



Bibliothek des technischen Wissens

Bauphysik

Walter Bläsi

10. Auflage

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

Europa-Nr.: 42616

Autor:

Bläsi, Walter

Studiendirektor i. R.

Neuried

Bildentwürfe: Der Autor

Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlages Europa-Lehrmittel, Ostfildern

DTP-Studio Wiegand, Hamburg

10. Auflage 2016

Druck 5 4 3

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

ISBN 978-3-8085-4275-0

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

©2016 by Verlag Europa Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

Umschlaggestaltung: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald unter Verwendung eines
Fotos von Michael M. Kappenstein, 60385 Frankfurt
Satz: Tutte Druckerei & Verlagsservice GmbH, 94121 Salzweg
Druck: ITC Print, 1035 Riga (Lettland)

Vorwort

Die Bauphysik liegt nun in der **10. 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
- 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 nutzen.

Mögliche Problemfälle zeigt die folgende Übersicht:

Nr.	Wärmeschutz	Feuchteschutz	Schallschutz	Brandschutz	Grund für ⊖
1	⊕ entspricht EnEV	⊖ Tauwasser	⊕ kein Problem	⊕ entspricht der Norm	s _d -Wert der Dämmschicht
2	⊕ entspricht EnEV	⊖ 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	⊕ Energie-Plushaus	⊕ kein Problem	⊕ kein Problem	⊖ Problem	Dämm-Material im Brandfall tropfend, giftige Gase entwickelnd

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

Ein kleiner Ausblick in die Bauchemie soll dazu beitragen, Schaden bei Sanierungsmaßnahmen zu vermeiden.

Autor und Verlag sind für Verbesserungsvorschläge dankbar.
Senden Sie diese bitte an lektorat@europa-lehrmittel.de.

Inhaltsverzeichnis

1 Wärmeschutz

1.1	Grundlagen des Wärmeschutzes. . .	10
1.1.1	Gründe für den Wärmeschutz.	10
1.1.2	Energieträger	10
1.1.3	Geothermie	11
1.1.4	Einflussgrößen des Wärmeschutzes	13
1.1.5	Wärmeübertragung	14
1.2	Physikalische Grundlagen	15
1.2.1	Grundbegriffe im Wärmeschutz . . .	15
1.2.2	Behaglichkeitsgefühl in einem Raum	18
1.2.3	Einflussmöglichkeiten zur Energie-Einsparung	20
1.3	Dämmstoffe: Herstellung – Eigenschaften – Verwendung	21
1.3.1	Dämmstoffe im Erdreich, in der Fassade und am Dach	26
1.3.2	Wärmedämm-Verbund-Systeme WDVS	27
1.3.3	Aufdoppelung der Dämmschicht an WDVS	29
1.4	Entwicklung des U'-Wertes in Abhängigkeit von der Dämmstoffdicke	32
1.5	Stoffkennwerte	33
1.5.1	Wärmedurchlasswiderstand von Luftschichten.	37
1.6	Nachweis des Wärmeschutzes . . .	38
1.6.1	Wärmeschutznachweis nach DIN 4108	38
1.6.2	Gesamtenergiedurchlassgrad g . . .	41
1.7	Nachweis nach der Energie-Einspar-Verordnung (EnEV)	42
1.7.1	Die Energie-Einspar-Verordnung in Beziehung zu den nationalen Normen	42
1.7.2	Geltungsbereich der Energie-Einspar-Verordnung	43
1.7.3	Berechnungsgrundlagen nach der Energie-Einspar-Verordnung	44
1.7.4	Begriffserläuterungen der EnEV . . .	45
1.7.5	Verwendung der fünf Flächenbegriffe in der EnEV	49
1.7.6	Gebäudemasse und ihre Verwendung in der EnEV	50
1.7.7	Von der Endenergie Q_e zur Primärenergie Q_p	51
1.7.8	Interne Wärmegewinne	52
1.7.9	Solare Wärmegewinne	53
1.7.10	Luftdichtheit/Luftdichtheitsprüfung	54
1.7.11	Lüftungswärmeverluste.	55
1.7.12	Wärmespeicherung	56
1.7.13	Anforderungen für neu zu errichtende Gebäude nach den Vorschriften der WschVO bzw. EnEV	57

1.8	Nachweisverfahren nach der Energie-Einspar-Verordnung	58
1.8.1	Monatsbilanz-Verfahren (MB-Verfahren/Bauteil-Verfahren (BT-Verfahren)	58
1.8.2	Sanierung von Gebäuden im Bestand (Altbausanierung)	60
1.8.3	Struktogramm zur Ermittlung des Jahres-Primärenergiebedarfs	61
1.8.4	Energiebilanz	62
1.8.5	Maximalwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten U nach der EnEV bei bestehenden, beheizten oder gekühlten Räumen	63
1.8.6	Nachweisverfahren bei bestehenden Gebäuden (Altbauten)	65
1.9	Beispielrechnungen zum Wärmeschutz	66
1.9.1	Mittlerer U-/R-Wert	66
1.9.2	Beispiele	
	Beispiel 1: Dach	66
	Beispiel 2: Fachwerkwand	66
	Beispiel 3: Außenwand	67
	Beispiel 4: Fachwerkwand	68
	Beispiel 5: Dach	68
	Beispiel 6: Wand mit Nische	69
	Beispiel 7: Rollladenkasten	70
	Beispiel 8: Decke mit Fußbodenheizung	70
	Beispiel 9: Außenwand mit beidseitigem Putz	72
	Beispiel 10: Wand mit Außendämmung	71
	Beispiel 11: Wand mit Innendämmung	73
	Beispiel 12: Wand mit Kerndämmung	74
	Beispiel 13: Zweischaliges Mauerwerk mit Außendämmung und hinterlüfteter Vorsatzschale	75
	Beispiel 14: Zweischalige Wand mit Fassadenplatte	76
	Beispiel 15: Bestandsgebäude	77
	Beispiel 16: Bestandsgebäude mit Erweiterung	80
	Beispiel 17: Altbausanierung	92
	Beispiel 18: Bestandsgebäude mit Referenz-Standort Chemnitz	103
1.10	Glas.	108
1.10.1	Besondere Gläser	109
1.10.2	Fenster im sommerlichen Wärmeschutz und Wärmedämmverglasung	110
1.10.3	Temperaturleitzahl a (a-Wert) und Wärmeeindringkoeffizient b (b-Wert)	113
1.11	Sommerlicher Wärmeschutz	115
1.11.1	Abminderungsfaktoren F_C	116

