

**Rechnen mit hygrischen Größen****2.1 Wassergehalt, Wasseraufnahme und -abgabe**

Bei der dynamischen Simulation - z.B. mit dem Programm DK-solar der Delzer Kybernetik GmbH - ist es wichtig, die Definition der Rechengröße Startwassergehalt zu kennen: „Feuchte (Wassergehalt) ist in % vom möglichen Wassergehalt, wenn alle Poren mit Wasser gefüllt sind (Zahl im Zustandsvektor mal 100 ergibt %).“ Quelle: Delzer Kybernetik, 16.09.2005.

Das bedeutet, wenn man 50 eingibt, sind das 50 %. „Zahl im Zustandsvektor“ bedeutet, man liest oben in den Zahlenkolonnen für „Feuchte Außenfl. X, Schicht y“ 0,5000E-00 und das sind  $0,5 \times 1,0 \times 100 = 50$ . Eingabe 2.5 ergibt Anzeige 0.2500E-01:  $0,25 \times 0,1 \times 100 = 2,5$ .

Die praktische Bedeutung: 50% des füllbaren Porenvolumens sind mit Wasser gefüllt. Füllbar bedeutet hier drucklos füllbar, denn nur im Labor kann man die Luft (fast) vollständig aus den Poren austreiben. In der Praxis wird immer eine Restmenge Luft in den Poren bleiben.

Beispiel:

Ziegelwand mit 36,5 cm Vollziegeln  $\rho=1.200$  und Porenanteil 24% und Wassersättigung 50%

Startwassergehalt = 50 = 50%

Das bedeutet: 50% vom Porenanteil sind mit Wasser füllbar, und davon sind 50 % gefüllt.

Rechenweg:  $0,24 \times 0,50 \times 0,50 = 0,06 = 6 \text{ V.-%}$

Ergebnis: 6% des Volumens sind mit Wasser gefüllt, 18% mit Luft und 76% sind Ziegelmaterial.

Auf den Volumenanteil kommt man somit allemal und auch gleichbedeutend.

Unterschiede ergeben sich aufgrund der unterschiedlichen Rohdichten für die Massenanteile (M.-%).

1 m<sup>3</sup> Ziegel: 6,0 V.-% Wasser mit 1.000 kg/m<sup>3</sup> und 94,0 V.-% Ziegel mit 1.200 kg/m<sup>3</sup>

ergeben:

$1.000 \times 0,06 + 1.200 \times 0,94 = 60 + 1.128 = 1.188 \text{ kg/m}^3$

$60 / 1.188 = 0,05050 = 5,05 \text{ M.-%}$  für das Wasser bei 6,0 V.-% (Faktor = 0,8416)

$1.128 / 1.188 = 0,94949 = 94,95 \text{ M.-%}$  für den Ziegel bei 94,0 V.-% (Faktor = 1,0229)

Hierbei ist zu bemerken, dass es sich um eine sehr starke Vereinfachung handelt. Die bisherige Berechnung beinhaltet Wasser, Ziegel und Luft. Ziegelmauerwerk besteht aber aus Ziegeln und Mörtel und i.d.R. ist es beidseitig geputzt. Das Beispiel wird nachfolgend genau ausgerechnet.

1 m<sup>2</sup> der 365er Wand entspricht 0,365 m<sup>3</sup>. Bei 12 Schichten je 1 m benötigt man für diese Wandstärke 148 Steine. Normalformat bedeutet  $240 \times 115 \times 71 \text{ mm} = 0,001.959.6 \text{ m}^3$  je Stein und somit  $0,290.020.8 \text{ m}^3$  Ziegel je 1 m<sup>2</sup> (das sind 79,5 V.-%). Verbleiben für den Mörtel  $0,074.979.2 \text{ m}^3$  (das sind 20,5 V.-%).

Schicht	Dicke [mm]	Material	Anteil [V.-%]	Porenanteil [%]	Wassersättig. [%]	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]
1 Innenputz	15	Kalkmörtel	100,0%	28	50	1.800
2 Mauerwerk	365	Vollziegel NF	79,5%	24	50	1.200
		Kalkmörtel	20,5%	28	50	1.800
3 Außenputz	20	Kalkmörtel	100,0%	28	50	1.800

Tabelle 1. Schichtenaufbau der Wand

Schicht	Dicke [mm]	Material	Anteil [V.-%]	äqu. Schichtdicke [mm]	Anteil am Volumen
1 Innenputz	15	Kalkmörtel	100,0%	15,0	3,8%
2 Mauerwerk	365	Vollziegel NF	79,5%	290,2	72,5%
	365	Kalkmörtel	20,5%	74,8	18,7%
3 Außenputz	20	Kalkmörtel	100,0%	20,0	5,0%
Σ	400			400,0	100,0%

Tabelle 2: Wandgeometrie bezüglich der Volumenanteile

Die Tabellen 1 und 2 liefern die Ausgangsgrößen für das gewählte Beispiel. Die Materialkennwerte sind der Materialdatenbank entnommen: Spalten 1 und 66.

