

Feuchtigkeitsursachen

Die Aufnahme von Feuchtigkeit in Bauteilen kann grundsätzlich entweder in flüssiger Form oder durch Wasserdampf, der im Mauerwerk in den flüssigen Aggregatzustand übergehen kann, erfolgen.

1|1

Tabelle 1.1:
Feuchtigkeitsbeanspruchungen von Mauerwerk [92]

Wasseraufnahme in flüssiger Form	
Regen- und Spritzwasser Bodenwasser (Sickerwasser und Grundwasser) kapillarer Feuchtigkeitstransport vagabundierende Wässer aus undichten Wasserleitungen Wassereindringung von oben (Infiltration)	
Wasseraufnahme in dampfförmiger Form	
hygroskopische Feuchtigkeitsaufnahme Kondensation Kapillarkondensation Adsorption und Absorption der Luftfeuchtigkeit Windeinpressung feuchter Luft	
Wandinhärente Feuchtigkeit	
Baufeuchtigkeit	

Durch kapillar aufsteigende Feuchtigkeit im Mauerwerk ergeben sich an den Außenflächen der Erdgeschoßbereiche die dafür typischen Bilder von Verfärbungen, Putzablösungen und Zerstörungen (Bild 1.1 bis Bild 1.7, Bild 1.9, Bild 1.10, Bild 1.15, Bild 1.18). Zusätzlich können an feuchtigkeitsbelasteten Wänden Schimmel- und Algenbildungen auftreten, die ideale Wachstumsbedingungen vorfinden (Bild 1.16).

Durch erhöhte Feuchtigkeitsbelastungen werden aber auch in das Mauerwerk eingebaute Bauteile aus Holz wie Fenster- und Türstöcke stark in Mitleidenenschaft gezogen bzw. gänzlich zerstört (Bild 1.14, Bild 1.16).

Beispiel 1.1:
Feuchtigkeitsschäden durch kapillar aufsteigende Feuchtigkeit



Beispiel 1.2:
Feuchtigkeits-
schäden durch
Baugebrechen

Sanierputze, Dichtschlämmen, Sperrputze, Vorsatzschalen und ähnliche die Diffusion behindernde oder verändernde Schichten oder Schalen können zwar kurz- bis mittelfristig eine optische Sanierung des betroffenen Wandbereiches erzielen, die dahinter aktiven Mechanismen des Feuchtigkeits- und Schadsalztransportes zeigen jedoch nach einiger Zeit wieder die typischen Schadensbilder (Bild 1.6, Bild 1.8, Bild 1.9, Bild 1.10, Bild 1.15).

Im Bereich von undichten Regenabfallrohren kann eine deutlich höhere Feuchtigkeitsaufnahme festgestellt werden (Bild 1.11, Bild 1.12). Ein gegenläufiges Bild zeigt sich über Kellerfenstern, wo der vertikale kapillare Feuchtigkeitstransport unterbrochen ist und im Sturzbereich eine höhere Verdunstungsfläche vorliegt (Bild 1.03). Wassereindringung von oben in Wand und Decke kann durch eine schadhafte Dachrinne, einen schadhaften Dachhautbereich oder durch andere Schäden an wasserführenden Leitungen verursacht werden (Bild 1.13).



Das typische Bild eines kapillaren Feuchtigkeitstransportes muss nicht immer ursächlich mit fehlenden oder mangelhaften Horizontal- und Vertikalabdichtungen im Gründungsbereich zusammenhängen. Ausgehend von schadhaften Wasser- und Abwasserleitungen, fehlerhaften Terrassenentwässerungen, mangelhafter Gefälleausbildung des an ein Objekt anstehenden Terrains beginnt ab dem Zeitpunkt des Feuchtigkeitsintrages in den Wandbildner der kapillare Feuchtigkeitstransport. Besonders verstärkt zeigen sich diese Schäden auch im Innenbereich, wenn im feuchtigkeitsbelasteten Wandbereich Gips oder gipshältige Baustoffe eingesetzt werden (Bild 1.17).

