

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.
Barackenlima: 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

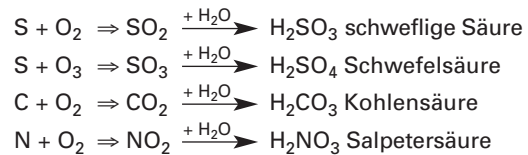
Spannungen infolge Temperatureinflüssen führen zu Bauschäden (Sommer ⇒ Ausdehnung; Winter ⇒ Schrumpfung). Folgeschäden durch Feuchteinwirkung müssen vermieden werden.

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.

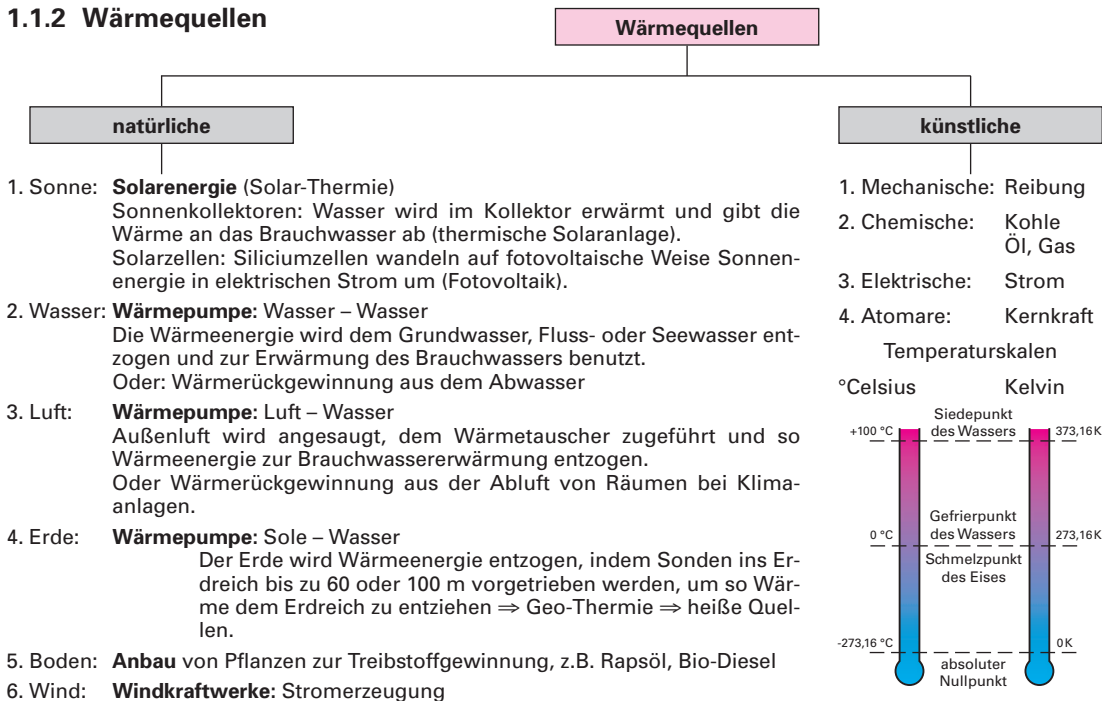
4. Aus umweltschonenden Gründen

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



Zur Energieversorgung stehen mehrere Wärmequellen zur Verfügung:

