



Bibliothek des  
technischen Wissens

Eva Lübke

# Klausurtraining Bauphysik

Prüfungsfragen mit Antworten zur Bauphysik  
6., überarbeitete und aktualisierte Auflage

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

**Europa-Nr.: 46659**

*Autor von Klausurtraining Bauphysik:*

Dr. Eva Lübbe

Das Buch wurde auf der Grundlage der aktuellen amtlichen Rechtschreibregeln erstellt. Wenn die Rechtschreibregeln mehrere Formen zulassen, wurde die von der Duden-Redaktion empfohlene Form angewendet.

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.

Die habilitierte Physikerin Eva Lübbe unterrichtet Bauphysik, Mathematik und Statik an berufsbildenden Schulen und arbeitet als Dozentin für Weiterbildungen von Bauingenieuren und Architekten zu Energieberatern.

E-Mail: [EvaLuebbe@aol.com](mailto:EvaLuebbe@aol.com)

6. Auflage 2017

Druck 5 4 3 2 1

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

ISBN 978-3-8085-4667-3

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

© 2017 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten  
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz: Daniela Schreuer, 65549 Limburg/Lahn

Umschlaggestaltung: Media Creativ, G. Kuhl, 40724 Hilden

Druck: medienHaus Plump GmbH, 53619 Rheinbreitbach

## Vorwort

„Lernen durch Verstehen“ ist der Leitgedanke dieser Sammlung der wichtigen Prüfungsfragen mit Antworten aus dem Bereich Bauphysik. Das Buch macht es dem Studierenden leicht, Sachverhalte schnell, gründlich und umfassend zu verstehen. Es wendet sich an folgende

### Zielgruppen

- Studierende der Fachrichtungen Architektur und Bauingenieurwesen an Fachhochschulen und Universitäten
- Teilnehmer an Meisterkursen des Bauhandwerks
- Auszubildende an Technikerschulen
- Praktiker im Bauhandwerk.

### Inhalte

Die nahezu **700 Fragen und Antworten** betreffen alle wesentlichen Bereiche der Bauphysik, wie

- Wärmeschutz
- Feuchteschutz
- Schallschutz
- Brandschutz
- Licht

Die Anforderungen an Baustoffe, Bauteile und Gebäude werden systematisch abgefragt. Dabei zeigen die vorgeschlagenen Antworten die Wechselwirkung der verschiedenen bauphysikalischen Einflussgrößen und vermitteln gezielt Grundkenntnisse auf diesem speziellen Gebiet.

Wichtig für die Bauphysik sind die Vorgaben, die sich aus der Energieeinsparverordnung ergeben. Das Buch enthält Fragen, die die Anforderungen der letzten Energieeinsparverordnung (2014) berücksichtigen.

In die **6. Auflage** sind die Änderungen der Berechnungen des sommerlichen Wärmeschutzes eingearbeitet, die Änderungen der Anforderungen an den Mindestwärmeschutz, die Änderungen der Tauwasserberechnungen sowie die Änderungen der Brandschutznormen.

Damit ist das Buch ausgezeichnet zur Wiederholung von prüfungsrelevanten Inhalten in komprimierter Form geeignet, dient aber ebenso als wertvolle Formulierungshilfe bei der Beantwortung der Fragen.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Wärmeschutz</b>	
1.1 Grundlagen der Wärmelehre.....	1
1.2 Kenngrößen des baulichen Wärmeschutzes .....	13
1.3 Temperaturen in Bauteilen .....	35
1.4 Lüften .....	41
1.5 Energieeinsparverordnung.....	53
1.6 Konstruktive Umsetzung des Wärmeschutzes .....	92
1.7 Wärmeschutz und Umweltschutz .....	106
1.8 Niedrigenergiehaus .....	110
<b>2. Feuchteschutz</b>	
2.1 Grundlagen und feuchteschutztechnische Kenngrößen .....	119
2.2 Wasserdampfdiffusion .....	128
2.3 Tauwasserbildung auf Oberflächen .....	136
2.4 Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen .....	143
2.5 Praktischer Feuchteschutz.....	159
<b>3. Schallschutz</b>	
3.1 Grundlagen und Größen zur Beschreibung des Schalls.....	176
3.2 Wirkungsweise von Schallabsorbern.....	184
3.3 Luftschallschutz .....	190
3.4 Trittschallschutz .....	206
3.5 Anforderungen an den Schallschutz .....	213
3.6 Konstruktive Umsetzung des Schallschutzes .....	218
<b>4 Brandschutz</b>	
4.1 Grundlagen und brandschutztechnische Begriffe .....	225
4.2 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen.....	235
4.3 Brandschutzanforderungen.....	240
4.4 Feuermelde- und Löscheinrichtungen .....	245
<b>5. Licht</b>	
5.1 Lichttechnische Größen .....	247
5.2 Tageslicht.....	254
<b>Tabellen</b> .....	I

# 1. Wärmeschutz

## 1.1 Grundlagen der Wärmelehre

### 1. Definieren Sie den Begriff Wärme.

Wärme ist eine spezielle Energieform. Wärmeenergie ist die Bewegungsenergie der Moleküle.