Die Rohdichte, auch Bulk-dichte, scheinbare oder geometrische Dichte genannt, ist die Dichte eines porösen Festkörpers basierend auf dem Volumen einschließlich der Poren-räume. Sie kann mit einem Medium gemessen werden, das nicht in die Poren eindringt, zum Beispiel Quecksilber. Dichte und Rohdichte unporöser Körper sind gleich.

Die Reindichte, auch Skelettdichte, absolute oder wahre Dichte genannt, ist die Dichte eines porösen Festkörpers basierend auf dem porenfreien Volumen, also ohne eine Berücksichtigung der Poren-räume. Für die Bestimmung der Reindichte muss der Feststoff solange aufgemahlen werden, bis die Poren aufgeschlossen sind.

Aufgrund der in Tabelle 1 angegebenen Porenwerte (Porenanteil in %) ergeben sich aus der Rohdichte bedeutend höhere Werte für die Reindichte: 2.500 kg/m<sup>3</sup> beim Mörtel und 1.580 kg/m<sup>3</sup> beim Ziegel. Das sind die eigentlichen Rechenwerte. Es verbietet sich mit der Rohdichte zu rechnen, da diese bereits gewichtslose Porenanteile (Luft) enthält.

<b>StWG = 5%</b>						
<b>Material</b>	<b>Anteil</b>	<b>PA (WS)</b>	<b>WG</b>	<b>LG</b>	<b>MG (res.)</b>	<b>Σ</b>
Kalkmörtel	3,8%	14,00%	0,70%	13,30%	86,00%	100,00%
Vollziegel	72,5%	12,00%	0,60%	11,40%	88,00%	100,00%
Kalkmörtel	18,7%	14,00%	0,70%	13,30%	86,00%	100,00%
Kalkmörtel	5,0%	14,00%	0,70%	13,30%	86,00%	100,00%
Σ	100,0%					
<b>Material</b>	<b>Anteil</b>	<b>PA</b>	<b>WG</b>	<b>LG</b>	<b>MG (res.)</b>	<b>Σ</b>
Kalkmörtel	3,8%	0,53%	0,03%	0,50%	3,23%	3,75%
Vollziegel	72,5%	8,71%	0,44%	8,27%	63,84%	72,54%
Kalkmörtel	18,7%	2,62%	0,13%	2,49%	16,09%	18,71%
Kalkmörtel	5,0%	0,70%	0,04%	0,67%	4,30%	5,00%
<b>ME = V.-%</b>	100,0%		0,63%	11,92%	87,45%	<b>100,00%</b>
<b>Schicht</b>	<b>Dicke [mm]</b>	<b>Material</b>	<b>WG</b>	<b>LG</b>	<b>MG (res.)</b>	<b>Σ</b>
1 Innenputz	15	Kalkmörtel	0,26	0,00	80,63	80,9
2 Mauerwerk	365	Vollziegel	4,35	0,00	1.007,98	1.012,3
		Kalkmörtel	1,31	0,00	402,18	403,5
3 Außenputz	20	Kalkmörtel	0,35	0,00	107,50	107,9
<b>ME = kg</b>		Σ	6,27	0,00	1.598,29	<b>1.604,6</b>
<b>Schicht</b>	<b>Dicke [mm]</b>	<b>Material</b>	<b>WG</b>	<b>LG</b>	<b>MG</b>	<b>Σ</b>
1 Innenputz	15	Kalkmörtel	0,02%	0,00%	5,02%	5,04%
2 Mauerwerk	365	Vollziegel	0,27%	0,00%	62,82%	63,09%
		Kalkmörtel	0,08%	0,00%	25,07%	25,15%
3 Außenputz	20	Kalkmörtel	0,02%	0,00%	6,70%	6,72%
<b>ME = M.-%</b>		Σ	0,39%	0,00%	99,61%	<b>100,00%</b>

Tabelle 3: Berechnungen zu den Volumen- und Massenanteilen im Schichtenaufbau der Wand

Legende:

StWG = Startwassergehalt; PA (WS) = Porenanteil, Wasser gesättigt = Produkt aus Porenanteil x Wassersättigung, siehe oben: 0,28 x 0,50 bzw. 0,24 x 0,50; WG = Wassergehalt entsprechend dem StWG, hier: 14% x 5% = 0,7%; LG = Luftgehalt entsprechend dem StWG, das ist der wasserfreie Rest des Porenvolumens; MG (res.) = der resultierende Materialgehalt; es gilt: Wassergehalt + Luftgehalt + Reinmaterialgehalt = 100%

Erläuterung:

Die erste Berechnungstabelle benötigt man, um – ausgehend vom festgelegten Startwassergehalt – den Wassergehalt der jeweiligen Schicht zu berechnen. In der zweiten Berechnungstabelle wird – ausgehend vom Anteil der jeweiligen Schicht am Gesamtvolumen – der Volumenanteil aller Komponenten (an 1 m<sup>2</sup> Wand) berechnet. Die Einheit ist V.-% und die Summe muss 100% sein. Anhand der Reindichte werden in der dritten Berechnungstabelle die Massenanteile aller Komponenten (an 1 m<sup>2</sup> Wand) berechnet. In der vierten Berechnungstabelle erfolgt die Umrechnung auf prozentuale Massenanteile. Die Einheit ist M.-% und die Summe muss wieder 100% sein.

