-off frequency, rigid construction components, flexible shells	106
16.8 Resonanzfrequenz zweischaliger Bauteile	109	16.8 Resonance frequency of double-layer construction elements	109
17 Grundlagen zum Trittschallschutz	111	17 Principles of impact sound protection	111
17.1 Allgemeines	111	17.1 General information	111
17.2 Normtrittschallpegel L_n	111	17.2 Normalized impact sound pressure level L_n	111
17.3 Bewerteter Normtrittschallpegel $L_{n,w}$	112	17.3 Evaluated normalized impact sound pressure level $L_{n,w}$	112
17.4 Trittschallverbesserungsmaß DL_w von Deckenauflagen	113	17.4 Impact sound level reduction DL_w of floor coverings	113
17.5 Äquivalenter bewerteter Normtrittschallpegel $L_{n,w,eq}$	114	17.5 Equivalent assessed normalized impact sound pressure level $L_{n,w,eq}$	114
17.6 Normtrittschallpegel von Massivdecken	115	17.6 Normalized impact sound pressure level of solid floors	115
18 Grundlagen zum Schallimmissions- und Schallemissionsschutz	116	18 Principles of protection against sound immission and emission	116
18.1 Immissionsgleichung	116	18.1 Immission equation	116
18.2 Emissionsgrößen und ungestörte Schallausbreitung	117	18.2 Emission values and uninterrupted sound propagation	117
18.3 Einwirkungen auf die Schallausbreitung	119	18.3 Influences on sound propagation	119
18.4 Zeiteinflüsse	122	18.4 Influences of time	122
19 Anforderungen an den Schallschutz	123	19 Requirements for sound protection	123
19.1 Vorbemerkung	123	19.1 Preliminary remark	123
19.2 Anforderungen an den Schallschutz im Inneren von Gebäuden	124	19.2 Requirements for sound protection in building interiors	124
19.2.1 Allgemeines	124	19.2.1 General information	124
19.2.2 Mindestanforderungen an die Luftschalldämmung in Wohngebäuden	126	19.2.2 Minimum requirements for airborne sound insulation in residential buildings	126

