



Wasseraufnahmekoeffizienten historischer Aussenputze

Als «Aussenhaut des Gebäudes» übernimmt der Aussenputz auch den Schutz gegen Schlagregen. Um Bauschäden durch zu hohen Feuchteintrag zu vermeiden, sollte der Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes bei Einbau einer innenliegenden Wärmedämmung bekannt sein. Baufachleute können diesen durch verschiedene zerstörungsfreie Insitu-Messverfahren ermitteln.

Inhalt

1	Einleitung	2
2	Bauteilschicht Aussenputz	4
	Regenschutzeigenschaften	4
	Zulässige Wasseraufnahme	4
3	Labormessung der Wasseraufnahme	5
4	Insitu-Messung der Wasseraufnahme	6
	Prüfrohr nach Karsten	6
	Prüfplatte nach Franke	6
	Wasseraufnahmemessgerät	8
5	Schlussfolgerungen für die Baupraxis	10
	Beurteilung der Insitu-Messmethoden	10
	Umrechnungsfunktionen	11
6	Literatur	12

1 Einleitung

Der Aussenputz übernimmt als «Aussenhaut des Gebäudes» neben einer ästhetischen Funktion eine Reihe an weiteren Aufgaben. Besonders hervorzuheben ist dabei die Regenschutzfunktion des Aussenputzes, welche vor allem bei historischen Wandaufbauten mit einer innenliegenden Wärmedämmung besonders beachtet werden muss.

Sanierung historischer Wandaufbauten

Bei denkmalgeschützten Gebäuden wird der Wärmeschutz der Aussenwände häufig durch zusätzliche Wärmedämmungen auf der Innenseite verbessert. Durch das Anbringen einer innenliegenden Wärmedämmung ändert sich jedoch das bauphysikalische Verhalten der Konstruktion. In diesem Zusammenhang ist auch das eingeschränkte Austrocknungspotenzial der Aussenwände nach Schlagregen zu beachten. Je nach Innendämmsystem ist ein Austrocknen erhöhter Mauerwerksfeuchte nach innen nur noch in verringertem Masse möglich. Daher muss die Wasseraufnahme des Aussenputzes bei Schlagregen begrenzt werden.

Wasseraufnahmekoeffizient

Neben der Trocknungsmöglichkeit einer Wand aufgrund von Diffusion ist vor allem die Wasseraufnahmefähigkeit des Aussenputzes bei Beregnung entscheidend für den sich einstellenden Feuchtegehalt von Aussenwänden.

Die Wasseraufnahme von Materialien bei Kontakt mit flüssigem Wasser wird durch den Wasseraufnahmekoeffizienten W_w beschrieben. Der Wasseraufnahmekoeffizient reguliert die Wasseraufnahme einer Aussenwand bei Beregnung. Daher ist die Kenntnis des Wasseraufnahmekoeffizienten des Aussenputzes entscheidend für die Prognose des Feuchtegehalts von sanierten Wänden, besonders für die Einschätzung ihres Bauschadensrisikos durch zu hohe Feuchtegehalte.

Labormessung der Wasseraufnahme

Durch eine Entnahme von Putzproben in Form von Bohrkernen kann der W_w -Wert nach der Norm «EN ISO 15148:2002 Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten bei teilweisem Eintauchen» [1] im Labor bestimmt werden. Eine Bohrkernentnahme hinterlässt jedoch sichtbare Spuren an der historischen Fassade und ist zudem mit hohen Kosten verbunden. Dagegen hat eine Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten vor Ort und mit Hilfe von zerstörungsfreien Messverfahren grosse Vorteile.

Insitu-Messung der Wasseraufnahme

In der Praxis kommen verschiedene zerstörungsfreie Insitu-Prüfgeräte zur Beurteilung des Wasseraufnahmevermögens von Aussenputzen infrage. Zu den bekanntesten zählen das Karsten'sche Prüfröhrchen, die Prüfplatte nach Franke und neuerdings das sogenannte Wasseraufnahmemessgerät. Mit diesen Prüfgeräten kann die Wasseraufnahme von Aussenputzen inklusive vorhandener Farbschichten bestimmt werden.

