

Architektur und Ökologie, Überlegung zu traditionellen Bauweisen

Wüstenstädte

Meist sehr dicht gebaut was die durchschnittliche Beschattung der Häuser erhöht, einheitliche Materialien, meist ähnliches Aussehen, Wasser wird als Kühlmittel eingesetzt, der Boden ist oft nicht asphaltiert sondern reine Erde, am Abend werden Böden gegossen, das Wasser verdunstet sehr rasch und entzieht dadurch der Umgebung die Wärme, bringt Kühleffekt mit sich, die Hofarchitektur ist sehr ausgeprägt, bepflanzte Höfe speichern die kalte Luft aus der Nacht, Innenhöfe wirken wie Oasen mitten in der Stadt, Enge lange Gassen fördern die Luftbewegung und sind in Nord-Süd Richtung orientiert um den bestmöglichen bzw. längsten Schatten zu bieten.

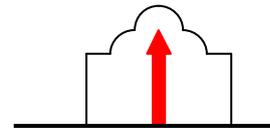
Die Architektur hat ein eigenes Image, Gebäude entsprechen nicht der Zeit, repräsentative Architektur, viele Kuppeldächer, warme Luft steigt in den hohen Gebäuden nach oben in die Kuppeln, entweicht über Öffnungen, Öffnungen bringen auch freundliches Licht in den Raum, dies allerdings sehr bescheiden. Farben spielen ebenfalls eine große Rolle, man versucht fließendes Wasser bzw. den Himmel nachzuempfinden (macht kühlen Eindruck).

Bazare

Weiters gibt es Bazare die oft weit über 100m überdacht und meist hoch gebaut sind, es wird damit der selbe Effekt wie bei Kuppeldächern erreicht, wiederum gibt es Öffnungen für Luft und Licht, Einkaufsmalls sind vom Prinzip diesen Bazars abgewandt.

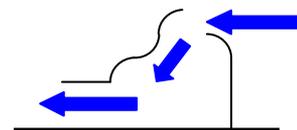
Häuser

Häuser haben oft ebenfalls kleine Kuppeln im Dach, dienen zum abführen sowie einfangen von Luft, an der Außenseite entsteht ein Unterdruck wodurch die warme Luft im Innenraum noch schneller nach außen strömen kann.



Windtürme

Windtürme sind überall im arabischen Raum zu finden, sie besitzen bis zu 8 gerichtete Öffnungen um Luft einzufangen und haben bei Windstille eine, kalte Luft wird aus einem Innenhof eingeführt, steigt dann durch Erwärmung auf und tritt in oberen Öffnungen wieder aus.



Weitere Möglichkeiten

Eine weitere interessante Möglichkeit ist die Trennung der Wohnbereiche für Sommer und Winter da die Anforderungen sehr unterschiedlich sind, im Sommer ist der Wohnbereich nach Norden orientiert und ist mit einem Windturm ausgestattet, im Winter wird der nach Süden gerichtete Teil bezogen, weiters sind ein Innenhof mit Vegetation zu finden sowie unterirdische Windtunneln die die Temperatur im Boden konstanter halten.

Gebäude aus dem 20. Jahrhundert

Jalousien und Klimaanlage werden zur Kühlung verwendet, Identitätslosigkeit der Gebäude (Gestaltung), Menschen wird aus kultureller Sicht Lebensfreude entzogen (einheitliche Gebäude), Bauphysik kann man als eine Art Kultur begreifen, Siedlungsbauten, gebaute Umwelt des Architekten

Paris, Jean Nouvel, das Zentrum der arabischen Welt

Die Fassadenelemente wirken wie Kameralinsen und können je nach Sonneneinstrahlung geöffnet bzw. geschlossen werden, jedes Element kann einzeln motorisch reguliert werden, durch das entstehende Muster ist auch ein orientalisches Aussehen gegeben, Problem ist der Innenraum der als Leseraum dient, das Muster der Fassade zeichnet sich im Innenraum ab und wirkt störend.

Energie

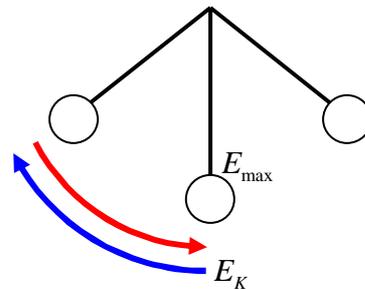
Energie hat die Fähigkeit alles zu leisten, sie kann von einer in eine andere Form transformiert werden ohne zu verschwinden

Arbeit = $\vec{F} \cdot \vec{m}$ (Joule) **Energieerhaltungssatz**

$E_K = \frac{1}{2} m \cdot v^2$ **Kinetische Energie**

$E_G = m \cdot g \cdot h$ **Potentielle Energie**

E_H **Thermische Energie**



E_K erhöht sich, E_G wird weniger

Wenn das Pendel von oben nach unten schwenkt sinkt die potentielle Energie wodurch wiederum die kinetische Energie ansteigt. Durch das weiterpendeln wird die kinetische Energie immer weniger (Reibung) bis sich das Pendel wieder in der Ruhelage befindet und nur noch potentielle Energie vorhanden ist. Die Summe der Energien bleibt immer gleich!
Bei präzisen Pendeln könnte man eine Lufterwärmung feststellen.

Zusammensetzung der Energie:

E_m	E_K	Kinetische Energie
	E_P	Potentielle Energie
.....	E_H	Thermische Energie
	..... E_{Mag}	Magnetische Energie
	..... E_{el}	Elektrische Energie
	..... Masse!	

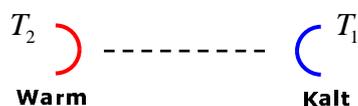
Thermodynamik:

1. Hauptsatz:

In einem geschlossenen System ist die Gesamtmenge aller Energieformen konstant
 $\sum E = \text{konstant}$

2. Hauptsatz:

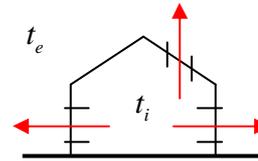
In einem geschlossenen System mit unterschiedlichen Temperaturen findet ein spontaner Transfer von der warmen auf die kalte Seite statt.



Dies ist nur ein Erfahrungssatz, er wurde nie bewiesen

Warum nachheizen?

Gebäude sind keine geschlossenen Systeme, die Innenluft kann mit der Außenluft kommunizieren, das heißt die Wärme wandert.



Entropie

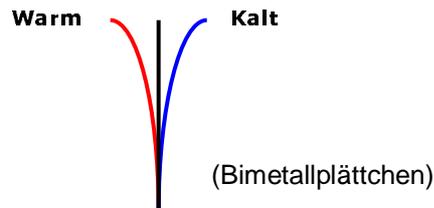
$$T_2 \neq T_1$$

Solange eine Temperaturdifferenz vorhanden ist, kann das System arbeiten. Vorhandene Energie nimmt ab, nicht vorhandene Energie nimmt zu ~ Entropie (Ordnung – Unordnung). Ordnung entspricht einer Differenzierung.

Temperatur

Die Temperatur ist ein Indikator für den thermischen Zustand. Was ist die thermische Energie in einem gewissen Bereich?

Thermostat:



Symbol für Temperatur: θ

Einheit der Temperatur: $[C^{\circ}]$

$T [K]_{Kelvin}$ 0° ist absolut, keine thermische Aktivität mehr, thermodynamische Temperaturen
 $T = 0 + 273$

Temperatur in C°; Temperaturunterschiede in K (Kelvin) angeben

Thermischer Komfort

Sowohl Häusern wie auch Menschen muss Energie zugeführt werden. Die Körpertemperatur muss beim Menschen aufrechterhalten werden, deshalb müssen wir im Winter heizen.

Beeinflussende Faktoren:

- **Bei Menschen:**
Gesundheit (37°C), Menschen können kurzfristig auch unter anderen Bedingungen leben
- **Bei Häusern**
Komfort (Wohlbehagen), thermischer Komfort

2 Möglichkeiten sich anzupassen: (als Architekt)

- Durchschnitt nehmen, damit möglichst viele Menschen einen Komfort empfinden
- Bedenken ob es die Möglichkeit gibt, jeden einzelnen Menschen seinen eigenen thermischen Komfort zu bieten. (z.B. im Auto möglich)

Es gibt Kombinationen aus Faktoren, die die Wahrscheinlichkeit erhöhen, dass man Komfort empfindet.

Faktoren die den thermischen Komfort beeinflussen

Lufttemperatur θ_L

Luftfeuchtigkeit % (Kombination von warm und feucht wird als noch wärmer empfunden)

Luftgeschwindigkeit $m.s^{-1}$ (0,1–0,3 m/s ; geht nie auf null)

Mittlere Strahlungstemperatur $\hat{\theta}$ ~ Oberflächentemperatur; Wände...
(Dämmung um Energieverlust zu minimieren und damit die Oberflächentemperatur angenehm bleibt)

Persönliche Faktoren:

Bekleidung: Um Umgebungstemperatur auszugleichen (Komfort)

Aktivität: Bei Sport genügen auch niedrige Außentemperaturen

Mensch:

$$H - E_{Dry} - E_l - E_{sw} - E_{Diff} = K + C + R$$

H = Wärmeproduktion

E_{Dry} = trockener Wärmeverlust, Atmung (Atmung hat trockene und feuchte Komponente)

E_l = latenter Wärmeverlust

E_{sw} = Schwitzen

E_{Diff} = Diffusion des Wassers durch die Haut (Schwitzen)

K = Wärmeleitung

C = Konvektion

R = Strahlung

$$H = \frac{M}{A_{DU}} \left[W.m^{-2} \right] \quad M = \text{metabolische Rate} [W]$$

$$E_{Dry} = \dot{V} \cdot (\theta_{EXP} - \theta_{INS}) \cdot c$$

$[W] [kg.s^{-1}] [K] [J.kg^{-1}.K^{-1}] \quad 1m^3 \text{ Luft} \hat{=} 1,2kg$

θ_{EXP} Temperatur der Außenluft

θ_{INS} Einatemluft

c = spezifische Wärmekapazität

\dot{V} = Luftmenge (Lüftungsrate)

$$E_l = \dot{V} \cdot (W_{EXP} - W_{INS}) \cdot L_v$$

$$[W] [kg \cdot s^{-1}] \quad [] \quad [J \cdot K^{-1}]$$

W_{EXP}, W_{INS} Feuchtigkeit, Feuchtigkeitsunterschied

Dieser Wärmeverlust ist von der Temperatur unabhängig. Endlich wie in der Wüste, verliert auch viel Wasser durch das Atmen.

K – Leitung:

Muss bei Menschen durch die Kleidung und bei Häusern durch die Gebäudehülle.

Braucht Medium, nicht im Vakuum, braucht keine mikroskopische Teilchenbewegung, pflanzt sich nicht fort. Beispielsweise bewegen sich Teilchen in der Wand nicht durch die gesamte Wand sondern nur an ihrem Platz.

$$K = A_{DU} \cdot (\theta_s - \theta_{cl}) \cdot \frac{1}{R_{cl}}$$

$$[W] [m^2] [K] \left[\frac{1}{m^2 \cdot K/W} \right]$$

θ_{cl} Bekleidungstemperatur

R_{cl} Widerstand

θ_s Haupttemperatur

C – Konvektion:

Meist flüssige oder gasförmige Medien. Die Bewegung erfolgt über die großförmige Bewegung von Molekülen.

$$C = A_{DU} \cdot f_{cl} (\theta_{cl} - \theta_L) \cdot \alpha_c$$

$$[m^2] [-] [K] [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad [-] = \text{Faktor für Bekleidung}$$

α_c Konvektiver Wärmeübertragungskoeffizient. Wieviel Energie [J] geht in einer Sekunde von der Luft auf $1m^2$ Baukörper, um ihn um 1° Kelvin zu erwärmen.

Wenn der Temperaturunterschied höher ist, erhöht sich auch der Energieaufwand proportional dazu.

R – Strahlung:

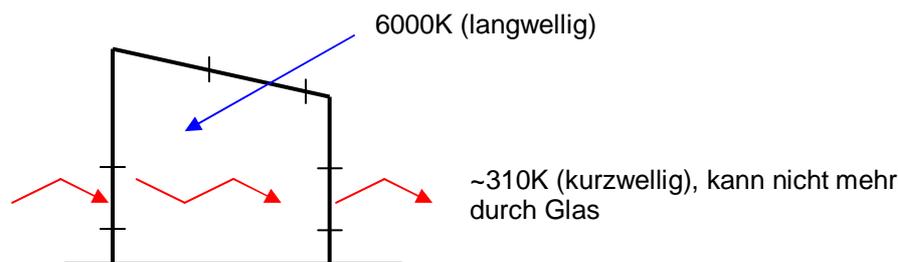
Ist eine elektromagnetische Form von Energie, jeder Teil über 0° Kelvin strahlt, strahlt überproportional (4. Potenz) zur Temperaturzunahme), wird genutzt bei Fußbodenheizung, bestimmte Wellenlänge.

