

Feuchtetransport durch Gebäudewände

Es soll anhand dieser Ausführungen ein kurzer Einstieg in die Thematik des Dampf- bzw. Feuchtetransportes durch Gebäudewände gegeben werden, der insbesondere Begrifflichkeiten wie Feuchtepufferwirkung/Feuchtespeicherwirkung, Dampftransport, Kapillartransport und (Dampf-)Dichtigkeit erläutert. Gerade im Zusammenhang mit Innendämmsystemen sind diese Prozesse oft unklar und erschweren dadurch dem Planer die Entscheidungsfindung bei der Auswahl geeigneter Maßnahmen.

Es werden zunächst die Begriffe in ihrem physikalischen Zusammenhang erläutert. Anschließend wird anhand dieser Zusammenhänge die Funktion der Klimaplatte des Herstellers *Calsitherm Silikatbaustoffe GmbH* in Verbindung mit dem Klebemörtel vorgestellt und schließlich mit Hilfe einiger Simulationsrechnungen illustriert.

Begriffe

Der Feuchtetransport in Baustoffen unterteilt sich gemäß den beiden möglichen Aggregatzuständen in den flüssigen und den gasförmigen Wassers. Der Transport des gasförmigen Wassers wird dabei als (Wasser-)Dampftransport, der des flüssigen Wassers als Flüssigwasser- oder Kapillartransport bezeichnet.

Dampftransport

Grundsätzlich folgen Transportvorgänge einem allgemeinen Zusammenhang zwischen flächenbezogenem Fluss (Stromdichte) und dem dafür verantwortlichen Potenzial:

$$\frac{\text{Fluss}}{\text{Fläche}} = -\text{Leitfähigkeit} \cdot \text{Gradient}(\text{Potenzial})$$

Wasserdampf wird allgemein durch Diffusion, also als Ausgleich infolge Konzentrationsunterschieden bewegt. Werden Schwankungen des Umgebungsluftdruckes vernachlässigt und für den Wasserdampf Idealgasverhalten vorausgesetzt, kann man den Dampftransport auf Unterschiede im Dampfdruck zurückführen. Der Dampfdruck stellt demnach das antreibende Potenzial dar. Der Dampffluss ist also dem Gradienten (dem Unterschied) des Dampfdruckes proportional.

Der Dampfdruck p_v ist von mehreren Größen abhängig. Zum einen ist er an die relative Luftfeuchte φ gekoppelt, die in Prozent angibt, wieviel Wasserdampf sich in Relation zur maximal möglichen Menge in der Luft befindet. Sie ist als Quotient aus Dampfdruck zu Sättigungsdampfdruck definiert. Zum anderen besteht eine Temperaturabhängigkeit, da die maximal aufnehmbare Wassermenge der Luft durch den von

der Temperatur θ abhängigen Sättigungsdampfdruck $p_s(\theta)$ bestimmt wird. Die Zusammenhänge sind in den folgenden Gleichungen dargestellt.

$$p_v = \varphi \cdot p_s(\theta) \quad \text{mit} \quad p_s(\theta) = p_0 \cdot \left(b + \frac{\theta}{100^\circ\text{C}} \right)^n \quad (1)$$

Je nach Temperatur gelten für die Parameter der Gleichung (1) verschiedene Werte, die in Tab 1 (DIN 4108 Teil 3) angegeben sind.

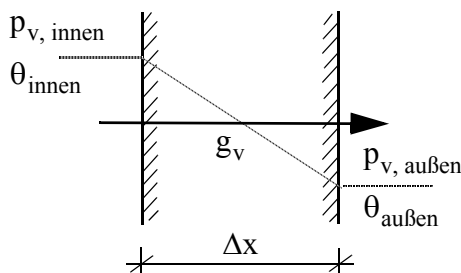
Parameter	$-20^\circ\text{C} \leq \theta < 0^\circ\text{C}$	$0^\circ\text{C} \leq \theta \leq 30^\circ\text{C}$
p_0	4,689 Pa	288,68 Pa
b	1,486	1,098
n	12,30	8,02

Tabelle 1: Parameter zur Berechnung des Sättigungsdampfdruckes

Der Dampfstrom durch eine Wand ergibt sich nun aus dem Dampfdruckunterschied zwischen Innen- und Außenseite der Wand. Der Dampfdruck auf der Innenseite hängt von der Innentemperatur und der Innenluftfeuchte, der Dampfdruck auf der Außenseite hängt von der Außentemperatur und der Außenluftfeuchte ab. Die Differenz beider ergibt den Gradienten, das Vorzeichen legt die Transportrichtung fest, die sich stets von höheren zu niedrigeren Dampfdrücken einstellt.

$$\Delta p_v = p_{v, \text{innen}}(\varphi_i, \theta_i) - p_{v, \text{außen}}(\varphi_a, \theta_a)$$

Verknüpft sind Fluss und Potenzial über einen Proportionalitätsfaktor, die Dampfleitfähigkeit. In die Dampfleitfähigkeit geht neben verschiedenen dampf- und luftspezifischen Parametern eine Materialgröße ein, die den Dampfdiffusionswiderstand des jeweils betrachteten (von Dampf durchströmten) Materials kennzeichnet. Diese dimensionslose Größe wird Wasserdampfdiffusionswiderstandsfaktor genannt, wird mit μ bezeichnet und gibt an um wieviel mal schlechter der Dampf durch das Material strömt als durch Luft. Die Bestimmung von μ ist in DIN EN ISO 12572 [7] geregelt.



Dampfstromdichte g_v durch eine Wand:

$$\nabla p_v = \frac{\Delta p_v}{\Delta x} \quad \text{Dampfdruckgradient}$$

$$g_v = D_v(T) \cdot \nabla p_v$$

Abbildung 1: Dampfdruck und Dampfstrom durch eine Wand

$$D_v(T) = \frac{D}{\mu \cdot R_v \cdot T} \quad \text{Dampfleitfähigkeit des Materials}$$

Die Parameter dieser Gleichung sind der Diffusionskoeffizient D , die spezifische Gas-konstante für Wasserdampf R_v und die Temperatur T . Eine grafische Darstellung des Zusammenhanges zwischen Dampfdruck und Dampfstrom ist in *Abb. 1* gegeben.