1.1.2 Wärmequellen



1.1.3 Geothermie

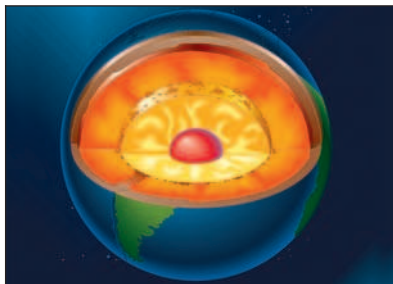
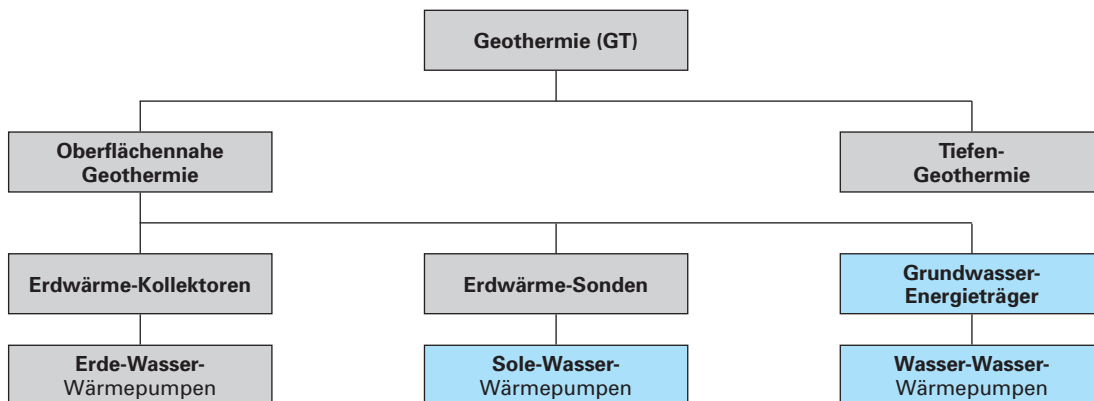


Bild 1: Aufbau der Erde

Geo-Thermie (griech. geo = Erde)
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

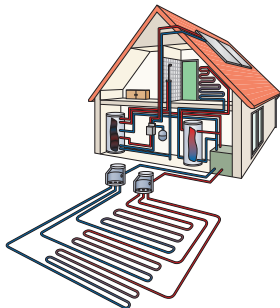


Bild 2: Erde-Wasser-Wärmepumpen

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 Erdwärmennutzung jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt. Um auch die in die Erde eingespeicherte Wärmeenergie durch Sonneneinstrahlung zu nutzen, dürfen solche Kollektorflächen nicht bebaut werden.

Erdwärmesonden

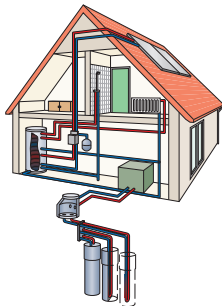


Bild 3: Sole-Wasser-Wärmepumpen

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, dass 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.

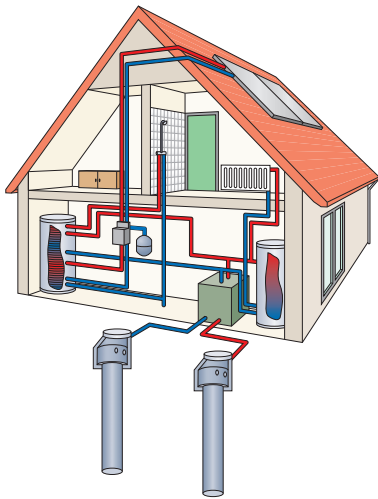


Bild 1: Wasser-Wasser-Wärmepumpen

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. Petrothermale 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.