Forschungsprojekt

Im Rahmen des Forschungsprojektes «Wasseraufnahmekoeffizienten historischer Aussenputze» der Berner, Fachhochschule Architektur, Holz und Bau (BFH AHB), unterstützt von der Stiftung zur Förderung der Denkmalpflege, wurden die Ergebnisse von Insitu-Messungen und Labormessungen der Wasseraufnahme untersucht. Es wurde geprüft, ob der Wasseraufnahmekoeffizient eines Aussenputzes mit Hilfe der Insitu-Messverfahren hinreichend genau ermittelt werden kann und ob die so

gewonnenen Messwerte mit den Messwerten aus den Labormessungen übereinstimmen. Zudem wurde die Praxistauglichkeit der verschiedenen Prüfgeräte beim Einsatz an historischen Fassaden erprobt.

Informationen zum Forschungsprojekt

Auf der Projektdatenbank der Berner Fachhochschule (BFH)* sowie der Homepage der Stiftung zur Förderung der Denkmalpflege** stehen folgende Dokumente zum Download bereit:

- Forschungsbericht
- Messberichte (5 Objekte)
- Broschüre

* <https://projektdatenbank.bfh.ch/>

** <http://stiftung-denkmalpflege.ch/>

Broschüre

Diese Broschüre soll Baufachleuten als Anleitung zum richtigen Einsatz der Insitu-Prüfgeräte zur zerstörungsfreien Messung der Wasseraufnahme von Aussenputzen dienen. Sie beschreibt Vor- und Nachteile der einzelnen Prüfverfahren und zieht Schlussfolgerungen für die Baupraxis. Auf die Labormessung der Wasseraufnahme und die Regenschutzzeigenschaften sowie die zulässige Wasseraufnahme historischer Aussenputze wird nur sehr knapp eingegangen. Zum genaueren Verständnis der Zusammenhänge können die Resultate des Forschungsprojektes jedoch kostenfrei von der Projektdatenbank der BFH bezogen werden.



2 Bauteilschicht Aussenputz

Ursprünglich hatte der Aussenputz überwiegend einen ästhetischen Nutzen. Er diente dazu, der Fassade ein einheitliches Aussehen zu geben, und so das Gebäude in besonderer Weise architektonisch zu gestalten.

- 4 Unter dem Begriff «Neues Bauen» wurden ab der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts neue Baumethoden und Mauersteinarten entwickelt. Der Einsatz neuer Bautechniken und Baumaterialien führte nicht selten zu Putzschäden, wie beispielsweise Rissbildung und Abplatzungen. Der Aussenputz hatte fortan nicht nur eine gestalterische Funktion, sondern musste zusätzliche Aufgaben übernehmen. Zu diesen zählt heute beispielsweise die Wärmedämmung, zu welcher ein Aussenputzsystem als Bestandteil eines Wärmedämmverbundsystems oder als wärmedämmende Schicht (Wärmedämmputz) einen Beitrag leisten kann. Der Aussenputz muss auch die Aufgabe des Regenschutzes übernehmen. Veränderte Architekturformen mit fehlendem konstruktiven Regenschutz durch Dachüberstände sind in diesem Zusammenhang zu nennen. Der hohe Wärmedämmstandard moderner Wandaufbauten führt zudem zu kälteren Wandbauteilen mit einem geringeren Trocknungspotenzial. Der Regenschutz des Aussenputzes gewinnt aus diesen Gründen an Bedeutung.

Bei Einbau eines Innendämmsystems ist bei einem historischen Gebäude der Regenschutz des Aussenputzes entscheidend. Nachträglich angebrachte Innendämmungen beeinflussen das hygrothermische Verhalten einer bestehenden Wandkonstruktion. Hier ist neben anderen Faktoren insbesondere auch das reduzierte Austrocknungspotenzial der Aussenwand nach einem Schlagregenereignis zu nennen. Ein Austrocknen der Regenfeuchte zur Raumseite hin ist nach Einbau des Innendämmsystems nur noch eingeschränkt möglich. Daher ist eine Überprüfung der Schlagregenbeanspruchung sowie des Schlagregenschutzes vor Einbau des Innendämmsystems unbedingt erforderlich. Als Schlagregen wird der Teil des Regens bezeichnet, der aufgrund von Windeinwirkung auf der Fassadenfläche auftrifft.