Kapillarwassertransport

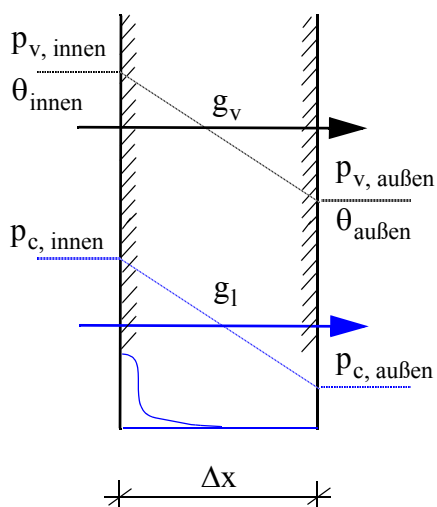
Der Kapillarwassertransport folgt grundsätzlich den gleichen Gesetzen wie der Dampftransport. Der Flüssigwasserstrom ist mit dem Potenzialgradienten verknüpft. Der Proportionalitätsfaktor ist die Flüssig- oder Kapillarwasserleitfähigkeit, als Potenzial wird der Kapillardruck verwendet.

$$\frac{\text{Flüssigwasserstrom}}{\text{Fläche}} = \text{Kapillarwasserleitfähigkeit} \cdot \text{Gradient}(\text{Kapillardruck})$$

Der Kapillardruck ist eigentlich eine Saugspannung, die sich aus der Oberflächenspannung des Wassers und dem Porensystem, bzw. den jeweiligen Füllungsgraden bestimmt. Er wird negativ angegeben und ist zwischen trockenem und gesättigtem Material über mehrere Größenordnungen definiert. Je weniger Wasser sich im Material befindet, desto stärker ist die Saugwirkung der Poren und damit der Unterdruck. Respektive wird der (negativ definierte) Kapillardruck mit abnehmendem Wassergehalt kleiner. Der Flüssigwassertransport findet immer von höheren zu niederen Drücken, also von Bereichen mit größerem zu Bereichen mit geringerem Flüssigwasserangebot statt.

Die Flüssigwasserleitfähigkeit wird ebenfalls aus der Porenstruktur des Materials abgeleitet. Der Ableitung liegt ein Porenmodell zu Grunde, in das die Porenradienverteilung einfließt. Die abgeleitete Leitfähigkeit wird anhand von Messwerten kalibriert.

Gleichgerichtete Feuchteströme



Entgegen gerichtete Feuchteströme

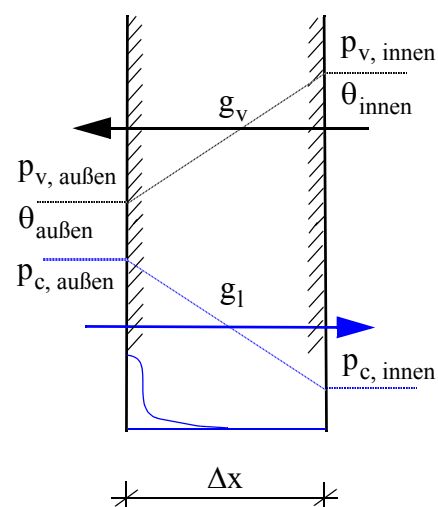


Abbildung 2: Gleich- und entgegengerichtete Wasserdampf- und Kapillarwasserströme durch eine Wand

Der Flüssigwasser- und der Dampftransport können sowohl gleich, als auch entgegengesetzt gerichtet stattfinden.

Sind Dampfdruckgradient und Kapillardruckgradient gleichgerichtet, finden beide Transportvorgänge in die selbe Richtung statt. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn die warme Seite einer Konstruktion gleichzeitig die feuchte Seite ist. Durch die im Vergleich zur anderen Seite höhere Temperatur stellt sich ein hoher Dampfdruck ein, der einen Dampfstrom zur kalten Seite hin zur Folge hat. Hohe Feuchtegehalte korrespondieren mit hohen Kapillardrücken, die wiederum einen Flüssigwasserfluss zur trockenen (und gleichzeitig kalten) Seite zur Folge haben.

Sind Dampfdruckgradient und Kapillardruckgradient entgegen gerichtet, finden beide Transportvorgänge in entgegengesetzter Richtung statt. Eine solche Situation entsteht, wenn es innerhalb einer Konstruktion zur Kondensation kommt. Auf Grund des Temperaturunterschiedes zwischen Innen- und Außenseite der Konstruktion stellt sich ein Dampfstrom von innen in die Konstruktion ein. Erreicht der Dampfdruck im Inneren der Konstruktion den Sättigungsdampfdruck, kommt es zu Kondensation und damit zu einer starken Zunahme des Wassergehaltes. Dieser Anstieg korrespondiert mit einem Anstieg des Kapillardruckes, der einen Flüssigwasserstrom zur Folge hat. Da der Kapillardruck zu beiden Seiten der Konstruktion hin abnimmt, stellt sich ein Flüssigwasserfluss zu beiden Seiten hin ein, dessen Größe nur noch von den Flüssigwasserleitfähigkeiten der umgebenden Materialien abhängt. Der entstehende Flüssigwasserstrom kann also durchaus dem Dampfstrom entgegen gerichtet sein. Entscheidend für die Flussmengen in beide Richtungen sind die jeweiligen Leitfähigkeiten des Materials (Dampf und Flüssigwasser) sowie die Feuchtemengen, die in die Konstruktion hinein und die auf der anderen Seite wieder hinaus diffundieren.

Feuchtespeicherung

Poröse Stoffe, wie es die meisten Baustoffe sind, besitzen die Fähigkeit Feuchte aufzunehmen, zu speichern und wieder abzugeben. Neben der Fähigkeit, Feuchte zu transportieren ist dies eine der wesentlichen bauphysikalischen Stoffeigenschaften.

Das Feuchtespeichervermögen eines Stoffes lässt sich als funktionaler Zusammenhang zwischen der relativen Luftfeuchte φ und dem Wassergehalt w darstellen, siehe *Abb. 3*. Die entstehende Funktion wird Sorptionsisotherme genannt. Allgemein ist die Sorptionsisotherme eine monoton steigende Funktion, die zwischen 0 und dem Sättigungsfeuchtegehalt w_s definiert ist. Sie wird bei einer definierten, konstanten Temperatur bestimmt.

