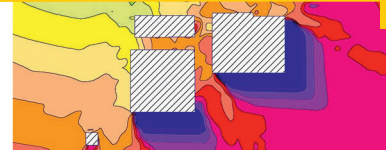
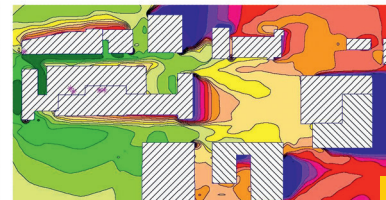
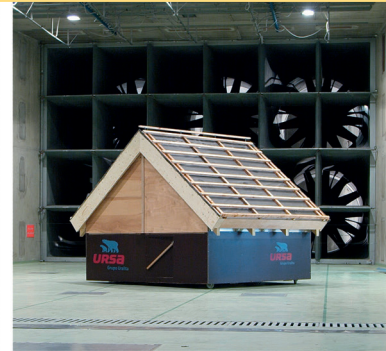
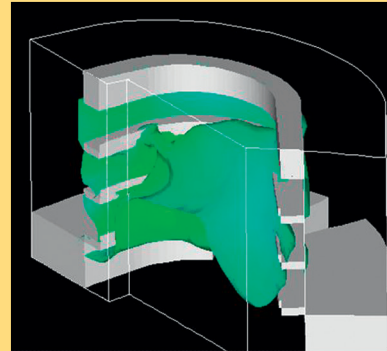


Hans-Peter Leimer

# Bauphysik / Building Physics / 建筑物理

Deutsch / Englisch / Chinesisch mit Wörterbuch



HANSER



---

# Lehrbücher des Bauingenieurwesens

Dallmann • *Baustatik*

Band 1: Berechnung statisch bestimmter Tragwerke

Band 2: Berechnung statisch unbestimmter Tragwerke

Band 3: Theorie II. Ordnung und computerorientierte Methoden der Stabtragwerke

Engel/Lauer • *Einführung in die Boden- und Felsmechanik*

Engel/Al-Akel • *Einführung in den Erd-, Grund- und Dammbau*

Fouad/Zapke • *Bauwesen Taschenbuch*

Freimann • *Hydraulik für Bauingenieure*

Göttsche/Petersen • *Festigkeitslehre – klipp und klar  
für Studierende des Bauingenieurwesens*

Jochim/Lademann • *Planung von Bahnanlagen*

Krawietz/Heimke • *Physik im Bauwesen*

Malpricht • *Schalungsplanung*

Proporowitz (Hrsg.) • *Baubetrieb – Bauverfahren*

Proporowitz (Hrsg.) • *Baubetrieb – Bauwirtschaft*

Prüser • *Konstruieren im Stahlbetonbau 1*

Prüser • *Konstruieren im Stahlbetonbau 2*

Rjasanowa • *Mathematik für Bauingenieure*

Rjasanowa • *Mathematische Modelle im Bauingenieurwesen*

---

Hans-Peter Leimer

**Bauphysik**  
**Building Physics**  
**建筑物理**

Deutsch / Englisch / Chinesisch mit Wörterbuch



**Fachbuchverlag Leipzig**  
im Carl Hanser Verlag

---

**Autor**

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer  
Professor für Bauphysik  
HAWK Hildesheim/Germany  
Hefei University - Anhui/China  
www.building-physics.net  
info@building-physics.net



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN: 978-3-446-44359-4

E-Book-ISBN: 978-3-446-44586-4

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag

© 2016 Carl Hanser Verlag München

Internet: <http://www.hanser-fachbuch.de>

Lektorat: Philipp Thorwirth

Herstellung: Franziska Kaufmann

Coverconcept: Marc Müller-Bremer, [www.rebranding.de](http://www.rebranding.de), München

