



Bibliothek des technischen Wissens

Bauphysik

Walter Bläsi

Silvia Ferdinand

Kuno Schlatter

11. Auflage

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 42616

Autoren:

Bläsi, Walter

Studiendirektor i.R.

Neuried

ab der 11. AuflageFerdinand, Silvia
Schlatter, KunoOberstudienrätin
Dipl.-Ing. (FH), OberstudienratBottrop
Löffingen**Leitung des Arbeitskreises und Lektorat:**

Ferdinand, Silvia, Oberstudienrätin, Bottrop

Bildentwürfe: Bläsi, Walter**Bildbearbeitung:**Zeichenbüro des Verlages Europa-Lehrmittel, Ostfildern
PER MEDIEN & MARKETING GmbH, Braunschweig

11. Auflage 2022

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

ISBN 978-3-8085-4380-1

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2022 by Verlag Europa Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

Umschlaggestaltung: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald

Umschlag Foto: © sveta – stock.adobe.com

Icons: PER MEDIEN & MARKETING GmbH

Satz und Layout: PER MEDIEN & MARKETING GmbH, 38102 Braunschweig, www.per-mm.de

Druck: Plump Druck & Medien GmbH, 53619 Rheinbreitbach

Vorwort

Die Bauphysik liegt nun in der **11. Auflage** vor und bietet wertvolle Grundlagen zum Verständnis bauphysikalischer Zusammenhänge von Wärme-, Feuchte-, Schall- und Brandschutz in Gebäuden.

Das Buch richtet sich an:

- Meister, Techniker und Gebäudeenergieberater
- Lehrkräfte an Berufsschulen
- Aus- und Weiterbildungsinstitutionen
- Studierende an: Technischen Akademien, Fachhochschulen, Technischen Universitäten

So ist es in der Praxis möglich, den Energiebedarf für Heizung, Kühlung und Warmwasserbereitung mit der in reichlicher Menge vorhandenen Sonnenstrahlungsenergie durch thermische Solaranlagen sowie durch Photovoltaikanlagen und in gleicher Weise die Luft und die Erde als weiteren Energieträger mit Wärmepumpen im Rahmen der Geothermie zu decken.

Mögliche Problemfälle zeigt die folgende Übersicht:

Nr.	Wärmeschutz	Feuchteschutz	Schallschutz	Brandschutz	Grund für ⊖
1	⊕ entspricht GEG	⊖ Tauwasser	⊕ kein Problem	⊕ entspricht der Norm	s _d -Wert der Dämmschicht
2	⊕ entspricht GEG	⊖ Tauwasser	⊕ kein Problem	⊕ kein Problem	Dämmschicht, bzw. Dampfbremse an falscher Stelle
3	⊕ entspricht KfW 70	⊖ Schimmel in der Raumecke	⊕ kein Problem	⊕ kein Problem	Wärmebrücken
4	⊕ entspricht KfW 50	⊖ Algen auf der Außenseite der Wand	⊕ kein Problem	⊕ kein Problem	zu dicke Dämmschicht, zu geringe Wärmestromdichte, zu geringe Außenputzdicke
5	⊕ Null-Energiehaus	⊕ kein Problem	⊖ Trittschall	⊕ kein Problem	Dämmschicht mit zu hoher dynamischen Steifigkeit
6	⊕ Energieplushaus	⊕ kein Problem	⊕ kein Problem	⊖ Problem	Dämmmaterial im Brandfall tropfend, giftige Gase entwickelnd

Den ursächlichen Zusammenhängen bei Schadensfällen – etwa durch Wärmeschutz und Feuchteschutz – wird mit durchgerechneten Beispielen nachgegangen. Es wird aufgezeigt, dass bei der Erstellung eines Gebäudes und auch bei der Altbausanierung die Wärmeschutzmaßnahmen Auswirkungen auf den Feuchteschutz, Schallschutz und Brandschutz haben.

Neu in der 11. Auflage

In der aktuellen Auflage wurden das Layout aufgefrischt und der Inhalt insgesamt aktualisiert. Weiterhin wurde das vereinfachte Verfahren zur Berechnung des Wärmeschutzes nach dem neuen Gebäude-Energie-Gesetz (GEG) aufgenommen und in zwei Beispielen berechnet. Der Wärmeschutznachweis nach dem GEG für Bestandshäuser und neu zu errichtende Wohngebäude wurde nach der Monatsbilanzierung der DIN 4108 angewendet.

Ihr Feedback ist uns wichtig. Wenn Sie mithelfen möchten, dieses Buch für die kommenden Auflagen zu verbessern, schreiben Sie uns unter lektorat@europa-lehrmittel.de.

Prolog: Amortisation von Dämmmaterial

Bevor eine Bauherrin/ein Bauherr Renovierungsmaßnahmen an ihrem/seinem Haus vornimmt, wird sie/er sich die Frage stellen:

Lohnen sich Investitionen in Richtung Wärmeschutz bei Amortisationszeiten bis zu 30 Jahren?

Außerdem wird immer das Argument der Erderwärmung vorgebracht, demzufolge keine kalten und langen Winter mehr zu erwarten sind und daher Wärmedämmung kein Thema ist.

Trotz Bedenken bzw. vermeintlichem Gegenargument bringt Wärmeschutz Vorteile.

Amortisation sollte nicht das alleinige Entscheidungskriterium sein.

Bei den Amortisationsüberlegungen wird deshalb fast nur in Richtung Wärmeschutz gedacht, weil dafür Fördergelder zur Verfügung stehen. Nicht einbezogen in die Überlegungen ist der Feuchteschutz und Schallschutz für deren Berücksichtigung keine Zuschüsse gewährt werden, da damit keine Energieeinsparung verbunden ist. Die Erderwärmung, die mildere Winter beschert, lässt so manchen Bauherrn zur Aussage verleiten, dass Wärmedämmung nicht mehr erforderlich sein wird. Vergessen dabei wir allerdings, dass damit auch heißere Sommer verbunden sind, die das Leben in einem schlecht gedämmten Haus unerträglich werden lassen. Was im Winter an Heizkosten gespart wird, geht im Sommer an Kühlung verloren. Eine Verbesserung des Wärmeschutzes ist auf jeden Fall mit einer verbesserten Wohnqualität verbunden. Während für den winterlichen Wärmeschutz der Wärmedurchgangskoeffizienten die wichtigste Kenngröße ist. So spielen für den sommerlichen Hitzeschutz der Temperaturleitwert, Wärmeeindringkoeffizient sowie der Temperatur-Amplitudenverlauf eine zentrale Rolle.

Weitere Beweggründe:

- Reduzierung des Verbrauchs von fossilen Brennstoffen: → CO₂-Reduzierung
- Abfederung von Preissteigerungen dieser Brennstoffe
- Erhöhung des Wohngefühls, des Wohnwertes, der Wohnqualität
 - für den Eigentümer als Selbstnutzer
 - für die Vermietung → höhere Mieten erzielbar, Energiepass Beweis für den energetischen Stand.
 - bei Verkauf → Energiepass hat Einfluss auf den Preis.
 - besser für die Erhaltung der Bausubstanz

Weshalb gibt es heute schon das:

- Energieautarke Haus
- Energie-Plus-Haus?

Dank der Nutzung der:

- Geo-Thermie: Erdwärme: oberflächennahe GT und tiefen GT
- Solar-Thermie: Sonne: Thermische (Warmwasser)-Photovoltaik-Anlage
- Aqua-Thermie: Wasser: Wasserkraftwerke
- Air-Thermie: Windkraft: Windräder
- Nachwachsende Energieträger: Holz, Pflanzen
- Reproduzierbare Energieträger: Biogas

Auswirkungen des Wärmeschutzes:

- Kausaler Zusammenhang von Wärmeschutz und Feuchteschutz
 - Was im Wärmeschutz gut ist, kann im Feuchteschutz auch gut sein, aber auch nur mäßig, ja sogar schlechter als ohne Wärmeschutz.
- Teilweise kausaler Zusammenhang zwischen Wärmeschutz und Schallschutz, bzw. Wärmeschutz und Brandschutz.

Auswirkungen von Investitionen in

• die Fassade

- Durch Außendämmung → Erhöhung der Wärmespeicherfähigkeit der Wand
 - höhere innere Wandoberflächentemperatur
 - kein Zugempfinden in Wandnähe
 - Vermeidung thermischer Spannungen im Mauerwerk

• die Fenster

- Dämmung der transparenten Bauteile/Fenster
- Dreifachverglasung (= 2 SZR) mit Beschichtung der Scheiben,

- Füllung der Scheibenzwischenräume (SZR) mit Edelgas Argon (kleinerer λ -Wert) hat Auswirkungen auf den winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz.

Bei nur sehr geringem Mehraufwand (drei verschieden dicke Scheiben steigt das Wohlwohngefühl erheblich, z. B. von $R_g = 30$ dB auf 40 dB. Bedenke: Differenz von 10 dB werden als halb so laut empfunden. Fenster mit: $U_w = 1,1$ W/m²K bzw. $U_g = 0,7$ W/m²K, $g = 0,60$ sind für den winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz unumgänglich.