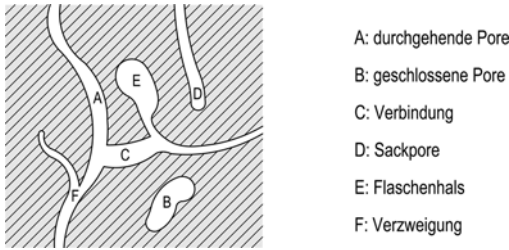
1|2

Porenstrukturen

Die Porosität der Wandbaustoffe beeinflusst in beträchtlichem Ausmaß die Frostbeständigkeit, die Wärmeleitfähigkeit und chemische Beständigkeit sowie die Kapillarität. Grundsätzlich gibt es zwei verschiedene Porenarten: die Eigenporen, welche sich in den Ausgangsstoffen befinden, und die Haufwerksporen, die bei der Verbindung der Ausgangsstoffe entstehen. Es kann auch zwischen natürlichen und künstlichen Poren unterschieden werden. Haufwerksporen sind ausschließlich natürlich, da sie beispielsweise beim Mörtel oder Beton durch unzureichende Verdichtung entstehen. Hingegen können Eigenporen natürlichen oder künstlichen Ursprungs sein.

Die natürlichen Eigenporen sind stoffspezifisch, etwa Poren in Natursteinen, Schotter, Tonmineralien. Die künstlichen Eigenporen werden durch besondere

Maßnahmen erzeugt, etwa das Material durch Treibgas zu blähen, durch Erwärmung mittels Dampf einen Blähvorgang hervorzurufen oder sehr heißes Material schnell abzukühlen, sodass Luftporen entstehen.



Bezüglich der Porenform bzw. Porengeometrie unterscheidet man zwischen durchgehenden Poren bzw. Kapillarporen, Sackporen, geschlossenen Poren, Verzweigungen, Verbindungen und Flaschenhalsporen.

Der Wassertransport erfolgt bei Kapillarporen bzw. durchgehenden Poren nahezu ungehemmt. Bei durchgehenden Poren mit sehr geringem Durchmesser („effektive“ Kapillarporen) geht der Feuchtigkeitstransport durch Adhäsionskräfte zwischen Flüssigkeit und Kapillarwand vor sich. Die Steighöhe geht dabei über jene hinaus, die dem hydrostatischen Druck entspricht.

Wichtig für die Feuchtigkeitsaufnahme eines Baustoffes sind sowohl die Porengröße als auch der Porenabstand. Ein kapillarer Feuchtigkeitstransport setzt ein entsprechendes Porenvolumen und eine entsprechende Porenform sowie eine Porengröße voraus.

Durchmesser [m]	10 ⁻⁹	10 ⁻⁸	10 ⁻⁷	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³
Mikroporen							
Makroporen							
Gelporen							
Kapillarporen							
Luftporen							

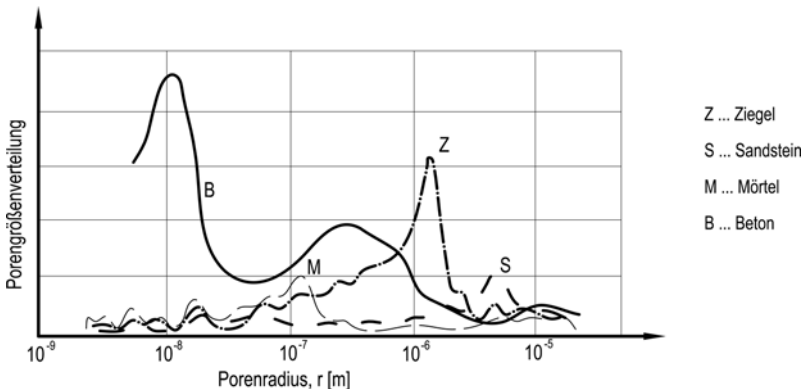


Abbildung 1.1:
Schematische
Darstellung –
Porenformen und
-arten

Tabelle 1.2:
Porenarten

Abbildung 1.2:
Porengrößenvertei-
lungen nach [92]
[41]

