

Messverfahren zur zerstörungsfreien Bewertung der kapillaren Wasseraufnahme von Fassaden

Mario Stelzmann¹, Ulrich Möller², Rudolf Plagge³

¹Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig, 04277 Leipzig, E-Mail: mario.stelzmann@htwk-leipzig.de

²Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig, 04277 Leipzig, E-Mail: ulrich.moeller@htwk-leipzig.de

³Technische Universität Dresden, 01069 Dresden, E-Mail: rudolf.plagge@tu-dresden.de

Einleitung

Bei Sanierungen von Gebäuden mit historischen Fassaden wurden in den vergangenen Jahren immer häufiger Innendämmungen eingesetzt. Gegenüber einer außenseitigen Wärmedämmung hat die Innendämmung den großen Vorteil, dass die ursprüngliche Fassadenansicht erhalten bleibt. Die Nachteile einer Innendämmung sind größtenteils bauphysikalischer Natur. Neben Wärmebrücken und der Tauwasserproblematik stellt die Schlagregensicherheit der bestehenden Außenwandkonstruktion häufig ein Problem dar. Der hygrothermische Nachweis von innen gedämmten Außenwänden kann über das vereinfachte Verfahren nach WTA-Merkblatt 6-4 „Innendämmung nach WTA I – Planungsleitfaden“ [1] oder durch eine hygrothermische Simulationsrechnung nach DIN EN 15026 [2] geführt werden. In beiden Fällen ist ein ausreichender konstruktiver Schlagregenschutz eine wichtige Voraussetzung. Der Wasseraufnahmekoeffizient (A_w -Wert) gilt dabei als ein entscheidendes Kriterium für dessen Beschreibung. Die ausreichend genaue Bestimmung des A_w -Wertes von bestehenden Fassaden ist derzeit jedoch nur mit einer zerstörenden Entnahme von Material und einer anschließenden Untersuchung im Labor möglich. Dies ist besonders für die Untersuchung von denkmalgeschützten Fassaden unbefriedigend.

Vorhandene Prüfverfahren

Die DIN EN ISO 15148 [3] beschreibt einen Normversuch zur Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten und stellt die Grundlage aller weiteren Betrachtungen dar. Bei dem Laborversuch wird eine konditionierte Probe wenige Millimeter in ein Wasserbad getaucht. In definierten Zeitabständen wird der Probekörper aus dem Wasserbad genommen und gewogen. Die Gewichtszunahme des Probekörpers entspricht der aufgenommenen Wassermenge. Bezogen auf die eingetauchte Probekörpergrundfläche und die Wurzel der Versuchsdauer wird daraus der Wasseraufnahmekoeffizient der Baustoffprobe in $\text{kg}/(\text{m}^2\sqrt{\text{s}})$ bzw. $\text{kg}/(\text{m}^2\sqrt{\text{h}})$ berechnet. Für die Anwendung dieses Verfahrens an einer Bestandsfassade ist eine zerstörende Entnahme von Baustoffproben nötig. Um eine repräsentative Aussage über eine ganze Fassade treffen zu können, sollten entsprechend mehrere Stellen untersucht werden. Neben hohen Kosten für Entnahme, Untersuchung und anschließendem Verschließen der Probestellen stoßen solche zerstörenden Verfahren bei Bauherren und Denkmalpflegern oft auf Widerspruch.

Mit dem Prüfröhrchen nach Karsten oder der WD-Prüfplatte nach Franke [4] besteht die Möglichkeit, die kapillare Wasseraufnahme einer Fassade auch zerstör-

