

Ein Trocknungskoeffizient als neuer hygrothermischer Standardmaterialkennwert

M. Krus*, K. Lenz*, R. Plagge[°], G. Scheffler[°]

* Fraunhofer Institut für Bauphysik, Holzkirchen

[°] Institut für Bauklimatik, Universität Dresden

krus@hoki.ibp.fhg.de

Abstract

Computer calculations are of increasing importance for the assessment of moisture balance in building components, since modern calculation methods achieve good agreement with measurements. For a huge amount of building-materials the main material properties (like density, heat conductivity, sorption isotherm, capillary saturation, diffusion resistance and water uptake coefficient) are well known. With the help of approximation methods the extended hygric material functions like moisture retention curve and capillary transport coefficients can be derived from these basic parameters. The drying process mostly shows significantly different liquid transport coefficients than the absorption process. This is confirmed by laboratory and field tests. For this reason an additional standard material parameter is necessary in order to describe this behaviour. In this paper such a parameter is identified and its determination by a simple laboratory test is shown together with examples to accentuate the need for such a coefficient.

1. Hintergrund

Seit langem dienen der Wasseraufnahmekoeffizient (w -Wert) und die Diffusionswiderstandszahl (μ -Wert) bzw. diffusionsäquivalente Luftschichtdicke (s_d -Wert) als bauphysikalische Standardkennwerte zur Charakterisierung des Feuchteverhaltens von Baustoffen. Mit dem w -Wert wird die Wasseraufnahme von Materialien bei Kontakt mit flüssigem Wasser (Schlagregen) beschrieben. Der μ -Wert bzw. s_d -Wert kennzeichnet die Trocknungsmöglichkeit der Wand aufgrund Diffusion durch den Putz. Der Einfluss der Kapillarleitfähigkeit auf den Trocknungsvorgang wird bei dieser Betrachtung vernachlässigt. An den folgenden zwei kurz erläuterten Beispielen wird gezeigt, dass das hygrothermische Verhalten mit den vorhandenen Standardkennwerten nicht beschreibbar ist.

Sanierputze

Sanierputze werden in der Regel auf ein feuchtes, salzbelastetes Mauerwerk aufgebracht. Die Wirkung hängt unter anderem wesentlich davon ab, wie diese das Austrocknen des darunter liegenden Mauerwerks gestatten. Die Eigenschaften eines Sanierputzes sind durch ein diesbezügliches WTA-Merkblatt [1] gerade in Bezug auf den w -Wert und den s_d -Wert in engen Grenzen definiert. In eigenen Untersuchungen [2] konnte gezeigt werden, dass sich zwei Putzsysteme trotz annähernd gleichem w -Wert und μ -Wert in ihrem Trocknungsverhalten deutlich unterscheiden. Während das eine Putzsystem bei höheren Luftfeuchten deutlich langsamer trocknet (siehe Bild 1 links), ist der Einfluss der Luftfeuchte auf die Trocknungsgeschwindigkeit des anderen Putzsystems relativ gering (siehe Bild 1 rechts). Die Ursache dafür ist das unterschiedliche Zusammenspiel von Diffusions- und Kapillartransport. Trotz an-

nähernd gleichem w -Wert weist das zweite Sanierputzsystem beim Trocknungsvorgang einen wesentlich ausgeprägteren Kapillartransport auf. Dies führt dazu, dass bei ihm, die durch die höheren Luftfeuchten verschlechterten Trocknungsrandbedingungen zum großen Teil über einen verstärkten Kapillartransport an die Oberfläche wettgemacht wird und deshalb die Trocknungsgeschwindigkeit wesentlich weniger beeinflusst wird. Dieses Sanierputzsystem wird somit für eine deutlich schnellere Austrocknung einer Wand führen, aber aufgrund seiner Kapillaraktivität auch ein größeres Risiko von Salzausblühungen bei salzbelastetem Gemäuer mit sich bringen.

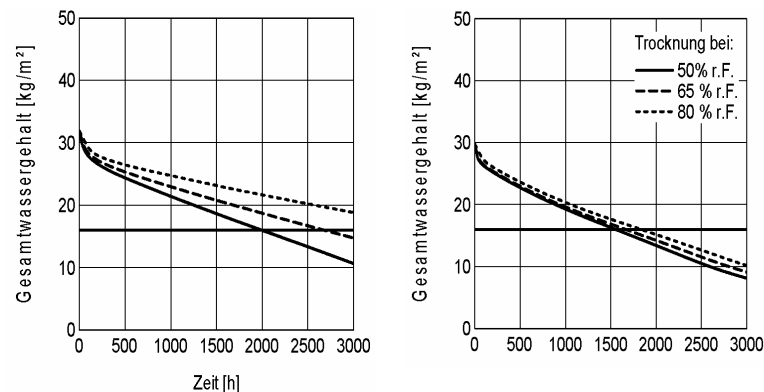


Bild 1 Austrocknungsverhalten des Putzsystems A (links) und B (rechts) bei 50 % r.F., 65 % r.F. und 80 % r.F.. Während Putzsystem A eine deutliche Abhängigkeit von der bei der Trocknung vorliegenden relativen Luftfeuchte zeigt, hat diese bei Putzsystem B nur geringen Einfluss. Die Linie parallel zur Abszisse kennzeichnet die Hälfte des Anfangswassergehaltes.