Langwellige Strahlung bei $\sim 310^\circ K (\hat{=} \sim 37^\circ C)$ ist mit dem menschlichen Auge nicht sichtbar (nur mit Infrarotkameras sichtbar)

UV-Strahlung:

Muss auch oft berücksichtigt werden (Bsp. Museumsfenster), gewisser Bereich wird als Licht berechnet

Treibhauseffekt:



Temperatur

Menschen müssen ihre Kerntemperatur von 37°C aufrechterhalten, was bei Gebäude ebenfalls wünschenswert ist. Bei Haus muss gleichviel Abfuhr wie Zufuhr von Temperatur sein, ansonst treten Temperaturschwankung nach oben bzw. unten auf.

$$H - E_{Dry} - E_l - E_{Diff} - E_{sw} = K = C + R$$

Leitung
$$K = A_{DU} \cdot (\theta_s - \theta_{cl}) \cdot \frac{1}{R_{cl}}$$

Konfektion
$$C = A_{DU} \cdot f_{cl} \cdot (\theta_{cl} - \theta_L) \cdot h_{cv} \quad (h_{cv} \hat{=} \alpha_C)$$

Strahlung
$$R = A_{eff} \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot \left[(\theta_{cl} + 273)^4 - (\theta_U + 273)^4 \right]$$

Um Ergebnis in Kelvin ausdrücken zu können

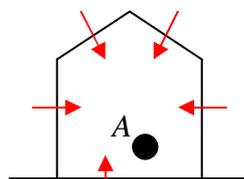
$A_{eff} =$ **effektive Strahlungsfläche** $A_{eff} = A_{DU} \cdot f_{cl} \cdot f_{eff}$

$\varepsilon =$ **Emissionsgrad**
~ 0,97 (Mensch) ; 1 = ideal (Schwarzkörper). Das heißt schwarze Körper strahlen die höchst mögliche Menge wobei es aber keinen solchen perfekten schwarzen Körper gibt. Die meisten Gebäude liegen um 0,9 Ausnahme sind metallische Flächen mit 0,05

$\sigma =$ **Stefan Holzmann – Konstante**
Nach dem Stefan Bolzmann Gesetz $\sigma \cong 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$

$\theta_U =$ **Umgebungstemperatur**
Bei einer Höhle mit gleichmäßiger Temperatur wäre die Oberflächentemperatur die Umgebungstemperatur. In Gebäuden treten hingegen an Decken, Wänden, Böden und Fenster unterschiedliche Temperaturen auf. Hierbei muss die Temperatur in Abhängigkeit der Größen der Flächen gemittelt werden.

$$\theta_U = \frac{A_1 \cdot \theta_1 + A_2 \cdot \theta_2 + \dots + A_n \cdot \theta_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$



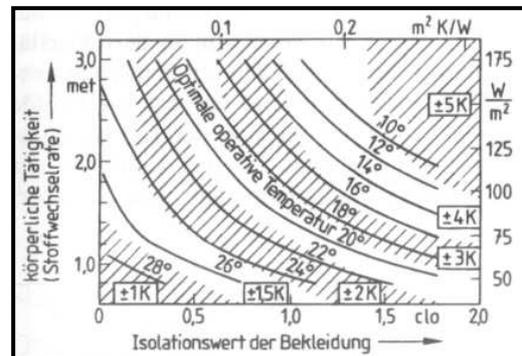
(Größe ausschlaggebend)

Die Formel ist genügend genau, allerdings nur eine Annäherung. Die genaue Berechnung wäre über Raumwinkel möglich, vorzustellen wie eine vom Menschen ausgehende Pyramide auf eine bestimmte Fläche. Im Raum ist nur eine Umgebungstemperatur, Flächen haben einen Einfluss in Abhängigkeit wo ich mich im Raum aufhalte. Dies wird bei Verglasungssystemen oder Fassaden benötigt (Bsp.: vor Lagerfeuer sitzen, vorne heiß – hinten kalt)

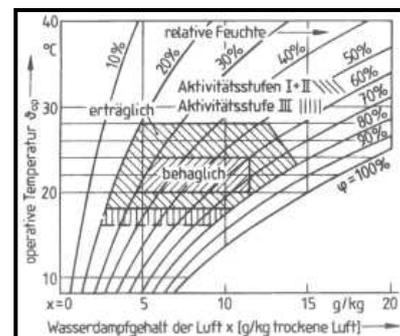
$$\theta \cong \frac{\theta_L + \theta_U}{2}$$

Luft und Oberflächentemperatur werden zusammengefasst, es entsteht operative Energie. Diese wird ausschließlich für Beurteilungszwecke verwendet. (Komfort wird sowohl von Luft wie Umgebungstemperatur beeinflusst)

Optimale operative Temperatur als Funktion von Stoffwechselrate und Isolationswert der Bekleidung bei Luftgeschwindigkeiten $\leq 0,25 \text{ m/s}$ und einer relativen Luftfeuchte von etwa 50%.

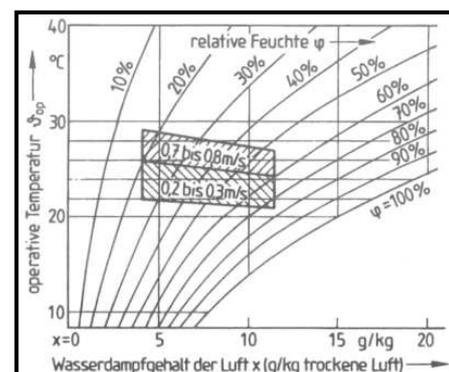


Physiologisch optimaler Bereich und Erträglichkeitsbereich.

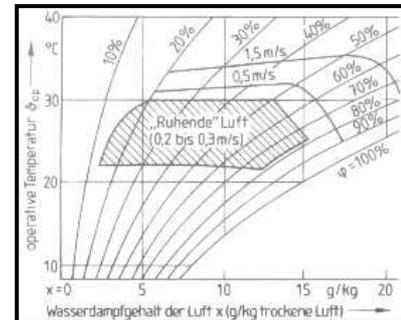


Die Luftfeuchtigkeit hängt von der Temperatur und des Wassergehaltes in der Luft ab. Bei einer Kondensation wird gasförmiger Wasserdampf zu flüssigem Wasser. Daher sollte man beim Hausbau darauf achten, dass die Temperatur zu jeder Jahreszeit erträglich und beaglich ist (Kompromiss bei Dachausbau)

Physiologisch optimaler (beaglicher) Klimabereich bei einer Stoffwechselrate von $60 \text{ bis } 70 \text{ W/m}^2$ und einen Isolationswert der Kleidung von 0,3 bis 0,6 clo sowie verschiedener Luftgeschwindigkeiten



Erträglichkeitsbereich nach Anpassung an warme Klimate bei verschiedenen Luftgeschwindigkeiten (Stoffwechselrate und Kleidung wie vorheriges Bild)



Personen und Flächenbezogene Mindest-Außenluftströme

Raumart	Außenluftstrom		Raumart	Außenluftstrom	
	Personen-bezogen in m ³ /h	Flächen-bezogen in m ³ /(m ² ·h)		Personen-bezogen in m ³ /h	Flächen-bezogen in m ³ /(m ² ·h)
Einzelbüro	40	4	Lesesaal	20	12
Großraumbüro	60	6			
Versammlungsraum	20	10 bis 20	Verkaufsraum	20	3 bis 6
Klassenraum	30	15	Gaststätte	40	8

Außenklima

Sonnenstrahlung (kurzwellige Strahlung)

Es gibt sowohl passive als auch aktive Nutzung der Sonne (Energiegewinnung)

Sonne $1390W \cdot m^{-2}$ außerhalb der Atmosphäre

Lufttemperatur

Vor allem die Luftmassenbewegung ist sehr wichtig bei Dimensionierung von Häusern (Temperaturschwankung zwischen Tag und Nacht)

Relative Luftfeuchtigkeit

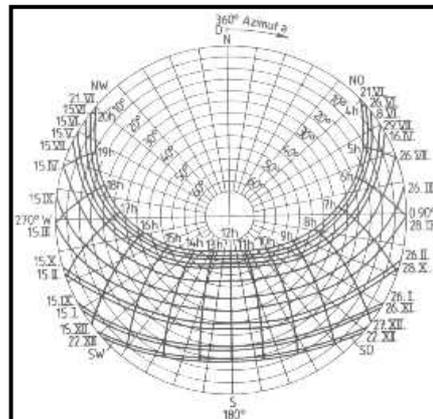
Schwankt in Mitteleuropa zwischen 60 und 90%

Langwellige Strahlung

Sind Strahlungen mit niedrigen Temperaturen. Beispiele sind Infrarot oder magnetische Strahlung die gespürt aber nicht gefühlt werden kann. Die Temperatur nimmt nach oben ab. Die Atmosphäre selbst strahlt schichtmäßig, es besteht ein Strahlungsabtausch zwischen Erde und Atmosphäre. Die Zweite Quelle ist die Umgebung (Gebäude und ganze Städte). Wenn eine starke Bewölkung vorhanden ist, beträgt der Nettostrahlungsaustausch gleich null. Bei sehr klarem Himmel kann es zu einem Langwellenverlust kommen. $40-110W \cdot m^{-2}$

Wind

Sonnenhöhe h (Radius) und Azimut a (Winkel) in Abhängigkeit von Stundenwinkel (Tageszeit) und Deklination (Tag, Monat) für 52° nördliche Breite.



Solare Strahlung

$$E_0 \cong 1390 W \cdot m^{-2} \text{ (in 2000 Kilometer Höhe)}$$

$$E_{s,H} = f(h, T, \rho / \rho_0)$$

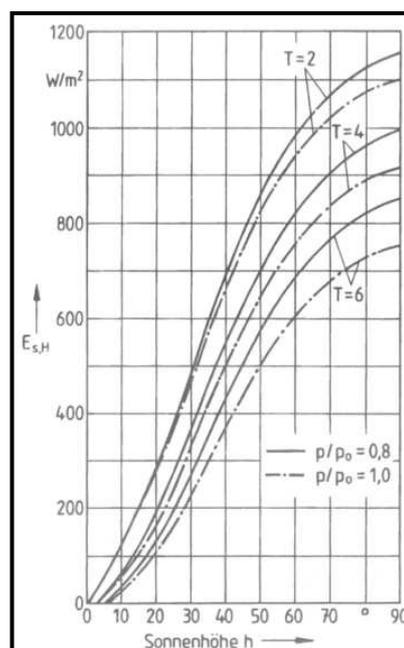
$T =$ **Trübung der Atmosphäre**
(Beeinflusst Menge der Strahlung auf die Erde)

T	Stadt	Land
Sommer	6	4
Winter	4	2

$h =$ **Höhe**
0 – 90°

$\rho / \rho_0 =$ **Atmosphärische Luftdruckverhältnisse**
(0,8 = Gebirge, 1 = Meereshöhe)

Intensität der Horizontalflächenkomponente $E_{s,H}$ der direkten Sonneneinstrahlung in Abhängigkeit von der Sonnenhöhe h , dem Trübungsfaktor T und dem Luftdruckverhältnis ρ / ρ_0 .



Diffuse Himmelstrahlung

$$E_H \cong \frac{1}{3} (E_0 \cdot \sin h - E_{S,H})$$

Beispiel:

$h = 20^\circ$, $E_0 = 1390 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ Ausnahme (Stadt, Winter, $h = 20$, $T = 4$, $\rho / \rho_0 = 1$)

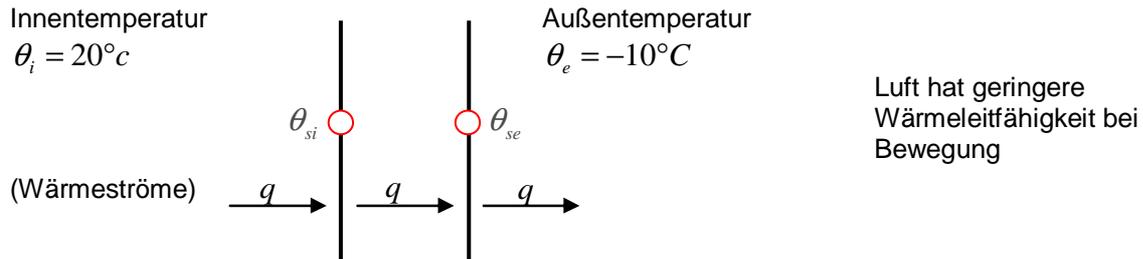
$$E_{S,H} = 160 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad E_H \cong \frac{1}{3} \cdot (1390 \cdot \sin 20 - 160) \cong \underline{\underline{105 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}}}$$

$$E_{glob} = E_{S,H} + E_H \quad E_{glob} = 160 + 105 = \underline{\underline{265 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}}}$$

Wärmetransport

Stationärer Wärmetransport:

Ist sehr nützlich, da Berechnungen vereinfacht werden können. Bei einem Wärmeübergang von einer Innentemperatur von 20°C und einer Außentemperatur von 0° geht man davon aus, dass die Werte konstant bleiben und somit Berechnungen vereinfacht zu lösen sind.



Bei einem stationären Wärmetransport muss q immer gleich groß sein. Der Widerstand der Wand ist abhängig von Stärke, Aufbau und Material.

Die Oberflächentemperatur ist ungleich der Lufttemperatur. Luft ist eine gute Wärmedämmung, an einer Wand beispielsweise wird sie in ihren Freiheitsgraden eingeschränkt und bewirkt so einen Temperaturabfall.

$$\underbrace{(\theta_i - \theta_{si})}_{\text{Treibende Kraft}} \cdot \underbrace{\frac{1}{R_{si}}}_{\text{Widerstand}} = \underbrace{(\theta_{se} - \theta_e)}_{\text{Übergangswiderstand n. Außen}} \cdot \underbrace{\frac{1}{R_{se}}}_{\text{Übergangswiderstand n. Außen}}$$

$$R_{si} = \frac{1}{h_i} \quad \text{Übergangswiderstand nach Innen}$$

$$R_{se} = \frac{1}{h_e} \quad \text{Übergangswiderstand nach Außen}$$

Kehrwert ist anzuwenden weil der Wärmestrom umgekehrt proportional zum Widerstand ist.

Beispiel:

Wieviele Joule gehen in 1 Sekunde auf $1m^2$ wenn der Temperaturunterschied 1 Kelvin ist?

$$h \quad \square \quad 1m^2$$

$$J.s^{-1}.m^{-2}.k^{-1} = W.m^{-2}.k^{-1}$$

$$R_{si}, R_{se} = m^2.k.W^{-1}$$

Richtung	R_{si}	R_{se}
↔	0,13	0,04
↑	0,10	0,04
↓	0,17	0,04

Bis zu 30° schrägen Wänden bleibt man bei diesen Wert en

Einschichtige Konstruktion

$$R_T = R_{si} + \frac{d}{\lambda} + R_{se}$$

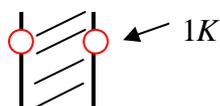
R_T = Gesamtwiderstand

λ = Wärmeleitfähigkeit

d = Dicke

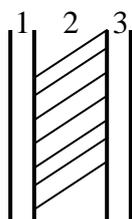
2 Einflüsse:

Die Dicke der Wand (direkt proportional) und Leitfähigkeit (Leitfähigkeit klein – Widerstand groß)



$$J \cdot s^{-1} \cdot m^{-1} \cdot K^{-1} = W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$$

Mehrschichtige Konstruktion (doppelt verputzt)



$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i}$$

$$R_T = R_{si} + R + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se}$$

d_i = Dicke der Schicht

λ_i = Wärmeleitfähigkeit der Schicht

U-Wert: Wärmeleitfähigkeit über gesamtes Material mit Einbeziehung von Innen und Außentemperatur. Mit λ werden nur einzelne Schichten betrachtet (Mauerwerk)

$$U = \frac{1}{R_T} \quad W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$$

Wärmestrom durch Bauteil

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad [W]$$

$$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1} \cdot m^2 \cdot K$$

Wärmeleitfähigkeit

Material	$q - kg / m^3$	$\lambda - W.m^{-1}.k^{-1}$	μ
Putz (Gips)	1400	0,7	10
Vollziegel	1600	0,7	5.....10
Beton	2400	2,0	~ 80
Mineralwolle	~ 14	0,04	1,1
Konst. Holz	700	0,2	~ 100
Glas	2500	1,0	∞

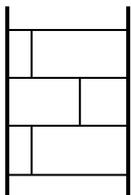
Wärmedämmung schließt kleinere Luftporen ein. Das heißt, je mehr Poren, umso besser ist die Wärmedämmung.