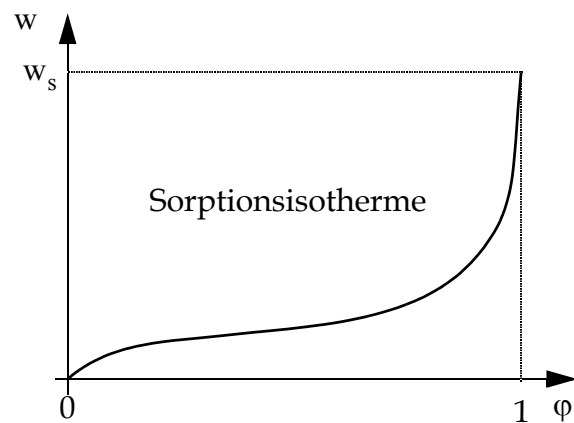


Abbildung 3: Prinzipieller Verlauf einer Sorptionsisotherme

Nach jeweils hinreichender Zeitdauer wird sich immer ein Gleichgewicht zwischen dem Feuchtegehalt eines porösen Stoffes und der ihn umgebenden Luftfeuchte einstellen. Dies ist dann genau der Feuchtegehalt, der auf der Sorptionsisotherme bei der entsprechenden relativen Luftfeuchte und der definierten Temperatur abgelesen werden kann.

Dichtigkeit

Der Begriff der Dichtigkeit wird im Allgemeinen verwendet um auszudrücken, wie gut oder wie schlecht ein Stoff von bestimmten Medien durchdrungen bzw. durchströmt werden kann. In Bezug auf Baustoffe und auf Feuchte meint er das Vermögen eines Baustoffes Feuchte in flüssiger und/oder dampfförmiger Gestalt zu transportieren. Sind die Leitfähigkeiten sehr gering, der Widerstand, den das Material gegen den jeweiligen Transportprozess setzt also entsprechend hoch, spricht man von einem dichten Material.

Wird der Begriff der Dichtigkeit auf eine Konstruktion bezogen, ist zu differenzieren, an welcher Stelle die Konstruktion wie dicht ist. Liegen mehrere Schichten mit zunehmendem Dampfdiffusionswiderstand hintereinander, so kann Wasserdampf in alle Schichten eindringen, lediglich die Transportmenge wird bis zur dichtesten Schicht immer geringer. Liegen die Schichten mit abnehmendem Diffusionswiderstand hintereinander, kann in alle Schichten nur so viel Dampf eindringen, wie durch die erste, dichteste Schicht strömen kann.

Diese Betrachtung ist insbesondere für die Bewertung der Feuchtespeicher- bzw. Feuchtepufferwirkung einer Wandkonstruktion bedeutsam.

Diffusionsoffenheit

Diffusionsoffen ist eine Konstruktion dann, wenn sie von Wasserdampf durchdrungen werden kann. Grundsätzlich trifft das auf alle porösen Stoffe zu, unterschiedlich ist lediglich der Diffusionswiderstand, den das Material dem Dampfstrom entgegensetzt. In DIN 4108 Teil 3 [9] wird daher für den Begriff der Diffusionsoffenheit ein Grenzwert der diffusionsäquivalenten Luftschichtdicke s_d mit $s_d = 0,5\text{m}$ angegeben. Diese lässt sich nach (2) aus dem Wasserdampfdiffusionswiderstandsfaktor μ und der Schichtdicke des Materials d berechnen.

$$s_d = \mu \cdot d \tag{2}$$

Feuchtepufferwirkung

Mit Feuchtepufferwirkung wird das Vermögen eines Baustoffes, bzw. einer Konstruktion bezeichnet, in einem Raum auftretende Feuchtespitzen, die aus der jeweiligen Raumnutzung resultieren, abzudämpfen. Die in einem Belastungsfall entstehenden Feuchtemengen, zum Beispiel durch eine in einem Versammlungsraum stattfindende Veranstaltung, werden von der Konstruktion aufgenommen und gespeichert. Ist die Feuchtebelastung abgeklungen, ist also die Veranstaltung beendet und hat sich das Raumklima wieder normalisiert, kann die gespeicherte Feuchte wieder an den Raum abgegeben werden. Es stellt sich dann wieder der Gleichgewichtszustand ein, der vor der Veranstaltung herrschte.

Entscheidend für die Feuchtepufferwirkung einer Konstruktion sind das Feuchtespeichervermögen und die Dichtigkeit der Konstruktion an der dem Raum zugewandten Seite. Zum einen muss die Feuchte in Form von Wasserdampf in die Konstruktion eindringen, zum anderen muss auch der entsprechende Baustoff in der Lage sein, im relevanten Luftfeuchtebereich große Mengen an Wasser speichern zu können.

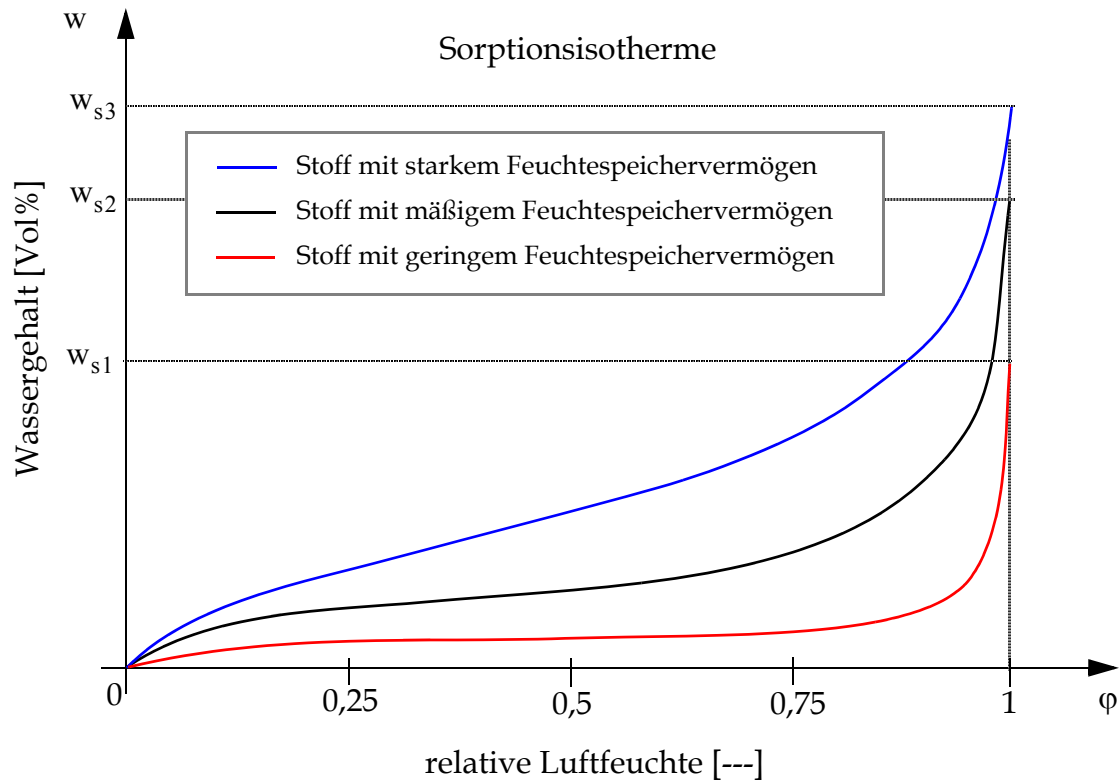


Abbildung 4: Feuchtespeichervermögen verschiedener Baustoffe im Vergleich der Sorptionsisothermen

