

In-situ-Messgerät für die zerstörungsfreie Messung der kapillaren Wasseraufnahme von Fassaden

M. Stelzmann
Leipzig

Zusammenfassung

Wird eine historische Fassade von innen gedämmt, erhöht sich die Gefahr einer Auffeuchtung der Wand infolge Schlagregen. Die Folge können Feuchteschäden wie Frostabplatzungen, Schimmelpilze oder der Befall von holzerstörenden Insekten und Pilzen sein. Umso wichtiger ist hier eine genaue Untersuchung der Schlagregensicherheit bereits bei der Sanierungsplanung. Die Wasseraufnahme von Fassaden gilt als ein wichtiges Kriterium zur Beschreibung des Schlagregenschutzes. In diesem Aufsatz wird ein Messgerät vorgestellt, das die kapillare Wasseraufnahme einer Fassade zerstörungsfrei messen kann. Durch eine tatsächlich benetzte Messfläche von 51 x 40 cm wird mit dem Messgerät ein repräsentativer Fassadenbereich erfasst. Durch das gravimetrische Prinzip erreicht das Gerät eine reproduzierbare Genauigkeit von bis zu $0,05 \text{ kg}/(\text{m}^2\sqrt{\text{h}})$. Anhand von Ergebnissen aus Laborversuchen wird die prinzipielle Funktionsweise des Gerätes belegt. In anschließenden Feldversuchen wurde auch die Praxistauglichkeit des Gerätes nachgewiesen. Die Ergebnisse der Feldversuche zeigen gleichzeitig die qualitativen Unterschiede der kapillaren Wasseraufnahme historischer Fassaden.

1 Einführung

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. Wird innen eine Dämmung aufgebracht, verändert sich das Trocknungsverhalten der Außenwand. Ein zusätzlicher Schichtenaufbau verringert die Trocknung in den Innenraum. Ein geringeres Temperaturniveau des ursprünglichen Wandquerschnittes in den Wintermonaten, reduziert das Trocknungspotenzial nach außen zusätzlich. Dringt nun mehr Regenwasser kapillar in eine innen gedämmte Außenwand ein, als wieder austrocknet, kommt es zu einer unkontrollierten Auffeuchtung der Konstruktion. Feuchteschäden wie Frostabplatzungen, Schimmelpilze oder der Befall von holzzerstörenden Insekten und Pilzen können die Folge sein. Um Schäden zu verhindern, ist eine sorgfältige Planung der Innendämmmaßnahme nötig. 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 (W_w -Wert) gilt dabei als ein entscheidendes Kriterium für dessen Beschreibung. In der DIN 4108-3 [3] wird für einen wasserabweisenden Regenschutz ein W_w -Wert $\leq 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2\sqrt{\text{h}})$ gefordert. Bei hygrothermischen Simulationsberechnungen fließt der W_w -Wert direkt in den Rechenalgorithmus ein. Die ausreichend genaue Bestimmung des W_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. In dem folgenden Aufsatz wird ein Verfahren vorgestellt, dass die kapillare Wasseraufnahme einer Fassade zerstörungsfrei messen kann.

2 Bekannte Prüfverfahren

Für die Ermittlung der kapillaren Wasseraufnahme von Fassaden existieren bereits eine Reihe von Verfahren und Geräten. Die drei wichtigsten werden folgend kurz angeführt.

Die DIN EN ISO 15148 [4] beschreibt einen Normversuch zur Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten und stellt die Grundlage aller weiteren Betrachtungen dar. Bei dem Laborversuch wird eine trockene 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

M. Stelzmann, In-situ-Messgerät für die zerstörungsfreie Messung der kapillaren Wasseraufnahme von Fassaden

aufgenommenen Wassermenge. Bezogen auf die eingetauchte Probekörpergrundfläche und die Wurzel der Versuchsdauer wird daraus der Wasseraufnahmekoeffizient der Baustoffprobe in $\text{kg}/(\text{m}^2\sqrt{\text{h}})$ bzw. $\text{kg}/(\text{m}^2\sqrt{\text{s}})$ errechnet. 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 [5] besteht die Möglichkeit, die kapillare Wasseraufnahme einer Fassade auch zerstörungsfrei 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 mit einem Wasseraufnahmekoeffizienten von $\leq 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2\sqrt{\text{h}})$ sind das Prüfröhrchen nach Karsten und die WD-Prüfplatte nach Franke jedoch nur bedingt geeignet. Durch eine geringe Grundfläche von 3cm^2 beim Prüfröhrchen nach Karsten und 200cm^2 bei der WD-Prüfplatte nach Franke sowie eine kurze Messdauer von 15 Minuten ist speziell bei wasserabweisenden Fassadenoberflächen lediglich eine grobe Einschätzung der kapillaren Wasseraufnahme möglich.