19.2.3 Mindestanforderungen an die Trittschalldämmung in Wohngebäuden 126

19.3 Anforderungen an den Schallschutz gegen Geräusche aus haustechnischen Anlagen und Betrieben 127

19.4 Anforderungen an den Schallschutz gegen Außenlärm 128

19.4.1 Grundlagen 128

19.4.2 Anforderungen an die Luftschalldämmung von Außenbauteilen . . . 130

19.4.3 Schallschutz gegen Fluglärm 131

20 Nachweis des geforderten Schallschutzes 132

20.1 Nachweis mit bauakustischen Messungen (Eignungsprüfungen) 132

20.2 Nachweis ohne bauakustische Messungen 133

20.3 Luftschalldämmung von massiven Außenbauteilen 134

20.3.1 Rechenwerte $R'_{w,R}$ 134

20.3.2 Ermittlung der Masse m' 136

20.4 Luftschalldämmung von leichten Außenbauteilen mit biegeweichen Schalen 137

20.4.1 Allgemeines Verhalten 137

20.4.2 Rechenwerte $R'_{w,R}$ 138

20.5 Luftschalldämmung von Fenstern 140

20.6 Luftschalldämmung von Innenbauteilen 141

20.6.1 Allgemeines 141

20.6.2 Luftschalldämmung von Innenbauteilen in Massivbauart 143

20.6.3 Luftschalldämmung von zweischaligen Gebäudetrennwänden . . 147

20.7 Luftschalldämmung von Innenbauteilen in Holz- und Skelettbauart 148

20.7.1 Allgemeines 148

20.7.2 Nachweis 148

 Nachweis analog Massivbauart (vgl. 20.6.2) 148

 Vereinfachter Nachweis 149

 Genauerer Nachweis 149

20.7.3 Rechenwerte 151

19.2.3 Minimum requirements for impact sound insulation in residential buildings 126

19.3 Requirements for sound protection against noises from building service installations and systems 127

19.4 Requirements for sound protection against outside noise 128

19.4.1 Basic information 128

19.4.2 Requirements for the airborne sound insulation of exterior construction elements 130

19.4.3 Sound protection against aircraft noise 131

20 Testing the required sound protection 132

20.1 Testing with building acoustic measurements (suitability tests) 132

20.2 Testing without building acoustic measurements 133

20.3 Airborne sound insulation of heavy exterior construction elements 134

20.3.1 Calculated values $R'_{w,R}$ 134

20.3.2 Determining m' 136

20.4 Airborne sound insulation of lightweight exterior construction elements with flexible shells 137

20.4.1 General behavior 137

20.4.2 Calculated values $R'_{w,R}$ 138

20.5 Airborne sound insulation of windows . . 140

20.6 Airborne sound insulation of interior construction elements 141

20.6.1 General information 141

20.6.2 Airborne sound insulation of interior construction elements in solid constructions 143

20.6.3 Airborne sound insulation of double-shell building partition walls 147

20.7 Airborne sound insulation of interior construction elements in timber wood and frame constructions 148

20.7.1 General information 148

20.7.2 Testing 148

 Testing analogous to solid constructions (see 20.6.2) 148

20.8 Trittschallschutz von Decken	153	Simplified testing	149
20.8.1 Nachweis	153	More precise testing	149
20.8.2 Rechenwerte	154	20.7.3 Calculated values	151
20.9 Schutz vor Körperschall aus haus- technischen Anlagen	156	20.8 Impact sound protection of floors/ceilings	153
		20.8.1 Testing	153
		20.8.2 Calculated values	154
		20.9 Protection against structure-borne sound from building service installations	156
Fachwörterbuch	161	Subjectdictionary	161

1

Einführung in die Bauphysik Introduction to Building Physics

■ 1.1 Welche Gebiete umfasst die Bauphysik?

1.1.1 Wärmeschutz

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

Die Aufgabengebiete sind

- der Mindestwärmeschutz
- der energiesparende Wärmeschutz und
- der sommerliche Wärmeschutz.

■ 1.1 Which areas does Building Physics include?

1.1.1 Heat Protection

The tasks related to the area of heat protection include the selection, dimensioning, and detail planning of heat insulation measures in winter and summer for new and old buildings, as well as for the restoration of historical buildings. The introduction of the new German Energy Savings Regulation (EnEV) necessitates a more varied planning of buildings from a structural point of view. In this regard, it is essential to take manufacturing and maintenance costs into account in order to optimise the heat demand and energy behaviour of the building, and thus to bring the structural elements into agreement with the current relevant requirements and standards, while also considering matters related to structural design and (if appropriate) preservation.

The tasks involve/encompass:

- Minimum heat protection
- Energy-saving heat protection and
- Heat protection in summer.

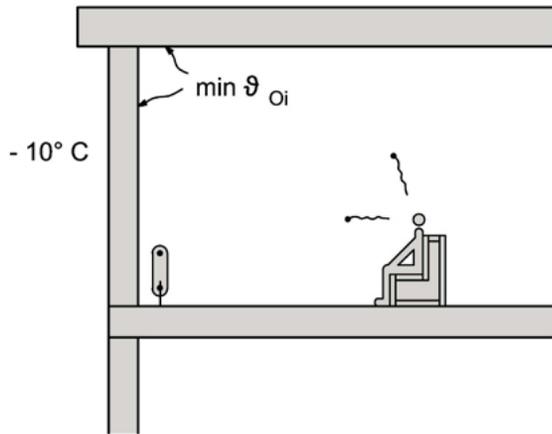


Bild 1.1 Wärmeschutz eines Gebäudes

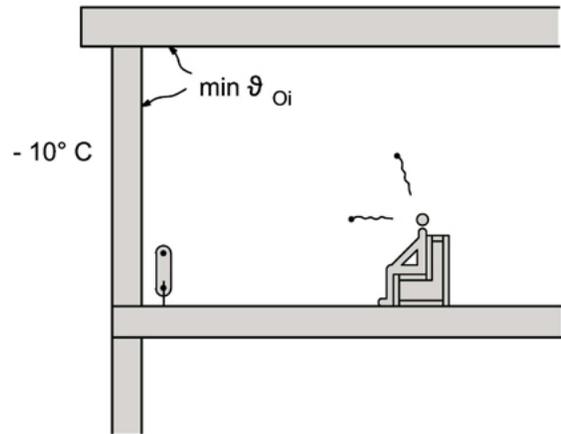


Figure 1.1 Heat protection of a building

Mindestwärmeschutz der Bauteile bedeutet die Gewährleistung einer Mindest-Oberflächentemperatur, damit

- kein Tauwasseranfall auf der Bauteiloberfläche anfällt (Feuchteschutz)
- kein Schimmelpilzwachstum an der raumseitigen Bauteiloberfläche begünstigt und
- die Behaglichkeit im Raum gewährleistet wird.

Energiesparender Wärmeschutz des Gebäudes bedeutet

- Verbesserung des Umweltschutzes und
- Reduzierung von Energiekosten.