Für den Dampftransport ist also entscheidend, dass die raumseitigen Schichten sehr diffusionsoffen sind, damit der Dampf auch genügend weit in die Konstruktion eindringen kann. Für die Feuchtespeicherung ist hingegen die Sorptionsisotherme des jeweiligen Stoffes verantwortlich. Diese unterscheidet sich dabei sowohl hinsichtlich des Anstieges, als auch hinsichtlich der Sättigungsfuchte. Gut geeignet zur Feuchtepufferung sind Stoffe, deren Sorptionsisotherme im relevanten Feuchtebereich, also zwischen etwa 40% und 80% relativer Luftfeuchte einen signifikanten Anstieg besitzen und damit in diesem Bereich auch gewisse Feuchtemengen speichern können.

Die Klimaplatte von *Calsitherm*

Die Klimaplatte

Die *Klimaplatte* der Firma *Calsitherm Silikatbaustoffe GmbH* ist ein Innendämmstoff auf Calciumsilikatbasis. Das Material ist sehr porös, wodurch eine geringe Wärmeleitfähigkeit erzielt wird. Andererseits ist das Calciumsilikat aufgrund seiner Porenstruktur und des großen Porenvolumens in der Lage, sehr viel Wasser aufzunehmen und gut zu transportieren. Es besitzt eine sehr hohe kapillare Leitfähigkeit und ist diffusionsoffen bei einem Dampfdiffusionswiderstandsfaktor von $\mu \approx 4,5$. Wie aus der Sorptionsisotherme (siehe *Abb. 5*) ersichtlich, speichert das Calciumsilikat bei Luftfeuchten bis etwa 90% nur geringe Wassermengen. Bei höheren relativen Luftfeuchten kann es jedoch sehr viel Wasser aufnehmen.

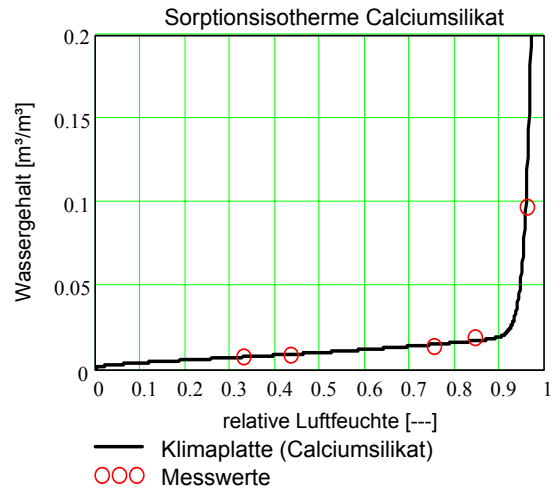


Abbildung 5: Darstellung der Sorptionsisotherme für die Calciumsilikat Klimaplatte

Der Kleber

Der Klebemörtel, mit dem die Innendämmung an der Unterkonstruktion befestigt wird und der ebenfalls von *Calsitherm* vertrieben wird, erfüllt neben seiner konstruktiven auch entscheidende bauphysikalische Funktionen. Aufgrund seiner im hygroskopischen Feuchtebereich sowohl höher liegenden, als auch stärker ansteigenden Sorptionsisotherme (siehe *Abb. 6*), ist der Kleber in der Lage im Bereich niedriger und mittlerer relativer Luftfeuchten viel Wasser zu speichern. Entscheidend ist allerdings, dass er aufgrund seiner geringeren Dampf- und Flüssigwasserleitfähigkeiten als Retarder wirkt. Das bedeutet, dass ein Dampfstrom in die Konstruktion hinein, wie er bei niedrigen Außentemperaturen im Winter entsteht, an der Kleberschicht gebremst wird und eine ggf. entstehende Kondensatebene an der Schichtgrenze zwischen Klimaplatte und Klebemörtel erzwungen wird. Die im Vergleich zum Calciumsilikat deutlich geringere Flüssigwasserleitfähigkeit des Klebers verhindert ein Eindringen der Feuchte in die Unterkonstruktion, die Klimaplatte nimmt das Wasser auf und gibt es wieder an die Raumluft ab.

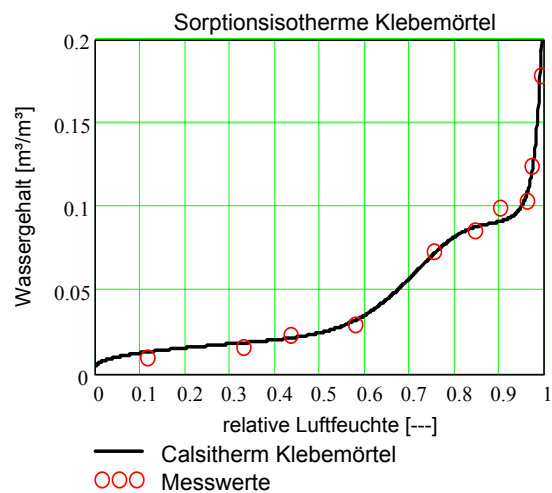


Abbildung 6: Darstellung der Sorptionsisotherme für den Klebemörtel

Diffusionsoffenheit der Konstruktion

Das Calciumsilikat der Klimaplatte besitzt einen sehr geringen Dampfdiffusionswiderstand und ist daher sehr diffusionsoffen. Der Dampfdiffusionswiderstandsfaktor des Klebemörtels ist relativ hoch, aufgrund der geringen Schichtdicke kann allerdings immer noch von einer diffusionsoffenen Konstruktion nach DIN 4108 gesprochen werden. Der s_d -Wert des Innendämmsystems ergibt sich nach (2) bei folgender Schichtung:

5mm Klebemörtel ($\mu < 40$) und

40 mm Klimaplatte

$$s_d = 40 \cdot 0,005\text{m} + 4,5 \cdot 0,04\text{m} = 0,38\text{m} < 0,5\text{m}$$

Der Zustand im Winter - Verhalten der Konstruktion

Im Winter bildet sich aufgrund des Temperaturunterschiedes zwischen der Innen- und der Außenseite einer Wand ein Dampfstrom von Innen in die Wandkonstruktion hinein aus. Je niedriger die Außentemperatur ist, desto größer ist auch der Dampfdruckgradient, der sich über die gesamte Konstruktion einstellt. Für das Feuchteverhalten der Wandkonstruktion ist nun entscheidend, wie die Temperatur über die verschiedenen Schichten verteilt ist. In Abb. 7 ist dies anhand einer außen und einer innen gedämmten Wandkonstruktion erläutert.