Wärmedurchlasswiderstand

Dicke in mm	↑	↔	↓
5	0,11	0,11	0,14
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

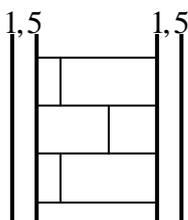
$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se}}$$

25cm Ziegelwand



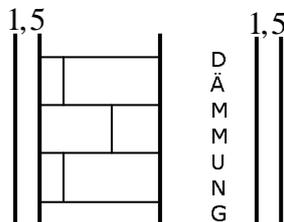
$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,25}{0,7} + 0,04} = \underline{\underline{1,9W.m^{-2}.k^{-1}}}$$

25cm Ziegelwand + zusätzlichen Putz



$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,015}{0,7} + \frac{0,25}{0,7} + \frac{0,015}{0,7} + 0,04} = \underline{\underline{1,75W.m^{-2}.k^{-1}}}$$

25cm Ziegelwand + zusätzlichen Putz und Wärmedämmung

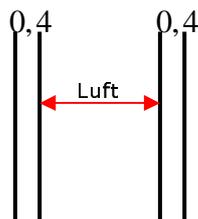


$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,015}{0,7} + \frac{0,25}{0,7} + \frac{0,1}{0,4} + \frac{0,015}{0,7} + 0,04} \cong \underline{\underline{0,33W.m^{-2}.k^{-1}}}$$

8mm Glas

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,008}{1,0} + 0,04} \cong \underline{\underline{5,6W.m^{-2}.k^{-1}}}$$

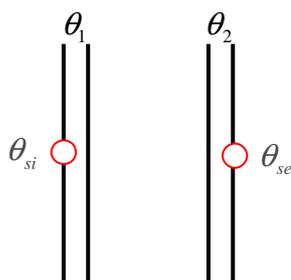
4mm Glasscheiben + ruhende Luftschicht



$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,004}{1,00} + 0,17 + \frac{0,004}{1,0} + 0,04} = \underline{\underline{2,9W.m^{-2}.k^{-1}}}$$

Innentemperatur

$$\theta_i = 20^\circ c$$



Außentemperatur

$$\theta_e = -10^\circ C$$

15mm Putz

$$\lambda = 0,7W.m^{-2}.k^{-1}$$

300mm PB-MKW

$$\lambda = 0,24W.m^{-2}.k^{-1}$$

20mm Außenputz

$$\lambda = 0,87W.m^{-2}.k^{-1}$$

$$\frac{\theta_i - \theta_{si}}{R_{si}} = q = \frac{\theta_{si} - \theta_1}{R_1} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{R_2} = \frac{\theta_2 - \theta_{se}}{R_3} = \frac{\theta_{se} - \theta_e}{R_{se}}$$

Es müssen wieder alle gleich sein, weil von einem stationären Wärmetransport ausgegangen wurde.

$$\theta_i - \theta_{si} = q \cdot R_{si} \quad \theta_{si} - \theta_i = q \cdot R_i \quad q = \frac{\theta_i - \theta_e}{R_T}$$

Der Wärmestrom durch einzelne Schichten ist gleich dem Wärmestrom durch alle Schichten.

$$R_T = 0,13 + \frac{0,015}{0,7} + \frac{0,3}{0,24} + \frac{0,02}{0,87} + 0,04 \cong \underline{\underline{1,464 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}}}$$

$$q = \frac{20 - (-10)}{1,464} = \underline{\underline{20,49 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}}}$$

q Widerstand Temperaturabfall

$$\theta_i - \theta_{si} = 20,49 \cdot 0,13 = \underline{\underline{2,66 \text{ K}}}$$

$$\theta_{si} - \theta_1 = 20,49 \cdot \frac{0,015}{0,7} = \underline{\underline{0,44 \text{ K}}}$$

$$\theta_1 - \theta_2 = 20,49 \cdot \frac{0,3}{0,24} = \underline{\underline{25,61 \text{ K}}}$$

$$\theta_2 - \theta_{se} = 20,49 \cdot \frac{0,02}{0,87} = \underline{\underline{0,47 \text{ K}}}$$

$$\theta_{se} - \theta_e = 20,49 \cdot 0,04 = \underline{\underline{0,82 \text{ K}}}$$

Innentemperatur

$$\theta_i = 20^\circ \text{C}$$

$$\theta_{si} = 17,34^\circ \text{C}$$

$$\theta_1 = 16,9^\circ \text{C}$$

Außentemperatur

$$\theta_e = -10^\circ \text{C}$$

$$\theta_{se} = -9,18^\circ \text{C}$$

$$\theta_2 = -8,71^\circ \text{C}$$

$$\theta_{si} = \theta_i - \frac{R_{si}}{R_T} \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

Beispiel Glas 8mm

$$R_{si} = 0,13 ; \theta_i = 20^\circ \text{C} ; \theta_e = -10^\circ \text{C}$$

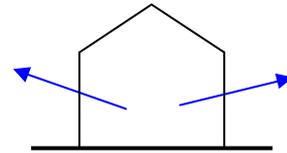
$$R_T = \frac{1}{5,6} \cong \underline{\underline{0,18 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}}}$$

$$\theta_{si} = 20 - \frac{0,13}{0,18} \cdot (20 - (-10)) = \underline{\underline{-1,6^\circ \text{C}}}$$

Wasser würde an der Oberfläche sofort frieren

Lüftung

Lüftung verbraucht Luft, die Luft muss ersetzt werden.



Luftwechselrate

Bestimmte Menge von Luft die ausgetauscht werden muss $m^3 \cdot h^{-1}$.

Luftwechselzahl

h^{-1} Gesamtes Luftvolumen wird in einem Raum in einer Stunde komplett ausgetauscht.

Mindestluftströme

20.....60 $m^3 \cdot h^{-1}$ Ist die Menge an Luft, die pro Stunde und Person eingeführt werden soll.



Beispiel:

Schlafzimmer mit $50m^3$

$$2 \cdot 20 = 40 m^3 \cdot h^{-1} \quad \text{Luftwechselzahl} \sim 0,8$$

Wasserdampf

- wichtig für das Innenraumklima, oft Probleme an Baustoffen

Trockene Luft

Zusammensetzung in %

N_2	78,08%	
O_2	20,95%	
Ar	0,93%	
CO_2	0,03%	(CO_2 ist im Innenraum höher und wird bis zu 0,15% akzeptiert)
$Ne, Kr, Xe...$	0,01%	
	100%	

Dampfförmig – Verhält sich wie Gas und kann übergehen in Flüssigkeit (Konsistenz)

Gas

Druck	P	$[Pa]$
Temperatur	T, ϑ	$[K, C^\circ]$
Masse	M, m	$[KG]$
Volumen	V	

Gasgleichung

$$p.V = m.R.T$$

$$p = \frac{m}{V} . R.T \quad \leftarrow \text{Gaskonstante } [287 \frac{J}{kgK}]$$
$$p.V = R.T \quad \leftarrow \text{Spezifisches Volumen } [\frac{m^3}{kg}]$$

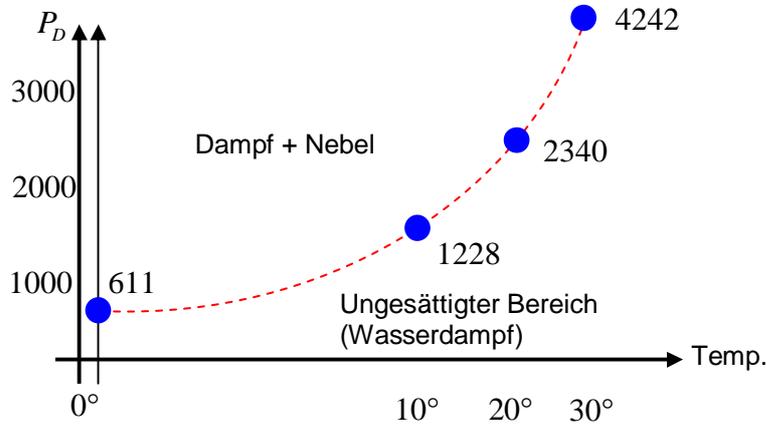
Trockene Luft $p.V = m_L . 287.T$

\nwarrow Luftmasse ohne Wasserdampf

Feuchte Luft Trockene Luft + H_2O (Gas, Flüssigkeit, Eis)

Unterschied gasförmig und flüssig – Abstand (λ) der Moleküle ist im gasförmigen Zustand größer

Lösung



Eisnebel unter 0°C

Wasserdampfkonzentration $C \left[\frac{g}{m^3} \right]$

(Wasserdampfkonzentration $\cdot \left[\frac{g}{kg} \right]$ trockene Luft) – Volumen geht verloren

Partialdruck (des Wasserdampfes)

Luftdruck – Barometerdruck

$$p = \sum P_i = P_{N_2} + P_{O_2} + \dots P_D$$

Gesamtdruck ist die Summe der Partialdrucke

1 bar 100000 Pa 1000 hPa

Seehöhe 200m ~ 98000 Pa

relative Luftfeuchtigkeit $\varphi [-] [%]$ Dimensionslos

35.....70% Mensch merkt keinen Unterschied

über 70% Schwüle, Schweißverdunstung funktioniert nicht mehr

unter 35% Staubteilchen beginnen sich mehr in der Luft zu bewegen

φ geht von 0 bis 100%

$$\varphi = \frac{P_D}{P_S} \quad \text{Sättigungsdruck } P_S$$

$$\varphi = \frac{x}{x_S} \quad \text{Sättigungsfeuchtigkeit } x_S$$

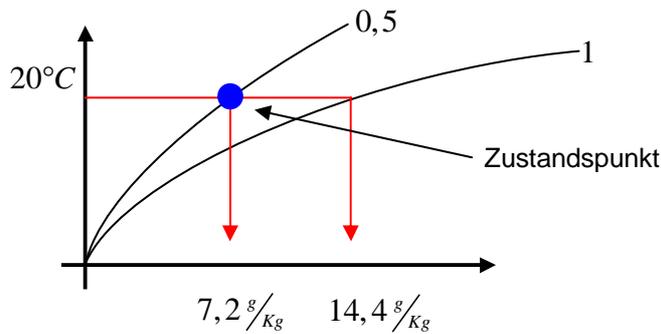
$$\varphi = \frac{C}{C_S} \quad \text{Sättigungskonzentration } C_S$$

$\varphi = 50\%$ Nur 50% der möglich aufnehmbaren Wasserstoffmoleküle sind in der Luft

Beispiel:

20°C , $\varphi = 50\% = 0,5$, $x = ?$

Lösung mittels Diagramm „Mollier“
„Carrier“ (USA)



Beispiel:

$20^{\circ}\text{C} = \vartheta$, $\varphi = 50\% = 0,5$, $P_D = ?$

Tabelle $P_s = 2340\text{Pa}$

$$P_D = \varphi \cdot P_s = 0,5 \cdot 2340 = \underline{\underline{1170\text{Pa}}}$$

Außenluft

Durchschnitt $\frac{\text{g}}{\text{m}^3}$ (Österreich)

Jänner 11g

Juli 04g

Im Jänner ist die Luft viel trockener als im Juli.

Relative Luftfeuchtigkeit schwankt

Lüften im Winter kann ein Gebäude trocknen, da die Luft im Winter (4g) viel trockener als im Sommer (11g) ist.

Innenluft

Person $50 \frac{\text{g}}{\text{h}}$

Kochen $1000 \frac{\text{g}}{\text{Tag}}$

Geschirr $200 \frac{\text{g}}{\text{Tag}}$

Blumen gießen $1000 \frac{\text{g}}{\text{Tag}}$

Anschauungsbeispiel an einen 50m³ großen Raum

2 Personen $100 \frac{\text{g}}{\text{h}}$

Kochen $42 \frac{\text{g}}{\text{h}}$

Geschirr $8 \frac{\text{g}}{\text{h}}$

Blumen gießen $42 \frac{\text{g}}{\text{h}}$

$$\underline{\underline{192 \frac{\text{g}}{\text{h}}}}$$

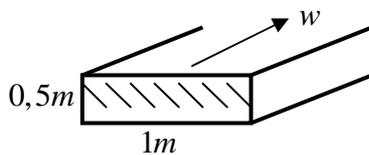
Begriffe

Volumenstrom \dot{V} $\left[\frac{m^3}{s} \right]$

Massenstrom \dot{M}, \dot{m} $\left[\frac{Kg}{s} \right]$

$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V}$ $\rho = \text{Dichte}$ $\left[\frac{Kg}{m^3} \right]$

Beispiel Lüftungsschacht



$w =$ mittlere Luftgeschwindigkeit $\left[\frac{m}{s} \right]$

$w = 6 \frac{m}{s}$

$V = a \cdot w = 0,5m^2 \cdot 6 = 3 \frac{m^3}{s}$

$3 \cdot 3600 = 10800 \frac{m^3}{h}$

Massestau feuchte Luft

$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V} = 1,170 \cdot 3 = 3,51 \frac{Kg}{s}$

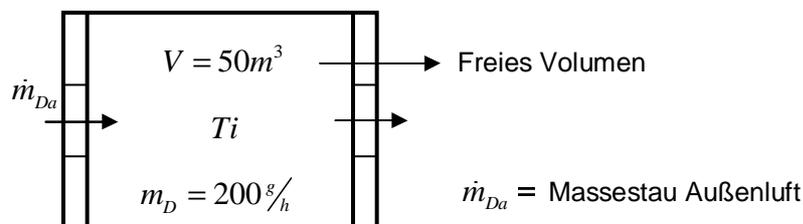
$\rho = \frac{1}{V} = \frac{1}{0,855} = 1,170 \frac{Kg}{m^3}$

$\dot{m}_L = \frac{\dot{m}}{1+x}$ $x = 7,2g = 0,0072Kg$

Massestau trockene Luft

$\dot{m}_L = \frac{3,51}{1,0072} = 3,48 \frac{Kg}{s}$

Massestau Außenluft



Luftwechselzahl (Beschreibt die Dauer bis ein Raum komplett mit frischer Luft ausgetauscht ist)

$L = \left[\frac{1}{h} \right]$

$L = 1 \dots \dots \dots \frac{50m^3}{h}$ (B 8110 Norm)

$L = 0,75$ (M 7500)

$$\dot{V} = V.L = 50.0,75 = 41 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\dot{m}_{Dzu} = V.L.\varphi_a.C_{sa} \cdot \frac{T_a}{T_i}$$

$$\dot{m}_D = 200 \text{ g/h}$$

$$\dot{m}_{Dab} = V.L.\varphi_i.C_{si}$$

← Sättigungsgehalt der Außenluft

← Sättigungsgehalt an der Innenseite

$$\dot{m}_{Dzu} + \dot{m}_D = \dot{m}_{Dab}$$

$$\frac{T_a}{T_i} . L.V.\varphi_a.C_{sa} + \dot{m}_D = L.V.\varphi_i.C_{si}$$

$$\varphi_i = \varphi_a \cdot \frac{C_{sa}}{C_{si}} \cdot \frac{T_a}{T_i} + \frac{\dot{m}_D}{V.L.C_{si}}$$

Beispiel

Außen: $\varphi = 80\%$, $\vartheta_a = 0\%$, $T_a = 273K$, $P_{sa} = 611Pa$, $C_{sa} = 4,8 \text{ g/m}^3$ (aus Diagramm)

Innen: $\vartheta_i = 20\%$, $T_i = 293K$, $\dot{m}_D = 200 \text{ g/h}$, $P_{si} = 2340Pa$, $C_{si} = 18 \text{ g/m}^3$ (aus Diagramm)

$$\frac{C_{sa}}{C_{si}} = \frac{x_{sa}}{x_{si}} = \frac{p_{sa}}{p_{si}}$$

$$\varphi_i = 0,8 \cdot \frac{611}{2340} \cdot \frac{273}{293} + \frac{200}{50.0,75.18} = 0,49 = \underline{\underline{49\%}}$$

selbes Beispiel für $\vartheta_a = 0\%$, $\varphi = 80\%$

$$\underline{\underline{\varphi_i \approx 55\%}}$$

Norm – Innenraumbedingungen (Maximalbegrenzung)

ϑ_a	φ_i
5	70%
0	65%
-5	60%
10	55%

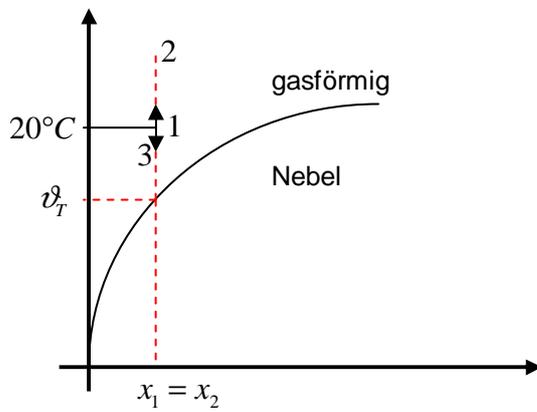
$$\vartheta = 20^\circ C$$



konstant

Bauteile müssen eine sehr hohe Qualität aufweisen um diese Bedingungen zu erfüllen.

