

Wasser im Mauerwerk

1. Wie gelangt Feuchte in das Mauerwerk?
2. Wie kann die Feuchteursache, Feuchtequelle ermittelt werden?
3. Verfahren der Sanierung von Feuchte-/Salzschäden
 - 3.1. Verfahren zur Horizontalabdichtung
 - 3.2. Sanierputz WTA
 - 3.3. Flächenabdichtung im Gründungsbereich

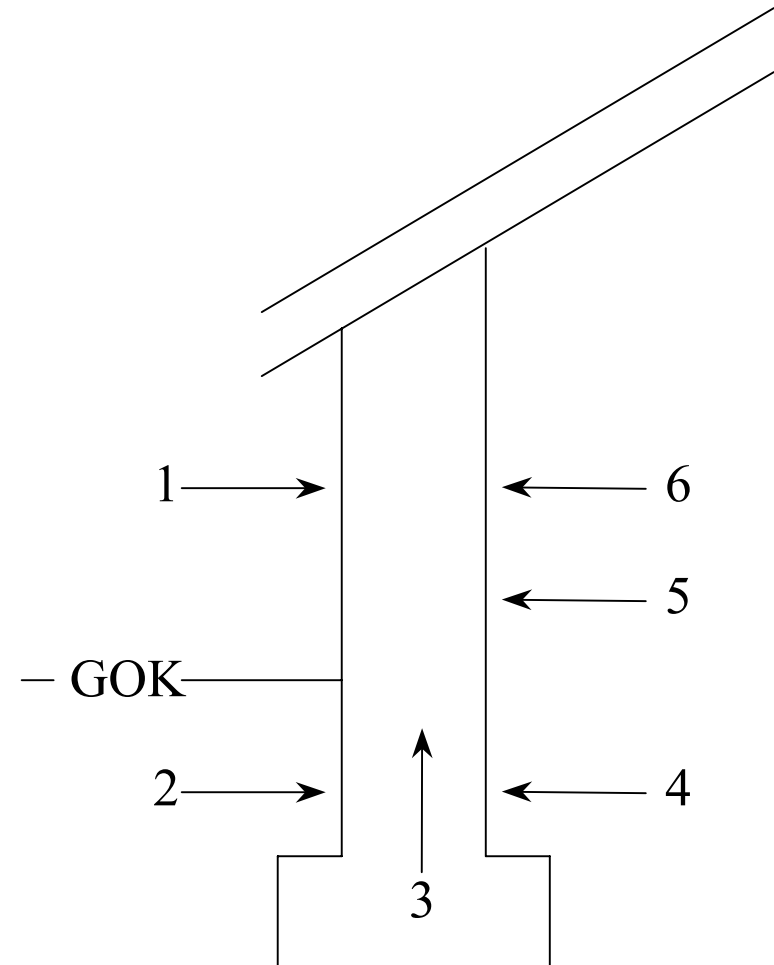
Wasseraufnahmemechanismen

Wasseraufnahme in flüssiger Form:

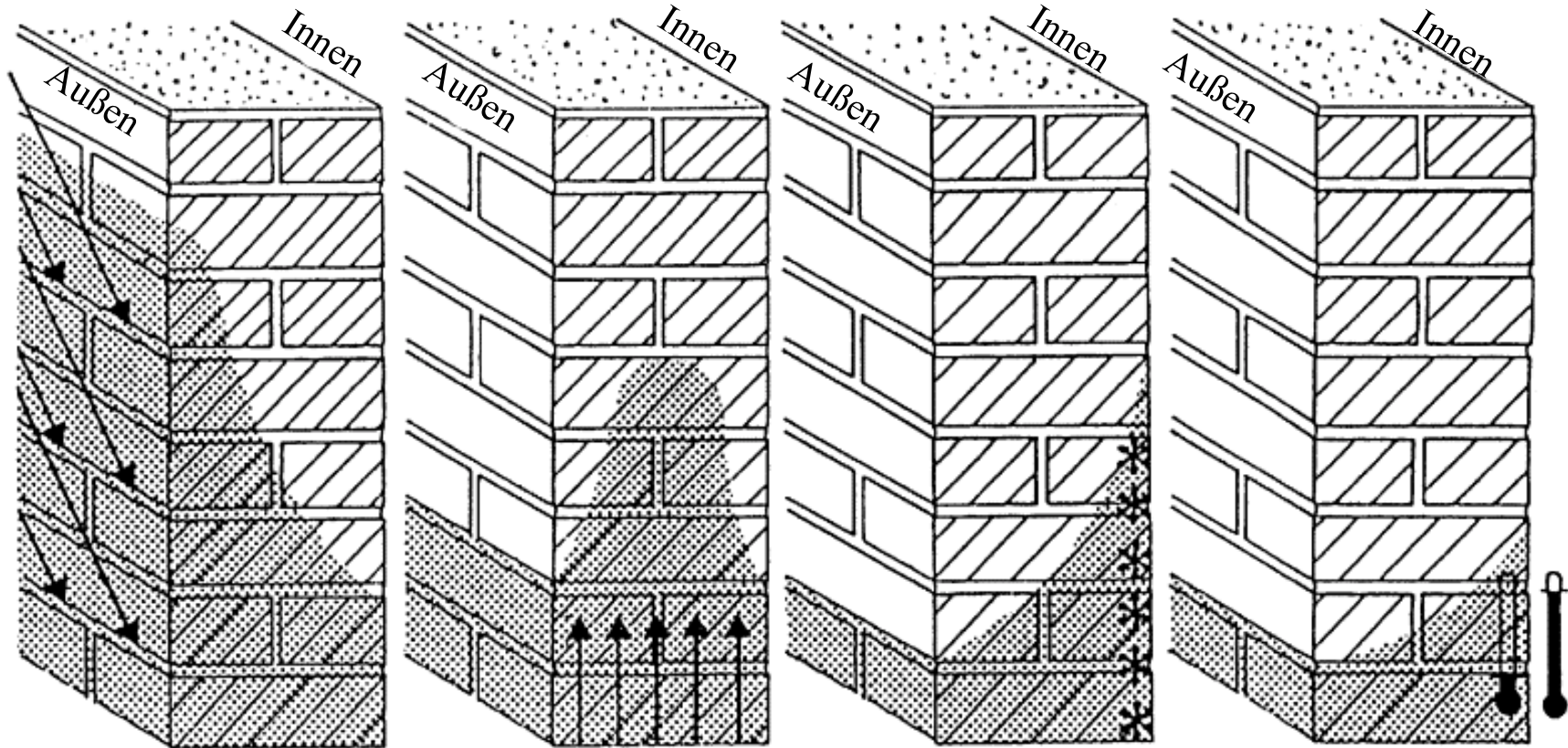
- 1 Regenwasser
- 2 Sickerwasser
- 3 aufsteigende Feuchtigkeit

Wasseraufnahme als Dampf:

- 4 Kapillarkondensation
- 5 hygroskopische Feuchtaufnahme
- 6 Kondensation



Feuchtaufnahmemechanismen



Regen-
beanspruchung

aufsteigende
Feuchtigkeit

hygroskopische
Feuchtebelastung

Kondensation

Kapillare Wasseraufnahme

Sauggeschwindigkeit:

$$V = K \cdot r$$

exakt:

$$V = \frac{dx}{dt} = \frac{r^2}{8\eta x} \left(\frac{2\sigma}{r} - g \cdot \rho \cdot x \right)$$

- r Kapillarradius in mm
- x Steighöhe des Wassers in m
- η Viskosität des Wassers in Ns/m²
- σ Oberflächenspannung des Wassers in N/m
- ρ Dichte des Wassers in kg/m³
- g Erdbeschleunigung (10 m/g²)

Steighöhe:

$$H_{\max} = \frac{2\sigma \cdot \cos\Theta}{r \cdot \rho \cdot g}$$

- H Steighöhe des Wassers in m
- r Kapillarradius in mm
- Θ Benetzungswinkel
- σ Oberflächenspannung des Wassers in N/m
- ρ Dichte des Wassers in kg/m³
- g Erdbeschleunigung (10 m/g²)

