

**FORUM VERLAG HERKERT
GMBH**

Mandichostraße 18
86504 Merching
Telefon: 08233/381-123

E-Mail: service@forum-verlag.com
www.forum-verlag.com



**Unser Wissen
für Ihren Erfolg**

Praxisgerechte Bauwerksabdichtungen

Autoren/Herausgeber: Peter Schmidt / Nils Oster / Uwe Morchutt

Liebe Besucherinnen und Besucher unserer Homepage,

wir freuen uns, dass Sie sich für unsere Produkte interessieren.

Im Folgenden finden Sie einen Auszug aus unserem Loseblattwerk „Praxisgerechte Bauwerksabdichtungen“.

Falls Sie noch nähere Informationen wünschen oder gleich über die Homepage bestellen möchten, klicken Sie einfach auf den Button „Zur Bestellung“ oder wenden sich bitte direkt an:

FORUM Verlag Herkert GmbH
Mandichostr. 18
86504 Merching

Telefon: 08233 / 381-123
Telefax: 08233 / 381-222
E-Mail: service@forum-verlag.com

© Alle Rechte vorbehalten. Ausdruck, datentechnische Vervielfältigung (auch auszugsweise) oder Veränderung bedürfen der schriftlichen Zustimmung des Verlages.

6/3 Beurteilung und Instandsetzung von feuchtem Mauerwerk

Insbesondere ältere Gebäude leiden häufig unter einer erhöhten Feuchte des Mauerwerks und einer damit einhergehenden Versalzung. Dies liegt u. a. daran, dass es früher nicht üblich war, die Wände gegenüber der Gründung abzudichten und so u. a. vor aufsteigender Feuchte zu schützen.

*Durchfeuchtung
und Versalzung
von Mauerwerk*

Aber auch bei jüngeren Gebäuden treten zunehmend Feuchteprobleme und -schäden auf. Das hängt in vielen Fällen damit zusammen, dass die Abdichtung nicht ausreichend dimensioniert wurde oder Fehler bei der Ausführung der Abdichtungsarbeiten gemacht wurden.

Es ist zu beachten, dass eine Durchfeuchtung von Mauerwerk nicht in jedem Fall auf eine mangelhafte Abdichtung zurückzuführen ist, sondern auch andere Ursachen haben kann. Tauwasserbildung im Wandquerschnitt oder auf der Wandinnenoberfläche kann beispielsweise zu einer stetigen Erhöhung des Feuchtegehalts im Mauerwerk führen, wenn die Verdunstungsrate nicht ausreichend ist, um das Tauwasser wieder abzutrocknen.

Ein zu hoher Feuchtegehalt im Mauerwerk führt zu einer Verschlechterung der meisten physikalischen Eigenschaften und verursacht bei längerer Einwirkung Schäden an der Baukonstruktion. Festigkeit und Steifigkeit verringern sich beispielsweise mit zunehmendem Feuchtegehalt. Die Wärmeleitfähigkeit nimmt mit steigendem Feuchtegehalt zu, d. h., der Wärmeschutz verschlechtert sich bei feuchtem Mauerwerk.

Mit der Feuchtigkeit gelangen auch Schadstoffe wie beispielsweise Salze in das Mauerwerk, die zu Schäden führen. Salze im Mauerwerk können zu Gefügestörungen führen, weiterhin werden Putze und Anstriche geschädigt. Darüber hinaus führen Ausblühungen von Salzen an den Wandoberflächen zu starken optischen Beeinträchtigungen, die nicht hinnehmbar sind und einen Mangel darstellen.

6/3.1 Porosität von Baustoffen

Voraussetzung für die Aufnahme von Feuchte ist das Vorhandensein von Poren im Baustoff. Ein porenloser Stoff kann keine Feuchte und kein Wasser aufnehmen.

In diesem Kapitel werden die Kenngrößen, welche die Porosität eines Baustoffs beschreiben, erläutert.