Mikrobieller Bewuchs auf Außenfassaden

Im Rahmen von Untersuchungen zum mikrobiellen Bewuchs von Wärmedämmverbundsystemen [3] wurden Prüfkörper mit Putzen unterschiedlicher Rezeptur im Freigelände des IBP über mehrere Jahre bewittert. Auffällig war dabei, dass trotz ähnlicher Rezeptur Putz M2 einen wesentlich stärkeren Bewuchs aufwies als Putz M1. Vergleicht man die feuchtetechnischen Kennwerte der beiden Putze M1 und M2 (Tabelle 1), so stellt man bei den Standardkennwerten keine nennenswerten Unterschiede fest. Jedoch das Austrocknungsverhalten ist grundsätzlich verschieden, wie an den in Bild 2 links dargestellten Laboruntersuchungen zu sehen ist. Beide Putze nehmen etwa gleich viel Wasser auf, aber die Austrocknung erfolgt bei M2 deutlich langsamer. Während der Putz M1 bereits nach 100 Stunden die Hälfte des aufgenommenen Wassers abgegeben hat, dauert es beim Putz M2 doppelt solange. Dieser Effekt kann mit bloßem Auge an den Prüfkörpern nach Regen beobachtet werden. In Bild 2 rechts handelt es sich bei den vier dunkleren Prüfkörpern in der Mitte um die Variante M2, während links daneben die Variante M1 angebracht ist. Der Helligkeitsunterschied ist hauptsächlich auf den unterschiedlichen Feuchtegehalt zurückzuführen, da im trockenen Zustand keine Unterschiede zu sehen sind.

Tabelle 1: Vergleich der feuchtetechnischen Kennwerte der Putze M1 und M2.

| Putzsystem | Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d [m] | Wasseraufnahmekoeffizient w_{1h} [kg/m ² √h] | Freie Wassersättigung [M.-%] |
|------------|--|---|------------------------------|
| M1 | 0,35 | 0,23 | 21,5 |
| M2 | 0,32 | 0,20 | 23,0 |

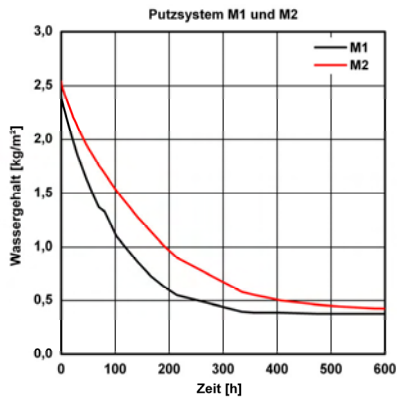


Bild 2 Links: Trocknungsverlauf der Putze M1 und M2
 Rechts: Fotografische Ansicht der Prüfkörper; bei den dunkleren vier Prüfkörpern in der Mitte handelt es sich um die Variante M2, links daneben hängt die Variante M1.

2. Anforderungen an den Trocknungskennwert

Für moderne Berechnungsverfahren, wie z.B. WUFI [4] oder Delphin [5] sind unterschiedliche Kennwertfunktionen (feuchteabhängige Diffusionskoeffizienten oder Kapillarleitfunktionen) zur realitätsnahen Beschreibung der Kapillartransportvorgänge beim Saugvorgang und bei der Trocknung entwickelt worden. Die Ergebnisse in Bild 3 zeigen am Beispiel des Porenbetons (Pb) mit unterschiedlicher Dicke, dass mit den vorhandenen Kennwertfunktionen eine gute Übereinstimmung von Rechnung und Messung erreicht wird. Es existieren auch bereits bewährte Approximationsverfahren, um aus Standardkennwerten in Verbindung mit einfachen Laborversuchen diese Kennwertfunktionen zu approximieren [6-9].

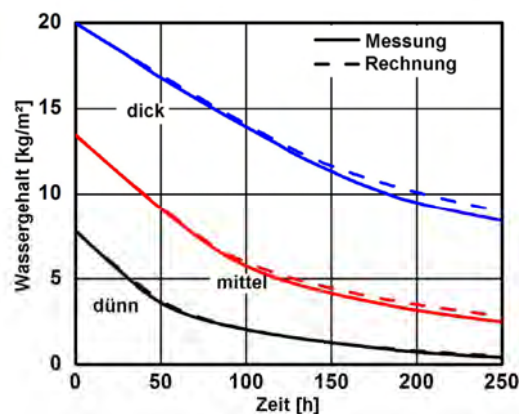


Bild 3 Vergleich des messtechnisch ermittelten Trocknungsverlaufs von Porenbetonproben unterschiedlicher Dicke mit Berechnungsergebnissen.