Luft erwärmen – abkühlen



$\vartheta \downarrow 1 \dots 2$ Erwärmung
 $\vartheta \uparrow 1 \dots 3$ Abkühlung
 $\vartheta_T =$ Taupunktstemperatur

Taupunktstemperatur verursacht Kondensat an Bauteiloberflächen

Relative Luftfeuchtigkeit	φ	$[\%]$
Absolute Luftfeuchtigkeit	x	$[\frac{g}{kg}]$
Wasserdampfkonzentration	c	$[\frac{g}{m^3}]$
Dichte	ρ	$[\frac{kg}{m^3}]$

Dichte

Formel $\rho = 3,48 \frac{\rho}{T} - 1,32 \frac{\rho_D}{T}$ $T = [K]$ $\theta_i, \vartheta_i = [^{\circ}C]$

$$x = \frac{m_D}{m_L} = 0,622 \frac{\rho_D}{\rho_L}$$

$$x = 0,622 \cdot \frac{\rho_D}{\rho - \rho_D}$$

Gesamtdruck der Luft $\rho = \rho_L + \rho_D$

Trockene Luft

Wasserdampf

Sättigungsdruck

Sättigungsdruck ρ_s aus Ö-Norm B9110-2 oder DIN 4104 abzulesen

Formel: $\rho_s = 288,68 \cdot \left(1,098 + \frac{\vartheta}{100}\right)^{8,02}$ (über 0° gültig)

Taupunkttemperatur

Taupunkttemperatur, Tautemperatur ϑ_s (Temperatur bei der die Sättigung auftritt)

Formel: $\vartheta_s = \varphi^{\frac{1}{8}} \cdot (110^{\circ}C + \vartheta_L) - 110^{\circ}C$ oder Verwendung der Tabelle Ö-Norm B8110-2

Beispiel:

$20^{\circ}C$, 65% , $\vartheta_s = 13,2^{\circ}C$ (aus Tabelle)

$$\vartheta_s = 0,65^{\frac{1}{8}} \cdot (110^{\circ}C + 20^{\circ}C) - 110^{\circ}C = \underline{\underline{13,18^{\circ}C}}$$

Alle Größen lassen sich zusammen in einem „Mollier – Diagramm“ darstellen.

Taupunkt – Kondensat an Oberflächen

Oberflächentemperatur $\theta_{Si}, \vartheta_{Si}, \vartheta_{\theta i}$

Wärmestromdichte $q = U \cdot (\theta_i - \theta_e)$

Der Wärmestrom ändert sich bei Durchgang eines Bauteiles nicht, da es keine Quelle bzw. keinen Vernichter gibt.

$$q = \alpha_i \cdot (\theta_i - \vartheta_{Si}) = \frac{\lambda_1}{d_1} \cdot (\theta_i - \theta_1) = \frac{1}{0,17} \cdot (\theta_1 - \theta_2) = \frac{\lambda_3}{d_3} \cdot (\theta_2 - \theta_3) \dots$$

Formel für die innere Oberflächentemperatur von Bauteilen:

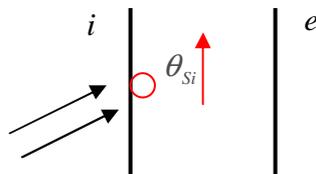
$$\theta_{Si} = \theta_i - \frac{U}{\alpha_i} \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

$\theta_{Si} < \vartheta_S$ Kondensat

$\alpha_i =$ Innerer Wärmeübergangskoeffizient

Als Annahme bei Berechnungen ist $\alpha_i \approx 8 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ $\frac{1}{\alpha_i} = 0,13 \frac{m^2 \cdot K}{W}$

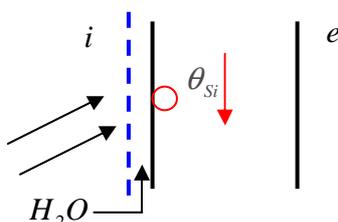
Beispiel:



Verstärkte Anströmung durch z.B. Fön führt dazu das θ_{Si} steigt.

$$\alpha_i \dots 20 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Beispiel:

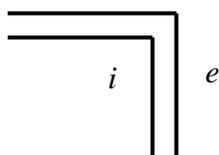


Verminderte Anströmung durch z.B. Vorhang führt dazu das θ_{Si} sinkt.

$$\alpha_i \sim 3 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Beispiel:

$$\alpha = 8,14 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad \alpha_i = 6 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$



$$\theta_i = 20^\circ C, \theta_e = -10^\circ C$$

$$\theta_{Si} = \theta_i - \frac{U}{\alpha_i} \cdot (\theta_i - \theta_e) = 20 - \frac{0,489}{6} \cdot 30 = \underline{\underline{17,56^\circ C}}$$

Für den Wärmeschutz sind besonders Vorhänge und Möbel von Vorteil. Der Feuchtigkeitsschutz ist besonders stark in Raumecken zu beachten.

Taupunkt $\vartheta_s = 17,56^\circ$, $\varphi_i = ?$

Aus Tabelle:

17,50°C	.....	$p_s = 2001 Pa$
17,56°C	.....	$p_s = 2009 Pa$
17,60°C	.....	$p_s = 2014 Pa$

$$\varphi = \frac{p_{D_{17,56^\circ C}}}{p_{S_{20^\circ C}}} = \frac{2009}{2340} = 0,86 = \underline{\underline{86\%}}$$

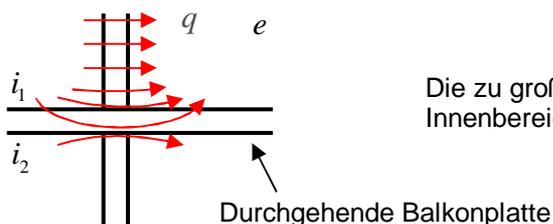
Erst bei 86% Luftfeuchtigkeit beginnt der Wasserdampf an der Oberfläche zu kondensieren.

Formel: $\vartheta_s = \varphi^{\frac{1}{8}} \cdot (110^\circ C + \vartheta_L) - 110^\circ C$

$$\varphi^{\frac{1}{8}} = \frac{\vartheta_s + 110^\circ C}{110^\circ C + \vartheta_L} \quad \varphi = \left(\frac{17,56^\circ C + 110^\circ C}{110^\circ C + 20^\circ C} \right)^8 \quad \varphi = 0,864 \hat{=} \underline{\underline{86\%}} \rightarrow \text{Schimmelpilz!}$$

Wärmebrücke

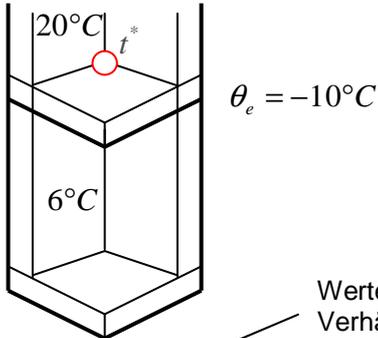
Eine der gefährlichsten Wärmebrücken ist die Stelle, an der der Balkon an die Hauswand trifft.



Die zu große Außenfläche wird nicht von dem zu kleinen Innenbereich mit Wärme versorgt

Beispiel:

Beispiel für diesen Aufbau wurde im Computer simuliert um Temperaturgewichtungsfaktoren g zu geben.



$t_{(\theta, \vartheta)}^* = g_e \cdot \theta_e + g_1 \cdot \theta_1 + g_2 \cdot \theta_2$

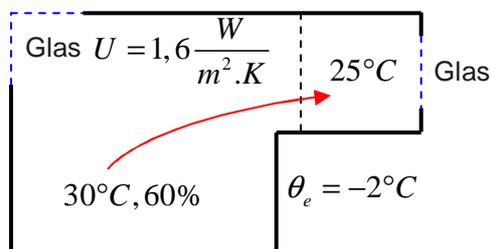
↙ Niedrigste Temperatur

Werte sind aus Tabelle und wurden für diese Verhältnisse berechnet

$t_{(\theta, \vartheta)}^* = 0,181665 \cdot (-10^\circ\text{C}) + 0,654229 \cdot 20^\circ\text{C} + 0,173106 \cdot 6^\circ\text{C} = \underline{\underline{12,31^\circ\text{C}}}$ (L_D in der Ecke)

Beispiel:

Feuchte warme Luft gelangt in kühlere Räume (z.B. Hallenbad)



$$\vartheta_s = 0,6^{\frac{1}{3}} \cdot (110^\circ\text{C} + 30^\circ\text{C}) - 110^\circ\text{C} = \underline{\underline{21,3^\circ\text{C}}}$$

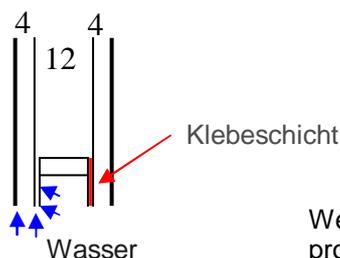
$$\theta_{Si(Halle)} = 30^\circ\text{C} - \frac{1,6}{6} \cdot 32 = \underline{\underline{21,47^\circ\text{C}}}$$

$$\theta_{Si(Garderobe)} = 25^\circ\text{C} - \frac{1,6}{6} \cdot 27 = \underline{\underline{17,8^\circ\text{C}}}$$

$\theta_{Si(Garderobe)} < \theta_{Si(Halle)}$ Es kommt mit Sicherheit zur Kondensation

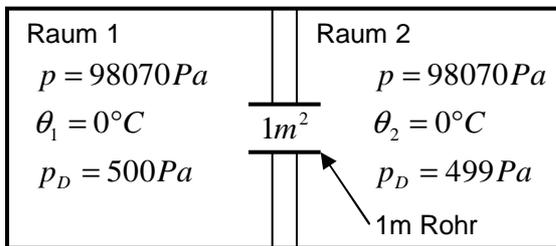
Beispiel:

Isolierglasscheibe mit kaputter Fuge zwischen Glas und Rahmen



Wenn Wasser über das Fensterbrett abrinnt ist es weniger problematisch, da es durch den Radiator unter dem Fenster schnell zur Austrocknung kommt.

Wasserdampfdiffusion in der Luft und an Bauteilen



$$\dot{m}_D = 0,655 \frac{mg}{h}$$

$$\theta_1 = \theta_2 = 20^\circ C$$

$$\theta_1 = \theta_2 = -10^\circ C$$

$$\rightarrow m_D = 0,697 \frac{mg}{h}$$

$$\rightarrow m_D = 0,637 \frac{mg}{h}$$

Fick'sches Gesetz:

$$\dot{m} = D_D \cdot \frac{\Delta_C}{\Delta_X}$$

$$\rightarrow \dot{m} = D_D \cdot \frac{\Delta_C}{\Delta_S}$$

Diffusionskonstante

$$\dot{m} = \frac{D_D}{R.T} \cdot \frac{\Delta_P}{\Delta_S}$$

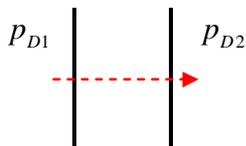
$$\frac{D_D}{R.T} = \delta \left[\frac{mg}{m.m^2.Pa} \right]$$

Mittelwert für $\delta = 0,67$

$$\dot{m} = 0,67 \cdot \frac{\Delta_P [Pa]}{\Delta_S [m]}$$

Ergebnis $\rightarrow \left[\frac{mg}{h.m^2} \right]$

Wasserdampfdiffusion in Baustoffen



Baustoff muss porös, hygroskopisch sein oder Kapillaren aufweisen

μ = Diffusionswiderstandsfaktor (Dimensionslos). Gibt an wie dick die Luftschicht sein muss, die dem jeweiligen Bauteil entspricht.