Porenarten, Porengeometrie

Je nach geometrischer Gestalt und Form können folgende Porenarten unterschieden werden (Abb. 6.3.1.1):

- Durchgehende Pore (A)
- Sackpore (B)
- Isolierte bzw. geschlossene Pore (C)
- Verzweigung (D)
- Verbindung (E)
- „Ink-bottle-Pore“ bzw. Flaschenhalspore (F)

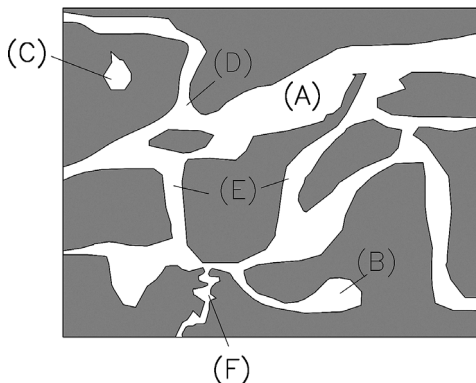


Abb. 6.3.1.1: Schematische Darstellung eines porösen Stoffes mit unterschiedlichen Porenarten (Abb.: Schmidt)

Porenarten bzw. Porengeometrie beeinflussen wesentlich die Wasseraufnahmefähigkeit eines Baustoffs. Darüber hinaus werden auch die Wasserdampfdurchlässigkeit und Frostbeständigkeit eines Baustoffs von der Porengeometrie beeinflusst. Hierbei spielt das Vorhandensein von Flaschenhalsporen mit engem Einlass („Ink-bottle-Poren“) eine entscheidende Rolle.

Porengrößen

Weiterhin ist eine Unterteilung der Poren nach ihrer Größe möglich (Tab. 6.3.1.1). Man unterscheidet je nach Größe des Porenradius Mikroporen, Kapillarporen und Makroporen, wobei als Grenzwerte der Radien $r = 10^{-7}$ m und $r = 10^{-4}$ m festgelegt werden. Aus Abb. 6.3.1.2 wird ersichtlich, dass die Größe von Mikroporen im Bereich von Polymermolekülen liegt, während Makroporen einen Radius im Millimeterbereich aufweisen.

Bezeichnung	Porenradius r	Eigenschaft
Mikroporen	$r < 10^{-7}$	keine kapillare Leitfähigkeit
Kapillarporen	$10^{-7} \leq r \leq 10^{-4}$	kapillare Leitfähigkeit
Makroporen	$r > 10^{-4}$	kapillarbrechend

Tab. 6.3.1.1: Unterteilung der Poren nach ihrer Größe

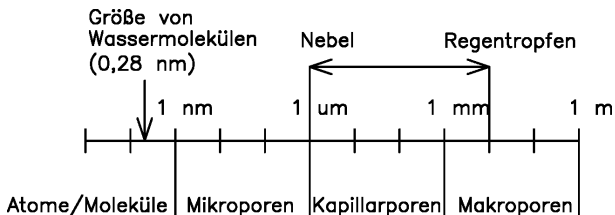


Abb. 6.3.1.2: Porengrößen und Vergleich mit anderen Stoffen (Abb.: Schmidt)

Zwischen der Porengröße und den Feuchteaufnahme-Mechanismen des Baustoffs besteht ein unmittelbarer Zusammenhang (Tab. 6.3.1.2). Mikroporen können Feuchte durch Kapillarkondensation (Sorptions) sowie Kondensation aufnehmen. Bei Kapillarporen ist eine Feuchteaufnahme durch Kondensation, Kapillarität und Hygroskopizität möglich. Makroporen können Feuchte durch Kondensation und Hygroskopizität sowie als Wasser in flüssiger Form (Hang- und Sickerwasser) aufnehmen.

Feuchteaufnahme-Mechanismus	Mikroporen $r < 10^{-7} \text{ m}$	Kapillarporen $10^{-7} \leq r \leq 10^{-4} \text{ m}$	Makroporen $r > 10^{-4} \text{ m}$
Kapillarkondensation (Sorptions)	X	–	–
Kondensation	X	X	X
Kapillarität	–	X	–
Hygroskopizität	–	X	X
Hang- und Sickerwasser	–	–	X

Tab. 6.3.1.2: Zusammenhang zwischen Feuchteaufnahme-Mechanismen und Porengröße (Abb.: Schmidt)

Porenvolumen, Porengehalt

Das Porenvolumen ist das von allen Poren eingenommene Volumen in einem Stoff. Weiterhin wird noch die Größe „scheinbares Porenvolumen“ verwendet, welches das Volumen angibt, das auf kapillarem Weg zu erreichen ist. Geschlossene bzw. isolierte Poren zählen somit nicht zum scheinbaren Porenvolumen. Das scheinbare Porenvolumen ist aus diesem Grund immer kleiner als das tatsächliche Porenvolumen (Tab. 6.3.1.3).

*Gesamtes
Porenvolumen,
scheinbares
Porenvolumen*

Porenvolumen und scheinbares Porenvolumen lassen sich anschaulich auch durch die Größen Sättigungsfeuchte sowie Wasserkapazität beschreiben. Die Sätti-

gungsfeuchte stellt sich ein, wenn alle Poren eines Baustoffs, d. h. auch die geschlossenen Poren, mit Wasser gefüllt sind. Die Sättigungsfeuchte korrespondiert somit mit dem gesamten Porenvolumen.