Ist der Temperaturabfall an den raumseitigen Wandschichten sehr groß, wie dies bei einer Innendämmung der Fall ist, entsteht in diesem Bereich auch ein starker Dampfdruckabfall, der wiederum einen entsprechenden Dampfstrom in die Wand zur Folge hat. An der kalten Seite der Wärmedämmung kann es dann zu Tauwasserbildung

Gebäudewand mit Außendämmung
geringer Dampfstrom in die Konstruktion

Gebäudewand mit Innendämmung
größerer Dampfstrom in die Konstruktion

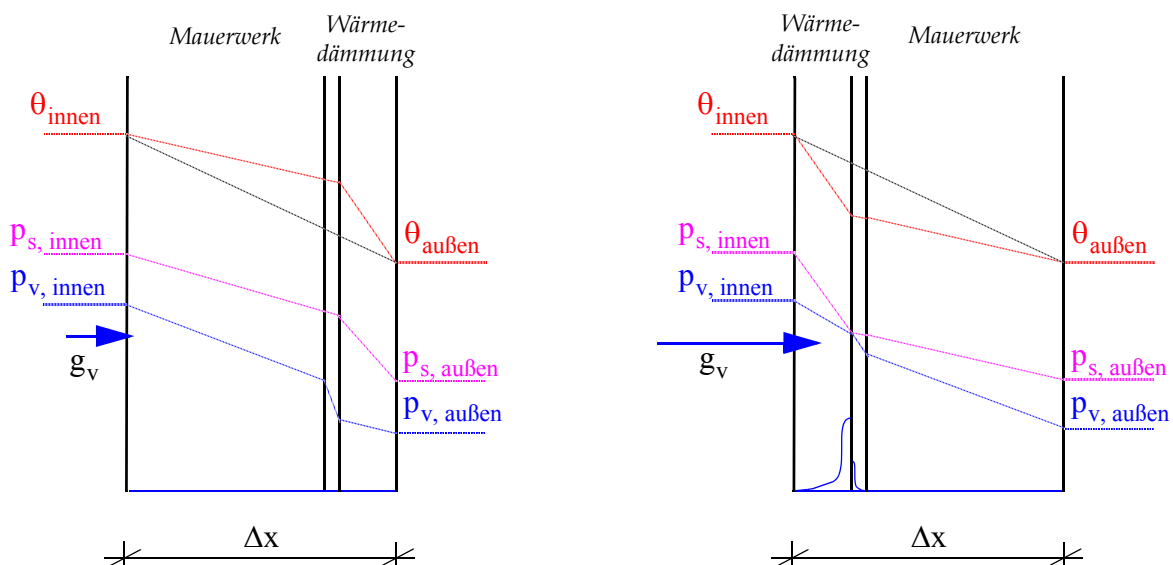


Abbildung 7: Feuchteverhalten von Außenwandkonstruktionen im Winter

kommen. Außen gedämmte Konstruktionen haben dieses Problem nicht, da sich aufgrund des sich einstellenden Dampfdruckprofils ein sehr viel kleinerer Dampfstrom in die Wand einstellt, der tragende Wandaufbau eine im Vergleich zur innen gedämmten Variante höhere Temperatur aufweist und der Dampfstrom bis zur kalten Seite dadurch einen viel größeren Widerstand (nämlich den der gesamten Konstruktion) überwinden muss.

Das Problem des Dampfstroms in die Wand hinein, das sich bei Innendämmung einstellt, lässt sich unterschiedlich lösen. Zum einen besteht die Möglichkeit die Konstruktion von innen her gegen Wasserdampf abzudichten. Dies ist bei Dämmung mit Polystyrol oder mit Mineralwolle plus Dampfbremse der Fall. Zum anderen besteht die Möglichkeit ein kapillaraktives Innendämmsystem zu wählen, bei welchem Tauwasser an einer definierten Stelle ausfallen und durch die Eigenschaften des Materials schnell wieder an den Raum abgegeben werden kann. Der Vorteil dieser Variante liegt darin, dass die Wand diffusionsoffen und damit feuchtepuffernd bleibt.

Ein solches kapillaraktives Innendämmsystem ist die Klimaplatte von *Calsitherm* in Verbindung mit dem Klebemörtel. Wasserdampf kann in die Klimaplatte eindringen. Aufgrund der größeren Wärmeleitfähigkeit und des größeren Dampf Widerstandes des Klebers im Vergleich zur Klimaplatte kommt es bei extremen Außentemperaturen an der Schichtgrenze zwischen diesen zu Kondensation. Da das Calciumsilikat eine sehr hohe Flüssigwasserleitfähigkeit besitzt, kann die Feuchte schnell zur raumseitigen Oberfläche der Dämmung transportiert werden, wo sie - aufgrund der höheren Temperatur - wieder verdunsten kann. Gleichzeitig nimmt der Kleber wegen seiner deutlich geringeren Flüssigwasserleitfähigkeit nur sehr wenig Wasser auf und verhindert damit eine Feuchtebeeinträchtigung der Unterkonstruktion. Das Calciumsilikat ist in der Lage sehr viel Wasser aufzunehmen, wodurch die bei extremen klimatischen Verhältnissen anfallende Feuchte gefahrlos gespeichert und später wieder an den Raum abgegeben werden kann.

Da das Calciumsilikat sehr diffusionsoffen ist, beteiligt sich ein weiter Bereich des Materials an der Feuchtepufferung, wodurch trotz der relativ flach liegenden Sorptionsisotherme eine gute Abdämpfung von Belastungsspitzen erreicht wird.