Welche Eigenschaften eines Aussenputzes ausschlaggebend für den Schlagregenschutz einer Fassade sind, wird nachfolgend beschrieben.

Regenschutzigenschaften

Ein ausreichender Schlagregenschutz einer Fassade zeichnet sich dadurch aus, dass bei gegebener Schlagregenbeanspruchung auf Dauer keine unzulässige Feuchtigkeitserhöhung in der Aussenwand auftritt. Die Wasseraufnahme bei Beregnung und die anschliessende Wasserabgabe bei Trocknung der Fassade müssen so aufeinander abgestimmt sein, dass die Trocknung überwiegt.

Dies kann zum einen durch eine Reduzierung der Wasseraufnahme bei Beregnung und zum anderen durch eine Verbesserung der Austrocknungseigenschaften erfolgen, wobei die erste Massnahme am wirksamsten ist. Die Wasseraufnahme und die Austrocknung hängen von meteorologischen Einflüssen am Gebäudestandort und von materialtechnischen Eigenschaften des jeweiligen Putzsystems ab.

Zwei einfache Kennwerte sind ausreichend, um den Regenschutz einer Wand zu beurteilen. Diese Kennwerte ermöglichen eine Bewertung des Schlagregenschutzes aufgrund einer vereinfachten Betrachtung der Eigenschaften des Aussenputzes.

Kapillarkräfte sind die bestimmende Grösse für die Wasseraufnahme eines Aussenputzes bei Regen. Der Vorgang der

kapillaren Wasseraufnahme bei Beregnung lässt sich durch den Wasseraufnahmekoeffizienten W_w mit der Einheit $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}})$ beschreiben. Dieser Kennwert definiert die von einem Aussenputz je Flächeneinheit und Wurzel aus der Zeit aufgenommene Wassermenge.

Nach Abschluss des Regenereignisses erfolgt meist eine rasche Trocknung der benetzten Putzoberfläche. Die Austrocknung der Feuchte aus dem Aussenputz sowie dem angrenzenden Mauerwerk erfolgt hauptsächlich durch Dampfdiffusion. Die Trocknung der Wand hängt daher in erster Linie von der Wasserdampfdurchlässigkeit des Aussenputzes ab. Diese lässt sich vereinfachend mit Hilfe der sogenannten wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicke s_d , dem s_d -Wert des Putzes beschreiben. Der s_d -Wert einer Materialschicht gibt an, wie dick eine Luftschicht in m sein müsste, um den gleichen Diffusionswiderstand wie die vorgegebene Materialschicht zu haben.

Kennwerte Schlagregenschutz

Zwei einfache Kennwerte der Wasseraufnahme bei Beregnung sowie der Wasserabgabe bei Trocknung definieren die Schlagregenschutzigenschaften eines Aussenputzes:

- Wasseraufnahmekoeffizienten W_w *
- Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d **

* in $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}^{0.5}})$

** in m

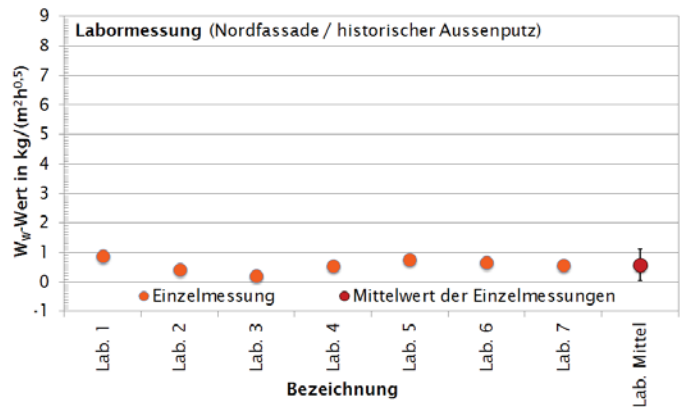
Zulässige Wasseraufnahme

Der Einbau einer innenliegenden Wärmedämmung stellt einen Eingriff in die historische Substanz dar, welcher sorgfältig zu planen ist.