Die Wasserkapazität beschreibt den Feuchtegehalt, der sich einstellt, wenn nur die auf kapillarem Wege zugänglichen Poren mit Wasser gefüllt sind. Dieser Wert ist kleiner als die Sättigungsfeuchte und korrespondiert mit dem scheinbaren Porenvolumen.

Weiterhin wird noch die Größe Porengehalt verwendet. Der Porengehalt eines Stoffs gibt an, welchen Volumenanteil die Poren am Gesamtvolumen haben. Er ergibt sich mit folgender Gleichung:

$$P = \frac{V_P}{V_S} \times 100 \quad \text{in \%}$$

Darin bedeuten:

P = Porengehalt (in %)

V_P = Porenvolumen (in m^3)

V_S = Gesamtvolumen des Stoffs, einschließlich der Poren (in m^3)

Baustoff	Scheinbarer Porengehalt	Gesamter Porengehalt	Wasserkapazität F_k in m^3/m^3	Sättigungsmenge F_s in m^3/m^3
Vollziegel	19 %	29 %	0,19	0,29
Beton	14 %	22 %	0,14	0,22
Porenbeton	29 %	72 %	0,29	0,72

Tab. 6.3.1.3: Scheinbares Porenvolumen, gesamtes Porenvolumen, Wasserkapazität und Sättigungsfeuchte für verschiedene Baustoffe

6/3.2 Feuchtetransport-Mechanismen und Feuchteaufnahme

Wie in der Einleitung bereits erwähnt wurde, gelten Feuchtigkeit und Salze als die beiden Hauptursachen für Schäden am Mauerwerk. Bauschädliche Salze gelangen mit der Feuchtigkeit ins Mauerwerk und verursachen durch chemische Reaktionen und Volumenvergrößerung durch Kristallisation (Hygroskopizität) eine Gefügezerstörung. Darüber hinaus bewirkt ein hoher Feuchtegehalt im Mauerwerk eine Verschlechterung der mechanischen (Festigkeit und Steifigkeit) und bauphysikalischen (Wärmeschutz) Eigenschaften.

In diesem Kapitel sollen die Mechanismen des Feuchtetransports sowie die Feuchteaufnahme erläutert werden. Wie bereits im vorangehenden Kapitel erläutert wurde, ist die Feuchteaufnahme von der Porosität, dem Porenvolumen und der Porengrößenverteilung abhängig.

Feuchtigkeit gelangt durch verschiedene Transport-Mechanismen in die Baustoffe. Im Einzelnen werden folgende Feuchteaufnahme-Mechanismen unterschieden (Abb. 6.3.2.1):

Feuchteaufnahme-Mechanismen

- Kapillare Wasseraufnahme (ohne Druck)
- Wasseraufnahme durch Hang- und Sickerwasser (unter Druck)
- Hygroskopische Wasseraufnahme durch den Salzgehalt
- Wasseraufnahme durch Kondensation (Tauwasser)
- Wasseraufnahme durch Kapillarkondensation (Sorption)

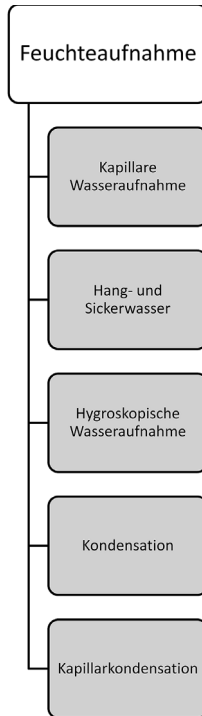


Abb. 6.3.2.1: Feuchteaufnahme-Mechanismen (Abb.: Schmidt)

Kapillare Wasseraufnahme

Bei der kapillaren Wasseraufnahme wird Wasser von der Oberfläche eines Baustoffs über die Kapillaren ins Innere transportiert. Die kapillare Wasseraufnahme funktioniert demnach nur, wenn Baustoffe direkt mit Wasser in Berührung kommen. Dies ist beispielsweise bei Fassaden (Wasserbeanspruchung als Schlagregen oder Niederschläge) sowie bei erdberührten Bauteilen mit unzureichender Abdichtung (Wasserbeanspruchung durch Bodenfeuchte, Sickerwasser, drückendes Wasser) möglich.