• das Dach

Beim Dach als leichtes Bauteil ($m' < 100$ kg/m²) und fast orthogonalem Sonneneinstrahlungswinkel sind die beiden Kennwerte Temperaturleitzahl a und der Wärmeeindringkoeffizient b für das Wohlbefinden in Dachräumen von besonderer Bedeutung.

Wozu dämmen?

- Vermeidung von Schimmel in Raumecken und hinter Einbauschränken
- höhere innere Wandoberflächentemperatur
- Vermeidung von Wärmebrücken, besonders der konvektiven Wärmebrücken
- Nachweis von Wärmebrücken nach DIN 4108 Bbl 2

Dämmstoffdicken haben jedoch nachweislich in der Verbesserung (Verminderung) des U -Wertes ihre Grenzen. Ab $d > 200$ mm liegt die Verminderung des U -Wertes im Bereich der zweiten Stelle nach dem Kommastelle. → auch hier: gilt das Gesetz des abnehmenden Grenzertrags.

Neben den Investitionen am Bauwerk selbst trägt die Anlage- und Lüftungstechnik auch zur Reduzierung des Primärenergieverbrauchs bei.

Je kleiner die Anlageaufwandszahl e ist, desto besser ist die Anlage zu bewerten.

Die Luftdichtheit bedeutet eine weitere Stellschraube zur Reduzierung des Energieverbrauchs, erfordert jedoch ein entsprechendes Nutzerverhalten oder gar konditionierte Lüftung, soll Schimmelbildung vermieden werden. Investitionen sollten nicht nur von Seiten der Amortisation betrachtet werden, sondern auch von den Annehmlichkeiten, die sie uns bescheren.

Wie soll man sich in einem Haus fühlen, in dem die Leitungen auf Putz liegen, für Einzelöfen das Öl oder die Kohle aus dem Keller geholt werden muss, wo das Kondenswasser am inneren Fensterbrett in einer Rinne mit einem Tuch aufgewischt werden muss, weil die Fenster noch Einfachverglasung haben, die Scheibenverbundprofile aus Aluminium, statt dem dauerhaften Edelstahl oder Kunststoffprofilen sind.

Vergleich Auto

Wenn man beim Auto gleiche Rentabilitäts- und Amortisationsüberlegungen wie manche Hauseigentümer/Hausbewohner anstellen würde, käme man zum Ergebnis, dass man mit öffentlichen Verkehrsmitteln günstiger weg käme.

Komfort: z. B. Navi, Sitzheizung, elektrische Fensterheber, Rückfahrkamera, Rückfahrsensoren, Einparkhilfen, elektrische verstellbare und beheizte Außenspiegel, programmierbare Fahrersitzstellung beim Besteigen des Fahrzeugs

Bequemlichkeit: z. B. vier Türen, gute Sitze, Rückenlehne, Mobilität zu jeder Zeit

Fazit: Es ist daher nicht verkehrt, sich etwas näher mit Bauphysik zu befassen.

Inhaltsverzeichnis

1 Wärmeschutz

1.1 Grundlagen des Wärmeschutzes.....	12	1.6.5	Höchstwerte des Jahres-Primärenergiebedarfs nach dem GEG	56
1.1.1 Gründe für den Wärmeschutz	12	1.6.6	Höchstwerte des Transmissionswärmeverlustwert für bestehende Wohngebäude nach dem GEG	56
1.1.2 Energieträger.....	12	1.6.7	Technische Ausführung eines Wohngebäude-Referenzgebäudes nach GEG	57
1.1.3 Einflussgrößen des Wärmeschutzes	13	1.6.8	Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten von Außenbauteilen bei Änderung an bestehenden Gebäuden nach GEG	58
1.1.4 Wärmeübertragung.....	14	1.6.9	Vereinfachtes Verfahren für ein zu errichtendes Wohngebäude	61
1.2 Physikalische Grundlagen.....	15	1.7 Nachweis des Wärmeschutzes nach DIN 4108	65	
1.2.1 Grundbegriffe im Wärmeschutz	15	1.7.1	Wärmeschutz-Nachweis nach DIN 4108	65
1.2.2 Behaglichkeitsgefühl in einem Raum	18	1.8 Geothermie	68	
1.2.3 Einflussmöglichkeiten zur Energie-Einsparung.....	20	1.9 Heizanlagen-Systeme (DIN 4701-10)	70	
1.3 Dämmstoffe: Herstellung – Eigenschaften – Verwendung	21	1.9.1	Bauarten von Wärmeezeugern	70
1.3.1 Dämmstoffe im Erdreich, in der Fassade und am Dach	26	1.9.2	Tabellen der Heizanlagen-Systeme (DIN 4701-10)	72
1.3.2 Wärmedämmverbundsysteme (WDVS)	27	1.10 Meteorologische Daten für 15 Klimaregionen in Deutschland nach DIN V 18599.....	87	
1.3.3 Aufdoppelung der Dämmschicht an Wärmedämmverbundsystemen (WDVS)	29	1.10.1	Ausgewählte Referenzorte für Strahlungsintensitäten	90
1.4 Entwicklung des U'-Wertes in Abhängigkeit von der Dämmstoffdicke.....	32	1.11 Wärmeschutznachweis – Beispielberechnungen.....	98	
1.5 Nachweis nach dem Gebäude-Energie-Gesetz (GEG)	33	1.11.1	Monolithische Bauteile	99
1.5.1 Das Gebäude-Energie-Gesetz in Beziehung zu den nationalen Normen.....	33	1.11.2	Bauteil mehrschalig mit Dämmung	100
1.5.2 Erneuerungen des Gebäude-Energie-Gesetz (GEG)	34	1.11.3	Mittlerer U-Wert/R-Wert.....	106
1.5.3 Geltungsbereich des Gebäude-Energie-Gesetz (GEG).....	35	1.11.4	U-Wert von thermisch homogenen und inhomogenen Schichten nach DIN EN ISO 6946	109
1.5.4 Berechnungsgrundlagen nach dem Gebäude-Energie-Gesetz (GEG)	36	1.11.5	Wärmeschutznachweis nach GEG für Bestandgebäude Monatsbilanzierung nach DIN 4108	115
1.5.5 Begriffserläuterungen des Nachweisverfahrens des GEG.....	37	1.11.6	Neu zu errichtende Wohngebäude.....	166
1.5.6 Gebäudemaße und ihre Verwendung in dem GEG	41	1.11.7	Vereinfachtes Nachweisverfahren nach GEG (Tabellenverfahren)	193
1.5.7 Von der Endenergie Q_E zur Primärenergie Q_P	42	1.12 Glas	202	
1.5.8 Interne Wärmegewinne.....	43	1.12.1	Besondere Gläser	203
1.5.9 Solare Wärmegewinne	44	1.12.2	Fenster im sommerlichen Wärmeschutz und Wärmedämmverglasung	204
1.5.10 Luftdichtheit/Luftdichtheitsprüfung	45	1.12.3	Lüftung unter dem Blickwinkel der Energieeinsparung	206
1.5.11 Lüftungswärmeverluste.....	46	1.12.4	Das Fenster als vermeintliche Schwachstelle in der Gebäudehülle	208
1.5.12 Wärmespeicherung	47	1.12.5	Prüfung einer Verglasung im eingebauten Zustand über die Lage einer Beschichtung.....	209
1.5.13 Energieausweis (Energiepass).....	47	1.12.6	Temperaturleitzahl a (a-Wert) und Wärmeeindringkoeffizient b (b-Wert).....	212
1.5.14 Anforderungen für neue zu errichtende Gebäude nach den jeweiligen Vorschriften der Wärme-Schutz-Verordnung (WSchVO) bzw. Energie-Einspar-Verordnung (EnEV) und GEG	50	1.13 Sommerlicher Wärmeschutz.....	214	
1.6 Nachweisverfahren nach dem Gebäude-Energie-Gesetz (GEG).....	51	1.13.1	Abminderungsfaktoren F_C	215
1.6.1 Monats-Bilanz-Verfahren (MB-Verfahren).....	51	1.13.2	Sonneneintragskennwerte	216
1.6.2 Sanierung von Gebäuden im Bestand (Altbausanierung)	53	1.13.3	Temperatur-Amplituden-Verhältnis (TAV) und Temperatur-Amplituden-Dämpfung (TAD).....	221
1.6.3 Struktogramm zur Ermittlung des Jahres-Primärenergiebedarfs in Reihenfolge 1 bis 10	54	1.13.4	Vergleich sommerlicher winterlicher Wärmeschutz einzelner opaker Baustoffe	223
1.6.4 Energiebilanz	55			

1.14	Längenänderung von Bauteilen infolge von Temperatureinflüssen.....	224
1.14.1	Berechnungsbeispiele von Flachdächern	226
1.14.2	Arten von Flachdächern.....	230
1.14.3	Berechnungsbeispiele verschiedener Bauteile.....	233