Bild 1: Prüfröhrchen nach Karsten

3 Das Wasseraufnahmemessgerät

Vor dem Hintergrund eines zerstörenden und aufwendigen Normversuches sowie einer eher qualitativen Einschätzung durch vorhandene in-situ-Geräte, wurde ein neues Messgerät entwickelt. Ziel der Entwicklungsarbeit war ein Gerät, das die kapillare

M. Stelzmann, In-situ-Messgerät für die zerstörungsfreie Messung der kapillaren Wasseraufnahme von Fassaden

Wasseraufnahme einer Fassade mit einer repräsentativen Fläche und einer hohen Genauigkeit messen kann.

3.1 Aufbau und Messablauf

Das Prinzip des Wasseraufnahmemessgerätes 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 den Wasserkreislauf. Gemessen wird der Wasserverlust des Kreislaufsystems. Das theoretische Prinzip wurde mit dem Wasseraufnahmemessgerät 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. 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. Das Wasseraufnahmemessgerät benötigt eine stabile Aufstandsfläche. Die Abdichtung sorgt dann für den nötigen Halt an der Wandfläche. Damit ist es nicht notwendig, Löcher für die Befestigung des Messgerätes zu bohren. Als Aufstandsfläche kann eine Rüstung, ein Gesims oder eine Fensterbank etc. genutzt werden. Das entwickelte Verfahren ist somit komplett zerstörungsfrei. Wasserbehälter und Waage stehen frei in einer speziellen Öffnung im unteren Bereich der Messkammer.

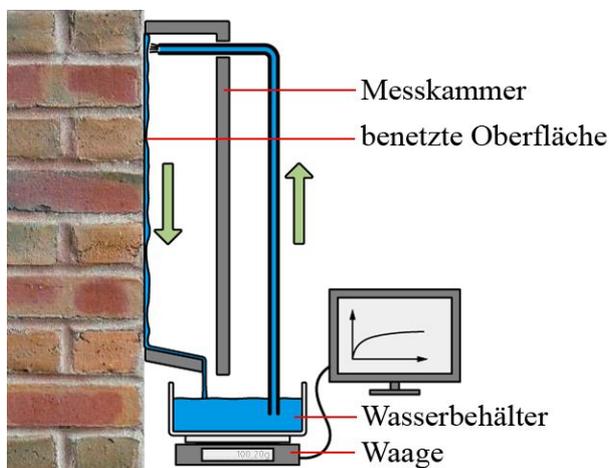


Bild 2: Prinzip des Wasseraufnahmemessgerätes

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 sehr gleichmäßigen Wasserstroms stellt sich bei dem Gewicht des Wasserbehälters bereits nach wenigen Sekunden ein Gleichgewicht ein.

M. Stelzmann, In-situ-Messgerät für die zerstörungsfreie Messung der kapillaren Wasseraufnahme von Fassaden

Der kontinuierliche Gewichtsverlust des Wasserbehälters entspricht somit der Wasseraufnahme der Prüffläche. Zum Ende der Messung wird der Kreislauf wieder leer gepumpt. Die Messdauer beträgt üblicherweise 60 Minuten, ist jedoch nicht von dem eigentlichen Messprinzip abhängig. Bei stark saugenden Oberflächen können auch bereits 20-minütige Messungen zu einem aussagekräftigen Ergebnis führen. 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 sowie eine Verdunstungsrate berücksichtigt. Diese Kalibrierungswerte für Systemverluste wurden in zahlreichen Labor- und Freiversuchen bestimmt. Aus der Funktion der kapillaren Wasseraufnahme wird schließlich der Wasseraufnahmekoeffizient analog zum Normversuch nach DIN EN ISO 15148 bestimmt. In unterschiedlichen Laborversuchen hat das Messgerät eine reproduzierbare Genauigkeit von bis zu $0,05 \text{ kg}/(\text{m}^2\sqrt{\text{h}})$ erreicht.