Kondensfeuchte

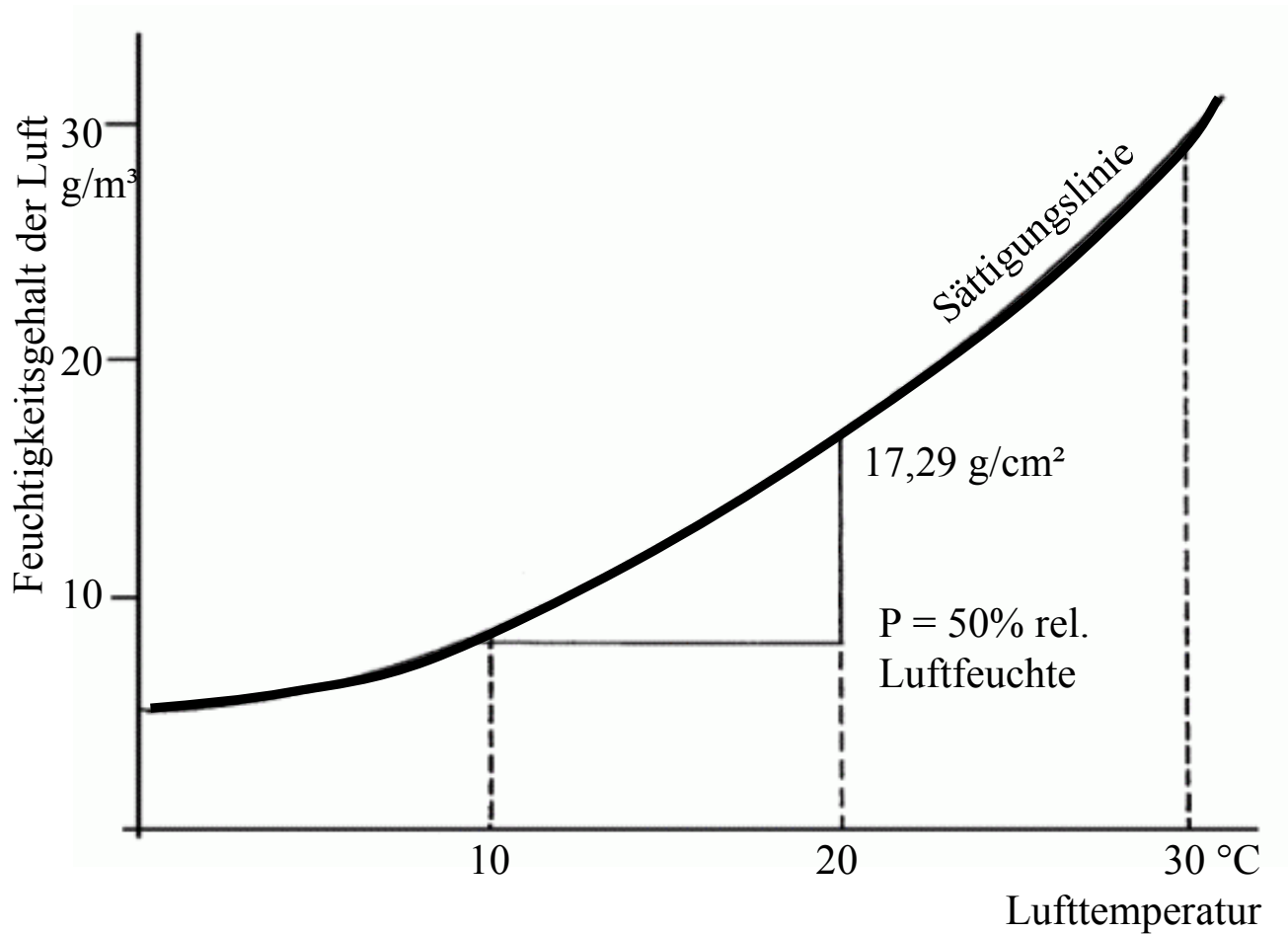
Luft- temperatur [C°]	Sättigung- feuchte [g/m³]	Taupunkt [°C] bei rel. Luftfeuchtigkeit von					
		50%	60%	70%	80%	90%	100%
+ 30	30,4	18,5	21,2	24,2	26,4	28,5	30,0
+ 22	19,4	11,1	13,9	16,3	18,4	20,3	22,0
+ 20	17,3	9,3	12,0	14,3	16,5	18,3	20,0
+ 10	9,4	0,1	2,6	4,8	6,7	8,4	10,0
± 0	4,5	- 8,1	- 5,6	- 3,8	- 2,3	- 0,9	± 0,0

$$\text{relative Luftfeuchtigkeit [\%]} = \frac{\text{Feuchtigkeitsgehalt [g/m}^3\text{]}}{\text{Sättigungsfeuchte [g/m}^3\text{]}} \cdot 100$$

Wasserdampfabgabe bei sitzender Tätigkeit:

Raumtemperatur	[°C]	18	20	22	25	30
Wasserabgabe	[g/h]	36	39	50	65	100

Sättigungsfeuchte der Luft



Schicht und Hangwasser

DARCY'sche Sickerströmung:

$$I = K \frac{dp}{dx}$$

dp Druckunterschied des anstehenden Wassers [N/m²]

dx Dicke des Bauteils [m]

I Massenstromdichte = g/s die durch 1m² Mauerfläche fließen

K spezifische Durchlässigkeit

Wasserkapazität:

$\phi_k \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^3} \right)$ Feuchtegehalt bei kapillarer Durchfeuchtung

$\phi_s \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^3} \right)$ maximale Porenfüllung mit Wasser (Sättigungsfeuchte)

Beispiel 1:

Sommerlüftung

Lüften untemperierter Altbauräume bei hohem Wassergehalt der Außenluft ($\approx 10 \text{ g/m}^3$ bei 22°C und 60% rel.LF.)

- Fall 1a: Erdgeschoß

ab 18°C nicht sichtbare Materialdurchfeuchtung (Schimmel, Rost, Algen...)

- Fall 1b: Kellergeschoß

unter 14°C Wasser Niederschlag (Hausschwamm, Schäden durch Wassereinwirkung)

Beispiel 2:

Winterbelüftung

Lüften beheizter Räume bei geringem Wassergehalt der Außenluft ($\approx 3 \text{ g/m}^3$ bei 0°C und 80% rel.LF.)

- Der beim Lüften austretende Wasserdampf wird trotz hoher relativer Außenfeuchte nicht ergänzt!

