

**Schutz vor Feuchte**

Mit Rücksicht auf die Gesundheit und das Wohlbefinden muß sich der Mensch durch eine künstliche Hülle, das Gebäude, vor Umwelteinflüssen schützen. Im Katalog möglicher Einflüsse steht Wasser/Feuchte mit an vorderster Stelle.

Die Außenbauteile des Gebäudes haben die Aufgabe zu erfüllen, die Belastung aus Wasser/Feuchte von außen ohne Störung ihrer übrigen Funktionen zu bewältigen. Zusätzlich erfahren die Außenbauteile – auch alle Innenbauteile – durch die Nutzung des Gebäudes eine Belastung aus Wasser/Feuchte von innen. Vor diesem Einfluß Wasser/Feuchte und der Gefahr möglicher Durchfeuchtung müssen alle Bauteile geschützt werden, liegen doch daraus resultierende Feuchteschäden mit an der Spitze aller Schäden, die an Gebäuden auftreten können.

Folgen feuchter Bauteile:

- Schlechte Klimaverhältnisse.  
Die Behaglichkeitsverhältnisse werden durch erhöhte Feuchte der raumschließenden Bauteile beeinträchtigt, wodurch die Leistungsfähigkeit des Menschen sinkt und die Gefahr hinsichtlich rheumatischer Erkrankungen steigt.
- Pilzbefall.  
Feuchte Bauteile bieten optimale Bedingungen für Pilzbefall und Schimmelbildung. Diese Erscheinungen führen zu Verfärbungen und können allergische Erkrankungen zur Folge haben.
- Abnahme der Wärmedämmfähigkeit.  
Mit zunehmender Feuchte im Baustoff nimmt dessen Wärmeleitfähigkeit zu. Die größer werdenden Wärmeverluste müssen durch erhöhte Energiezufuhr (Heizen) auf Kosten des Umweltschutzes ausgeglichen werden.
- Zerstörung der Baustoffe.  
Je nach Baustoff führen Fäulnis und Korrosion zur Zersetzung, Auskristallisation gelöster Salze zu unschönen Ausblühungen und Gefügezerstörung. Bei Frosteinwirkung kann es zu Gefügesprengungen kommen.

Wasser/Feuchte, wovon alle Teile eines Gebäudes, vornehmlich aber die Außenbauteile, zu schützen sind, kann von außen oder innen auf das Gebäude einwirken und jeweils in verschiedener Art auftreten, → □ **3.3.1/1.**

Ursachen der Feuchtebeanspruchung:

Von außen wirken

- Niederschlag –  
Wasser aus dem Wasserkreislauf in Form von Regen und Schnee.
- Bodenfeuchte –  
Feuchte infolge einsickernder Niederschläge und kapillar bewegten Grundwassers.
- Grundwasser –  
Wasser im Baugrund auf undurchlässiger Bodenschicht.
- Luftfeuchte –  
Wasserdampf in der Luft aus dem Wasserkreislauf.

Von innen wirken

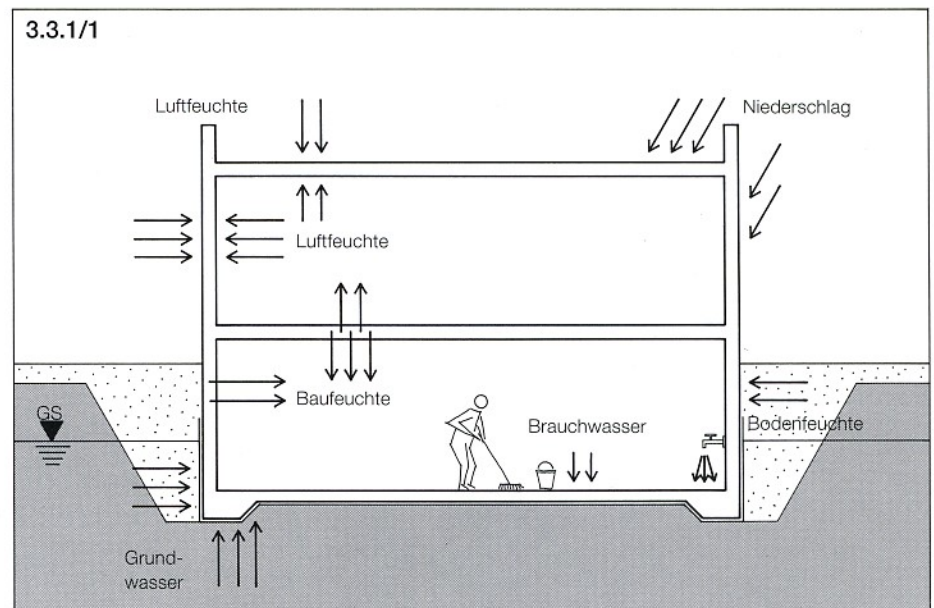
- Baufeuchte –  
Feuchte in Bauteilen aus dem Herstellungsprozeß.
- Brauchwasser –  
Wasser aus Küche, Bad und anderen Naßräumen sowie Wasser für die Gebäudereinigung.
- Luftfeuchte –  
Wasserdampf in der Luft aus dem Wasserkreislauf sowie Verdunstung infolge Haushalt und Feuchteabgabe der Bewohner.

Da viele der genannten Schäden nur unter Aufwendung beachtlicher finanzieller Mittel, viele Schäden aber überhaupt nicht zu beseitigen sind, müssen bereits in der Planungsphase intensive Überlegungen bezüglich der Feuchtebeanspruchung von Bauteilen angestellt werden und alle notwendigen konstruktiven und bauphysikalischen Maßnahmen getroffen werden, damit eine Durchfeuchtung der Bauteile vermieden wird.

Die Behandlung der aus den verschiedenen Ursachen entstehenden Probleme wird im allgemeinen unterschiedlichen Disziplinen (Lehrfächer) zugeordnet:

In der "Baukonstruktion" werden die konstruktiven Maßnahmen zur Bauteilabdichtung gegenüber Niederschlag, Bodenfeuchte, Grundwasser und Brauchwasser vorgestellt und dargelegt, in welcher Weise auf die Baufeuchte Rücksicht zu nehmen ist. Dazu wird auf die Bauteilkapitel dieser ARBEITSBLÄTTER hingewiesen.

In der "Bauphysik" wird der Einfluß der Luftfeuchte – in Verbindung mit der Lufttemperatur – beim Nachweis des klimabedingten Feuchteschutzes behandelt. Es werden die bauphysikalischen Vorgänge aufgrund unterschiedlicher Klimaverhältnisse zwischen innen und außen vorgestellt und beschrieben sowie konstruktive Maßnahmen zur Vermeidung von Tauwasserschäden aufgezeigt.



## Zustandsbeschreibung der Luft

### Temperatur und Feuchte

Der klimatische Zustand der Luft wird durch zwei Größen, die Temperatur und die Feuchte beschrieben.

Für die Angabe bestimmter Temperaturen verwendet man die Einheit Grad Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), für Temperaturunterschiede die Einheit Kelvin ( $\text{K}$ ).

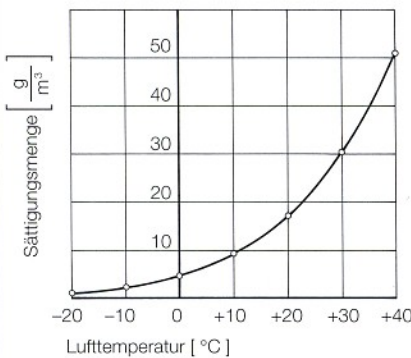
Temperatur  
 $\vartheta$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Temperaturunterschied  
 $\Delta\vartheta$  [ $\text{K}$ ]

Meßinstrument: Thermometer

Die Feuchte – Wasserdampf in der Luft – wird durch den Wasserkreislauf auf der Erde infolge Verdunstung und Niederschlag hervorgerufen. In Abhängigkeit von der Temperatur kann die Luft nur eine bestimmte Höchstmenge an Wasserdampf, die Wasserdampfsättigungsmenge  $W_s$ , aufnehmen,  $\rightarrow$  **3.3.1/2**.

### 3.3.1/2



Im allgemeinen ist in der Luft eine geringere Wasserdampfmenge, eine Wasserdampfteilmenge  $W$ , vorhanden. Dieser Feuchtezustand wird durch die relative Feuchte  $\varphi$  ausgedrückt:

$$\varphi = \frac{W}{W_s} = \frac{\text{Wasserdampfteilmenge}}{\text{Wasserdampfsättigungsmenge}}$$

relative Feuchte  
 $\varphi$  [%]

Meßinstrument: Hygrometer

Die relative Feuchte der Luft allein gibt noch keinen Aufschluß über die vorhandene Wasserdampfteilmenge  $W$  und umgekehrt, weil dabei der Einfluß der Lufttemperatur  $\vartheta$  zu berücksichtigen ist. Zum Beispiel kann kalte Luft mit hoher relativer Feuchte eine geringere Wasserdampfteilmenge enthalten als warme Luft mit niedriger relativer Feuchte,  $\rightarrow$  **3.3.1/3**.