Coverrealisierung: Stephan Rönigk

Druck und Bindung: Kösel, Krugzell

Printed in Germany

# Inhalt

## Content

### 内容

<b>1 Einführung in die Bauphysik</b> . . . . .	11	<b>1 Introduction to Building Physics</b> . . . . .	11	<b>1 建筑物理简介</b> . . . . .	11
1.1 Welche Gebiete umfasst die Bauphysik?	11	1.1 Which areas does Building Physics include?	11	1.1 建筑物理包含哪些方面?	11
1.1.1 Wärmeschutz . . . . .	11	1.1.1 Heat Protection . . . . .	11	1.1.1 保温 . . . . .	11
1.1.2 Feuchteschutz . . . . .	12	1.1.2 Moisture protection . . . . .	12	1.1.2 防潮 . . . . .	12
1.1.3 Schallschutz . . . . .	13	1.1.3 Noise Protection . . . . .	13	1.1.3 隔声 . . . . .	13
1.1.4 Brandschutz . . . . .	14	1.1.4 Fire Protection . . . . .	14	1.1.4 防火 . . . . .	14
<b>2 Wärmeleitung</b> . . . . .	15	<b>2 Thermal conduction</b> . . . . .	15	<b>2 热传导</b> . . . . .	15
2.1 Definition . . . . .	15	2.1 Definition . . . . .	15	2.1 定义 . . . . .	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	2.2 通过均质墙体的一维固定态热传导 (无热源) . . . . .	15
<b>3 Konvektion</b> . . . . .	18	<b>3 Convection</b> . . . . .	18	<b>3 热对流</b> . . . . .	18
Definition . . . . .	18	Definition . . . . .	18	定义 . . . . .	18
Grundgleichung . . . . .	18	Principal equation: . . . . .	18	基础方程 . . . . .	18
<b>4 Wärme- oder Temperaturstrahlung</b>	19	<b>4 Thermal radiation</b> . . . . .	19	<b>4 热辐射或者温度辐射</b> . . . . .	19
4.1 Definition . . . . .	19	4.1 Definition . . . . .	19	4.1 定义 . . . . .	19
4.2 Energiebilanz der Strahlung . . . . .	19	4.2 Energy balance of radiation . . . . .	19	4.2 辐射的能量平衡 . . . . .	19
4.3 Erfassung des Wärmeaustausches bei praktischen Berechnungen . . . . .	20	4.3 Survey of heat exchange in practical computations . . . . .	20	4.3 热交换的实际计算 . . . . .	20
<b>5 Wärmedurchgang</b> . . . . .	23	<b>5 Heat transfer</b> . . . . .	23	<b>5 热传导</b> . . . . .	23
5.1 Der eindimensionale Wärmedurchgang durch eine homogene Wand . . . . .	23	5.1 Linear heat transfer through a homogenous wall . . . . .	23	5.1 在均质墙体的一维热传导 . . . . .	23
5.2 Der eindimensionale Wärmedurchgang durch ein mehrschichtiges Bauteil . . . . .	26	5.2 Linear heat transfer through a multilayer construction element . . . . .	26	5.2 多层材料建筑构件的一维热传导 . . . . .	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	5.3 通过有空气层的墙体的一维热传导 . . . . .	26
<b>6 Wärmeübertragungsvorgänge infolge Sonnenstrahlung</b> . . . . .	28	<b>6 Heat transfer processes due to solar radiation</b> . . . . .	28	<b>6 太阳辐射的热传递过程</b> . . . . .	28
6.1 Allgemeines . . . . .	28	6.1 General Information . . . . .	28	6.1 概述 . . . . .	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	6.2 通过不透明建筑构件的太阳辐射的 热传导 . . . . .	28
6.3 Wärmedurchgang durch transparente Bauteile mit Sonnenstrahlung . . . . .	30	6.3 Heat flow through transparent con- struction elements with solar radiation . . . . .	30	6.3 太阳辐射下通过透明建筑构件的 热传导 . . . . .	30
6.4 Treibhauseffekt . . . . .	32	6.4 Greenhouse effect . . . . .	32	6.4 温室效应 . . . . .	32

<b>7</b>	<b>Mindestwärmeschutz</b> .....	33	<b>7</b>	<b>Minimum thermal protection</b> .....	33	<b>7</b>	<b>最低热防护</b> .....	33
7.1	Zweck .....	33	7.1	Purpose .....	33	7.1	目的 .....	33
7.2	Tauwasserfreiheit der raumseitigen Bauteiloberfläche .....	33	7.2	Prevention of condensate on interior surfaces .....	33	7.2	室内建筑构件表面的结露 .....	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	7.3	以对于建筑构件表面的冷凝水 .....	35
<b>8</b>	<b>Wärmebrücken</b> .....	36	<b>8</b>	<b>Thermal bridges</b> .....	36	<b>8</b>	<b>热桥</b> .....	36
8.1	Klassifizierung .....	36	8.1	Classification .....	36	8.1	类别 .....	36
8.1.1	Materialbedingte Wärme- brücken .....	36	8.1.1	Material thermal bridges .....	36	8.1.1	材料 – 热桥 .....	36
8.1.2	Geometrisch bedingte Wärme- brücken .....	37	8.1.2	Geometric thermal bridges .....	37	8.1.2	几何性热桥 .....	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	8.2	建筑热桥的热防护的最小要求 .....	37
	Einzelnachweis zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung .....	37		Single check to avoid mould fungus formation .....	37		避免产生霉菌的证明 .....	37
<b>9</b>	<b>Sommerlicher Wärmeschutz</b> .....	40	<b>9</b>	<b>Summer thermal protection</b> .....	40	<b>9</b>	<b>夏季隔热</b> .....	40
9.1	Zweck .....	40	9.1	Purpose .....	40	9.1	目标 .....	40
9.2	Behaglichkeitsniveau .....	40	9.2	Comfort level .....	40	9.2	舒适水平 .....	40
9.3	Der Sonneneintragskennwert .....	41	9.3	The solar transmittance value .....	41	9.3	太阳能透过量 .....	41
<b>10</b>	<b>Thermisch-energetische Simulationsberechnungen für Gebäude</b> .....	43	<b>10</b>	<b>Thermal-energy simulation calculations for buildings</b> .....	43	<b>10</b>	<b>建筑物热能模拟计算</b> .....	43
10.1	Grundlagen .....	43	10.1	Basics .....	43	10.1	基础知识 .....	43
10.2	Das Simulationsmodell .....	45	10.2	The simulation model .....	45	10.2	模拟模型 .....	45
10.2.1	Das Informationsflussschema .....	45	10.2.1	Diagram of information flow .....	45	10.2.1	信息流系统图 .....	45
10.2.2	Außenklimadaten .....	46	10.2.2	Exterior climate data .....	46	10.2.2	室外环境数据 .....	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	10.2.3	辐射转换成面数据模型 .....	47
10.2.4	Das thermische Modell des Gebäudes .....	48	10.2.4	Thermal building model .....	48	10.2.4	建筑热模型 .....	48
10.2.5	Zeitunabhängige Parameter .....	51	10.2.5	Time-independent parameters .....	51	10.2.5	不受时间限制的参数 .....	51
10.2.6	Zeitabhängige Eingangswerte .....	52	10.2.6	Time-variable input values .....	52	10.2.6	时间变量输入 .....	52
10.3	Typische Aufgabenstellungen für eine Gebäudesimulation .....	53	10.3	Typical tasks for a building simulation ..	53	10.3	建筑物模拟的典型任务 .....	53
10.3.1	Klimasimulation für den Sommerfall .....	53	10.3.1	Climate simulation for the summer .....	53	10.3.1	夏季的气候模拟 .....	53
10.3.2	Energiediagnosen .....	54	10.3.2	Energy assessments .....	54	10.3.2	能耗诊断 .....	54
10.3.3	Weitere Anwendungsfälle .....	55	10.3.3	Further areas of application .....	55	10.3.3	其他应用领域 .....	55
10.4	Schlussbemerkung .....	55	10.4	Final remark .....	55	10.4	总结 .....	55