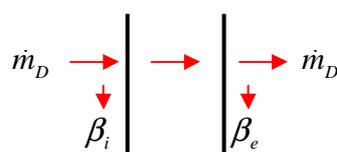
$\mu = 1$ Luft

$\mu > 1$ Baukörper

$s_d = \mu.d$ äquivalente Luftschichtdicke

$$\dot{m} = 0,67 \cdot \frac{p_{D1} - p_{D2} [Pa]}{\mu.d [m]}$$

Grenzschicht



$\beta =$ vernachlässigbar klein $\left(\frac{1}{\beta} = \frac{1}{100} \right)$

Auf dem ganzen Weg durch denn Baustoff entsteht kein Kondensat

μ Werte werden aus Baustoffkatalogen entnommen. (z.B. www.ziegel.at)

Ziegel $\mu = 6 - 10$

Putz $\mu = 12 - 15$

Bitumen $\mu = 1000$

Glas $\mu = 10^{-10}$

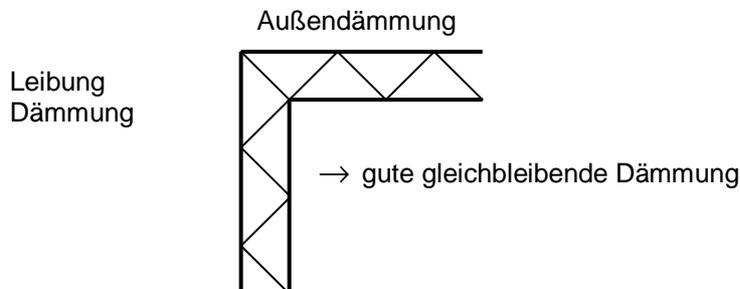
Metall $\mu = 10^{-10}$ (es diffundiert fast nichts durch, außer die Schicht ist extrem dünn)

Beispiel:

Ziegelwand 30cm

$$p_D = 1000 Pa \quad \left| \begin{array}{c} \mu = 6 \\ \hline \end{array} \right| \quad p_D = 500 Pa \quad \quad \dot{m} = 0,67 \cdot \frac{500 Pa}{6,0,3m} = \underline{\underline{186 \frac{mg}{h}}}$$

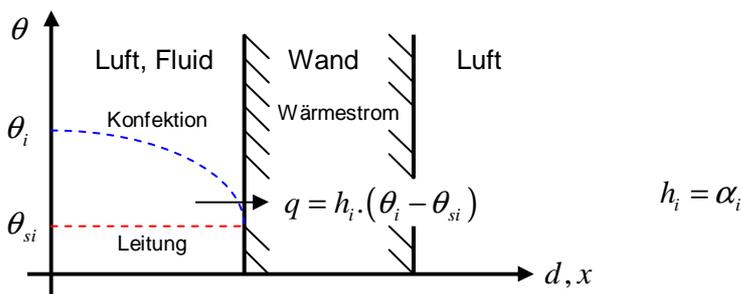
Wärmebrücken bei Fensteranschluss – Kondensation



Sobald man von der Innendämmung wegrückt, werden die Werte schlechter.

Neue Form für Norm

f_{Rsi} , ψ in Watt



Einfluss des Fensteranschlusses bei monolithischen Wänden auf die Oberflächentemperatur $\theta_{si,min}$ und den Längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ψ .

$$\theta_i = 20^\circ C$$

$$\theta_e = -10^\circ C$$

Wände: 365mm Dicke

$$R = 0,65 \frac{m^2 \cdot K}{W} \text{ und } 1,15 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

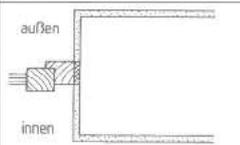
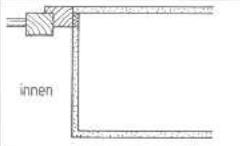
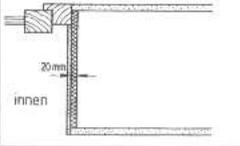
Bild	Fensteranschluß	R in $m^2 \cdot K/W$	$\theta_{si,min}$ in $^\circ C$	f_{Rsi} -	ψ in $W/(m \cdot K)$
A	außen 	0,56	10,6	0,69	0,17
		1,15	13,6	0,79	0,13
B	außen innen 	0,56	11,0	0,70	0,12
		1,15	13,0	0,77	0,07
C	innen 	0,56	7,7	0,56	0,29
		1,15	9,8	0,66	0,21
D	innen 20mm 	0,56	11,6	0,72	0,14
		1,15	12,1	0,74	-

Einfluss auf die Oberflächentemperatur $\theta_{si,min}$ und den Längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ψ bei Außenwänden mit zusätzlicher Außen- oder Innendämmung.

$$\theta_i = 20^\circ\text{C}$$

$$\theta_e = -10^\circ\text{C}$$

Mauerwerk: $R = 0,34 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$

Bild	Fensteranschluß	R in $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$	$\theta_{si,min}$ in $^\circ\text{C}$	f_{Rsi} -	ψ in $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
A	 außen	0,56	10,6	0,69	0,17
		1,15	13,6	0,79	0,13
B	 außen innen	0,56	11,0	0,70	0,12
		1,15	13,0	0,77	0,07
C	 innen	0,56	7,7	0,56	0,29
		1,15	9,8	0,66	0,21
D	 innen 20mm	0,56	11,6	0,72	0,14
		1,15	12,1	0,74	-

Wärmeübergangskoeffizient

$$h_i = 8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

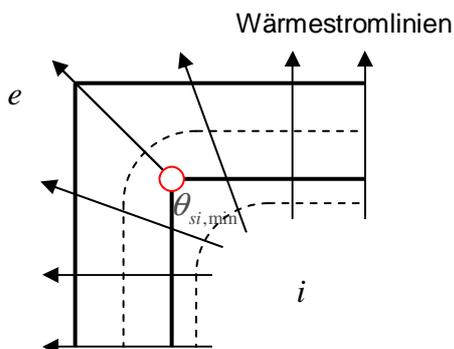
$$R_i = \frac{1}{h_i} = 0,13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Reduzierter Faktor $6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$

$$R_i = 0,17 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$h_e = 25 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$R_e = 0,04 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$



Linien gleichen Temperatur, sie stehen zu den Wärmestromlinien im rechten Winkel.

$$\theta_{si,min} = \text{Minimaltemperatur}$$

siehe auch: t_K^* Gewichtungsfaktor

Temperaturfaktor: f_s

$$f_s = \frac{\theta_i - \theta_{si}}{\theta_i - \theta_e} = \frac{U}{h_i} = \frac{R_{si}}{R_T} \quad U = \frac{1}{R_T} \quad h_i = \frac{1}{R_{si}}$$

U-Wert der Wand

Faktor liegt zwischen 0 und 1.

$$f_{s,\min} = \frac{\theta_i - \theta_{si,\min}}{\theta_i - \theta_e} = \frac{U_{WBR}}{h_i}$$

$$\theta_{si,\min} = \theta_i + f_{s,\min} \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

Muss bekannt sein

$$f_{R,\min} = \frac{\theta_{si,\min} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

$$\theta_{si,\min} = \theta_e + f_{R,\min} \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

Beispiel:

$$f_{R,\min} = 0,84, \theta_i = 20^\circ\text{C}, \theta_e = -10^\circ\text{C}, U = 0,72$$

$$\theta_{si,\min} = \theta_e + f_{R,\min} \cdot (\theta_i - \theta_e) = -10^\circ\text{C} + 0,84 \cdot (20 - (-10)) = \underline{\underline{15,2^\circ\text{C}}}$$

Bei $f_{R,\min} \geq 0,7$ treten unter Normbedingungen keine Wärmebrücken mit Kondensation auf.

Norm-Klima:

Außen: Bei $-10^\circ\text{C}, 80\%$, bis -15°C in anderen Klimazonen

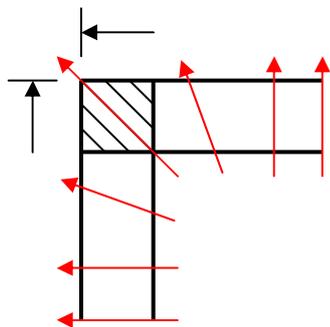
Innen: 20°C , bei 0°C Außentemperatur 65%, für jedes weitere Minusgrad Außen 1% weg
Bei $-10^\circ\text{C}, 55\%$ und $-15^\circ\text{C}, 50\%$

$$f_{R,si} + f_s = 1,00 \quad \text{nach DIN 4108}$$

$$g_e + g_1 + g_3 = 1,00 \quad \text{nach Ö-Norm B8110/2}$$

Temperaturgewichtungsfaktoren
(genauere Angabe, besseres Verfahren)

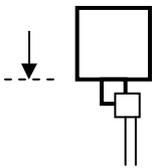
$\psi [P_{si}]$:



$$L = U \cdot A$$

$L = \text{Leitwert}$

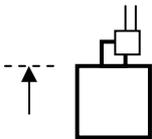
gestreifter Bereich ist doppelt



$$(\Phi)Q = L \cdot \Delta\theta \quad L = \sum L_i \quad (L_{\text{Wand}}, L_{\text{Fenster}} \dots)$$

$$Q = L \cdot \Delta\theta \neq Q^*$$

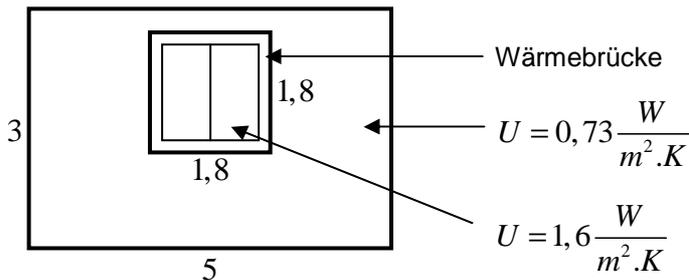
Berechneter Wert



Im Wärmebrücke $\psi \left[\frac{W}{K \cdot m} \right]$

$$Q_{\text{TATS}} = \underbrace{\left(\sum L_i \right)}_{L_{\text{Total}}} + \underbrace{l \cdot \psi}_{L_{\psi}} \cdot \Delta\theta$$

Beispiel:



Fenster: $A = \underline{\underline{3,24m^2}}$

Wand: $A = 15 - 3,24 = \underline{\underline{11,76m^2}}$

$$L = 1,6 \cdot 3,24 = 5,18 \frac{W}{K}$$

$$L = 0,73 \cdot 11,76 = 8,47 \frac{W}{K}$$

Wärmebrücke:

$$\psi = 0,1 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad l = 4 \cdot 1,8 = \underline{\underline{7,2m}}$$

$$L_{\psi} = 7,2 \cdot 0,1 = \underline{\underline{0,72 \frac{W}{K}}}$$

$$L_T = 8,47 + 5,18 + 0,72 = \underline{\underline{14,37 \frac{W}{K}}}$$

Beispiel:

Ziegelwand

Putz	Hochlochziegel	Putz
Gips	$\rho = 800 \frac{kg}{m^3}$	Thermoputz
$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,24$	$\lambda = 0,08$
$\mu = 10$	$\mu = 5-10$	$\mu = 5-20$
$d = 2cm$	$d = 38cm$	$d = 4cm$

$$S_{d1} = 0,02 \cdot 10 = \underline{\underline{0,20}}$$

$$S_{d2} = 0,38 \cdot 8 = \underline{\underline{3,04}}$$

$$S_{d3} = 0,04 \cdot 20 = \underline{\underline{0,80}}$$

$$\sum_{j=1}^n \mu_j \cdot d_j = 0,20 + 3,04 + 0,8 = \underline{\underline{4,04m}}$$

$$R_1 = \frac{d}{\lambda} = 0,029 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$R_2 = \frac{d}{\lambda} = 1,583 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$R_3 = \frac{d}{\lambda} = 0,500 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$R_i = 0,13 \quad R_e = 0,04$$

$$U = \frac{1}{0,13 + 0,029 + 1,583 + 0,5 + 0,04} = \underline{\underline{0,438}} \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Glaser Diagramm

Untersucht ob die eintretende Wassermenge gleich groß ist wie die austretende.



$$\dot{m}_{ein} = \dot{m}_{aus} \quad \text{Kein Kondensat}$$

$$\dot{m}_{ein} > \dot{m}_{aus} \quad \text{Kondensat}$$

Das Tauwasser \dot{m}_T (Kondensat \dot{m}_K) ergibt sich aus der Differenz von \dot{m}_{ein} und \dot{m}_{aus} . Das Kondensat ist also abhängig von \dot{m}_{ein} , \dot{m}_{aus} und dem Ort im Bauteil.

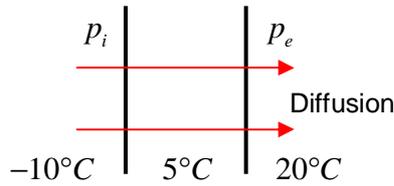
Wärmebrückenkatalog

Aus dem Wärmebrückenkatalog ablesbar:

- Temperaturverlauf
- Minimale Temperatur, wo und wie groß
- Zusätzliche Wärmeverluste

Diffusion

Druckdifferenz zwischen Innen und Außen

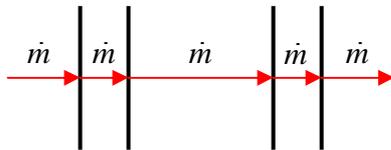


Der Massestau hängt von der Temperatur ab

$$\dot{m}_D (\dot{m}) = 0,665 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{Pa} \cdot \text{m}} \cdot \frac{\Delta p}{\mu \cdot \text{s}}$$

$\mu \cdot s = s_d$ äquivalente Luftschichtdichte

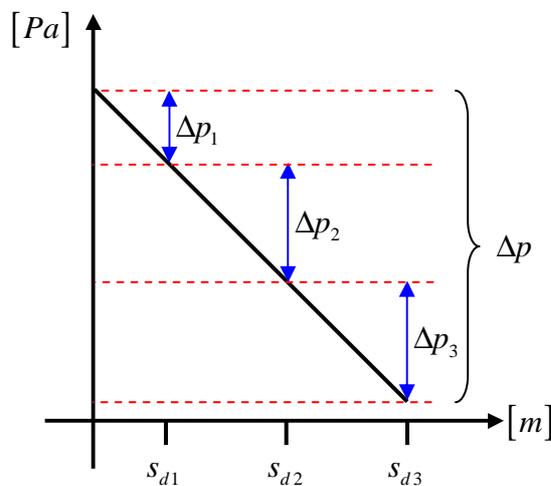
Diffusion in zusammengesetzten Bauteilen



$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$ Die Masseströme verändern sich nicht bzw. bleiben gleich, wenn dazwischen nichts passiert.

Partialdruckdifferenz

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \frac{\Delta p_1}{1,5 \cdot 10^6 \cdot s_{d1}} = \frac{\Delta p_2}{1,5 \cdot 10^6 \cdot s_{d2}} \quad \Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \dots \quad s_{dGes} = s_{d1} + s_{d2} + \dots$$



Lineares Verhältnis von Δp und s_d .

$$\frac{\Delta p_j}{s_{dj}} = \text{const.}$$

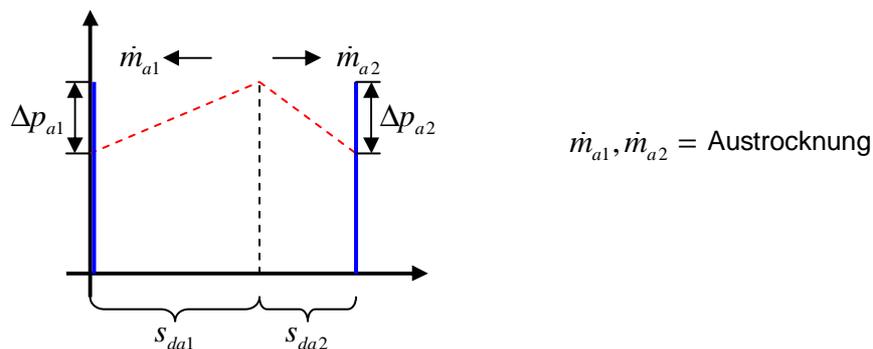
$$\dot{m} = \frac{\Delta \theta}{\frac{1}{\beta_i} + \frac{1}{\delta} \cdot \sum_j \mu_j \cdot s_j + \frac{1}{\beta_e}}$$

↑ Vernachlässigbar klein

$$q = \frac{\Delta \theta}{\frac{1}{h_i} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} + \frac{1}{h_e}}$$

Mit dem Glaser Verfahren funktionierende Konstruktion, funktionieren auch nach heutigen Bedingungen. Allerdings geht man heute nicht mehr von 60 Tagen unter gleichen Bedingungen aus, sondern nimmt ein schlechteres Jahr als Referenz und rechnet per Computer Stunde für Stunde aus.