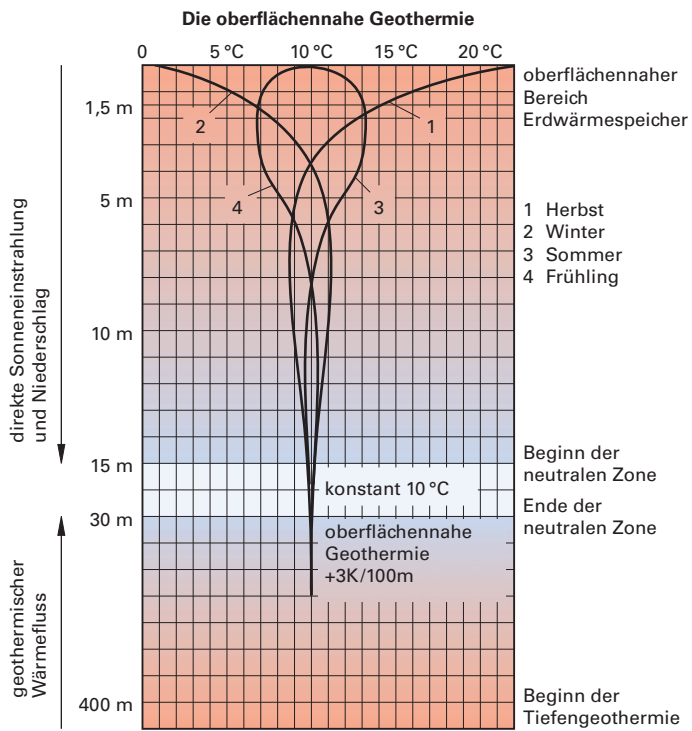
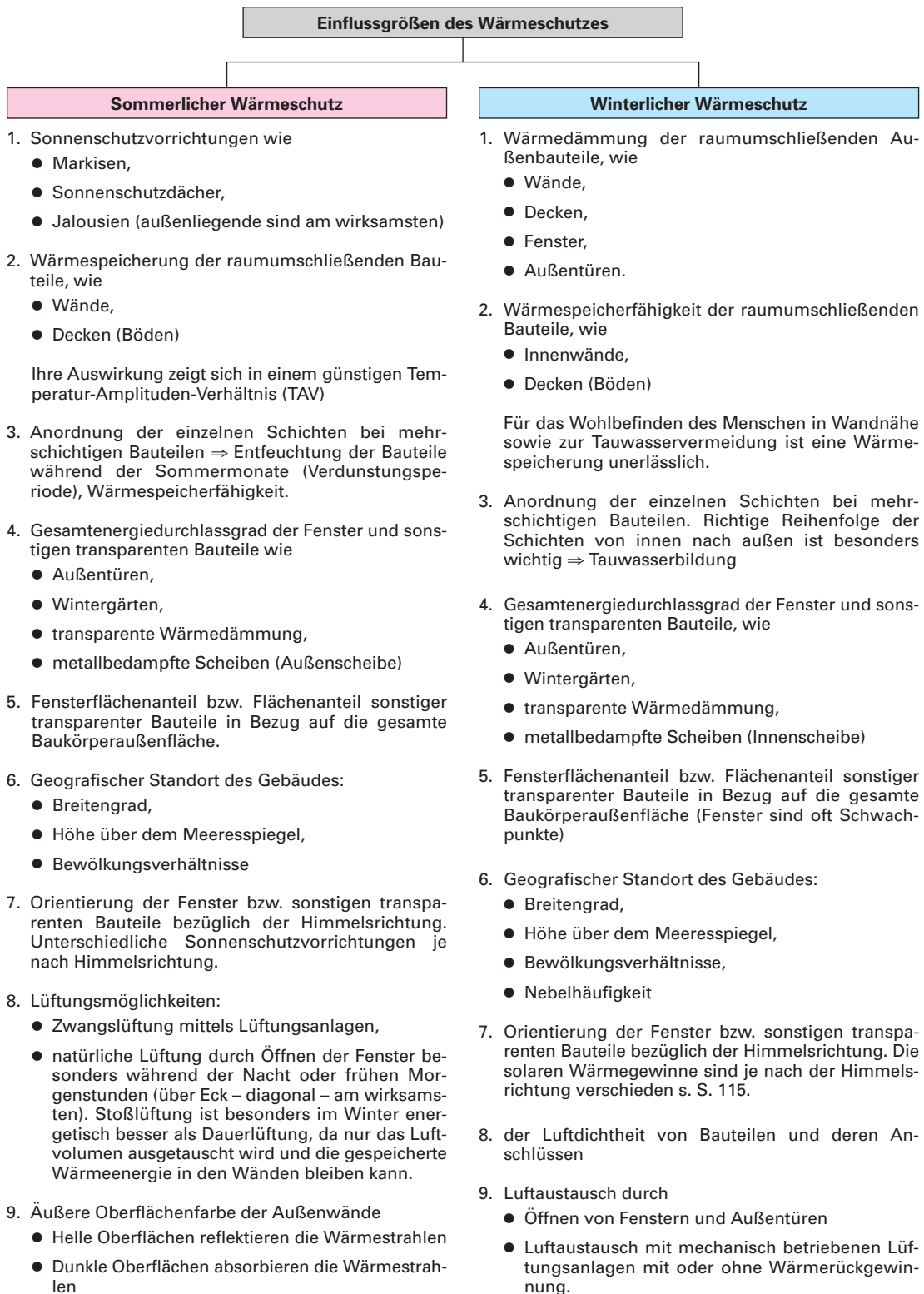