<b>11 Bauklimatik</b> .....	57	<b>11 Building climate control</b> .....	57	<b>11 建筑环境</b> .....	57
Thermodynamik der „Feuchten Luft“ ..	57	Thermodynamics of “humid air” .....	57	潮湿空气的热动力学 .....	57
<b>12 Feuchteschutz</b> .....	63	<b>12 Moisture protection</b> .....	63	<b>12 防潮</b> .....	63
12.1 Die Grundstadien des Feuchte-		12.1 The basic stages of moisture transport ..	64	12.1 水气运动的原理 .....	64
transportes .....	64	12.2 Building material moisture content .....	66	12.2 建筑材料湿度 .....	66
12.2 Baustofffeuchten .....	66	12.2.1 Sorption .....	68	12.2.1 吸着作用 .....	68
12.2.1 Sorption .....	68				
<b>13 Kapillarleitung</b> .....	71	<b>13 Capillary conduction</b> .....	71	<b>13 毛细传输</b> .....	71
13.1 Numerische Ermittlung des Wärme-		13.1 Numerical determination of heat and		13.1 热量和水气传输的数值研究 .....	74
und Feuchtetransports .....	74	moisture transport .....	74	13.2 建筑构件热和湿度模拟计算 .....	75
13.2 Thermische und hygrische Bauteil-		13.2 Thermal and hygric computer simulation		13.3 水蒸气扩散 .....	76
simulationsberechnung .....	75	for building components .....	75		
13.3 Wasserdampfdiffusion .....	76	13.3 Water vapour diffusion .....	76		
<b>14 Praktischer Feuchteschutz</b> .....	81	<b>14 Practical moisture protection</b> .....	81	<b>14 实际中的防潮</b> .....	81
14.1 Feuchteproduktion in Räumen .....	81	14.1 Moisture production in rooms .....	81	14.1 室内潮湿的产生 .....	81
14.2 Tauwasser in Bauteilen infolge Wasser-		14.2 Condensate in construction elements		14.2 由于水蒸气对流在建筑部件内产生	
dampfkonvektion .....	82	due to water vapour convection .....	82	的露水 .....	82
14.3 Sommerkondensation und Umkehr-		14.3 Summer condensation and reverse		14.3 夏季冷凝和反扩散 .....	83
diffusion .....	83	diffusion .....	83	14.4 防暴雨 .....	83
14.4 Schlagregenschutz .....	83	14.4 Driving rain protection .....	83		
<b>15 Schallschutz</b> .....	85	<b>15 Purpose of sound protection</b> .....	85	<b>15 隔音的目的</b> .....	85
15.1 Schwingungen und Wellen .....	85	15.1 Oscillations and waves .....	85	15.1 振动与波 .....	85
15.1.1 Longitudinalwellen (Längswellen)	86	15.1.1 Longitudinal waves (l-waves) .....	86	15.1.1 一纵波 (长波) .....	86
15.1.2 Transversalwellen (Querwellen) ..	87	15.1.2 Transverse waves .....	87	15.1.2 横向波 (横波) .....	87
15.1.3 Dehnwellen .....	87	15.1.3 Quasi-longitudinal waves .....	87	15.1.3 伸展波 .....	87
15.1.4 Biegewellen .....	88	15.1.4 Bending waves .....	88	15.1.4 弯曲波 .....	88
15.2 Ausbreitung und Geschwindigkeit		15.2 Diffusion and speed of sound .....	88	15.2 声音的传播与速度 .....	88
des Schalls .....	88	15.3 Frequency $f$ .....	89	15.3 频率 $f$ .....	89
15.3 Frequenz $f$ .....	89	15.4 Wavelength $\lambda$ .....	90	15.4 波长 $\lambda$ .....	90
15.4 Wellenlänge $\lambda$ .....	90	15.5 Pure tone, complex sound, noise .....	91	15.5 声音, 敲击声, 噪音 .....	91
15.5 Ton, Klang, Geräusch .....	91	15.6 Acoustic noise, sound insulation .....	91	15.6 声波, 隔音 .....	91
15.6 Schall, Schallschutz .....	91	15.7 Acoustic pressure, sound pressure level	92	15.7 声压, 音级 .....	92
15.7 Schalldruck, Schalldruckpegel .....	92	15.8 Sound volume .....	94	15.8 响度 .....	94
15.8 Lautstärke .....	94	15.9 Adding several sound levels .....	96	15.9 增加声压 .....	96
15.9 Addition mehrerer Schalldruckpegel .....	96	15.10 Propagation of sound in the air		15.10 声音在空气中传播 (自由声场) .....	96
15.10 Ausbreitung des Schalls in Luft		(free sound field) .....	96		
(freies Schallfeld) .....	96				