### 3.3.1/3

Temperatur	Wasserdampfteilmenge	Wasserdampfsättigungsmenge	relative Feuchte
$\vartheta$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$W$ [ $\frac{\text{g}}{\text{m}^3}$ ]	$W_s$ [ $\frac{\text{g}}{\text{m}^3}$ ]	$\varphi$ [%]
10	7,51	9,39	80
30	15,18	30,36	50

### Dampfdruck

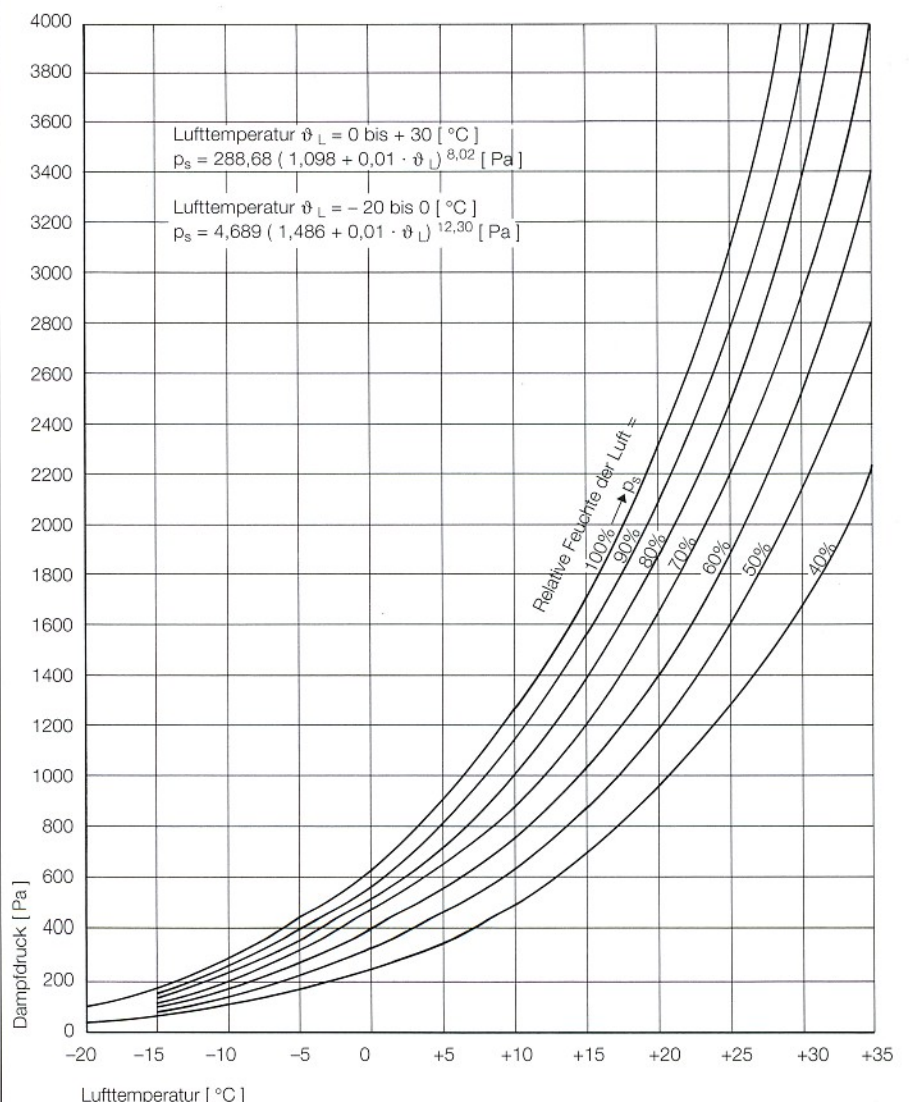
Für die Untersuchung bauphysikalischer Vorgänge verwendet man den zu jedem Klimazustand gehörenden Wasserdampfdruck – Partialdruck des Luftdruckes aus Wasserdampf –, kurz Dampfdruck bezeichnet. Der Dampfdruck ist abhängig von der Temperatur und der relativen Feuchte der Luft,  $\rightarrow$  **3.3.1/4**. Er wird in der Einheit Pascal ( $\text{Pa}$ ) angegeben.

Dampfdruck (bei  $\varphi < 100\%$ )  
 $p$  [ $\text{Pa}$ ]

Dampfsättigungsdruck (bei  $\varphi = 100\%$ )  
 $p_s$  [ $\text{Pa}$ ]

$$\text{Es gilt } \varphi = \frac{p}{p_s} \text{ bzw. } p = \varphi \cdot p_s$$

### 3.3.1/4



## Dampfdruckermittlung

Für die Untersuchung bauphysikalischer Vorgänge werden in Abhängigkeit von der Temperatur und der relativen Feuchte der Luft die Dampfdrücke, der Dampfteildruck und der Dampfsättigungsdruck, benötigt.

Für eine bestimmte Temperatur  $\vartheta$  ermöglicht  $\square$  3.3.1/5 die Ablesung des Dampfsättigungsdruckes  $p_s$ . Für vorgegebene relative Feuchte  $\varphi$  kann der Dampfteildruck ermittelt werden aus  $p = \varphi \cdot p_s$ .

Beispiel:

Für einen Raum wird angegeben  $\vartheta = 20 [^\circ\text{C}]$  und  $\varphi = 60\%$ .  
Wie groß sind  $p$  und  $p_s$ ?

$$p_s = 2340 \text{ [Pa]}$$

$$p = 0,60 \cdot 2340 = 1404 \text{ [Pa]}$$

3.3.1/5										
Temperatur $\vartheta [^\circ\text{C}]$	Dampfsättigungsdruck $p_s \text{ [Pa]}$									
	,0	,1	,2	,3	4	5	6	,7	,8	,9
30	4244									
29	4006	4030	4053	4077	4101	4124	4148	4172	4196	4219
28	3781	3803	3826	3848	3871	3894	3916	3939	3961	3984
27	3566	3588	3609	3631	3652	3674	3695	3717	3739	3759
26	3362	3382	3403	3423	3443	3463	3484	3504	3525	3544
25	3169	3188	3208	3227	3246	3266	3284	3304	3324	3343
24	2985	3003	3021	3040	3059	3077	3095	3114	3132	3151
23	2810	2827	2845	2863	2880	2897	2915	2932	2950	2968
22	2645	2661	2678	2695	2711	2727	2744	2761	2777	2794
21	2487	2504	2518	2535	2551	2566	2582	2598	2613	2629
20	2340	2354	2369	2384	2399	2413	2428	2443	2457	2473
19	2197	2212	2227	2241	2254	2268	2283	2297	2310	2324
18	2065	2079	2091	2105	2119	2132	2145	2158	2172	2185
17	1937	1950	1963	1976	1988	2001	2014	2027	2039	2052
16	1818	1830	1841	1854	1866	1878	1889	1901	1914	1926
15	1706	1717	1729	1739	1750	1762	1773	1784	1795	1806
14	1599	1610	1621	1631	1642	1653	1663	1674	1684	1695
13	1498	1508	1518	1528	1538	1548	1559	1569	1578	1588
12	1403	1413	1422	1431	1441	1451	1460	1470	1479	1488
11	1312	1321	1330	1340	1349	1358	1367	1375	1385	1394
10	1228	1237	1245	1254	1262	1270	1279	1287	1296	1304
9	1148	1156	1163	1171	1179	1187	1195	1203	1211	1218
8	1073	1081	1088	1096	1103	1110	1117	1125	1133	1140
7	1002	1008	1016	1023	1030	1038	1045	1052	1059	1066
6	935	942	949	955	961	968	975	982	988	995
5	872	878	884	890	896	902	907	913	919	925
4	813	819	825	831	837	843	849	854	861	866
3	759	765	770	776	781	787	793	798	803	808
2	705	710	716	721	727	732	737	743	748	753
1	657	662	667	672	677	682	687	691	696	700
0	611	616	621	626	630	635	640	645	648	653
-0	611	605	600	595	592	587	582	577	572	567
-1	562	557	552	547	543	538	534	531	527	522
-2	517	514	509	505	501	496	492	489	484	480
-3	476	472	468	464	461	456	452	448	444	440
-4	437	433	430	426	423	419	415	412	408	405
-5	401	398	395	391	388	385	382	379	375	372
-6	368	365	362	359	356	353	350	347	343	340
-7	337	336	333	330	327	324	321	318	315	312
-8	310	306	304	301	298	296	294	291	288	286
-9	284	281	279	276	274	272	269	267	264	262
-10	260	258	255	253	251	249	246	244	242	239
-11	237	235	233	231	229	228	226	224	221	219
-12	217	215	213	211	209	208	206	204	202	200
-13	198	197	195	193	191	190	188	186	184	182
-14	181	180	178	177	175	173	172	170	168	167
-15	165	164	162	161	159	158	157	155	153	152
-16	150	149	148	146	145	144	142	141	139	138
-17	137	136	135	133	132	131	129	128	127	126
-18	125	124	123	122	121	120	118	117	116	115
-19	114	113	112	111	110	109	107	106	105	104
-20	103									

**Wasserdampfdiffusion und Tauwasserbildung**

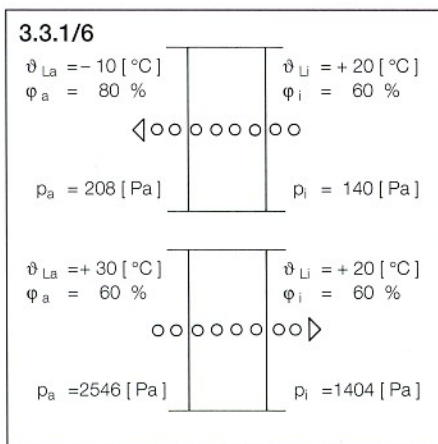
**Folgen aus Klimaunterschieden**

Aus der Abhängigkeit des Dampfdruckes von den Klimadaten Temperatur und relative Feuchte der Luft lassen sich im Hinblick auf klimatrennende Außenbauteile folgende Aussagen treffen:

1. Zu jeder Temperatur und relativen Feuchte gehört ein bestimmter Dampfdruck  $p$ .
2. Durch unterschiedliche Dampfdrucke beidseits eines Bauteiles entsteht Wasserdampfdiffusion durch das Bauteil.
3. Zu jeder Temperatur gehört ein bestimmter Dampfsättigungsdruck  $p_s$ .
4. Es kommt zur Tauwasserbildung, wenn bei gleichbleibender Temperatur die Wasserdampfmenge ansteigt (z.B. in Küchen) oder wenn bei gleicher Wasserdampfmenge die Temperatur abnimmt (z.B. an Fenstern), so daß die relative Feuchte auf  $\varphi = 100\%$  bzw. der Dampfdruck auf  $p = p_s$  ansteigt.