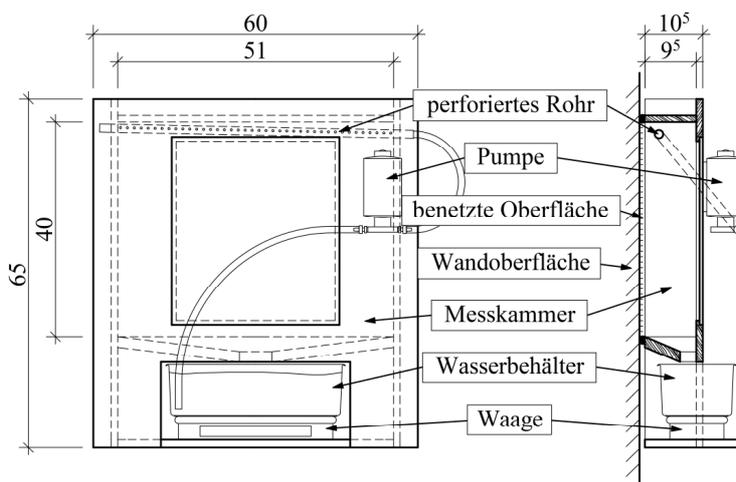


Bild 3: Zeichnung des Wasseraufnahmemessgerät-Prototyp

3.2 Vergleich Gerät und Normversuch

Um die Funktionsweise des Wasseraufnahmemessgerätes zu belegen, wurden vergleichende Untersuchungen an unterschiedlichen Baustoffen durchgeführt. Dabei wurde die kapillare Wasseraufnahme an zwei großformatigen Probekörpern gemessen: Porenbeton ($0,625 \text{ m} * 0,625 \text{ m} * 0,175 \text{ m}$; $\rho = 0,55 \text{ kg}/\text{dm}^3$) und Beton (C30/37; $0,55 \text{ m} * 0,46 \text{ m} * 0,04 \text{ m}$; $\rho = 2,1 \text{ kg}/\text{dm}^3$). In einer ersten Versuchsreihe wurde die Wasseraufnahme der beiden Probekörper in Anlehnung an die Norm DIN EN ISO 15148 [4] gemessen. Im Anschluss daran wurden die Probekörper getrocknet und mit dem entwickelten Wasseraufnahmemessgerät gemessen. In Bild 4 und 5 sind die gemessenen kapillaren Wasseraufnahmen in je einem Diagramm über die Wurzel der Zeit aufgetragen. Bei der Betonplatte konnte eine gute Übereinstimmung der beiden Verfahren festgestellt werden. Im Gegensatz dazu wurden bei den

M. Stelzmann, In-situ-Messgerät für die zerstörungsfreie Messung der kapillaren Wasseraufnahme von Fassaden

Funktionen der Wasseraufnahme des Porenbetonprobekörpers geringe Differenzen festgestellt. Die durch das Wasseraufnahmemessgerät gemessene Kurve verlief zwar parallel, aber etwas niedriger als beim Versuch nach DIN EN ISO 15148. Dennoch belegen die dargestellten Ergebnisse die gute Übereinstimmung zwischen klassischem Laborversuch und dem Prototypen des Wasseraufnahmemessgerätes.

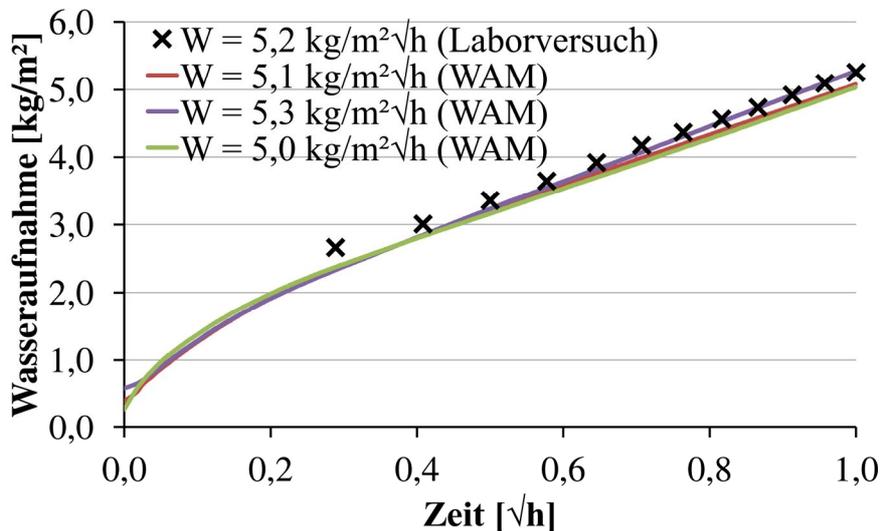


Bild 4: Gemessene Wasseraufnahme an Porenbeton über eine Stunde nach DIN EN ISO 15148 (Laborversuch) und mit dem Wasseraufnahmemessgerät (WAM)