2 Feuchte – Feuchteschutz

2.1	Arten der Feuchte.....	234
2.2	Aggregatzustände.....	235
2.3	Arten der Wässer.....	236
2.4	Kreislauf des Wassers.....	236
2.5	Wasser in seiner Bedeutung.....	237
2.6	Kapillarität.....	237
2.7	Sperrung.....	239
2.7.1	Sperrung gegen Wasser	239
2.7.2	Sperrung gegen Wasserdampf	243
2.8	Luftfeuchte.....	244
2.8.1	Absolute Luftfeuchte.....	244
2.8.2	Relative Luftfeuchte.....	244
2.9	Tauwasserbildung – Taupunkttemperatur.....	244
2.10	Wasserdicht – wasserdampfdicht – Dampfbremse – Dampfsperre.....	250
2.10.1	Wasserdampfdiffusionswiderstandsfaktor (μ -Wert).....	250
2.11	Erklärung des Wärmestromprinzips.....	251
2.12	Erklärung des Prinzips der Sperrung gegen Feuchte.....	251
2.13	Vergleich Wärmeschutz – Feuchteschutz.....	252
2.13.1	Baukonstruktive Grundsätze.....	253
2.14	Dampfdruck.....	254
2.15	Feuchteschutz infolge von Wasserdampfdiffusion.....	255
2.15.1	Bedingungen im Feuchteschutz nach DIN 4108.....	255
2.15.2	Vermeidung von Tauwasser an der Bauteiloberfläche	255
2.15.3	Vermeidung von Tauwasser im Innern von Bauteilen.....	256
2.15.4	Nachweisverfahren: Perioden-Bilanz-Verfahren und Monats-Bilanz-Verfahren	257
2.15.5	Arten des Feuchtetransportes.....	258
2.15.6	Formeln für die Nachweisverfahren im Bereich des Feuchteschutzes	259
2.16	Aufbau des Glaser-Diagrammes nach DIN 4108-3.....	264
2.16.1	Aufbau des Diagrammes der Tauperiode.....	264
2.16.1	Tauperiode.....	264
2.16.2	Erklärung des Diagrammaufbaus der Tauperiode.....	265
2.16.3	Erklärung des Diagrammaufbaus der Verdunstungsperiode.....	266
2.16.4	Aufbau des Diagrammes der Verdunstungsperiode.....	267

2.17	Maßnahmen zur Tauwasservermeidung ..	268
2.18	Mögliche Fälle der Tauwassersituation.....	269
2.18.1	Kein Tauwasserausfall.....	269
2.18.2	Tauwasser in einer Ebene.....	269
2.18.3	Tauwasserausfall in zwei Ebenen.....	269
2.18.4	Tauwasserausfall in einem Bereich	270
2.19	Feuchtetechnische Untersuchung verschiedener Konstruktionen	271
2.20	Der Temperaturfaktor f_{Rsi}.....	321
2.21	Feuchtetechnische Untersuchung nach DIN EN ISO 13 788.....	323
2.21.1	Nachweisverfahren nach DIN EN ISO 13 788.....	324
2.22	Energetische Schwachstellen und ihre Folgen.....	337
2.22.1	Wärmebrückenarten	337
2.22.2	Wärmebrücken: Berechnungsbeispiele	339
2.22.3	Einzelnachweis von Wärmebrücken gemäß DIN 4108 Beiblatt 2	340
2.22.4	Eine Wärmebrücke der besonderen Art, der frei ausragende Balkon.....	343
2.22.5	Schimmelpilzbildung	345
2.22.6	Vermeidung von Schimmel hinter Schrankwänden und Einbauschränken nach DIN 4108-8.....	347
2.22.7	Aufgaben zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung	352
2.22.8	Außenwände unter verschiedener feuchtetechnischer Betrachtung	360
2.23	Algenbildung auf Außenwänden mit Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS).....	362
2.24	Auswirkung der Globalstrahlung auf Fenster und Verglasungen.....	365
2.25	Schlagregen	367
2.26	Kapillaraktive Dämmstoffe.....	369
2.26.1	Feuchte adaptive Dampfbremse	371
2.26.2	Innendämmung mit Calciumsilicatplatten.....	372
2.27	Das Steildach als besonderes Bauteil.....	374
2.27.1	Temperaturwanderung in verschiedenen Dämmstoffen	377

3 Schall – Schallschutz

3.1	Bedeutung des Schallschutzes.....	378
3.2	Schall.....	379
3.2.1	Frequenz.....	380
3.2.2	Amplitude.....	380
3.2.3	Schallbezeichnungen	380
3.3	Grundbegriffe	381
3.4	Hörschwelle – Schmerzgrenze.....	389
3.5	Zusammenhang Phon – Dezibel.....	390
3.6	Lautstärkeskala	391
3.7	Schallarten	392
3.8	Akustik	393
3.8.1	Nachhallzeit T	393
3.8.2	Grenzfrequenz.....	395

6 Bauchemie

6.1	Aufgabe der Bauchemie	498
6.2	Gase	499
6.2.1	Schadensfaktor Gase	499
6.3	Säuren	500
6.4	Laugen	501
6.5	Salze	501
6.6	pH-Wert	504
6.7	Bindemittel	506
6.8	Kreislauf des Kalkes	506
6.9	Korrosion	507
6.9.1	Elektrochemische Spannungsreihe nach Galvani	508
6.10	Nicht-Eisenmetalle (NE-Metalle)	509
6.11	Schadensfaktor Wasser	509
6.11.1	Wasser als Lösungsmittel	509
6.11.2	Wasser als Partner von chemischen Reaktionen	510
6.11.3	Wasser als Transportmittel	510
6.11.4	Wasser als Sprengfaktor	510
6.11.5	Wasser als Beeinträchtigungsfaktor	510
6.11.6	Wasser als Förderfaktor	511
6.12	Säuren als Schadensursache	511
6.12.1	Herkunft der Säuren	511
6.13	Schadensfaktor Laugen	512
6.13.1	Herkunft der Laugen	513
6.14	Schadensfaktor Salze	514
6.15	Schadensfaktor Organismen	516
6.16	Regeln zur Vermeidung von Bauschäden .	516

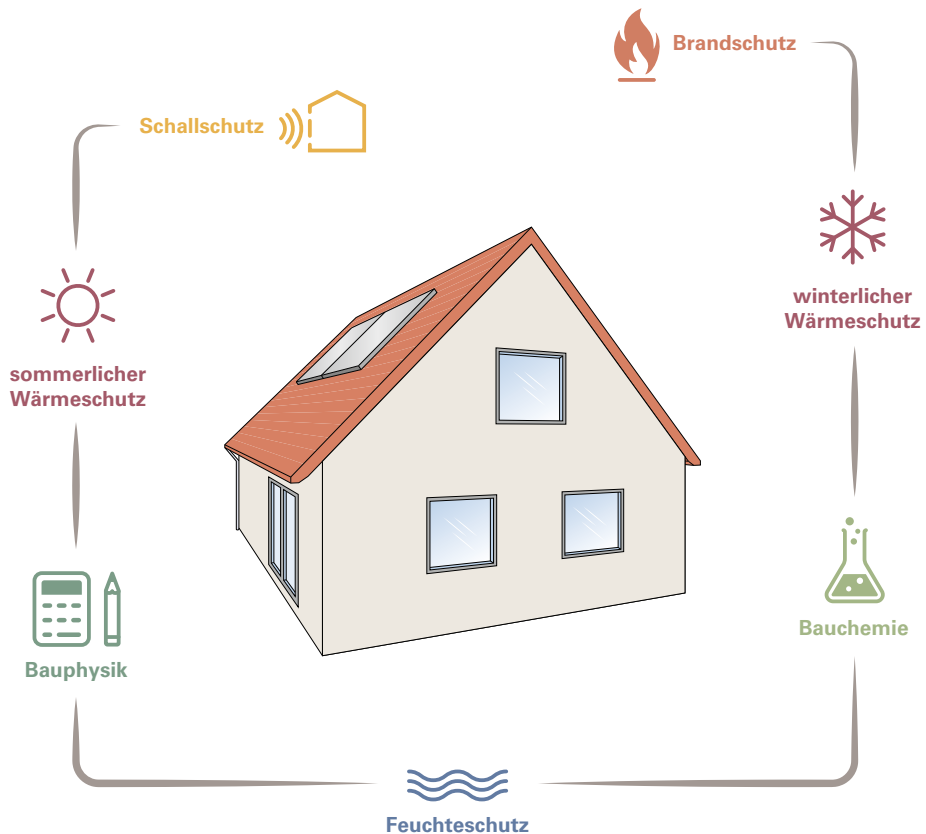
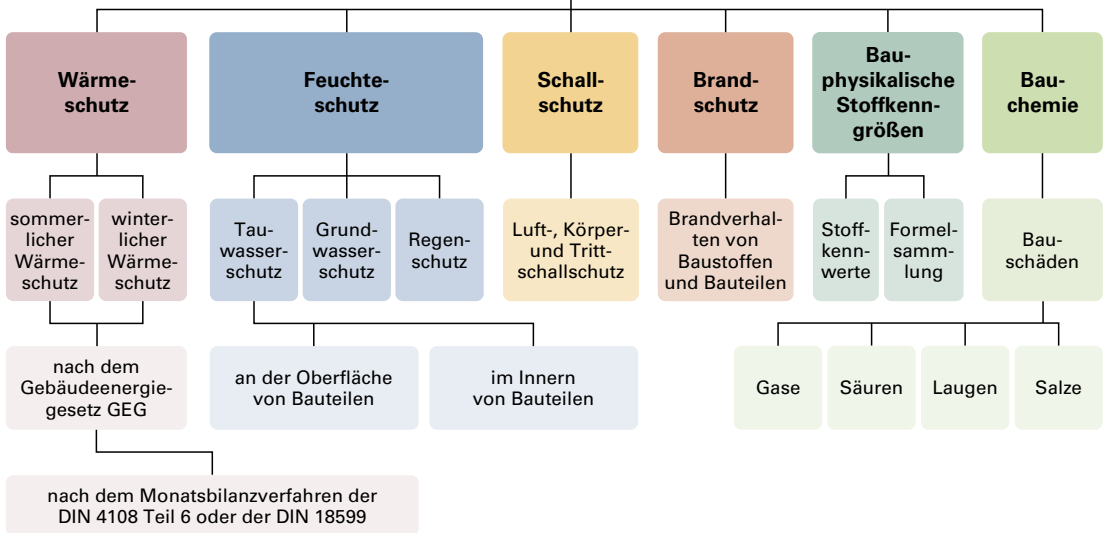
Sachwortverzeichnis