### 2. Wie wirkt sich die Erwärmung eines Körpers auf die Moleküle dieses Körpers aus?

Durch die Erwärmung erhöht sich die Bewegungsenergie der Moleküle. In Gasen und Flüssigkeiten findet eine ungeordnete Bewegung der Moleküle statt, während im Festkörper die Moleküle Schwingungen um eine Ruhelage ausführen.

### 3. Wie kann man sich den absoluten Nullpunkt in Bezug auf die Bewegungsenergie der Moleküle vorstellen?

Bei  $-273,15\text{ °C}$  würde die Wärmebewegung der Moleküle völlig zum Stillstand kommen. Dieser sogenannte absolute Nullpunkt ist nicht vollständig erreichbar.

### 4. Definieren Sie den Begriff Temperatur.

Alle Stoffe haben einen bestimmten Wärmestand. Man nennt ihn Temperatur.

### 5. Wie werden Temperaturen gemessen? Welche Messgeräte sind üblich?

Die Bewegungsenergie der Moleküle kann nicht direkt gemessen werden. Bei der Temperaturmessung kann man nur die Wirkung messen, die die Wärme auf die Körper ausübt. Häufig nutzt man dazu die Wärmeausdehnung von Flüssigkeiten und Gasen. Die wichtigsten Messgeräte zur Temperaturmessung sind:

- Flüssigkeits- und Gasausdehnungs-Thermometer
- Bimetallthermometer
- Widerstandsthermometer
- Thermoelemente

## 6. Erläutern Sie die prinzipielle Wirkungsweise der wichtigsten Thermometerarten.

**Flüssigkeits- und Gasausdehnungsthermometer** sind in vielfältiger Weise aus dem Alltag bekannt. Zur Messung genutzt wird die Volumenvergrößerung durch Erwärmung, die unmittelbar zur Anzeige an einer entsprechend geeichten Skala gebracht wird.

Auch das **Bimetallthermometer** nutzt direkt die unterschiedliche Längenänderung von zwei verschiedenen, aufeinander befestigten Metallen, die zu einer Verbiegung des Bimetalls führt. Die Verbiegung kann zur Anzeige mit Zeiger oder zum Regeln verwendet werden.

Beim **Widerstandsthermometer** wird ausgenutzt, dass sich der Widerstand eines Metalls oder eines Halbleiters bei Temperaturänderung verändert. Die Temperaturänderung kann auf diese Weise in eine Stromänderung überführt werden.

Beim **Thermoelement** berühren sich zwei unterschiedliche Metalle. An der Berührungsstelle kommt es durch die unterschiedliche Energie, die zum Freisetzen von Elektronen in verschiedenen Metallen benötigt wird, zum Eindringen der Elektronen des Metalls, das weniger Energie zum Freisetzen von Elektronen braucht, in das andere. Auf diese Weise entsteht ein temperaturabhängiger Stromfluss. Das Thermoelement stellt damit selbst die Stromquelle eines Stromkreises dar.

## 7. In welchen Maßeinheiten werden Temperaturen und Temperaturunterschiede angegeben? Welche Formelzeichen sind üblich?

Temperaturen werden in  $^{\circ}\text{C}$  oder K angegeben. Mit  $\theta$  (Theta) bezeichnet man Temperaturen in  $^{\circ}\text{C}$ , mit  $T$  Temperaturen in K. Temperaturunterschiede werden bei Berechnungen immer in K angegeben, wobei als Formelzeichen außer  $\Delta T$  auch  $\Delta\theta$  üblich ist.

## 8. Wie groß ist eine Temperaturdifferenz von 1 $^{\circ}\text{C}$ in K?

$1^{\circ}\text{C} = 1\text{ K}$ . Die Einteilung beider Temperaturskalen ist gleich. Die Temperaturskalen unterscheiden sich nur in Bezug auf den Nullpunkt.

## 9. Erläutern Sie die Kelvin- und die Celsiustemperaturskala.

Die Kelvin- und die Celsiustemperaturskala unterscheiden sich im Nullpunkt. Während die Kelvinskala am absoluten Nullpunkt beginnt und damit nur positive Werte hat, liegt der Nullpunkt der Celsiusskala beim Schmelzpunkt des Eises.  $0^{\circ}\text{C}$  entsprechen  $273\text{ K}$ .