<b>16 Grundlagen zum Luftschallschutz</b> .. 99	<b>16 Principles for protection against airborne noise</b> ..... 99	<b>16 空气的隔音基础知识</b> ..... 99
16.1 Allgemeines ..... 99	16.1 General information ..... 99	16.1 概述 ..... 99
16.2 Schalldämm-Maß $R, R'$ ..... 99	16.2 Sound insulation index $R, R'$ ..... 99	16.2 音阻值 $R, R'$ ..... 99
16.3 Bewertetes Schalldämm-Maß $R_w$ und $R'_w$ ..... 102	16.3 Weighted sound insulation index $R_w$ and $R'_w$ ..... 102	16.3 评估音阻值 $R_w$ 和 $R'_w$ ..... 102
16.4 Subjektive Wirkung der Schalldämmung ..... 103	16.4 Subjective effect of sound insulation ..... 103	16.4 音阻的主观作用 ..... 103
16.5 Abschätzung des Schallpegels im leisen Raum ..... 104	16.5 Appraising the sound level in a quiet room ..... 104	16.5 安静区域的音级评估 ..... 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	16.6 装有不同隔音材料的板式构件的共同作用 ( $R'_{w\text{res}}$ ) ..... 105
16.7 Grenzfrequenz, biegesteife Bauteile, biege weiche Schalen ..... 106	16.7 Cut-off frequency, rigid construction components, flexible shells ..... 106	16.7 临界频率, 刚性构件, 柔性壳体 ..... 106
16.8 Resonanzfrequenz zweischaliger Bauteile ..... 109	16.8 Resonance frequency of double-layer construction elements ..... 109	16.8 双层建筑构件的共振频率 ..... 109
<b>17 Grundlagen zum Trittschallschutz</b> 111	<b>17 Principles of impact sound protection</b> ..... 111	<b>17 减振防护知识</b> ..... 111
17.1 Allgemeines ..... 111	17.1 General information ..... 111	17.1 概述 ..... 111
17.2 Normtrittschallpegel $L_n$ ..... 111	17.2 Normalized impact sound pressure level $L_n$ ..... 111	17.2 标准脚步声振动声级 $L_n$ ..... 111
17.3 Bewerteter Normtrittschallpegel $L_{n,w}$ ..... 112	17.3 Evaluated normalized impact sound pressure level $L_{n,w}$ ..... 112	17.3 标准振动声级的评估值 $L_{n,w}$ ..... 112
17.4 Trittschallverbesserungsmaß $DL_w$ von Deckenauflagen ..... 113	17.4 Impact sound level reduction $DL_w$ of floor coverings ..... 113	17.4 楼地面脚步声降噪改善值 $DL_w$ ..... 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	17.5 等效标准脚步声振动声级的评估值 $L_{n,w,eq}$ ..... 114
17.6 Normtrittschallpegel von Massivdecken ..... 115	17.6 Normalized impact sound pressure level of solid floors ..... 115	17.6 刚性楼板的标准脚步声振动声级 ..... 115
<b>18 Grundlagen zum Schallimmissions- und Schallemissionsschutz</b> ..... 116	<b>18 Principles of protection against sound immission and emission</b> ..... 116	<b>18 防止噪音, 控制噪音的基础知识</b> ..... 116
18.1 Immissionsgleichung ..... 116	18.1 Immission equation ..... 116	18.1 噪音影响方程 ..... 116
18.2 Emissionsgrößen und ungestörte Schallausbreitung ..... 117	18.2 Emission values and uninterrupted sound propagation ..... 117	18.2 噪音排放量和无干扰的声音传播 ..... 117
18.3 Einwirkungen auf die Schallausbreitung ..... 119	18.3 Influences on sound propagation ..... 119	18.3 声音传播的影响 ..... 119
18.4 Zeiteinflüsse ..... 122	18.4 Influences of time ..... 122	18.4 时间影响因素 ..... 122
<b>19 Anforderungen an den Schallschutz</b> 123	<b>19 Requirements for sound protection</b> 123	<b>19 隔音的要求</b> ..... 123
19.1 Vorbemerkung ..... 123	19.1 Preliminary remark ..... 123	19.1 前言 ..... 123
19.2 Anforderungen an den Schallschutz im Inneren von Gebäuden ..... 124	19.2 Requirements for sound protection in building interiors ..... 124	19.2 建筑室内隔音要求 ..... 124
19.2.1 Allgemeines ..... 124	19.2.1 General information ..... 124	19.2.1 概述 ..... 124
19.2.2 Mindestanforderungen an die Luftschalldämmung in Wohngebäuden ..... 126	19.2.2 Minimum requirements for airborne sound insulation in residential buildings ..... 126	19.2.2 住宅楼宇的隔音最低要求 ..... 126
		19.2.3 住宅脚步声隔音的最低要求 ..... 126
		19.3 来自房屋技术设备及其运行噪声的隔声要求 ..... 127