Kapillarkondensation

$$\ln \frac{p}{p_0} = - \frac{\sigma}{R \cdot \rho \cdot r \cdot T}$$

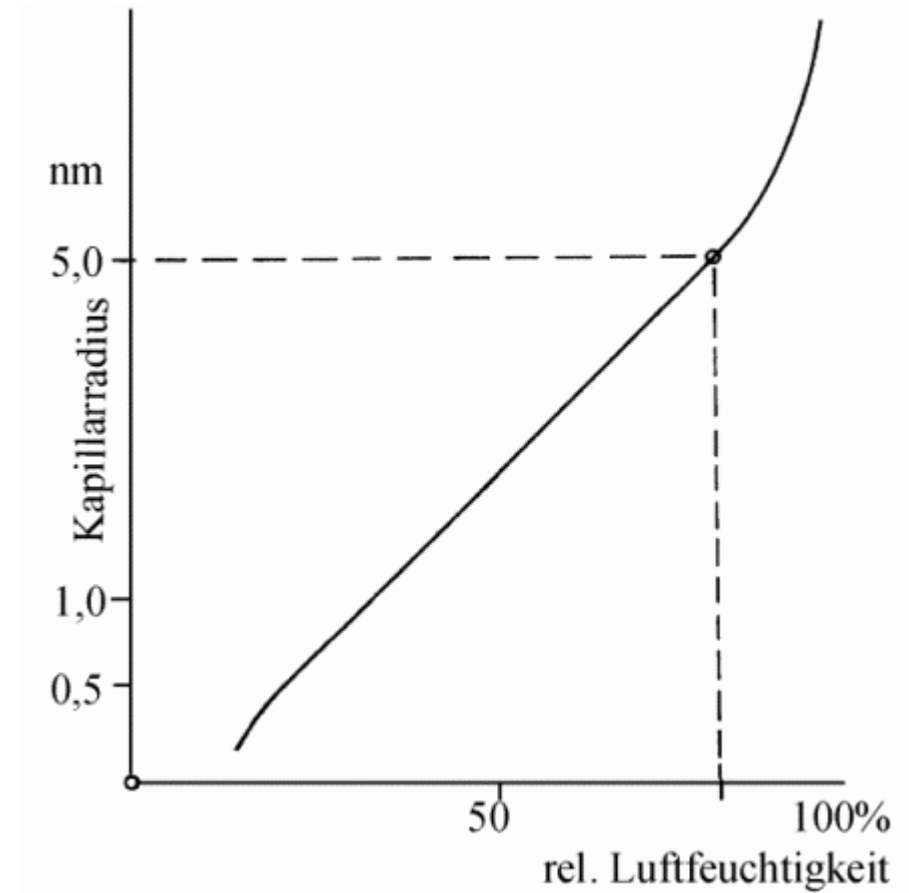
r Kapillarradius in m

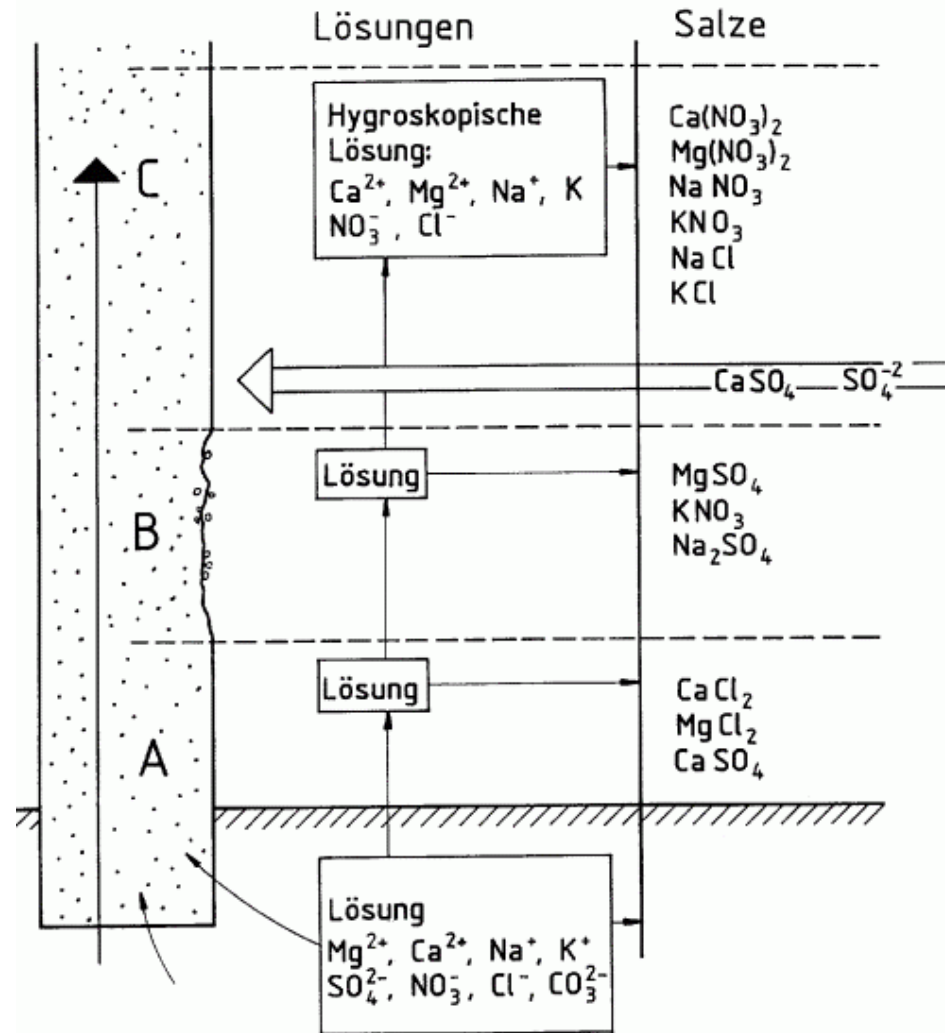
R Gaskonstante

T absolute Temperatur

σ Oberflächenspannung des Wassers in N/m

ρ Dichte des Wassers in kg/m³



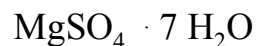


Löslichkeit von Salzen in Wasser

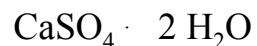
		g Salz / 100 ml Wasser	
		kalt	warm
CaCO ₃	Calciumcarbonat, Kalk	0,0015	0,0019
CaCl ₂	Calciumchlorid	75	159
Ca(NO ₃) ₂ · 4 H ₂ O	Calciumnitrat, Salpeter	266	660
Ca(NO ₃) ₂	Calciumnitrat	121	376
CaSO ₄ · 2 H ₂ O	Calciumsulfat, Gips	0,24	0,22
K ₂ CO ₃	Kaliumcarbonat, Pottasche	112	156
K ₂ CO ₃ · 2 H ₂ O	Kaliumcarbonat, Dihydrat	147	331
2 K ₂ CO ₃ · 3 H ₂ O	Kaliumcarbonat, Trihydrat	129	268
MgSO ₄ · 7 H ₂ O	Magnesiumsulfat, Bittersalz	71	91
MgCl ₂ · 6 H ₂ O	Magnesiumchlorid	167	367
Mg(NO ₃) ₂ · 6 H ₂ O	Magnesiumnitrat	125	--
Na ₂ SO ₄ · 10 H ₂ O	Natriumsulfat, Glaubersalz	11	92
Na ₂ CO ₃ · 10 H ₂ O	Natriumcarbonat, Soda	21	420
NaCl	Natriumchlorid	36	39
NaF	Natriumfluorid	4	--
BaSO ₄	Bariumsulfat	0,0002	0,0004
PbSO ₄	Bleisulfat	0,004	0,005
PbCl ₂	Bleichlorid	1	3