1.11.2	Sonneneintragskennwerte	117
1.11.3	Temperatur-Amplituden-Verhältnis (TAV) und Temperatur-Amplituden-Dämpfung (TAD).	122
1.11.4	Vergleich sommerlicher und winterlicher Wärmeschutz einzelner Baustoffe	124
1.12	Nachweisverfahren bei zu errichtenden Gebäuden	125
1.13	Heizanlagen-Systeme (DIN 4701-10)	128
1.14	Referenzwerte der Strahlungsintensitäten und der Außentemperaturen für das Referenzklima Deutschland	140
1.14.1	Ausgewählte Referenzorte für Strahlungsintensitäten.	146
1.15	Neu zu errichtende Wohngebäude	
	Beispiel 1: Gebäude mit ausgebautem KG und DG für die Referenzstandorte Freiburg und Hof	156
	Beispiel 2: Freistehendes zu errichtendes Zweifamilienhaus mit beheiztem KG und DG für den Referenzstandort Potsdam.	161
1.16	Längenänderung von Bauteilen infolge von Temperatureinflüssen.	168
1.16.1	Berechnungsbeispiele von Flachdächern	170
1.16.2	Arten von Flachdächern.	174
1.16.3	Berechnungsbeispiele verschiedener Bauteile.	177
	Beispiel 1: Stützmauer	177
	Beispiel 2: Estrich	177
	Beispiel 3: Heizestrich	177

2 Feuchte – Feuchteschutz . . . 178

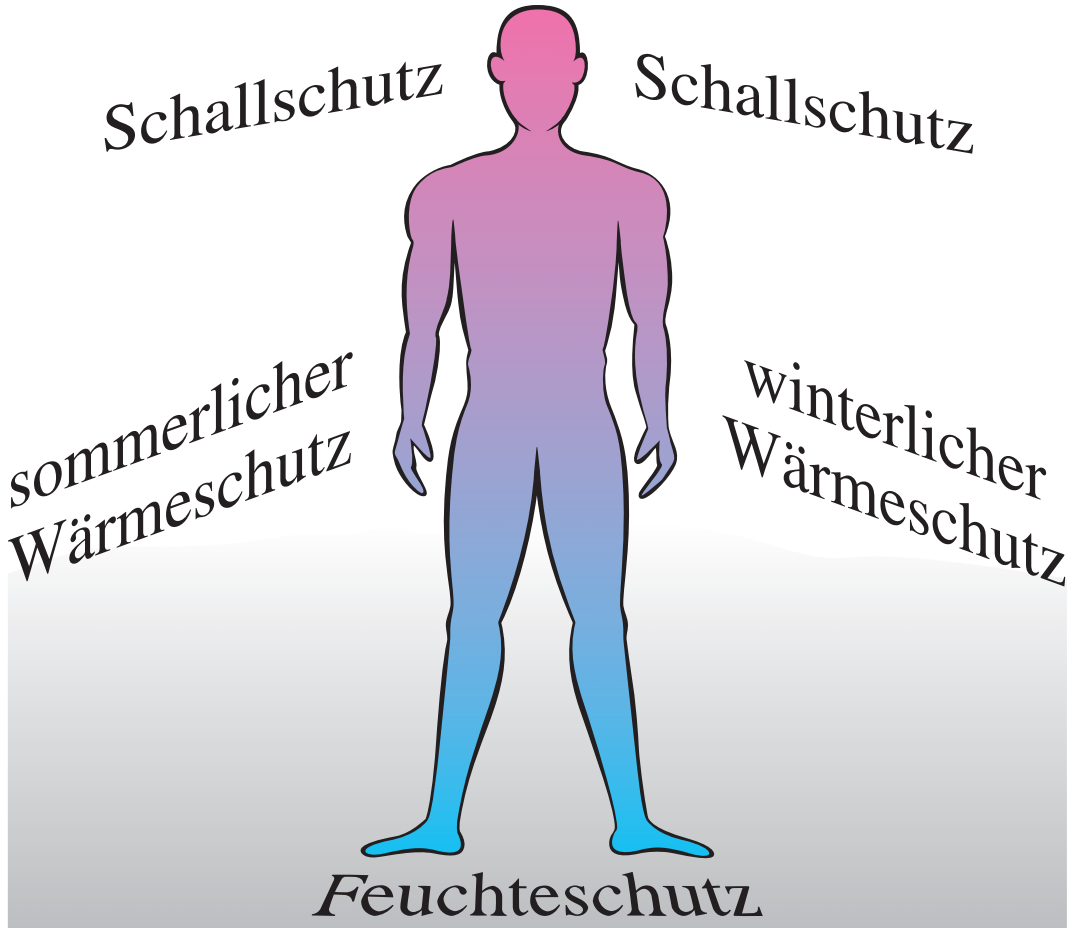
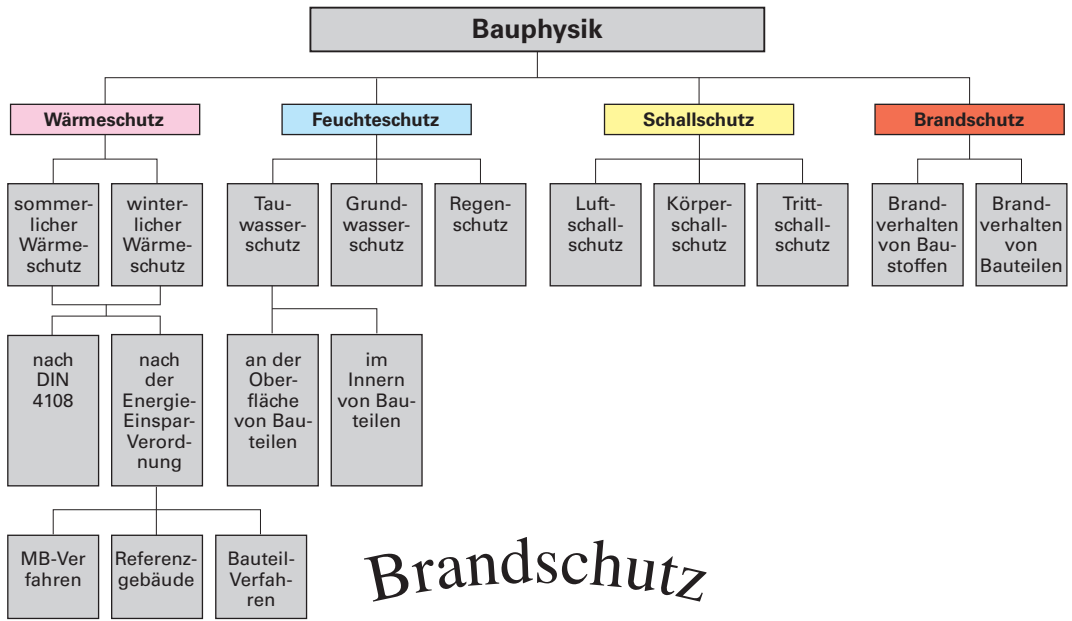
2.1	Arten der Feuchte	178
2.2	Aggregatzustände.	179
2.3	Arten der Wässer	180
2.4	Kreislauf des Wassers	180
2.5	Wasser in seiner Bedeutung	181
2.6	Kapillarität	181
2.7	Sperrung	183
2.7.1	Sperrung gegen Wasser	183
2.7.1.1	Sperrung gegen nichtdrückendes Wasser.	184
2.7.1.2	Sperrung gegen drückendes Wasser (Grundwasser)	184
2.7.1.3	Fugen – Fugenbänder	185
2.7.2	Sperrung gegen Wasserdampf.	187
2.8	Luftfeuchte.	188
2.8.1	Absolute Luftfeuchte	188
2.8.2	Relative Luftfeuchte	188
2.9	Tauwasserbildung – Taupunkttemperatur	188