Je kleiner der Porenradius, desto größer ist die mögliche kapillare Steighöhe, jedoch desto geringer sind auch die durch die Poren transportierten Flüssigkeitsmengen. In geschlossenen Poren findet kein Feuchtigkeitstransport statt.

Das Unterscheidungsmerkmal für Makro- und Mikroporen in der Physik ist die Tatsache, dass erstere die Fähigkeit besitzen, sich mit Wasser zu füllen, wenn sie einen Radius von mehr als 10^{-7} m aufweisen.

1|3

Be- und Entfeuchtung

Die Wasserzufuhr von unten und das Ausmaß der Verdunstung beeinflussen die Steighöhe des Wassers, d.h. die Feuchtigkeit steigt so lange, bis zwischen beiden Vorgängen Gleichgewicht eingetreten ist.

Knapen [16] vertrat die Ansicht, dass bei einer gewissen Höhe ein Gleichgewicht bzw. ein Überwiegen der Kohäsion der Flüssigkeit gegenüber der kapillaren Anziehung durch die Porenwände eintrete. Dass dieses Verhältnis zwischen diesen beiden Kräften von der Höhe abhängen soll, ist nicht einzusehen. Das kapillare Aufsteigen der Mauerwerksfeuchtigkeit ist nicht mit dem kapillaren Aufsteigen in Röhren vergleichbar. Das Wasser steigt in den Röhren zufolge behinderter Verdunstung bis zu einer maximalen Höhe und kommt dann zum Stillstand. In den Mauern hingegen findet aufgrund der Verdunstung eine fortwährende Wasserbewegung statt. Des Weiteren ist eine ununterbrochene Wassersäule keineswegs die notwendige Voraussetzung für das Aufsteigen des Wassers. Es genügt, dass die einzelnen Tröpfchen durch die Dampfphase miteinander verbunden sind.

Die Luft an der Mauerwerksoberfläche ist auch bei geringem relativem Feuchtigkeitsgehalt der Umgebungsluft immer gesättigt. Die Verdunstung ist daher nicht vom Wassergehalt der Mauer, sondern nur von der Größe der feuchten Fläche abhängig. Aus diesem Grund erfolgt die Verdunstung der Mauerwerksfeuchtigkeit, zumindest eine gewisse Zeit lang und unabhängig von den Eigenschaften des Mauerwerks, gleich wie die eines freien Wasserspiegels. Erst nach einiger Zeit, wenn das Wasser in der Oberflächenschicht den Verdunstungsverlust nicht mehr mit der nötigen Geschwindigkeit ersetzt, kommen die verschiedenen kapillaren Eigenschaften des Mauerwerks in der Verdunstungskurve zum Ausdruck.

Früher wurde auch immer wieder versucht, ein Mauerwerk mittels wasserdichter Anstriche trockenzulegen. Da die Feuchtigkeit aufgrund der dadurch fehlenden Verdunstungsmöglichkeit noch höher steigt, war dies eine Fehlentscheidung. Ebenso wie wasserdichte Anstriche verhindern auch Beläge aus Naturstein oder Keramik die Verdunstung. Bei sehr dichten Steinplattenverkleidungen wurde empfohlen, diese hohl zu legen und den Hohlraum mit Lüftungen zu versehen (nicht vergleichbar mit einem hinterlüfteten Sockel). Diese Maßnahme ist jedoch ebenfalls nicht sinnvoll, da noch zusätzlich die zumindest zeitweise feuchtwarme Innen- oder Außenluft in den Hohlraum eindringt, an der kälteren Mauerwerksoberfläche kondensiert und das Mauerwerk zusätzlich befeuchtet (Bild 1.10). Abbildung 1.3 zeigt die Werbeschrift eines wasserdichten Anstriches,

die fälschlicherweise auf die Möglichkeit der Trockenlegung hinweist und somit die Bevölkerung falsch informierte.