Austrocknung im Sommer



Es gibt nach beiden Seiten ein Druckgefälle sowie eine Austrocknung.

Randbedingungen:

Innen: 12°C , 70%

Wand: 12°C , 100%

Außen: 12°C , 70%

90 Tage Zeit (2160h)

$$\dot{m}_A = \dot{m}_{a1} + \dot{m}_{a2}$$

Vergleich zwischen \dot{m}_K im Winter und \dot{m}_A im Sommer.

$$\dot{m}_K = \dot{m}_A$$

Nach neuen Bedingungen sollte $\dot{m}_K < \dot{m}_A$ sein. Faktor 1,5: $\dot{m}_K \cdot 1,5 = \dot{m}_A$

Das Glaser Verfahren berücksichtigt nicht, dass sich die Baustoffeigenschaften mit zunehmender Feuchtigkeit verändern. (z.B. die Wärmeeigenschaften verschlechtern sich)

Beispiel:

Selbes Beispiel wie aus Vorlesung 7, Putz – Hochlochziegel – Putz. Der Ziegel wurde in Schichten zu 9,5cm zerlegt, da er sonst im Glaser Diagramm nicht erkennbar ist.

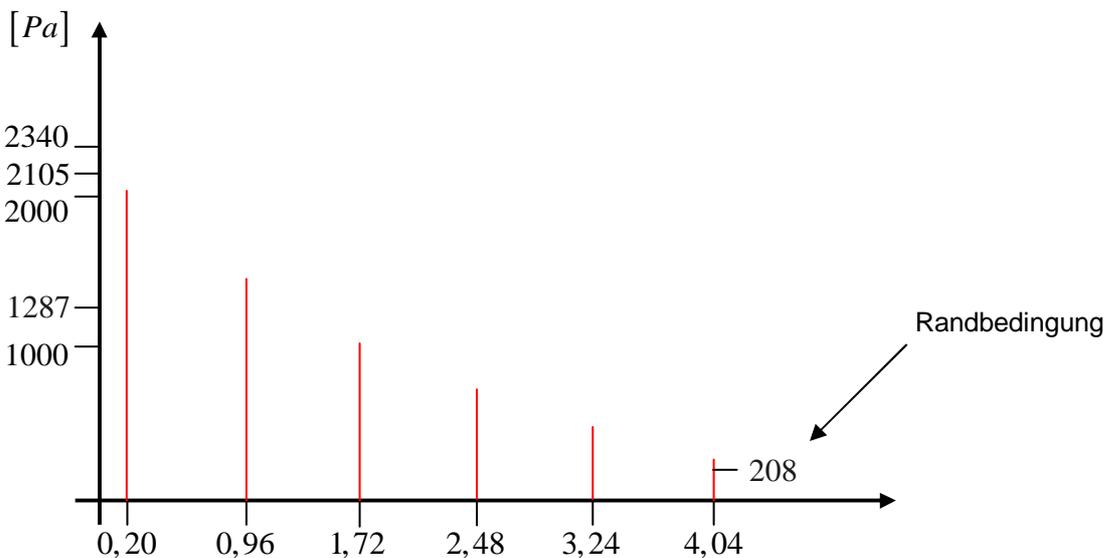
$R = 0,396$ pro Schicht, $s_d = \mu \cdot d = 0,76$ pro Schicht

Bauteil:											Abteilung Bauphysik und Humanökologie Leiter: Univ.Prof. Dr. A. Mahdavi			
Projekt:														
Bauteilskizze	Schichtaufbau /Baustoff	Schichtdicke d [m]	Wärmeleitfähigkeit λ [W/m·K]	Wärmeübergangskoeffizient h [W/m²·K]	Wärmedurchlass- bzw. -übergangswiderstand [m²·K/W]	Temperaturdifferenz ΔT [K]	Temperatur [°C]	Sättigungsdruck P _s [Pa]	Dampfdruck p [Pa]	Diffusionsäquivalentfaktor μ [h]	μ · d [m]			
	Innen						20	2340	1287					
	Putz	0,020		0,029	0,380	18,29	2105			10	0,20			
	Ziegel	0,095		0,396	0,520	17,91	2052			8	0,76			
	Ziegel	0,095		0,396	0,520	12,71	1470			8	0,76			
	Ziegel	0,095		0,396	0,520	7,510	1038			8	0,76			
	Ziegel	0,095		0,396	0,520	2,310	721			8	0,76			
	Putz	0,040		0,500	6,570	-2,89	480			8	0,76			
						-9,46	272			20	0,80			
	Aussen					0,400	0,530	-10	260	208				
				ΣR=								4,04		
				U=										

$q = U \cdot \Delta\theta = 0,438 \cdot 30 = 13,14 \frac{W}{m^2}$

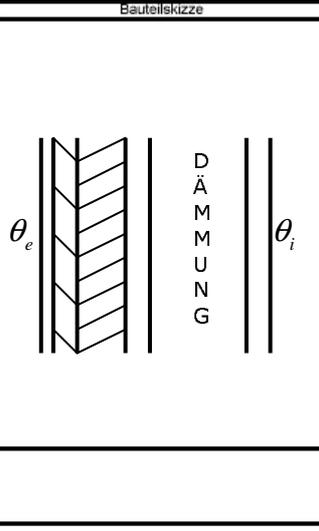
Tatsächlich auftretender Sättigungsdruck bei Außen/Innen Bedingungen

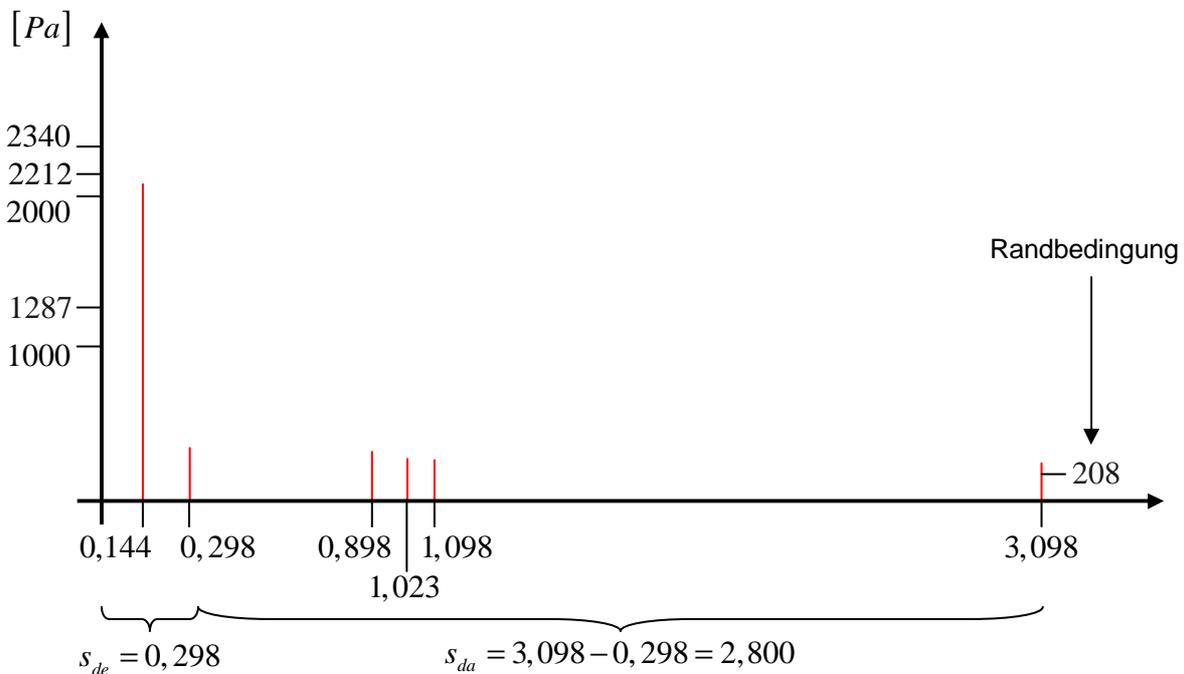
Keine Kondensation bei 20°C(55%) und -10°C(80%)



Linien schneiden sich nicht, es gibt daher keine Kondensation. (nach Glaser)

Beispiel:

Bauteil:		Abteilung Bauphysik und Humanökologie Leiter: Univ.Prof. Dr. A. Mahdavi										
Projekt:												
Bauteilskizze												
	Schichtaufbau / Baustoff	Schichtdicke d [m]	Wärmeleitfähigkeit λ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]	Wärmedurchgangskoeffizient h [$\text{W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$]	Wärmedurchlass- bzw. -übergangswiderstand [$\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$]	Temperaturerlösnz $\Delta \theta$ [K]	Temperatur [°C]	Sättigungsdampfdruck p_s [Pa]	Dampfdruck p [Pa]	Diffusionsäquivalentfaktor μ [-]	$\mu \cdot d$ [m]	
	Innen				0,130	0,960	θ_i 20	2340				
	Gipskartonplatte	0,018	0,230	0,078	0,570		19,04	2212			8	0,144
	Dämmstoff	0,140	0,040	3,500	25,73		18,47	2132			1,1	0,154
	Spannplatte	0,012	0,120	0,100	0,740		-7,26	350			50	0,600
	Leichtbauplatte	0,025	0,110	0,227	1,670		-8,00	327			5	0,125
	Spachtel + Glas	0,003	0,700	0,004	0,030		-9,67	284			25	0,075
	Kunstharzputz	0,004	0,700	0,005	0,040		-9,70	276			50	2
	Aussen					0,040	0,290	θ_e -10	260			
			$\Sigma R = 4,080$									
			$U = 0,245$									
											3,098	



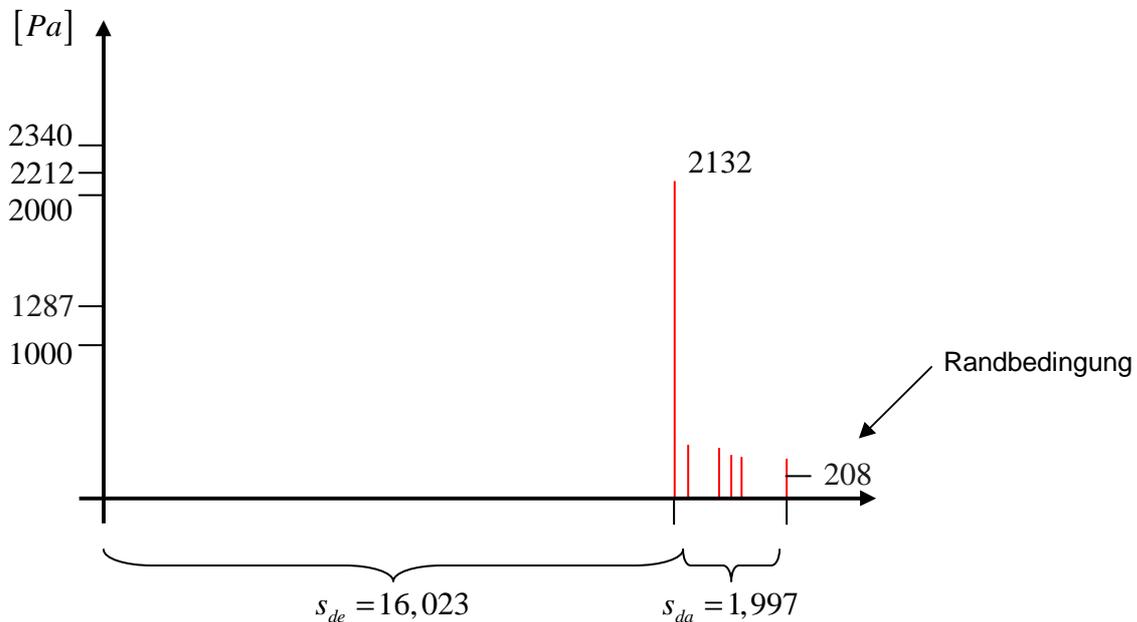
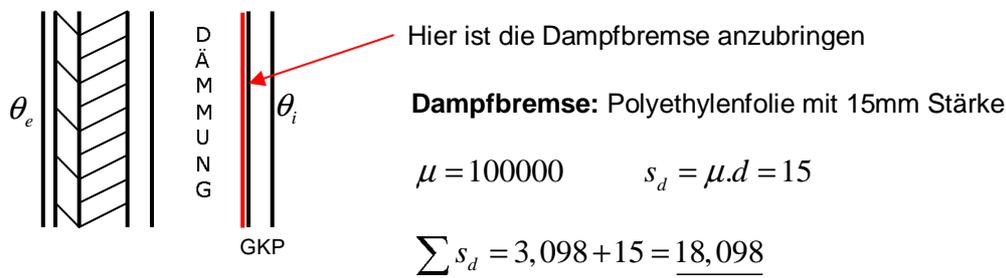
Im Schnittpunkt der Tangenten entsteht nach dem Glaser Verfahren Kondensat.

Tauperiode= 1440 Stunden

$$\dot{m}_T = \dot{m}_e - \dot{m}_a \quad \dot{m}_T = \frac{\Delta p_e}{1,5 \cdot 10^6 \cdot s_{de}} - \frac{\Delta p_a}{1,5 \cdot 10^6 \cdot s_{da}} = \frac{1287 - 350}{1,5 \cdot 10^6 \cdot 0,298} - \frac{350 - 208}{1,5 \cdot 10^6 \cdot 2,80} = \underline{\underline{0,00206 \text{ kg/h}}}$$

Periode $1440h \cdot 0,00206 \text{ kg/h} = \underline{\underline{2,970kg}}$

In der gesamten Saison kommen also auf $1m^2$ ungefähr 3 Liter Wasser. Durch die Schwerkraft rinnt am Ende der Periode das Wasser unter den Bauteil und verursacht somit einen Bauschaden. Um das Eintreten des Wassers zu verhindern, muss eine Dampfsperre bzw. Dampfbremse angebracht werden.



$$\dot{m}_T = 0,000016 \text{ kg/h}$$

Periode $1440h \cdot 0,000016 \text{ kg/h} = 0,023kg = \underline{\underline{23g}}$

In der gesamten Saison kommen auf $1m^2$ ungefähr 23ml Liter Wasser. Es entstehen keine Probleme, diese Menge aufzunehmen.