Bild 2: Temperaturverlauf im Erdreich

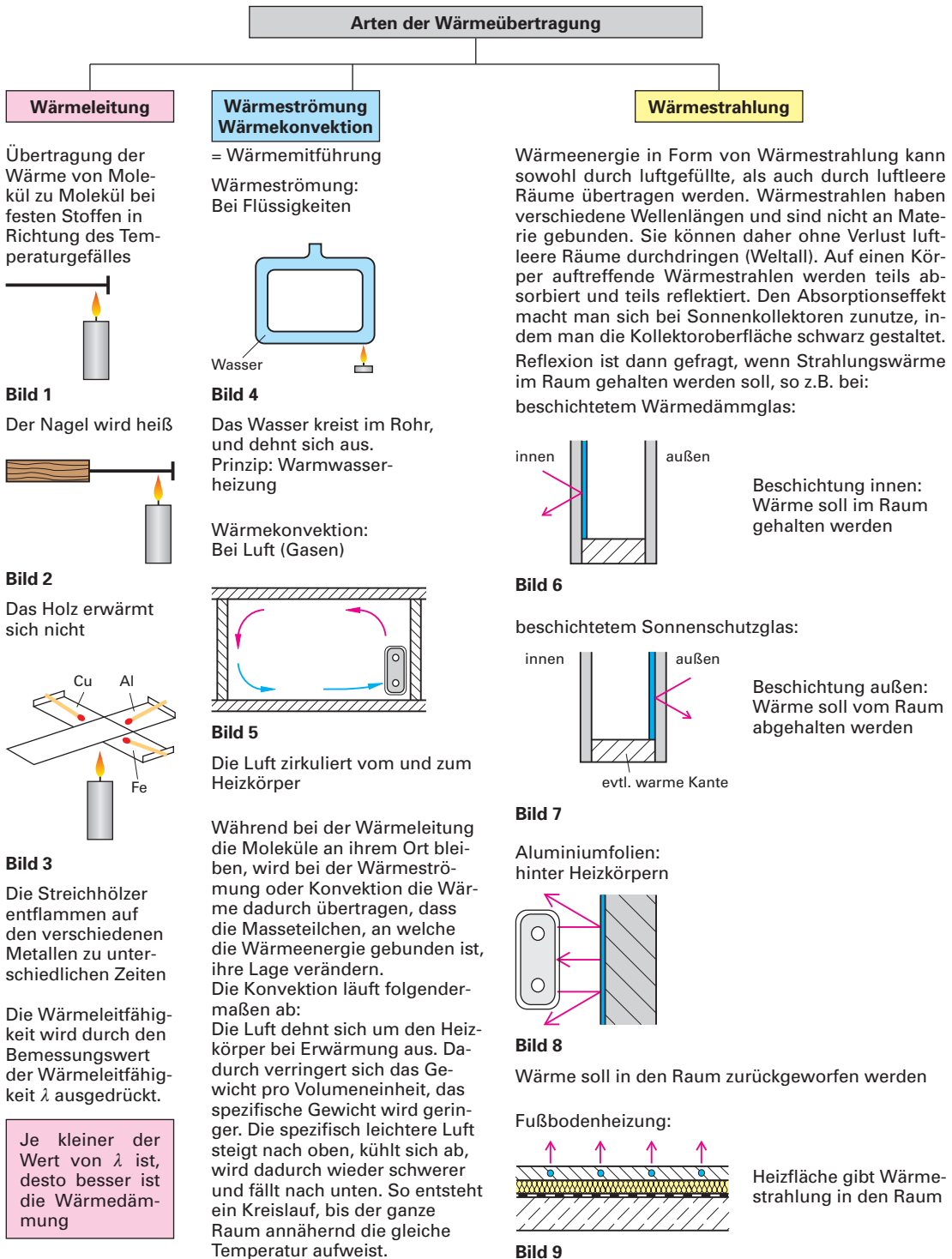
Quelle: www.solarpraxis.de

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.



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 I; 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 ($1 \text{ K} \triangleq 1 \text{ }^\circ\text{C}$) 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.

• Feuchtegehalt des Stoffes

Er ist abhängig von der:

- Struktur des Stoffes (Poren, Aufbau)
- Lage in der Konstruktion (Luftzufuhr)
- klimatischen Beanspruchung (innen – außen)
- Werden Luftporen ($\lambda = 0,025 \text{ W/mK}$) mit Wasser ($\lambda = 0,64 \text{ W/mK}$) ausgefüllt, verschlechtert sich die Wärmedämmfähigkeit, siehe nasse Kleider.

Durchfeuchtung verschlechtert die Wärmedämmfähigkeit.

