
Bauphysik

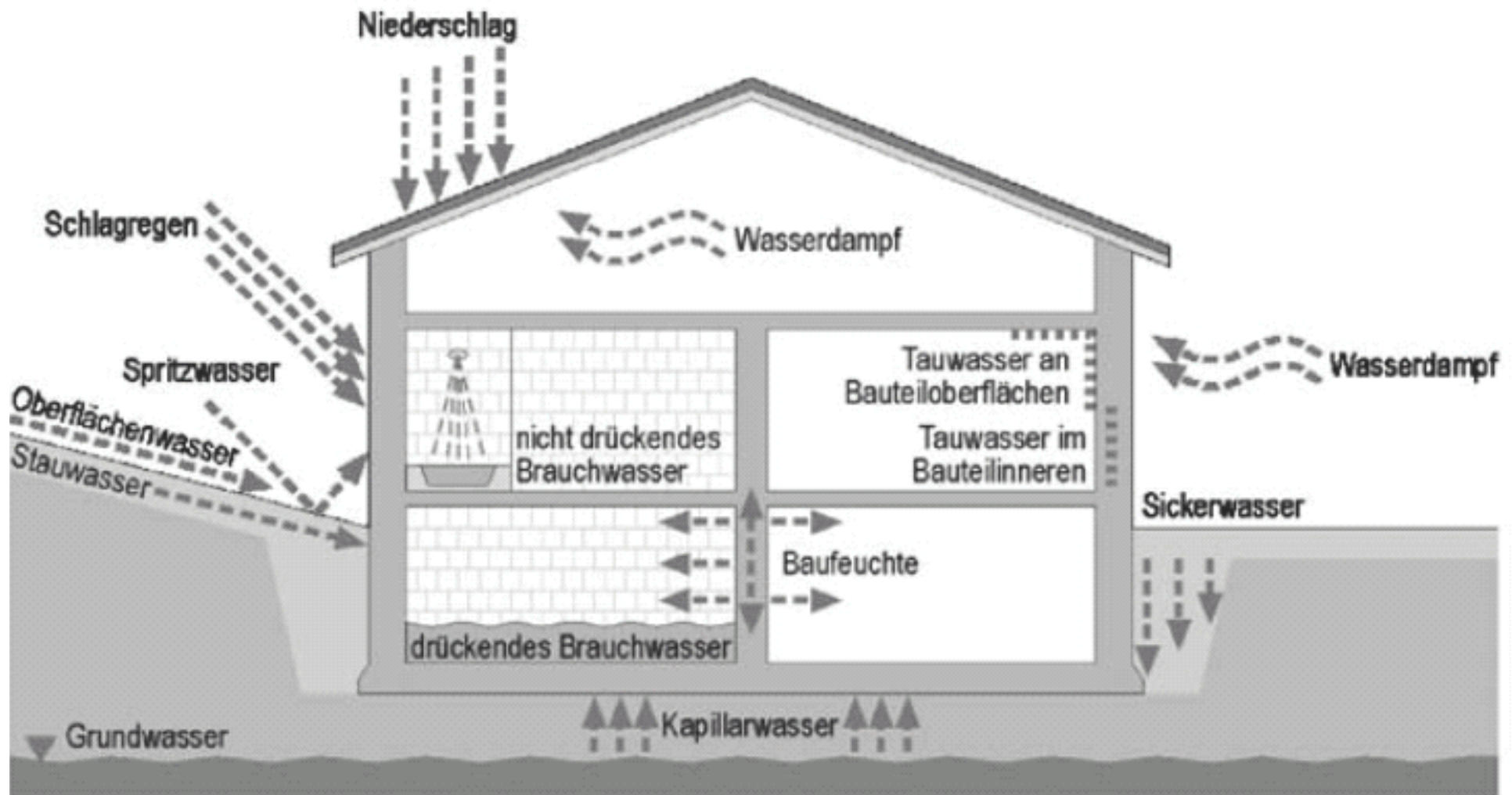
Feuchtetransportmechanismen

Prof. Dr.-Ing. Petra Rucker-Gramm

Vorlesungsunterlagen nur für studentische Zwecke. Eine Weitergabe oder Vervielfältigung, auch auszugsweise, ist nur nach schriftlicher Genehmigung durch die Verfasserin erlaubt.

Einwirkung von Wasser auf ein Bauwerk

Unterschiedliche Bezeichnungen für Wasser:



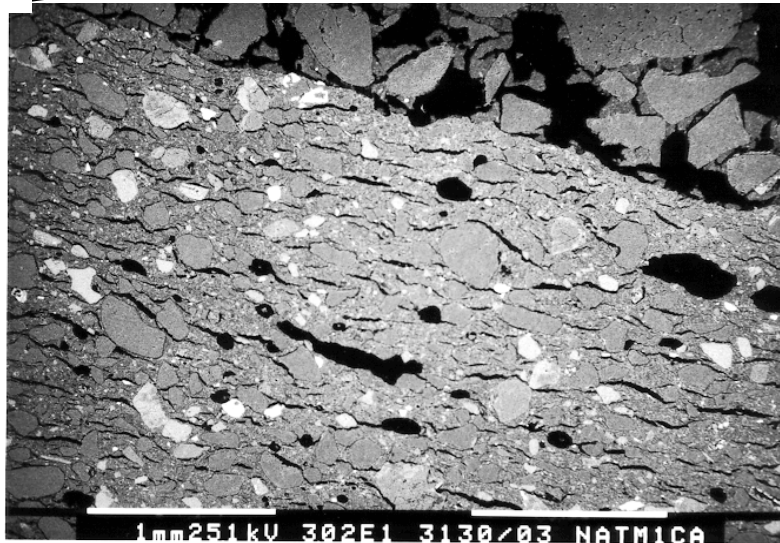
[Fischer et al: Lehrbuch der Bauphysik]

Porensystem mineralischer Baustoffe

Isolierte Pore Offene Pore

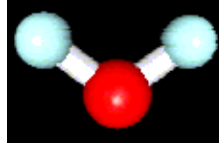


'Ink-Bottle'
= Sackpore



Porensystem mineralischer Baustoffe

Wassermolekül (0,3 nm)



=



Mensch

Gelpore (nm) = U-Bahnrohr



Mesopore (10 nm) = Parkplatz



Kapillarpore (μm) = Stadt



Luftpore (mm) = Deutschland



[Brandes]

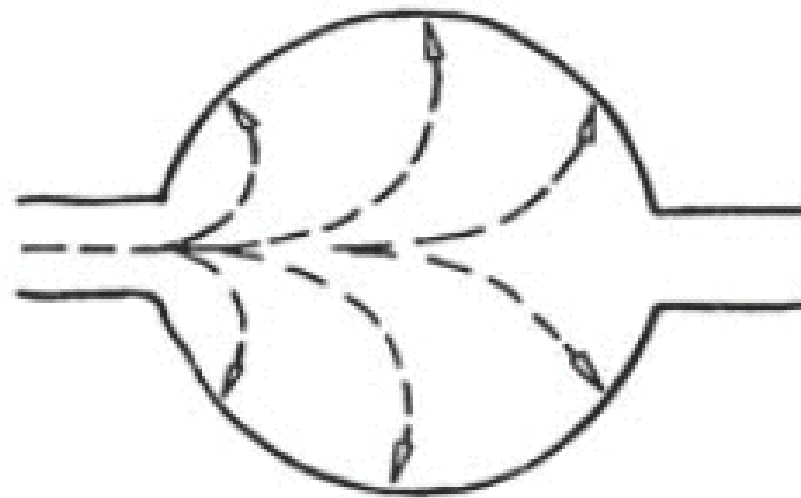
Hygroskopizität



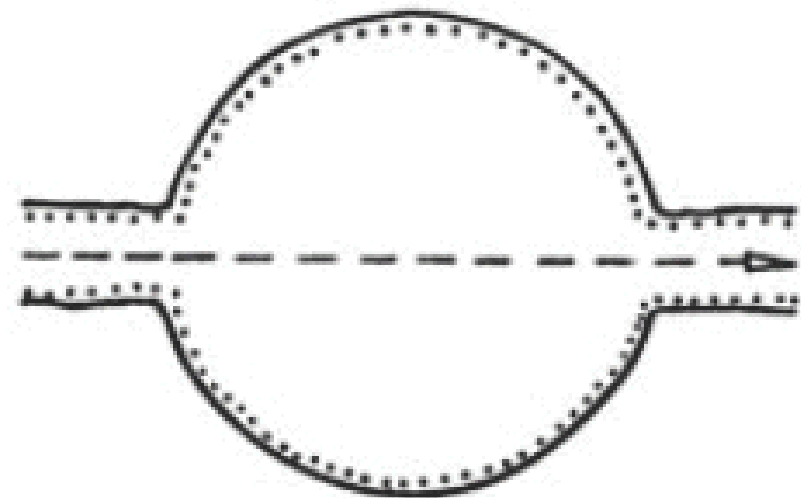
=Eigenschaft, Feuchtigkeit aus der Umgebung in Form von Wasserdampf aus der Luft zu binden.

→ Poröse Materialien binden (adsorbieren) das Wasser in ihren Hohlräumen.