Der Siedepunkt des Wassers bei Normaldruck wird als 100 °C festgelegt. Der Abstand zwischen dem Eispunkt und dem Siedepunkt des Wassers auf der Thermometerskala wird in 100 gleiche Teile geteilt. Auf diese Weise wird die Längenänderung für ein Grad ermittelt, die dann auch im negativen Temperaturbereich und im Bereich über 100 °C zur Fortsetzung der Skala genutzt wird.

### 10. Wie ist 1 °C definiert?

1 °C ist 1/100 des Abstandes auf einem Quecksilberthermometer zwischen dem Gefrierpunkt (Eispunkt) und dem Siedepunkt (Dampfunkt) des Wassers beim Normalluftdruck von 1013 hPa (Hektopascal).

### 11. Wie kann die thermische Ausdehnung eines Stoffes berechnet werden?

Die Zunahme der Bewegungsenergie der Moleküle eines Stoffes bei Erwärmung drückt sich nach außen in einer allseitigen Volumenvergrößerung des Stoffes aus. In vielen praktischen Fällen interessiert man sich nur für die Ausdehnung in einer Richtung, für die Längenänderung  $\Delta l$ .

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

$l_0$  Ausgangslänge, Anfangslänge

$\alpha$  Linearer Ausdehnungskoeffizient, Längenausdehnungskoeffizient

$\Delta T$  Temperaturunterschied in K

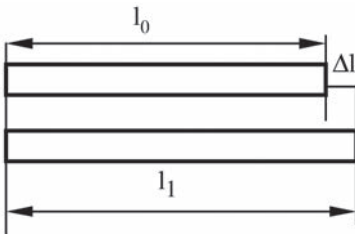


Bild 1.1 Längenausdehnung

Der lineare Ausdehnungskoeffizient für die verschiedenen Materialien kann Tabellen entnommen werden (Tabelle 1 im Anhang).

### 12. Was versteht man unter der spezifischen Wärmekapazität?

Verschiedene Stoffe von gleicher Masse benötigen zu ihrer Erwärmung unterschiedliche Wärmemengen. Unter der spezifischen Wärmekapazität  $c$  eines Stoffes versteht man die Wärmemenge, die nötig ist, um 1 kg eines Stoffes um 1 K zu erwärmen.  $c$  ist eigentlich temperaturabhängig, kann aber näherungsweise als konstant betrachtet werden. In Tabellen wird  $c$  meist bei 20 °C angegeben (Tabelle 2 im Anhang).

Wasser hat eine sehr hohe Wärmekapazität, die in den Warmwasserheizungen ausgenutzt wird.

### 13. Wie kann die Temperaturänderung eines Stoffes bei Erwärmung berechnet werden?

Im Bereich der Raumtemperatur ist die Temperaturerhöhung eines Stoffes näherungsweise proportional der zugeführten Wärmemenge  $Q$ . Die spezifische Wärmekapazität  $c$  des Stoffes kann als konstant gelten.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$m$  Masse

$c$  spezifische Wärmekapazität

$\Delta T$  Temperaturänderung

Stellt man diese Gleichung nach  $\Delta T$  um, so erhält man die Temperaturänderung  $\Delta T$ , die ein Stoff mit der Masse  $m$  und der spezifischen Wärmekapazität  $c$  bei der Zuführung der Wärmemenge  $Q$  erfährt.

$$\Delta T = \frac{Q}{m \cdot c}$$

### 14. Welche Maßeinheit hat die Wärmeenergie?

Energie, Arbeit und Wärmemenge haben die Maßeinheit J (Joule).

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ Ws}$$

$$1 \text{ kcal} = 4,2 \text{ kJ}$$

Die offizielle Maßeinheit für die Wärmemenge ist J. Da früher die standardisierte Maßeinheit für die Wärmemenge kcal war, haben sich die Werte in kcal eingepreßt.

Man findet auch heute noch, z. B. bei der Angabe des Energiegehaltes von Lebensmitteln, die Angabe in kcal zusätzlich hinter der Angabe in J in Klammern.



**15. Wie ist der Heizwert definiert?**

Der Heizwert  $H$  ist definiert

bei Feststoffen und Flüssigkeiten als Quotient aus Wärmemenge und Masse

$$H = Q/m,$$

bei Gasen als Quotient aus Wärmemenge und Volumen

$$H = Q/V.$$

Die Heizwerte einiger Materialien sind in Tabelle 3 im Anhang aufgelistet.

**16. Vergleichen Sie den Heizwert von 1 m<sup>3</sup> Erdgas und 1 kg Steinkohle.**

1 m<sup>3</sup> Erdgas hat etwa den gleichen Heizwert wie 1 kg Steinkohle.

Beide haben einen Heizwert von etwa 30 000 kJ/kg.