Bauphysikalische Standardkennwerte dienen den Anbietern von Baustoffen zur Kennzeichnung der wesentlichen Eigenschaften ihrer Produkte. Sie müssen auch dem weniger mit der Bauphysik vertrauten Anwender ermöglichen, anhand dieser Angaben unterschiedliche Produkte vergleichend zu bewerten. Kennwertfunktionen, wie sie für die hygrothermischen Berechnungen eingesetzt werden, sind deshalb dafür nicht geeignet und werden sich als Standardkennwert nicht durchsetzen. Dies bedeutet, dass ein Einzahlenwert gefunden werden muss, der physikalisch korrekt die Kapillaraktivität des Materials während des Trocknungsvorganges beschreibt. Außer-

dem muss dieser Kennwert durch ein einfaches und reproduzierbares Messverfahren bestimmbar sein, sodass er auch beim Baustoffhersteller ohne großen technischen Aufwand und spezieller tiefgehender Kenntnisse bestimmbar ist.

Betrachtet man die Trocknung eines anfangs gesättigten Materials unter konstanten Randbedingungen, lassen sich verschiedene Trocknungsabschnitte unterscheiden [10]. Während des ersten Trocknungsabschnittes (1. TA) wird die Trocknungsgeschwindigkeit ausschließlich von den äußeren Randbedingungen bestimmt. Hier ist der kapillare Flüssigkeitstransport ausreichend groß, um das an der Oberfläche verdunstende Wasser nachzuliefern und dementsprechend nimmt der Wassergehalt bei konstanten Klimarandbedingungen linear mit der Zeit ab. Das Ende des 1. TA ist erreicht, wenn aufgrund der mit absinkendem Wassergehalt geringer werdenden Kapillartransportkoeffizienten dieser Nachtransport nicht mehr ausreichend ist. Die Verdunstungsfront wandert unter die Materialoberfläche, sodass die Trocknung durch den damit verbundenen zusätzlichen Diffusionswiderstand der trockenen Schicht behindert wird, mit der Folge stetig abnehmender Trocknungsgeschwindigkeit. Das Ende des 1. TA beschreibt somit den Zeitpunkt, bei dem der kapillare Flüssigkeitstransport genau so groß ist, wie der von den Randbedingungen abhängige Verdunstungsmassenstrom einer freien Wasseroberfläche. Da die Länge des 1. TA von den äußeren Randbedingungen abhängt, müssen für eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse die Messungen in einem Standardklima durchgeführt werden. Hierfür bietet sich ein Klima von 50 % r.F. bei 23 °C an, das auch für Diffusionsmessungen nach EN ISO 7783-2 [11] benötigt wird. In den Trocknungskennwert muss auch der Einfluss der Materialdicke in geeigneter Weise einbezogen werden (s. Kapitel 3.1).

3. Rechnerische Untersuchungen

Um die Eignung eines derartigen Trocknungskennwertes zu überprüfen, wurden in einem ersten Schritt rechnerische Untersuchungen durchgeführt. Mit Hilfe des Berechnungsprogramms WUFI wurde für verschiedene Baustoffe bei unterschiedlichen Randbedingungen das Ende des 1. TA bestimmt. Dabei wurde stets von anfangs gesättigten Materialproben und einem Klima von 23 °C und 50 % r. F. ausgegangen.

3.1 Einfluss der Probendicke

Im Gegensatz zum Wasseraufnahmekoeffizienten wird das Ende des 1. TA durch die Probendicke wesentlich beeinflusst (siehe auch Bild 3). Hierbei handelt es sich, wie aus Bild 4 am Beispiel des Kalksandsteins und des Porenbetons ersichtlich, erwartungsgemäß nicht um eine linear sondern mit der Wurzel der Probendicke zunehmende Länge des 1. TA (Bild 4 unten). Die Steigungen der Ausgleichsgeraden in Bild 4 unten betragen für den Kalksandstein $190 \text{ h}/\sqrt{\text{m}}$ und für den Porenbeton $500 \text{ h}/\sqrt{\text{m}}$.