ungsfrei zu bestimmen. Dabei wird das jeweilige Prüfgerät mithilfe eines Dichtungskittes direkt an der Fassade befestigt. Über ein Röhrchen werden die beiden Geräte mit Wasser befüllt. Durch Beobachten des Wasserstandes im Röhrchen wird auf die kapillare Wasseraufnahme der Fassade geschlossen. Nach einer Messung lassen sich die Geräte wieder rückstandslos entfernen. Die beiden Prüfgeräte eignen sich gut für eine Abschätzung der vorhandenen kapillaren Wasseraufnahme von Fassaden. Für den Nachweis bspw. eines wasserabweisenden Regenschutzes nach DIN 4108-3 [5] mit einem Wasseraufnahmekoeffizienten von $A_w \leq 0,0083 \text{ kg}/(\text{m}^2\sqrt{\text{s}})$ sind das Prüfröhrchen nach Karsten und die WD-Prüfplatte nach Franke jedoch nur bedingt geeignet. Durch eine geringe Grundfläche von 7 cm^2 beim Prüfröhrchen nach Karsten und 200 cm^2 bei der WD-Prüfplatte nach Franke sowie eine kurze Messdauer von 15 Minuten ist speziell bei wasserabweisenden Fassadenoberflächen lediglich eine qualitative Einschätzung des Wasseraufnahmekoeffizienten möglich.

Neues Messverfahren

Vor dem Hintergrund eines zerstörenden und aufwendigen Normversuches sowie eine eher qualitative Einschätzung durch vorhandene in-situ-Geräte, wurde ein neues Messverfahren entwickelt. Ziel der Entwicklungsarbeit war ein Gerät, das die kapillare Wasseraufnahme einer Fassade integral auf einer repräsentativen Fläche und einer hohen Genauigkeit messen kann. Das neu entwickelte Messverfahren beruht auf einem geschlossenen Wasserfilm, der einen definierten Fassadenbereich permanent mit Wasser benetzt. Dabei wird ein Teil des Wassers von der Fassade aufgenommen, der Rest fließt zurück in einen geschlossenen Wasserkreislauf. Gemessen wird der Wasserverlust dieses Kreislaufsystems. Das theoretische Prinzip wurde mit dem Wasseraufnahmemessgerät praktisch umgesetzt. Der entwickelte Prototyp besteht aus drei Komponenten: einem Wasserbehälter, einer Waage und einer Messkammer. An der Messkammer sind ein Leitungssystem und eine Pumpe befestigt.



Abbildung 1: Wasseraufnahmemessgerät Prototyp

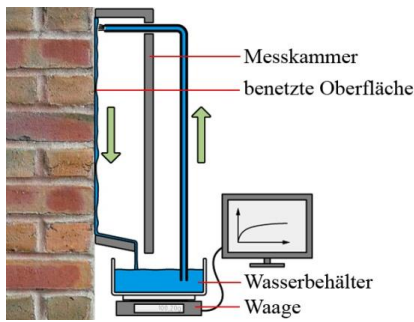


Abbildung 2: Prinzip des entwickelten Messverfahrens

Wasserbehälter und Waage stehen frei in einer speziellen Öffnung im unteren Bereich der Messkammer. Für eine Messung wird die Messkammer an die zu untersuchende Fassade angedichtet. Dafür wird eine spezielle Dichtungsmasse verwendet, die sich nach einer Messung wieder rückstandslos entfernen lässt. Die Vorrichtung benötigt zusätzlich eine stabile Aufstandsfläche, da die Dichtungsmasse nicht das Gewicht der Vorrichtung trägt. Dafür würde sich bspw. ein Baugerüst eignen. Alternativ könnte das Messgerät auch an die Fassade geschraubt werden. Mit dem entwickelten Verfahren ist somit eine zerstörungsfreie Messung möglich. Die durch das Wasseraufnahmemessgerät erfasste Prüffläche hat eine Breite von 51 cm und eine Höhe von 40 cm ($\approx 2000 \text{ cm}^2$). Zum Start der Messung wird Wasser aus dem Wasserbehälter angesaugt und innerhalb der Messkammer kontinuierlich gegen die Prüffläche gespritzt. Das Wasser läuft an der Prüffläche herunter, bis es schließlich über eine Öffnung in dem Messkammerboden zurück in den Wasserbehälter fließt. Aufgrund eines gleichmäßigen Wasserstroms stellt sich bei dem Gewicht des gefüllten Wasserbehälters bereits nach wenigen Sekunden ein Gleichgewicht ein. Der kontinuierliche Gewichtsverlust des Wasserbehälters entspricht damit der Wasseraufnahme der Prüffläche. Die Messdauer beträgt üblicherweise 60 Minuten, ist jedoch nicht von dem eigentlichen Messverfahren abhängig. In einer späteren Auswertung werden schließlich die Behältermassen vor und nach der Messung, sowie die kontinuierlichen Gewichtsänderungen des Wasserbehälters zu einer Funktion der kapillaren Wasseraufnahme verrechnet. Dabei werden zusätzlich Systemwasserverluste wie die Benetzung innerhalb der Messkammer, eine Verdunstungsrate und Wasserverteilungseffekte berücksichtigt. Aus der Funktion der kapillaren Wasseraufnahme wird schließlich ein Wasseraufnahmekoeffizient analog zu einer Auswertung nach DIN EN ISO 15148 bestimmt. In unterschiedlichen Laborversuchen hat das Messgerät eine reproduzierbare Genauigkeit von bis zu $\Delta A_w = 8,3 \cdot 10^{-4} \text{ kg}/(\text{m}^2\sqrt{\text{s}})$ erreicht.