• Temperatur des Stoffes

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

3. Wärmedurchlasskoeffizient A :

(A = großes griechisches Lambda)

Die Wärmedurchlasszahl gibt an, welche Wärmemenge ($\text{W} \cdot \text{s}$) im Beharrungszustand in einer Sekunde (1 s) durch 1 m^2 eines Bauteils mit der Schichtdicke d (in m) durchgelassen wird, wenn die Temperaturdifferenz beider Bauteiloberflächen 1 Kelvin ($1 \text{ K} \triangleq 1 \text{ }^\circ\text{C}$) beträgt.

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

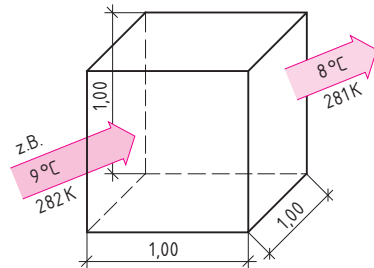


Bild 1

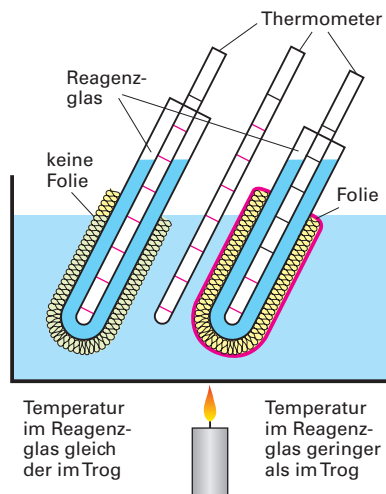


Bild 2

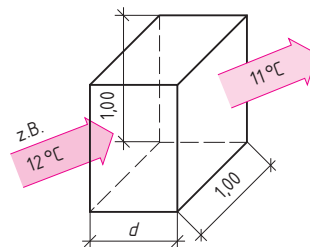


Bild 3

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 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)

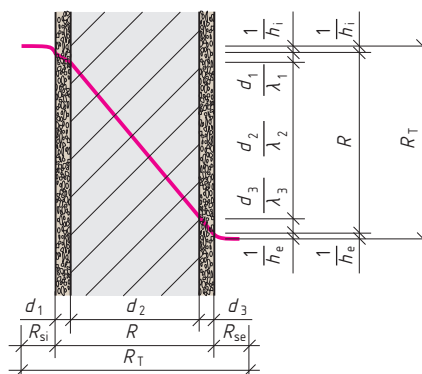


Bild 1: Temperaturverlauf

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 benützt 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 (Ws) pro m^2 und K und $s^{0,5}$ in einen Stoff eindringen kann.

Einheit: $J/m^2Ks^{0,5} = Ws/m^2Ks^{0,5}$

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

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 die Temperaturdifferenz ist.

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

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

$$R_T = \frac{1}{h_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{1}{h_e}$$

Dämmwert der Konstruktion

Einheit: m^2K/W

| Tabelle 1: Rechenwerte der spezifischen Wärmekapazität c und des Wärmeeindringkoeffizienten b | | |
|---|--------------|------------------------|
| | c in J/kgK | b in $J/m^2Ks^{0,5}$ |
| 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

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

$$b = 2245 J/m^2Ks^{0,5}$$

Z.B.: Holz

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

$$b = 405 J/m^2Ks^{0,5}$$

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 Zugscheinungen 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:

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

m' in kg/m^2
 c in J/kgK
 $\Delta\vartheta$ in $^{\circ}\text{C}$ oder K

$$m' = d \cdot \rho$$

Einheit: J/m^2
 ρ in kg/m^3
 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. .. 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 nicht mehr als 3°C **unter** und im Sommer nicht mehr als 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. Da die Speicherfähigkeit sehr stark von der Rohdichte abhängt, ist das Speichervermögen schwerer Wände besser als das leichter Konstruktionen. Im Winter kühlen Räume mit großem Speichervermögen bei Wegfall oder Absenkung der Heizung nicht so schnell aus, im Sommer kann die überschüssige Energie tagsüber gespeichert werden, um sie in den kühleren Nachtstunden wieder an die Raumluft abgeben zu können.