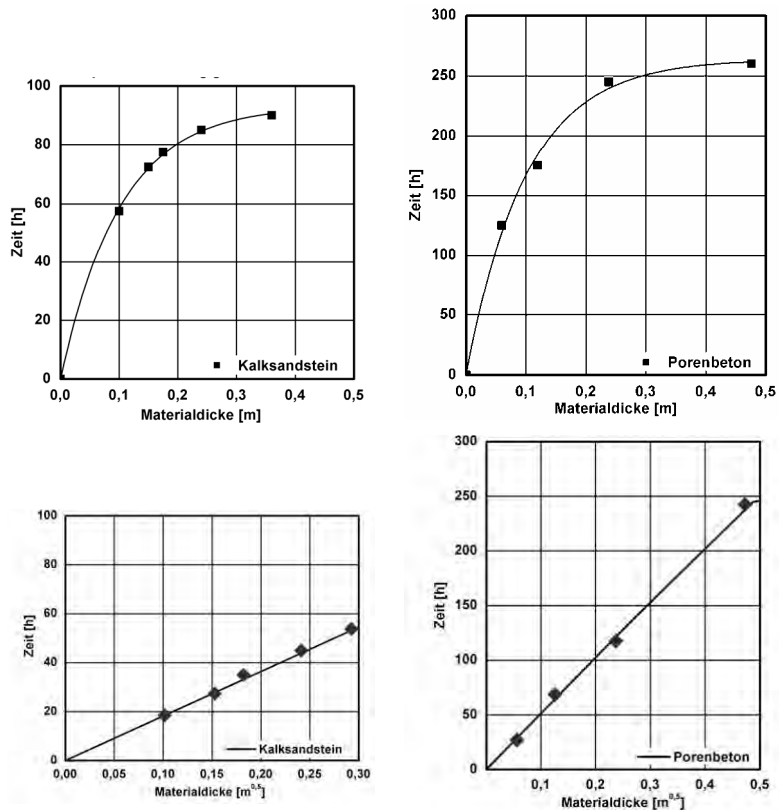


Bild 4 Rechnerisch bestimmtes Ende des 1.TA am Beispiel des Kalksandsteins (links) und des Porenbetons (rechts) aufgetragen über der Materialdicke (oben) und der Wurzel der Materialdicke (unten).

3.2 Einfluss Wärmeübergangskoeffizienten

Neben der Lufttemperatur und -feuchte hat der Wärmeübergangskoeffizient aufgrund seiner Kopplung mit dem Stoffübergangskoeffizienten (Lewis-Relation) einen deutlichen Einfluss. In Bild 5 sind für den Kalksandstein die berechneten Trocknungsverläufe für unterschiedliche Wärmeübergangskoeffizienten dargestellt. Der Einfluss des Wärmeübergangskoeffizienten auf die Steigung der Kurve im 1. TA und dessen Länge ist deutlich zu erkennen.

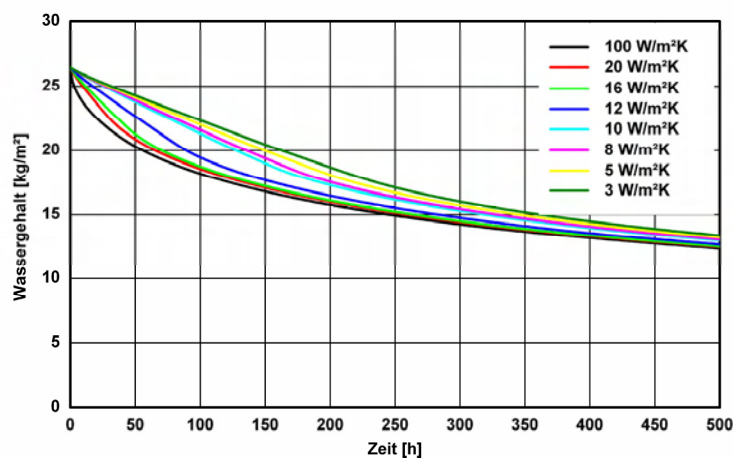


Bild 5 Für unterschiedliche Wärmeübergangskoeffizienten berechnete Austrocknungsverläufe von Proben aus Kalksandstein.

4. Messtechnische Untersuchungen

Die dargelegten Überlegungen und die rechnerischen Ergebnisse bedeuten, dass bei der messtechnischen Ermittlung des Trocknungskennwertes die folgend beschriebenen Bedingungen erfüllt werden müssen, um eine Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Die Messungen müssen unter konstanten Normklimabedingungen durchgeführt werden (23 °C; 50 % r.F.). Die Messung des Masseverlustes sollte kontinuierlich erfolgen. Um das Ende des 1. TA sicher zu erfassen. Dies ist mit modernen Waagen, die meist eine Datenschnittstelle besitzen, ohne größeren Aufwand möglich. Um die Dickenabhängigkeit zu bestimmen, sollten die Messungen an Proben unterschiedlicher Dicke durchgeführten werden. Bei Produkten mit definierten Dicken bei der Anwendung (z.B. Putzen) sollten die Prüfkörper mit entsprechender Dicke eingesetzt werden.

Aufgrund der bei den Messungen verwendeten Probengrößen kann nicht von eindimensionalen Bedingungen ausgegangen werden. Randeinflüsse sind somit nicht auszuschließen. Bei der Verdunstung des Wassers wird die Probe durch die Verdunstungswärme von der Trocknungsseite her abgekühlt und es stellt sich innerhalb des 1. TA eine niedrigere Oberflächengrenztemperatur ein. Bei einem nicht unendlich ausgedehnten Körper wird von den Probenseiten her diese Temperatur durch Wärmeleitung beeinflusst. Durch eine zusätzliche Dämmung an den Probenseiten kann dieser Einfluss verringert werden. Die Notwendigkeit einer derartigen Maßnahme wurde durch Messungen mit und ohne Dämmung untersucht. Es zeigt sich dabei, dass bei niedrigen Wärmeübergangskoeffizienten dieser Effekt bei den eingesetzten Probengrößen mit einer Querschnittsfläche von 100 cm² gering ist (s. Bild 6). Bei hohen Luftgeschwindigkeiten muss für ein korrektes Ergebnis dagegen eine Dämmung der Probenseiten erfolgen.