Für die kapillare Wasseraufnahme gelten zwei Gesetze:

1. Die kapillare Sauggeschwindigkeit V zu Beginn des Saugvorgangs ist unmittelbar abhängig vom Kapillarradius r . Es gilt folgende Gleichung:

$$V = K_1 \times r$$

Darin bedeuten:

V = kapillare Sauggeschwindigkeit (in m/s)

K_1 = Konstante in (1/s); K_1 ergibt sich aus der Differentialgleichung, mit der die Sauggeschwindigkeit beschrieben wird. Sie beinhaltet im Wesentlichen die Größen Viskosität, Oberflächenspannung, spezifisches Gewicht und Erdbeschleunigung.

r = Kapillarradius (in m)

Kapillare Wasseraufnahme

Hieraus ergibt sich, dass die Sauggeschwindigkeit in Baustoffen mit großen Kapillaren (z. B. Porenbeton) größer ist als bei Baustoffen mit feinen Kapillaren (z. B. Mauerziegel).

2. Die maximal mögliche Steighöhe H_{\max} in Kapillaren ist umgekehrt proportional dem Kapillarradius r . Es gilt folgende Gleichung:

$$H_{\max} = \frac{K_2 \times \cos \theta}{r}$$

Darin bedeuten:

H_{\max} = Steighöhe des Wassers (in m)

K_2 = Konstante (in m^2), die die Größen Viskosität, Oberflächenspannung, spezifisches Gewicht und Erdbeschleunigung beinhaltet

θ = Benetzungswinkel zwischen Flüssigkeitsspiegel und Kapillarwandung (in Grad) (Abb. 6.3.2.3 und Abb. 6.3.2.4)

r = Kapillarradius (in m)

Steighöhe

Aus der o. a. Gleichung ergibt sich, dass die max. mögliche Steighöhe in Kapillaren umso größer ist, je feiner die Kapillaren sind.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass bei kleinen Kapillarradien die Sauggeschwindigkeit gering ist und die Steighöhe groß. Bei großen Kapillaren verhält es sich genau umgekehrt. Eine Übersicht über die Zusammenhänge enthält Tab. 6.3.2.1.

	Kleiner Kapillarradius (feine Kapillaren)	Großer Kapillarradius (grobe Kapillaren)
Sauggeschwindigkeit	gering	groß
Steighöhe	groß	gering

Tab. 6.3.2.1: Zusammenhang zwischen der Größe des Kapillarradius, der Sauggeschwindigkeit und der Steighöhe

In der Praxis stellt sich i. d. R. in einem Baustoff ein Gleichgewichtszustand zwischen der Wasseraufnahme und der Verdunstung über die Bauteiloberfläche ein. Dieser Gleichgewichtszustand wird im Wesentlichen von der kapillaren Leistungsfähigkeit (Sauggeschwindigkeit und Steighöhe) und der Verdunstungsmenge beeinflusst. Je feiner die Kapillaren sind, desto geringer wird die Sauggeschwindigkeit und umso größer wird die maximale Steighöhe im Baustoff. Bei sehr geringer Sauggeschwindigkeit ist es unwahrscheinlich, dass die maximale Steighöhe überhaupt erreicht wird, da Feuchtigkeit aus dem Baustoff über die Bauteiloberfläche an die Umgebungsluft über Verdunstung abgegeben wird. Feuchteaufnahme und Feuchteabgabe pendeln sich nach einer bestimmten Zeit ein, sodass ein Gleichgewicht herrscht (Abb. 6.3.2.2).

Sauggeschwindigkeit

Aus den o. a. Gesetzmäßigkeiten lässt sich auch ableiten, dass es Grenzwerte für den Kapillarradius r inner-

halb einer maximalen Leistungsfähigkeit gibt (Tab. 6.3.2.2). Aus diesen Grenzwertbetrachtungen lässt sich schließen, dass es bei sehr feinen sowie bei sehr groben Kapillaren keine aufsteigende Feuchtigkeit gibt.

Begrenzung für kleine Kapillarradien		Begrenzung für große Kapillarradien	
Kapillarradius	Sauggeschwindigkeit	Kapillarradius	max. Steighöhe
Theorie: $r \rightarrow 0$	$V \rightarrow 0$	Theorie: $r \rightarrow 0$	$H_{\max} \rightarrow 0$
Praxis: $r < 0,1 \text{ mm}$	$V \rightarrow 0$	Praxis: $r > 100 \text{ mm}$	$H_{\max} \rightarrow 0$

Tab. 6.3.2.2: Grenzwertbetrachtung Kapillarradius \rightarrow Sauggeschwindigkeit/ maximale Steighöhe