**17. Was versteht man unter spezifischer Schmelzwärme  $q$ ?**

Die spezifische Schmelzwärme  $q$  ist die Wärmemenge, die erforderlich ist, um ohne Temperaturänderung die Masse von 1 kg dieses Stoffes zu verflüssigen. Während der Schmelzphase wird Schmelzwärme zum Auflösen von Molekülverbindungen verbraucht und es findet keine Temperaturerhöhung statt.

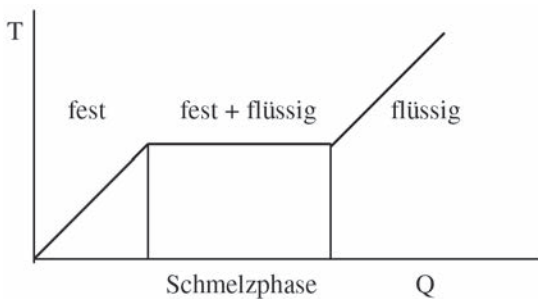


Bild 1.2 Spezifische Schmelzwärme

Die Schmelzwärme von Blei ist wesentlich geringer als die Schmelzwärme der anderen Metalle. Diese Tatsache nutzt man beim Bleigießen aus.

Die Schmelzwärmen einiger wichtiger Stoffe sind in Tabelle 4 im Anhang zu finden.

- 18. Wie groß ist die Wärmemenge, die zum Schmelzen von 20 kg Eis mit einer Temperatur von 0 °C benötigt wird?**

$$Q = q \cdot m$$

$$Q = 335 \text{ kJ/kg} \cdot 20 \text{ kg} = 6700 \text{ kJ} = 6,7 \text{ MJ}$$

Zum Schmelzen von 20 kg Eis mit einer Temperatur von 0 °C benötigt man 6,7 MJ.

- 19. Welche Wärmemenge benötigt man zum Schmelzen von 20 kg Eis einer Temperatur von –15 °C?**

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T + q \cdot m$$

$$Q = 2100 \text{ J/(kg K)} \cdot 20 \text{ kg} \cdot 15 \text{ K} + 6,7 \text{ MJ}$$

$$Q = 630 \text{ kJ} + 6,7 \text{ MJ} = 7,3 \text{ MJ}$$

Zum Schmelzen von 20 kg Eis einer Temperatur von –15 °C benötigt man 7,3 MJ.

- 20. Wie groß ist die gespeicherte Wärmemenge in 1 m<sup>2</sup> Mauerwerk aus HLZ, 30 cm dick, Dichte 1200 kg/m<sup>3</sup>?**

$$c = 1,0 \text{ kJ/(kg K)}$$

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 1 \text{ kJ/(kg K)} \cdot 1200 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,3 \text{ m}^3 \cdot 1 \text{ K} = 360 \text{ kJ}$$

Ein m<sup>2</sup> Mauerwerk kann eine Wärmemenge von 360 kJ speichern.

Bei der Berechnung setzt man entsprechend der Definition der spezifischen Wärme (kJ pro kg und pro K) 1 K ein.

- 21. Um wie viel erhöht sich die Temperatur von 1 l Wasser, wenn eine Wärmemenge von 30 kJ zugeführt wird?**

$$\Delta T = \frac{\Delta Q}{m \cdot c} = \frac{30 \text{ kJ}}{1 \text{ kg} \cdot 4200 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}} = 7,14 \text{ K}$$

Die Temperatur des Wassers erhöht sich um rund 7 K.

- 22. Um wie viel ändert sich die Länge einer Gehwegplatte von 1,5 m bei einer Temperaturerhöhung von 30 °C?**

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

$$\Delta l = 1,5 \text{ m} \cdot 0,008 \text{ mm/(mK)} \cdot 30 \text{ K} = 0,36 \text{ mm}$$

Die Längenänderung beträgt 0,36 mm.

**23. Um wie viel ändert sich die Länge einer Leichtbauplatte von 2 m bei einer Temperaturerhöhung von  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  auf  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?**

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

$$\Delta l = 2\text{ m} \cdot 0,010\text{ mm}/(\text{mK}) \cdot 40\text{ K} = 0,8\text{ mm}$$

Die Längenänderung beträgt 0,8 mm.

**24. Auf welche Arten kann Wärme übertragen werden? Welche Art des Wärmetransports findet in Gasen, Flüssigkeiten und Feststoffen statt?**

Man unterscheidet drei Arten der Wärmeübertragung:

- Wärmeleitung
- Konvektion oder Strömung
- Strahlung

Die Wärmeleitung ist ein Prozess, der in allen Materialien stattfindet. Der Wärmeaustausch erfolgt unmittelbar von Molekül zu Molekül.

Bei der Konvektion wird die Wärme durch Strömung in Gasen oder Flüssigkeiten transportiert.

Die Wärmestrahlung ist eine Art der Übertragung, die keine Materie benötigt und deshalb auch im Vakuum vorkommt.