Adsorption



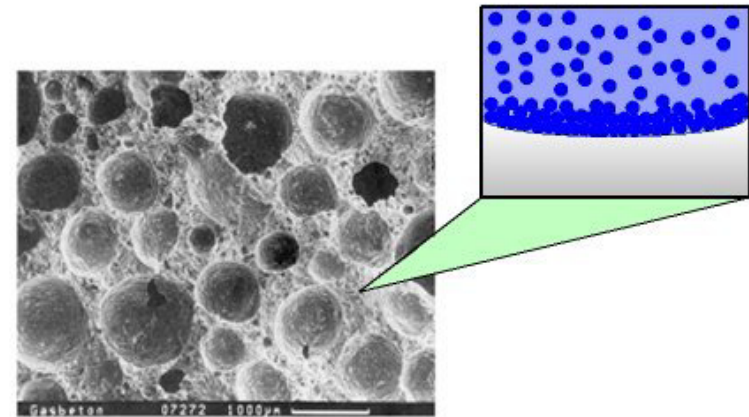
-----> Dampfphase



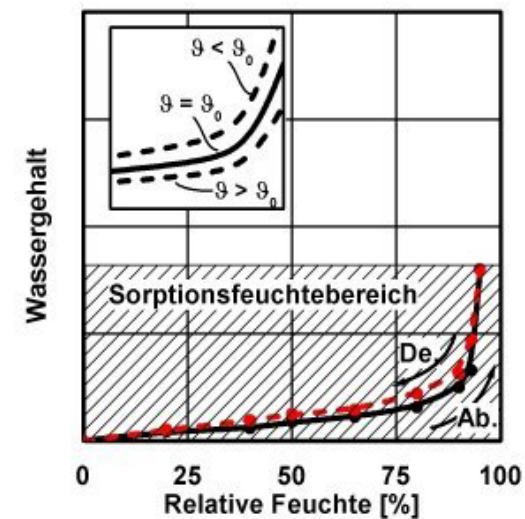
..... Sorbierte Phase

Adsorption

- Wassermoleküle lagern sich an Oberflächen von hygroskopischen Stoffen an
- Je höher die Luftfeuchte desto dicker die Schicht



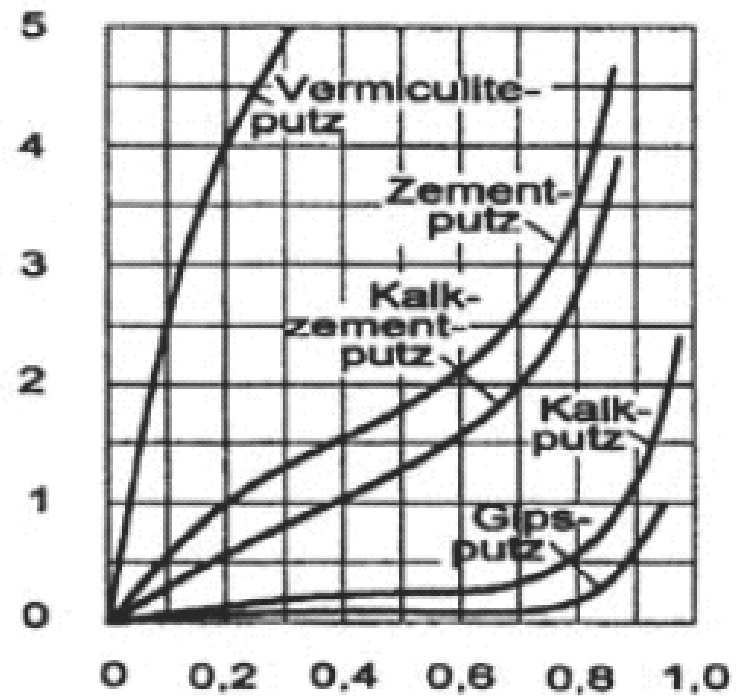
Sorptionsisotherme



Sorptionsisothermen

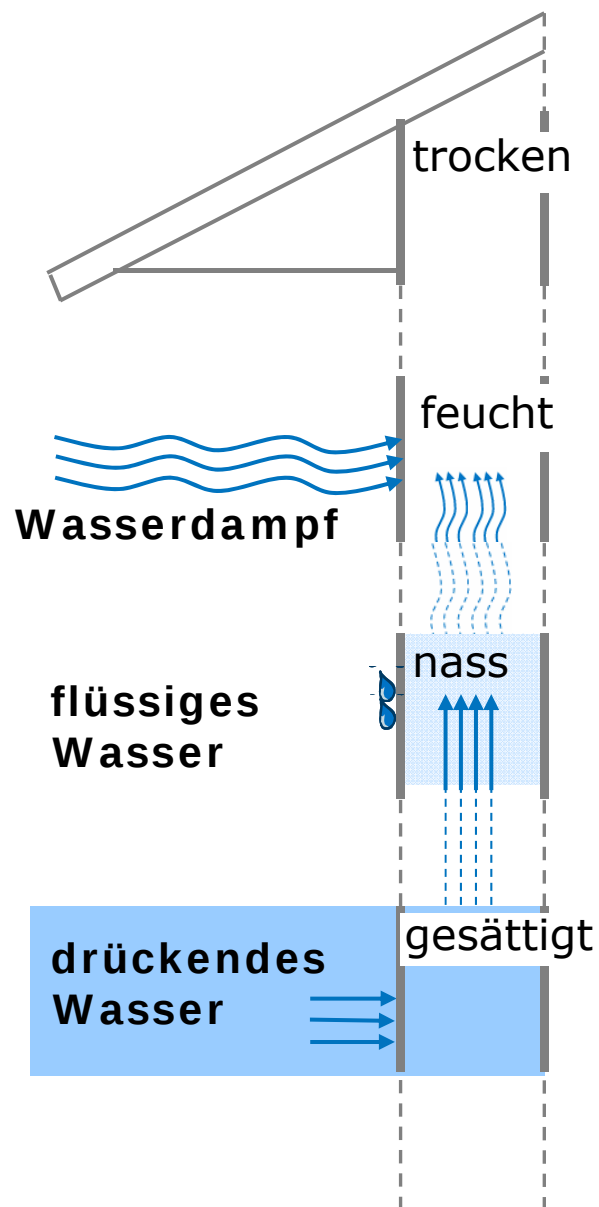
Putze

Wassergehalt [M.-%]



relative Feuchte [-]

Transportmechanismen von Wasser

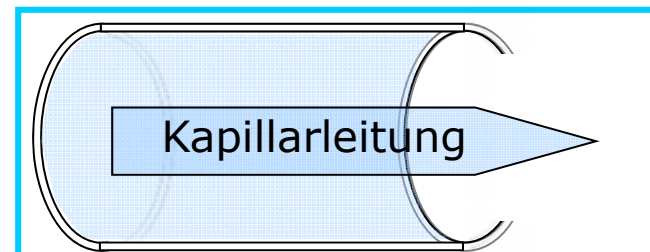
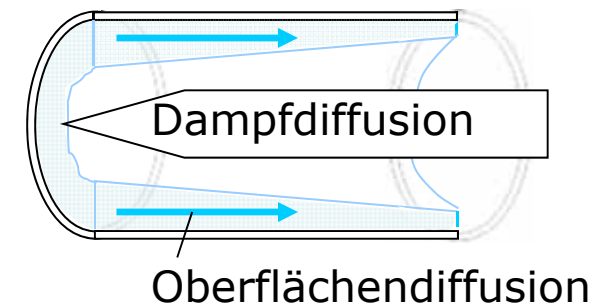
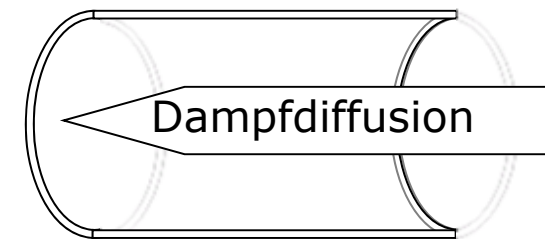