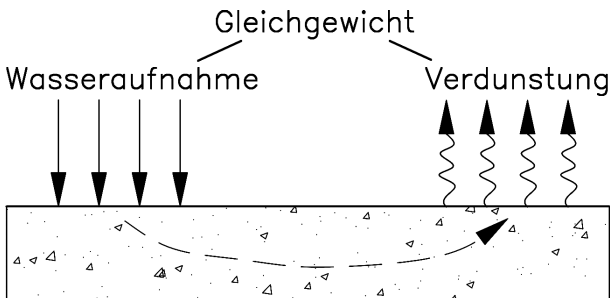


Abb. 6.3.2.2: Gleichgewichtszustand in Bezug auf den Feuchtegehalt in einem Baustoff (Abb.: Schmidt)

Benetzungswinkel

Neben dem Kapillarradius hat auch der Benetzungswinkel einen entscheidenden Einfluss auf die Steighöhe. Der Benetzungswinkel wird zwischen der Oberfläche bzw. der Kapillarwandung und dem Wasser(tropfen) gemessen.

Bei einem saugfähigen Baustoff ist der Benetzungswinkel klein ($< 90^\circ$), es kann viel Wasser aufgenommen werden, und die Steighöhe erreicht ihren Maximalwert (Abb. 6.3.2.3).

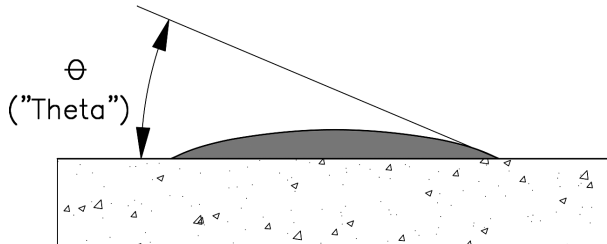


Abb. 6.3.2.3: Benetzungswinkel bei einem saugfähigen Baustoff; $\theta \rightarrow 0^\circ$, $\cos \theta \rightarrow 1$, $H_{max} \rightarrow$ Maximalwert (Abb.: Schmidt)

Hydrophobierte Baustoffe

Bei einem hydrophobierten Baustoff sind die Kapillare wandungen so beschaffen, dass eine Benetzung erschwert oder gar unmöglich gemacht wird. In diesem Fall erreicht der Benetzungswinkel Werte zwischen 90° und 180° (Abb. 6.3.2.4). Dadurch ergibt sich für den Kosinus ein negativer Wert und somit eine negative Steighöhe. Man bezeichnet diesen Effekt als Kapillardepression, der Vorgang selbst wird als Hydrophobieren bezeichnet (Abb. 6.3.2.5).

Hydrophobierte Baustoffe verlieren ihre Saugfähigkeit, sind wasserabstoßend und nicht wasserlöslich. Es ist aber zu beachten, dass hydrophobierte Baustoffe keine abdichtende Wirkung haben. Wasser kann unter Druck in die Kapillarporen eindringen.

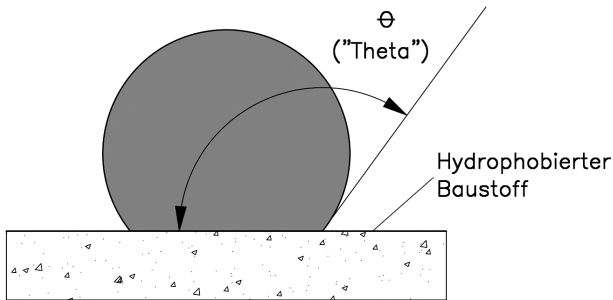


Abb. 6.3.2.4: Benetzungswinkel bei einem nicht saugfähigen (hydrophobierten) Baustoff; $\theta > 90^\circ$, $\cos \theta \rightarrow$ negativ, $H_{max} \rightarrow$ negativ (negative Steighöhe) (Abb.: Schmidt)

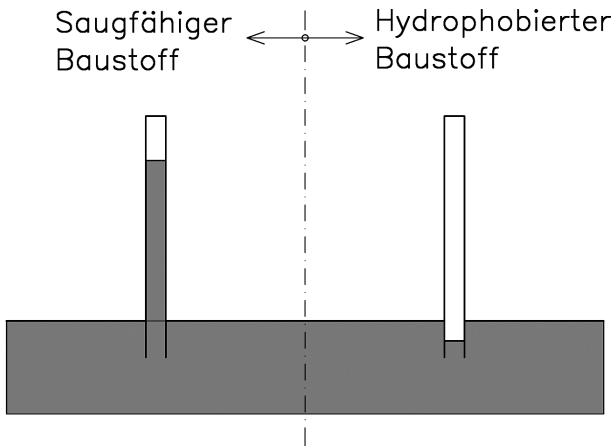


Abb. 6.3.2.5: Kapillardepression bei einem hydrophobierten Baustoff (Abb.: Schmidt)