1.1.2 Feuchteschutz

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

Es ist erforderlich, die Feuchtebeanspruchung an das Gebäude, z. B. mittels dimensionierter Dränagen und geplanter Abdichtungsmaßnahmen zu reduzieren. Mit der Beurteilung des Schlagregenschutzes von Außenbauteilen und der Bestimmung des Tauwasseranfalls auf der raumseitigen Wandoberfläche bei schlecht wärmegeämmten Außenbauteilen, hier zumeist im Bereich von Wärmebrücken, kann ein feuchtetechnisch einwandfreies Gebäude konzipiert

The minimum heat protection of the structural elements means a minimum surface temperature such that

- No condensation develops on the surface of the structure (moisture protection)
- No mould fungus formation on inner surfaces
- The space is comfortable.

Energy-saving heat protection of the building means

- Improved environmental protection and
- Reduced energy costs.

1.1.2 Moisture protection

Evaluating the adverse effects of moisture on a building and preventing damages to its basic structure are the fundamental problems in building physics.

It therefore becomes necessary to reduce of moisture in buildings – for example, by means of dimensioned drainage systems and planned insulation measures. A hygrically sound building can be designed by appraising the outer structural elements for their protection against driving rain and by determining the susceptibility of the interior wall surface to moisture condensation in cases where the exterior elements are badly (here mostly in the area of thermal bridges).

werden. Grundlage jeder Berechnung sind hierbei die kapillar-, diffusions- und wärmetechnischen Eigenschaften der Baustoffe.

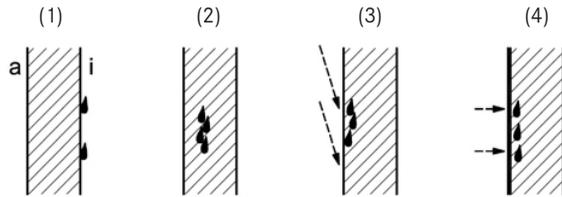


Bild 1.2 Tauwasserschutz (Oberfläche, Querschnitt)

In this context, the basis of each calculation depends on the capillary, diffusion, and thermal characteristics of the construction materials.

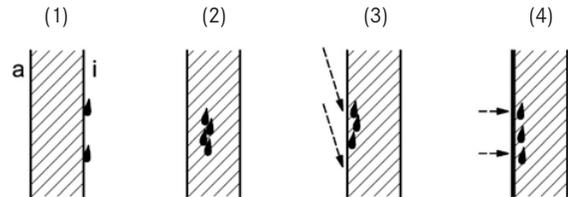


Figure 1.2 Condensation protection (surface, cross-section)

Feuchteschutz der Bauteile bedeutet Vermeidung von Bauschäden infolge

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

1.1.3 Schallschutz

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

Auf dem Gebiet des Immissionsschutzes werden die z. B. durch Verkehrslärm, Sport- und Freizeiteinrichtungen entstehenden Emissionen erfasst und beurteilt. Auf der Grundlage dieser Ergebnisse können erforderliche Lärmschutzmaßnahmen entwickelt und dimensioniert werden.

Moisture protection of the prefabricated parts results in the prevention of building damages due to

- Condensation at the surface (1), or
- Condensation in the cross-section (2),
- Precipitation (3),
- Moisture from soil or adjoining moist materials (4).

1.1.3 Noise Protection

The field of noise protection comprises the engineering tasks related to building acoustics and room acoustics. In addition to sonic planning, the measurement and review of the airborne as well as the impact sound level of the construction elements are of primary importance. The regulation of the room acoustics is achieved analytically or by means of simulation calculations.

In the area of sound pollution protection, the emissions resulting for example from traffic noise, sport and recreation facilities are determined and evaluated. Based on these results, the necessary noise protection measures can be developed and dimensioned.

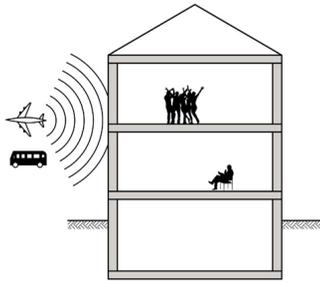


Bild 1.3 Schallschutz in Gebäuden

Schallschutz der Bauteile bedeutet Schutz der Gesundheit und die Gewährleistung der Behaglichkeit der Bewohner

- bei Außenlärm sowie
- bei Lärm im Gebäudeinnern.