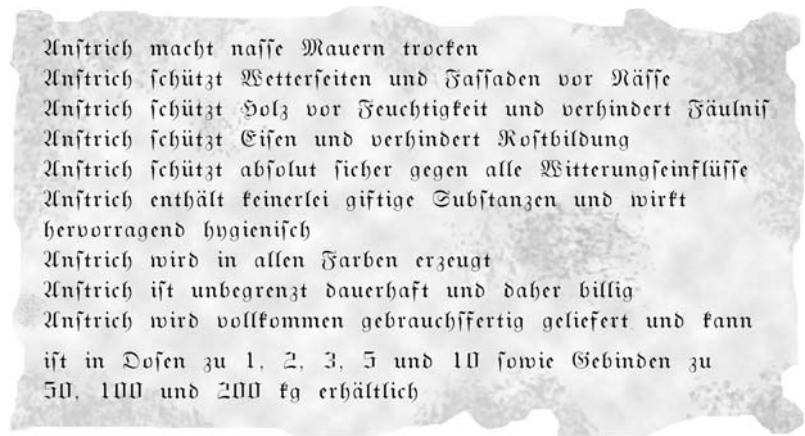


Abbildung 1.3:
Werbeschrift eines
wasserdichten
Anstriches [16]

Transportvorgänge

Poröse Stoffe können aus ihrer Umgebung Feuchtigkeit in flüssigem oder dampfförmigem Zustand in ihre Hohlräume aufnehmen und dort unter dem Einfluss verschiedenster treibender Kräfte transportieren. Dem Diffusionsstrom des Wasserdampfes, ausgelöst durch ein Partialdruckgefälle, steht der Transport des flüssigen Wassers als so genannte Kapillarleitung aufgrund von adhäsionsbedingten Zugkräften gegenüber.

1|3|1

Tabelle 1.3:
Feuchtigkeitstransportmechanismen
in Feststoffen

Lösungsdiffusion	Wassermoleküle quasi oder echt gelöst in Flüssigkeit oder Gel. Moleküle des durchwandern den Körpers müssen relativ beweglich sein, z.B. quellbar, aber nicht kristallin.
Wasserdampfdiffusion	Wassermoleküle im Gaszustand in der Luft von Poren. Durchgehende Porenräume erforderlich.
Oberflächendiffusion	Wassermoleküle diffundieren in dünner Schicht auf Porenwandungen. Durchgehende Porenräume erforderlich. Stets mit Dampfdiffusion gekoppelt.
Kapillarität	Flüssiges Wasser fließt in Poren eines Körpers unter der Wirkung seiner Oberflächenspannung. Poren des Körpers durchgehend und wasserbenetzbar.
Sickerströmung	Flüssiges Wasser fließt in den Poren infolge von Druckunterschieden, die Oberflächenspannung ist ausgeschaltet.
Elektrokinese	Flüssiges Wasser strömt unter der Wirkung eines elektrischen Feldes in Poren.