Beispiele für das Systemverhalten

Das Verhalten des Innendämmsystems von *Calsitherm* soll anhand einiger Beispiele simuliert und dadurch veranschaulicht werden. Die Berechnungen wurden mit dem am Institut für Bauklimatik der TU Dresden entwickelten Simulationsprogramm DELPHIN durchgeführt. Näheres zur Software und der zu Grunde liegenden Theorie des gekop-

Ziegelmauerwerk mit Calciumsilikat-Innendämmung

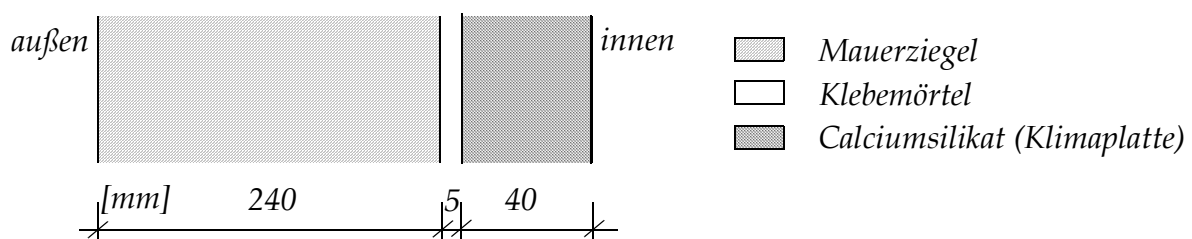


Abbildung 8: Wandaufbau für die numerische Simulation

pelten Energie- und Feuchtetransportes kann den Referenzen [1], [2] und [3] bzw. der Internetseite www.bauklimatik-dresden.de entnommen werden.

Es wurden drei Simulationsrechnungen für eine mit dem Innendämmsystem von *Cal-sitherm* versehene Mauerwerkswand durchgeführt. Es wurde dafür eine bewußt einfache Konstruktion ausgewählt, da es primär um die Veranschaulichung der ablaufenden bauphysikalischen Prozesse gehen soll. Dennoch stellt der gewählte Wandaufbau einen extremen Fall dar, so dass die Übertragung der Ergebnisse auf andere, beispielsweise dickere Konstruktionen durchaus zulässig ist. Der Wandaufbau ist in *Abb. 8* ersichtlich.

Die erste Berechnung ist eine Untersuchung des Feuchteverhaltens der Konstruktion unter den nach DIN 4108 für Nachweise gegen Tauwasserbildung anzusetzenden klimatischen Randbedingungen. Sie sind in *Tab 2* zusammengestellt. Für eine Zeitdauer von 60 Tagen wird die Konstruktion diesen Bedingungen rechnerisch ausgesetzt. Dabei darf die Kondensatmenge nach diesen 60 Tagen 1 kg/m² Wandfläche nicht überschreiten.

Die Berechnung zeigt (*Abb. 10*), dass es nach kurzer Zeit zu Tauwasserbildung kommt (nach etwa 18 Tagen entsteht überhygroskopische Feuchte). Anhand des Feuchteprofils wird allerdings auch deutlich, dass die Feuchte sehr schnell von der Kondensatebene wegtransportiert wird und dadurch die insgesamt entstehende Kondensatmenge unter dem angegebenen Grenzwert bleibt. Ließe man den Flüssigwassertransport au-

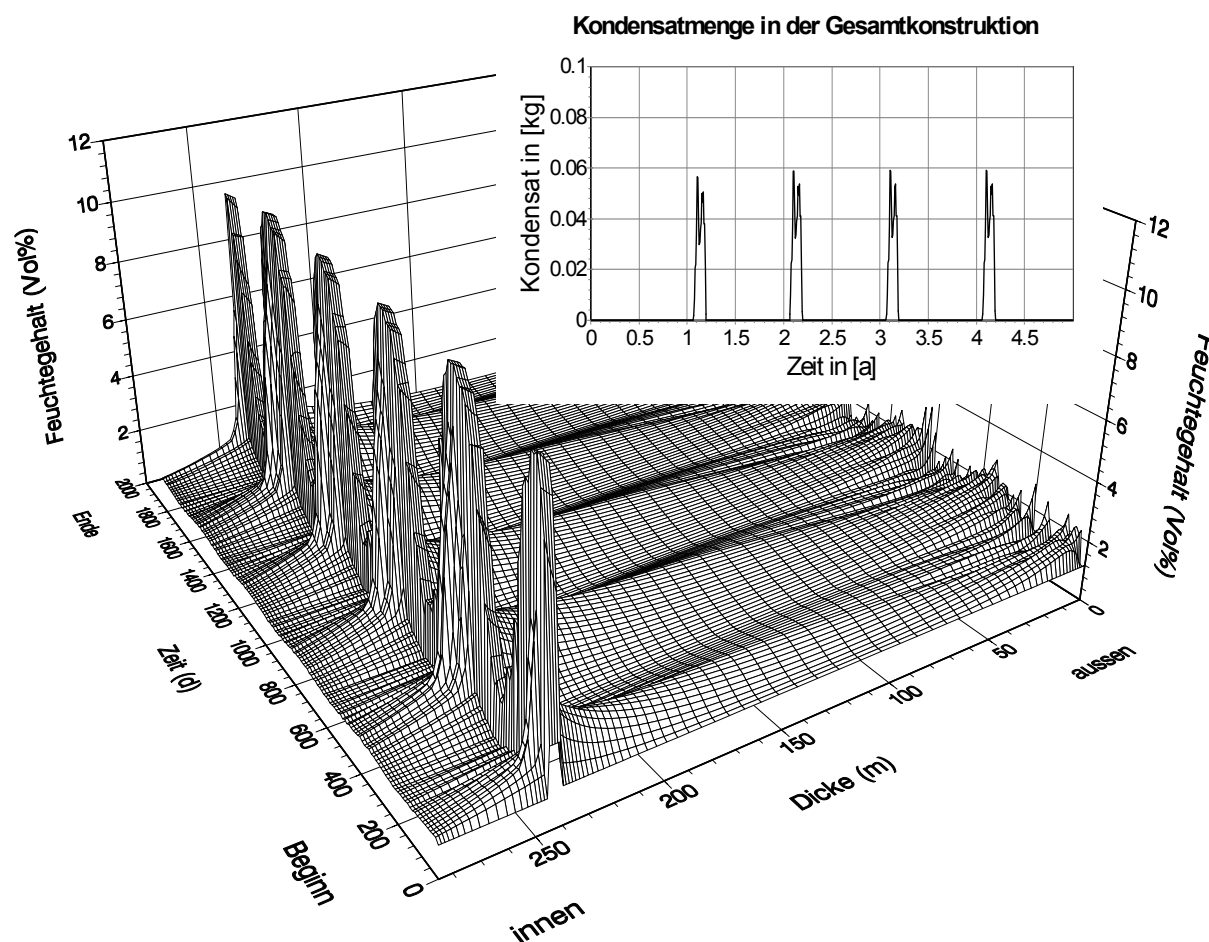


Abbildung 9: Feuchtegehalt über Zeit und Ort sowie Verlauf der überhygroskopischen Feuchte über die Zeit für die innen gedämmte Mauerwerkskonstruktion unter realen Klimarandbedingungen (TRY Essen).