Wasseraufnahme durch Hang- und Sickerwasser (unter Druck)

Werden Bauteile durch hydrostatischen Wasserdruck beansprucht, erfolgt die Wasseraufnahme nach dem Gesetz von Darcy („Darcy'sche Sickerströmung“). Es gilt folgende Gleichung:

$$I = k \times \frac{dp}{dx}$$

Darin bedeuten:

I = Massestromdichte (in g/m^2)

k = spezifische Durchlässigkeit des Baustoffs

dp = Druckunterschied des anstehenden Wassers
(in N/m^2)

dx = Dicke des Bauteils (in m)

Das Darcy'sche Gesetz geht von der vereinfachten Annahme aus, dass alle Poren eines Bauteils von einer einzigen durchgehenden Kapillare erfasst werden.

Hygroskopische Wasseraufnahme

Bei der hygroskopischen Wasseraufnahme handelt es sich um Feuchteaufnahme aus der Umgebungsluft (Hygroskopizität). Die hygroskopische Wasseraufnahme ist von zwei Faktoren abhängig:

Hygroskopizität

- Relative Luftfeuchte:
Mit zunehmender relativer Luftfeuchte (Definition siehe weiter hinten in diesem Beitrag) steigt die Feuchteaufnahme infolge Hygroskopizität.
- Versalzungsgrad des Baustoffs:
Je höher der Versalzungsgrad des Baustoffs ist, desto mehr Feuchtigkeit wird aufgenommen. Salzhaltige Baustoffe können ein Vielfaches der Feuchte auf-

nehmen, die ein salzfreier Baustoff aufzunehmen vermag.

Aus diesem Grund sollte verhindert werden, dass sich Salze in Baustoffen ablagern, da hierdurch der Feuchtegehalt zwangsläufig stark ansteigt. In Tab. 6.3.2.3 ist dieser Zusammenhang am Beispiel von Ziegelsteinen mit unterschiedlichem Versalzungsgrad dargestellt.

Salzart	Versalzungsgrad in mg/g Ziegel	Feuchteaufnahme in Gewichts-% in Abhängigkeit von Lagerdauer und relativer Luftfeuchte	
		20 d/65 % rel. F.	180 d/83 % rel. F.
kein Salz	–	0,1	–
NaCl	43	1,0	13,2
Ca(NO ₃) ₂	107	5,2	12,5

Tab. 6.3.2.3: Hygroskopische Wasseraufnahme von Ziegelsteinen mit und ohne Versalzung (Zusammenstellung von Messergebnissen)

In der Praxis stellt sich bei unzureichender Abdichtung erdberührter Bauteile folgender Prozess bei der hygroskopischen Wasseraufnahme ein:

Versalzungs-
grad

1. Kapillare Wasseraufnahme im erdberührten Bereich
2. Salztransport ins Mauerwerk und Verteilung der Salze
3. Ablagerung der Salze im Mauerwerk bei Verdunstung
4. Fortschreitende Versalzung des Mauerwerks
5. Hygroskopische Wasseraufnahme
6. Erhöhung der Gleichgewichtsfeuchte im Mauerwerk
7. Schädigung des Mauerwerks

Wasseraufnahme durch Kondensation

Unter Kondensation ist der Ausfall von Wasserdampf aus der Luft als Wasser in flüssiger Form zu verstehen, wenn die Luft unter die Taupunkttemperatur abgekühlt wird. Kommt es zur Tauwasserbildung auf Bauteiloberflächen oder im Bauteilquerschnitt, wird Wasser vom Baustoff aufgenommen und der Feuchtegehalt erhöht.

Hintergrund ist folgender Zusammenhang:

Luft kann bei einer bestimmten Temperatur nur eine ganz bestimmte Menge an Wasserdampf aufnehmen. Entspricht die vorhandene Wasserdampfmenge der maximal aufnehmbaren Menge, dann ist die Luft mit Wasserdampf gesättigt. Die maximal aufnehmbare Wasserdampfmenge wird als Sättigungsmenge bezeichnet.