Vergleich zum Normversuch

Unter der Voraussetzung eines exakten Vergleiches zwischen entwickeltem Verfahren und Normversuch, sollte die kapillare Wasseraufnahme mit beiden Messverfahren

an ein und demselben Probekörper durchgeführt werden. Die vorgegebene Messfläche des Wasseraufnahmemessgerätes hat zur Folge, dass auch der Normversuch nur an großformatigen Probekörpern durchgeführt werden konnte. Die Versuche wurden an großformatigen Kalksandstein- und Porenbetonblöcken sowie Beton und Mauerwerk durchgeführt. Aufgrund des Gewichtes und der Probengröße wurde der Versuch mit Hilfe eines Minikranes wie in Abbildung 3 zu sehen durchgeführt.

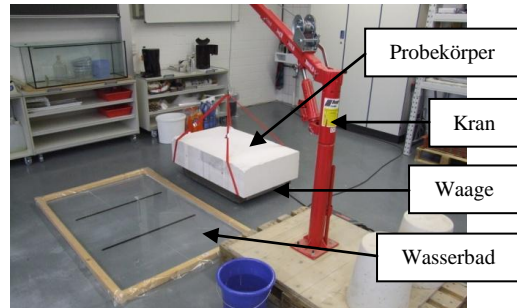


Abbildung 4: Laborversuch zur kapillaren Wasseraufnahme an einem großformatigen Probekörper

Im Anschluss an den Normversuch wurden dieselben Probekörper getrocknet und mit dem entwickelten Wasseraufnahmemessgerät gemessen. Für die Berücksichtigung von dreidimensionalen Randeffecten des in-situ-Messverfahrens, wurden im Vorfeld hygrothermische Simulationen durchgeführt. Dabei wurde das Verhältnis von eindimensionalem Normversuch und dreidimensionalem Wasseraufnahmemessgerät bestimmt. In Abhängigkeit der durch das Wasseraufnahmemessgerät eindringenden Wassermenge wurden schließlich Funktionen für die Berücksichtigung von dreidimensionalen Effecten des Messgerätes für unterschiedliche Materialien erzeugt. Folgend wird ein Teil der Ergebnisse für Porenbeton ($1,000 \text{ m} \cdot 0,625 \text{ m} \cdot 0,175 \text{ m}$; $\rho = 550 \text{ kg}/\text{m}^3$) präsentiert. In einer ersten Versuchsreihe wurde die Wasseraufnahme des Probekörpers in Anlehnung an die Norm DIN EN ISO 15148 gemessen. In Abbildung 4 sind die Messergebnisse der beiden Versuche an Porenbeton dargestellt. In den ersten 4 Stunden ($0 \dots 120 \sqrt{\text{s}}$) konnte eine gute Übereinstimmung der beiden Verfahren festgestellt werden. In den anschließenden 20 Stunden des