ßer acht, vernachlässigte also die Kapillaraktivität des Calciumsilikates, dann läge die entstehende Kondensatmenge weit über 1 kg/m^2 . Diese Eigenschaft ist also entscheidend dafür, dass die Konstruktion funktioniert.

	innen	außen
Temperatur	20 °C	-10 °C
relative Luftfeuchte	50 %	80%

Tabelle 2: Klimabedingungen für innen und außen

Eine zweite Simulation sollte das Verhalten dieser Konstruktion unter realen klimatischen Verhältnissen zeigen. Dazu wurde sie für 5 Jahre einem mitteldeutschen Außenklima (Testreferenzjahr Essen) ausgesetzt. Das Innenklima entspricht dem in Tab 2 angegebenen. Die Ergebnisse dieser Simulation sind in Abb. 9 zusammengestellt.

Jeweils im Winter kommt es zu einem Anstieg des Wassergehaltes in der Grenzschicht zwischen Klimaplatte und Kleber. Es bilden sich geringe Kondensatmengen, die vom Calciumsilikat zur Raumseite transportiert und wieder an die Raumluft abgegeben werden. Es ist gut erkennbar, dass die im Winter anfallenden Feuchtemengen in der

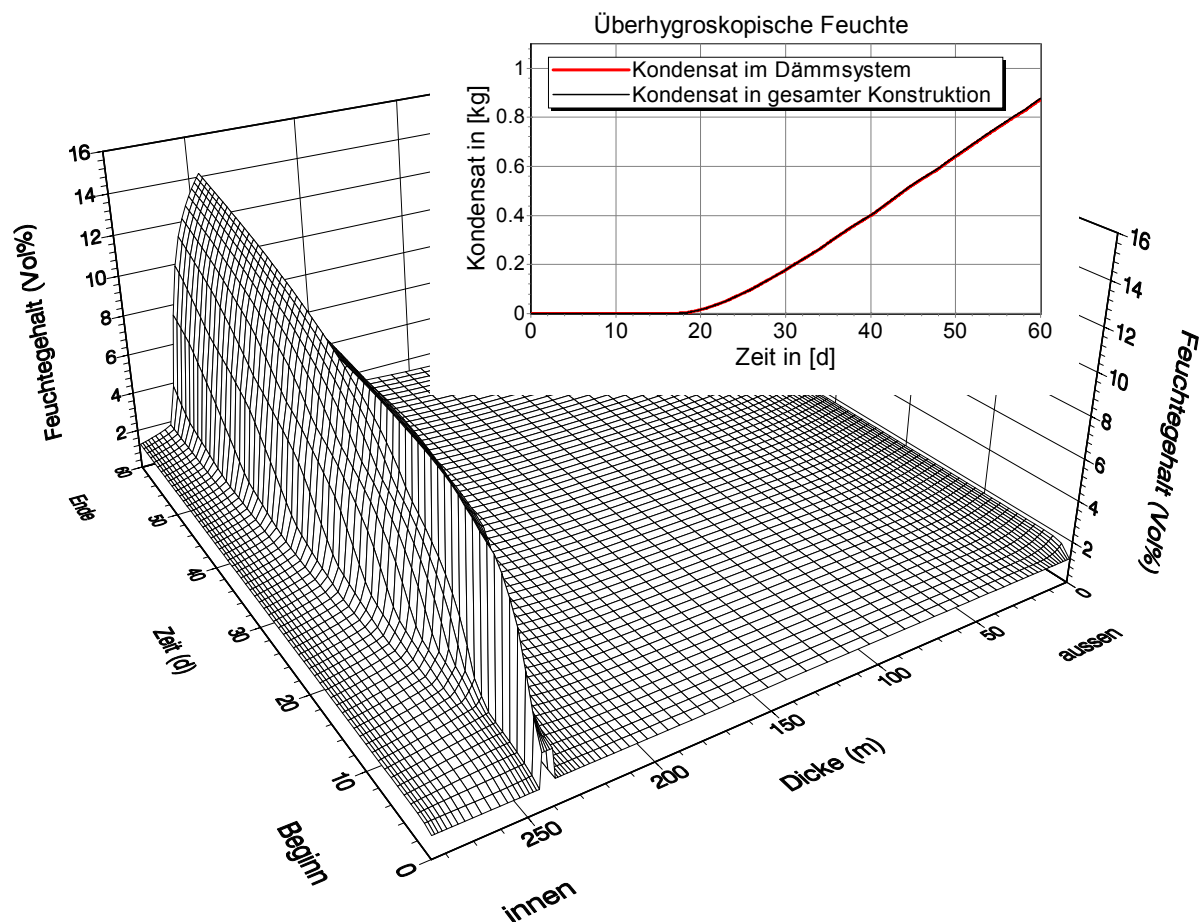


Abbildung 10: Feuchtegehalt über Zeit und Ort sowie Anstieg der überhygroskopischen Feuchte über die Zeit für die innen gedämmte Mauerwerkskonstruktion unter konstantem Klima nach DIN 4108.

warmen Jahreszeit wieder austrocknen können und es somit nicht zu einer hygrischen Aufladung der Konstruktion kommt.

Eine dritte Simulation sollte die Feuchtepufferwirkung der Konstruktion untersuchen. Ein Raum, dessen Außenwände mit dem System von Calsitherm innen gedämmt wurden (gleiche Konstruktion wie bisher), soll einer Feuchtebelastung ausgesetzt und der Einfluss des Innendämmsystems auf die Raumlufffeuchte berechnet werden.