Die wichtigsten bauschädlichen Salze

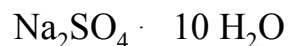
Sulfate



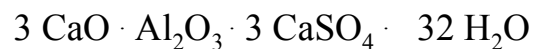
Bittersalz, Magnesiumsulfat



Gips, Calciumsulfat

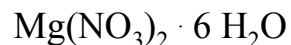


Glaubersalz, Natriumsulfat

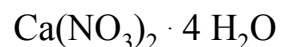


Ettringit

Nitrate



Magnesiumnitrat

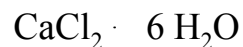


Calciumnitrat



Kalksalpeter

Chloride

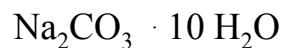


Calciumchlorid



Kochsalz, Natriumchlorid

Carbonate



Soda, Natriumcarbonat

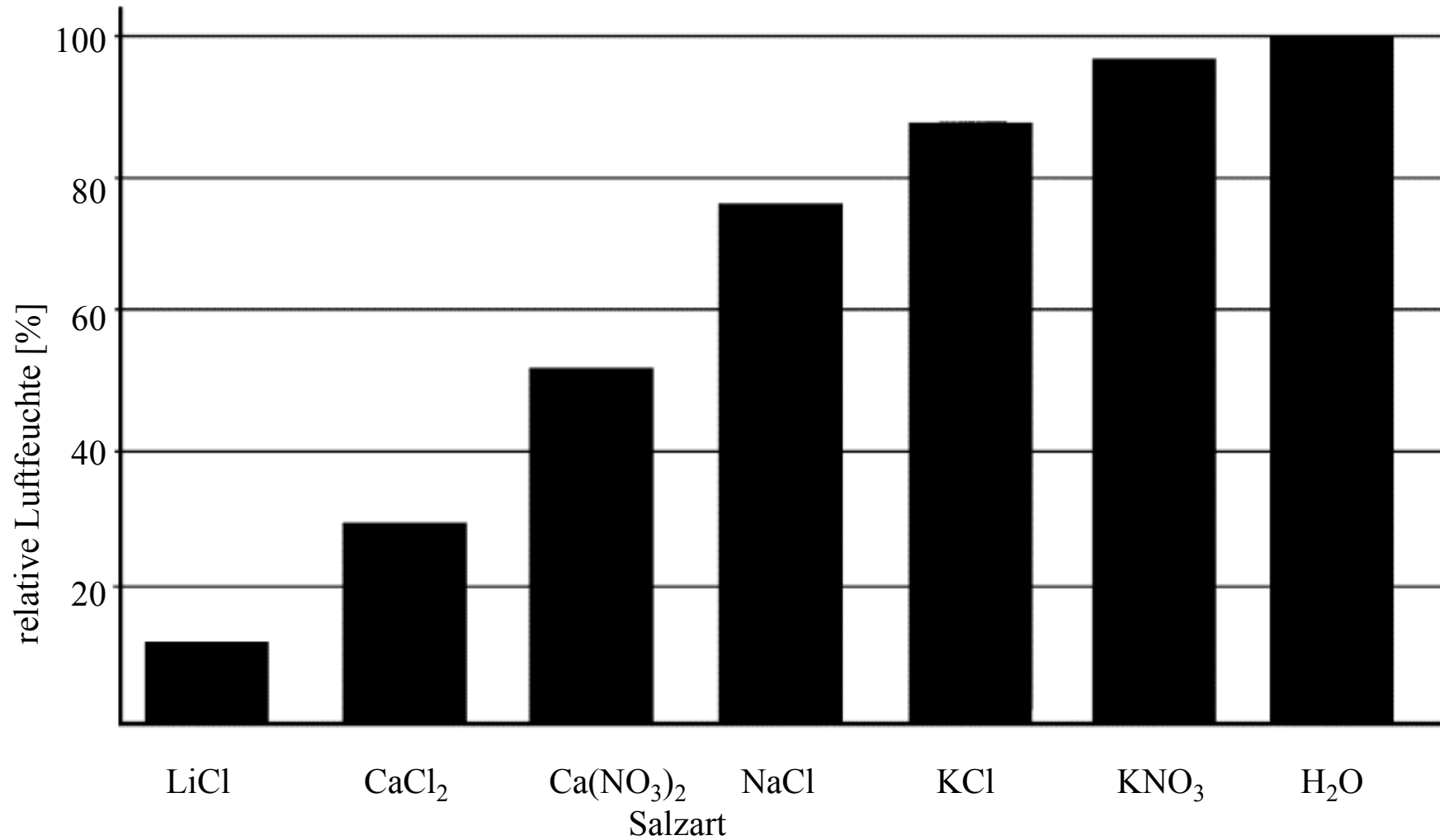


Pottasche, Kaliumcarbonat



Kalk, Calciumcarbonat

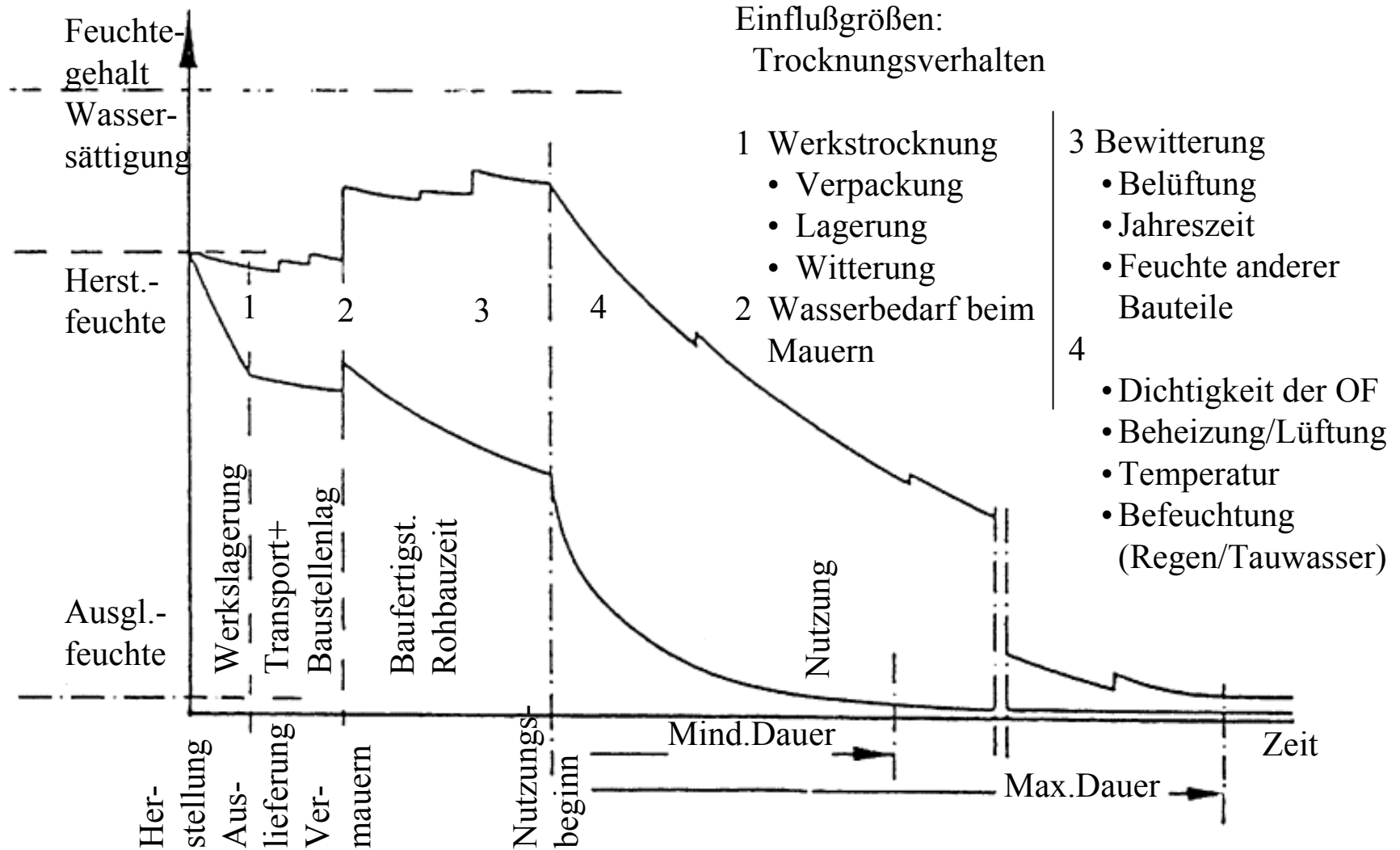
Luftfeuchte über gesättigten Salzlösungen