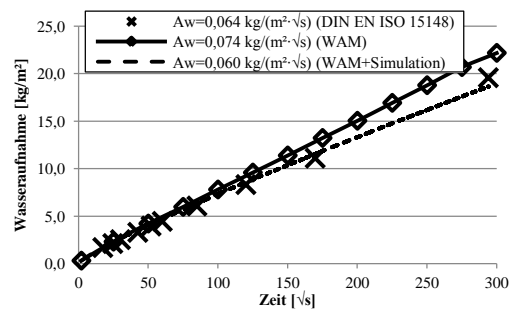


Abbildung 3: Kapillare Wasseraufnahme an Porenbeton über 24 h, nach DIN EN ISO 15148 und dem Wasseraufnahmemessgerät

Versuches weist die Funktion des Wasseraufnahmemessgerätes (WAM) einen geringfügig erhöhten Anstieg auf. Diese systematische Abweichung wird mit einer kapillaren Wasserverteilung innerhalb des Probekörpers begründet. In der Funktion „WAM + Simulation“ in Abbildung 4 wurden diese dreidimensionalen Effekte berücksichtigt. Hier ist auch nach 24 Stunden eine gute Übereinstimmung zum Normversuch gegeben. Der Laborversuch hat eindeutig die prinzipielle Funktionsweise des Verfahrens gezeigt. Geringe Unterschiede aus klassischem Normversuch und Wasseraufnahmemessgerät konnten durch hygrothermische Simulationsberechnungen einer seitlichen Wasserverteilung im Baustoff zugeordnet werden. Die Ergebnisse zeigen auch, dass bei dem entwickelten Messverfahren, bei kurzer Messdauer von unter 4 Stunden und einer geringen kapillaren Wasseraufnahme, der Effekt der seitlichen Wasserverteilung im Baustoff vernachlässigt werden kann.

Zusammenfassung

In diesem Aufsatz wurde ein in-situ-Messgerät vorgestellt, das die kapillare Wasseraufnahme einer Fassade zerstörungsfrei messen kann. Durch eine tatsächlich benetzte Messfläche von 51 cm · 40 cm wird mit dem Wasseraufnahmemessgerät ein repräsentativer Fassadenbereich erfasst. Durch das gravimetrische Messverfahren erreicht das Gerät eine hohe reproduzierbare Genauigkeit. Anhand von Ergebnissen aus Laborversuchen wird die prinzipielle Funktionsweise des Gerätes belegt. Selbstverständlich lassen sich zukünftig damit auch im Sinne einer Qualitätsüberwachung Fassadensanierungen wie imprägnierende Hydrophobierungen, Fugenausbesserungen oder neue Anstriche auf alten Putz überprüfen.

Literatur

- [1] WTA Merkblatt 6-4 (2009): Innendämmungen nach WTA I – Planungsleitfaden
- [2] DIN EN 15026, Juli 2007. Wärme- und feuchte-technisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation;
- [3] DIN EN ISO 15148, März 2003. Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten bei teilweisem Eintauchen
- [4] L. Franke, H. Bentrup, Einfluß von Rissen auf die Schlagregensicherheit von hydrophobiertem Mauerwerk und Prüfung der Hydrophobierbarkeit, Bautenschutz + Bausanierung, Heft 14, S. 98-101 und 117-121, 1991
- [5] DIN 4108-3, Januar 2012. Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz – Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung

Curriculum Vitae

**Dipl. -Ing. (FH)
Mario Stelzmann**



Ausbildung:

- | | |
|-----------|---|
| 2003-2006 | Ausbildung zum Zimmerer, Kurt & Hans Zöllner GmbH, Penig |
| 2003-2006 | Fachhochschulreife, Berufliches Schulzentrum 6, Leipzig |
| 2007-2011 | Studium des Bauingenieurwesens an der HTWK Leipzig |
| ab 2013 | Kooperative Promotion an der TU Dresden, Institut für Bauklimatik |

Beruflicher Werdegang:

- | | |
|---------|---|
| ab 2012 | HTWK Leipzig, Institut für Hochbau, Baukonstruktion und Bauphysik, wissenschaftlicher Mitarbeiter |
|---------|---|