Die Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege (WTA) erarbeitet technische Regeln im Bereich der Bauinstandsetzung und Denkmalpflege. Das WTA-Merkblatt Nummer 6-5-14/D «Innendämmung nach WTA II» [2] fordert für schlagregenbeanspruchte Oberflächen mit einer innenliegenden Wärmedämmung die Einhaltung folgender Anforderung zur Gewährleistung eines ausreichenden Schlagregenschutzes:

$$W_w \cdot s_d \leq 0.1 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \sqrt{\text{h}})$$

Dabei sind zusätzlich die Bedingungen $W_w \leq 0.2 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}})$ und $s_d \leq 1,0 \text{ m}$ einzuhalten. Eine Begrenzung des W_w -Werts ist aus energetischen Gründen auch bei ausreichendem Trocknungspotenzial wichtig, damit es nicht zu unnötigen Wärmeverlusten aufgrund zeitweise erhöhter Bauteilfeuchten kommt. Der s_d -Wert muss beschränkt werden, damit es nicht zu einer Feuchtigkeitsanreicherung im Inneren des Bauteils kommt.



3 Labormessung der Wasseraufnahme

Die Wasseraufnahmekoeffizient eines Aussenputzes kann nach der Europäischen Norm EN ISO 15148 im Labor an Prüfkörpern bestimmt werden.

Prüfkörper

Der W_w -Wert eines historischen Putzes kann im Labor nur anhand von Bohrkernen ermittelt werden, da Rezeptur und Putzaufbau nicht bekannt sind, um originalgetreue Prüfkörper herzustellen. Neben den bleibenden Spuren an der Fassade besteht die Schwierigkeit, Bohrkern mit einer möglichst intakten Putzfläche aus der jeweiligen Fassade zu entnehmen. Um eine Prüfung nach Norm durchführen zu können, muss die wasser-aufnehmende Fläche des Probekörpers mindestens 50cm² betragen. Falls die Fläche kleiner als 100 cm² ist, müssen mindestens sechs Prüfkörper mit einer Gesamtfläche von mindestens 300 cm² gemessen werden. Falls die Prüfflächen jeweils 100 cm² und mehr aufweisen, so reichen drei Prüfkörper aus. Die Prüfkörperdicke sollte nach Möglichkeit der tatsächlichen Dicke des Aussenputzes entsprechen. Die Seiten der Prüfkörper müssen vor dem Durchführen des Versuches abgedichtet werden, damit diese nur über die Putzfläche Wasser aufnehmen Dazu kann z. B. Bienenwachs oder Paraffin verwendet werden. Die Prüfkörper werden in einer Klimakammer bei z. B. 23 °C und 50 % relativer Luftfeuchte gelagert, bis sich ihr Gewicht über 24h nicht mehr ändert, d.h. bis sie massenkonstant sind.

Messablauf

Zunächst wird die Anfangsmasse jedes Prüfkörpers bestimmt. Dann werden die Prüfkörper mit dem Putzaufbau nach unten in ein Prüfbecken mit Wasser gesetzt, sodass diese 5 mm tief

eintauchen. Nach 5 Minuten erfolgt die erste Wägung. Die Prüfkörper werden der Reihe nach aus dem Wasserbad genommen, leicht mit einem Papiertuch abgetupft, gewogen und wieder hineingetaucht. Der Messvorgang ist in bestimmten Zeitabständen zu wiederholen. Zum Beispiel nach 20 Minuten, 1 h, 2 h, 4 h, 8 h, 10 h, 12 h, und 24 h, um eine Reihe von Messwerten zu erhalten.

Auswertung

Zunächst sind die Messunsicherheiten der verschiedenen physikalischen Größen nach dem Gaußschen Fehlerfortpflanzungsgesetz zu ermitteln. Zur Auswertung der Messergebnisse wird je Prüfkörper für jeden Messwert die aufgesaugte Wassermenge in kg/m² über der Wurzel aus der Zeit graphisch aufgetragen. Dann wird eine Regressionsgerade solange an die Messwerte angepasst, bis die Summe aus den quadratischen Fehlern zwischen den Messwerten und den Funktionswerten der Regressionsgerade minimal wird. W_w ergibt sich dann als der Schätzwert der Steigung der Regressionsgeraden. Der angegebene Fehler der Steigung der Regressionsgeraden berechnet sich aus dem Schätzwert der empirischen Varianz der Steigung der Regressionsgeraden und der t-Verteilung für das 95 %-Vertrauensintervall. Der im Labor ermittelte Wasseraufnahmekoeffizient des untersuchten Aussenputzes ist der Mittelwert der W_w -Werte der einzelnen Prüfkörper. Obenstehende Grafik zeigt beispielhaft die Ergebnisse einer W_w -Wert-Messung im Labor an einem historischen Putz einer Nordfassade.