Bsp. Winter:
Temperatur $T_a < T_i$

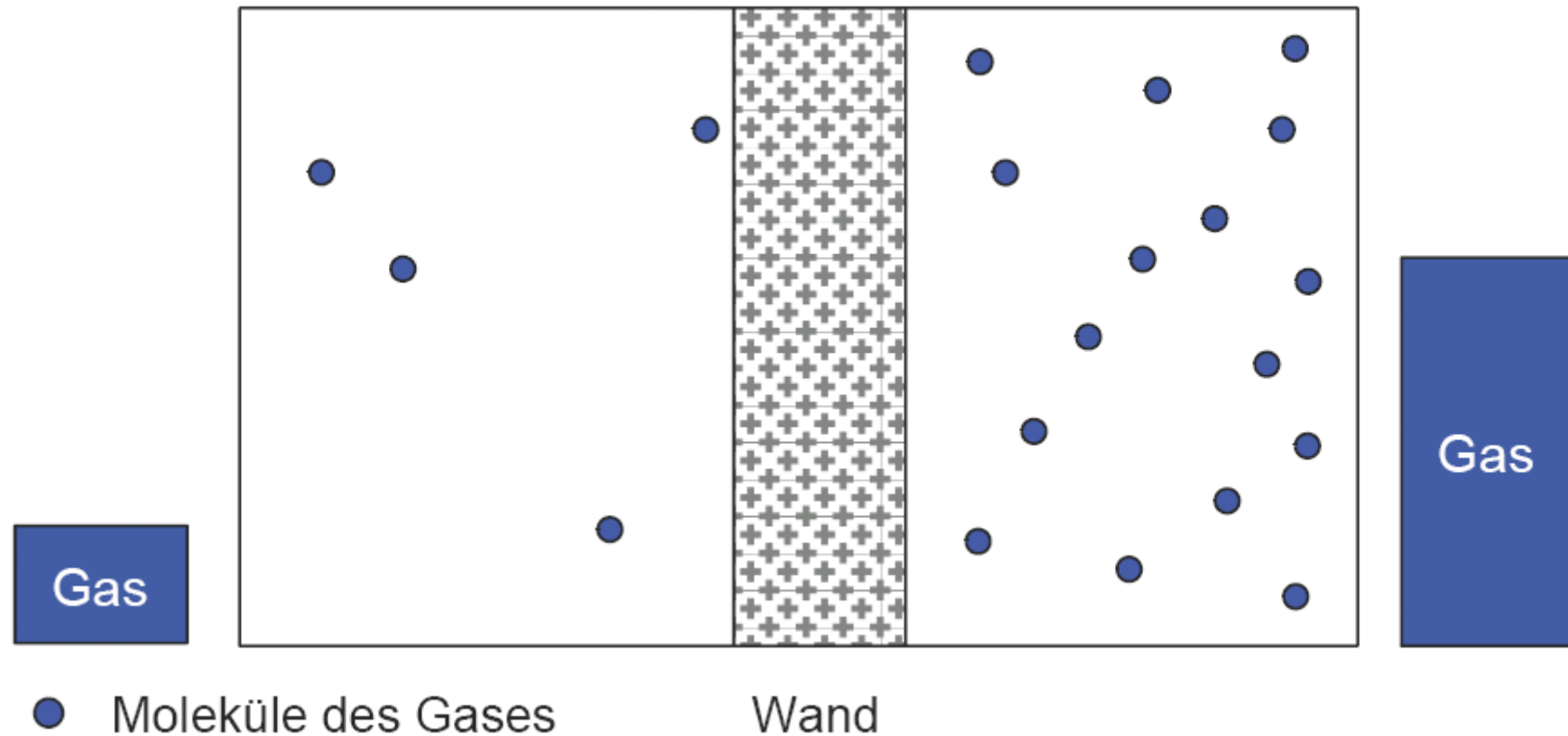
Dampfdruck p_D

Rel. Feuchte φ

Gesamtdruck p_G



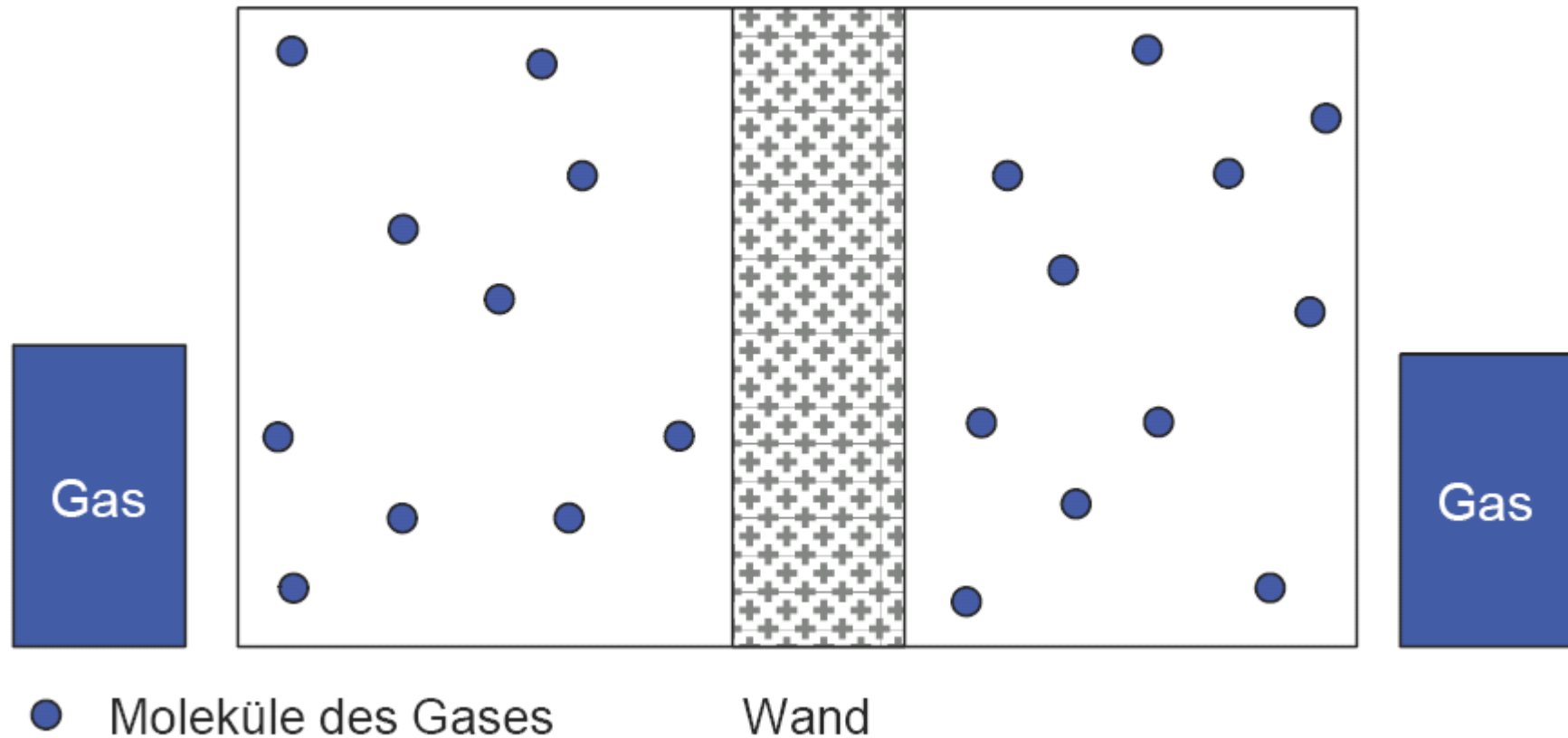
Wasserdampfdiffusion



Partialdruck Raum 1 < Partialdruck Raum 2



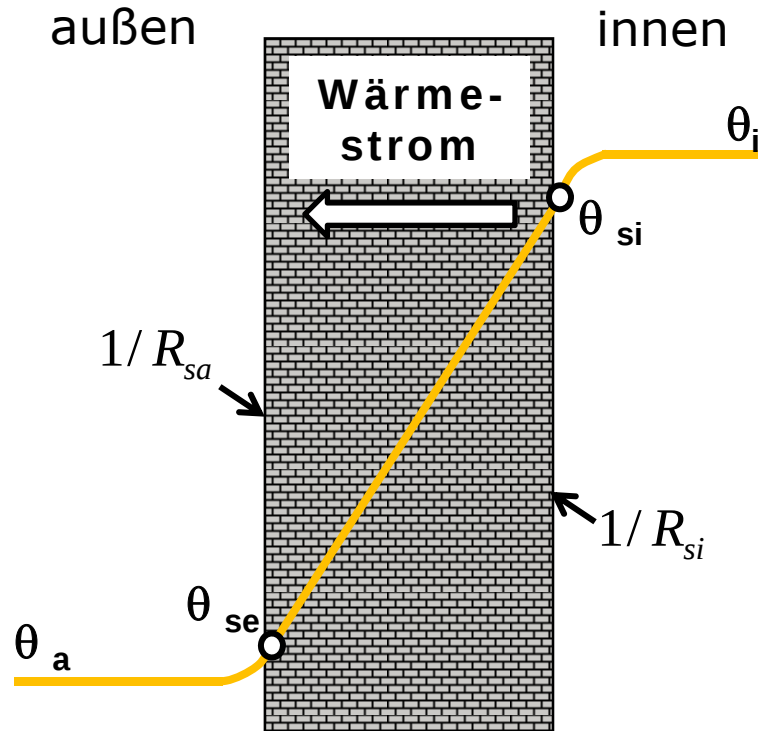
Wasserdampfdiffusion



Druckausgleich = „Konzentrationsausgleich“

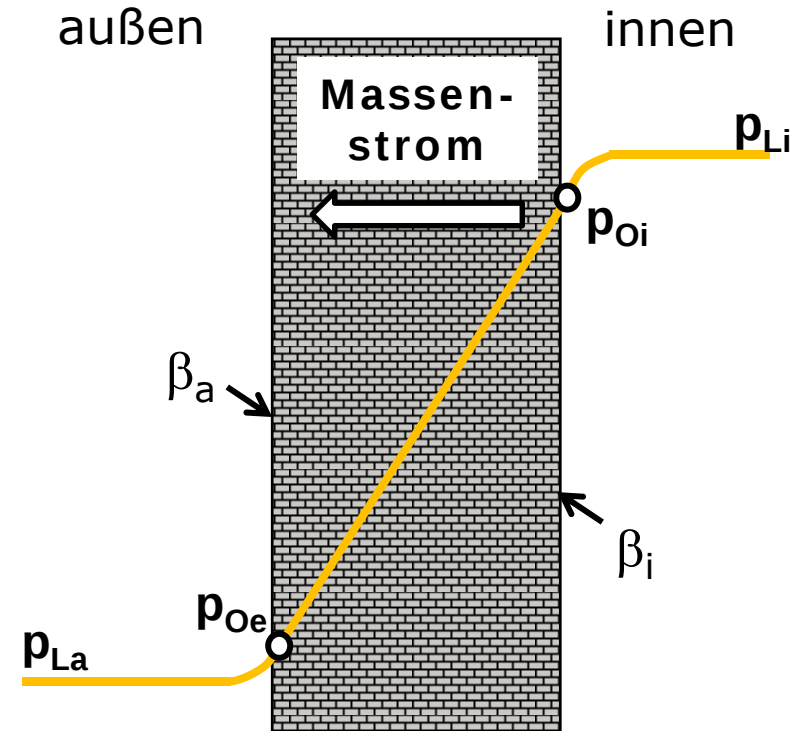
Analogie Wärmetransmission / Dampfdiffusion

Wärmeübertragung



Treibende Temperaturdifferenz
Wärmestrom
Wärmeleitfähigkeit
Wärmeübergangskoeffizienten $h=1/R_s$