Numerisch lassen sich diese Rechenschritte deutlich vereinfachen, da die Ausgangswerte ohnehin eingegeben sind und der Rest reine Tabellenkalkulation ist. Tabelle 3 soll die Rechenwege verdeutlichen. Setzt man unterschiedliche Werte für den Startwassergehalt fest, erhält man die Werte, die in Tabelle 4 zusammengestellt wurden.

<b>StWG</b>	<b>WG</b>	<b>LG</b>	<b>MG (res.)</b>
<b>5%</b>			
ME = V.-%	0,63%	11,92%	87,45%
ME = kg	6,27	0,00	1.598,29
ME = M.-%	0,39%	0,00%	99,61%
<b>10%</b>			
ME = V.-%	1,25%	11,29%	87,45%
ME = kg	12,55	0,00	1.598,29
ME = M.-%	0,78%	0,00%	99,22%
<b>15%</b>			
ME = V.-%	1,88%	10,67%	87,45%
ME = kg	18,82	0,00	1.598,29
ME = M.-%	1,16%	0,00%	98,84%
<b>20%</b>			
ME = V.-%	2,51%	10,04%	87,45%
ME = kg	25,10	0,00	1.598,29
ME = M.-%	1,55%	0,00%	98,45%
<b>25%</b>			
ME = V.-%	3,14%	9,41%	87,45%
ME = kg	31,37	0,00	1.598,29
ME = M.-%	1,93%	0,00%	98,07%
<b>30%</b>			
ME = V.-%	3,76%	8,78%	87,45%
ME = kg	37,65	0,00	1.598,29
ME = M.-%	2,30%	0,00%	97,70%
<b>35%</b>			
ME = V.-%	4,39%	8,16%	87,45%
ME = kg	43,92	0,00	1.598,29
ME = M.-%	2,67%	0,00%	97,33%
<b>40%</b>			
ME = V.-%	5,02%	7,53%	87,45%
ME = kg	50,20	0,00	1.598,29
ME = M.-%	3,05%	0,00%	96,95%
<b>45%</b>			
ME = V.-%	5,65%	6,90%	87,45%
ME = kg	56,47	0,00	1.598,29
ME = M.-%	3,41%	0,00%	96,59%
<b>50%</b>			
ME = V.-%	6,27%	6,27%	87,45%
ME = kg	62,75	0,00	1.598,29
ME = M.-%	3,78%	0,00%	96,22%

Tabelle 4: Ergebniszusammenstellung für verschiedene Startwassergehalte

Man erkennt in Tabelle 4 unveränderliche Werte: Gewicht und Gewichtsanteil der Luft wegen der „Masselosigkeit“ sowie Volumenanteil und Gewicht des Reinmaterials. Der Grund dafür ist simpel: Porenluft wiegt aufgrund der Umgebungsluft nicht mit und der Materialanteil ist unverändert, es verändert sich nur die Relation der Gewichtsanteile. Diese Tabelle lässt sich zusammenfassen.

StWG %	WG			LG V.-%	MG V.-%
	V.-%	kg	M.-%		
5,00%	0,63%	6,27	0,39%	11,92%	99,61%
10,00%	1,25%	12,55	0,78%	11,29%	99,22%
15,00%	1,88%	18,82	1,16%	10,67%	98,84%
20,00%	2,51%	25,10	1,55%	10,04%	98,45%
25,00%	3,14%	31,37	1,93%	9,41%	98,07%
30,00%	3,76%	37,65	2,30%	8,78%	97,70%
35,00%	4,39%	43,92	2,67%	8,16%	97,33%
40,00%	5,02%	50,20	3,05%	7,53%	96,95%
45,00%	5,65%	56,47	3,41%	6,90%	96,59%
50,00%	6,27%	62,75	3,78%	6,27%	96,22%