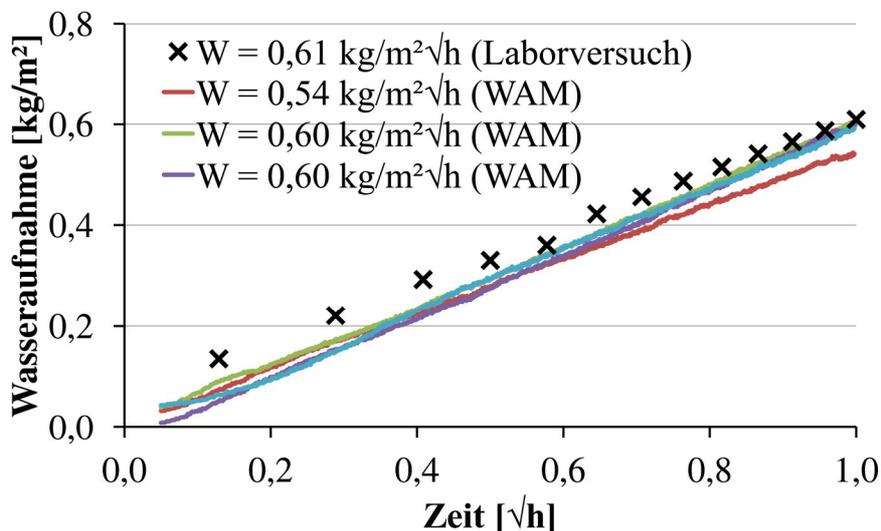


Bild 5: Gemessene Wasseraufnahme an Beton über eine Stunde nach DIN EN ISO 15148 (Laborversuch) und mit dem Wasseraufnahmemessgerät (WAM)

3.3 Feldversuche

Im nächsten Schritt wurde die kapillare Wasseraufnahme von zwei unterschiedlichen Objekten mit denkmalgeschützter Sichtmauerwerkfassade vor Ort untersucht. Dafür

M. Stelzmann, In-situ-Messgerät für die zerstörungsfreie Messung der kapillaren Wasseraufnahme von Fassaden

wurden Messungen mit dem Wasseraufnahmemessgerät an unterschiedlichen Stellen der jeweiligen Fassaden durchgeführt. Eine Entnahme von Materialproben war in beiden Fällen nicht möglich. Entsprechend konnte keine Überprüfung der gemessenen Werte durchgeführt werden. Ziel der Untersuchungen war es, den Messablauf des Wasseraufnahmemessgerätes in Feldversuchen zu erproben, um dadurch das Gerät auch im Hinblick auf dessen Praxistauglichkeit zu untersuchen und ggf. zu optimieren. Um für die Versuche den Einfluss einer zu hohen Ausgangsfeuchtigkeit ausschließen zu können, wurde im Vorfeld der Untersuchungen die Wandfeuchtigkeit mithilfe eines zerstörungsfreien mikrowellenbasierten Feuchtemessgerätes bestimmt. Die Mauerwerksfeuchte der untersuchten Messstellen lag stets in einem Bereich der Ausgleichsfeuchte von $< 1,0 \text{ M-\%}$.



Bild 6: Objekt 1 mit Sichtmauerwerkfassade (li.) und das Wasseraufnahmemessgerät im Einsatz (re.)