2.10	Wasserdicht – wasserdampfdicht – Dampfbremse – Dampfsperre	194
2.10.1	Wasserdampf-Diffusionswiderstandsfaktor (μ -Wert)	194
2.11	Vergleich Wärmeschutz Feuchteschutz	195
2.12	Erklärung des Wärmestromprinzips.	196
2.13	Erklärung des Prinzips der Sperrung gegen Feuchte	196
1.13.1	Baukonstruktive Grundsätze	197
2.14	Dampfdruck	198
2.15	Feuchteschutz infolge Wasserdampfdiffusion	199
2.15.1	Bedingungen im Feuchteschutz nach DIN 4108.	199
2.15.2	Vermeidung von Tauwasser an der Bauteiloberfläche.	199
2.15.3	Vermeidung von Tauwasser im Innern von Bauteilen	200
2.15.4	Nachweisverfahren: Perioden-Bilanzverfahren und Monats-Bilanzverfahren.	201
2.15.5	Arten des Feuchtetransportes.	202
2.15.6	Formeln für die Nachweisverfahren.	203
2.16	Aufbau des Glaser-Diagrammes der Tauperiode.	208
2.16.1	Tauperiode	208
2.16.2	Erklärung des Diagrammaufbaus.	209
2.16.3	Verdunstungsperiode.	210
2.16.4	Aufbau des Diagrammes der Verdunstungsperiode.	211
2.17	Maßnahmen zur Tauwasser-Vermeidung	212
2.18	Mögliche Fälle der Tauwasser-situation.	213
2.18.1	kein Tauwasserausfall	213
2.18.2	Tauwasser in einer Ebene	213
2.18.3	Tauwasserausfall in zwei Ebenen	213
2.18.4	Tauwasserausfall in einem Bereich.	214
2.19	Feuchtetechnische Untersuchung verschiedener Konstruktionen.	215
	Beispiel 1: Betonwand mit innenliegender Dämmung (EPS) und beidseitigem Putz	215
	Beispiel 2: Betonwand mit außenliegender Dämmung und beidseitigem Putz.	219
	Beispiel 3: Betonwand mit innen und außen liegender Dämmung und beidseitigem Putz (Manteldämmung, Mantelbauweise)	221
	Beispiel 4: Betonwand mit Manteldämmung, jedoch innen EPS 30 mm, außen WF 30 mm	227

6 Bauchemie 430

6.1	Aufgabe der Bauchemie	430
6.2	Gase	430
6.2.1	Schadensfaktor Gase	431
6.3	Säuren	432
6.4	Laugen	433
6.5	Salze	433
6.6	pH-Wert	436
6.7	Bindemittel	438
6.8	Kreislauf des Kalkes	438
6.9	Korrosion	439
6.9.1	Elektrochemische Spannungsreihe nach Galvani	440
6.10	Nicht-Eisenmetalle (NE-Metalle) ..	441

6.11	Schadensfaktor Wasser	441
6.11.1	Wasser als Lösungsmittel	441
6.11.2	Wasser als Partner von chemischen Rektionen	442
6.11.3	Wasser als Transportmittel	442
6.11.4	Wasser als Sprengfaktor	442
6.11.5	Wasser als Beeinträchtigungsfaktor	442
6.11.6	Wasser als Förderfaktor	443
6.12	Säuren als Schadensursache	443
6.12.1	Herkunft der Säuren	443
6.13	Schadensfaktor Laugen	444
6.13.1	Herkunft der Laugen	445
6.14	Schadensfaktor Salze	446
6.15	Schadensfaktor Organismen	448
6.16	Regeln zur Vermeidung von Bauschäden	448
	Sachwortverzeichnis	451



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

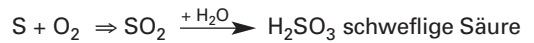
Spannungen infolge Temperatureinflüssen führen zu Bauschäden (Sommer ⇒ Ausdehnung; Winter ⇒ Schrumpfung). Folgeschäden durch Feuchteinwirkung müssen vermieden werden.