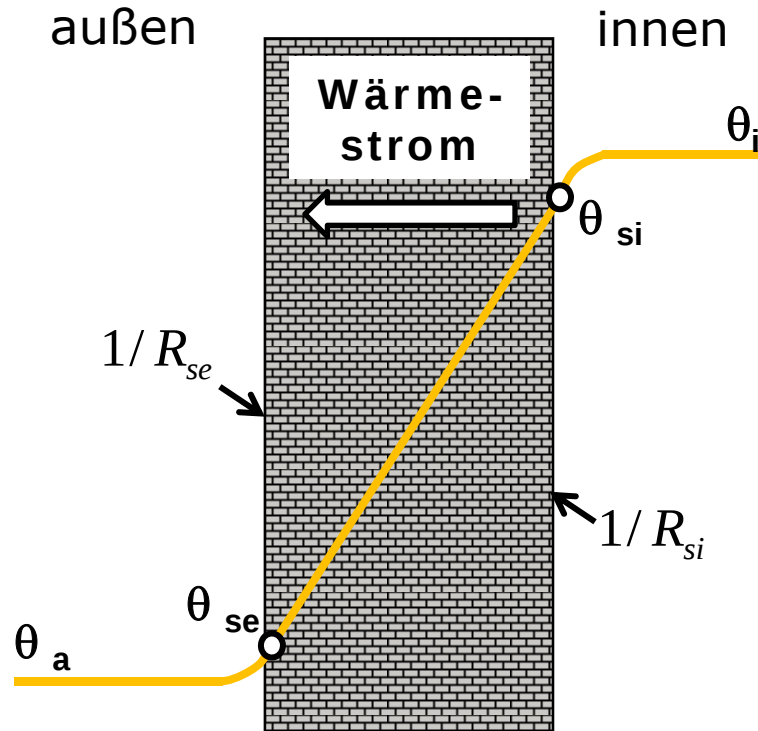
Dampfdiffusion



Treibende Partialdruckdifferenz
Massenstrom
Wasserdampfdiffusionsleitfähigkeit
Stoffübergangskoeffizienten β

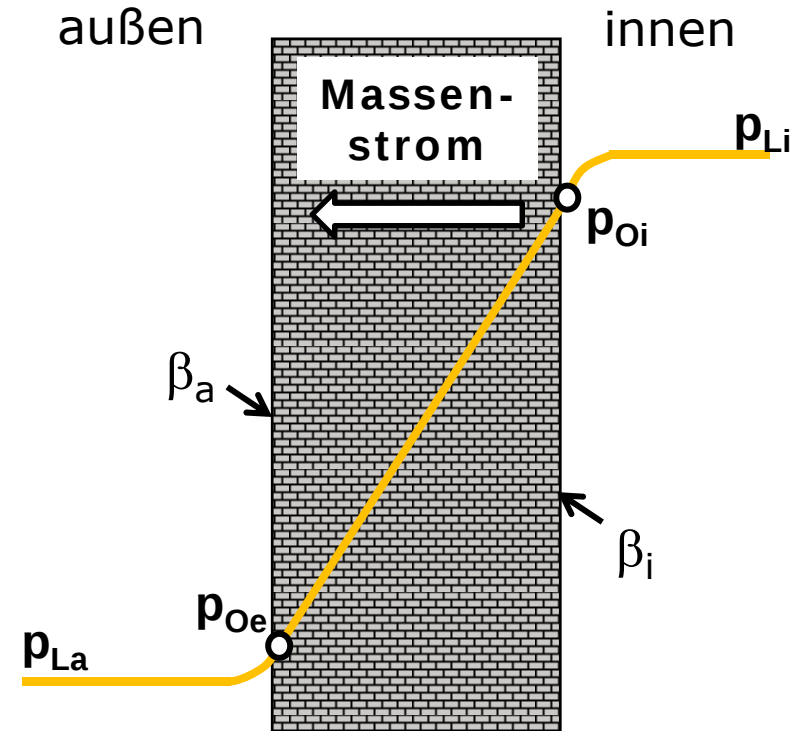
Analogie Wärmetransmission / Dampfdiffusion

Wärmeübertragung



$$q = \frac{(\theta_i - \theta_e)}{R_{si} + d / \lambda + R_{se}}$$

Dampfdiffusion



$$g = \frac{(p_{Li} - p_{La})}{1 / \beta_i + d / \delta + 1 / \beta_a}$$

Wasserdampfdiffusion

$$g = \frac{(p_i - p_e)}{1/\beta_i + d/\delta + 1/\beta_a}$$

g Dampfstromdichte [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]

$p_{\text{Li/La}}$ Partialdrücke der Innen-
bzw. Außenluft [Pa]

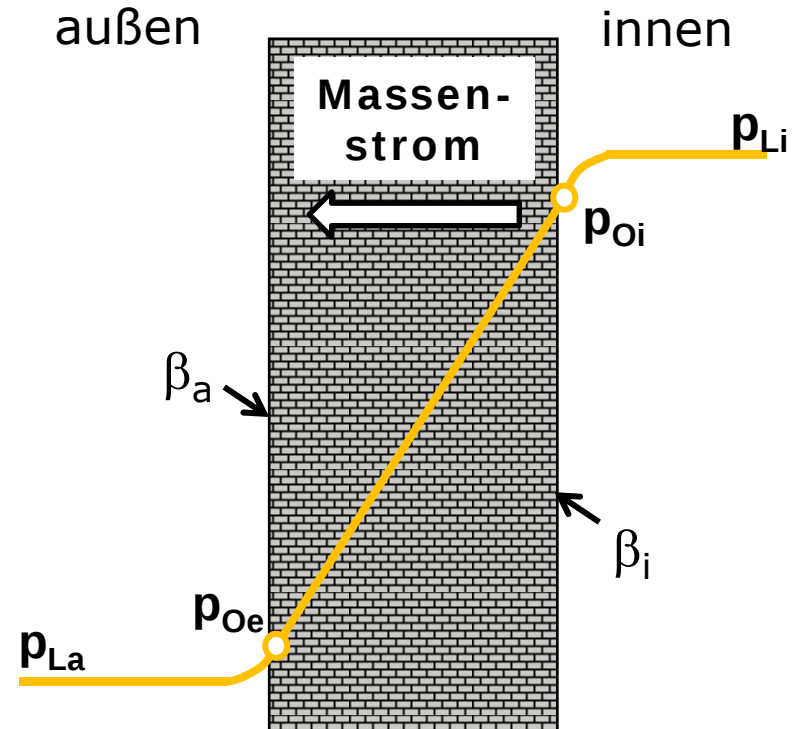
$\beta_{\text{i/a}}$ Stoffübergangskoeffizienten innen
bzw. außen [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$]

δ Wasserdampfdiffusions-
leitfähigkeit [$\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$]

d Bauteildicke [m]

$$\text{da : } 1/\beta_i + 1/\beta_a \ll d/\delta \rightarrow p_{\text{Li}} \approx p_{\text{Oi}} \quad \text{und} \quad p_{\text{La}} \approx p_{\text{Oe}}$$

Dampfdiffusion



Wasserdampfdiffusionsstromdichte

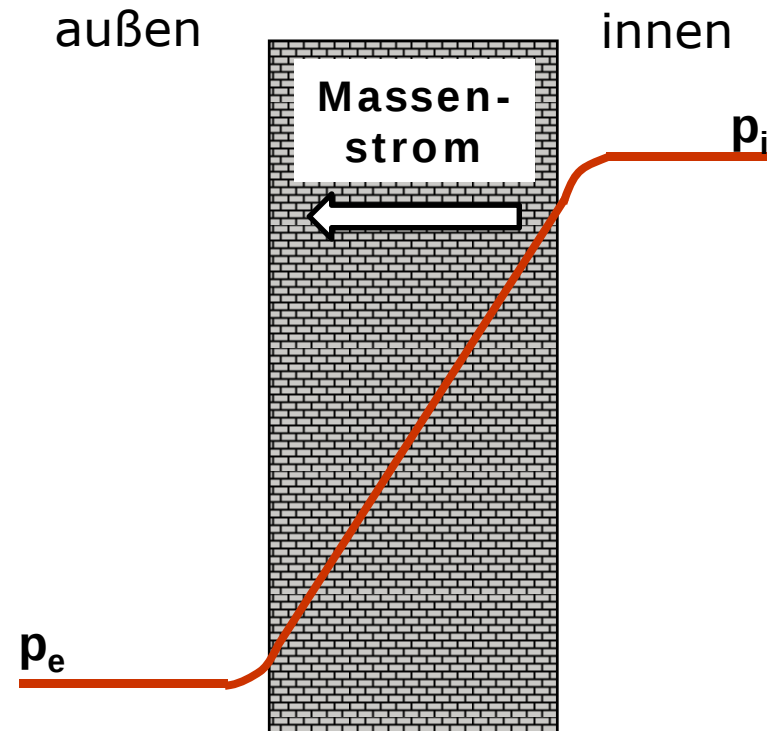
$$g = \delta_0 \frac{(p_i - p_e)}{s_d}$$

g Dampfstromdichte [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]

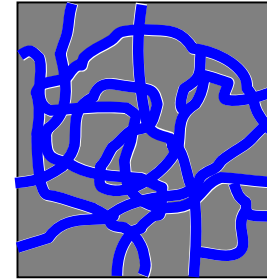
$p_{i/e}$ Partialdrücke der Innen-
bzw. Außenluft [Pa]

δ_0 Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizient
in ruhender Luft: $\delta_0 = 2 \cdot 10^{-10} \text{ kg} / (\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$

s_d wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke Dampfstromdichte [m]



Materialwiderstand gegen Wasserdampfdiffusion



[Dr. Lay]

Bei Dampfdiffusion durch Materialschichten erhöhter Widerstand durch:

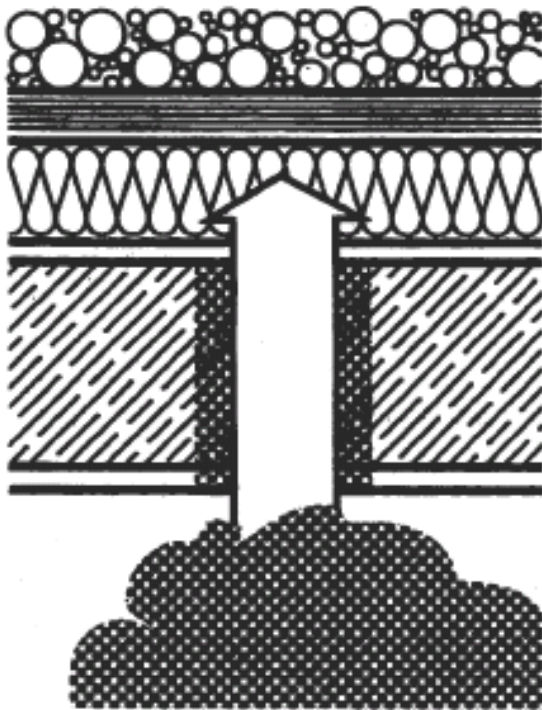
- Verhältnis der von den Poren eingenommenen Fläche zur gesamten Querschnittsfläche (Porosität)
- durch die Porenstruktur erzwungene Umwege
- Querschnittsveränderungen in den Porenkanälen