.....	511
-------	-----

Bildquellenverzeichnis

.....	523
-------	-----

BAUPHYSIK



1 Wärmeschutz

1.1 Grundlagen des Wärmeschutzes

1.1.1 Gründe für den Wärmeschutz

1. Aus Gründen des menschlichen Wohlbefindens

Gebäude sollen nicht nur der Behausung dienen, sondern auch unserem Wohlbefinden und unserer Gesunderhaltung. Das Behaglichkeitsgefühl in einem Raum hängt ab von der:

- Raumtemperatur: optimal 20 °C – 22 °C
- Oberflächentemperatur der raumumschließenden Wände: mindestens 16 °C – 18 °C, sonst herrscht das Gefühl von Zug.
- Wärmespeicherung der raumumschließenden Wände.
- Barackenklima: schnell heiß, schnell kalt
- Fußbodentemperatur: optimal 22 °C – 24 °C
- Relativen Luftfeuchte in einem Raum: normal 50 % – 60 %
< 40 % → trockene Schleimhäute
> 60 % → Treibhausklima
- Luftbewegung: maximal 0,2 m/s
> 0,2 m/s → Zugerscheinung
- Tätigkeit des Menschen: sitzend – gehend

2. Aus baukonstruktiven Gründen

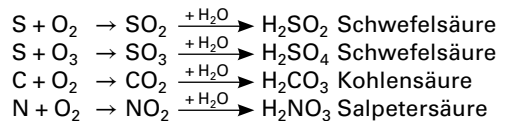
Spannungen infolge Temperatureinflüssen führen zu Bauschäden (Sommer → Ausdehnung; Winter → Schrumpfung). Folgeschäden durch Feuchteinwirkung müssen vermieden werden.

3. Aus Energie-Einspargründen

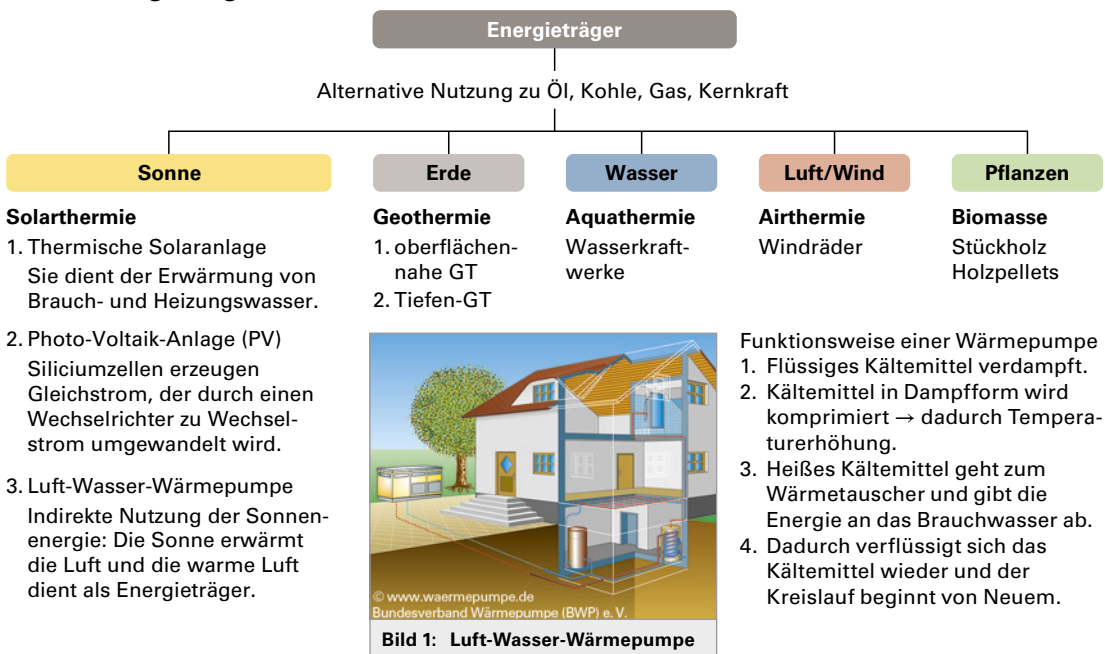
Die Ansprüche der Menschen steigen, ihr Lebensstandard wächst, die Rohstoffe stellen absolut knappe Güter dar, d.h. sind nicht reproduzierbar, ihr Vorrat ist begrenzt. Der Energieverbrauch für Heizung und Kühlung muss so gering wie möglich gehalten werden.

4. Aus umweltschonenden Gründen

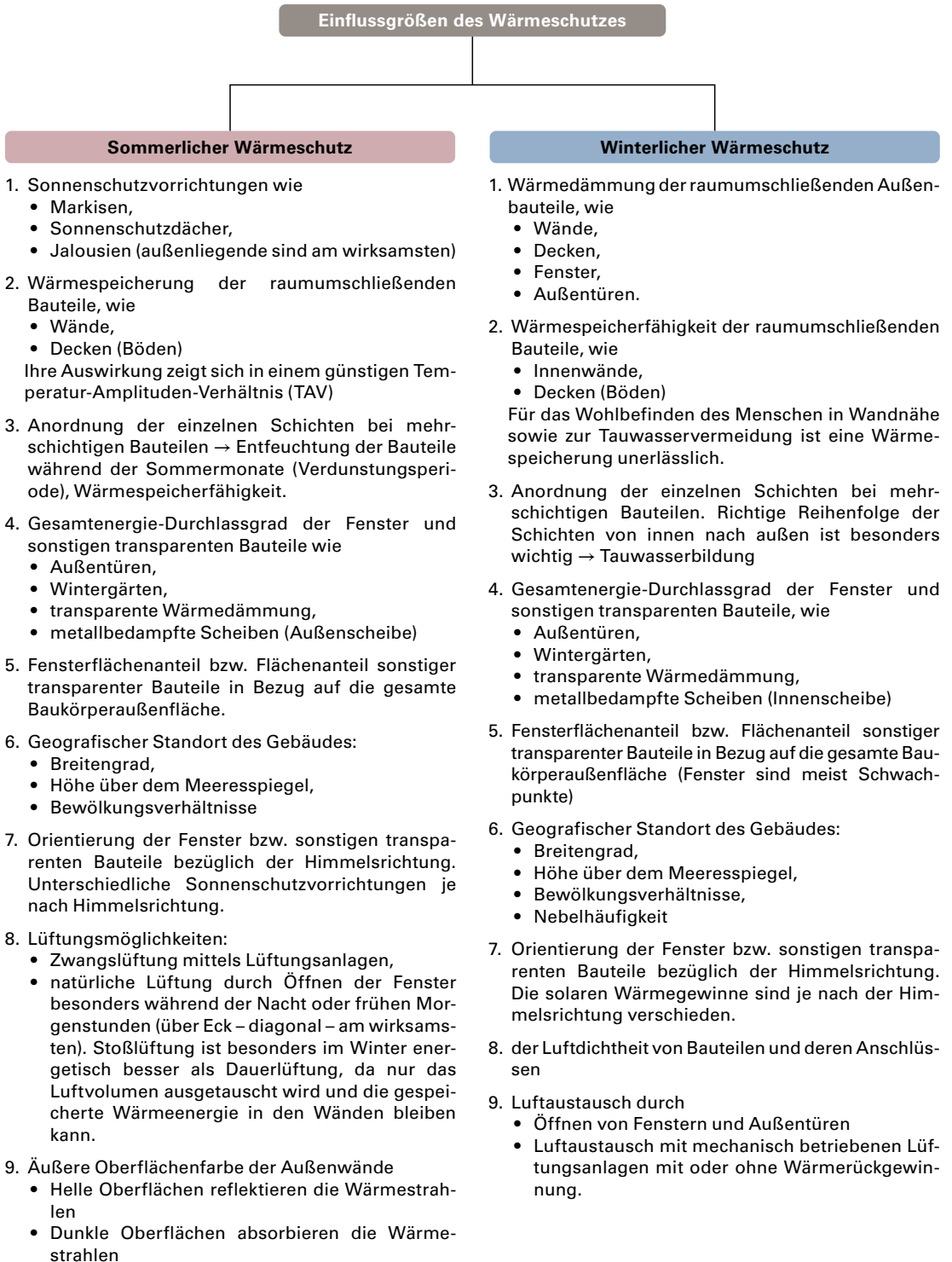
Die Verbrennung fossiler Brennstoffe zu Heizzwecken und als Treibstoff verstärkt die Umweltbelastung durch Bildung von schädlichen Gasen und Säuren.