3. Aus Energie-Einspargründen

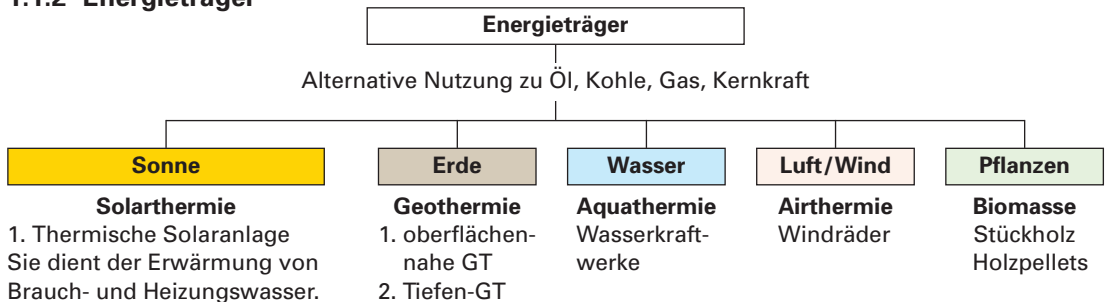
Die Ansprüche der Menschen steigen, ihr Lebensstandard wächst, die Rohstoffe stellen absolut knappe Güter dar, d.h. sind nicht reproduzierbar, ihr Vorrat ist begrenzt. Der Energieverbrauch für Heizung und Kühlung muss so gering wie möglich gehalten werden.

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



2. Photo-Voltaik-Anlage (PV)
Siliciumzellen erzeugen Gleichstrom, der durch einen Wechselrichter zu Wechselstrom umgewandelt wird.

3. Luft-Wasser-Wärmepumpe
Indirekte Nutzung der Sonnenenergie:

Die Sonne erwärmt die Luft und die warme Luft dient als Energieträger.

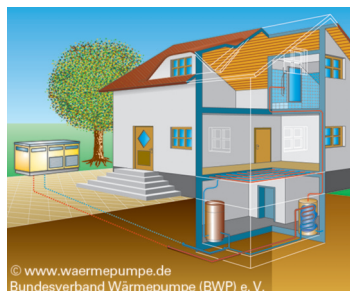


Bild 1: Luft-Wasser-Wärmepumpe

Funktionsweise einer Wärmepumpe

1. Flüssiges Kältemittel verdampft.
2. Kältemittel in Dampfform wird komprimiert ⇒ dadurch Temperaturerhöhung.
3. Heißes Kältemittel geht zum Wärmetauscher und gibt die Energie an das Brauchwasser ab.
4. Dadurch verflüssigt sich das Kältemittel wieder und der Kreislauf beginnt von Neuem.

1.1.3 Geothermie

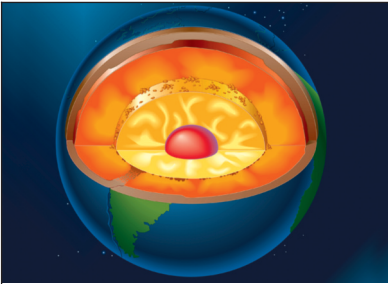
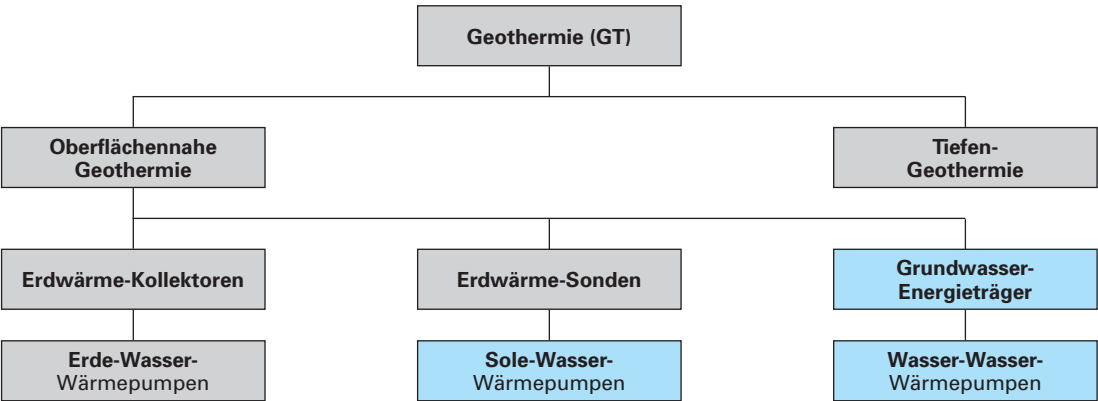


Bild 1: Aufbau der Erde

Geo-Thermie (griech. geo = Erde, thermos = warm) (Thermie = betrifft Wärme) bezeichnet Wärmeenergie, die in der Erde schlummert, manchmal auch eruptiv sichtbar zu Tage tritt. Die Erde besitzt ein großes Energiepotenzial. Dies zu nutzen hat sich die Geothermie zur Aufgabe gemacht.

Erdwärmekollektoren

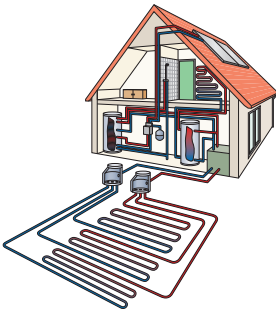


Bild 2: Erde-Wasser-Wärmepumpen

Schon in geringer Tiefe von ca. 2 m bietet sich die Möglichkeit, durch Verlegung von Kollektoren (Rohre aus Polyethylen PE), verlegt wie bei Fußbodenheizungen, Wärmeenergie dem Erdreich zu entziehen. Es sind große Flächen erforderlich, was bei heutigen Grundstücksgrößen diese Art der Nutzung nicht ermöglicht. Außerdem zeigt Bild 2, dass die Ergiebigkeit der Erdwärmenutzung jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt. Um auch die in die Erde eingespeicherte Wärmeenergie durch Sonneneinstrahlung zu nutzen, dürfen solche Kollektorflächen nicht bebaut werden.