Eine klare Unterteilung in Dampf- und Flüssigkeitstransport ist aber streng genommen aufgrund der Koexistenz von flüssiger und dampfförmiger Phase nicht möglich. Experimente haben gezeigt, dass auch Größe, Art und Form der inneren Hohlräume die Bindung und somit auch den Transportmechanismus der Wassermoleküle beeinflussen. In Festkörpern stellen Feuchtigkeitsverlagerungs-

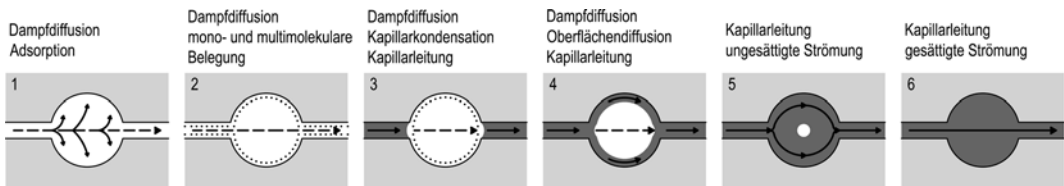
prozesse ein komplexes Gleichgewicht verschiedener Transportvorgänge dar. Phasenübergänge sowie Sorptionsverhalten poröser Stoffe gegenüber Wasserdampf bewirken zudem eine gegenseitige Beeinflussung dieser Transportphänomene.

In Tabelle 1.3 sind die verschiedenen Transportmechanismen in Feststoffen vergleichend gegenübergestellt, ihre Merkmale aufgezeichnet und Beispiele für Materialien, in denen diese Mechanismen häufig anzutreffen sind, angegeben.

Das gleichzeitige Auftreten ganz verschiedener Transportmechanismen hängt in zweierlei Hinsicht entscheidend vom Wassergehalt ab. Einerseits von der Höhe des durchschnittlichen Wassergehaltes und andererseits vom Gradienten des örtlichen Wassergehaltes. Man kann in Abhängigkeit von der Höhe des durchschnittlichen Wassergehaltes eines porösen Stoffes sechs verschiedene Wasseraufnahme- bzw. in umgekehrter Reihenfolge Wasserabgabestadien feststellen.

Es ist praktisch nicht möglich, einen bestimmten Feuchtigkeitsgehalt einem definierten Transportmechanismus zuzuordnen. Besonders undurchsichtig ist der Wassertransport in porösen Stoffen auch vor allem deswegen, da bei Trocknungs- und Durchfeuchtungsprozessen der Wassergehalt von Ort zu Ort wechselt und zudem zeitabhängig ist.

Abbildung 1.4:
Wasseraufnahmestadien [52]



Die Wasseraufnahmestadien beginnen bei einem trockenen Baustoff bei der Dampfdiffusion und der Feuchtigkeitsaufnahme mittels Adsorption und führen über die Kapillarkondensation und die Oberflächendiffusion bis zur Kapillarleitung mit einer gesättigten Strömung zu einem wassergesättigten Baustoff.

Beim Feuchtigkeitstransport durch das innere Hohlraumsystem spielt der Impulsaustausch für die Art des Transportprozesses eine entscheidende Rolle. Ob die Stöße entweder zwischen Einzelmolekülen oder zwischen Wand und Molekül stattfinden, hängt vom Verhältnis der freien Weglänge λ des Moleküls zum Porendurchmesser d , der so genannten Knudsenzahl K_n , ab.

(1.1)