Berücksichtigung durch die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ

→ Formfaktor, der angibt, um welchen Faktor der Diffusionswiderstand eines Materials größer ist als der einer Luftschicht gleicher Dicke ($\mu_L=1$)

μ -Wert

Baustoffe mit μ -Wert ≥ 1500 werden als Dampfsperren bezeichnet



**Konstruktion ohne
Dampfsperre**



**Konstruktion mit
Dampfsperre**

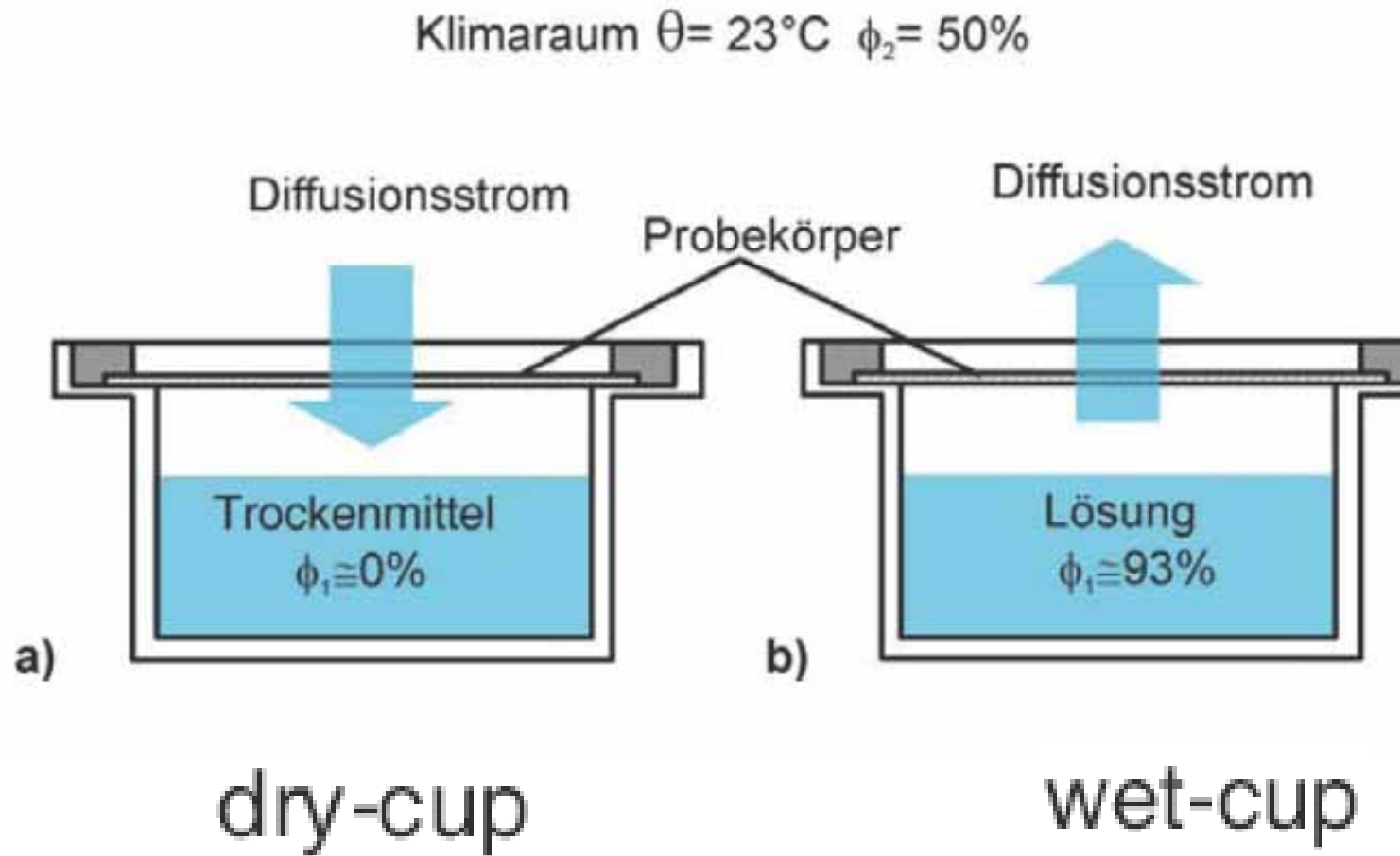
μ-Wert

DIN 4108-4 / DIN EN ISO 10456

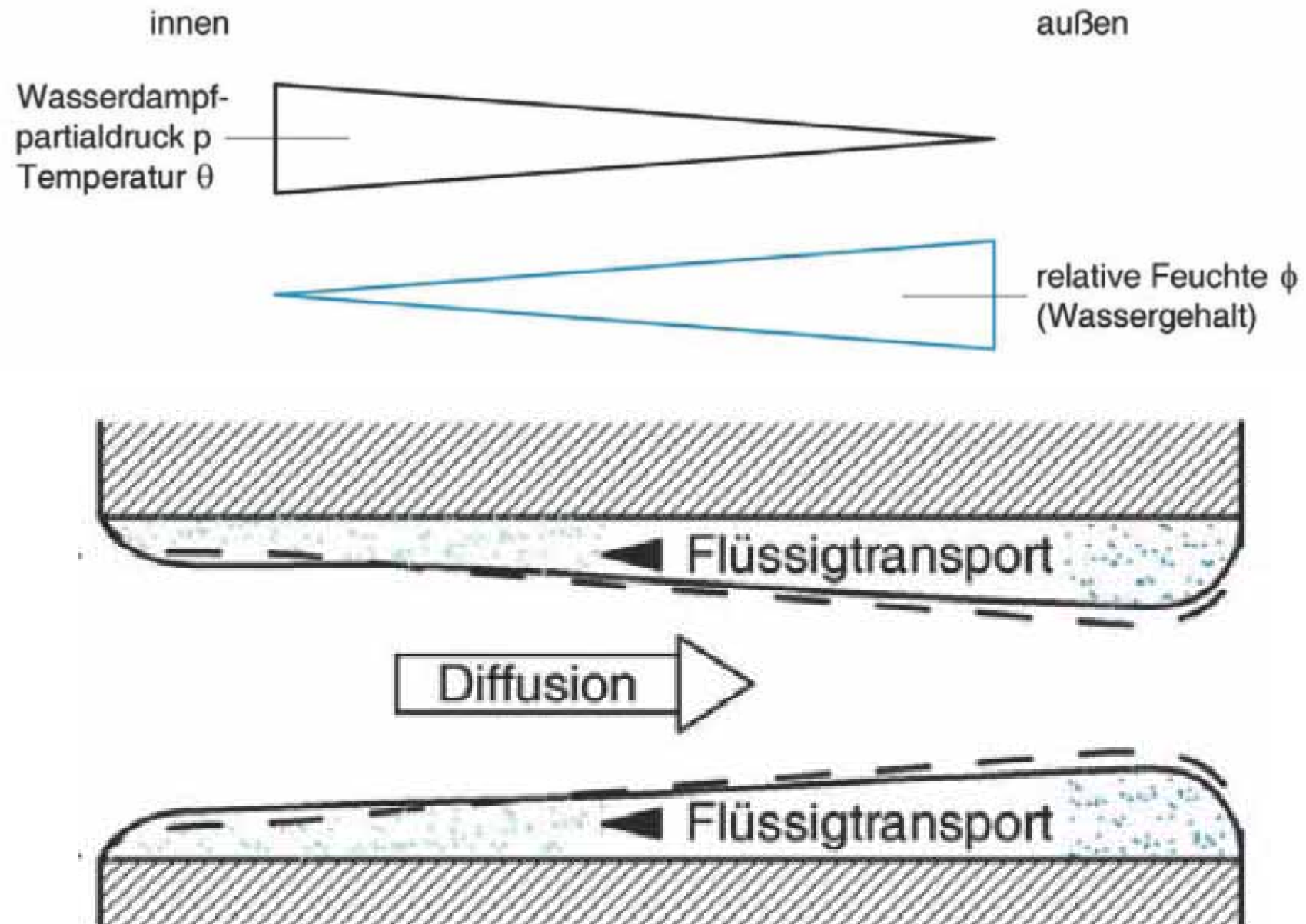
Tabelle 1 (fortgesetzt)

Zeile	Stoff	Rohdichte ^{a,b} ρ kg/m ³	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ W/(m · K)	Richtwert der Wasserdampf- Diffusions- widerstands- zahl ^c μ
1.3	Estriche			
1.3.1	Asphalt	Siehe DIN EN 12542		
1.3.2	Zement-Estrich	(2 000)	1,4	15/35
1.3.3	Anhydrit-Estrich	(2 100)	1,2	
1.3.4	Magnesia-Estrich	1 400	0,47	
		2 300	0,70	
2	Beton-Bauteile			
2.1	Beton nach DIN EN 206-1	Siehe DIN EN 12542		
2.2	Leichtbeton und Stahlleichtbeton mit geschlossenem Gefüge nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2, hergestellt unter Verwendung von Zuschlägen mit porigem Gefüge nach DIN 4226-2, ohne Quarzsandzusatz ^d	800	0,39	70/150
		900	0,44	
		1 000	0,49	
		1 100	0,55	
		1 200	0,62	
		1 300	0,70	
		1 400	0,79	
		1 500	0,89	
		1 600	1,0	
		1 800	1,3	
		2 000	1,6	
2.3	Dampfgehärteter Porenbeton nach DIN 4223-1	350	0,11	5/10
		400	0,13	
		450	0,15	
		500	0,15	
		550	0,18	
		600	0,19	
		650	0,21	
		700	0,22	
		750	0,24	
		800	0,25	
		900	0,29	