**Wasserdampfdiffusion**

Durch die Klimaunterschiede zwischen innen und außen entsteht durch die Außenbauteile Wasserdampfdiffusion, kurz **Diffusion** bezeichnet. Darunter versteht man eine Wasserdampfwanderung infolge der Dampfdruckunterschiede beidseits der Außenbauteile. Der Wasserdampf bewegt sich dabei vom Ort höheren Drucks zum Ort niederen Drucks, → □ 3.3.1/6.



**Tauwasserbildung**

Die Frage nach der Tauwasserbildung ist im Rahmen des klimabedingten Feuchteschutzes zu beantworten. Man unterscheidet dabei zwischen Tauwasserbildung auf Innenoberflächen von Bauteilen und Tauwasserbildung im Innern von Bauteilen.

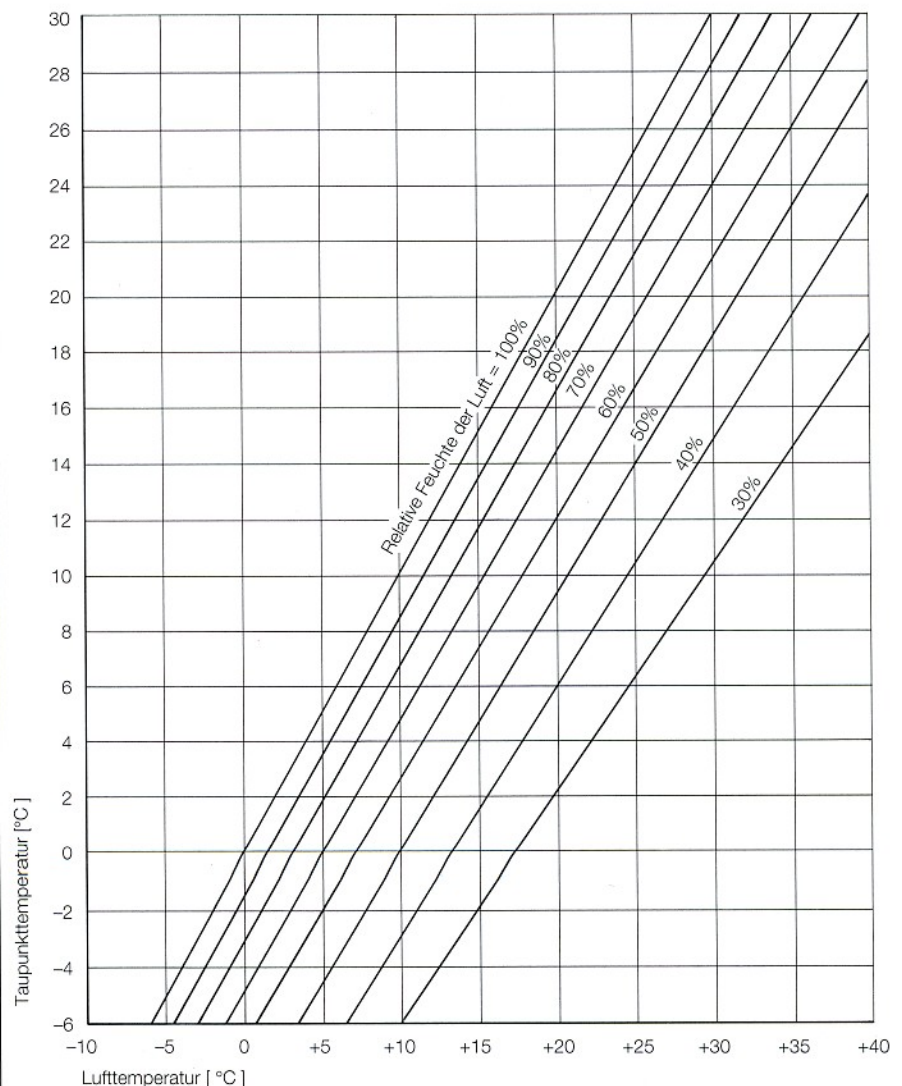
**Tauwasserbildung auf Innenoberflächen von Bauteilen**

Tauwasserbildung kommt zustande, wenn Raumluft an der Innenoberfläche eines Außenbauteils mit niedriger Temperatur abgekühlt und dadurch  $\varphi = 100\%$  erreicht wird. Die Temperatur, bei der Tauwasser ausfällt, nennt man Taupunkttemperatur  $\vartheta_s$  der Luft. Sie ist abhängig von ihrer Temperatur und relativen Feuchte, → □ 3.3.1/7. Die Überprüfung der Tauwasserbildung kann über den Vergleich der Temperaturen erfolgen:  $\varphi = 100\%$  heißt  $\vartheta = \vartheta_s$ .

**Tauwasserbildung im Innern von Bauteilen**

Tauwasser fällt aus, wenn im Innern des Bauteils  $\varphi = 100\%$  erreicht wird. Dabei ist zu beachten, daß sich im Bauteil neben der Temperatur auch der Dampfdruck ändert. Dadurch muß die Überprüfung der Tauwasserbildung über den Vergleich der Dampfdrucke vorgenommen werden:  $\varphi = 100\%$  heißt  $p = p_s$ .

3.3.1/7



## Baustoffkenngrößen und Bauteilkenngrößen

### Diffusionsleitkoeffizient

Unterschiedliche Dampfteildrücke beidseits eines Bauteiles führen zu einer Wasserdampfwanderung – Diffusion –, die durch die Wasserdampfdurchlässigkeit des Baustoffes beeinflusst wird. Das unterschiedliche Verhalten der Baustoffe wird durch den Diffusionsleitkoeffizienten beschrieben.

Diffusionsleitkoeffizient

$$\delta \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{Pa} \cdot \text{h}} \right] \quad \left[ \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{h}} \right]$$

Der Diffusionsleitkoeffizient gibt die Wasserdampfmenge [ kg ] an, die durch eine 1 [ m ] dicke Baustoffschicht bei folgenden Randbedingungen diffundiert:

$$A = 1 \text{ [m}^2\text{]} \quad \Delta p = 1 \text{ [Pa]} \quad t = 1 \text{ [h]}$$

### Diffusionswiderstandszahl

Der Diffusionsleitkoeffizient eines Baustoffes kann auch als Bruchteil des Wertes für Luft angegeben werden:

$$\delta = \frac{\delta_{\text{Luft}}}{\mu} = \frac{0,67 \cdot 10^{-6}}{\mu} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{Pa} \cdot \text{h}} \right]$$

Aus praktischen Gründen benutzt man für diffusionstechnische Berechnungen diese Relativzahl und bezeichnet sie als Diffusionswiderstandszahl.

Diffusionswiderstandszahl  $\mu$  (ohne Einheit)

Die Diffusionswiderstandszahl gibt an, wieviel mal größer der Diffusionswiderstand eines Baustoffes gegenüber Luft ist, → □ 3.3.2/1.

3.3.2/1	
(Bau-) Stoff	$\mu$
Luft	1
Beton	110
Glas	$\infty$
Mauerziegel	8
Holz	40
Styropor-Hartschaum	50
Bitumen-Dachbahn	45000
PE-Folie	90000

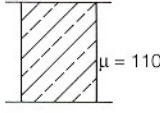
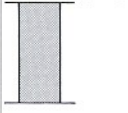
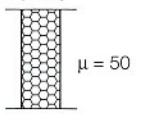
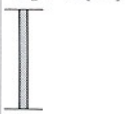
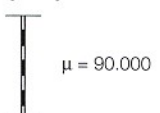
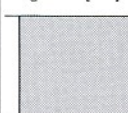
Für Berechnungen des klimabedingten Feuchteschutzes sind Rechenwerte der Diffusionswiderstandszahl für genormte Baustoffe in DIN 4108, Teil 4, angegeben.

### Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke

Die Diffusionswiderstandszahl  $\mu$  macht als reiner Baustoffkennwert noch keine Aussage über den Diffusionswiderstand einer Bauteilschicht. Dieser ist definiert als Produkt aus der Diffusionswiderstandszahl  $\mu$  und der Schichtdicke  $s$  [ m ] und wird als diffusionsäquivalente Luftschichtdicke bezeichnet.

Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke  $s_d = \mu \cdot s$  [ m ]

Die diffusionsäquivalente Luftschichtdicke gibt für eine Bauteilschicht die gleichwertige Luftschichtdicke hinsichtlich Diffusionsdichtigkeit an, → □ 3.3.2/2.

Bauteilschicht	Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke
Beton $s = 20$ [ cm ]  $\mu = 110$	$s_d = 22$ [ m ] 
Styropor-Hartschaum $s = 10$ [ cm ]  $\mu = 50$	$s_d = 5$ [ m ] 
PE - Folie $s = 1$ [ mm ]  $\mu = 90.000$	$s_d = 90$ [ m ] 

Bedeutung: Die diffusionsäquivalente Luftschichtdicke wird zur Überprüfung möglicher Tauwasserbildung im Innern von Bauteilen mit dem Aufbau, der in DIN 4108, Teil 3, beschrieben ist, herangezogen.

### Diffusionsdurchlaßkoeffizient

Der Diffusionsleitkoeffizient beschreibt stets die diffundierende Wasserdampfmenge durch eine 1 [ m ] dicke Baustoffschicht. Zur Beurteilung der diffundierenden Wasserdampfmenge durch eine Bauteilschicht ist der Diffusionsleitkoeffizient  $\delta$  durch die Schichtdicke  $s$  zu teilen.

Diffusionsdurchlaßkoeffizient

$$\Delta = \frac{\delta}{s}$$

$$\Delta = \frac{0,67 \cdot 10^{-6}}{\mu \cdot s} = \frac{0,67 \cdot 10^{-6}}{s_d} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{h}} \right]$$

Der Diffusionsdurchlaßkoeffizient gibt die Wasserdampfmenge [ kg ] an, die durch eine Bauteilschicht mit der Dicke  $s$  [ m ] bei folgenden Randbedingungen diffundiert:

$$A = 1 \text{ [m}^2\text{]} \quad \Delta p = 1 \text{ [Pa]} \quad t = 1 \text{ [h]}$$

### Diffusionsdurchlaßwiderstand

Der Diffusionsdurchlaßwiderstand kennzeichnet den Widerstand, den ein Bauteil der Wasserdampfdiffusion entgegensetzt. Dieser Widerstand ist als Kehrwert des Diffusionsdurchlaßkoeffizienten definiert.