19.2.3	Mindestanforderungen an die Trittschalldämmung in Wohngebäuden . . . . .	126	19.2.3	Minimum requirements for impact sound insulation in residential buildings . . . . .	126	19.4	户外噪音隔音防护要求 . . . . .	128
19.3	Anforderungen an den Schallschutz gegen Geräusche aus haustechnischen Anlagen und Betrieben . . . . .	127	19.3	Requirements for sound protection against noises from building service installations and systems . . . . .	127	19.4.1	概述 . . . . .	128
19.4	Anforderungen an den Schallschutz gegen Außenlärm . . . . .	128	19.4	Requirements for sound protection against outside noise . . . . .	128	19.4.2	外围护结构的空气声隔音要求 . .	130
19.4.1	Grundlagen . . . . .	128	19.4.1	Basic information . . . . .	128	19.4.3	飞机噪音的防护 . . . . .	131
19.4.2	Anforderungen an die Luftschalldämmung von Außenbauteilen . . .	130	19.4.2	Requirements for the airborne sound insulation of exterior construction elements . . . . .	130			
19.4.3	Schallschutz gegen Fluglärm . . .	131	19.4.3	Sound protection against aircraft noise . . . . .	131			
<b>20</b>	<b>Nachweis des geforderten Schallschutzes . . . . .</b>	<b>132</b>	<b>20</b>	<b>Testing the required sound protection . . . . .</b>	<b>132</b>	<b>20</b>	<b>隔音措施的验证 . . . . .</b>	<b>132</b>
20.1	Nachweis mit bauakustischen Messungen (Eignungsprüfungen) . . . . .	132	20.1	Testing with building acoustic measurements (suitability tests) . . . . .	132	20.1	建筑声学测量的验证(能力测试) . . . . .	132
20.2	Nachweis ohne bauakustische Messungen . . . . .	133	20.2	Testing without building acoustic measurements . . . . .	133	20.2	没有建筑声学测量的验证 . . . . .	133
20.3	Luftschalldämmung von massiven Außenbauteilen . . . . .	134	20.3	Airborne sound insulation of heavy exterior construction elements . . . . .	134	20.3	超重外部组件的空气隔声 . . . . .	134
20.3.1	Rechenwerte $R'_{w,R}$ . . . . .	134	20.3.1	Calculated values $R'_{w,R}$ . . . . .	134	20.3.1	计算值 $R'_{w,R}$ . . . . .	134
20.3.2	Ermittlung der Masse $m'$ . . . . .	136	20.3.2	Determining $m'$ . . . . .	136	20.3.2	测定 $m'$ . . . . .	136
20.4	Luftschalldämmung von leichten Außenbauteilen mit biegeweichen Schalen . . . . .	137	20.4	Airborne sound insulation of lightweight exterior construction elements with flexible shells . . . . .	137	20.4	附柔性幕板的轻质外围护结构的空气隔音层 . . . . .	137
20.4.1	Allgemeines Verhalten . . . . .	137	20.4.1	General behavior . . . . .	137	20.4.1	概述 . . . . .	137
20.4.2	Rechenwerte $R'_{w,R}$ . . . . .	138	20.4.2	Calculated values $R'_{w,R}$ . . . . .	138	20.4.2	计算值 $R'_{w,R}$ . . . . .	138
20.5	Luftschalldämmung von Fenstern . . . . .	140	20.5	Airborne sound insulation of windows . .	140	20.5	窗户的气载声隔音 . . . . .	140
20.6	Luftschalldämmung von Innenbauteilen . . . . .	141	20.6	Airborne sound insulation of interior construction elements . . . . .	141	20.6	内部建筑组件的气载声隔音 . . . . .	141
20.6.1	Allgemeines . . . . .	141	20.6.1	General information . . . . .	141	20.6.1	概述 . . . . .	141
20.6.2	Luftschalldämmung von Innenbauteilen in Massivbauart . . . . .	143	20.6.2	Airborne sound insulation of interior construction elements in solid constructions . . . . .	143	20.6.2	砌体建筑的内部筑体气载波 . . . . .	143
20.6.3	Luftschalldämmung von zweischaligen Gebäudetrennwänden . .	147	20.6.3	Airborne sound insulation of double-shell building partition walls . . . . .	147	20.6.3	双层隔墙的空气隔音 . . . . .	147
20.7	Luftschalldämmung von Innenbauteilen in Holz- und Skelettbauart . . . . .	148	20.7	Airborne sound insulation of interior construction elements in timber wood and frame constructions . . . . .	148	20.7	木结构与框架结构建筑内部构件的空气隔音 . . . . .	148
20.7.1	Allgemeines . . . . .	148	20.7.1	General information . . . . .	148	20.7.1	概述 . . . . .	148
20.7.2	Nachweis . . . . .	148	20.7.2	Testing . . . . .	148	20.7.2	验证 . . . . .	148
	Nachweis analog Massivbauart (vgl. 20.6.2) . . . . .	148		Testing analogous to solid constructions (see 20.6.2) . . . . .	148		类似砌体结构的验证 (与 20.6.2 章节比较) . . . . .	148
	Vereinfachter Nachweis . . . . .	149					简化验证 . . . . .	149
	Genauerer Nachweis . . . . .	149					精确验证 . . . . .	149
20.7.3	Rechenwerte . . . . .	151				20.7.3	计算值 . . . . .	151
						20.8	楼板的脚步声隔音 . . . . .	153
						20.8.1	验证 . . . . .	153
						20.8.2	计算值 . . . . .	154
						20.9	房屋设备噪音的防护 . . . . .	156