Ermittlung von μ

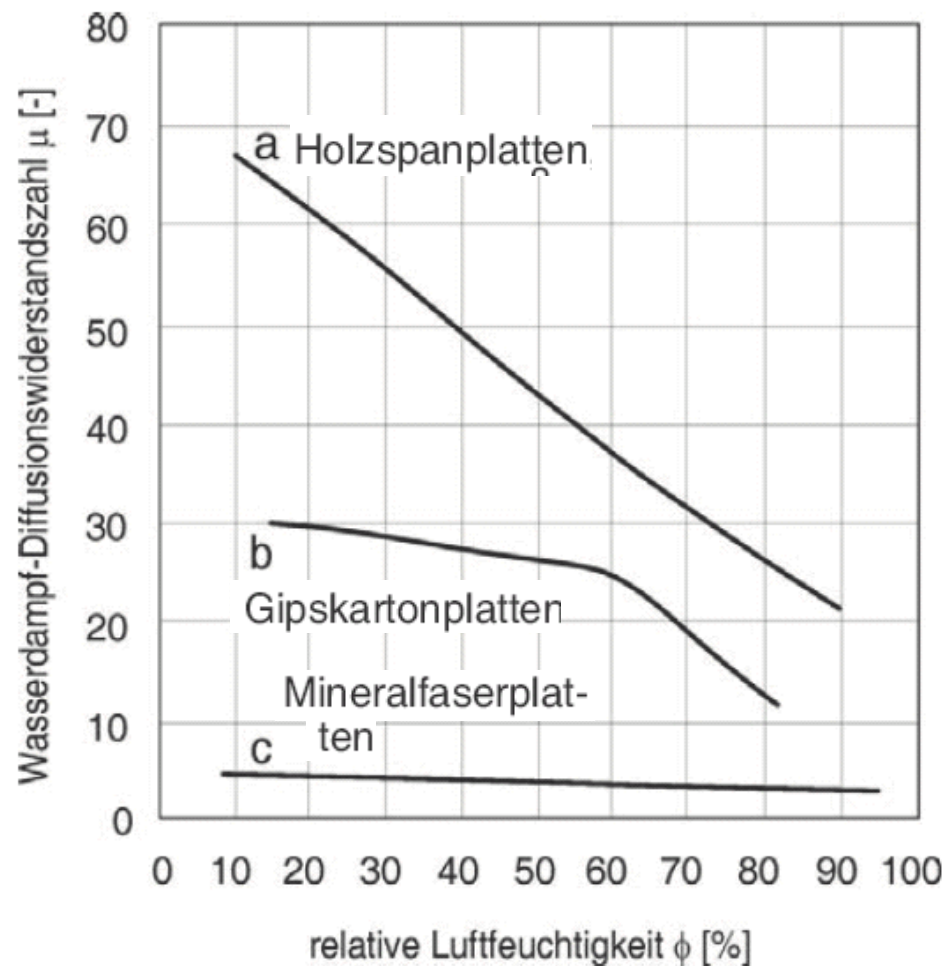


Oberflächendiffusion



Wasserdampfdiffusion - Feuchteeinfluss

- DIN 4108-4: Richtwerte für μ Wertebereiche (z.B. Hochlochziegel: $\mu = 5 / 10$); es sollen die im Anwendungsfall ungünstigeren Werte verwendet werden.

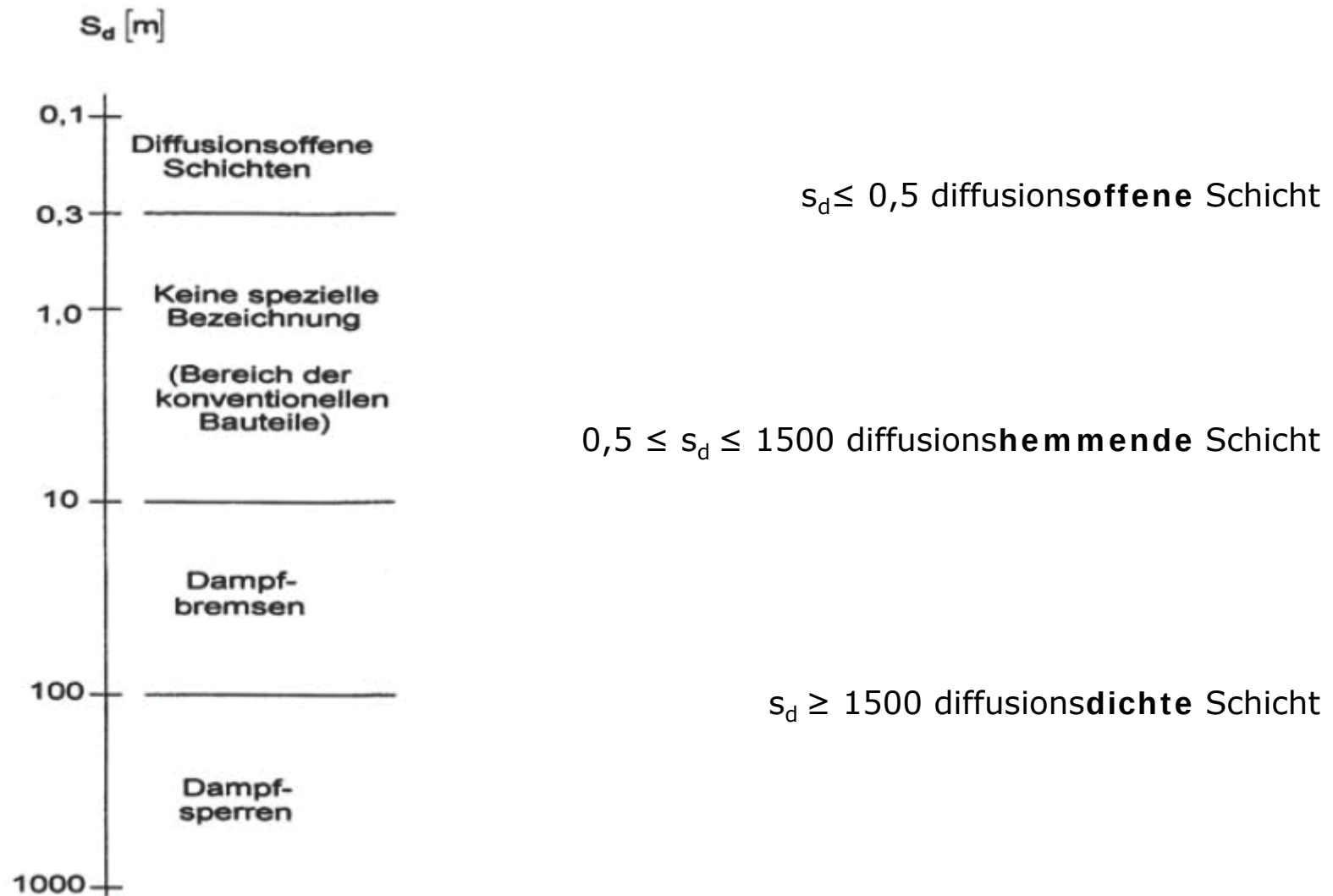


Sd-Wert

Wasserdampfdiffusionsäquivalente
Luftschichtdicke (s_d -Wert) eines Baumaterials

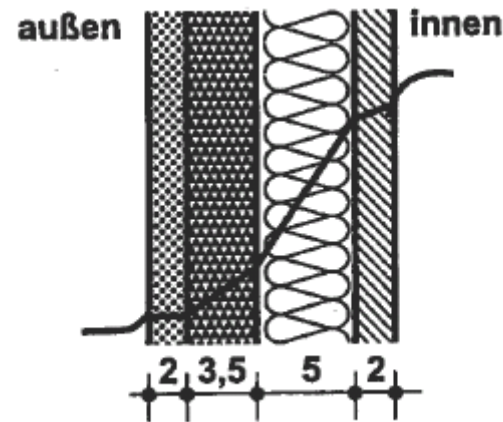
$$s_d = \mu \cdot d \quad [m]$$

Sd-Wert



Bildmaßstäbe

Real- Bildmaßstab



2 cm Außenputz
3,5 cm Holzwolle Leichtbauplatte
5 cm Mineralwolle
2 cm Holzspanplatte

Hygrischer Bildmaßstab

„Diffusions- diagramm“



d

s_d

μ

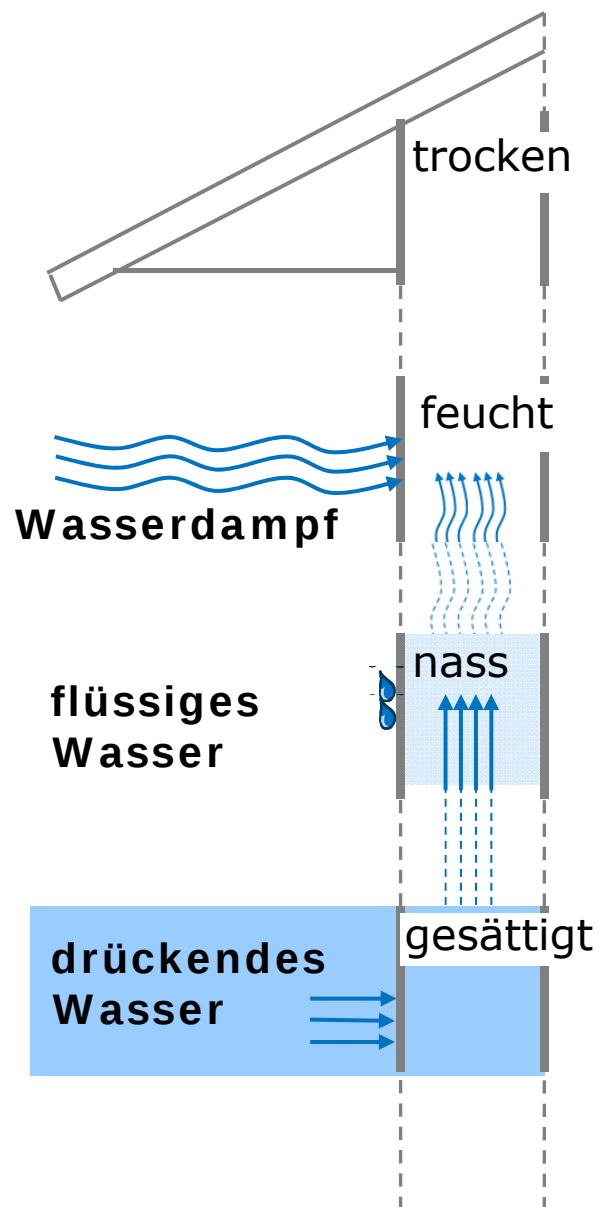
μd [m]