Diffusionsdurchlaßwiderstand einschichtige Bauteile

$$\frac{1}{\Delta} = \frac{s}{\delta}$$

$$\frac{1}{\Delta} = \frac{s_d}{0,67 \cdot 10^{-6}} \left[ \frac{\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{h}}{\text{kg}} \right]$$

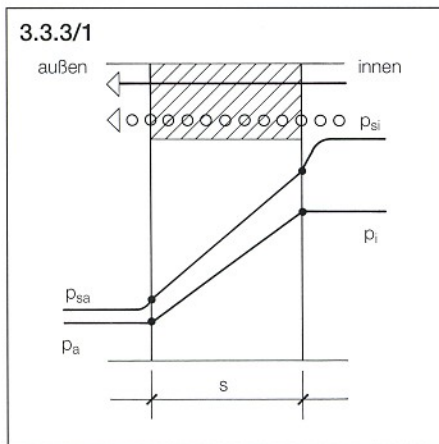
Diffusionsdurchlaßwiderstand mehrschichtige Bauteile

$$\frac{1}{\Delta} = \sum \frac{s_n}{\delta_n}$$

$$\frac{1}{\Delta} = \sum \frac{s_{dn}}{0,67 \cdot 10^{-6}} \left[ \frac{\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{h}}{\text{kg}} \right]$$

## Dampfdruckverläufe und ihre Bedeutung

Die Folge unterschiedlicher Klimaverhältnisse im Raum und im Außenbereich sind Wärmetransport und Wasserdampfwanderung (Diffusion) durch das trennende Bauteil. Zu diesen Vorgängen gehören im Bauteil ein ganz bestimmter Temperaturverlauf – ein zu diesen Temperaturen gehörender ganz bestimmter Dampfsättigungsdruckverlauf – und ein ganz bestimmter Dampfdruckverlauf, → □ 3.3.3/1.



Die Kenntnis der Dampfdruckverläufe ist für die Untersuchung möglicher Tauwasserbildung im Innern von Bauteilen ( $\varphi = 100\%$  heißt  $p = p_s$ ) und gegebenenfalls für die Ermittlung der diffundierenden Wassermengen von Bedeutung.

Der **Dampfsättigungsdruckverlauf** ist abhängig vom Temperaturverlauf. Zu den berechneten Temperaturen (vgl. 3.2.4) lassen sich die Dampfsättigungsdrücke nach □ 3.3.1/5 bestimmen.

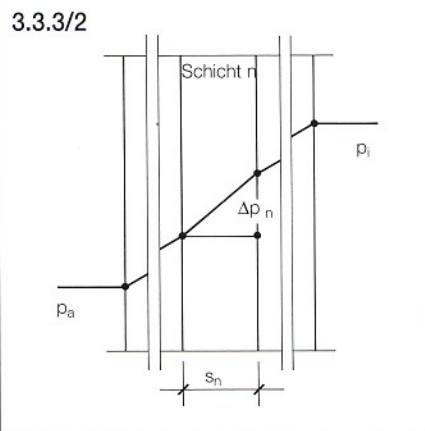
Der **Dampfdruckverlauf** ist abhängig von:

1. Dampfdruck beidseits des Bauteils
2. Diffusionswiderstandszahl und Dicke der Baustoffschichten.

Der Einfluß der Diffusionsübergangskoeffizienten ist vernachlässigbar.

Aus der Bedingung, daß durch jede Schicht die gleiche Wasserdampfmenge diffundieren muß, lassen sich die Dampfdruckdifferenzen in den einzelnen Schichten und damit der Dampfdruckverlauf ermitteln. Der Rechengang ist mit □ 3.3.3/2 in □ 3.3.3/3 bzw. □ 3.3.4/4 dargestellt.

## Berechnung des Dampfdruckverlaufs



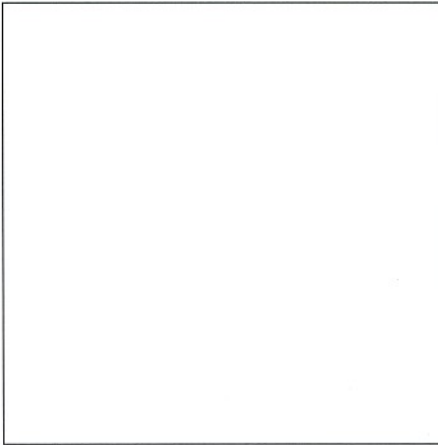
### 3.3.3/3

Dicken	$s_n$ [ m ]
Diffusionswiderstandszahlen und damit	$\mu_n$ (ohne Einheit)
Diffusionsleitkoeffizienten	$\delta_n = \frac{0,67 \cdot 10^{-6}}{\mu_n} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{Pa} \cdot \text{h}} \right]$
Diffusionsdurchlaßwiderstände	$\frac{1}{\Delta_n} = \frac{s_n}{\delta_n}$
Diffusionsdurchlaßwiderstand	$\frac{1}{\Delta} = \sum \frac{1}{\Delta_n} = \sum \frac{s_n}{\delta_n}$
Diffusionsübergangswiderstände	vernachlässigbar
Diffusionsdurchgangskoeffizient ≈ (Diffusionsdurchlaßkoeffizient)	$\Delta$
Dampfdruckdifferenzen	
innen	vernachlässigbar
im Bauteil	$\Delta p_n = \Delta \cdot \frac{1}{\Delta_n} (p_i - p_a)$
außen	vernachlässigbar

### 3.3.3/4

Dicken	$s_n$ [ m ]
Diffusionswiderstandszahlen	$\mu_n$ (ohne Einheit)
Diffusionsäquivalente Luftschichtdicken	$s_{dn} = \mu_n \cdot s_n$ [ m ]
Dampfdruckdifferenzen	
im Bauteil	$\Delta p_n = \frac{s_{dn}}{\sum s_{dn}} (p_i - p_a)$

**Tabellarische Ermittlung der Dampfdruckverläufe**



Schicht n		$\vartheta$ [°C]	$p_s$ [Pa]	$s_n$ [m]	$\mu_n$	$s_{dn}$	$\Delta p_n$	$p$ [Pa]
a	i			-	-	-	-	
i	a			-	-	-	-	
$\Sigma$								

## Qualitative Beurteilung von Bauteilvarianten

Unterschiedliche Dampfteildrücke im Raum und Außenbereich rufen Wasserdampf-Diffusion durch Außenbauteile hervor. Bei diesem Wasserdampftransport besteht die Gefahr, daß Tauwasser auf oder im Bauteil ausfällt. Die mögliche Tauwasserbildung auf der Innenoberfläche hängt alleine von der Wärmedämmfähigkeit, die mögliche Tauwasserbildung im Innern von der Schichtenfolge des Bauteils ab. Die Frage, ob in einem mehrschichtigen Bauteil mit Tauwasserausfall (Kondensation) zu rechnen ist, muß über den Vergleich der Dampfdrücke im Innern beantwortet werden. Sind die Dampfdruckverläufe (Dampfdruckkurven) durch das Bauteil bekannt, ist dieser Vergleich leicht möglich.

Tauwasser tritt auf, wenn die Kurve des Dampfteildruckes die des Dampfsättigungsdruckes erreicht oder übersteigt. – Eine Korrektur des Dampfteildruckverlaufs wegen der Bedingung  $p \leq p_s$  ist nur für die Bestimmung des Kondensationsortes und der Tauwassermenge vorzunehmen. –

Für grundsätzliche Überlegungen zur Schichtenfolge, vor allem aber für die vergleichende Untersuchung von Bauteilvarianten kann eine quantitative Beurteilung mit Hilfe rechnerisch ermittelter Dampfdruckkurven (siehe 3.3.3) durch eine **qualitative Beurteilung** aufgrund skizzenhafter Darstellung der Dampfdruckverläufe ersetzt werden, wenn nur der Zusammenhang zwischen Neigung der Dampfdruckkurven in den einzelnen Schichten und Baustoffqualität der jeweiligen Schicht berücksichtigt wird:

- Die Neigungen der Temperaturkurve (Dampfsättigungsdruckkurve) sind umgekehrt proportional den Wärmeleitfähigkeiten.
- Die Neigungen der Dampfteildruckkurve sind proportional den Diffusionswiderstandszahlen.

Beispiele zur qualitativen Beurteilung enthalten die nachfolgenden Darstellungen, → □ 3.3.4/1 und □ 3.3.4/2. Untersucht sind Bauteilvarianten im Hinblick auf

1. Lage der Wärmedämmschicht, → □ 3.3.4/1.

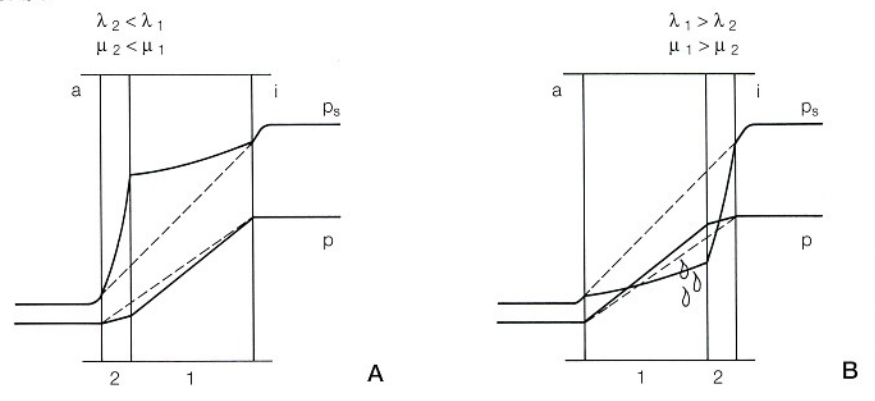
Variante A und B haben gleichen Wärmedurchgangskoeffizienten.