Sie ist eine elektromagnetische Strahlung, die sich im elektromagnetischen Spektrum an das langwellige sichtbare Licht anschließt.

**25. Erläutern Sie den Begriff Wärmeleitung.**

Wärmeleitung ist ein Wärmeaustausch zwischen benachbarten Molekülen. Die Wärmeschwingungen werden unmittelbar von einem Molekül auf die benachbarten übertragen. Es erfolgt kein Transport von Materie, sondern nur ein Energietransport durch die Stoßwirkung der schneller bewegten Moleküle des wärmeren Teiles. Die Wärmeleitung ist somit an Materie gebunden.

**26. Wie ist die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  definiert?**

Die Wärmeleitfähigkeit gibt an, welche Wärmemenge pro Sekunde durch  $1\text{ m}^2$  einer 1 m dicken Schicht eines Stoffes geht, wenn der Temperaturunterschied an den beiden Schichtoberflächen 1 Kelvin beträgt.

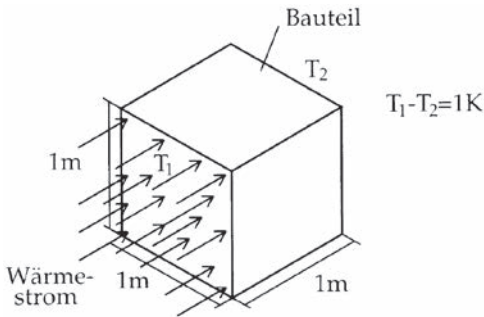


Bild 1.3 Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit ist eine der wichtigsten im Wärmeschutz vorkommenden Stoffkenngrößen. Die Wärmeleitfähigkeit für verschiedene Baustoffe ist in Tabelle 5 im Anhang zu finden.

### 27. Wovon hängt die Wärmeleitfähigkeit eines Bauteils ab?

Die Größe der Wärmeleitfähigkeit eines Bauteils hängt ab von:

- der Rohdichte des Stoffes,
- der Porigkeit und der Porengröße,
- dem Feuchtigkeitsgehalt.

Die Wärmeleitfähigkeit ist um so größer, je kleiner die Molekülmasse ist.

### 28. Wie beeinflussen Dichte und Feuchte die Wärmeleitfähigkeit?

Die Wärmeleitfähigkeit wächst mit zunehmender Dichte und Feuchte. Je poröser ein Stoff ist, desto geringer ist wegen der geringen Wärmeleitfähigkeit der Luft seine Wärmeleitfähigkeit.

### 29. Welche Stoffe sind gute Wärmeleiter?

Metalle sind wegen der freien Elektronen sehr gute Wärmeleiter. Gute elektrische Leiter sind auch gute Wärmeleiter. Bei Nichtmetallen hat die Struktur wesentlichen Einfluss: Die Wärmeleitfähigkeit ist bei amorpher Struktur geringer als bei kristalliner Struktur. Bei anisotropen Stoffen ist die Leitfähigkeit von der Richtung des Wärmestromes abhängig. So ist zum Beispiel bei Holz die Wärmeleitfähigkeit in Richtung der Faser am größten.

Das Wärmeleitvermögen flüssiger Körper ist im Vergleich zu dem der Metalle sehr gering. Gasförmige Körper haben ein noch geringeres Wärmeleitvermögen.

Bei Baustoffen können drei Gruppen unterschieden werden:

Natursteine	$\lambda$ von 2,3 bis 3,5 W/m · K
Baustoffe allgemein	$\lambda$ von 0,14 bis 2,1 W/m · K
Dämmstoffe	$\lambda$ von 0,002 bis 0,1 W/m · K

### **30. Ist Luft ein guter oder ein schlechter Wärmeleiter?**

Luft ist ein schlechter Wärmeleiter. Das wird bei den Wärmedämmmaterialien, die viele Lufteinschlüsse besitzen, ausgenutzt. Ebenso nutzen Betten, Doppelfenster und wollene Kleidung die geringe Wärmeleitfähigkeit der Luft. Die einzelnen Gewebeteile verhindern die Wärmekonvektion, so dass nur das geringe Wärmeleitvermögen der in der Wärmeschutzhülle enthaltenen Luft wirksam wird.

Luft leitet die Wärme 25mal schlechter als Wasser.

### **31. Wie ist die Wärmeleitfähigkeit von Holz?**

Holz ist ein schlechter Wärmeleiter. Wenn man bei Kälte einen Holz- und einen Metallgegenstand mit der Hand berührt, spürt man deutlich, wie schnell die Wärme der Hand von dem Metallgegenstand abgeleitet wird. Der Holzgegenstand dagegen fasst sich wärmer an. Die Werte für die Wärmeleitfähigkeit von Holz liegen zwischen  $\lambda = 0,13$  W/m · K und  $\lambda = 0,2$  W/m · K. Holzfaserplatten haben eine noch geringere Wärmeleitfähigkeit.