1.1.4 Brandschutz

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

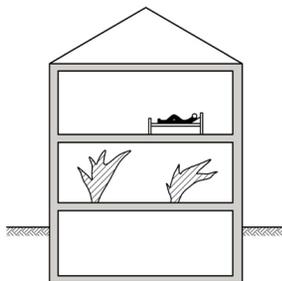


Bild 1.4 Brandschutz der Konstruktion bedeutet: Sicherheit der Bewohner, Schutz von Sachwerten

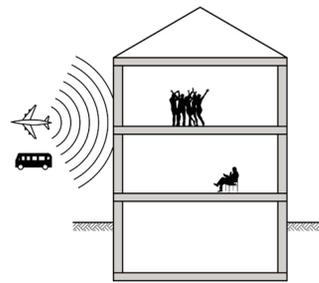


Figure 1.3 Noise protection in buildings

Noise protection of the construction elements results in the health and comfort of the inhabitants

- Amid outside noise as well as
- Amid noise from within the building.

1.1.4 Fire Protection

The main task for a fire-protected development of buildings is the formulation of an integrated fire protection concept. The optimisation of the whole concept primarily depends on a consideration of the various rules and regulations, norms and guidelines in coordination with the parties involved, without neglecting safety-related demands. In this respect, fire safety measures such as the preparation of evacuation and rescue plans for people, as well as plans for the safeguarding of valuable fixtures and furnishings in historic buildings complete the concept.

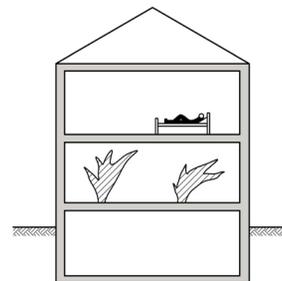


Figure 1.4 Protecting the construction against fire results in safety for the inhabitants and protection of valuables,

2

Wärmeleitung Thermal conduction

■ 2.1 Definition

Wärmeleitung ist Energietransport durch atomaren und molekularen Impulsaustausch unterstützt durch Elektronendiffusion bei Metallen. Wärmeleitung tritt in festen, flüssigen und gasförmigen Medien auf. Bei flüssigen und gasförmigen Medien beinhaltet der Wärmetransport Leitung und Konvektion. Im Vakuum kann keine Wärmeleitung stattfinden.

■ 2.1 Definition

Thermal conduction is the transmission of energy through an exchange of atomic and molecular impulses, supported by electron diffusion in metals. Thermal conduction occurs in solid, liquid, and gaseous media. Heat transmission through liquid and gaseous media contains conduction and convection. No thermal conduction can take place in a vacuum.

■ 2.2 Die stationäre eindimensionale Wärmeleitung durch eine ebene Wand (ohne Wärmequelle)

Der stationäre Fall ist ein Sonderfall, für den gilt:

$$\rho \cdot c \frac{\partial \cdot \theta}{\partial \cdot t} = 0 \quad (2-1)$$

Diese Vereinfachung ist zulässig, wenn es sich um Baustoffe handelt, die aufgrund ihrer Materialeigenschaften oder ihrer Bauteildicke eine geringe Speicherkapazität besitzen (z. B. Fensterglas oder Dämmstoff) oder die zeitliche Temperaturänderung gering ist. Bei Nachweisberechnungen zum winterlichen Wärmeschutz darf stationär gerechnet werden, da bei einem Nachweis immer vom ungünstigsten Fall ausgegangen wird ($\theta_e = -15^\circ\text{C}$, keine Sonnenstrahlung). Bei Berechnungen zum Heizenergiebedarf ist der stationäre Fall zulässig, wenn mit täglichen, monatlichen oder jährlichen Mittelwerten gerechnet wird.

■ 2.2 Steady-state linear thermal conduction through an even wall (without heat source)

The steady-state case is a special case, to which the following holds:

$$\rho \cdot c \frac{\partial \cdot \theta}{\partial \cdot t} = 0 \quad (2-1)$$

This simplification is permissible when dealing with building materials that possess a small storage capability due to their material properties or their thickness (e. g., window glass or insulating material), or when the seasonal temperature change is small. It is acceptable to perform an analysis of winter thermal protection according to the steady state, since in a proof the most unfavourable case ($\theta_e = -15^\circ\text{C}$, no solar radiation) is always assumed. When calculating heating requirements, the steady-state case is permissible when average daily, monthly or annual values are taken into account.

Für den eindimensionalen Fall gilt:

$$\frac{\partial^2 \cdot \theta}{\partial \cdot y^2} = 0; \quad \frac{\partial^2 \cdot \theta}{\partial \cdot z^2} = 0 \quad (2-2)$$

Bei der Betrachtung einer ebenen Wand ist diese Vereinfachung zulässig, da nach dem FOURIERSCHEN Erfahrungsgesetz der Wärmestrom immer die Richtung des größten Temperaturgefälles besitzt.