Tabelle 5: Ergebniszusammenfassung aus Tabelle 4

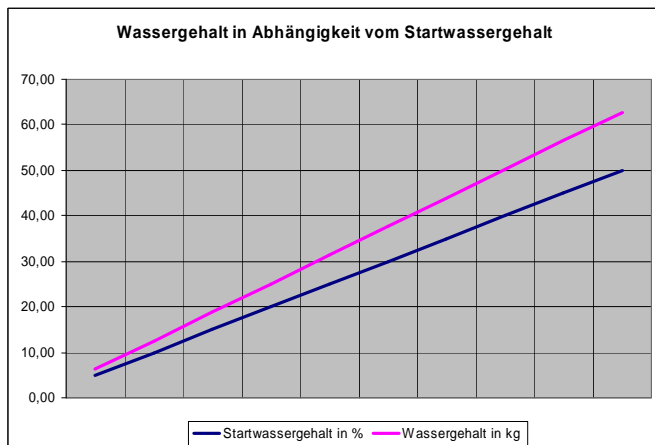


Bild 1: Wassergehalt in kg und Startwassergehalt in % für die Beispielwand

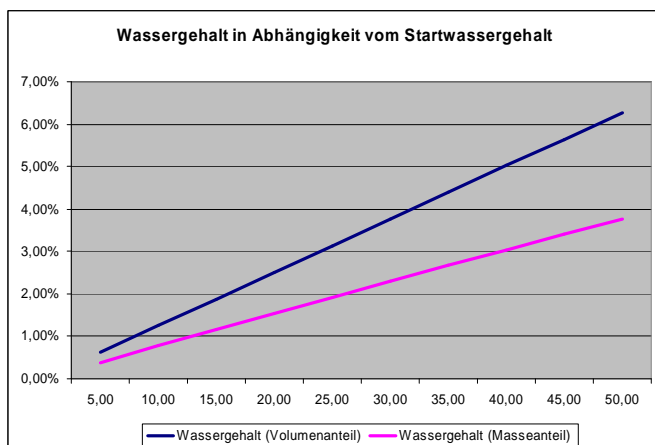


Bild 2: Wassergehalt in % (Volumenanteil) und Wassergehalt in % (Masseanteil)

Dass es sich um lineare Beziehungen handelt, sollte nicht verwundern. Es handelt sich um reine Verhältniszahlen. Das hier exerzierte analytische Verfahren soll verdeutlichen, welche Relationen sich

hinsichtlich der Feuchtegehalte ergeben und inwiefern die Bauteilgeometrie und die Materialeigenschaften eine Rolle spielen.

Die Berechnungstabellen hierzu sind als Spreadsheet verfügbar, so dass variable Berechnungen durchgeführt werden können. Wichtig sind jedoch wertende Betrachtungen zu den Ergebnissen, die ggf. Hinweise für weiter anzustellende Betrachtungen und Ansätze liefern.

Im Artikel „Sorption“ wird im Kapitel „Ausgleichsfeuchte“ beschrieben, wie sich die relativen Feuchtegehalte unterscheiden können. Bemerkenswerter jedoch dürfte die Tatsache sein, dass gemessene Werte der Baustofffeuchte insbesondere bei Dämmstoffen beträchtlich höher ausfallen als die genormten.

Baustoff	Relation M.-% : V.-%
Ziegel	1 : 1,8
Porenbeton	1,3 : 1
Holzwohleplatten	2,3 : 1
Holzfaserweichplatten	4 : 1
Polystyrol	67 : 1
Mineralfasermatten	10 : 1

Tabelle 6: Relationen von M.-% zu V.-% ausgewählter Baustoffe (nach Eichler)

Eine Berechnung wie eingangs, jetzt in der Leichtbau-Variante, soll die Auswirkungen der Rohdichten auf die Relationen verdeutlichen.

Schicht	Dicke [mm]	Material	Anteil [V.-%]	Poren- anteil [%]	Wasser- sättig. [%]	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]
1 Innenputz	12,5	Gipskarton	100,0%	65	50	900
2 Wandmat.	210	Holzbalken	25,0%	73	50	600
		Styropor	75,0%	95	50	15
3 Außenputz	19	Holzfaserpl.	100,0%	80	50	1.000

Tabelle 7. Schichtenaufbau der Wand, Var. Leichtbau

Schicht	Dicke [mm]	Material	Anteil [V.-%]	äqu. Schicht dicke [mm]	Anteil am Volumen
1 Innenputz	12,5	Gipskarton	100,0%	12,5	5,2%
2 Wandmat.	210	Holzbalken	25,0%	52,5	21,7%
	210	Styropor	75,0%	157,5	65,2%
3 Außenputz	19	Holzfaserpl.	100,0%	19,0	7,9%
Σ	241,5			241,5	100,0%

Tabelle 8: Wandgeometrie bezüglich der Volumenanteile, Var. Leichtbau

Die Tabellen 7 und 8 liefern die Ausgangsgrößen für das gewählte Beispiel. Die Materialkennwerte sind der Materialdatenbank entnommen: Spalten 62, 123, 143 und 154.

Aufgrund der in Tabelle 7 angegebenen Porenwerte (Porenanteil in %) ergeben sich aus der Rohdichte bedeutend höhere Werte für die Reindichte: 2.571 kg/m<sup>3</sup> für die Gipskartonplatten, 2.222 kg/m<sup>3</sup> für das Holz, 300 für das Styropor und 5.000 für die Pressspanplatten. Das sind die eigentlichen Rechenwerte. Es verbietet sich mit der Rohdichte zu rechnen, da diese bereits gewichtslose Porenanteile (Luft) enthält.