### **32. Was versteht man unter Wärmekonvektion?**

Unter Wärmekonvektion oder Wärmeströmung versteht man den Wärmetransport durch die Fortbewegung der Moleküle im zur Verfügung stehenden Raum. Ursache der Strömung können Temperatur- oder Druckunterschiede sein.

Der Wärmetransport erfolgt in Flüssigkeiten und Gasen vorwiegend als Wärmekonvektion, zusätzlich zur Wärmeleitung.

Von der Heizquelle eines Raumes aus strömt die erwärmte, leichtere Luft nach oben. Die unter dem Einfluss der Erwärmung in einem Zimmer entstehenden Luftströmungen lassen sich mit Hilfe von Tabakrauch sichtbar machen.

Eine wesentliche Rolle spielt die Wärmekonvektion bei den Winden und Meeresströmungen.

### 33. Wann spricht man von Wärmeübergang?

Als Wärmeübergang bezeichnet man den Wärmetransport zwischen Gasen oder Flüssigkeiten und der angrenzenden Wand. Gibt ein gasförmiger oder flüssiger Körper Wärme an einen festen ab oder umgekehrt, so muss der Wärmestrom an der Grenzfläche einen Widerstand überwinden. An einem Wärmeübergang sind in der Regel alle drei Wärmetransportarten beteiligt. Der Wärmeübergang wird mit dem Wärmeübergangskoeffizienten  $h$  beschrieben.

### 34. Was versteht man unter Wärmestrahlung?

Wärmestrahlung ist der Wärmetransport mit Hilfe von elektromagnetischen Strahlen. Die Wärmestrahlen sind etwas langwelliger als das sichtbare Licht und schließen sich im elektromagnetischen Spektrum an das rote sichtbare Licht an. Die von einer Fläche ausgestrahlte Wärmemenge ist proportional zur vierten Potenz der Temperatur dieser Fläche.

Am stärksten strahlen unter sonst gleichen Bedingungen schwarze Körper.

### 35. Wovon hängt die Aufnahmefähigkeit eines Körpers für Wärmestrahlung ab?

Wie viel Wärme ein der Wärmestrahlung ausgesetzter Körper aufnimmt, hängt von seiner Oberfläche ab. Dunkle und raue Körper erwärmen sich stärker als helle und glatte. Wie gut der Körper diese Wärme anschließend speichern kann, wird von seiner spezifischen Wärmekapazität bestimmt.

### 36. Wie gut ist Glas für Wärmestrahlen durchlässig?

Ebenso wie Körper für Licht mehr oder weniger durchlässig sind, sind sie das auch für Wärmestrahlen. Die Durchlässigkeit für Wärmestrahlung ist aber nicht parallel zur normalen Lichtdurchlässigkeit. Beispielsweise ist Glas für Licht gut durchlässig, während es für Wärme wenig durchlässig ist.

### 37. Was versteht man unter Treibhauseffekt?

Die sichtbaren Sonnenstrahlen gehen durch die Glasscheiben des Hauses hindurch und werden dabei nur wenig geschwächt. Die Gegenstände und die Luft im Treibhaus werden dadurch erwärmt, aber die von diesen Körpern ausgehenden Wärmestrahlen gehen nicht aus dem Gewächshaus heraus, da das Glas für die Wärmestrahlen undurchlässig ist. Auf diese Weise erwärmt sich das Gewächshaus.

Diesen Effekt nutzt man auch in Niedrigenergiehäusern aus, indem man möglichst viele Wände auf der Südseite aus Glas herstellt.

Man wendet den Begriff „Treibhauseffekt“ auch auf die gesamte Erde an. In diesem Zusammenhang wird der Begriff im Kapitel 1.7 Wärmeschutz und Umweltschutz erläutert.

### **38. Kann sich Wärmestrahlung auch im Vakuum ausbreiten?**

Ein Wärmetransport durch Wärmestrahlung erfolgt auch in Abwesenheit von Materie. Die Wärmestraahlen sind elektromagnetische Wellen, die sich auch im Vakuum ausbreiten.

### **39. Was versteht man unter Wärmedurchgang?**

Wird Wärme von einem Raum mit einer Temperatur  $T_1$  durch eine Wand in einen zweiten Raum mit einer Temperatur  $T_2$  übertragen, so spricht man von Wärmedurchgang. Die Wand kann dabei aus mehreren Schichten verschiedener Leitfähigkeit bestehen.