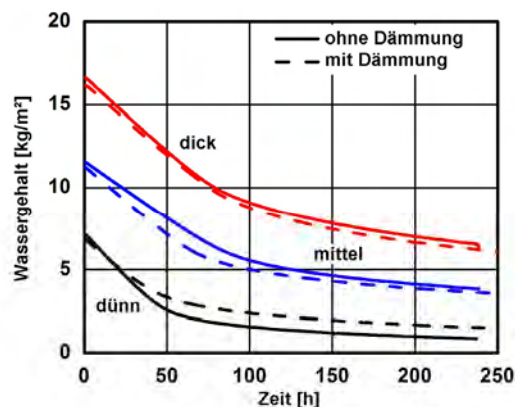


Bild 6 Messtechnische Untersuchung des Einflusses einer seitlichen Dämmung der Probe. Bei niedrigen Wärmeübergangskoeffizienten ist der Einfluss gering, bei hohen dagegen wesentlich (nicht dargestellt).

In Bezug auf den Einfluss des Wärmeübergangskoeffizienten muss berücksichtigt werden, dass dieser in üblichen Klimakammern oder -räumen aufgrund unterschiedlicher Luftströmungsgeschwindigkeiten meist örtlich unterschiedliche Werte aufweist. Es wurde deshalb versucht, durch einen geeigneten Messaufbau dafür zu sorgen, dass bei der Messung über der Probenoberfläche der Wärmeübergangskoeffizient in engen, das Messergebnis wenig beeinflussenden, Grenzen bleibt. Grundsätzlich bieten sich dazu zwei Möglichkeiten an. Entweder man sorgt durch eine geeignete Maßnahme für eine ruhende Luftschicht oberhalb der Probe, um

definierte vergleichbare Bedingungen zu erhalten, oder man bewirkt definierte Wärmeübergangskoeffizienten durch erzwungene hohe Luftgeschwindigkeiten. Im Folgenden werden für beide Möglichkeiten messtechnische Beispiele aufgeführt und die Vor- und Nachteile aufgezeigt.

4.1 Messungen bei niedrigen Oberflächenluftgeschwindigkeiten

Um den Einfluss der unterschiedlichen Luftgeschwindigkeiten im Klimaraum auf den Trocknungsvorgang zu minimieren, wurde über die Probe eine diffusionsoffene Folie ($s_d = 0.03\text{m}$), die auf einem Wirrgelege befestigt ist, angebracht. Dieses Wirrgelege gewährleistet einen definierten Abstand der Folie zur Probenoberfläche. Vorab wurde die Wirkung einer derartigen Folie rechnerisch untersucht (s. Bild 7). Wie erwartet, ergibt sich ein deutlich geringerer Einfluss des Wärmeübergangskoeffizienten oberhalb der Folie aber auch eine höhere Trocknungszeit. Bild 8 zeigt den Versuchsaufbau mit dieser Folie.

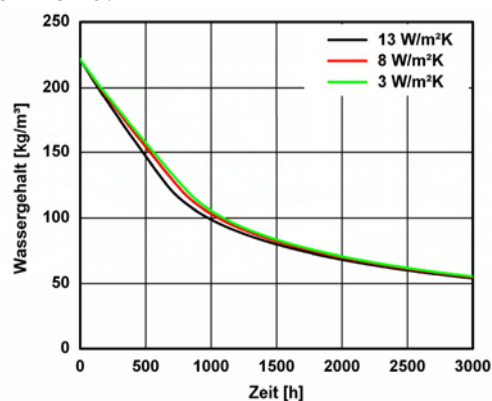


Bild 7 Berechneter Trocknungsverlauf einer gesättigten Probe aus Kalksandstein mit diffusionsoffener Folie bei unterschiedlichen Wärmeübergangskoeffizienten oberhalb der Folie.



Bild 8 Versuchsaufbau mit diffusionsoffener Folie. Die Folie mit Wirrgelege ist links oben dargestellt, darunter die Probe mit aufgelegter Folie, daneben der Probenaufbau mit seitlicher Abdichtung.

Bild 9 links zeigt am Beispiel eines Ziegels den mit diesem Versuchsaufbau gemessenen Trocknungsverlauf von Proben unterschiedlicher Dicke. In Bild 8 rechts sind die zugehörigen Zeitdauern des 1. TA über der Wurzel der Probendicke dargestellt.

Durch den zusätzlichen Diffusionswiderstand ergibt sich aber kein linearer Zusammenhang mehr.

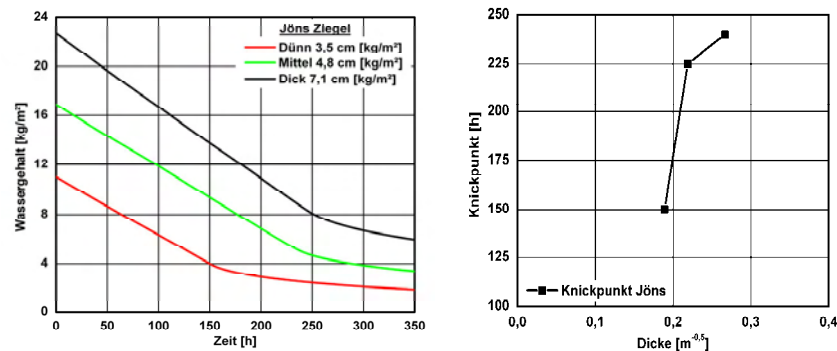


Bild 9 Für unterschiedliche Wärmeübergangskoeffizienten berechnete Trocknungsverläufe von Kalksandstein.