Die folgende Berechnung ist aus Tabelle 3 bekannt und damit vergleichbar.

**StWG = 5%**

Material	Anteil	PA (WS)	WG (WS)	LG (WS)	MG (res.)	Σ
Gipskarton	3,8%	32,50%	1,63%	30,88%	67,50%	100,00%
Holzbalken	22,8%	36,50%	1,83%	34,68%	63,50%	100,00%
Styropor	68,4%	47,50%	2,38%	45,13%	52,50%	100,00%
Holzfaserpl.	5,0%	40,00%	2,00%	38,00%	60,00%	100,00%
Σ	100,0%					

Material	Anteil	PA (WS)	WG (WS)	LG (WS)	MG (res.)	Σ
Gipskarton	3,8%	1,22%	0,06%	1,16%	2,53%	3,75%
Holzbalken	22,8%	8,33%	0,42%	7,91%	14,49%	22,81%
Styropor	68,4%	32,51%	1,63%	30,88%	35,93%	68,44%
Holzfaserpl.	5,0%	2,00%	0,10%	1,90%	3,00%	5,00%
<b>ME = V.-%</b>	100,0%		2,20%	41,85%	55,95%	<b>100,00%</b>

Schicht	Dicke [mm]	Material	WG (WS)	LG (WS)	MG (res.)	Σ
1 Innenputz	15	Gipskarton	0,61	0,00	65,09	65,7
2 Wandmat.	365	Holzbalken	4,16	0,00	321,91	326,1
		Styropor	16,25	0,00	107,79	124,0
3 Außenputz	20	Holzfaserpl.	1,00	0,00	150,00	151,0
<b>ME = kg</b>		Σ	22,03	0,00	644,79	<b>666,8</b>

Schicht	Dicke [mm]	Material	WG (WS)	LG (WS)	MG (res.)	Σ
1 Innenputz	15	Gipskarton	0,09%	0,00%	9,76%	9,85%
2 Wandmat.	365	Holzbalken	0,62%	0,00%	48,28%	48,90%
		Styropor	2,44%	0,00%	16,16%	18,60%
3 Außenputz	20	Holzfaserpl.	0,15%	0,00%	22,50%	22,64%
<b>ME = M.-%</b>		Σ	3,30%	0,00%	96,70%	<b>100,00%</b>

Tabelle 9: Berechnungen zu den Volumen- und Massenanteilen im Schichtenaufbau der Wand

StWG %	WG			LG V.-%	MG V.-%
	V.-%	kg	M.-%		
5,00	2,20%	22,03	3,30%	41,85	96,70
10,00	4,41%	44,05	6,40%	39,65	93,60
15,00	6,61%	66,08	9,30%	37,45	90,70
20,00	8,81%	88,11	12,02%	35,24	87,98
25,00	11,01%	110,13	14,59%	33,04	85,41
30,00	13,22%	132,16	17,01%	30,84	82,99
35,00	15,42%	154,19	19,30%	28,63	80,70
40,00	17,62%	176,21	21,46%	26,43	78,54
45,00	19,82%	198,24	23,52%	24,23	76,48
50,00	22,03%	220,27	25,46%	22,03	74,54

Tabelle 10: Ergebniszusammenfassung aus der Tabelle mit den variierenden StWG-Werten

Die Unterschiede der Werte aus Tabelle 10 (Var. Leichtbau) sind beträchtlich im Vergleich mit den Werten aus Tabelle 5 (Var. Massivbau), die dort mit 62,5 kg Wasser bei StWG 50% enden. Die Begründung liegt in den unterschiedlich hohen Porenanteilen: 24 bzw. 28% in der Variante Massivbau (siehe Tabelle 1) und 65 / 73 / 80 / 95 % in der Variante Leichtbau (siehe Tabelle 7).

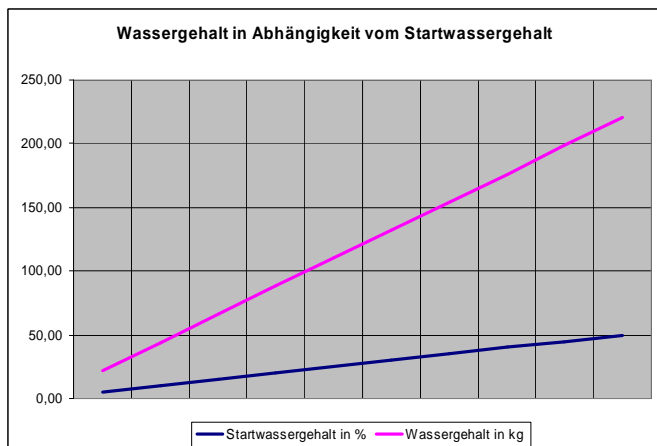


Bild 3: Wassergehalt in kg und Startwassergehalt in % für die Beispielwand, Var. Leichtbau