Erdwärmesonden

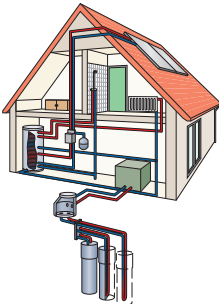


Bild 3: Sole-Wasser-Wärmepumpen

Als Energieträger, d.h. Energielieferant steht auch hier das Erdreich zur Verfügung. Es werden je nach Wärmebedarf mehrere Erdwärmesonden sternförmig schräg nach außen gebohrt, um eine stärker punktuelle Auskühlung des Erdreiches zu vermeiden. Die bergrechtliche Grenze liegt bei einer Tiefe von 100 m. Um das Bohrloch herum muss, um vollständigen Kontakt mit dem Erdreich zu erhalten, eine vollflächige Verfüllung erfolgen. Nur mit komplettem Erdkontakt ist eine optimale Wärmeübertragung an die Sonde gewährleistet. Erdwärmesonden sind durch die Bohrungen teurer als Erdwärmekollektoren, jedoch verfügen die Sonden das ganze Jahr über einen Temperaturbereich von ca. 12 °C, während dies bei Erdwärmekollektoren – jahreszeitlich bedingt – nur zwischen +5 °C und +15 °C der Fall ist.

Grundwasser-Energieträger

Eine weitere – vielleicht die häufigste – Möglichkeit der oberflächennahen Geothermie (GT) besteht in der im Grundwasser gespeicherten Energie. Grundwasser bietet das ganze Jahr über eine relativ gleichbleibende Temperatur, die aber in der Wärmepumpe auf ein höheres Niveau gebracht werden muss, um für Heizzwecke verfügbar sein zu können.

Es ist bei solchen Anlagen ein Förderbrunnen (Saugbrunnen) und Schluckbrunnen erforderlich. Förderbrunnen und Schluckbrunnen sollten nicht zu nah beieinander liegen, um eine Vermengung des um ca. 4 °C abgekühlten Wassers mit dem Wasser aus dem Förderbrunnenbereich zu vermeiden. Nicht jedes Bau-Grundstück bietet die Möglichkeit, einen Förder- und Schluckbrunnen zu bauen. Hier bietet sich die Sole-Wasser-Wärmepumpe als gute Alternative der Geothermie an. Sowohl die Wasser-Wasser-Wärmepumpe (WWP) als auch die Sole-Wasser-Wärmepumpe (SWP) können als reversible Wärmepumpen betrieben werden, d.h. solche Wärmepumpen führen im Sommer durch ihre Kühlfunktion die entzogene Wärmeenergie dem Erdreich oder Grundwasser zu, um im Winter wieder darüber verfügen zu können.

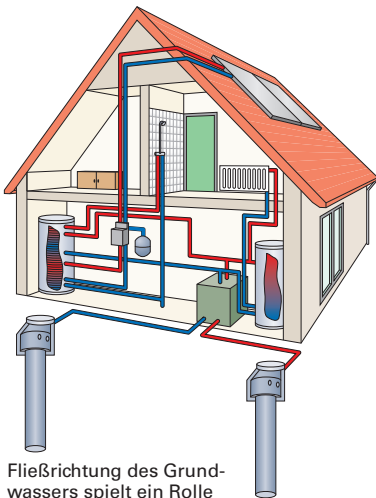


Bild 1: Wasser-Wasser-Wärmepumpen

Tiefen-Geothermie

Während bei der oberflächennahen Geothermie die Wärmepumpe dazu dient, das Medium auf eine höhere Temperatur zu bringen, ist bei der Tiefen-Geothermie das in großen Tiefen gelagerte Thermalwasser schon so heiß, dass es für Heizzwecke in größeren Wärmenetzen oder zur Stromerzeugung genutzt werden kann. Über eine Förderbohrung wird das Thermalwasser seiner Nutzung (Wärmeenergie Entzug) zugeführt und anschließend das abgekühlte Wasser über die Injektionsbohrung der Lagerstätte wieder zugeführt.

Man unterscheidet:

1. Hydrothermale Systeme

Hier handelt es sich um in großer Tiefe (200 m bis 5 000 m) gelagerte heiße Quellen mit Temperaturen von 130 °C bis 160 °C. Wesentliche Punkte für die Erschließung ist die Temperatur sowie die Ergiebigkeit.

2. Petothermale Systeme

Bei diesem System wird Gestein, vorwiegend Tiefengestein, Wärmeenergie entzogen. Je dichter das Gestein ist, desto mehr Energie kann dies speichern und um so schneller erfolgt der Zufluss von Wärmeenergie aus dem Umkreis der Entnahmestelle.

In Deutschland sind aufgrund der geologischen Struktur ca. 90 % mit diesem System erschließbar.

Die Temperatur nimmt um ca. 3 °C (3 K) je 100 m Tiefe zu.