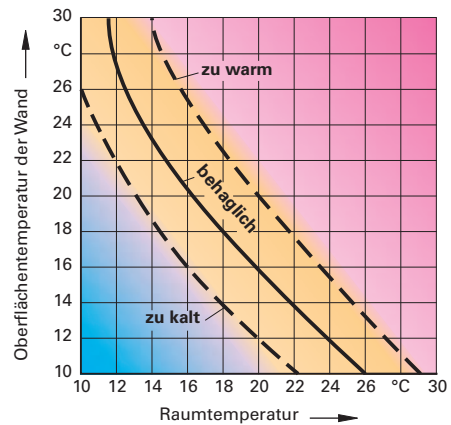


Bild 1: Raumbehaglichkeitskurve

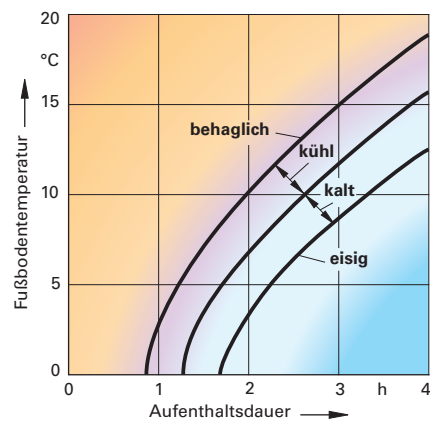
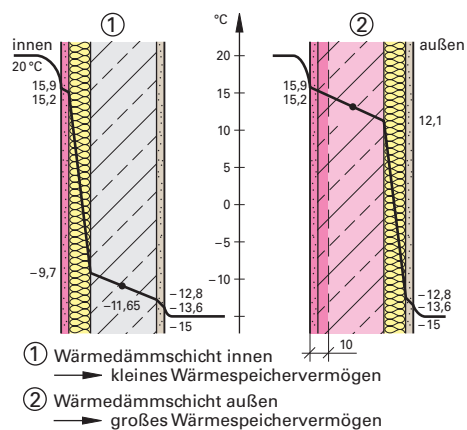


Bild 2: Fußbodenbehaglichkeitskurve



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 Zugescheinung empfunden wird.

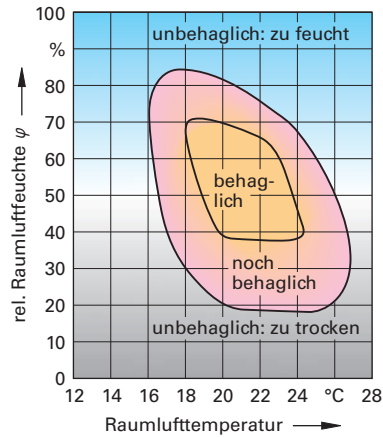


Bild 1: Relative Luftfeuchte und Behaglichkeit

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 Wärmeenergie welle 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.

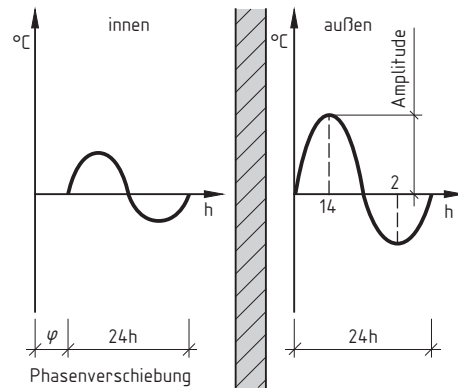


Bild 2: Temperatur-Amplituden-Verhältnis

Dem TAV kommt besonders während der Sommermonate eine Bedeutung zu.

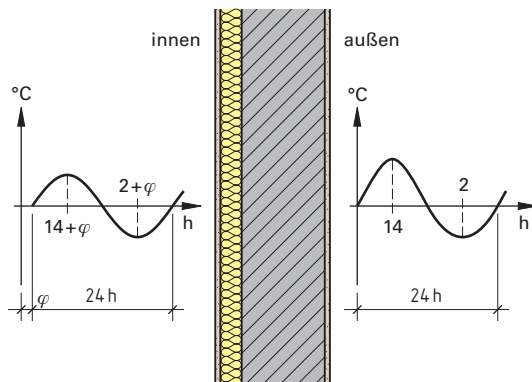


Bild 3: Innendämmung

- 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.