1.1.2 Energieträger



1.1.3 Einflussgrößen des Wärmeschutzes



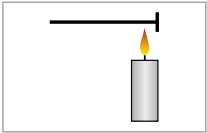
1.1.4 Wärmeübertragung

Der Grund dafür, dass in einem Raum etwa gleiche Temperaturen herrschen, unabhängig vom Sitz der Wärmequelle, bzw. dass die Temperatur in einem Raum nach Wegfall der Heizung unterschiedlich abfällt, liegt in verschiedenen Möglichkeiten der Wärmeübertragung.

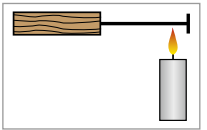
Arten der Wärmeübertragung

Wärmeleitung

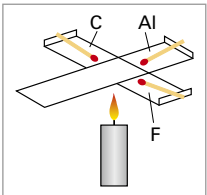
Übertragung der Wärme von Molekül zu Molekül bei festen Stoffen in Richtung des Temperaturgefälles



Der Nagel wird heiß



Das Holz erwärmt sich nicht



Die Streichhölzer entflammen auf den verschiedenen Metallen zu unterschiedlichen Zeiten

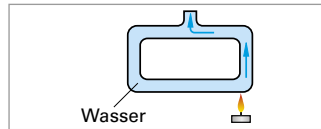
Die Wärmeleitfähigkeit wird durch den Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ ausgedrückt.

Je kleiner der Wert von λ ist, desto besser ist die Wärmedämmung.

Wärmeströmung Wärmekonvektion

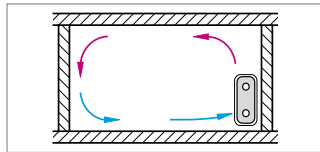
Die Wärmeenergie wird durch einen gasförmigen oder flüssigen Stoff mitgeführt (Wärmemitführung).

Bei Flüssigkeiten spricht man von Wärmeströmung:



Das Wasser kreist im Rohr, und dehnt sich aus. Prinzip: Warmwasserheizung

Bei Luft (Gasen) Wärmekonvektion:



Die Luft zirkuliert vom und zum Heizkörper

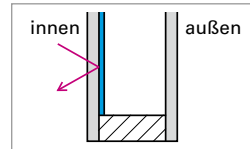
Während bei der Wärmeleitung die Moleküle an ihrem Ort bleiben, wird bei der Wärmeströmung oder Konvektion die Wärme dadurch übertragen, dass die Masseteilchen, an welche die Wärmeenergie gebunden ist, ihren Ort verändern.

Die Konvektion läuft folgendermaßen ab: Die Luft dehnt sich um den Heizkörper bei Erwärmung aus. Dadurch verringert sich das Gewicht pro Volumeneinheit, das spezifische Gewicht wird geringer. Die spezifisch leichtere Luft steigt nach oben, kühlt sich ab, wird dadurch wieder schwerer und fällt nach unten. So entsteht ein Kreislauf, bis der ganze Raum annähernd die gleiche Temperatur aufweist.

Wärmestrahlung

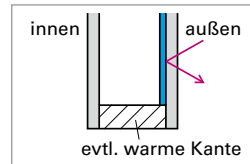
Wärmeenergie in Form von Wärmestrahlung kann sowohl durch luftgefüllte, als auch durch luftleere Räume übertragen werden. Wärmestrahlen haben verschiedene Wellenlängen und sind nicht an Materie gebunden. Sie können daher ohne Verlust luftleere Räume durchdringen (Weltall). Auf einen Körper auftreffende Wärmestrahlen werden teils absorbiert und teils reflektiert. Den Absorptionseffekt macht man sich bei Sonnenkollektoren (thermische Solaranlage) zunutze, indem man die Kollektoroberfläche schwarz gestaltet.

Reflexion ist dann gefragt, wenn Strahlungswärme im Raum gehalten werden soll, so z. B. bei: beschichtetem Wärmedämmglas:



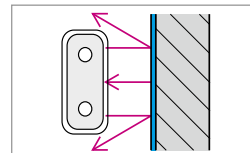
Beschichtung innen: Wärme soll im Raum gehalten werden

beschichtetem Sonnenschutzglas:



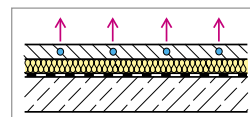
Beschichtung außen: Wärme soll vom Raum abgehalten werden

Aluminiumfolien:
hinter Heizkörpern



Wärme soll in den Raum zurückgeworfen werden

Fußbodenheizung:



Heizfläche gibt Wärmestrahlung in den Raum

1.2 Physikalische Grundlagen

1.2.1 Grundbegriffe im Wärmeschutz

1. Wärmemenge Q : Einheit Js

Unter der Wärmemenge Q (Js) versteht man jene Energiemenge, die durch den Wärmestrom $\dot{Q}$ (W) in 1 Sekunde (1s) von einem Körper abgegeben oder aufgenommen wird.

2. Wärmeleitfähigkeit λ

λ = kleines griechisches λ ; gesprochen Lambda

Der Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit gibt die Wärmemenge in Js an, die im Beharrungszustand (= bei Dauerbeheizung) in 1 Sekunde durch 1 m^2 einer 1 m dicken Schicht eines Stoffes hindurchgeht, wenn die Temperaturdifferenz beider Bauteiloberflächen 1 Kelvin ($1 \text{ K} \triangleq 1^\circ \text{C}$) beträgt.

Einheit: $\text{W} \cdot \text{s} \cdot \text{m/s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K} = \text{W}/(\text{mK})$

Je größer λ , desto größer ist die Wärmeleitung.
Je kleiner λ , desto besser ist die Wärmedämmung.

Die Wärmeleitfähigkeit ist abhängig von

• Der Rohdichte des Stoffes

Luft hat sehr gute Dämmeigenschaften ($\lambda = 0,025 \text{ W/mK}$). Stoffe mit geringer Rohdichte besitzen in der Regel viele Luftporen, die ihre Wärmedämmeigenschaften verbessern.

• Art, Größe und Verteilung der Poren

Art: Runde, kugelförmige Poren sind besser als längliche.
Größe: Viele kleine Poren sind besser als wenig große.
Verteilung: Gleichmäßige Verteilung ist besser als Porenhäufung.

• Temperatur des Stoffes

Die Moleküle warmer Stoffe sind beweglicher als die Moleküle kalter Stoffe. Dies hat zur Folge: Je geringer die Stofftemperatur ist, desto geringer ist die Wärmeleitfähigkeit. Um vergleichbare Werte zu erhalten, schreibt die DIN 4108 vor, dass die Festlegung des Wärmeleitfähigkeitwertes bei $+10^\circ \text{C}$ zu erfolgen hat.

• Feuchtegehalt des Stoffes

Er ist abhängig von der:

- Struktur des Stoffes (Poren, Aufbau)
- Lage der Konstruktion (Luftzufuhr)
- klimatischen Beanspruchung (innen – außen)

Werden Luftporen ($\lambda = 0,025 \text{ W/mK}$) mit Wasser ($\lambda = 0,64 \text{ W/mK}$) gefüllt, verschlechtert sich die Wärmeleitfähigkeit, d.h., der λ -Wert wird größer. Nasse Kleider sind nicht mehr so wärmend.