Die FOURIERSCHE Differenzialgleichung reduziert sich zu

$$\lambda \frac{\partial^2 \cdot \theta}{\partial \cdot x^2} = 0 \quad (2-3)$$

Auflösung:

1. Integration: $\frac{d\theta}{dx} = C_1$

2. Integration: $\theta = C_1 x + C_2$
(linearer Temperaturverlauf)

1. Randbedingung: $\theta(x=0) = \theta_1 \Rightarrow C_2 = \theta_1$

2. Randbedingung: $\theta(x=d) = \theta_2 \Rightarrow C_1 = \frac{\theta_2 - \theta_1}{d};$
 $d \dots$ Wanddicke

$$\Rightarrow \theta(x) = \theta_1 + \frac{\theta_2 - \theta_1}{d} \cdot x$$

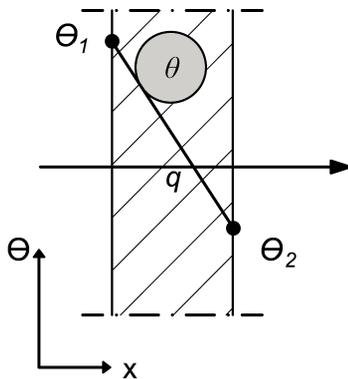


Bild 2.1 Die stationäre eindimensionale Wärmeleitung durch eine ebene Wand (ohne Wärmequelle)

The following formula holds for the linear case:

$$\frac{\partial^2 \cdot \theta}{\partial \cdot y^2} = 0; \quad \frac{\partial^2 \cdot \theta}{\partial \cdot z^2} = 0 \quad (2-2)$$

This simplification is permissible when dealing with an even wall, since according to Fourier's law, the heat flow always takes the direction of the largest temperature gradient.

Fourier's law can be expressed as:

$$\lambda \frac{\partial^2 \cdot \theta}{\partial \cdot x^2} = 0 \quad (2-3)$$

Resolution:

First integration: $\frac{d\theta}{dx} = C_1$

Second integration: $\theta = C_1 x + C_2$
(linear temperature gradation)

First boundary condition: $\theta(x=0) = \theta_1 \Rightarrow C_2 = \theta_1$

Second boundary condition:
 $\theta(x=d) = \theta_2 \Rightarrow C_1 = \frac{\theta_2 - \theta_1}{d};$
 $d \dots$ thickness of the wall

$$\Rightarrow \theta(x) = \theta_1 + \frac{\theta_2 - \theta_1}{d} \cdot x$$

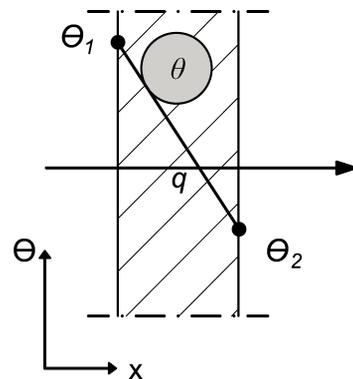


Figure 2.1 Steady-state linear thermal conduction through an even wall (without heat source)

Das FOURIERSche Erfahrungsgesetz der Wärmeleitung wird wie folgt beschrieben:

$$\Phi_{\text{cd}} = -\lambda \frac{d\theta}{dx} \cdot A \quad (2-4)$$

Minuszeichen bedeutet: Der Wärmestrom ist dem Temperaturgradienten entgegengerichtet (siehe Bild 2.1)

Φ_{cd} ... Wärmestrom infolge Wärmeleitung in W

Häufig verwendet man den auf eine Fläche bezogenen Wärmestrom, die sogenannte Wärmestromdichte

$$q_{\text{cd}} = -\lambda \frac{d\theta}{dx} \quad (2-5)$$

q_{cd} ... Wärmestromdichte in W/m^2

The heat flow is described mathematically by Fourier's law of thermal conduction:

$$\Phi_{\text{cd}} = -\lambda \frac{d\theta}{dx} \cdot A \quad (2-4)$$

Minus sign means: The heat flow occurs in the opposite direction of the temperature gradient (see sketch above)

Φ_{cd} ... Heat flow due to thermal conduction in W

Frequently one measures the heat flow through a given surface. This heat flow density is expressed as

$$q_{\text{cd}} = -\lambda \frac{d\theta}{dx} \quad (2-5)$$

q_{cd} ... Heat flow density in W/m^2