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		
<b>Fachwörterbuch</b> .....	161	<b>Subjectdictionary</b> .....	161	<b>車廂辭典</b> .....	161

# 1

## Einführung in die Bauphysik Introduction to Building Physics 建筑物物理简介

### ■ 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.

### ■ 1.1 建筑物物理包含哪些方面?

#### 1.1.1 保温

建筑保温领域的任务就在于夏冬季节新旧建筑和历史建筑保温措施的选择、度量和详细设计,用新的节能法规从建筑物理的角度审视各种各样的建筑方案是必要的。在这种情况下,涉及热需求方面考虑生产费用和维护费用的优化、建筑物能源关系,以及建筑构件在当前的要求和标准下,需要考虑与建筑构造和历史性保护权益相适应。

#### 主要包括下面3个方面:

- 最小保温隔热,
- 节能的保温隔热,
- 夏季保温隔热.

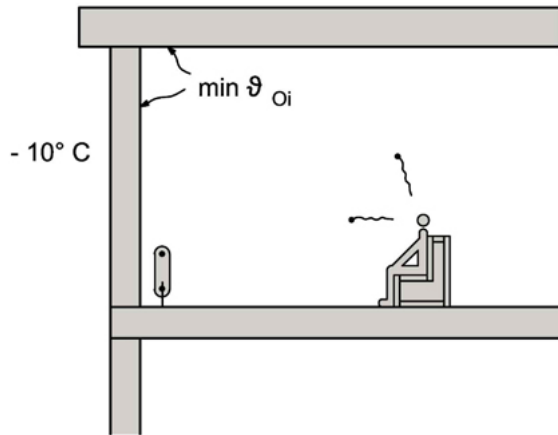


Bild 1.1 Wärmeschutz eines Gebäudes

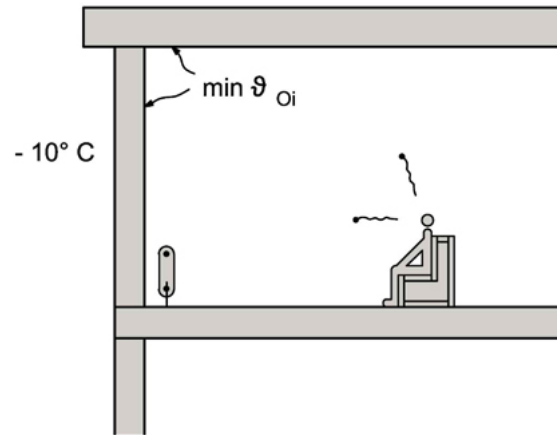


Figure 1.1 Heat protection of a building

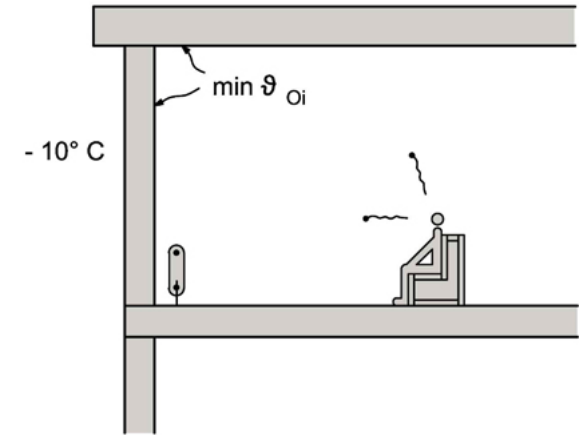


图1.1 一个建筑物的热防护

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).