Die Einzelmessungen der 7 Prüfkörper ergaben mit Messungen zwischen 0.2 kg/(m²·√h) und 0.9 kg/(m²·√h). Der Mittelwert der Einzelmessungen weist mit (0.6 ± 0.53) kg/(m²·√h) ein grosses Vertrauensintervall und damit eine hohe Messunsicherheit auf.

4 Insitu-Messung der Wasseraufnahme

Zu den drei bekanntesten zerstörungsfreien Insitu-Messverfahren zur Ermittlung der Wasseraufnahme zählen das Karsten'sche Prüfröhrchen, die Prüfplatte nach Franke und das sogenannte Wasseraufnahmemessgerät. Die Prüfgeräte sowie Messverfahren werden nachfolgend beschrieben.

Prüfrohr nach Karsten

Das Karsten'sche Prüfröhrchen, auch bekannt als «Wassereindringprüfer nach Karsten», wird von den hier beschriebenen Prüfverfahren von Bauexperten schon am längsten zur Bestimmung der Wasseraufnahme von Baustoffen an Gebäuden und im Labor eingesetzt.

Prüfgerät

Das Prüfgerät besteht aus einer Glasglocke mit einem Durchmesser von etwa 30 mm und einem kalibrierten Glasrohr mit Volumeneinteilung (siehe linke Abbildung auf nebenstehender Seite). Eine Füllhöhe von 10 cm entspricht einem Druck von 10 cm Wassersäule (cmWS). Dieser Druck soll etwa dem doppelten Winddruck bei Orkanstärke entsprechen. So soll die Regeneinwirkung unter Winddruck berücksichtigt werden. Die Prüffläche unterhalb der Glasglocke beträgt ungefähr $(7.1 \pm 0.94) \text{ cm}^2$.

Kosten und Zeitbedarf

Folgende Anschaffungskosten für die Prüfgeräte und folgender Zeitbedarf für die W_w -Wert-Ermittlung einer Fassade sind ungefähr einzuplanen:

- Kosten (5 Prüfröhrchen, 1 Labor-Spritzflasche) ca. 150 CHF
- Zeitbedarf (10 gültige Einzelmessungen) ca. 2.5 h

Messablauf

Es werden 5 Prüfröhrchen gleichzeitig an der Wand angebracht und gemessen. Um statistische Aussagen treffen zu können, sollten insgesamt 10 gültige Einzelmessungen pro zu untersuchender Fassade erzielt werden. Als gültige Messungen zählen jene Messungen, deren Messkurven kein «Fehlverhalten» aufweisen. Ursächlich für Fehlverhalten kann z.B. eine Leckage am Prüfröhrchen sein, wenn die Verbindung zwischen Prüfgerät und Putz während der Messung Undichtigkeiten aufweist. Wird ein Prüfröhrchen versehentlich auf einen Riss oder eine Fehlstelle im Aussenputz plaziert, so nimmt der Aussenputz an dieser Messstelle unverhältnismässig viel Wasser auf. In diesem Fall ist zu entscheiden, ob die gewählte Messstelle repräsentativ für die zu untersuchende Fassade ist, oder ob die Einzelmessung von der Auswertung auszuschliessen ist. Der Wassereindringprüfer wird mittels eines plastischen Dichtstoffes auf die zu prüfende Fläche aufge kittet. Um bleibende Ölflecken auf der Fassade zu vermeiden, ist es wichtig, einen möglichst fettfreien Dichtstoff zu verwenden. Das Produkt „Terostat IX“ erweist sich hier als gut geeignet. Aber auch dieses enthält einen gewissen Anteil Öl und sollte daher zunächst an einer unauffälligen Stelle an der Fassade getestet werden. Aus dem Dichtstoff wird von Hand eine Wulst gerollt und auf den trockenen Glasrand aufgelegt. Diese soll so dünn wie möglich sein, um die Prüffläche innerhalb der Glasglocke möglichst wenig zu verringern. Historische Putze sind im Vergleich zu modernen Putzsystemen in der Regel sehr grobkörnig, weshalb sich dicke Kittwulste jedoch nicht immer vermeiden lassen. Durch festes Aufdrücken der Glocke auf die zu prüfende Fläche und Festdrücken des Kittes an den