2. Lage der Dampfsperrschicht, → □ 3.3.4/2.

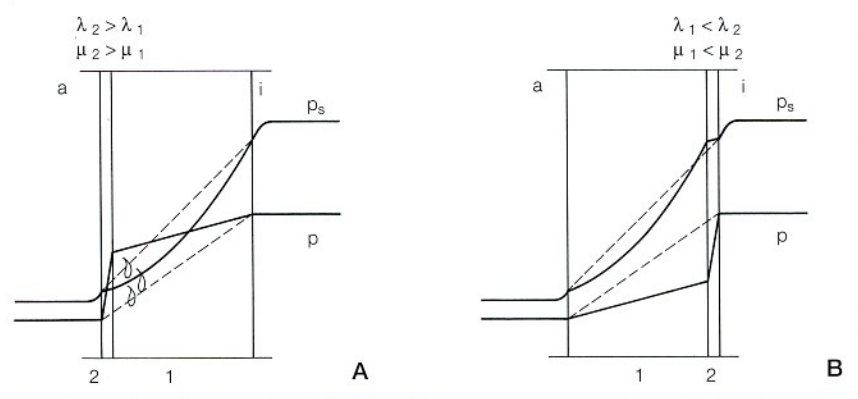
Variante A und B haben gleichen Wärmedurchgangskoeffizienten.

Aus den Darstellungen ist zu entnehmen, daß mit Tauwasser bei Anordnung der Wärmedämmschicht auf der Innenseite, → □ 3.3.4/1, bzw. bei Anordnung der Dampfsperrschicht auf der Außenseite, → □ 3.3.4/2, zu rechnen ist.

3.3.4/1



3.3.4/2



### Allgemeine Folgerungen

- Unterschiedliche Temperatur und relative Feuchte der Luft beidseits eines Außenbauteils bewirken Wärmeabfluß und Wasserdampf-Diffusion.
- Der Wärmedurchgangskoeffizient ist unabhängig von der Schichtenfolge des Bauteils.
- Die Schichtenfolge des Bauteils muß Rücksicht nehmen auf die Wasserdampf-Diffusion.

- Wärmedämmstoffe gehören grundsätzlich auf die kalte Seite ( $\lambda$  zur kalten Seite abnehmend).
- Dampfsperrstoffe gehören grundsätzlich auf die warme Seite ( $\mu$  zur warmen Seite zunehmend).
- Der Nachteil eines auf der warmen Seite liegenden Wärmedämmstoffes kann durch zusätzliche Anordnung einer Dampfsperre auf der warmen Seite ausgeglichen werden.



## Grundsätzliches

Ausgangsgröße für die Berechnung der diffundierenden Wassermengen durch eine Bauteilschicht oder -zone ist der

Diffusionsdurchlaßkoeffizient

$$\Delta = \frac{0,67 \cdot 10^{-6}}{s_d} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{h}} \right]$$

Die Berücksichtigung des Dampfdruckunterschiedes  $\Delta p$  in dieser Bauteilschicht oder -zone führt zur

Diffusionsstromdichte

$$i = \Delta \cdot \Delta p \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \right]$$

Bleibt der Dampfdruckunterschied über eine bestimmte Zeit  $t$  konstant, so erhält man in dieser Zeit die

diffundierende Wassermenge

$$w = i \cdot t \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$$

Die Berechnung der diffundierenden Wassermengen in einem Bauteil wird dann erforderlich, wenn aufgrund einer Beurteilung des Bauteiles hinsichtlich Diffusion mit Tauwasser zu rechnen ist. Dann müssen Kondensationsort, Tauwassermenge in der Tauperiode (Winter) und verdunstende Wassermenge in der Verdunstungsperiode (Sommer) ermittelt werden, um die erforderliche Verdunstung des anfallenden Tauwassers zu überprüfen. Hierzu wird für die Tauperiode und die Verdunstungsperiode jeweils der Dampfdruckverlauf durch das Bauteil benötigt, woraus die für die Berechnung erforderlichen Dampfdruckunterschiede entnommen werden können.

## Tauperiode

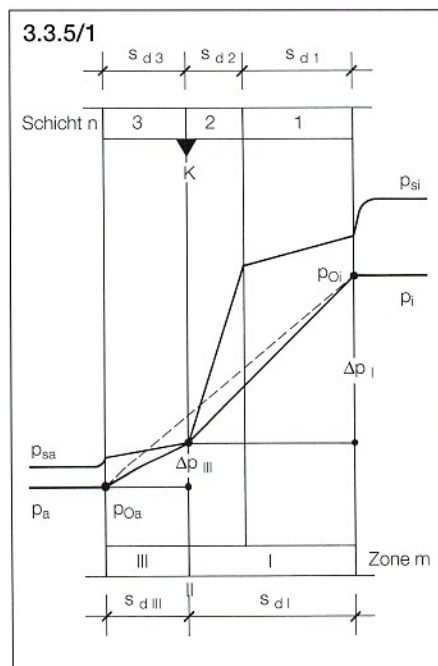
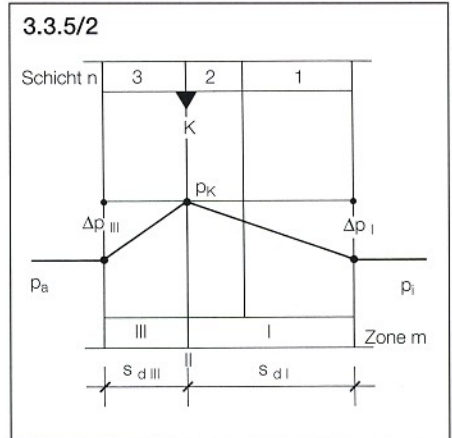
Tauwasser tritt auf, wenn die Kurve des Dampfteildruckes  $p$  die des Dampfsättigungsdruckes  $p_s$  übersteigt. Wegen  $p \leq p_s$  folgt die Kurve des Dampfteildruckes in der Kondensationszone der Kurve des Dampfsättigungsdruckes. Die Ermittlung des tatsächlichen (korrigierten) Dampfdruckverlaufs kann nach dem grafischen Verfahren von Glaser erfolgen, dessen Schritte nachfolgend stichwortartig beschrieben werden,  $\rightarrow$  **3.3.5/1**.

1. Rechnerische Ermittlung der Dampfdruckverläufe  $p$  und  $p_s$  unter Zugrundelegung der Klimadaten für die Tauperiode.
2. Maßstäbliche Darstellung der Bauteilschichten durch ihre diffusionsäquivalente Luftschichtdicken  $s_{d,n}$ . Auftrag der Dampfdruckverläufe. Der Dampfsättigungsdruck  $p_s$  ist eine gekrümmte Linie, der Dampfteildruck  $p$  wird eine Gerade zwischen  $p_{Oa}$  und  $p_{Oa}$ .
3. Der tatsächliche Verlauf des Dampfteildruckes  $p$  ergibt sich als Seilkurve an  $p_s$  mit den "Festpunkten"  $p_{Oa}$  und  $p_{Oa}$ . Das Bauteil wird in einzelne Diffusionszonen aufgeteilt, für die  $s_{d,m}$  und  $\Delta p_m$  abgelesen werden können.
4. Die Berührungsstelle der Dampfdruckkurve mit der Dampfsättigungsdruckkurve gibt den **Kondensationsort** an.
5. bis 7. Berechnung der Diffusionsdurchlaßkoeffizienten  $\Delta_m$  und der Diffusionsstromdichten  $i_m$  für die einzelnen Zonen sowie der **Tauwassermenge**  $w_T$ .

## Verdunstungsperiode

Zur Ermittlung der verdunstenden Wassermenge schließen sich folgende Schritte an,  $\rightarrow$  **3.3.5/2**:

8. Ermittlung des Dampfdruckverlaufes  $p$  unter Zugrundelegung der Klimadaten für die Verdunstungsperiode.
9. Auftrag des Dampfdruckverlaufs über den diffusionsäquivalenten Luftschichtdicken der Bauteilschichten  $s_{d,n}$  bzw. der Bauteilzonen  $s_{d,m}$ . Ablesung der Dampfdruckunterschiede  $\Delta p_m$ .
10. bis 12. Berechnung der Diffusionsdurchlaßkoeffizienten  $\Delta_m$  und der Diffusionsstromdichten  $i_m$  für die einzelnen Zonen sowie der **verdunstenden Wassermenge**  $w_v$ .



**Kondensationsort, Tauwassermenge und verdunstende Wassermenge bei Kondensation in einem Bereich**

**Tauperiode**

1. Ermittlung von  $p_s$  [ Pa ] und  $p$  [ Pa ]
2. Auftrag von  $p_s$  und  $p$  über  $s_d$  [ m ]
3. Dampfteildruckverlauf  
 $p$  ist Seilkurve an  $p_s$ ,  
es ergeben sich die Zonen I, II, III