建筑构件的最小热防护是指建筑构件表面最低温度，这样的作用是：

- 在建筑构件表面不会结露（防潮方面）
- 霉菌不在潮湿的地方产生内表面
- 室内的舒适性

建筑物节能的保温隔热的意义是：

- 改善环境和
- 降低能耗

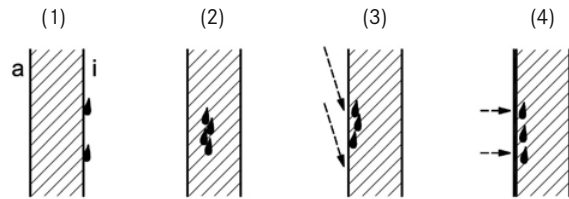
### 1.1.2 防潮

关于一个建筑湿度负载的评价，从而防止损害建筑结构的问题，这是建筑物理方面的一个基本问题。

建筑物的湿度变化是必需的，如用于排水和降低密闭措施。在建筑外部的雨水防护的评估和在一个有很差的保温层的室内墙面表面的露水的确定，这里主要指热桥方面，都需要设计一个建筑防潮技术。

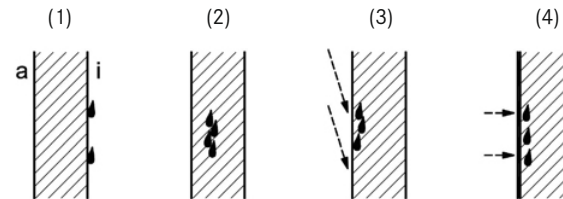
这里的基础内容是建筑材料的毛细现象特征，渗透和热属性。

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

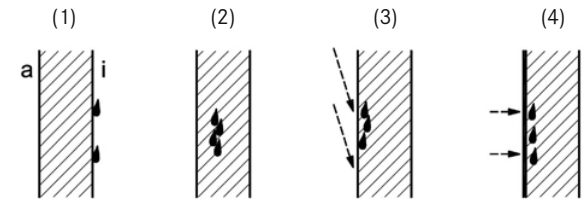


**Bild 1.2** Tauwasserschutz (Oberfläche, Querschnitt)

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)



**图1.2** 露水防护 (墙体表面, 截面)

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).

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).

建筑构件的防潮意义在于能够避免如下的建筑损害

- 建筑构件表面的露水 (1),
- 建筑构件横截面的露水 (2),
- 雨水 (3),
- 来自土壤或者潮湿物质边界面的水气 (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.

### 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.

### 1.1.3 隔声

隔声的工作领域主要包含建筑和室内声学方面的工程问题。有声学设计和防噪等级的测量与检验,也包括建筑构件脚步声。室内声学的设计需要进行分析或者进行模拟计算。

这里主要有交通产生的噪音,运动和娱乐产生的影响,所以有必要去发展和设计防止噪音方案。

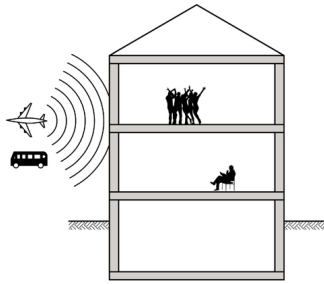


Bild 1.3 Schallschutz in Gebäuden

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.

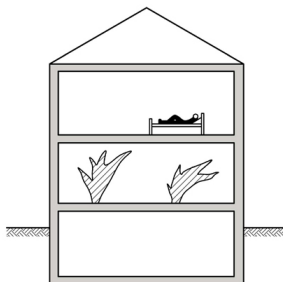


Bild 1.4 Brandschutz der Konstruktion bedeutet: Sicherheit der Bewohner, Schutz von Sachwerten

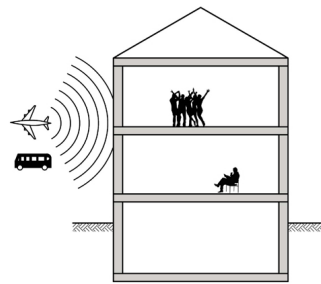


Figure 1.3 Noise protection in buildings

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.