Mittlere Austrocknungsdauer von Mauerwerk

Baustoff	Mauerwerksdicke [cm]			
	3	20	40	60
Austrocknungsdauer [d]				
Schwerbeton	14	640	2560	5760
Kalkstein	-	480	1920	4320
Leichtbeton	-	560	2240	5040
Ziegel	-	112	448	1008
Kalkmörtel	2	-	-	-
Zementmörtel	22	-	-	-

Austrocknungsverlauf bei Neubauten



Durchfeuchtungsgrad

$$\text{Feuchtegehalt} = \frac{m_f - m_{tr}}{m_{tr}} \cdot 100\%$$

$$\text{Sättigungsfeuchte} = \frac{m_s - m_{tr}}{m_{tr}} \cdot 100\%$$

$$\text{DFG – Gesamt} = \frac{\text{Feuchtegehalt}}{\text{max. Wasseraufnahme}} \cdot 100\%$$

m_f Masse der feuchten Probe
 m_{tr} Masse der trockenen Probe
 m_s Masse der wassergesättigten Probe
 m_{Gf} Masse der feuchten Probe im Gleichgewichtszustand nach Wasseraufnahme aus der Luft

$$\text{hygroskopische Wasseraufnahme} = \frac{m_{Gf} - m_{tr}}{m_{tr}} \cdot 100\%$$

$$\text{DFG – hygroskopisch} = \frac{\text{hygroskopische Wasseraufnahme}}{\text{max. Wasseraufnahme}} \cdot 100\%$$

Sättigungsfeuchte = maximale Wasseraufnahme [M%]

Objekt: Kirche, Sandsteinmauerwerk und Putz

Tabelle 1

innen Fresken

Klimadaten bei der Probenentnahme

T = 16 °C, r.F. = 90 %

Messung der hygroskopischen H₂O-Aufnahme bei

T = 20 °C, r.F. = 85 %

	Entnahme- %	Probenbezeichnung		Angaben in % M								
		Höhe der Entnahme										
		OKG bzw. OKF										
		Tiefe der Entnahme (Angaben in cm)										
		Höhe	Tiefe									
1	Sandstein	40	4-6	0,03	0,01	0,14	4,62	9,00	0,26	51	3	
2	Sandstein	140	4-6	0,03	0,13	0,09	3,88	6,57	0,34	59	5	
3a	Putz	280	0-2	0,21	0,20	1,40	-	-	7,02	-	-	
3b	Sandstein	280	4-6	0,13	<0,01	6,57	2,12	5,87	4,15	36	71	
4	Sandstein	40	4-6	0,03	0,01	0,04	4,00	5,20	0,30	77	6	
5	Sandstein	140	4-6	0,03	0,25	0,04	4,09	8,99	0,30	46	3	
6a	Putz	280	0-2	0,22	0,15	1,60	-	-	7,38	-	-	
6b	Sandstein	280	4-6	0,11	<0,01	0,63	2,61	4,08	5,68	64	>100	

7a	Putz	40	0-2	0,03	0,65	0,05	2,55	10,11	2,12	25	21
7b	Sandstein	40	4-6	0,02	0,01	<0,01	4,15	6,06	0,16	68	3
8a	Putz	140	0-2	0,02	0,40	0,01	1,31	11,07	0,62	12	6
8b	Sandstein	140	4-6	0,02	0,01	<0,01	2,75	10,00	0,12	28	1
9a	Putz	280	0-2	0,09	0,46	0,70	1,65	6,94	3,95	24	57
9b	Sandstein	280	4-6	0,04	<0,01	0,27	0,55	8,76	1,35	6	15
11	Putz	25	0-2	0,02	9,31	0,03	-	-	0,72	-	-
11b	Sandstein	25	4-6	0,02	1,49	0,01	4,97	7,99	0,37	62	5
12a	Putz	80	0-2	0,28	0,78	2,92	-	-	9,51	-	-
13	Epitaph	100	0-1	0,13	4,90	0,78					