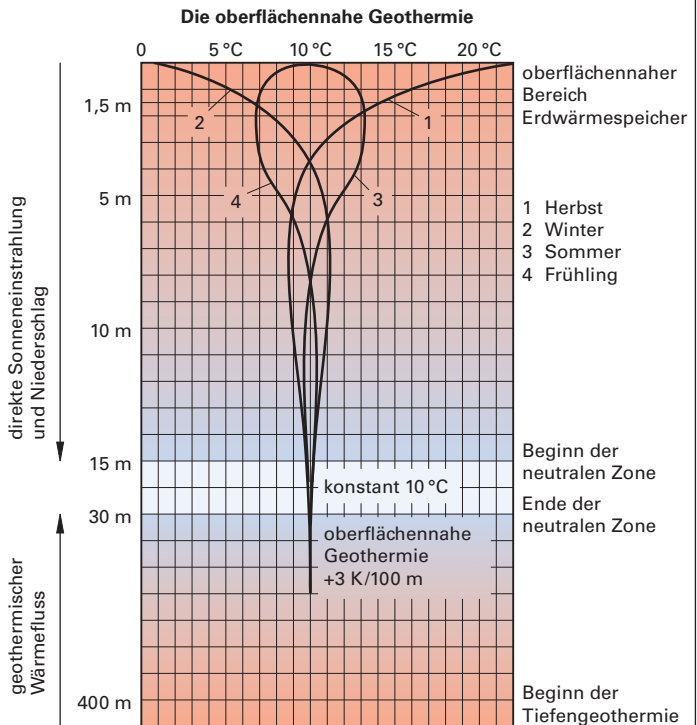
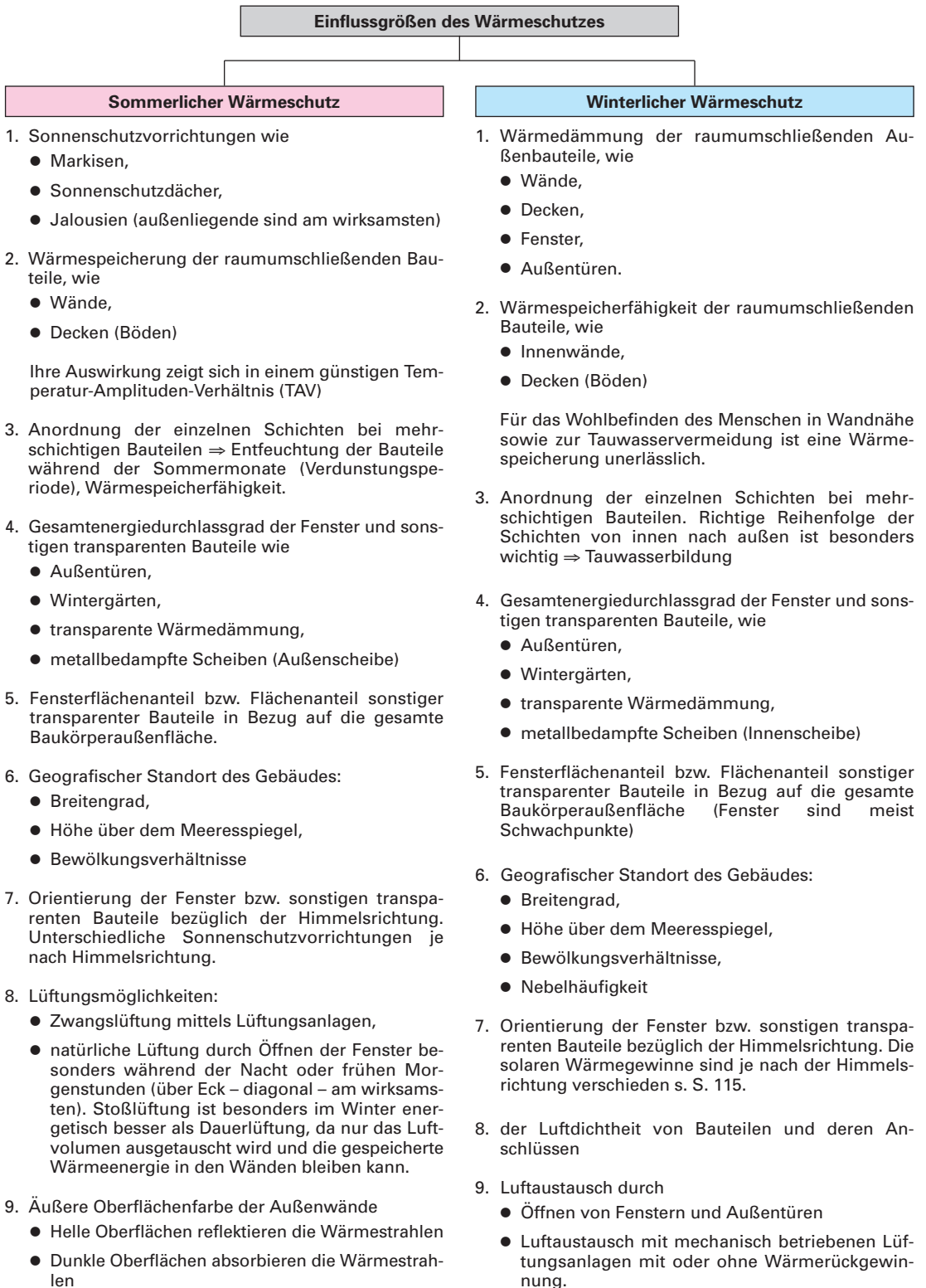


Bild 2: Temperaturverlauf im Erdreich

Quelle: www.solarpraxis.de

1.1.4 Einflussgrößen des Wärmeschutzes



1.1.5 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

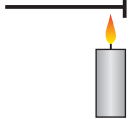


Bild 1

Der Nagel wird heiß

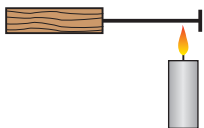


Bild 2

Das Holz erwärmt sich nicht

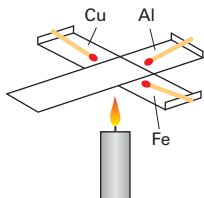


Bild 3

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

= Wärmemittelführung

Wärmeströmung:
Bei Flüssigkeiten

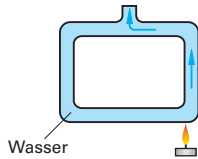


Bild 4

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

Wärmekonvektion:
Bei Luft (Gasen)

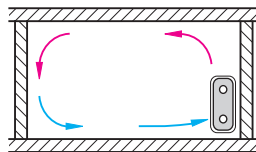


Bild 5

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, ihre Lage 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:

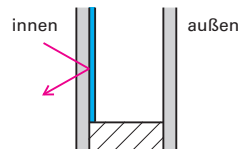


Bild 6

beschichtetem Sonnenschutzglas:

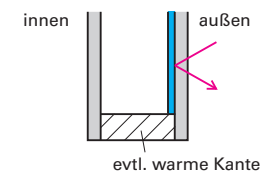


Bild 7

Aluminiumfolien:
hinter Heizkörpern

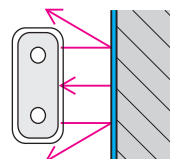


Bild 8

Wärme soll in den Raum zurückgeworfen werden

Fußbodenheizung:

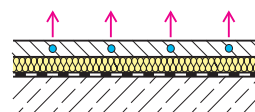


Bild 9

Heizfläche gibt Wärmestrahlung in den Raum

1.2 Physikalische Grundlagen

1.2.1 Grundbegriffe im Wärmeschutz

1. Wärmemenge Q : Einheit Ws

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

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

2. Wärmeleitfähigkeit λ

λ = kleines griechisches l; gesprochen Lambda

Der Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit gibt die Wärmemenge in Ws 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.