**4. Kondensationsort: Bereich K**

$$s_{IIa} = \frac{S_{dIIa}}{\mu_3}$$

$$s_{IIi} = \frac{S_{dIIi}}{\mu_2}$$

$$s_{II} = s_{IIa} + s_{IIi} \text{ [ m ]}$$

**5. Diffusionsdurchlaßkoeff. [  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{h}}$  ]**

$$\Delta_{III} = \frac{0,67 \cdot 10^{-6}}{S_{dIII}}$$

$$\Delta_I = \frac{0,67 \cdot 10^{-6}}{S_{dI}}$$

**6. Diffusionsstromdichten [  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$  ]**

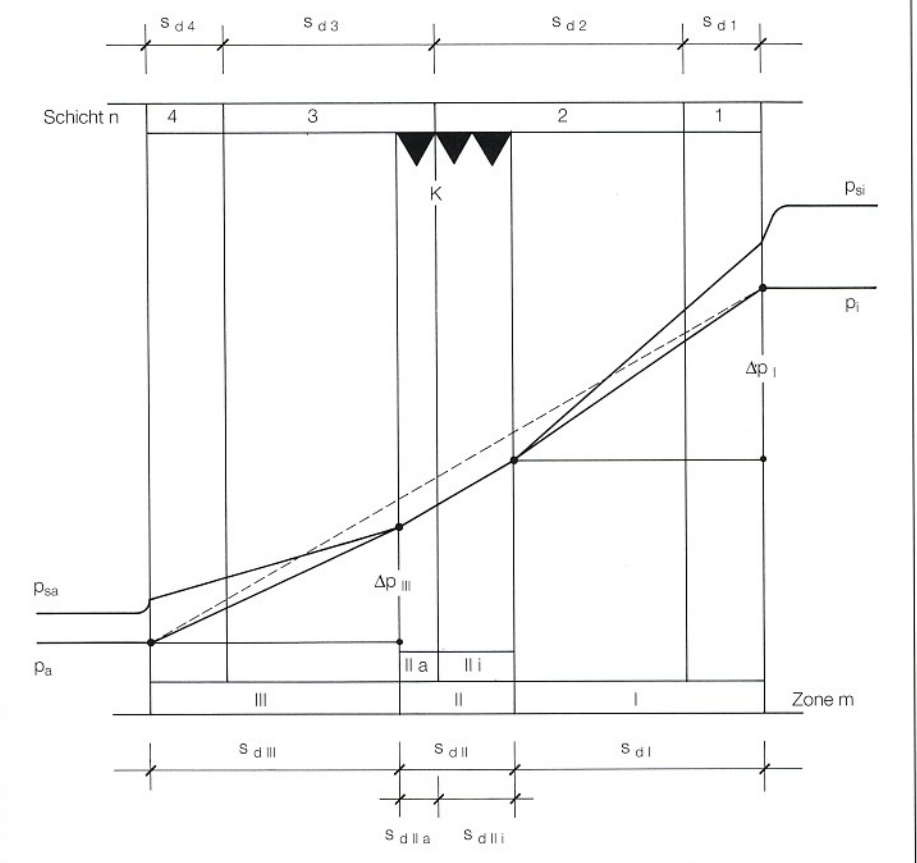
$$i_{III} = \Delta_{III} \cdot \Delta p_{III}$$

$$i_I = \Delta_I \cdot \Delta p_I$$

**7. Tauwassermenge [  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$  ]**

$$w_T = (i_I - i_{III}) \cdot t_T$$

3.3.5/3



**Verdunstungsperiode**

8. Ermittlung von  $p$
9. Dampfteildruckverlauf

**10. Diffusionsdurchlaßkoeff. [  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{h}}$  ]**

$$\Delta_{(III)} = \frac{0,67 \cdot 10^{-6}}{S_{d(III)}}$$

$$\Delta_{(I)} = \frac{0,67 \cdot 10^{-6}}{S_{d(I)}}$$

**11. Diffusionsstromdichten [  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$  ]**

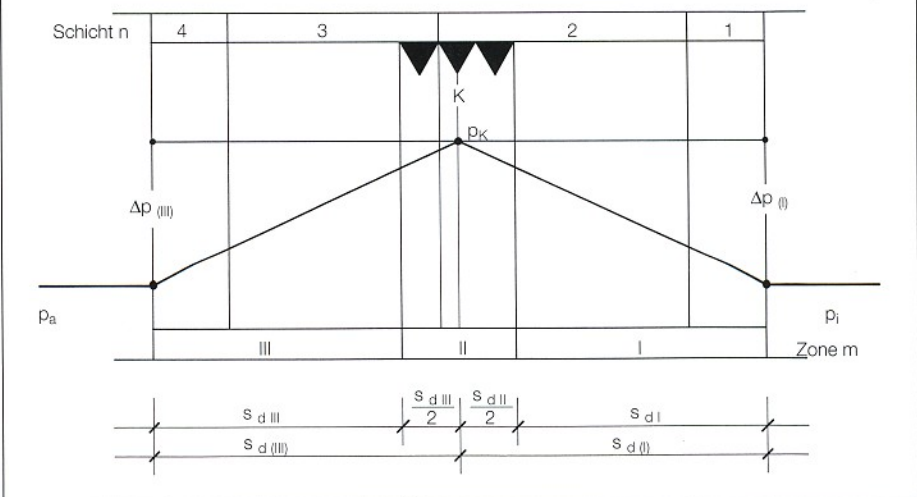
$$i_{(III)} = \Delta_{(III)} \cdot \Delta p_{(III)}$$

$$i_{(I)} = \Delta_{(I)} \cdot \Delta p_{(I)}$$

**12. Verdunstende Wassermenge [  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$  ]**

$$w_V = (i_{(I)} + i_{(III)}) \cdot t_V$$

3.3.5/4



**Kondensationsort, Tauwassermenge und verdunstende Wassermenge bei Kondensation in einer Ebene**

**Tauperiode**

1. Ermittlung von  $p_s$  [ Pa ] und  $p$  [ Pa ]
2. Auftrag von  $p_s$  und  $p$  über  $s_d$  [ m ]
3. Dampfteildruckverlauf  
 $p$  ist Seilkurve an  $p_s$ ,  
 es ergeben sich die Zonen I, II, III

4. **Kondensationsort:** Ebene K

5. Diffusionsdurchlaßkoeff.  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{h}} \right]$

$$\Delta_{III} = \frac{0,67 \cdot 10^{-6}}{s_{dIII}}$$

$$\Delta_I = \frac{0,67 \cdot 10^{-6}}{s_{dI}}$$

6. Diffusionsstromdichten  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \right]$

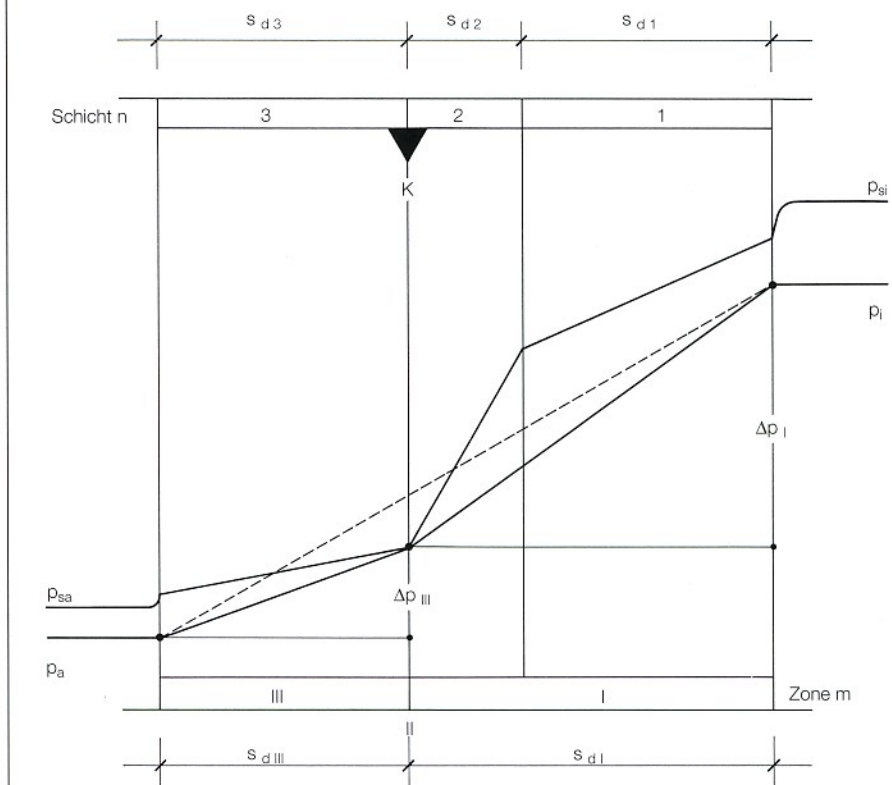
$$i_{III} = \Delta_{III} \cdot \Delta p_{III}$$

$$i_I = \Delta_I \cdot \Delta p_I$$

7. **Tauwassermenge**  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$

$$w_T = (i_I - i_{III}) \cdot t_T$$

3.3.5/5



**Verdunstungsperiode**

8. Ermittlung von  $p$
9. Dampfteildruckverlauf

10. Diffusionsdurchlaßkoeff.  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{h}} \right]$

$$\Delta_{III} = \frac{0,67 \cdot 10^{-6}}{s_{dIII}}$$

$$\Delta_I = \frac{0,67 \cdot 10^{-6}}{s_{dI}}$$

11. Diffusionsstromdichten  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \right]$

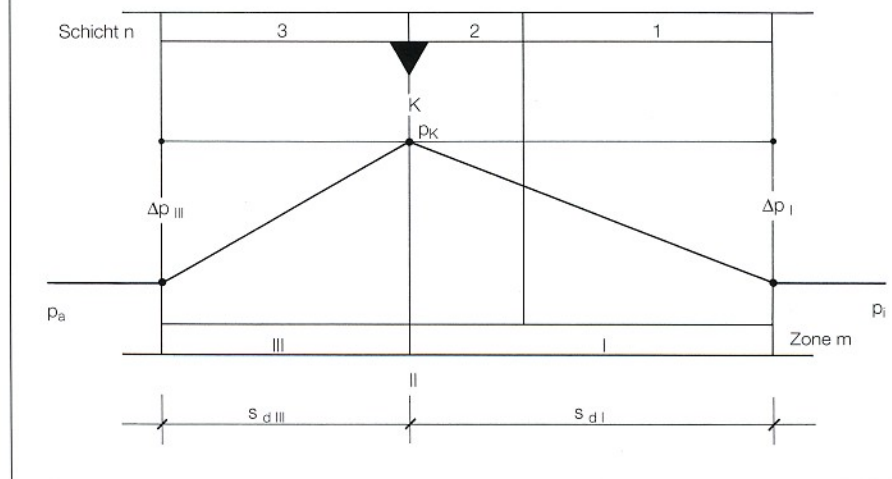
$$i_{III} = \Delta_{III} \cdot \Delta p_{III}$$

$$i_I = \Delta_I \cdot \Delta p_I$$

12. **Verdunstende Wassermenge**  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$