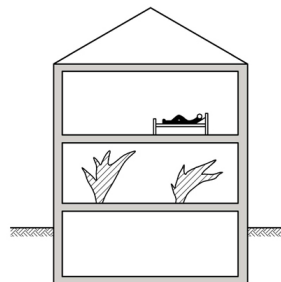


Figure 1.4 Protecting the construction against fire results in safety for the inhabitants and protection of valuables,

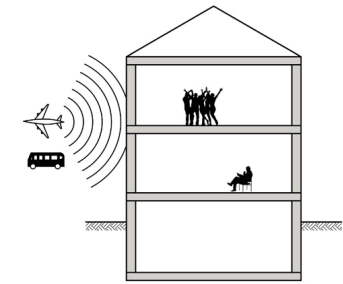


图1.3 建筑物隔声

建筑隔声能够提高居住者的健康和舒适性

- 来自外部的噪音
- 建筑物内部的噪音。

### 1.1.4 防火

建筑防火的主要任务是掌握一个全面的防火方案。这里在考虑各种法规、标准和指引的前提下,考虑提出一个整体优化方案,并且不忽略安全要求。防火技术方案的完善涉及人的逃生、灭火和救援方案,还有对有价值的历史性建筑物及内部设施的保护。

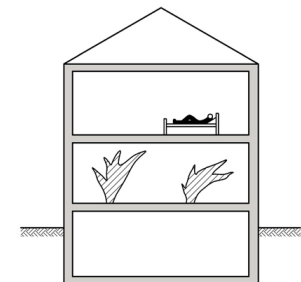


图1.4 建筑结构防火的意义: 居住者的安全, 产的安全

# 2

## Wärmeleitung Thermal conduction 热传导

### ■ 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.

### ■ 2.2 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.

### ■ 2.1 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 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.

### ■ 2.1 定义

热传导是通过原子和分子的动量交换和金属内的电子扩散的能量传递。热传导发生在固体、液体和气体介质中。在液体和气体介质中热量传递主要是热传导和热对流，在真空中不产生热传导。

### ■ 2.2 通过均质墙体的一维固定态热传导(无热源)

这种固定态情况是一种特殊情况，对此如下式：

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

当建筑材料材料性能或者建筑构件厚度有一个小的储存能力(如窗户玻璃或者阻热材料)，或者随时间的温度变化小，这种简化方式便可允许的。冬季保温计算采用是定态方式是允许的，因为其总是处于最不利的情况(室外-15度，没日照)。当使用每天，每月或每年的平均值计算时，计算热需求也可以看做是定态情况。

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:

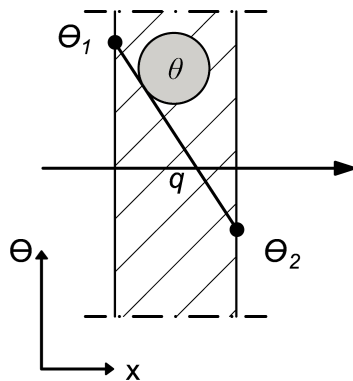
1. Integration:  $\frac{d\theta}{dx} = C_1$

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:

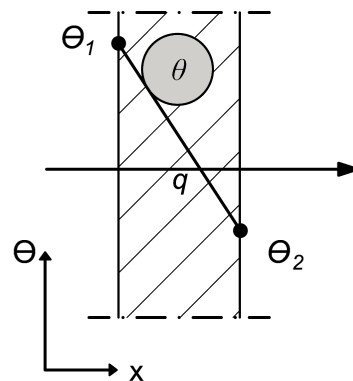
First integration:  $\frac{d\theta}{dx} = C_1$

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)

对于一维情况适用如下:

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

根据傅立叶定律,热量总是向最高温度降低的方向传递,所以考虑在均质墙体中也满足这种情况。

傅立叶定律简化

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

解法:

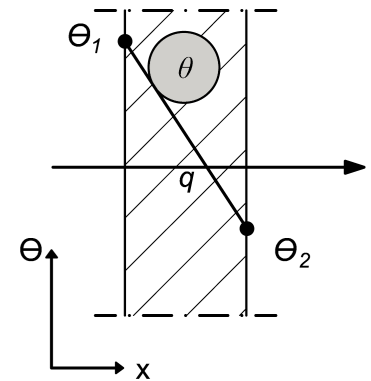
积分:  $\frac{d\theta}{dx} = C_1$

积分:  $\theta = C_1 x + C_2$   
(线性温度过程)

边界条件:  $\theta(x=0) = \theta_1 \Rightarrow C_2 = \theta_1$

边界条件:  $\theta(x=d) = \theta_2 \Rightarrow C_1 = \frac{\theta_2 - \theta_1}{d}$   
 $d \dots$  墙厚

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



**图2.1** 通过均质墙体的一维固定态热传导(无热源)

Das FOURIERSche Erfahrungsgesetz der Wärmeleitung wird wie folgt beschrieben:

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

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

$\Phi_{cd}$ ... Wärmestrom infolge Wärmeleitung in W

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

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

$q_{cd}$ ... Wärmestromdichte in  $W/m^2$

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

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

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

$\Phi_{cd}$ ... 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

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

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

根据傅立叶定律,热流的数学表达式如下:

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

在这里减号表示是: 热流与温度倾斜线相反(参看上图)

$\Phi_{cd}$ ... 热传导产生的热流 W

通常单位面积的热流称之为热流密度。

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

$q_{cd}$ ... 热流密度, 单位为  $W/m^2$ 。