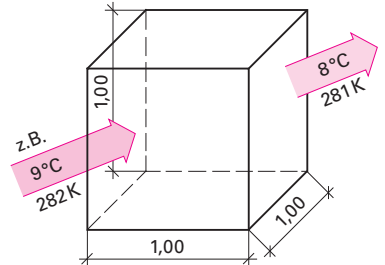


Bild 1

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

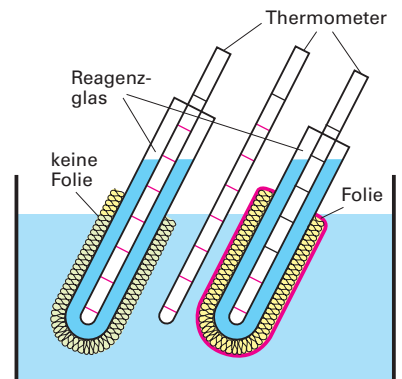
Art: Runde, kugelförmige Poren sind besser als längliche.

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.



Temperatur im Reagenzglas gleich der im Trog



Temperatur im Reagenzglas geringer als im Trog

Bild 2

• 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. Siehe: Nasse Kleider geben nicht mehr so warm.
Fazit: **Durchfeuchtung verschlechtert die Wärmedämmwirkung.**

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

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

Beispiel 1:

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

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:

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

$p = 90 \%$

$\varphi = 15 \%$

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

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_K und Konvektion h_S (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 Wärmeenergietransport 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:

Innenseite: $h_i \approx h_K + h_S$
 $\approx 4 + 4$
 $h_i = 8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Außenseite: $h_e \approx h_K + h_S$
 $= 13 + 10$
 $h_e = 23 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

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

R = resistance = Widerstand

Indice:

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

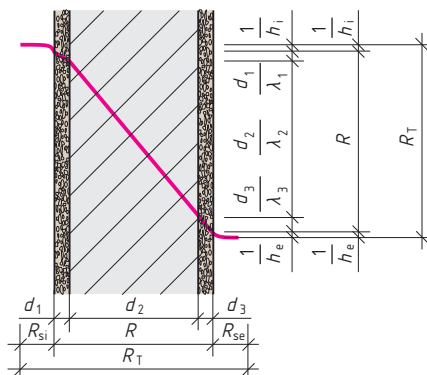


Bild 1: Temperaturverlauf

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 $s^{0,5}$ in einen Stoff eindringen kann.

Einheit: $\frac{W \cdot s^{0,5}}{m^2 \cdot K}$

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

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.

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

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

$$R_T = \frac{1}{h_i} + \underbrace{\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n}}_{\text{Dämmwert der Konstruktion}} + \frac{1}{h_e}$$

Dämmwert der Konstruktion

Einheit: m^2K/W

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

	c in J/kgK	b in $\frac{W \cdot s^{0,5}}{m^2 K}$
Aluminium	800	20 785
Stahl	400	13 735
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

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

$$b = 2245 \frac{W \cdot s^{0,5}}{m^2 K}$$

Z. B.: Holz

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

$$b = 405 \frac{W \cdot s^{0,5}}{m^2 K}$$

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 Zugerscheinungen 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:

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

Einheit: J/m²

$m' = d \cdot \rho$

m' in kg/m²
 c in J/kgK
 $\Delta\vartheta$ in °C oder K
 ρ in kg/m³
 d in m

Nach DIN 4108 dürfen für die Wärmespeicherfähigkeit 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 $\rho = 1200 \text{ kg/m}^3$ 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. 9 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 (R) 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.

Wärmespeicherfähigkeit der Wände

Die Wärmespeicherfähigkeit spielt sowohl im winterlichen als auch im sommerlichen Wärmeschutz eine große Rolle. Die Speicherfähigkeit 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.

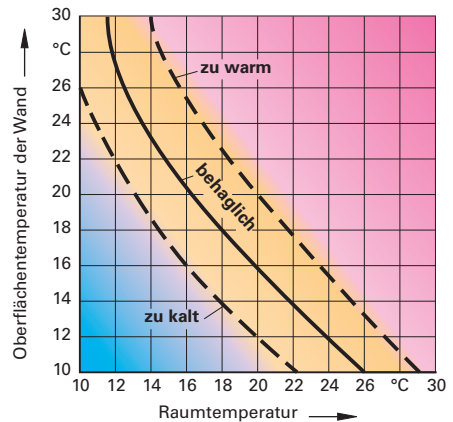


Bild 1: Raumbehaglichkeitskurve

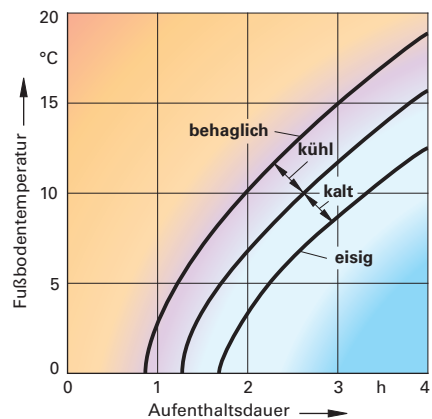
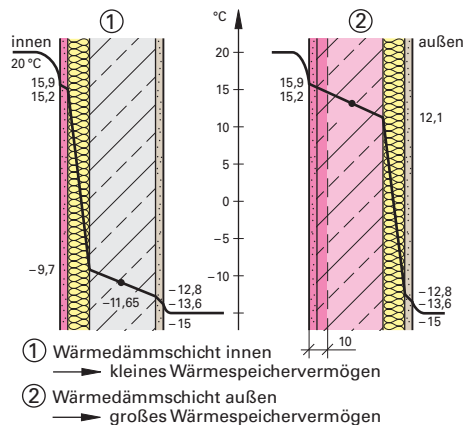


Bild 2: Fußbodenbehaglichkeitskurve



Wärmespeicherwirksam sind nach DIN EN 13 786 nur die vor der Dämmung zur Raumseite liegenden Schichten. Für die Wärmespeicherfähigkeit dürfen nur Baustoffe mit einem λ -Wert $\geq 0,1 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ eingerechnet werden.