2 cm Außenputz
3,5 cm Holzwolle Leichtbaupl.
5 cm Mineralwolle
2 cm Holzspanplatte

0,70	35
0,07	2
0,05	1
2,00	100

Dampfdruck (Verbindungsgerade)

Transportmechanismen von Wasser

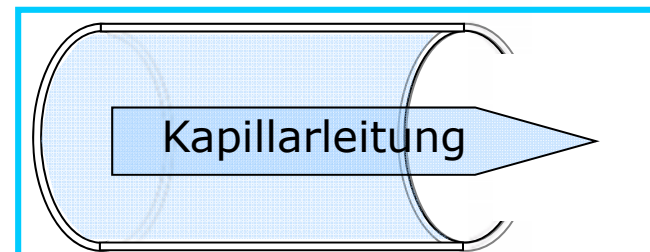
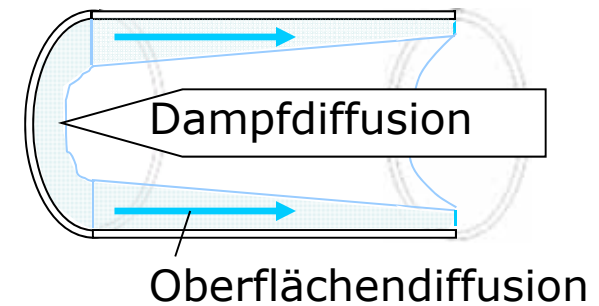
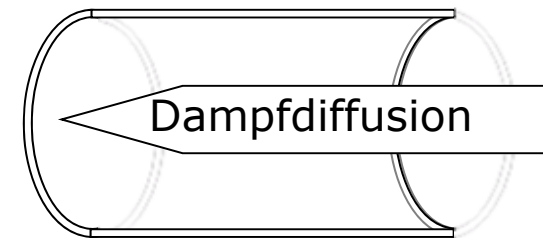


Bsp. Winter:
Temperatur $T_a < T_i$

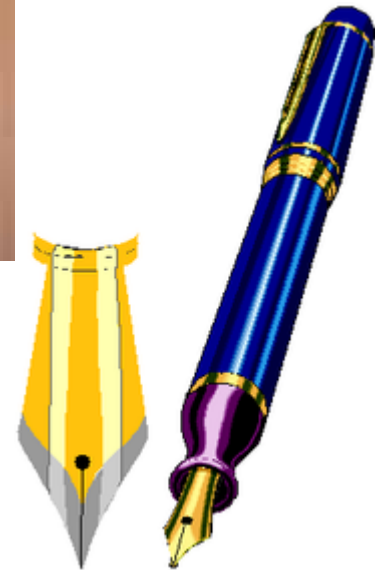
Dampfdruck p_D

Rel. Feuchte φ

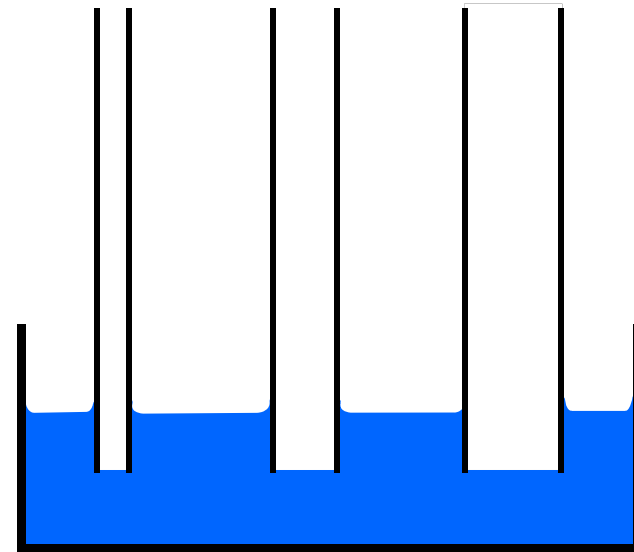
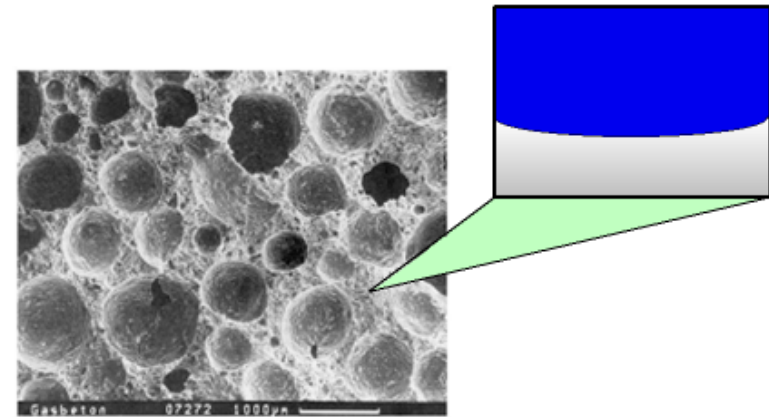
Gesamtdruck p_G



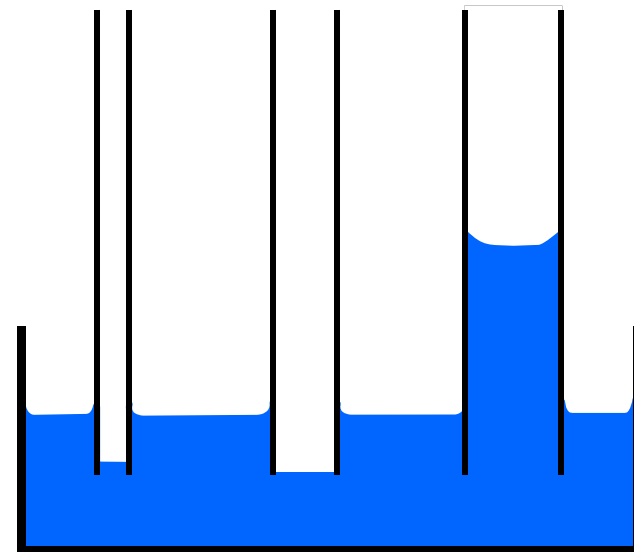
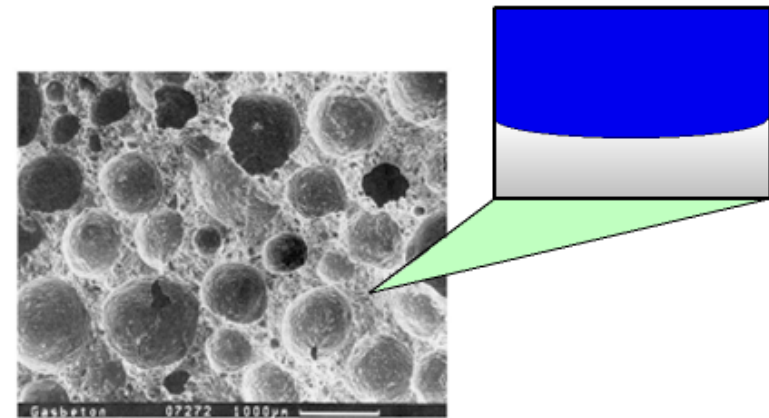
Kapillarleitung - Beispiele



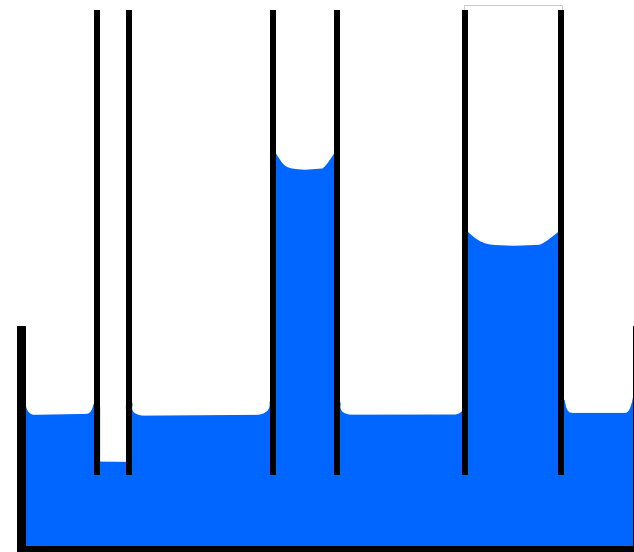
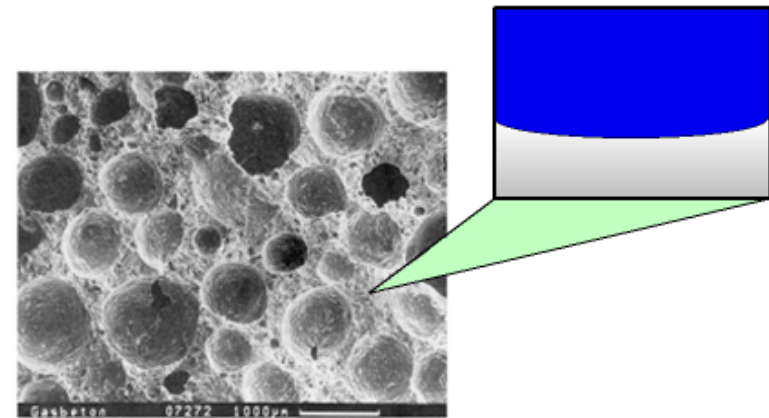
Kapillarleitung