4.1 Messungen bei hohen Oberflächenluftgeschwindigkeiten

Am Institut für Bauklimatik der Universität Dresden ist eine Messeinrichtung entwickelt worden, die die Bestimmung des Trocknungsverlaufes unter kontrollierten Randbedingungen erlaubt [12]. Der Prototyp wurde aufgebaut aus Metall und PVC, mit einem Windkanal aus Plexiglas. Er besteht aus einem mit Plexiglasplatten bedeckten Metallrahmen, drei Ventilatoren an jedem Kanalende und Einschubleisten für drei Laden. Die Laden sind in drei Teile unterteilt mit jeweils einer in der Höhe justierbaren Halterung für den Probekörper. Auf den Laden befindet sich ein Deckel mit passenden Ausschnitten für die Proben. Die Messtechnik besteht aus 12 Temperatursensoren, die so in der Höhe justierbar sind, dass damit in Probenmitte die Oberflächentemperatur gemessen werden kann. Zusätzlich sind an zwei Stellen kombinierte Temperatur- und Luftfeuchtesensoren installiert. Außerdem können Strömungsmesssensoren angebracht werden. Bild 10 zeigt eine schematische Darstellung sowie eine photographische Ansicht.

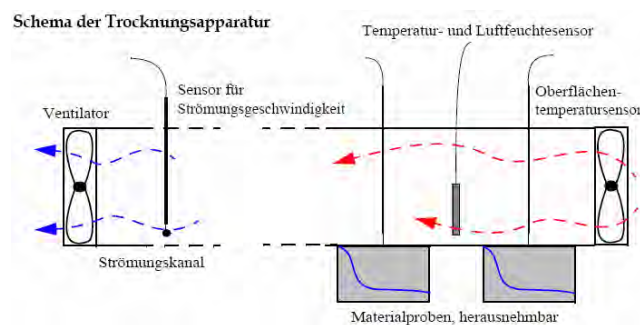


Bild 10 Messapparatur, entwickelt um unter definierten Randbedingungen den Trocknungsverlauf zu ermitteln.
 Oben: Schematische Darstellung der Messeinrichtung
 Unten links: Photographische Ansicht der Messeinrichtung
 Unten rechts: Photographische Ansicht der installierten Messsensoren.

In Bild 11 rechts sind die Trocknungsverläufe von drei Proben einer Lade dargestellt. Wie erwartet führt die große Luftgeschwindigkeit zu einer hohen Trocknungsgeschwindigkeit. Die zwei Trocknungsabschnitte sind deutlich unterscheidbar. Der erste Trocknungsabschnitt ist beendet, wenn der materialabhängige Flüssigtransport an die Oberfläche gerade ausreicht, um die den Randbedingungen entsprechende Verdunstungsrate zu ermöglichen. Ab hier ist die Trocknungsgeschwindigkeit nicht länger konstant und der Trocknungsverlauf weicht von der Geraden ab. Außerdem nähert sich, wie in Bild 11 links ab dem neunten Tag erkennbar, die Oberflächentemperatur der Lufttemperatur an.

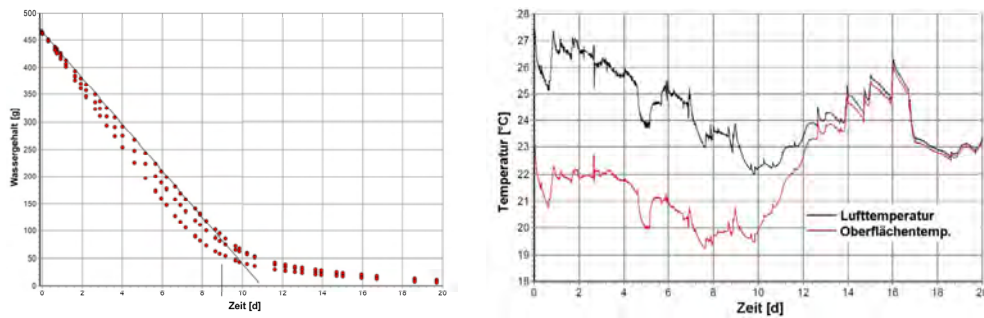


Bild 11 Links: Gemessene Trocknungsverläufe für Kalziumsilikatplatten. Dargestellt sind die Ergebnisse von drei Proben einer Lade. Der lineare Trocknungsverlauf endet nach ca. 9 Tagen.
Rechts: Verlauf der Luft- und Oberflächentemperatur während der in Bild 11 dargestellten Messung. Nach Beendigung des 1. TA nähert sich die Oberflächentemperatur der Lufttemperatur an.