Fazit: **Durchfeuchtung verschlechtert die Wärmedämmwirkung.**

3. Verschlechterung des λ -Wertes aufgrund von Feuchteaufnahme des Dämmstoffes

$$\Delta\lambda = \text{Porosität in \%} \cdot \text{Feuchtegehalt in \%} \cdot (\lambda_{\text{Wasser}} - \lambda_{\text{Luftv}})$$

Beispiel 1:

Mauerwerk $\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$

Porosität $p = 90 \%$

Feuchtegehalt $\varphi = 40 \%$

$$\Delta\lambda = 0,90 \cdot 0,40 \cdot (0,64 - 0,025)$$

$$\Delta\lambda = 0,22 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_{\text{feucht}} = 0,04 + 0,22$$

$$\lambda_{\text{feucht}} = 0,26 \text{ W/mK}$$

→ Verschlechterung um 550 %

Beispiel 2:

$$\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$$

$$p = 90 \%$$

$$\varphi = 15 \%$$

$$\text{Ergebnis: } \lambda_{\text{feucht}} = 0,118 \text{ W/mK}$$

Wärmemenge: $1 \text{ J} = 1 \text{ Ws} = 1 \text{ Nm}$
Wärmestrom: $1 \text{ J/s} = 1 \text{ W} = 1 \text{ Nm/s}$

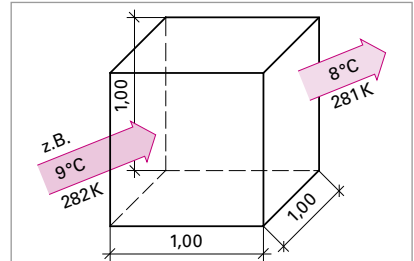


Bild 1: Probekörper zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit

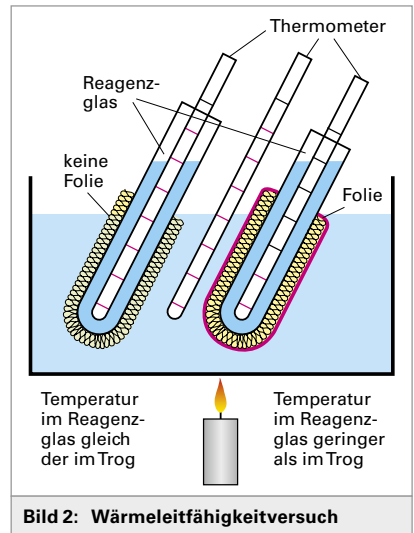


Bild 2: Wärmeleitfähigkeitsversuch

4. Wärmedurchlasswiderstand R

Einheit: R [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

Für die Beurteilung eines Bauteils in energetischer Hinsicht ist nicht maßgebend, wie viel Wärmeenergie es hindurchlässt, sondern wie groß sein Widerstand ist, Wärme hindurchzulassen.

Je größer der Wärmedurchlasswiderstand eines Bauteils ist, desto besser ist seine Dämmwirkung.

Besteht eine Konstruktion aus mehreren Schichten, so können die Wärmedurchlasswiderstände der einzelnen Schichten addiert werden.

5. Wärmeübergangskoeffizient h

Der Wärmeübergangskoeffizient h drückt die Wärmemenge (in Ws) aus, die pro Sekunde (s) zwischen 1 m^2 der Oberfläche eines festen Stoffes und der ihn berührenden Luft ausgetauscht wird, wenn der Temperaturunterschied zwischen Luft und Stoffoberfläche 1 K beträgt.

Während in einem Bauteil selbst die Wärme durch Wärmeleitung übertragen wird, erfolgt die Wärmeübertragung an den Bauteiloberflächen durch Strahlung h_s und Konvektion h_k (Wärmemitführung).

Hinweis: Im Winter ist eine Außenwand innen kühler als die Raumluft, während die Wandoberfläche außen wärmer ist als die Außenluft.

6. Wärmeübergangswiderstand $R_s \triangleq \frac{1}{h}$

Einheit: $1/\text{W}/\text{m}^2\text{K} = \text{m}^2\text{K}/\text{W}$

7. Wärmedurchgangskoeffizient U (U -Wert)

Mit Wärmedurchgang wird der gesamte Wärmeenergetransport von einem Luftraum durch ein Bauteil hindurch und wieder zum angrenzenden Luftraum verstanden. Im Wärmedurchgangskoeffizient U sind neben dem Wärmedurchlasswiderstand R noch die Wärmeübergangswiderstände $1/h_i$ und $1/h_e$ enthalten. Der Wärmedurchgangskoeffizient U (U -Wert) stellt die wichtigste bauphysikalische Größe im Wärmeschutz dar. Unter dem Wärmedurchgangskoeffizient U versteht man die Wärmeenergiemenge, die pro Sekunde (s) durch 1 m^2 einer Stoffschicht mit der Dicke d (in m) im Dauerzustand der Beheizung hindurchgeht, wenn der Temperaturunterschied von Raumluft zur Außenluft 1 Kelvin (K) beträgt.

Der U -Wert ist unter stationären, d. h. Laborbedingungen definiert und nicht unter instationären Bedingungen.

Bei Fenstern und Verglasungen wird stets der U -Wert angegeben.

$$R = \frac{\text{Schichtdicke der einzelnen Schichten}}{\text{jeweiliger Wärmeleitfähigkeitswert}}$$

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n}$$

Schichtdicke d in m

Bei Wänden gilt etwa:

$$\text{Innenseite: } h_i \approx h_k + h_s$$

$$\approx 4 + 4$$

$$h_i = 8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$\text{Außenseite: } h_e \approx h_k + h_s$$

$$= 13 + 10$$

$$h_e = 23 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$\text{Einheit: } \text{W} \cdot \text{s}/\text{s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K} = \text{W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$h = \text{heat engl. Wärme}$

Der Wärmeübergangskoeffizient ist abhängig von:

- der Lufttemperatur
- der Luftbewegung
- der Oberflächenbeschaffenheit der Wände (glatt – rau)
- der Lage der Bauteile (waagrecht – senkrecht)
- der Richtung des Wärmestroms
- der konstruktiven Ausgestaltung des Bauteils (einschalig – zweischalig)

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + R + \frac{1}{h_e}}$$

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}}$$

$U = \text{Unit of heat-transfer}$ U in $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$
 $R = \text{resistance} = \text{Widerstand}$

Indice: i = interior, intern (innen)
 e = exterior, extern (außen)
 s = surface (Oberfläche)

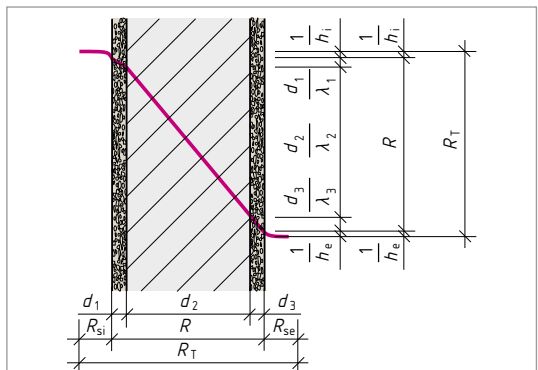


Bild 1: Temperaturverlauf

8. Wärmedurchgangswiderstand R_T

Mit dieser Formel wird in der Regel der U -Wert berechnet ($R_T \rightarrow 1/x$ -Taste $\rightarrow U$ -Wert). Für die Ermittlung des Temperaturverlaufes in einem Bauteil benutzt man ebenfalls diese Formel.

9. Spezifische Wärmekapazität c

Man versteht darunter die Wärmemenge, die erforderlich ist, um die Temperatur der Masse von 1 kg eines Stoffes um 1 Kelvin (1 K) zu erhöhen.

Einheit: $W \cdot s / kg \cdot K = J / kgK$

10. Wärmeeindringkoeffizient b

Der Wärmeeindringkoeffizient gibt Auskunft darüber, welche Wärmemenge (W_s) pro m^2 und K und $\sqrt{s}$ in einen Stoff eindringen kann.

Einheit: $\frac{W \cdot \sqrt{s}}{m \cdot K}$

$$b = \sqrt{\lambda_R \cdot \rho \cdot c}$$

λ in W/mK
 ρ in kg/m^3
 c in J/kgK

Großer Wärmeeindringkoeffizient:

Viel Wärme dringt in einer Zeiteinheit in den Stoff ein und nur wenig steht zur Erwärmung der Raumluft zur Verfügung.

Folge: Der Raum erwärmt sich nur langsam.

Kleiner Wärmeeindringkoeffizient:

Wenig Wärme dringt in einer bestimmten Zeiteinheit in den Stoff ein; dafür steht mehr Wärmeenergie zur Erwärmung der Raumluft zur Verfügung. Für die Fußwärme bei Böden, bzw. das Aufheizen von Wänden, ist der Wärmeeindringkoeffizient von entscheidender Bedeutung.

Beton fühlt sich bei gleicher Raumtemperatur kühler an als Holz, weil Beton dem Körper mehr Wärme entzieht als Holz. Bei Böden ist dieser Effekt wegen des Körperkontaktes besonders spürbar.

11. Wärmespeicherfähigkeit Q

Wärmespeicherfähigkeit spielt sowohl für den sommerlichen, als auch für den winterlichen Wärmeschutz eine große Rolle.

Sommer: Die raumumschließenden Bauteile nehmen tagsüber einen Teil der Wärmeenergie auf und geben sie in den Abend- und Nachtstunden an die sich abkühlende Raumluft ab. Dadurch wird das sogenannte Barackenklima vermieden.