### **40. Erläutern Sie, wie die Abkühlung eines Körpers erfolgt.**

Ein im freien Luftraum aufgestellter Körper, der eine höhere Temperatur als seine Umgebung hat, kühlt sich ab, indem er seine Wärme vorwiegend durch Konvektion und durch Strahlung an die Umgebung abgibt. Die Abkühlungsgeschwindigkeit ist in jedem Moment dem Unterschied zwischen seiner Temperatur und der seiner Umgebung proportional; d. h. der Körper ändert seine Temperatur entsprechend einer Exponentialfunktion der Zeit. Man bezeichnet diesen Zusammenhang auch als Newtonsches Abkühlungsgesetz.

### **41. Wie lang ist ein Holzbalken, der im Sommer bei 25 °C eine Länge von 3,200 m hat, im Winter bei –15 °C?**

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

$$\Delta l = 3,200 \text{ m} \cdot 0,009 \text{ mm}/(\text{mK}) \cdot 40 \text{ K} = 1,15 \text{ mm}$$

Die Längenänderung beträgt rund 1,2 mm; d. h. der Balken ist im Winter

$$3,200 \text{ m} - 1,2 \text{ mm} = 3,200 \text{ m} - 0,0012 \text{ m} = 3,199 \text{ m lang.}$$

**42. Welche Veränderungen können an Bauteilen durch Erwärmung auftreten?**

Folgende Wärmewirkungen können auftreten:

- Temperaturdehnung und damit verbundene Längenänderung
- Temperaturspannung
- Verwölbung

Wenn ein Bauteil an der Längenänderung behindert wird, treten Spannungen im Material auf. Das sind bei behinderter Ausdehnung Druckspannungen und bei behinderter Verkürzung Zugspannungen. Die Größe der entstehenden Spannung ist neben der Größe der Temperaturänderung noch vom Elastizitätsmodul des Baustoffs abhängig. Bei ungleichmäßiger Temperatureinwirkung kann es zu Verwölbungen kommen. Beispielsweise können Bodenplatten auf Erdreich von oben stärker erwärmt werden als von der Unterseite. Auch Dächer oder Fassadenteile können sehr unterschiedlichen Temperaturen auf Ober- und Unterseite ausgesetzt sein und sich dadurch verwölben. Die Größe der Verwölbung ist außer von der Größe der Temperaturänderung, der Länge und dem Längenausdehnungskoeffizienten noch von der Dicke des Materials abhängig.



## 1.2 Kenngrößen des baulichen Wärmeschutzes

### 1. Wie ist der Wärmedurchlasskoeffizient $\Lambda$ definiert?

Der Wärmedurchlasskoeffizient  $\Lambda$  eines Stoffes gibt diejenige Wärmemenge in J pro Sekunde an, die durch eine  $1 \text{ m}^2$  große Fläche eines Bauteils mit der Dicke  $d$  hindurchgeht, wenn der Temperaturunterschied  $1 \text{ K}$  beträgt.

### 2. Erläutern Sie den Begriff Wärmedurchlasswiderstand.

Der Wärmedurchlasswiderstand  $R$  drückt den Widerstand gegen den Durchgang von Wärme aus. Der Wärmedurchlasswiderstand ist von der Wärmeleitfähigkeit und von der Dicke des Bauteils abhängig.

$$R = \frac{1}{\Lambda} = \frac{d}{\lambda}$$

$d$  Schichtdicke

$\lambda$  Wärmeleitfähigkeit

Für die Maßeinheit ergibt sich  $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ .

### 3. Welchen Wärmedurchlasswiderstand hat eine Leichtbetonwand mit einer Rohdichte von $1100 \text{ kg}/\text{m}^3$ und $30 \text{ cm}$ Dicke?

$$R = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,30 \text{ m}}{0,55 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})} = 0,55 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Der Wärmedurchlasswiderstand dieser Leichtbetonwand beträgt  $0,55 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ .

### 4. Wie errechnet sich der Wärmedurchlasswiderstand für mehrere hintereinander liegende Schichten?

Bei mehreren Schichten addieren sich die einzelnen Widerstände.

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

**5. Berechnen Sie den Wärmedurchlasswiderstand einer 36,5 cm Vollziegelwand, Dichte 1800 kg/m<sup>3</sup>, beidseitig mit Kalkzement verputzt, Schichtdicken 1 cm bzw. 2 cm.**

Es ist zweckmäßig, die Schichtdicken gleich in m einzusetzen.

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

$$R = \frac{0,02}{1,0} + \frac{0,365}{0,81} + \frac{0,01}{0,10}$$

$$R = 0,02 + 0,451 + 0,01 \approx 0,48 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

Der Wärmedurchlasswiderstand dieser Vollziegelwand beträgt 0,48 m<sup>2</sup>K/W.

**6. Wie ist der Wärmeübergangskoeffizient  $h$  definiert?**

Der flächenbezogene Wärmeübergangskoeffizient  $h$  gibt die Wärmemenge an, die zwischen einer 1 m<sup>2</sup> großen Bauteilfläche und der berührenden Luft ausgetauscht wird, wenn 1 K Temperaturunterschied besteht.