5. Konsequenzen aus den messtechnischen Untersuchungen

Die dargelegten Untersuchungsergebnisse zeigen, dass es nur mit größerem Aufwand oder unter Inkaufnahme nicht akzeptabler Einschränkungen möglich ist, exakt definierte Wärmeübergangsbedingungen bei den Messungen sicherzustellen. Aus diesem Grund müssen als Alternative die vor Ort vorliegenden Randbedingungen mitbestimmt werden, um aus dem ermittelten Trocknungskennwert auf Standardübergangsbedingungen umzurechnen.

Da der Gewichtsverlust kontinuierlich bestimmt werden muss, um das Ende des 1. TA zu bestimmen, kann man aus den Messungen auch den von den Übergangsbedingungen abhängigen flächenbezogenen Massenstrom ermitteln. Damit kann gemäß Gleichung 1 der bezogene Trocknungskennwert berechnet werden:

$$T = T_{\text{Mess}} \cdot g_{\text{Mess}} / g_{\text{Ref}} \quad (1)$$

| | | | |
|-----|-------------------|-----------------------|---|
| Mit | T | [h/√m] | Trocknungskennwert |
| | T _{Mess} | [h/√m] | Trocknungskennwert bei Messung |
| | g _{Mess} | [kg/m ² h] | Massenstromdichte bei Messung |
| | g _{Ref} | [kg/m ² h] | Massenstromdichte bei Referenzbedingung |

In Bild 12 links sind für normale Innenraumwärmeübergangskoeffizienten von 3 bis 12 W/m²K die berechneten Trocknungsverläufe am Beispiel des Porenbetons dargestellt. Zur Veranschaulichung sind die Steigungen des 1. TA mit eingezeichnet (schwarze Geraden). Die daraus ermittelten Trocknungskennwerte sind für den Porenbeton sowie einen Kalksandstein in Bild 12 rechts in Abhängigkeit von den Übergangsbedingungen aufgetragen. Bezieht man die Werte gemäß Gleichung 1 auf Normübergangsbedingungen für den Innenraum von 8 W/m²K erhält man die in Tabelle 2 aufgelisteten Werte. Dabei fällt auf, dass sich die Trocknungsgeschwindigkeiten beider Materialien trotz gleicher Randbedingungen leicht unterscheiden.

Die Ursache hierfür liegt in der unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeit der Materialien, wodurch sich beim Verdunstungsvorgang unterschiedliche Oberflächentemperaturen ergeben. Als Referenz-trocknungsgeschwindigkeit wird deshalb die Massenstromdichte angesetzt, die sich für reines Wasser bei den Standardrandbedingungen ergibt. Trotz der nichtlinearen Abhängigkeit der Kapillartransportkoeffizienten vom Feuchtegehalt ergibt sich ein in sehr engen Grenzen liegender Trocknungskennwert. Dies muss noch durch Messungen bestätigt werden.

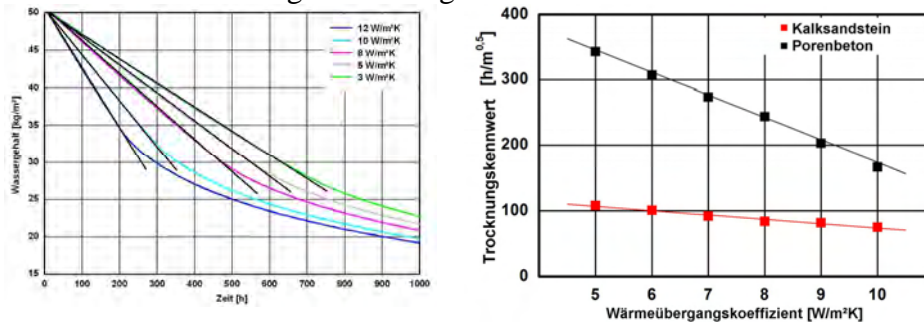


Bild 13 Für unterschiedliche Wärmeübergangskoeffizienten berechnete Austrocknungsverläufe von Proben aus Porenbeton (rechts). Für eine leichtere Erkennbarkeit der unterschiedlichen Trocknungsgradienten des 1. TA sind entsprechende Geraden mit eingezeichnet. Das rechte Bild zeigt die resultierenden Trocknungskoeffizienten im Vergleich zu denen des Kalksandsteins.