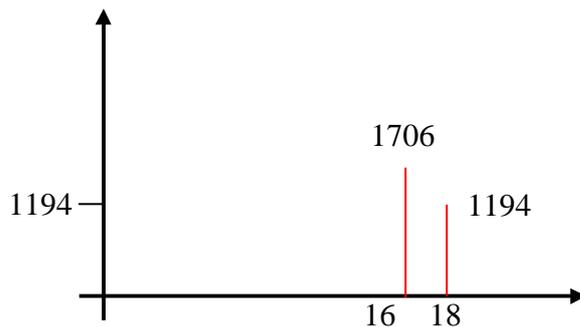
Austrocknung

Randbedingungen:

Innenseite 15°C , 70%

Außenseite 15°C , 70%

Kondensationsbereich 15°C , 100% , $P_s = 1706\text{Pa}$



Es gibt eine Austrocknung nach beiden Seiten. (Die zeit für die Austrocknung beträgt 2160 Stunden)

$$\dot{m}_A = \frac{1706 - 1194}{1,5 \cdot 10^6 \cdot 16} - \frac{1706 - 1194}{1,5 \cdot 10^6 \cdot 2} = \underline{\underline{0,000192 \text{ kg/h}}}$$

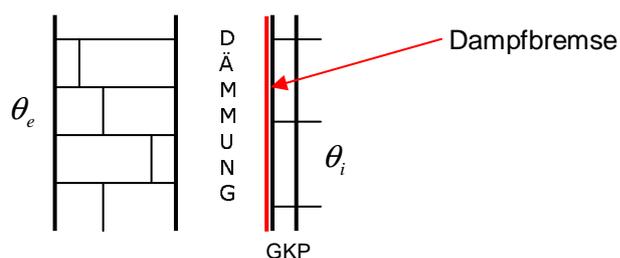
$$\text{Periode } 2160\text{h} \cdot 0,000192 \text{ kg/h} = \underline{\underline{0,415 \text{ kg/m}^2}}$$

Es ergibt sich die 17-fache Menge gegenüber $\dot{m}_T = 0,023 \text{ kg/m}^2$ und kann daher austrocknen.

Dampfbremse

- Die Dampfbremse ist immer an der warmen Seite vor der Wärmedämmung anzubringen.
- \dot{m} kleiner
- kein Schnittpunkt

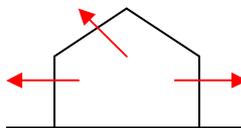
Innendämmung bei einer Ziegelwand



Beim Befestigen ist darauf zu achten, dass die Dampfbremse nicht verletzt wird.

Transmission

Von innen nach außen



Lüftung

In Mitteleuropa wird hauptsächlich über Fenster gelüftet, es gibt aber auch Schachtlüftungen.

Strahlung

Händische Berechnungen sind sehr aufwendig

Luftwechselrate

$$m^3 \cdot h^{-1}$$

Luftwechselzahl

Gibt an wie oft das gesamte Luftvolumen in einer Stunde durch frische Luft ersetzt wird. Die Qualität der Außenluft ist in der Stadt trotz Belastung besser als die Innenluft. Lüftung bezieht sich immer auf die Luft von außen.

Fenster nach Dichtheit eingeteilt:

Bei 100 Pa Druckunterschied	$m^3 \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}$
1	50
2	27
3	9
4	3

Konzentration CO_2 : $\sim 450 \text{ ppm} - 800 \text{ ppm}$

Pro Person ist ein Lüftungsrate von $20 - 60 m^3 \cdot h^{-1}$ empfohlen. Der Grund für eine Lüftung ist der CO_2 Gehalt und der Wasserdampf.

Wasserdampfabgaben

- Mensch: $30 - 300 \frac{g}{h}$
- Bad: $700 - 2600 \frac{g}{h}$
- Kirche: $100 \frac{g}{h}$
- Topfpflanze: $7 - 20 \frac{g}{h}$

Es ist daher die Oberflächenbeschaffenheit wichtig und es sollte eine gute Wärmedämmung vorhanden sein damit die Oberflächen nicht zu kalt sind, da es sonst zur Kondensation kommt die wiederum zu Schimmelbildung führt.

Kalte Luft kann weniger Feuchte aufnehmen als warme Luft, Topfpflanzen tragen nicht wirklich viel zur Luftfeuchtigkeit bei.

Lüftungswärmeverlust

$$\dot{Q} = \dot{V} \cdot c_p \cdot \rho_L \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad [J.h^{-1}]$$

\uparrow \uparrow \uparrow \uparrow
 $m^3.h^{-1}$ $J.kg^{-1}.K^{-1}$ $kg.m^{-3}$ K

$$\dot{V} = n \cdot V_R \quad c_p = 1005 J.kg^{-1}.K^{-1} \quad \rho_L = 1,2 kg.m^{-3}$$

\swarrow \nwarrow
 Raumwechselzahl Raumvolumen

$$\dot{Q} = 0,34.n.V_R.(\theta_i - \theta_e) \quad [W]$$

Beispiel:

Wieviel Leistung muss eingesetzt werden, um Lüftungswärmeverluste zu kompensieren?

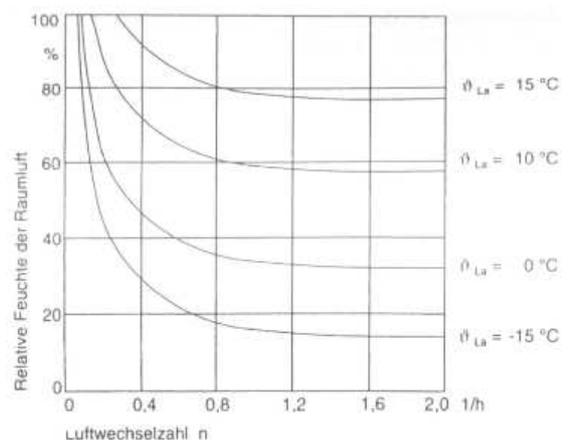
$$V_R = 50m^3, \quad n = 0,8h^{-1}, \quad \theta_i = 20^\circ C, \quad \theta_e = 0^\circ C$$

$$\dot{Q} = 0,34.n.V_R.(\theta_i - \theta_e) = 0,34.0,8h^{-1}.50m^3.20 = \underline{\underline{\sim 272W}}$$

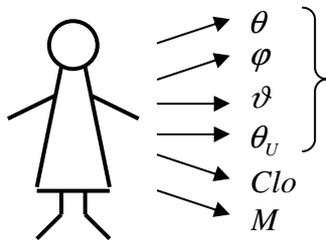
Wenn die Innen und Außentemperatur gleich sind, ist keine Heizleistung erforderlich. Trotzdem gibt es innere Wärmequellen wie den Menschen, Glühbirnen usw.

Relative Luftfeuchtigkeit die sich in einem auf 20°C beheizten Raum mit einem Volumen von 75m³ bei einem Wasserdampfanfall von 80g je Stunde einstellt, abhängig von der Luftwechselzahl n bei verschiedenen Außentemperaturen.

30-70% Luftfeuchtigkeit wäre wünschenswert.



Komfort

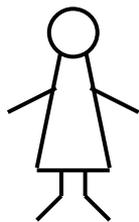


Das Zusammenspiel dieser 4 äußeren Faktoren entscheidet über den Komfort.

Clo = Bekleidung

M = metabolische Rate (Aktivität)

Beispiel:



E_{Dry} $\theta_{ex} = 30^{\circ}C$

E_l $\theta_{ins} = 20^{\circ}C$

$$E_{Dry} = \dot{V} \cdot (\theta_{ex} - \theta_{ins}) \cdot c_p \quad E_{Dry} = \frac{1.1,2}{1000} \cdot (30 - 20) \cdot 1005 = \underline{\underline{\sim 12W}}$$

$$E_l = \dot{V} \cdot (W_{ex} - W_{ins}) \cdot L \quad E_l = \frac{1.2}{1000} \cdot (0,025 - 0,007) \cdot 2,26 \cdot 10^6 = \underline{\underline{\sim 49W}}$$

Aus Tabelle ablesbar

Beispiel:

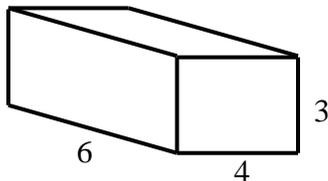
$\theta_{Cl} = 25^{\circ}C$, $\theta_U = 19^{\circ}C$, $R = ?$

$$R = A_{eff} \cdot \sigma \cdot \epsilon \cdot \left[(\theta_{Cl} + 273)^4 - (\theta_U + 273)^4 \right] \quad A_{eff} = A_{DU} \cdot f_{Cl} \cdot f_{eff} = 1,8 \cdot 1,1 \cdot 0,7 = \underline{\underline{\sim 1,4m^2}}$$

$$R = 1,45 \cdot 67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,95 \cdot \left[(2,5 + 273)^4 - (19 + 273)^4 \right] = \underline{\underline{\sim 46W}} \text{ (Strahlungswärmeverlust)}$$

Beispiel:

$\theta_U = ? , \theta_{OP} = ?$



$\theta_{S,Boden} = \theta_{S,Decke} = \theta_L = 20^\circ C$
 $\theta_{S,AW} = 17^\circ C$ (Außenwand)
 $\theta_{S,IW} = 20^\circ C$ (Innenwand)
 $\theta_{S,F} = 12^\circ C$ (Fenster)

$$\theta_U = \frac{\sum \theta_{si} \cdot A_i}{\sum A_i}$$

$A_{Boden} = A_{Decke} = 24m^2$

$A_{IW} = 10 \cdot 3 = 30m^2$

$A_{AW} = 30 - 30 \cdot 0,4 = 30 - 12 = 18m^2$

$$\theta_U = \frac{24 \cdot 20 + 24 \cdot 20 + 30 \cdot 20 + 18 \cdot 17 + 12 \cdot 12}{24 + 24 + 30 + 18 + 12} = \underline{\underline{\sim 18,5^\circ C}}$$

$$\theta_{OP} = \frac{\theta_L + \theta_U}{2} = \frac{20 + 18,5}{2} = \underline{\underline{\sim 19,25^\circ C}}$$

Bauteil:		Abteilung Bauphysik und Humanökologie Leiter: Univ.Prof. Dr. A. Mahdavi
Projekt:		

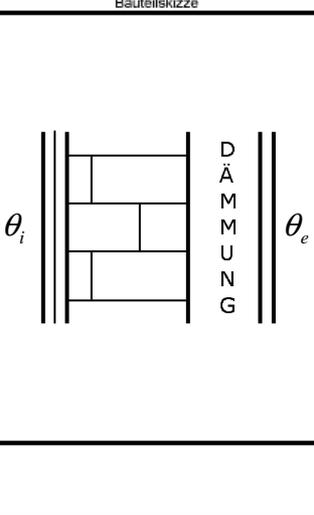
Bauteilskizze		Schichtdicke d [m]	Wärmeleitfähigkeit λ [W/m ² .K]	Wärmedurchgangskoeffizient U [W/m ² .K]	Wärmedurchlass- bzw. -übergangswiderstand [m ² .K/W]	Temperaturdifferenz $\Delta\theta$ [K]	Temperatur [°C]	Steigungsdruck P _s [Pa]	Dampfdruck p [Pa]	Diffusionsäquivalentfaktor μ [-]	$\mu \cdot d$ [m]
	Innen				R_{si}	2,66	θ_i 20				
	Innenputz	0,015	0,7	0,021	0,44		17,34				
	Porenbeton	0,3	0,24	1,25	25,61		16,90				
	Außenputz	0,02	0,87	0,023	0,47		8,71				
	Aussen					R_{se}	0,82	θ_e -10			
		$\Sigma R = 1,464$		$U = 0,683$		$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$					

$U = \frac{1}{R_T} \quad q = U \cdot (\theta_i - \theta_e) = \underline{\underline{20,49W \cdot m^{-2}}} \quad \Delta\theta = q \cdot R$

U-Wert

U-Wert: $W.m^{-2}.K^{-1}$ $\left[J.s^{-1}.m^{-2}.K^{-1} \right]$

Beispiel:

Bauteil		Abteilung Bauphysik und Humanökologie Leiter: Univ.Prof. Dr. A. Mahdavi													
Projekt:															
Bauteilskizze															
	Schichtaufbau /Baustoff	Schichtdicke d [m]	Wärmeleitfähigkeit λ [W/m·K]	Wärmeübergangskoeffizient h [W/m²·K]	Wärmedurchlass- bzw.-übergangswiderstand [m²·K/W]	Temperaturdifferenz ΔT [K]	Temperatur [°C]	Sättigungsdampfdruck p _s [Pa]	Dampfdruck p [Pa]	Diffusionsäquivalentfaktor μ [1]	μ d [m]				
	Innen				0,13	1,94	θ _i 20								
	GKP	0,02	0,43	0,047	0,7		18,06								
	Luftschicht	0,02		0,17	2,54		17,36								
	Ziegel	0,25	0,72	0,347	5,18		14,82								
	Dämmung	0,05	0,04	1,25	18,68		9,64								
	Außenputz	0,02	0,81	0,025	0,37		9,04								
							9,41								
	Aussen				0,04	0,6		θ _e -10							
				ΣR=	2,009										
				U=	0,498							$W.m^{-2}.K^{-1}$			

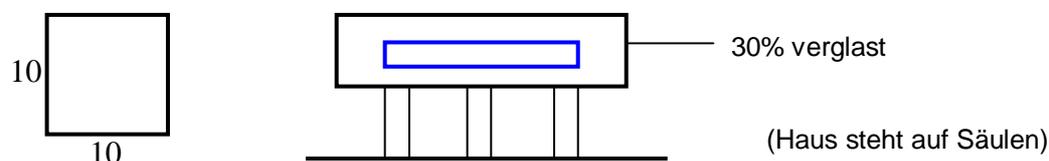
$U = \frac{1}{R_T}$ $q = U \cdot (\theta_i - \theta_e) = \underline{\underline{14,94 W.m^{-2}}}$

Anforderungen, Bauformen, Normen

2. Arten:

- **Prescriptive** (Vorschriftmäßig), Bauordnung, Normen
- **Performance – Based** (definiert nur die Leistung, wie der Architekt diese Leistung erreicht ist egal). Ermöglicht auch unkonventionelle Lösungen allerdings muss man sich mehr damit beschäftigen.