Die Wärmespeicherfähigkeit ist umso größer:

- je größer die flächenbezogene Masse (kg/m^2) eines Bauteils ist,
- je größer seine spezifische Wärmekapazität c ist,
- je größer der Wärmeeindringkoeffizient b ist,
- je größer die Temperaturdifferenz ist.

$$R_T = \frac{1}{h_i} + R + \frac{1}{h_{e1}}$$

$$R_T = R_{si} + R + R_{se}$$

$$R_T = \frac{1}{h_i} + \frac{d_1}{\lambda_2} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_2} + \frac{1}{h_e}$$

Dämmwert der Konstruktion
 Einheit: m^2K/W

Tabelle 1: Rechenwerte der spezifischen Wärmekapazität c und des Wärmeeindringkoeffizienten b

	c in J/kgK	b in $\frac{W \cdot \sqrt{s}}{m \cdot K}$
Aluminium	800	20785
Stahl	400	13735
Beton	1000	2245
Leichtbeton	1000	930
Zementestrich	1000	1670
Kalkputz	1000	1250
Kalksandstein	1000	990
Mauerziegel	1000	900
Leichtlochziegel	1000	510
Hohlblocksteine	1000	380
Porenbeton	1000	340
Kork	1700	160
Schaumkunststoffe	1500	35
Mineralfasern	1000	30
Holz	2100	400
Holzwerkstoffe	2100	400
Luft	1000	14
Wasser	4200	1630

Z. B.: Beton

$$b = \sqrt{2,1 \cdot 2400 \cdot 1000}$$

$$b = 2245 \frac{W \cdot \sqrt{s}}{m \cdot K}$$

Z. B.: Holz

$$b = \sqrt{0,13 \cdot 600 \cdot 2100}$$

$$b = 405 \frac{W \cdot \sqrt{s}}{m \cdot K}$$

Winter: Die raumumschließenden Bauteile nehmen während der Heizzeit Wärme auf und können diese bei Wegfall der Heizung an die Raumluft abgeben. Weiter wird durch die Wärmespeicherung erreicht, dass es in Wandnähe keine Zugescheinungen gibt und die Wand Wärme abstrahlen kann. Dadurch wird das Wohlbefinden in Wandnähe gesteigert.

Grundsatzforderung:

Außenbauteile $\rightarrow$ hohe Wärmedämmung

Innenbauteile $\rightarrow$ große Wärmespeicherfähigkeit

$\rightarrow$ große Luftschalldämmung

Die speicherbare Wärmeenergiemenge errechnet sich zu:

$$Q = m' \cdot c \cdot \Delta\vartheta$$

Q in J/m² oder kWh/m²

m' in kg/m²

c in J/kgK

$\Delta\vartheta$ in °C oder K

ϱ in kg/m³

d in m

$$m' = d \cdot \varrho$$

Nach DIN 4108 dürfen für die Wärmespeicherefähigkeit max. 10 cm Bauteildicke eingerechnet werden.

Die 10 cm-Regel berücksichtigt die Tatsache, dass auch bei Außendämmung nicht die in der ganzen Wanddicke gespeicherte Wärme während eines Tages-/Nachtzyklus aus der Wand in den Raum entweichen kann, sondern nur die Wärmeenergiemenge, die sich in den ersten 10 cm von der warmen Raumseite eingelagert hat.

Beispiel:

Eine 24 cm dicke Wand aus Leichthochlochziegel mit $\varrho = 1200 \text{ kg/m}^3$ hat eine mittlere Temperatur von 14 °C. Die Wandoberflächentemperatur beträgt 17 °C.

$$Q = m' \cdot c \cdot \Delta\vartheta$$

$$Q = 1200 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,10 \text{ m} \cdot 1000 \text{ J/kgK} \cdot 3 \text{ K}$$

$$Q = 360\,000 \text{ J/m}^2$$

$$Q = 0,10 \text{ kWh/m}^2$$

1.2.2 Behaglichkeitsgefühl in einem Raum

Es ist abhängig von:

Wandoberflächentemperatur

Ob man sich in einem Raum behaglich fühlt, hängt neben den bereits auf S. 12 erwähnten Faktoren auch von der Wärmestrahlung der Bauteiloberflächen des Raumes ab. Behaglich fühlen wir uns bezüglich der Temperatur dann, wenn die raumseitige Oberflächentemperatur einer Wand im Winter maximal 3 °C **unter** und im Sommer maximal 3 °C **über** der Raumlufttemperatur liegt. Die Wandoberflächentemperatur ist von deren Dämmwert abhängig.

Fußbodentemperatur

Für den Fußboden gelten, bedingt durch den Körperkontakt über die Füße, andere Werte. Um dem Körper nicht zu viel Wärme zu entziehen, sollte die Oberflächentemperatur des Fußbodens 15 °C bis 20 °C nicht unterschreiten. Hierbei spielt die Aufenthaltsdauer eine wesentliche Rolle. Nach dem Diagramm empfindet man eine Fußbodentemperatur von 15 °C bis etwa 3 Stunden Aufenthaltsdauer noch behaglich, danach als kühl und nach ca. 3,8 Stunden als kalt.

Wärmespeicherefähigkeit der Wände

Die Wärmespeicherefähigkeit spielt sowohl im winterlichen als auch im sommerlichen Wärmeschutz eine große Rolle. Die Speicherefähigkeit schwerer Bauteile (große Dichte) ist besser als die leichter Konstruktionen. Dadurch kühlen solche Räume bei Absenkung oder Wegfall der Heizung nicht so schnell aus und im Sommer kann die überschüssige Energie tagsüber gespeichert werden, um sie in den kühleren Nachtstunden wieder an die Raumluft abzugeben.

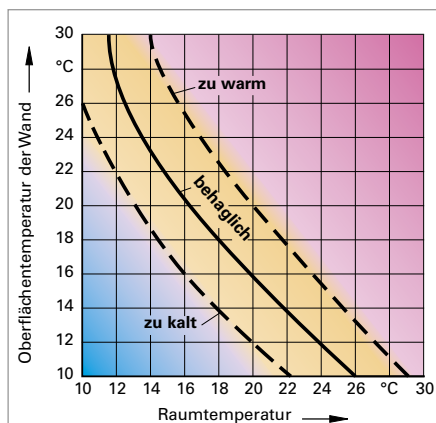


Bild 1: Raumbehaglichkeitskurve

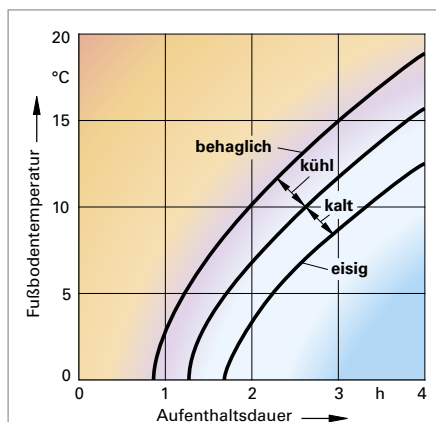


Bild 2: Fußbodenbehaglichkeitskurve

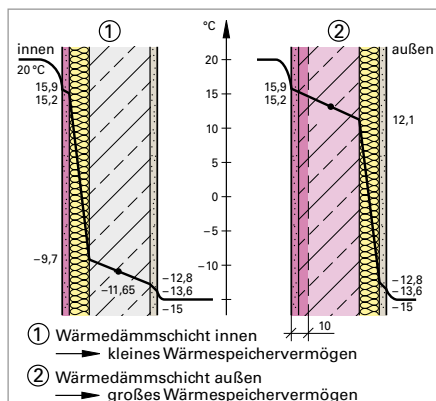


Bild 3: Wärmespeicherefähigkeit

Wärmespeicherwirksam sind nach DIN EN 13786 nur die vor der Dämmung zur Raumseite liegenden Schichten. Für die Wärmespeicherefähigkeit dürfen nur Baustoffe mit einem λ -Wert $\geq 0,1 \text{ W/mK}$ eingerechnet werden.

Relative Luftfeuchte

Das Bild 1 zeigt, dass wir uns unwohl fühlen, wenn die Raumlufttemperatur unter ca. 17 °C fällt, bzw. wenn sie über etwa 26 °C steigt, unabhängig von der relativen Luftfeuchte. Weiter ist zu sehen, dass wir mit steigenden Raumlufttemperaturen immer geringere Werte der relativen Luftfeuchte als behaglich akzeptieren.

Luftbewegung

Luftbewegung kann durch undichte Stellen in der Gebäudehülle (Dachfläche, Fensterfugen, Rolladenkästen) entstehen, jedoch auch durch Konvektion im Innern eines Gebäudes. Weisen innere Wandoberflächen nur geringe Temperaturen auf, so kommt es durch den großen Temperaturunterschied zwischen Raumluft und der Wandoberfläche zur Konvektion in Wandnähe, die als Zugscheinung empfunden wird.