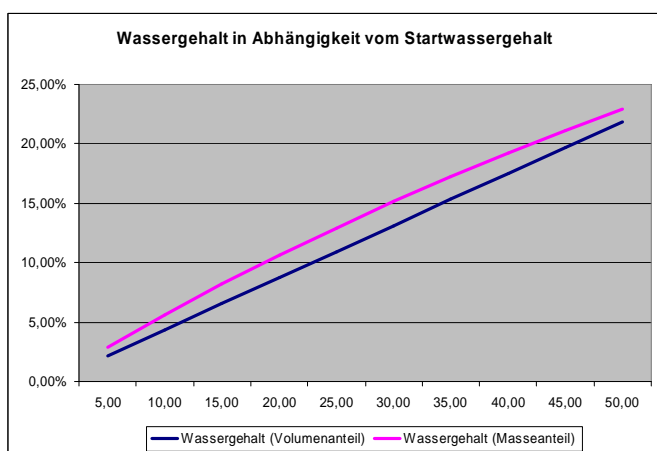


Bild 4: Wassergehalt in % (Volumenanteil) und Wassergehalt in % (Masseanteil), Var. Leichtbau

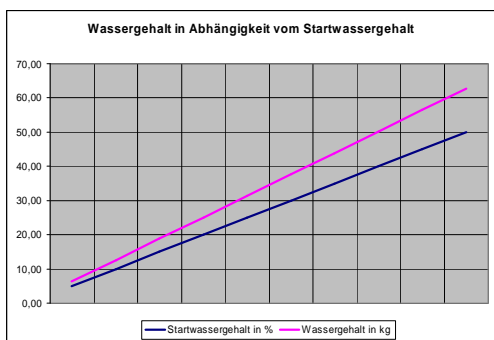


Bild 1

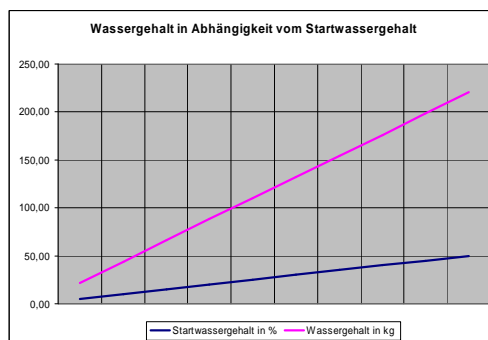


Bild 3

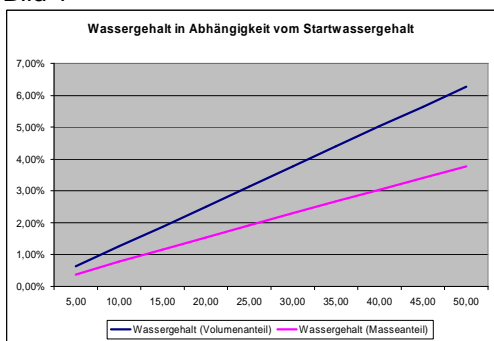


Bild 2

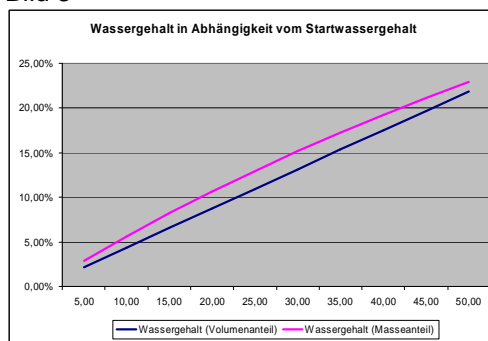


Bild 4

Bilder 1 bis 4 zusammengestellt zum Vergleich

Je nach Porosität und Rohdichte können sich die Feuchterelationen der Baustoffe stark unterscheiden und auch zu signifikanten Wirkunterschieden führen. Das Gleichnis vom nassen Pullover, der nicht wärmt, ist jedermann einleuchtend. Wer aber vermag abzuschätzen, in welchem Maße das Wärmeleit- und das Speichervermögen der Wandkonstruktion von der Feuchte beeinflusst werden?

Mit zunehmender Feuchte steigt die spezifische Wärmekapazität. Die spezifische Wärmekapazität (kurz "spezifische Wärme", Formelzeichen  $c$ ) ist jene Energiemenge, die man benötigt, um 1 kg eines Stoffes um 1° C zu erwärmen. Für Wasser beträgt sie 4.190 J/kg, für mineralische Baustoffe ist sie mit 1.000 J/kg normiert.