Bei Objekt 1 handelt es sich um ein bewohntes vierstöckiges Wohngebäude. Das freistehende Gebäude wurde in der Nachkriegszeit errichtet und ist Teil einer Wohnanlage. Die einschalige Außenwandkonstruktion ist außenseitig als Sichtmauerwerk ausgeführt. Die Fassade macht optisch einen altersentsprechenden Eindruck, wobei keine größeren Schäden sichtbar waren. Die Verfugung der Sichtmauerwerkfassade war zum Teil ausgebessert. Mit dem Wasseraufnahmemessgerät wurden insgesamt 6 Messungen zur kapillaren Wasseraufnahme der Fassade an allen 4 Fassadenausrichtungen des Gebäudes durchgeführt. Aufgrund einer hohen Wasseraufnahme wurden die Versuche bereits nach 20 Minuten (20 Minuten entsprechen $\approx 0,6 \sqrt{\text{h}}$) beendet. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Bild 7 dargestellt. Keine der Messungen wies einen linear-quadratwurzelförmigen Verlauf auf. Dies wird auf ein unterschiedliches Saugverhalten von Steinen und Fugen sowie eine daraus resultierende Verteilung innerhalb der Konstruktion zurückgeführt. Bei der Auswertung der gemessenen Kurven wurden Wasseraufnahmekoeffizienten von 5 bis $12 \text{ kg}/(\text{m}^2\sqrt{\text{h}})$ ermittelt. Nach DIN 4108-3 sind Kriterien für den Regenschutz von Putzen und Be-

M. Stelzmann, In-situ-Messgerät für die zerstörungsfreie Messung der kapillaren Wasseraufnahme von Fassaden

schichtungen beschrieben. Für einen wasserhemmenden Regenschutz wird dabei ein Wasseraufnahmekoeffizient von 0,5 bis 2,0 kg/(m²√h) und für einen wasserabweisenden Regenschutz von ≤ 0,5 kg/(m²√h) gefordert. Auch unter Berücksichtigung von möglichen Fehlereinflüssen des Wasseraufnahmemessgerät-Prototyps kann mit großer Sicherheit gesagt werden, dass die Wasseraufnahme der vorliegenden Fassade deutlich über den in der Norm vorgegebenen Werten liegt. Hinzu kommt, dass in einigen Bereichen der Fassade Wanddicken von lediglich 26 cm gemessen wurden. In den Wintermonaten wird das Gebäude von den Bewohnern regelrecht „trockengeheizt“. Würde in diesem Gebäude ohne eine grundlegende Fassadensanierung eine Innendämmung eingebaut, würde es mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einer unkontrollierten Auffeuchtung der Außenwand und entsprechenden Folgeschäden kommen.

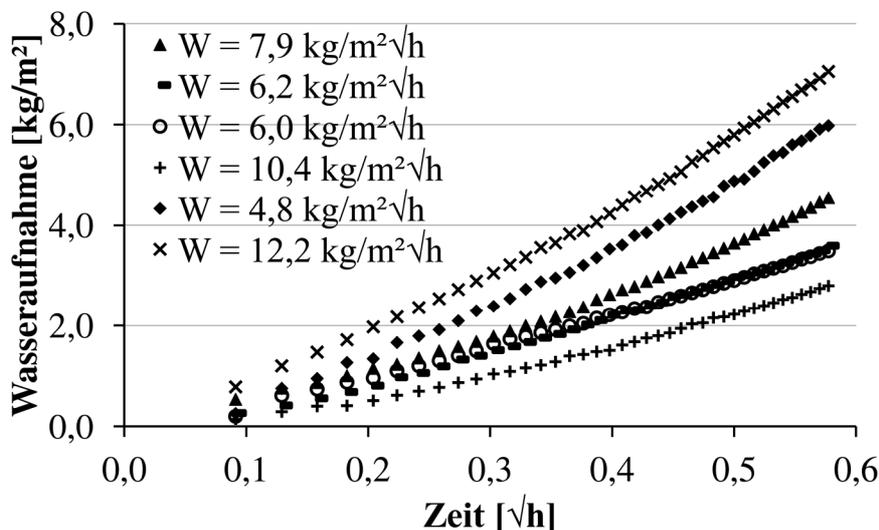


Bild 7: Ergebnisse zur kapillaren Wasseraufnahme des Objektes 1, aufgetragen über die Wurzel der Zeit

Beim zweiten Objekt wurde ein Gründerzeit-Wohnhaus in Leipzig untersucht.

Das Gebäude besitzt eine denkmalgeschützte Sichtmauerwerkfassade. Gemäß Bauakte lag das Baujahr um 1902. Zum Zeitpunkt der Messungen war das vierstöckige Gebäude unbewohnt. Für das Objekt ist eine Komplettsanierung geplant.

Die Sichtfassade des Reihenhauses ist nach Südosten ausgerichtet. Die unsanierte Fassade befand sich in einem optisch guten Zustand.