Mit steigender Lufttemperatur kann die Luft mehr Wasserdampf aufnehmen, d. h., die Sättigungsmenge steigt; mit abnehmender Temperatur sinkt die maximal aufnehmbare Wasserdampfmenge, d. h., die Sättigungsmenge nimmt ab. Dabei besteht kein linearer Zusammenhang, sondern die Sättigungsmenge nimmt mit zunehmender Lufttemperatur überproportional zu (Abb. 6.3.2.6).

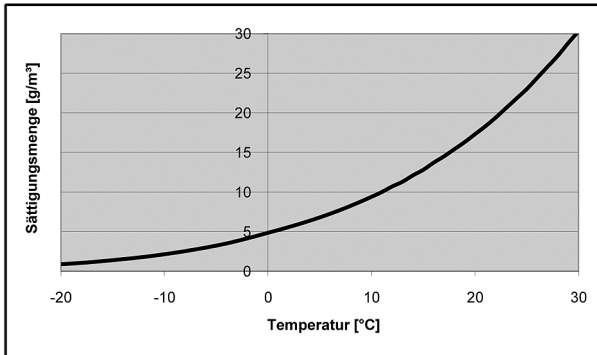


Abb. 6.3.2.6: Zusammenhang zwischen Sättigungsmenge und Lufttemperatur (Abb.: Schmidt)

Die Luft ist i. d. R. nicht immer vollständig mit Wasserdampf gesättigt, sondern beinhaltet kleinere Wasserdampfmen gen.

Das Verhältnis zwischen der vorhandenen Wasserdampfmenge in der Luft und der Sättigungsmenge wird als relative Luftfeuchte bezeichnet. Es gilt folgende Beziehung:

$$\phi = \frac{c}{c_s} \cdot 100$$

*Relative
Luftfeuchte*

Darin bedeuten:

ϕ = relative Luftfeuchte (in %)

c = vorhandene Wasserdampfmenge in der Luft
(in g/m³)

c_s = Sättigungsmenge der Luft (in g/m³)

Es gelten folgende Regelungen:

- Die vorhandene Wasserdampfmenge c in der Luft kann nicht größer als die Sättigungsmenge c_s sein, d. h., die relative Luftfeuchte kann nur Werte zwischen 0 und 100 % annehmen.
- Überschreitet die vorhandene Wasserdampfmenge die Sättigungsmenge (z. B. beim Abkühlen der Luft), dann wird überschüssiger Wasserdampf in flüssiger Form als Tauwasser ausgeschieden.

Diejenige Temperatur, bei der es zur Tauwasserbildung kommt, wird als Taupunkttemperatur bezeichnet. Die Taupunkttemperatur ist abhängig von der Höhe der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte (Tab. 6.3.2.4).

Lufttemperatur q in °C	Taupunkttemperatur θ_s in °C ¹⁾													
	bei einer relativen Luftfeuchte ϕ in %:													
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
30	10,5	12,9	14,9	16,8	18,4	20,0	21,4	22,7	23,9	25,1	26,2	27,2	28,2	29,1
29	9,7	12,0	14,0	15,9	17,5	19,0	20,4	21,7	23,0	24,1	25,2	26,2	27,2	28,1
28	8,8	11,1	13,1	15,0	16,6	18,1	19,5	20,8	22,0	23,2	24,2	25,2	26,2	27,1
27	8,0	10,2	12,2	14,1	15,7	17,2	18,6	19,9	21,1	22,2	23,3	24,3	25,2	26,1
26	7,1	9,4	11,4	13,2	14,8	16,3	17,6	18,9	20,1	21,2	22,3	23,3	24,2	25,1
25	6,2	8,5	10,5	12,2	13,9	15,3	16,7	18,0	19,1	20,3	21,3	22,3	23,2	24,1
24	5,4	7,6	9,6	11,3	12,9	14,4	15,8	17,0	18,2	19,3	20,3	21,3	22,3	23,1
23	4,5	6,7	8,7	10,4	12,0	13,5	14,8	16,1	17,2	18,3	19,4	20,3	21,3	22,2
22	3,6	5,9	7,8	9,5	11,1	12,5	13,9	15,1	16,3	17,4	18,4	19,4	20,3	21,2
21	2,8	5,0	6,9	8,6	10,2	11,6	12,9	14,2	15,3	16,4	17,4	18,4	19,3	20,2
20	1,9	4,1	6,0	7,7	9,3	10,7	12,0	13,2	14,4	15,4	16,4	17,4	18,3	19,2
19	1,0	3,2	5,1	6,8	8,3	9,8	11,1	12,3	13,4	14,5	15,5	16,4	17,3	18,2
18	0,2	2,3	4,2	5,9	7,4	8,8	10,1	11,3	12,5	13,5	14,5	15,4	16,3	17,2
17	-0,6	1,4	3,3	5,0	6,5	7,9	9,2	10,4	11,5	12,5	13,5	14,5	15,3	16,2
16	-1,4	0,5	2,4	4,1	5,6	7,0	8,2	9,4	10,5	11,6	12,6	13,5	14,4	15,2