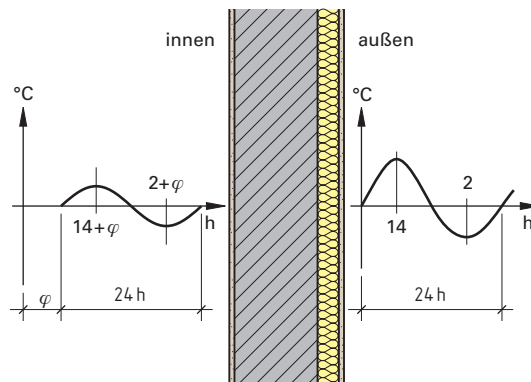


Bild 4: Außendämmung

- Putz und Mauerwerk dienen als Wärmespeicher
- ⇒ die Raumtemperatur ist 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 (CO₂-Gehalt) der Raumluft maßgebend. Hohe CO₂-Belastungen verursachen Kopfschmerzen, Schwindelgefühle, Erregung, Anstieg des Blutdruckes. Sehr hohe CO₂-Konzentrationen von ca. 10 %, wie sie in Gärkellern auftreten können, führen zum Erstickungstod. Der Mensch atmet pro Stunde ca. 500 l Luft mit einem CO₂-Gehalt von ca. 0,03 Vol-% ein (Inspirationsluft) und mit einem CO₂-Gehalt von 4 % aus (Expirationsluft). Dabei verbraucht er pro Stunde etwa 33 l O₂ und erzeugt ca. 25 l CO₂.

Der CO₂-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 m³ Außenluft erforderlich, deren CO₂-Anteil ca. 0,03 Vol-% beträgt.

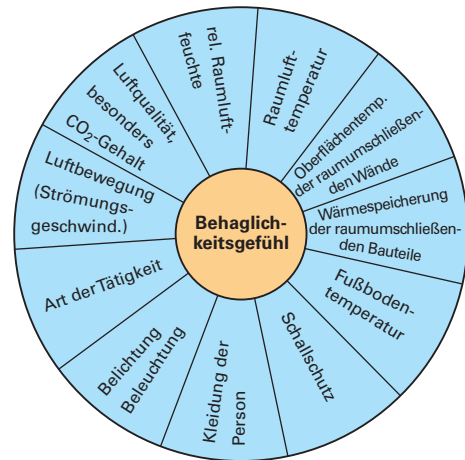


Bild 1: Abhängigkeit der Behaglichkeit

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:
 - A/V_e-Verhältnis möglichst gering
- Hausform:
 - stark gegliederte Fassade oder gerade verlaufende Außenwände (Vor- und Rücksprünge der Wände)
 - Erker
 - Reihenmittelhaus, Reiheneinzelhaus, 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:
 - Δ Kehrwert des Nutzungsgrades einer Anlage
- Anlagentechnik:
 - Lüftungstechnik
 - Klimatechnik
 - Armaturen (Wasser sparend)
- 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

1.3 Nachweis des Wärmeschutzes

1.3.1 Wärmeschutz-Nachweis nach DIN 4108

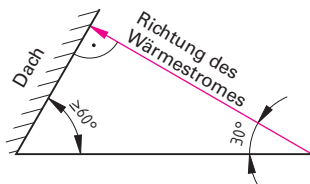
Grundlage des Nachweises nach DIN sind die Tabellen Seite 18 bis 22. Die Forderung nach DIN 4108 gilt dann als erfüllt, wenn für die einzelnen Bauteile die Werte des Wärmedurchlasswiderstandes R nicht unterschritten werden.

| Tabelle 1: Rechenwerte der Wärmeübergangszahlen, bzw. Wärmeübergangswiderstände nach DIN EN 6946 sowie DIN 4108-2 | | | | |
|---|----------------------|--------------------|---------------------------|-----------------------|
| | Wärmeübergangszahlen | | Wärmeübergangswiderstände | |
| | h_i | h_e | R_{si} | R_{se} |
| | W/m ² K | W/m ² K | m ² K/W | m ² K/W |
| Im Wärmeschutz | | | | |
| Richtung des Wärmestromes | | | | |
| aufwärts | 10 | 23 ^{1,2)} | 0,10 | 0,043 ^{1,2)} |
| abwärts | 6 | 23 ^{1,2)} | 0,167 | 0,043 ^{1,2)} |
| horizontal | 8 | 23 ^{1,2)} | 0,125 | 0,043 ^{1,2)} |
| Hinterlüftung | 8 | 12 | 0,125 | 0,083 |
| Im Feuchteschutz | | | | |
| normal | 6 | 23 ^{1,2)} | 0,167 | 0,043 ^{1,2)} |
| bei geschlossener Möblierung vor der Außenwand | 5 | 23 ^{1,2)} | 0,20 | 0,043 ^{1,2)} |
| Um Schimmelpilz zu vermeiden | | | | |
| bei beheizten Räumen | 4 | 23 ^{1,2)} | 0,25 | 0,043 ^{1,2)} |
| bei unbeheizten Räumen | 6 | 23 ^{1,2)} | 0,167 | 0,043 ^{1,2)} |