Bild 3: Wärmespeicherfähigkeit

Relative Luftfeuchte

Die Abbildung 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 ersehen, 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 Zugerscheinung empfunden wird.

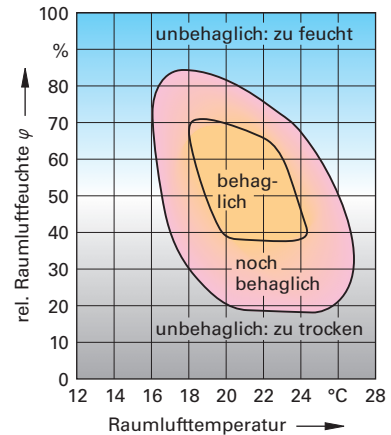


Bild 1: Relative Luftfeuchte und Behaglichkeit

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 raumumschließenden Bauteile über ein gutes Wärmespeichervermögen verfügen. Die Abbildung zeigt, dass die Höchstwerte (Amplitude) der Außenlufttemperatur im Rauminnern nicht erreicht werden und die Energiewelle mit einer Zeitverschiebung φ im Rauminnern ankommt.

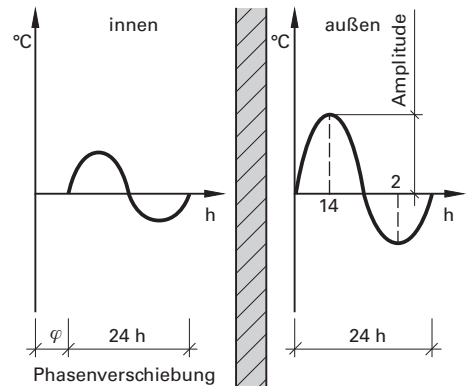


Bild 2: Temperatur-Amplituden-Verhältnis

Dem TAV kommt besonders während der Sommermonate eine Bedeutung zu.

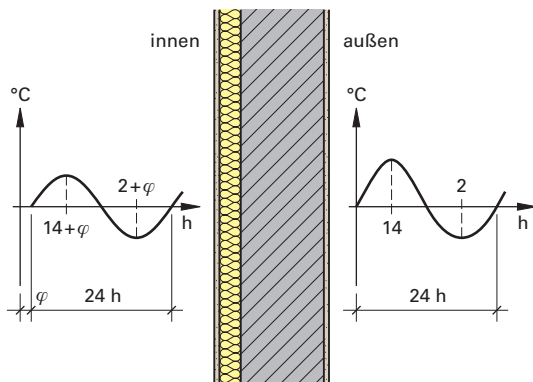


Bild 3: Innendämmung

- 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.

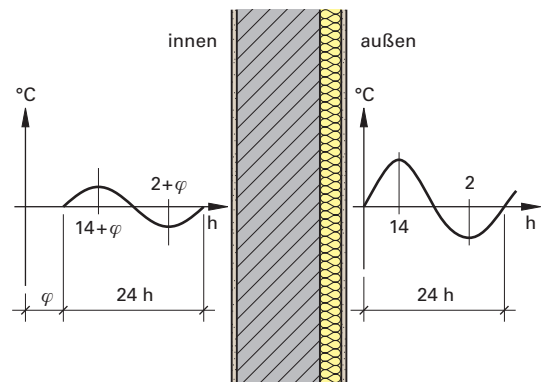


Bild 4: Außendämmung

- 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 Kopfschmerzen, Schwindelgefühle, Erregung, Anstieg des Blutdruckes. Sehr hohe CO_2 -Konzentrationen von ca. 10 %, wie sie in Gärkellern auftreten können, führen zum Erstickungstod. Der Mensch atmet pro Stunde ca. 500 Liter Luft 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 pro Person und Stunde ca. 30 m^3 Außenluft erforderlich, deren CO_2 -Anteil ca. 0,03 Vol-% beträgt.

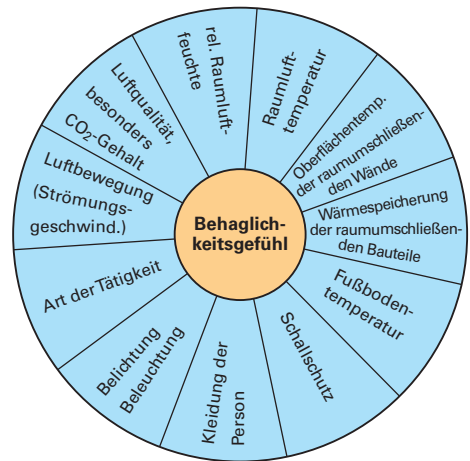


Bild 1: Abhängigkeit der Behaglichkeit

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:
- Hausform:
 - A/V_e -Verhältnis möglichst gering
 - stark gegliederte Fassade oder gerade verlaufende Außenwände (Vor- und Rücksprünge der Wände)
 - Erker
 - Reihennittelhaus, Reihennendhaus, 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 – Niedertemperaturkessel – 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
- Anlagenaufwandszahl:
- Anlagentechnik:
 - Δ Kehrwert des Nutzungsgrades einer Anlage
 - Lüftungstechnik
 - Klimatechnik
 - Armaturen (Wasser sparend)
- Wärmebrücken:
- Luftdichtheit:
- Thermostate:
- Ventile:
- Haushaltsgeräte:
 - Einsatz Energie sparender Haushaltsgeräte (Kühlschränke, Gefrierschränke)
- Beleuchtung:
 - Energiespar-Leuchtmittel