Lufttemperatur q in °C	Taupunkttemperatur θ_s in °C ¹⁾														
	bei einer relativen Luftfeuchte ϕ in %:														
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	
15	-2,2	-0,3	1,5	3,2	4,7	6,1	7,3	8,5	9,6	10,6	11,6	12,5	13,4	14,2	
14	-2,9	-1,0	0,6	2,3	3,7	5,1	6,4	7,5	8,6	9,6	10,6	11,5	12,4	13,2	
13	-3,7	-1,9	-0,1	1,3	2,8	4,2	5,5	6,6	7,7	8,7	9,6	10,5	11,4	12,2	
12	-4,5	-2,6	-1,0	0,4	1,9	3,2	4,5	5,7	6,7	7,7	8,7	9,6	10,4	11,2	
11	-5,2	-3,4	-1,8	-0,4	1,0	2,3	3,5	4,7	5,8	6,7	7,7	8,6	9,4	10,2	
10	-6,0	-4,2	-2,6	-1,2	0,1	1,4	2,6	3,7	4,8	5,8	6,7	7,6	8,4	9,2	

¹⁾ Zwischenwerte dürfen näherungsweise geradlinig interpoliert werden.

Tab. 6.3.2.4: Taupunkttemperatur der Luft in Abhängigkeit von der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte

Wasseraufnahme durch Kapillarkondensation (Sorption)

In feinsten Kapillaren bildet sich bereits vor Erreichen der Sättigungsmenge Wasser in flüssiger Form. Dieser Effekt wird als Kapillarkondensation bezeichnet. Es gilt folgende Gesetzmäßigkeit:

$$\ln\left(\frac{P}{P_0}\right) = \frac{\sigma}{R \times T \times \rho \times r}$$

Darin bedeuten:

P = vorhandener Wasserdampfdruck (in Pa)

P_0 = Sättigungsdruck (in Pa)

(P/P_0) = entspricht der relativen Luftfeuchte

σ = Oberflächenspannung des Wassers (in N/m)

R = Gaskonstante

T = absolute Temperatur (in K)

ρ = Dichte (in kg/m³)

r = Kapillarradius (in m)

Kapillarkondensation

Wertet man die o. a. Gleichung aus, erkennt man, dass Kondensation (Tauwasserbildung) bei kleinen Kapillarradien bereits bei einer relativen Luftfeuchte ($= P/P_0$) auftritt, die weit unter 100 % liegt. Beispielsweise kommt es bei einer relativen Luftfeuchte von 75 % in Kapillaren mit einem Radius von 5 nm zur Kondensation. Siehe hierzu Abb. 6.3.2.7.

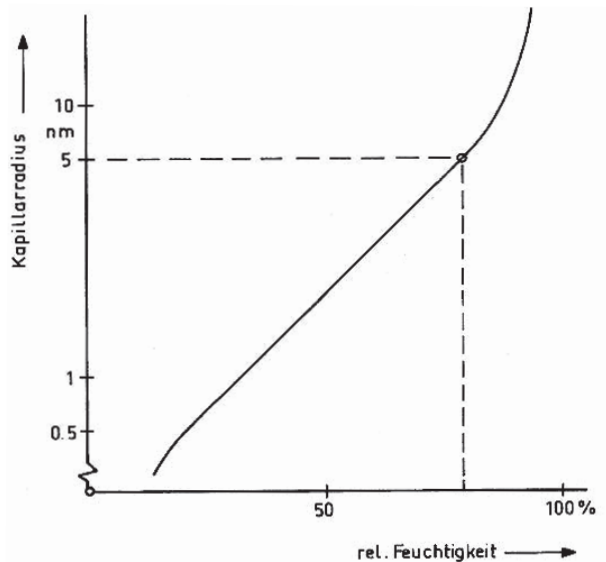


Abb. 6.3.2.7: Zusammenhang zwischen relativer Luftfeuchte und dem Kapillarradius, bei dem Kondensation (Tauwasserbildung) eintritt (Abb.: Schmidt)

Bei der Kapillarkondensation handelt es sich um einen wichtigen Feuchteaufnahme-Mechanismus. Darüber hinaus ist die Kapillarkondensation für die Ausgleichsfeuchte bzw. Gleichgewichtsfeuchte verantwortlich.