Die Bedeutung erkennt man an einem einfachen Rechenbeispiel. Im Fall A ist der Baustoff völlig trocken, Wasser mit 0 M.-%. Die spezifische Wärmekapazität beträgt  $0,0 \times 4.190 + 1,0 \times 1.000 = 1.000$ . Im Fall B gehen wir von 25 M.-% Wassergehalt aus. Die spezifische Wärmekapazität beträgt nunmehr  $0,25 \times 4.190 + 0,75 \times 1.000 = 1.797,5$ , also das rd. 1,8-fache.

Bevor mit der Wärmeschutzverordnung (WSchV) dem Bauteil Außenwand die energiebilanzrelevante Funktion der Wärmespeicherung abgesprochen wurde, kam in der DIN 4108 der Begriff der Wärmespeicherung in den Begriffserklärungen wie folgt vor:

### „3.11. Wärmespeicherung

Speicherung von Wärmemengen in einem Körper oder Bauteil bei seiner Erwärmung. Die Wärmespeicherung ist um so größer, je größer der Unterschied zwischen der Temperatur des Bauteils und der Temperatur der umgebenden Luft und je größer die Stoffwärme (3.12.) und die Masse (das Gewicht) des Bauteils sind.“

### „4.3 Wärmespeicherung

4.3.1 Wärmespeichernde Wände und Decken sind erforderlich, um im Winter eine zu schnelle Auskühlung der Räume bei nachlassen der Heizung und im Sommer eine zu rasche Erwärmung zu verhindern. Der Erfolg ist um so größer, je größer das Wärmespeichervermögen der Bauteile und je zweckmäßiger ihre Lage zur Außenluft ist.“

Quelle ist die DIN 4108 Wärmeschutz im Hochbau, hier zitiert aus der Ausgabe von Mai 1960. Damals war man sich noch der Bedeutung der Feuchte bewusst:

### „4.1.1 Die Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ ist bei festen Baustoffen abhängig ...

4.1.1.4 vom Feuchtigkeitsgehalt. Die starke Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit vom Feuchtigkeitsgehalt beruht auf der Verdrängung der Porenluft durch das Wasser, dessen Wärmeleitfähigkeit rund 25mal größer ist als die ruhender Luft in kleinen, fein verteilten Poren und auf dem Vorgang der Dampfdiffusion, der in den luftgefüllten Poren feuchter Stoffe beim Wärmedurchgang stattfindet.“  
Quelle: ebenda.

Wie gelangt die Feuchte in die Wand?

Luftfeuchte wird sorptiv aufgenommen. Bei der Anlagerung des Sorptivs (Wassermoleküle der Luftfeuchte, Wasserdampf) an die Oberfläche des Sorbens (hier: die Wandoberfläche: Mauerwerk, Putz, Farbe, Tapete...) spricht man von Adsorption, bei der Aufnahme ins Innere von Absorption.

Der gegenläufige Vorgang wird in beiden Fällen als Desorption bezeichnet. Da man Ad- und Absorption teilweise nicht eindeutig genug voneinander unterscheiden kann, führte J. W. McBain 1909 den Oberbegriff Sorption ein.

Baustoff	Ausgleichsfeuchte
Holz	14 %
Porenbeton	4,0 %
Kalkputz, außen	3,0 %
Vollziegel	1,5 %
Kalkmörtel	0,5 %

Tabelle 6: Ausgleichsfeuchten verschiedener Materialien (V.-% bei 75% rel.LF)

Schlagregen wird kapillar aufgenommen. Die Eigenschaft eines Baustoffes zur Wasseraufnahme ist abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit und Porosität und sie ist auch entscheidend für ihre Frostsicherheit.

Eine Fassadenbeschichtung sollte einen möglichst geringen Wasseraufnahmewert (kleiner  $w$ -Wert) und eine möglichst hohe Wasserdampfdurchlässigkeit (geringer  $s_d$ -Wert) aufweisen. Ein weiteres Qualitätskriterium ist rissefreies Auftrocknen des Anstrichfilms und dessen Fähigkeit, kleinere Risse im Untergrund zu überbrücken.

Der  $w$ -Wert ist das Maß der kapillaren Wasseraufnahme, angegeben wird er in  $\text{kg/m}^2\text{h}^{0,5}$ .  $\text{h}^{0,5}$  bedeutet  $\sqrt{h}$  (Wurzel aus). Wenn man den  $w$ -Wert einer Beschichtung mit 5 multipliziert, erhält man die Wassermenge, die in 24 h Beregnung durch 1  $\text{m}^2$  der Beschichtung aufgesaugt wird:  $w$ -Wert 0,1, dann werden in 24 Stunden über 1  $\text{m}^2$  Fläche 0,5 l bzw. kg Wasser aufgenommen.