Kapillarleitung



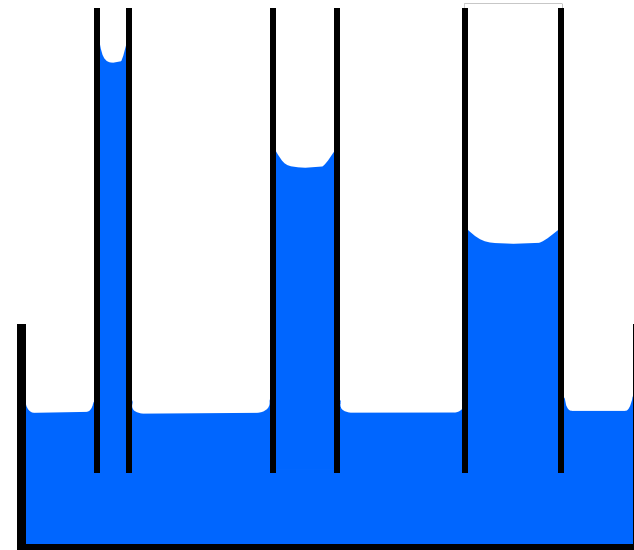
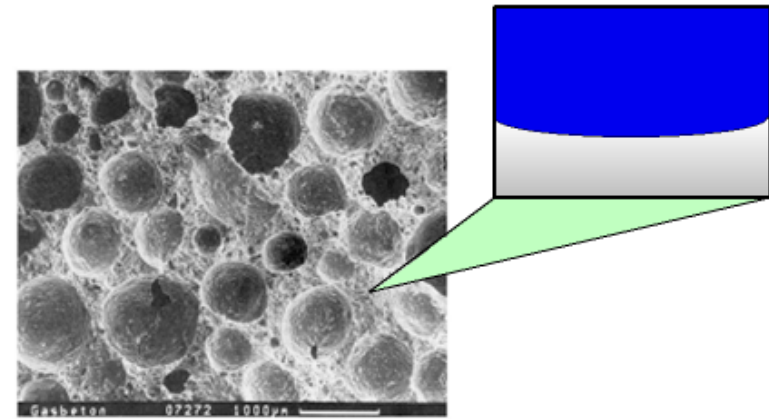
Kapillarleitung



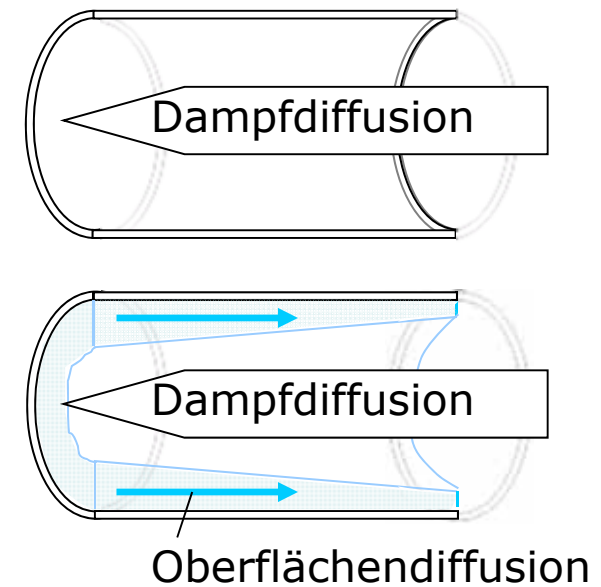
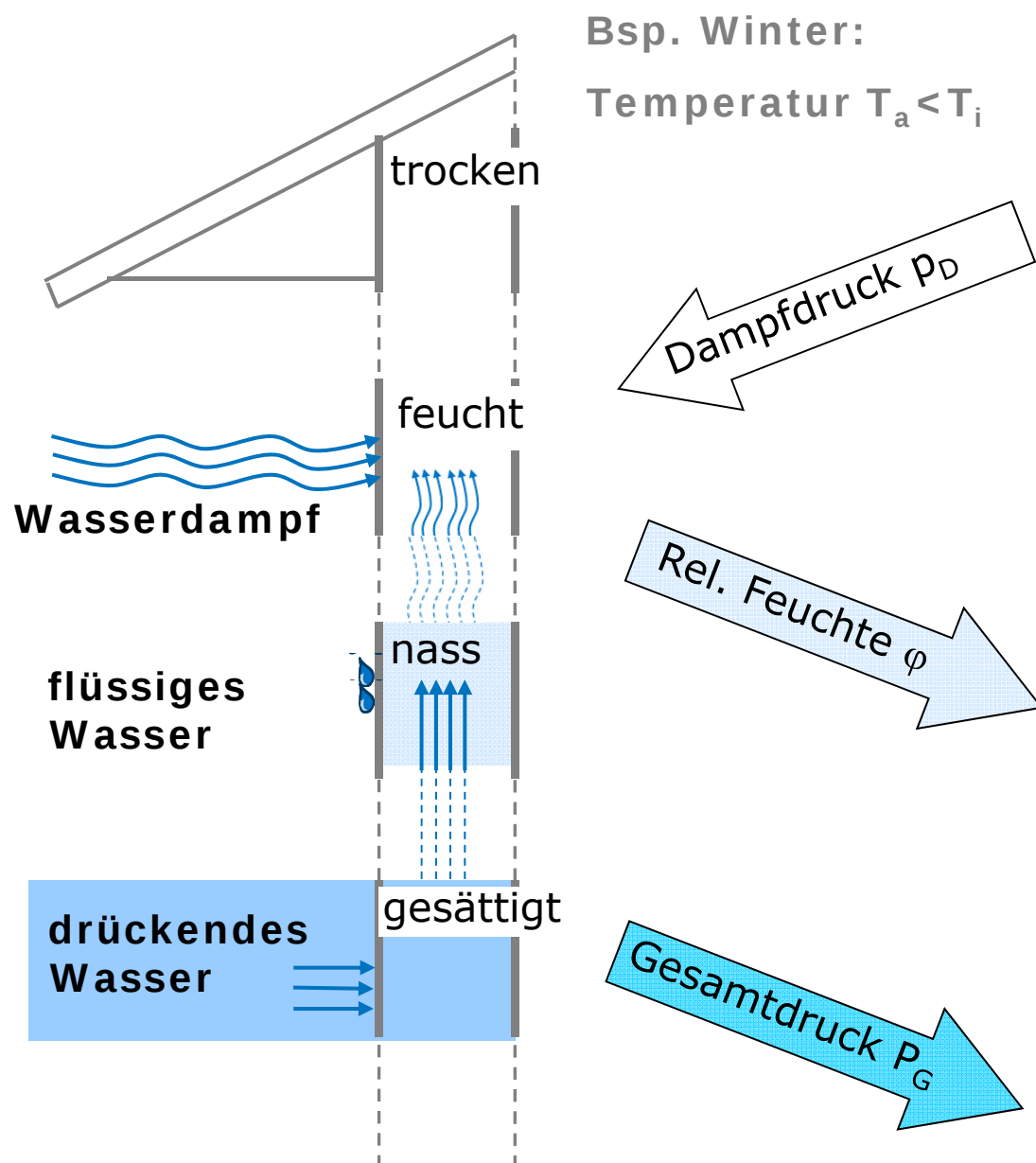
Kapillarleitung

Kleine Kapillaren:
größere Saugkraft

Große Kapillaren:
höhere Sauggeschwindigkeit



Transportmechanismen von Wasser

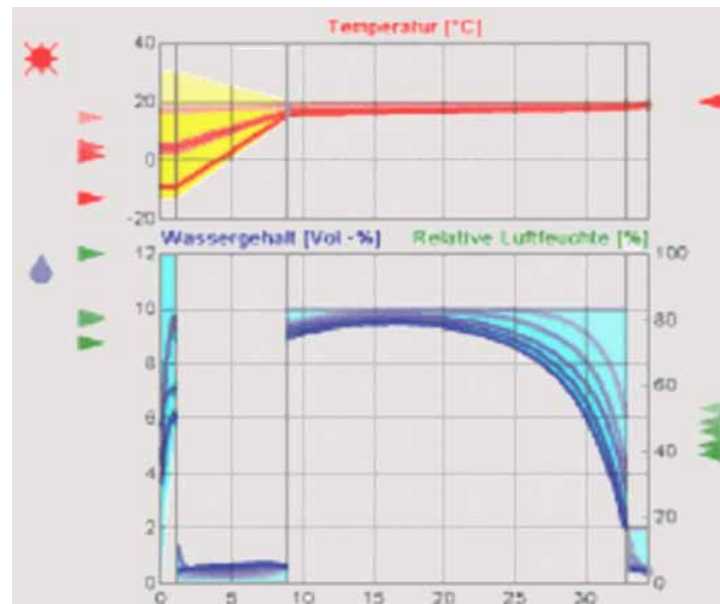


Berechnungsbeispiel



$$\frac{\partial w}{\partial \phi} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial t} = \nabla \cdot (D_\phi \nabla \phi + \delta_p \nabla (\phi p_{sat}))$$

$$\frac{\partial H}{\partial T} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + h_v \nabla \cdot (\delta_p \nabla (\phi p_{sat}))$$



Temperatur

Relative Feuchte

Wassergehalt