¹⁾ Bei innenliegenden Bauteilen gelten zu beiden Seiten die R_{si} -Werte. Beheizter Raum an unbeheizten Raum.

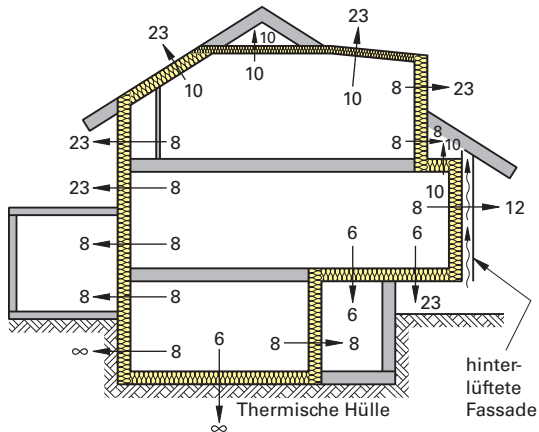
²⁾ Bei der Angrenzung an feste Stoffe (Erdreich u.a.) wird $h_e = \infty$ bzw. $R_{se} = 0$

• Die Werte unter „horizontal“ gelten für Richtungen des Wärmestromes von $\pm 30^\circ$ zur Horizontalen, bzw. bei einer geneigten Bauteilfläche (Dach) von $\alpha \geq 60^\circ$.



| Tabelle 3: Temperaturrandbedingungen zur Wärmebrückenberechnung nach DIN ISO 10 211 | |
|---|---------------|
| Gebäudeteil bzw. Umgebung | Temperatur °C |
| Keller | 10 |
| Erdreich | 10 |
| Unbeheizte Pufferzone | 10 |
| Unbeheizter Dachraum | -5 |

Wärmeübergangszahlen h_i bzw. h_e in Abhängigkeit von der Richtung des Wärmestromes.



Anm.: Wenn die Dämmung bis zum Fußpunkt des Daches heruntergezogen wird, kann die Abseitenwand und der zugehörige Deckenbereich unberücksichtigt bleiben (s.S. 79).

Bild 1: Richtung des Wärmestromes

Tabelle 2: Wärmedämmung von Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen sowie Armaturen

| Zeile | Arten der Leitungen, bzw. Armaturen | Mindestdicke der Dämmschicht ¹⁾ |
|-------|--|---|
| 1 | Innendurchmesser $d \leq 22$ mm | 20 mm |
| 2 | Innendurchmesser 22 mm $< d \leq 35$ mm | 30 mm |
| 3 | Innendurchmesser 35 mm $< d \leq 100$ mm | gleich dem Innendurchmesser |
| 4 | Innendurchmesser $d > 100$ mm | 100 mm |
| 5 | Leitungen und Armaturen nach den Zeilen 1 bis 4 <ul style="list-style-type: none"> • in Wand- und Deckendurchbrüchen • im Kreuzungsbereich von Leitungen • an Leitungsverbindungsstellen • bei zentralen Leitungsnetzteilern | die Hälfte der Anforderungen der Zeilen 1 bis 4 |
| 6 | Leitungen von Zentralheizungen nach den Zeilen 1 bis 4, die nach dem 31. Januar 2002 in Bauteilen zwischen beheizten Räumen verschiedener Nutzer verlegt werden | die Hälfte der Anforderungen der Zeilen 1 bis 4 |
| 7 | Leitungen im Fußboden (Bodenheizungen) | 6 mm |
| 8 | Kälteverteilungs- und Kaltwasserleitungen sowie Klimakältesysteme | 6 mm |

¹⁾ bezogen auf eine Wärmeleitfähigkeitsgruppe von 035