Tabelle 2: Gemessene und auf Standardtrocknungsbedingungen normierte Trocknungskennwerte für Porenbeton und Kalksandstein, berechnet mit unterschiedlichen Wärmeübergangskoeffizienten.

| Wärmeübergangskoeffizient [W/m²K] | Trocknungsgeschwindigkeit [kg/m²h] | | Trocknungskoeffizient [h/√m] | | | |
|-----------------------------------|------------------------------------|------------|------------------------------|---------------|------------|------------|
| | Kalksandstein | Porenbeton | Kalksandstein | Kalksandstein | Porenbeton | Porenbeton |
| | Messung | Messung | Messung | Normiert | Messung | Normiert |
| 5 | 0.0575 | 0.0540 | 313 | 270 | 994 | 805 |
| 6 | 0.0618 | 0.0585 | 293 | 271 | 890 | 781 |
| 7 | 0.0656 | 0.0627 | 267 | 262 | 794 | 747 |
| 8 | 0.0684 | 0.0698 | 244 | 250 | 707 | 740 |
| 9 | 0.0714 | 0.0795 | 238 | 254 | 588 | 701 |
| 10 | 0.0738 | 0.0907 | 217 | 241 | 484 | 658 |

6. Zusammenfassung und Ausblick

Die Notwendigkeit eines Trocknungskennwerts als zusätzlicher bauphysikalischer Standardkennwert wird an zwei Beispielen dargestellt. Dieser Trocknungskennwert sollte, um eine einfache Vergleichbarkeit sicher zu stellen keine Materialfunktion sondern ein Einzahlenwert sein. Als Trocknungskennwert wird die Dauer des ersten Trocknungsabschnittes einer gesättigten probe bezogen auf die Wurzel der Materialdicke definiert. Wichtig ist dabei, dass die Messungen unter standardisierten Randbedingungen ablaufen. In Bezug auf die Lufttemperatur und –feuchte bietet sich dafür das für Diffusionswiderstandsmessungen definierte Standardklima von 23 °C und 50 % Luftfeuchte an. Einen deutlichen Einfluss haben aber auch die Wärme- bzw. Stoffübergangsbedingungen, die von der Luftgeschwindigkeit an der Probenoberfläche abhängen. Diese variieren aber örtlich in normalen Klimäräumen oder –kammern. Die Untersuchungen zeigen aber, dass es nur mit größerem Aufwand oder unter Inkaufnahme nicht akzeptabler Einschränkungen möglich ist, exakt definierte

Wärmeübergangsbedingungen bei den Messungen sicherzustellen. Aus diesem Grund wird vorgeschlagen, die Messungen unter den vorliegenden Laborbedingungen durchzuführen und das Ergebnis auf Standardübergangsbedingungen umzurechnen. Bei dem hier vorgestellten Trocknungskennwert und dazugehörigen Messverfahren handelt es sich um erste orientierende Schritte, auch um eine diesbezügliche Diskussion in der Fachwelt in Gang zu setzen. Bevor ein derartiger Kennwert in die Öffentlichkeit gebracht werden kann, müssen an einer größeren Anzahl unterschiedlicher Materialien Messungen durchgeführt werden, um dessen Eignung im Praxistest zu überprüfen.

Literatur

- [1] WTA Merkblatt 2-2-91/D Sanierputze, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e. V., Zürich 1991.
- [2] Krus, M.; Holm, A.: Ist die Trocknungshalbwertzeit zur Beschreibung des Trocknungserhaltens von Putzsystemen geeignet? Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen und Baudenkmalpflege 8 (2002), H. 5, S. 495 – 511.
- [3] Breuer, K.; Fitz, C.; Hofbauer, W.; Sedlbauer, K.; Krus, M.; Renzl, A.: Prognoseverfahren zum biologischen Befall durch Algen, Pilze und Flechten an Bauteiloberflächen auf Basis bauphysikalischer und mikrobieller Untersuchungen, IBP-Bericht HTB-03/2005, Holzkirchen 2005.
- [4] Künzel H.M. 1995. Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components. - One- and two-dimensional calculation using simple parameters. IRB Verlag.
- [5] Grunewald, J.: Konvektiver und diffusiver Stoff- und Energietransport in kapillarporösen Baustoffen. 1997 Dissertation an der TU Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen.
- [6] Krus, M. et al. 1997. Ermittlung der Kapillartransportkoeffizienten mineralischer Baustoffe aus dem w-Wert. Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen 3, H. 3, pp. 1-16.
- [7] Holm, A. & Krus, M. 1998. Bestimmung des Transportkoeffizienten für die Weiterverteilung aus einfachen Trocknungsversuchen und rechnerischer Anpassung, Bauinstandsetzen 4, H. 1, pp. 33-52.
- [8] Krus, M. & Kießl, K. 1998. Determination of the moisture storage characteristics of porous capillary active materials. Materials and Structures, Vol. 31, H. 212, pp 522-529.
- [9] J. Grunewald, M. Bomberg: An engineering approximation of material characteristics for input to Heat, Air and Moisture transport simulations, Tagungsband zum 11. Bauklimatisches Symposium an der TU Dresden, Sept. 2002, S. 272 - 285
- [10] Krischer, O., Kast, W. (1978). Trocknungstechnik 1. Band: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik, 3. Auflage, Springer Verlag Berlin
- [11] DIN EN ISO 7783-2: Lacke und Anstrichstoffe - Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für mineralische Untergründe und Beton im Außenbereich - Teil 2: Bestimmung und Einteilung der Wasserdampf-Diffusionsstromdichte (Permeabilität) (ISO 7783-2:1999); Ausgabe April 1999.
- [12] Scheffler, G.; Plagge, R. Defined drying behaviour measurement for building materials