Der untersuchte Raum besitzt eine 25m² große Grundfläche, eine Raumhöhe von 2,50m und ein Volumen von 62,5m³. Am Dampfaustausch mit dem Raum sollen nur die Außenwände mit einer Fläche von 25m² teilnehmen. Der Luftwechsel wird konstant mit $0,8 \cdot 1/h$ angenommen. Als Außenklima wurden konstante Bedingungen angesetzt (0°C und 75% relative Luftfeuchte). Im Raum sollen zunächst 20°C und 50% relative Luftfeuchte herrschen. Eine Stunde nach Simulationsbeginn findet eine Versammlung von 10 Personen statt, aufgrund derer sich die Raumtemperatur sprunghaft auf 23°C erhöht. Gleichzeitig geben diese Personen Feuchte ab, die als Feuchtequelle von 12,5 g/h ebenfalls sprunghaft angesetzt wurde. Die Veranstaltung dauert 3 Stunden, danach springt die Raumtemperatur wieder auf 20°C und die Feuchtequelle auf 0 g/h. Das Feuchteverhalten der Raumluff wird dann noch für weitere acht Stunden berechnet, so dass sich ein Verlauf über zwölf Stunden ergibt.

Das Beispiel ist sehr theoretisch, zeigt aber, dass die Wandkonstruktion diffusionsoffen und damit auch speicherfähig ist. Zum Vergleich wurde die gleiche Rechnung nocheinmal mit einer dampfdichten Innendämmung aus Polystyrolschaum durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass diese Konstruktion im Gegensatz zur Klimaplatte die Feuchtebelastung fast gar nicht abfangen kann und die Raumlufffeuchte unangenehm hoch wird. Der Temperatursprung am Anfang und am Ende der Versammlung wird in der Darstellung von *Abb. 11* als Sprung der relativen Luftfeuchte sichtbar, da sich mit der Temperatur auch der Sättigungsdampfdruck ändert. Zwischen den beiden Sprüngen lädt sich die Raumluff mit Feuchte auf. Je nachdem wieviel Feuchte da-

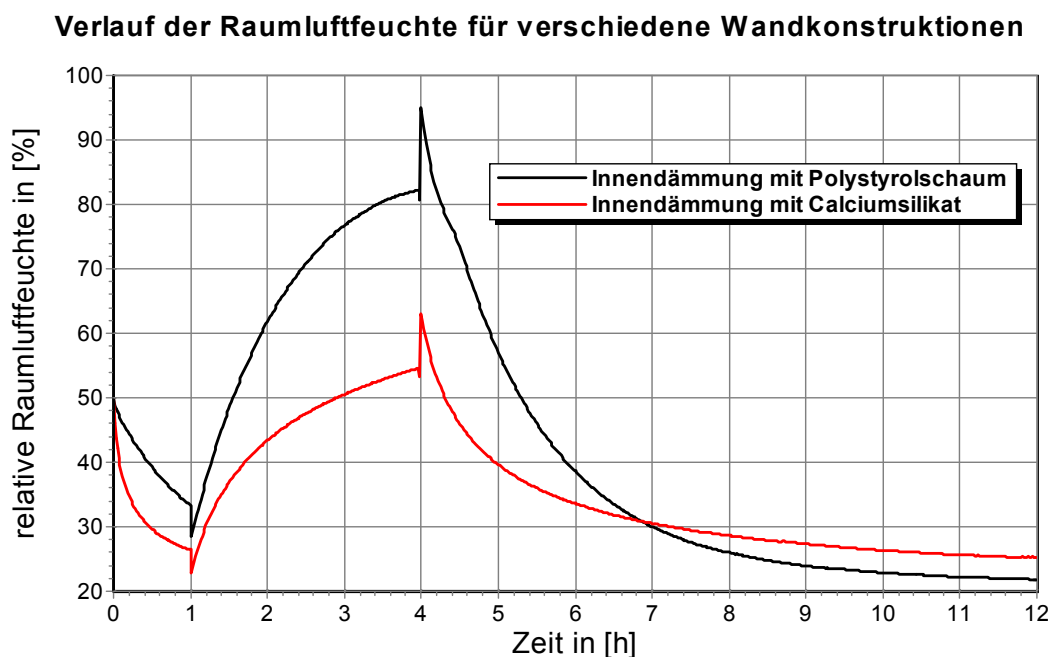


Abbildung 11: Verlauf der Raumlufffeuchte während und nach einer 3 stündigen Feuchtebelastung bei konstantem Luftwechsel und konstantem Außenklima

bei in der Umfassungskonstruktion gespeichert werden kann, fällt die Amplitude unterschiedlich aus. Nach der Belastung geht aufgrund des Luftwechsels die Luftfeuchte wieder zurück. In diesem Bereich schneiden sich die schwarze und die rote Kurve, da die in der Wand gespeicherte Feuchte erst langsam wieder an die Umgebung abgegeben wird.

Es wird deutlich, dass das Innendämmsystem von Calsitherm in der Lage ist, Feuchtebelastungen abzdämpfen und anfallende Feuchte zu speichern.

Referenzen

- [1] GRUNEWALD, J.: „*Diffusiver und konvektiver Stoff- und Energietransport in kapillarporösen Baustoffen*“, Dissertation, TU Dresden, Fakultät Architektur, Institut für Bauklimatik, 1997
- [2] GRUNEWALD, HÄUPL: „*Gekoppelter Feuchte-, Luft-, Salz- und Wärmetransport in porösen Baustoffen*“, Artikel im Bauphysik Kalender 2003 (S. 377 - 434), Ernst & Sohn Berlin 2003
- [3] INSTITUT FÜR BAUKLIMATIK, TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN: *Abschlussreports des INSUMAT Projektes, Workpackage 3 - Laboratory Measurements*, 5. Rahmenprogramm der EU 2003 (im Druck)

Normen

- [4] DIN 52612 *Wärmeschutztechnische Prüfungen - Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Plattengerät*, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, September 1979
- [5] DIN ISO 11274 *Bodenbeschaffenheit - Bestimmung des Wasserrückhaltevermögens - Laborverfahren*, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, Januar 2001
- [6] DIN EN ISO 12571 *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung der hygroskopischen Sorptionseigenschaften*, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, April 2000
- [7] DIN EN ISO 12572 *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit*, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, September 2001
- [8] DIN EN ISO 15148 *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten bei teilweisem Eintauchen*, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, März 2003
- [9] DIN 4108 *Wärmeschutz im Hochbau*, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, August 1981