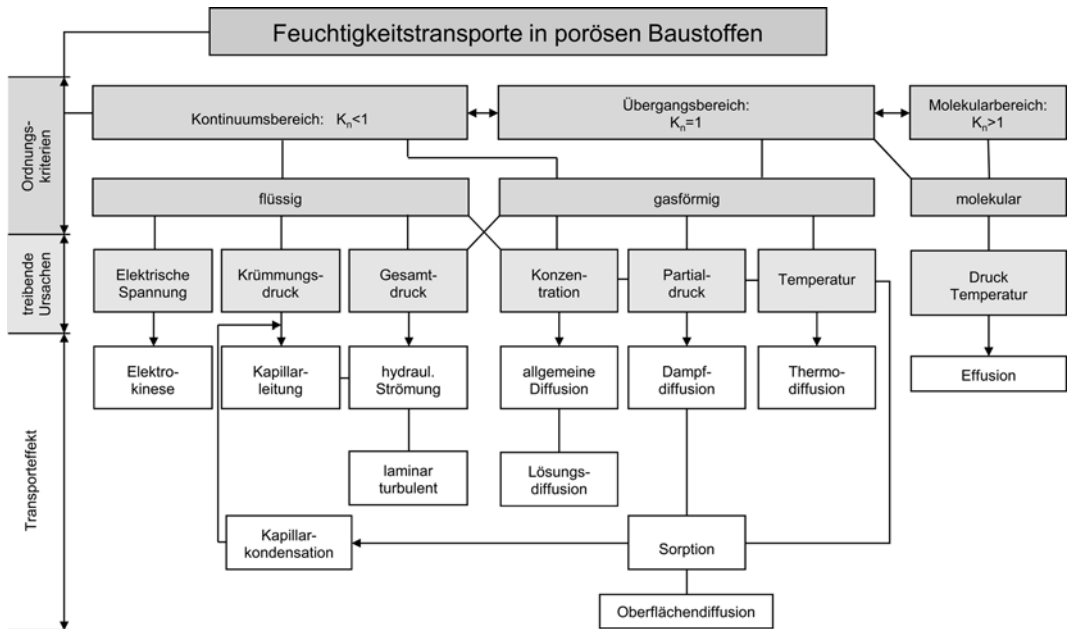
$$K_n = \frac{\lambda}{d}$$

Wassermoleküle erfahren bei ihrer Bewegung durch die Porenräume untereinander Zusammenstöße, und zwar umso häufiger, je höher der Druck bzw. je höher die Teilchendichte ist. Die Strecke, die ein Teilchen von einem Zusammenstoß bis zum nächsten im Mittel durchläuft, heißt mittlere freie Weglänge λ .

Damit können die Transportmechanismen grundsätzlich drei verschiedenen Bereichen zugeordnet werden:

- $K_n \gg 1$ Molekularbereich – Effusion
- $K_n = 1$ Übergangsbereich
- $K_n \ll 1$ Kontinuumsbereich – Diffusion und/oder laminare Strömung

Abbildung 1.5:
Feuchtigkeitstransporte in porösen Baustoffen nach [52]



Da die freie Weglänge sowohl von Temperatur als auch Druck abhängt, ändern sich die Knudsenbereiche je nach Zustandsbedingungen. Bei üblichen Umgebungsbedingungen repräsentieren Poren mit d kleiner als 10^{-8} m den Molekularbereich, Poren zwischen 10^{-8} m und 10^{-6} m den Übergangsbereich und Transporträume größer als 10^{-6} m den Kontinuumsbereich.

Wie viel Feuchtigkeit ein Mauerwerk an die Umgebungsluft abgeben kann, hängt primär vom Wasserdampfdruckgefälle ab. Je größer der Wasserdampfdruck in der Wand und je kleiner der Wasserdampfdruck der Umgebungsluft ist, desto schneller geht die Mauerwerksaustrocknung vor sich. Die Größenordnung der Wasserdampfdruckdifferenz kann aus dem i - χ -Diagramm (Abbildung 1.06) entnommen werden. Das Beispiel zeigt, dass durch eine Erwärmung der Wand (Pfeil B) und ohne raumklimatische Maßnahmen ein bis zu drei Mal höheres Wasserdampfdruckgefälle eintritt als bei einer alleinigen Reduktion der Raumluftfeuchtigkeit (Pfeil A).

Beispiel A:	Raumtemperatur 25° C	rel. Luftfeuchtigkeit 30 %
	Wandtemperatur 25° C	rel. Luftfeuchtigkeit 100 %
	Dampfdruckgefälle = 3169 – 950 = 2219 Pa	
Beispiel B:	Raumtemperatur 20° C	rel. Luftfeuchtigkeit 40 %
	Wandtemperatur 40° C	rel. Luftfeuchtigkeit 100 %
	Dampfdruckgefälle = 7380 – 936 = 6444 Pa	