$$w_v = (i_I + i_{III}) \cdot t_v$$

3.3.5/6



**Kondensationsort, Tauwassermenge und verdunstende Wassermenge bei Kondensation in zwei Ebenen**

**Tauperiode**

1. Ermittlung von  $p_s$  [ Pa ] und  $p$  [ Pa ]
2. Auftrag von  $p_s$  und  $p$  über  $s_d$  [ m ]

3. Dampfteildruckverlauf  
 $p$  ist Seilkurve an  $p_s$ ,  
es ergeben sich die Zonen I, II, III

4. **Kondensationsort:** Ebene K 1 und K 2

5. Diffusionsdurchlaßkoeff.  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{h}} \right]$

$$\Delta_{III} = \frac{0,67 \cdot 10^{-6}}{s_{dIII}}$$

$$\Delta_{II} = \frac{0,67 \cdot 10^{-6}}{s_{dII}}$$

$$\Delta_I = \frac{0,67 \cdot 10^{-6}}{s_{dI}}$$

6. Diffusionsstromdichten  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \right]$

$$i_{III} = \Delta_{III} \cdot \Delta p_{III}$$

$$i_{II} = \Delta_{II} \cdot \Delta p_{II}$$

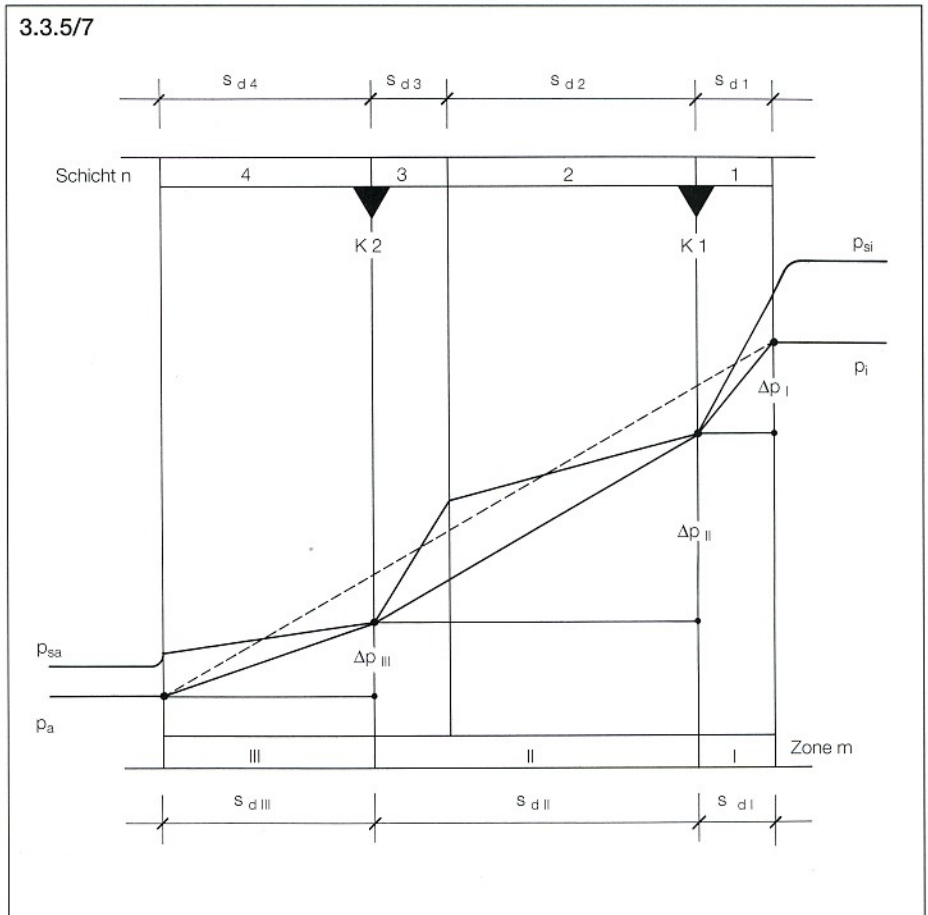
$$i_I = \Delta_I \cdot \Delta p_I$$

7. **Tauwassermenge**  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$

$$w_{T1} = (i_I - i_{II}) \cdot t_T \quad \text{in K 1}$$

$$w_{T2} = (i_{II} - i_{III}) \cdot t_T \quad \text{in K 2}$$

3.3.5/7



**Verdunstungsperiode**

8. Ermittlung von  $p$
9. Dampfteildruckverlauf

10. Diffusionsdurchlaßkoeff.  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{h}} \right]$

$$\Delta_{III} = \frac{0,67 \cdot 10^{-6}}{s_{dIII}}$$

$$\Delta_I = \frac{0,67 \cdot 10^{-6}}{s_{dI}}$$

11. Diffusionsstromdichten  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \right]$

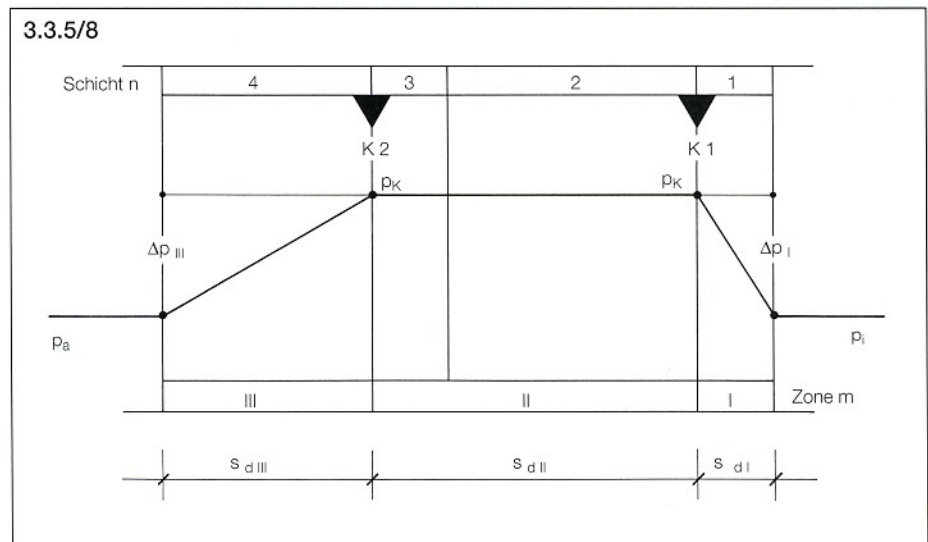
$$i_{III} = \Delta_{III} \cdot \Delta p_{III}$$

$$i_I = \Delta_I \cdot \Delta p_I$$

12. **Verdunstende Wassermenge**  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$

$$w_V = (i_I + i_{III}) \cdot t_V$$

3.3.5/8



### Anforderungen

#### Allgemeines

Die Außenbauteile eines Gebäudes haben die Aufgabe, den Menschen vor Umwelteinflüssen zu schützen. Den daraus resultierenden Belastungen müssen die Bauteile standhalten, ohne dabei Schaden zu nehmen. Der Belastung aufgrund unterschiedlicher Klimaverhältnisse zwischen innen und außen ist besondere Aufmerksamkeit zu schenken, da sie nicht sichtbar und weniger als andere Belastungen spürbar ist. Wird sie nicht beachtet, können gravierende Bauschäden und Gefahren für die Gesundheit des Menschen entstehen. Im Rahmen des klimabedingten Feuchteschutzes ist zu untersuchen, daß infolge Wasserdampf-Diffusion und möglicher Tauwasserbildung keine Feuchteschäden auftreten. Die dafür notwendigen konstruktiven Forderungen und bauphysikalischen Randbedingungen sind in DIN 4108 festgelegt.

#### Forderungen zur Vermeidung von (Schäden aus) Tauwasserbildung auf Innenoberflächen von Bauteilen

- a) Übliche Klimabedingungen  
Schäden aus Tauwasserbildung werden vermieden, wenn die minimalen Wärmedurchlaßwiderstände für Bauteile nach DIN 4108 nicht überschritten werden.

$$\text{vorh } \frac{1}{\Lambda} \geq \min \frac{1}{\Lambda}$$

- b) Beliebige Klimabedingungen  
Tauwasserbildung wird vermieden, wenn die Temperatur der Innenoberfläche größer bleibt als die Taupunkttemperatur der Luft; d.h. wenn der aus dieser Bedingung resultierende maximale Wärmedurchgangskoeffizient

$$\max k = \alpha_i \frac{\vartheta_{Li} - \vartheta_s}{\vartheta_{Li} - \vartheta_{La}}$$

nicht überschritten wird.

$$\text{vorh } k \leq \max k$$

Zahlenwerte für max k bei besonderen Klimabedingungen im Raum enthält **3.3.6/1**, Zahlenwerte für max k bei allgemeinen Klimabedingungen können **3.3.6/2** und **3** entnommen werden.

#### Forderungen zur Vermeidung von (Schäden aus) Tauwasserbildung im Innern von Bauteilen

- a) Standard-Bauteile  
Schäden aus Tauwasserbildung werden vermieden, wenn die Konstruktionsbedingungen der DIN 4108 berücksichtigt werden und das Bauteil die beschriebene Schichtenfolge erhält.
- b) Besondere Bauteile  
Tauwasserbildung wird vermieden, wenn an jeder Stelle des Bauteils der Dampfdruck kleiner als der Dampfsättigungsdruck bleibt.