Ein weiterer Wert wird mit der EN 1062 (Entsprechung ist die DIN 52617) eingeführt: der  $V$ -Wert. Aus der Relation  $V = 21 / s_d$  lässt sich bei bekanntem  $w$ -Wert die Austrocknungszeit für jede beliebige Wasseraufnahme bei 23°C berechnen. Bsp.:  $s_d$ -Wert = 0,02, dann beträgt der  $V$ -Wert =  $21 : 0,02 = 1.050 \text{ g/m}^2 \text{ d}$  (Gramm je  $\text{m}^2$  und Tag). Bei einem  $w$ -Wert von 0,1 beträgt die Wasseraufnahme 500  $\text{g/m}^2 \text{ d}$ . Die Austrocknung beträgt demnach rd. einen halben Tag. Bei nur 3°C (das sind 2x 10°C weniger als 23°C und somit ist die Austrocknungsgeschwindigkeit 2x halbiert, der  $V$ -Wert beträgt hier  $1.050 : 2 : 2 = 262,50$ ) dauert die Austrocknung 2 Tage.

Dass der  $w$ -Wert gering sein soll und der  $s_d$ -Wert auch, leuchtet ein: wenig Wasser soll aufgenommen werden, aber Feuchte soll rasch ausdiffundieren können. Bei allem Verständnis dafür, hierfür Formeln und Kennwerte finden zu wollen, sei auf ein entscheidendes Manko hingewiesen: das Alterungsverhalten wird nicht berücksichtigt. Das bedeutet, dass viele schöne Laborwerte in der Praxis nur kurzzeitig bzw. gar nicht auftauchen.

Zudem wird anhand der Wirkmechanismen von ThermoShield deutlich, dass die Vereinfachung „Wasseraufnahme kapillar – Wasserabgabe diffundiv“ nicht allgemein anzusetzen ist – zumindest nicht, wenn es um die Beschreibung der Wirkung einer Membrantechnologie geht. Zwar wurden für ThermoShield  $s_d$ -Werte von 0,02 gemessen (TNO, 2005), es sind aber auch andere Werte bekannt: 0,70 (IBP, 1999), 0,54 (EMPA, 2000), wobei es sich hierbei um importierte Ware handelt und seit 2003 ThermoShield in Berlin Pankow produziert wird.

Was in der Normung noch nicht berücksichtigt wird: für die thermokeramische Membrantechnologie ThermoShield sind 2  $s_d$ -Werte anzugeben. Der für den trockenen und der für den feuchten Zustand. Zum Verständnis hier ein Verweis auf die TNO-Werte aus 2005: 0,02 im feuchten und 1,7 im trockenen Bereich.

Die praktische Bedeutung liegt auf der Hand: im Sommer ist das Dampfdruckgefälle nach innen gerichtet, im Sommer werden die Gebäude feucht, im Winter werden sie trocken geheizt. Demnach kann der  $s_d$ -Wert im Sommer nicht hoch genug sein. Demnach ist ein sehr geringer  $s_d$ -Wert im Sommer nachteilig.

Es gibt noch eine weitere Eigenschaft der ThermoShield-Membran, die sich anhand der herkömmlichen Normen nicht beschreiben lässt: die begrenzte Wasseraufnahme, das heißt es wird bei Regen eine bestimmte Menge aufgenommen und dann riegelt die Membran ab.

Wie lässt sich der Feuchtetransport berechnen?

Für viele Baustoffe sind die Sorptionsisothermen weitgehend bekannt. Aus Wetterbeobachtungen lassen sich die langjährigen Mittel der  $relLF$  außen angeben. Für das Gebäudeinnere ist bekannt, dass die  $relLF$  im Winter stark abnimmt. Je nach Belegung und Nutzergewohnheit lassen sich temporäre Spitzen definieren, die aus Duschen und Kochen resultieren.

Aus Wetterbeobachtungen lassen sich die langjährigen Mittel der Niederschläge angeben, die sich allerdings auf horizontale Flächen beziehen. In der Regel gehen Niederschläge mit höheren Windgeschwindigkeiten einher, so dass meist von einer Benetzung der Wände auszugehen ist.

Bedeutend schwieriger ist es hingegen, brauchbare hygrische Werte für die Baustoffe zu bekommen. Hauptsächlich liegt das daran, dass man sich selbst herstellerseitig noch zu wenig damit befasst hat.

Dies mag durch die Situation motiviert sein, dass der Feuchtegehalt eines Baustoffes nach DIN 4108 unveränderlich ist.

Angesichts der Tatsache, dass Feuchtetransporte stets mit Energietransporten gekoppelt sind, dass der Wert der Wärmeleitfähigkeit stark vom Feuchtgehalt beeinflusst wird und dass der Faktor Feuchte nicht zuletzt angesichts ungelöster Probleme am Bau immer mehr an Aufmerksamkeit gewinnt, gewinnt die Betrachtung des hygrischen Verhaltens der Baustoffe an Bedeutung.

Mit einigen wenigen Werten und Gleichnissen scheint es jedoch nicht getan zu sein, wenn man bedenkt, dass Diffusions- und kapillare Leitungsvorgänge gleichzeitig gegengerichtet ablaufen können, was sogar partiell zu Kreislaufsituationen führen kann.

© SICC GmbH, dib, 24.10.2005