Eine geringe Fugenbreite von etwa 5 mm weist auf eine qualitativ hochwertige Ausführung der Sichtmauerwerkskonstruktion hin. Mit dem Wasseraufnahmemessgerät wurden insgesamt zwei Messungen an der Fassade durchgeführt.

In Bild 9 sind die beiden gemessenen Funktionen der Wasseraufnahme über die Wurzel der Zeit dargestellt. Auch hier weist ein nicht-linear-wurzelförmiger Verlauf auf ein unterschiedliches Saugverhalten von Steinen und Fugen hin. Bei der Auswertung der beiden Kurven wurde ein Wasseraufnahmekoeffizient von etwa 0,5 kg/(m²√h) bestimmt. Das entspricht einer wasserabweisenden Oberfläche nach DIN 4108-3.

M. Stelzmann, In-situ-Messgerät für die zerstörungsfreie Messung der kapillaren Wasseraufnahme von Fassaden

Bei diesem Objekt wäre somit eine Anwendung des vereinfachten Nachweisverfahrens für Innendämmung nach WTA Merkblatt 6-4 [1] zulässig.



Bild 8: Fassade Ansicht Objekt 2 (li.), das Wasseraufnahmemessgerät (re.)

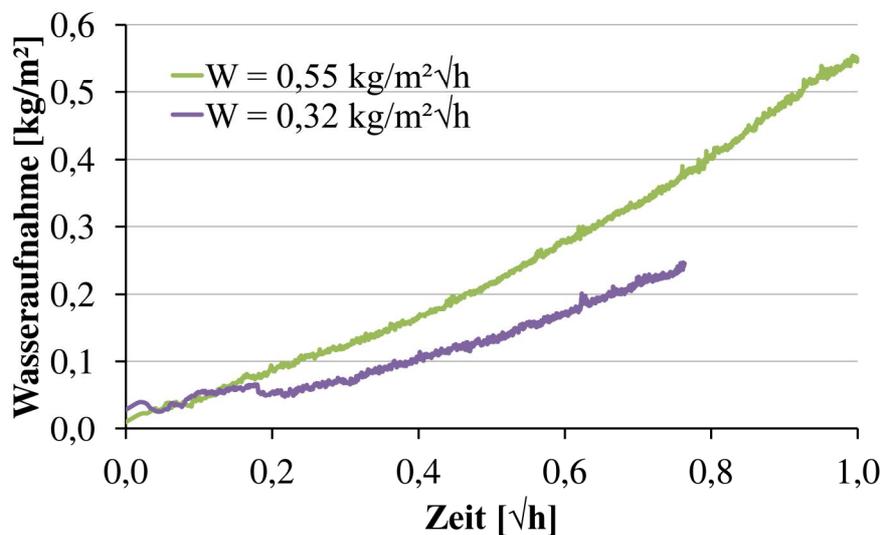


Bild 9: Ergebnisse zur kapillaren Wasseraufnahme des Objektes 2, aufgetragen über die Wurzel der Zeit

4 Zukünftige Entwicklungen

Der in diesem Aufsatz präsentierte Prototyp eines Wasseraufnahmemessgerätes soll zukünftig weiterentwickelt werden. Dabei werden weitere Praxisversuche helfen die Handhabung und Praxistauglichkeit des Gerätes zu verbessern. Bei der Geräteentwicklung werden zwei unterschiedliche Ansätze verfolgt. Zum Ersten soll das Wasseraufnahmemessgerät für den Einsatz in der Baupraxis verbessert werden. Das Gerät

M. Stelzmann, In-situ-Messgerät für die zerstörungsfreie Messung der kapillaren Wasseraufnahme von Fassaden

soll es Gutachtern und Baustoffprüfern ermöglichen die kapillare Wasseraufnahme von Fassaden bestimmen zu können. Zum Zweiten soll der Messaufbau für den Einsatz in der Bauforschung verbessert werden. Hier werden Anforderungen an eine möglichst hohe Genauigkeit, Messdauer und Messwertauflösung gestellt.

Literaturverzeichnis

- [1] WTA Merkblatt 6-4 (2009): Innendämmungen nach WTA I – Planungsleitfaden.
- [2] DIN EN 15026, Juli 2007. Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation; Deutsche Fassung EN 15026:2007
- [3] DIN 4108-3, Januar 2012. Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz – Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung
- [4] DIN EN ISO 15148, März 2003. Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten bei teilweisem Eintauchen (ISO 15148:2002); Deutsche Fassung EN ISO 15148:2002
- [5] 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