Die Maßeinheit des Wärmeübergangskoeffizienten ist W/m<sup>2</sup>K. Kehrwerte der Wärmeübergangskoeffizienten, Wärmeübergangswiderstände, sind in Tabelle 6 im Anhang zu finden.

**7. Wovon ist der Wärmeübergangskoeffizient  $h$  abhängig?**

Ein Wärmeübergang zwischen der umgebenden Luft und dem Bauteil wird durch die Temperaturdifferenz zwischen Luft und Bauteil verursacht. Er erfolgt durch Wärmeleitung und Strahlung.

Der Wärmeübergangskoeffizient  $h$  ist von der Temperatur, der Strömungsgeschwindigkeit, der Oberflächenbeschaffenheit und der Geometrie abhängig.

**8. Wie ist der Wärmeübergangswiderstand definiert?**

Der Wärmeübergangswiderstand  $R_s$  ist der Kehrwert des Wärmeübergangskoeffizienten  $h$ . Er stellt den Temperaturunterschied in K zwischen der Schichtoberfläche und dem Temperaturzustand der anliegenden Luft dar, wenn einer Fläche von 1 m<sup>2</sup> ein Wärmestrom von 1 W zugeführt wird.

Wärmeübergangswiderstände sind in Tabelle 6 im Anhang zu finden.

**9. Wie groß sind die Wärmeübergangswiderstände  $R_{si}$  und  $R_{se}$  für den Wärmeübergang an einer Außenwand innen und außen?**

Aus Tabelle 6 können wir den inneren Wärmeübergangswiderstand  $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$  und den äußeren Wärmeübergangswiderstand  $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$  entnehmen.

**10. Warum sind bei einem Außenbauteil die Wärmeübergangswiderstände innen und außen unterschiedlich groß?**

Da die Luftbewegungen innen und außen unterschiedlich groß sind, sind auch die Wärmeübergangswiderstände unterschiedlich groß. Im Innern des Raumes ergibt sich die Luftbewegung durch die natürliche Konvektion, während außen eine durch den Wind erzwungene Konvektion stattfindet. Der Wind führt dazu, dass der äußere Wärmeübergangswiderstand kleiner ist als der innere.

**11. Wie ist der Wärmedurchgangskoeffizient  $U$  definiert?**

Der Wärmedurchgangskoeffizient  $U$  oder  $U$ -Wert ist der Kehrwert des Wärmedurchgangswiderstandes  $R_T$ . Der Wärmedurchgangswiderstand  $R_T$  lässt sich nach der folgenden Gleichung ermitteln:

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

Der Wärmedurchgangskoeffizient wurde früher als  $k$ -Wert bezeichnet.

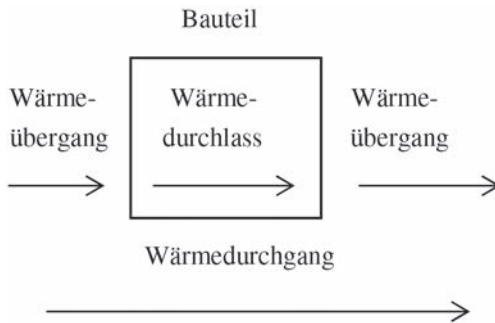


Bild 1.4 Wärmedurchgang, Wärmedurchlass und Wärmeübergang

12. Berechnen Sie den Wärmedurchgangswiderstand und den Wärmedurchgangskoeffizient für eine Lochziegelwand mit einer Dichte von  $1200 \text{ kg/m}^3$ , einem 2 cm dicken Außenputz aus Kalkzementmörtel einem 1 cm dicken Gipsputz innen.

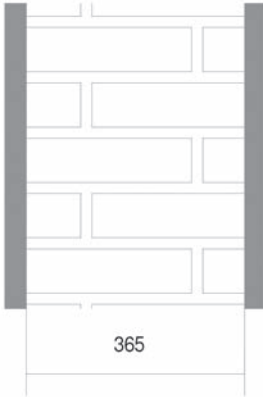


Bild 1.5 Wandaufbau

$$R_T = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3}$$

$$R_T = \frac{0,02}{1,0} + \frac{0,365}{0,50} + \frac{0,01}{0,51}$$

$$R_T = 0,02 + 0,73 + 0,020 = 0,770 \approx 0,77 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

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

$$R_T = 0,04 + 0,77 + 0,13 = 0,94 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$U = 1,06 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Der Wärmedurchgangswiderstand beträgt  $0,77 \text{ m}^2\text{K/W}$  und der Wärmedurchgangskoeffizient  $1,06 \text{ W/m}^2\text{K}$ .