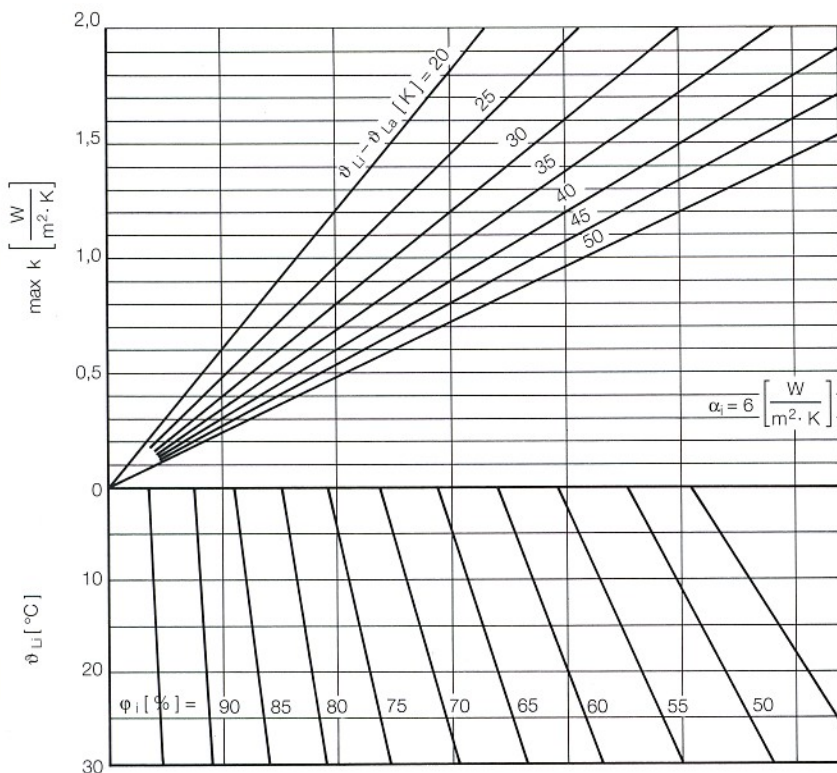
Wird diese Bedingung nicht erfüllt, so fällt Tauwasser aus und es müssen Forderungen eingehalten werden.

- Baustoffe, die mit dem Tauwasser in Berührung kommen, dürfen nicht geschädigt werden.
- Die während der Tauperiode anfallende Tauwassermenge darf Grenzwerte nicht überschreiten:  
1,0 [ kg/m<sup>2</sup> ] bei Dach- und Wandkonstruktionen.  
0,5 [ kg/m<sup>2</sup> ] an Berührungsflächen von kapillar nicht wasseraufnahmefähigen Schichten.
- Die Erhöhung der massebezogenen Feuchte von Holzbaustoffen darf Grenzwerte nicht überschreiten:  
5% bei Holz  
3% bei Holzwerkstoffen.
- Die während der Tauperiode anfallende Tauwassermenge muß in der Verdunstungsperiode wieder an die Umgebung abgegeben werden können.

3.3.6/1										
Maximale Wärmedurchgangskoeffizienten max k [ W/m <sup>2</sup> · K ]										
Vermeidung von Tauwasserbildung auf Innenoberflächen von Bauteilen										
Besondere Klimabedingungen im Raum										
$\vartheta_{Li}, \varphi_i, \vartheta_{La} = -15 [ ^\circ\text{C} ]$										
$\alpha_i = 6 \cdot \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$										
$\vartheta_{Li}$ [ °C ]	$\varphi_i$ [ % ]									
	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
10	2,37	2,06	1,77	1,51	1,24	1,00	0,79	0,57	0,38	0,19
12	2,24	1,95	1,66	1,39	1,17	0,95	0,73	0,53	0,35	0,17
14	2,13	1,84	1,57	1,34	1,11	0,91	0,70	0,51	0,33	0,16
16	2,01	1,74	1,50	1,27	1,06	0,85	0,65	0,48	0,30	0,15
18	1,92	1,67	1,43	1,21	0,99	0,81	0,63	0,47	0,30	0,14
20	1,83	1,59	1,37	1,16	0,95	0,78	0,61	0,44	0,29	0,13
22	1,76	1,54	1,31	1,11	0,92	0,74	0,58	0,42	0,27	0,13
24	1,70	1,47	1,26	1,07	0,89	0,72	0,56	0,41	0,26	0,13
26	1,63	1,41	1,22	1,03	0,86	0,70	0,54	0,39	0,26	0,13
28	1,59	1,38	1,18	1,00	0,83	0,66	0,53	0,39	0,25	0,12
30	1,54	1,33	1,14	0,97	0,81	0,65	0,50	0,37	0,23	0,11

**Anforderungen (Fortsetzung)**

3.3.6/2



Maximale Wärmedurchgangskoeffizienten  
 max k

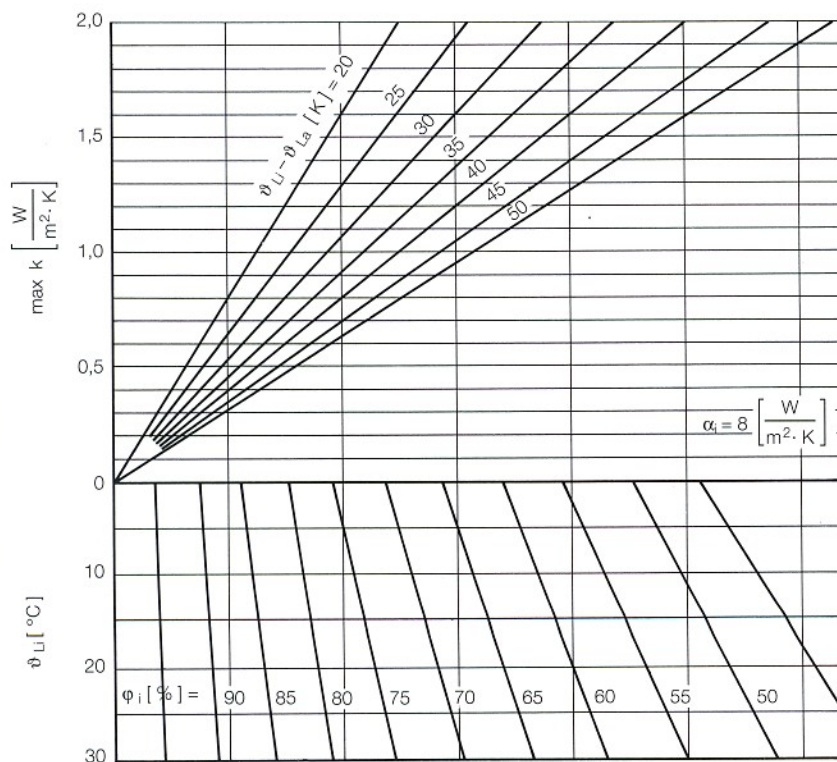
Vermeidung von Tauwasserbildung  
 auf Innenoberflächen von Bauteilen

Allgemeine Klimabedingungen

$\vartheta_{Li}$ ,  $\varphi_i$ ,  $\vartheta_{La}$ ,

$$\alpha_i = 6 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

3.3.6/3



Maximale Wärmedurchgangskoeffizienten  
 max k

Vermeidung von Tauwasserbildung  
 auf Innenoberflächen von Bauteilen

Allgemeine Klimabedingungen

$\vartheta_{Li}$ ,  $\varphi_i$ ,  $\vartheta_{La}$ ,

$$\alpha_i = 8 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

## Berechnung

### Berechnungsformeln und Berechnungshinweise

Wärmedurchlaßwiderstand

$$\text{vorh } \frac{1}{\Lambda} = \sum \frac{s_n}{\lambda_n} = \frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + \dots$$

Wärmedurchgangskoeffizient

$$\text{vorh } k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_a} + \frac{1}{\Lambda} + \frac{1}{\alpha_i}}$$

Dampfdruckverläufe

siehe 3.3.3

Kondensationsort

Tauwassermenge

Verdunstende Wassermenge

siehe 3.3.5

### Daten

3.3.6/4			
Rohdichte, Wärmeleitfähigkeit und Diffusionswiderstandszahl für Baustoffe			
Baustoff	$\rho \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$	$\lambda \left[ \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$	$\mu$
Lochziegel (DIN 105)	1200	0,50	5/10
	1400	0,58	5/10
Kalksandstein (DIN 106)	1200	0,56	5/10
	1400	0,70	5/10
Gipskartonplatten (DIN 18180)	900	0,21	8
Normalbeton (DIN 1045)	2400	2,10	70/150
Kalkzementputz	1800	0,87	15/35
Kalkgipsputz	1400	0,70	10
Anhydritestrich	2100	1,20	25
Zementestrich	2000	1,40	15/35
Stahl	7850	60	$\infty$
Flachglas	2500	0,80	$\infty$
Nadelholz (Fichte, Kiefer, Tanne)	600	0,13	40
Spanplatten (Flachpreßplatten)	700	0,13	50/100
Dachdichtungsbahnen	1200	0,17	50000
Styropor-Hartschaum	30	0,040	40/100

#### Wärmedurchlaßwiderstände von Luftschichten

siehe 3.2.3

#### Wärmeübergangskoeffizienten und Wärmeübergangswiderstände

siehe 3.2.3

#### 3.3.6/5

##### Klimadaten für Diffusionsuntersuchungen

<b>Tauperiode</b>	Dauer: 60 [ d ] = 1440 [ h ]
Außen	$\vartheta_{La} = -10 [ ^\circ\text{C} ]$ $\varphi_a = 80\%$
Innen	$\vartheta_{Li} = +20 [ ^\circ\text{C} ]$ $\varphi_i = 50\%$
<b>Verdunstungsperiode</b>	Dauer: 90 [ d ] = 2160 [ h ]
<b>Außenwände</b>	
Außen	$\vartheta_{La} = +12 [ ^\circ\text{C} ]$ $\varphi_a = 70\%$
Kondensationszone	$\vartheta_K = +12 [ ^\circ\text{C} ]$
	$\varphi_K = 100\%$
Innen	$\vartheta_{Li} = +12 [ ^\circ\text{C} ]$ $\varphi_i = 70\%$
<b>Decken gegen Außenluft von oben, Dächer</b>	
Außen	$\vartheta_{La} = +12 [ ^\circ\text{C} ]$ $\varphi_a = 70\%$
Kondensationszone	$\vartheta_K$ aus Temperaturverlauf mit $\vartheta_{Oa} = +20 [ ^\circ\text{C} ]$ und $\vartheta_{Oi} = +12 [ ^\circ\text{C} ]$
	$\varphi_K = 100\%$
Innen	$\vartheta_{Li} = +12 [ ^\circ\text{C} ]$ $\varphi_i = 70\%$