Temperatur-Amplituden-Verhältnis TAV

Der Temperaturverlauf der Außenluft ist während einer Tages- und Nachtphase nicht konstant. Diese Außentemperaturschwankung hat Auswirkungen auf den Temperaturverlauf im Bauteil selbst und im Innern des Gebäudes während einer Tag-Nacht-Phase. Das TAV eines Bauteils ist dann als gut zu bezeichnen, wenn die Raumtemperaturschwankung geringer ist als die der Außenluft und wenn die Wärmeenergiequelle zeitverschoben innen ankommt. Das ist dann möglich, wenn die raumschließenden Bauteile über ein gutes Wärmespeichervermögen verfügen. Die Abbildung zeigt, dass die Höchstwerte (Amplitude) der Außenlufttemperatur im Rauminnern nicht erreicht werden und die Energiequelle mit einer Zeitverschiebung φ im Rauminnern ankommt. Dem TAV kommt besonders während der Sommermonate eine Bedeutung zu.

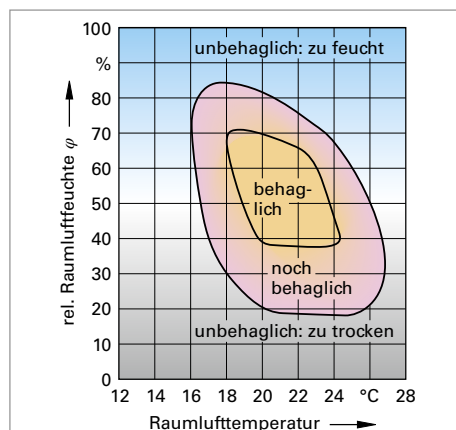


Bild 1: Relative Luftfeuchte und Behaglichkeit

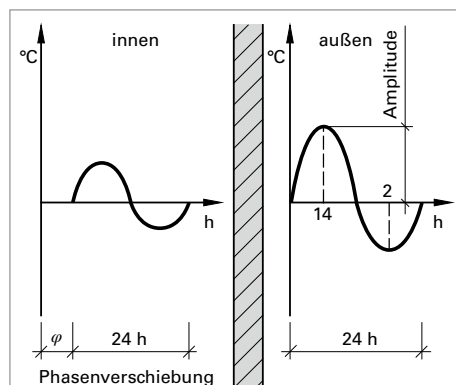


Bild 2: Temperatur-Amplituden-Verhältnis

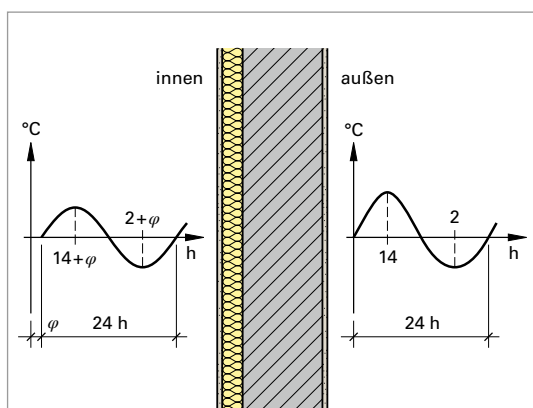


Bild 3: Innendämmung

- Der Putz stellt die einzige Wärmespeichermasse dar.
- relativ hohe Raumtemperatur → geringe Amplitudendämpfung
- geringe Phasenverschiebung, z. B. 3 h, d. h., die maximale Raumtemperatur wird nur mit einer geringen Zeitverschiebung von 3 Stunden zur Außentemperatur erreicht.

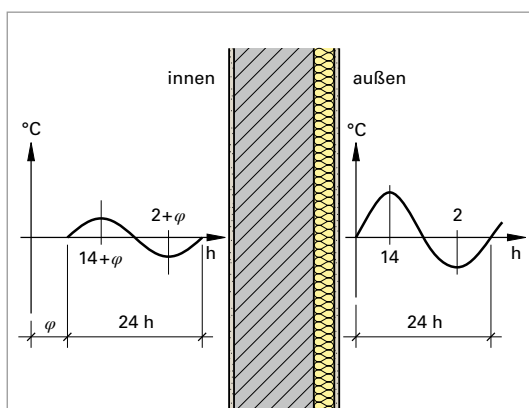


Bild 4: Außendämmung

- Putz und Mauerwerk dienen als Wärmespeicher.
- die Raumtemperatur ist im Sommer wesentlich niedriger als die Außentemperatur → große Amplitudendämpfung
- große Phasenverschiebung, z. B. 8 h, d. h., die maximale Raumtemperatur verschiebt sich um 8 h gegenüber der Außenlufttemperatur.

Luftqualität

Für die Luftqualität in einem Raum ist vor allem der Kohlendioxidgehalt (CO_2 -Gehalt) der Raumluft maßgebend. Hohe CO_2 -Belastungen verursachen Ermüdungserscheinungen, Konzentrationsschwierigkeiten, Kopfschmerzen, Schwindelgefühle, Anstieg des Blutdruckes. Sehr hohe CO_2 -Konzentrationen von ca. 10 %, wie sie in Gärkellern auftreten können, führen zum Erstickungstod. Eine Kerzenflamme erlischt. (Kohlenmonoxid CO ist brennbar und führt zum Vergiftungstod.) Der Mensch atmet pro Stunde ca. 500 Liter Luft mit einem Sauerstoffgehalt O_2 von 21 Vol.-% und mit einem CO_2 -Gehalt von ca. 0,03 Vol.-% ein (Inspirationsluft) und mit einem CO_2 -Gehalt von 4 % aus (Expirationsluft). Dabei verbraucht er pro Stunde etwa 33 Liter O_2 und erzeugt ca. 25 Liter CO_2 .

Der CO_2 -Gehalt sollte in hygienisch einwandfreien Wohn- und Arbeitsräumen 0,1 Vol.-% nicht überschreiten. Um diesen Wert in einem Raum halten zu können, sind nach DIN 1946-6 pro Person und Stunde ca. 30 m³ Außenluft erforderlich, deren CO_2 -Anteil nur 0,03 Vol.-% beträgt. Der Hygieniker Max Pettenkofer (1818 – 1901) sagte: Der CO_2 -Gehalt ist Indikator für gute oder schlechte Luft.

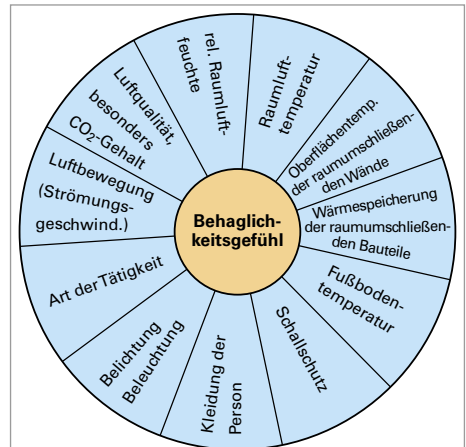


Bild 1: Abhängigkeit der Behaglichkeit

1.2.3 Einflussmöglichkeiten zur Energie-Einsparung

- Baugrundstück:
 - Verschattung durch Bäume oder angrenzende Bebauung
 - Windhäufigkeit, Windstärken
 - Nebelhäufigkeit
- Gebäudeorientierung:
 - Ausrichtung der Hauptdachfläche nach Süden
 - Wintergärten
 - Solargewinne durch thermische Solaranlagen, Photovoltaikanlagen, transparente Wärmedämmung
- Kompaktheit:
 - A/V_e -Verhältnis möglichst gering
- Hausform:
 - stark gegliederte Fassade oder gerade verlaufende Außenwände (Vor- und Rücksprünge der Wände)
 - Erker
 - Reihenmittelhaus, Reihenendhaus, Einzelhaus
- Grundrissgestaltung:
 - thermische Zonierung
 - beheizte Räume neben beheizten
 - unbeheizte Räume neben unbeheizten
 - unbeheizte Räume im Norden
 - übermäßig hohe Räume mit Fußbodenheizung
- Wärmedämmung:
 - Einfluss auf den Transmissionswärmeverlust
 - Vermeidung von Feuchteschäden
 - Außendämmung vor Innendämmung
- Heizanlage:
 - Standardkessel – Niedertemperatur-Kessel – Brennwertkessel
 - Einsatz von regenerativen Energien wie: Sonnenenergie, Biomasse, Wasserkraft, Windenergie, Umgebungswärme, Geothermie, Gezeitenenergie
- Solaranlagen:
 - aktive Solaranlagen: Flach- und Röhrenkollektoren
 - passive Solaranlagen: Wintergärten, transparente Wärmedämmung, Fenster
- Anlagen-Aufwandszahl: $\triangleq$ Kehrwert des Nutzungsgrades einer Anlage
- Anlagentechnik:
 - Lüftungstechnik, Klimatechnik, Armaturen (Wasser sparend) und
- Wärmebrücken:
 - Heizkörpernischen, Rollladenkästen, Balkone, Loggien, Anschlüsse
- Luftdichtheit:
 - Durchdringungen, Anschlüsse, Fugen
- Thermostate:
 - Feinregulierbarkeit
- Ventile:
 - Sparsamkeit im Wasserverbrauch
- Haushaltsgeräte:
 - Einsatz Energie sparender Haushaltsgeräte (Kühlschränke, Gefrierschränke)
- Beleuchtung:
 - Energiespar-Leuchtmittel