Beispiel, Haus auf Säulen:



- Transmissionsverluste (immer zwischen 2. Räumen mit Temperaturunterschied)
- Lüftungsrate

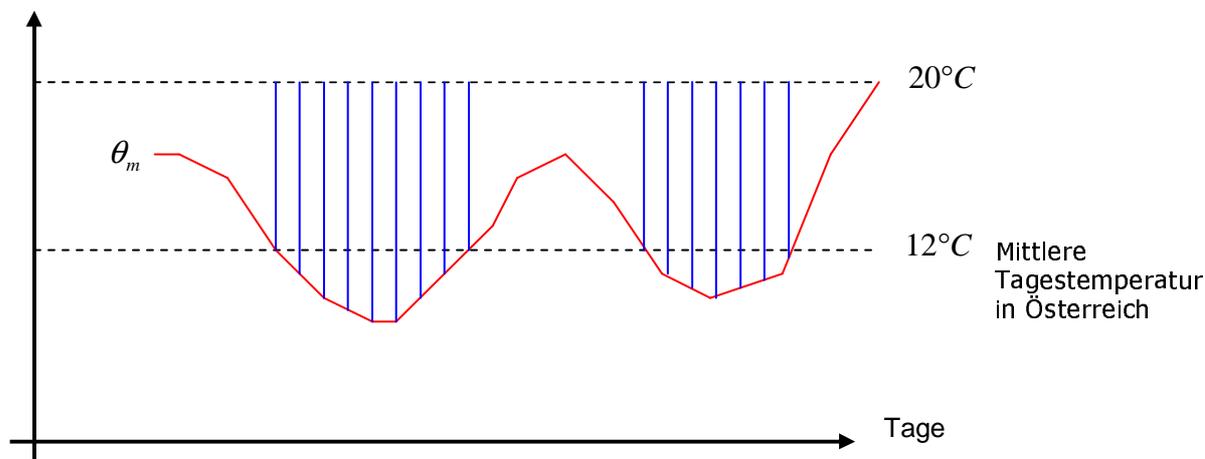
$$L_T \text{ (Lüftungstransmission) } [W.K^{-1}]$$

$$L_V \text{ (Lüftungsventilation) } [W.K^{-1}]$$

$$q_a \text{ (gesamte jährliche Verluste in einem Haus) } \quad q_a = (L_T + L_V) \cdot HGT \cdot 0,024 kWh$$

HGT (~ Art Temperaturdifferenz)

Jahresheizgradtagzahl – beschreibt Umgebungsklima von einem Gebäude, das Klima gibt dem Bedarf erst einen Rahmen (es gibt eigene Kataloge für jede Stadt)



Interne Wärmequellen werden durch Beleuchtung, Menschen und Maschinen freigesetzt. (Auf tretende Wärme – nicht durch Heizung)

Wenn in Österreich die mittlere Temperatur an einem Tag unter 12°C sinkt, ist ein Heiztag. 3235 Kd. (Kelvintage) in Wien auf der hohen Warte. Dieser Wert ergibt sich aus dem Diagramm wobei θ_m als Mittel einiger Jahre angenommen wird.

$$K_d \sum_{i=1}^n (\theta_i - \theta_{m,e}) \dots < \theta_{m,e} < 12^\circ\text{C} >$$

$$q_{\max} = (L_T + L_V) \cdot (\theta_i - \theta_{e,\min})$$

$W \cdot K^{-1}$ K $W \rightarrow$ Wien – Bemessungstemperatur -12°C

$$L_T = \sum U_i \cdot A_i \quad \leftarrow \begin{array}{l} \text{Flächen von Bauteilen} \\ \text{U-Werte von Bauteilen} \end{array} \quad W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1} \cdot m^2 \quad [W \cdot K^{-1}]$$

Geht von ebenen Flächen aus, bei denen die Wärme senkrecht von Innen nach Außen auf die Bauteile trifft. (ist in der Realität nicht so)



$$L_V = 0,34 \cdot n_L \cdot V_R = [WK] \text{ Ergebnis}$$

Bauteil	U ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)	A (m^2)	L ($W \cdot K^{-1}$)
Außenwände (160,0,7)	0,3	112	33,6
Obere Decke	0,2	100	20
Boden	0,5	100	50
Fenster (160,0,3)	1,2	48	57,6

Wärmeverluste $L_T = 161,2 W \cdot K^{-1}$

Die Fenster schneiden so schlecht ab, da die solare Strahlung von außen nicht berücksichtigt wird – Überwärmungsgefahr bei großen Fensterflächen

$$L_V = 0,34 \cdot n_L \cdot V_R \sim 0,7 h^{-1}$$

$$V_R \cong 0,75 \cdot V_B$$

$$L_V = 0,34 \cdot 0,7 \cdot 400 \cdot 0,75 = 71,4 W \cdot K^{-1}$$

$$q_a = (161,2 + 71,4) \cdot 3235 \cdot 0,024 = 18059 kWh \cdot a^{-1}$$

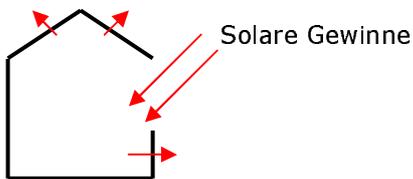
$$HWB_{BGF} = 18059 / 100 = 180,6 kWh \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$$

$$q_{\max} = (161,2 + 74,4) \cdot (20 - (-12)) \cong 7443 W \cong 7,5 kW$$

Pro Jahr

Ist die Leistung um ein Haus im Winter auf gewünschter Temperatur laufen zu lassen

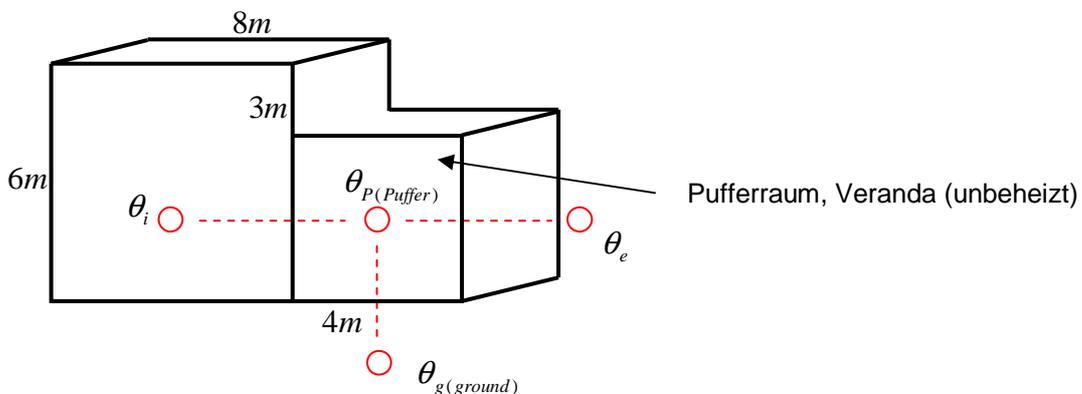
Mit dem Programm Casanova kann man damit schnell und einfach Situationen simulieren.



Bilanzierung

Wenn eine bestimmte Temperatur aufrechterhalten werden soll, muss der Gewinn sowie der Verlust von Wärme gleich groß sein.

Beispiel, Haus mit Veranda:



$$\theta_i = 20^\circ\text{C}$$

$$\theta_e = 0^\circ\text{C}$$

$$\theta_g = 5^\circ\text{C}$$

$$\text{Luftwechszelzahl Veranda } n_L = 0,3\text{h}^{-1}$$

$$U_{p-i} = 3$$

$$U_{p-g} = 0,5$$

$$U_{p-e} = 2\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$$

Welche Temperatur herrscht im Pufferraum:

$$L_{p-i} = U_{p-i} \cdot A_{p-i} = 3 \cdot 24 = \underline{\underline{72\text{W}\cdot\text{K}^{-1}}} \quad (\text{L= Leitwert})$$

$$L_{p-g} = U_{p-g} \cdot A_{p-g} = 0,5 \cdot 32 = \underline{\underline{16\text{W}\cdot\text{K}^{-1}}}$$

$$L_{p-e} = U_{p-e} \cdot A_{p-e} = 2 \cdot (16 \cdot 3 + 32) = \underline{\underline{160\text{W}\cdot\text{K}^{-1}}}$$

$$L_v = 0,34 \cdot 0,3 \cdot 32 \cdot 3 \cong \underline{\underline{9,8\text{W}\cdot\text{K}^{-1}}}$$

Summe der eingreifenden und abgebenden Energie muss gleich 0 sein.

$$L_{p-i} \cdot (\theta_p - \theta_i) + L_{p-g} \cdot (\theta_p - \theta_g) + L_v \cdot (\theta_p - \theta_e) = 0$$

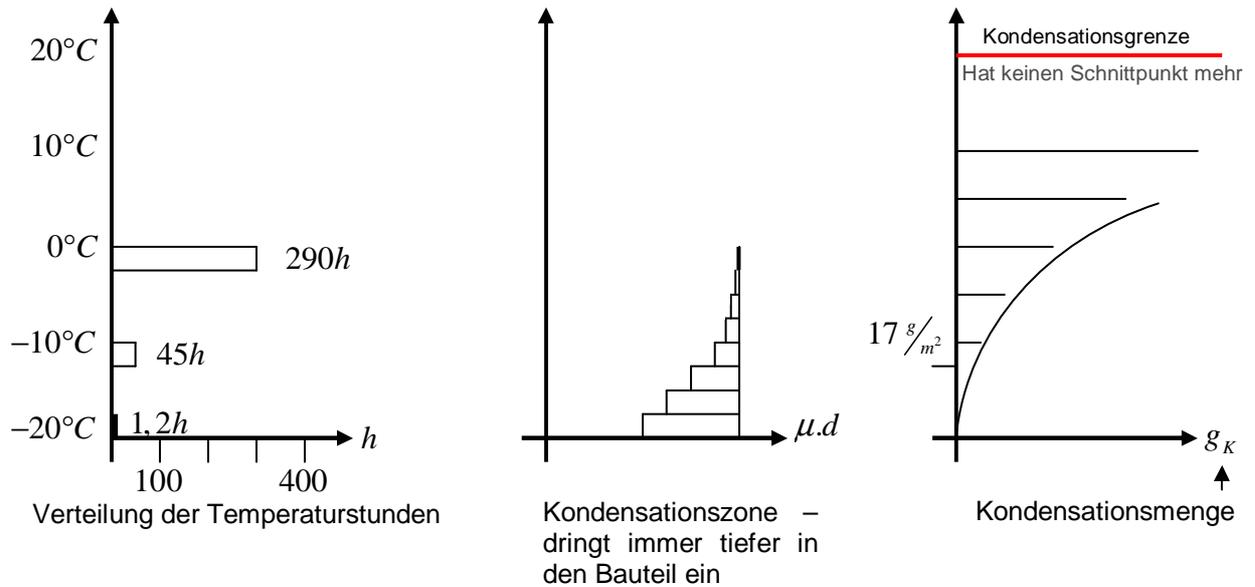
$$72 \cdot (\theta_p - 20) + 16 \cdot (\theta_p - 5) + 160 \cdot (\theta_p - 0) + 9,8 \cdot (\theta_p - 0) = 0$$

$$72 \cdot \theta_p - 1440 + 16 \cdot \theta_p - 80 + 160 \cdot \theta_p + 9,8 \cdot \theta_p = 0$$

$$\theta_p = \frac{1520}{257,8} \cong \underline{\underline{5,9^\circ}} \quad (\text{Pufferraumtemperatur})$$

Ö-Norm B8110-2

- Blockmethode, weil konstante Bedingungen während der 1140 Stunden angenommen wurden
- Häufigkeitsmethode
- Töpfchenmethode, weil die Ansammlung von Kondensat in Töpfchen gesammelt wird



Wärmeschutz:

Ö-Norm B8135

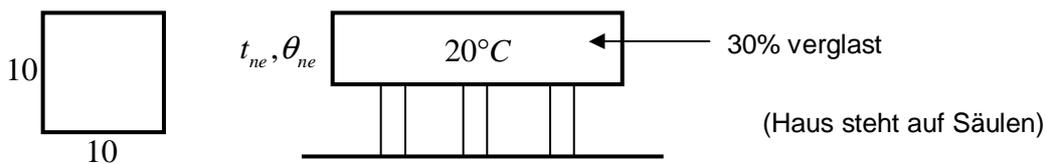
Vereinfachte Berechnung der Heizlast

L, U
(K)

P = Leistung (Wärmeleistung)

Beispiel:

Wiederholung des Beispiels aus der 2. Übung



t_{ne}, θ_{ne} = Außentemperatur

$$L = U \cdot A$$

L = Transmissionsleitwert

$$L_T = 161,2 \text{ W/K}$$

$$\text{B8135: } \frac{L_T}{V} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^3 \cdot \text{K}} \right]$$

$$V = 10 \cdot 10 \cdot 4 = \underline{\underline{400 \text{ m}^3}}$$

$$P_T = \frac{L_T}{V} = \frac{161,2}{400} = \underline{\underline{0,403 \frac{\text{W}}{\text{m}^3 \cdot \text{K}}}}$$

Lüftung (in Ö-Norm vorgegeben): $n = 0,5 - 0,12 \frac{\text{W}}{\text{m}^3 \cdot \text{K}}$

Wer wird über Fenster- und Türlugen berechnet

W_F = Wärmeverlustfaktor (Berechnung von Lüftungsverlust in Abhängigkeit von Qualität des Wechsels und dem Standort)

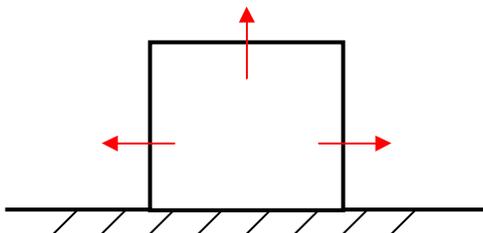
$$P_L = W_F \cdot A_F \cdot \Delta\theta$$

Fenster- und Türflächen

$$P_e = \frac{W_F \cdot A_F}{V}$$

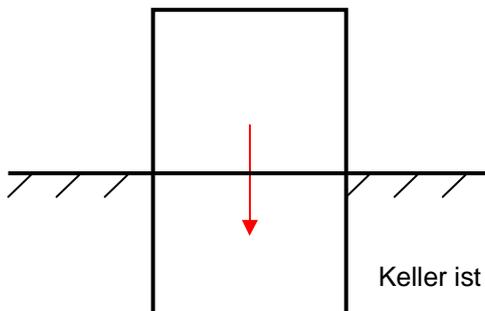
Kontrolle: Wenn der Wert größer ist als 0,12 muss zur Berechnung 0,12 genommen werden

Am Erdboden:



Faktor $f = 1$ (Luft)

Mit Keller:



Faktor $f = 0,5$

Keller ist unbeheizt

$$f = \frac{\theta_i - \theta_U}{\theta_i - \theta_e}$$

$$L = AU \cdot f$$