Rändern wird ein wasserdichter Verbund hergestellt. Mittels einer Labor-Spritzflasche wird Leitungswasser bis zur Nullmarke in die Prüfröhrchen eingefüllt. Mit Hilfe einer Stoppuhr wird in regelmässigen Zeitabständen im Prüfprotokoll notiert, wie viele Milliliter Wasser der Aussenputz an den einzelnen Messstellen aufgenommen hat. Anfangs wird jede Minute notiert, wie viel Wasser aus den einzelnen Röhrchen in den Putz eingedrungen ist. Zu einem späteren Zeitpunkt, sobald der Putz deutlich weniger Wasser aufnimmt und die Skalierung des Ablesemasstabes zu ungenau wird, wechselt der Ableserhythmus zuerst auf 2 Minuten und dann auf 5 Minuten. Der Zeitbedarf für die Messung ab dem ersten Befüllen der Röhrchen beträgt insgesamt um die 35 Minuten, wobei die Messdauer je nach Wasseraufnahmevermögen des jeweiligen Aussenputzes kürzer oder länger ausfallen kann. Die Anzahl der einzelnen Messpunkte muss für eine statistische Auswertung ausreichend sein und mindestens 10 Messpunkte umfassen. Um den Einfluss des sich verändernden Druckes durch die abfallende Wassersäule möglichst gering zu halten, werden die Röhrchen bei einem Verlust von ca. 1.5 ml Flüssigkeit wieder bis zur Nullmarke aufgefüllt.

Auswertung

Die Auswertung der Messung erfolgt analog der Beschreibung unter dem Punkt «Auswertung» im Abschnitt «Labormessung der Wasseraufnahme».

Die linke Grafik auf nebenstehender Seite zeigt beispielhaft die Ergebnisse einer W_w -Wert-Messung mittels Karsten'schen Prüfröhrchen an einem historischen Putz einer Nordfassade. Dabei handelt es sich um dieselbe Fassade, zu welcher im Abschnitt «Labormessung der Wasseraufnahme» die Ergebnisse der W_w -Wert-Bestimmung im Labor dargestellt sind.

Auffallend ist, dass die Einzelmessungen mit Werten zwischen $1.0 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}})$ und $6.3 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}})$ untereinander sehr stark streuen. Die Fehler, also das 95 %- Vertrauensintervall, der einzelnen Messungen sind mit Ausnahme der Messung N 7 relativ klein, was bedeutet, dass die einzelnen Messungen sich untereinander signifikant unterscheiden. Der Mittelwert der Einzelmessungen weist mit $(3 \pm 3.4) \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}})$ ein sehr grosses Vertrauensintervall und damit eine hohe Messunsicherheit auf.

Prüfplatte nach Franke

Die Prüfplatte nach Franke, auch Wasseraufnahmeprüfplatte genannt, stellt eine Weiterentwicklung des Karsten'schen Prüfröhrchens dar und ist seit Ende der 1980er Jahre im Einsatz.

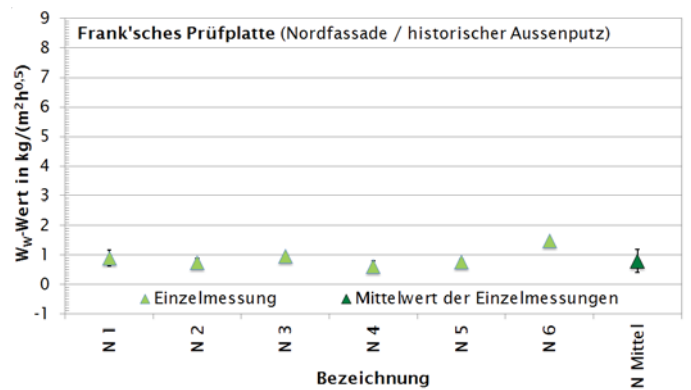
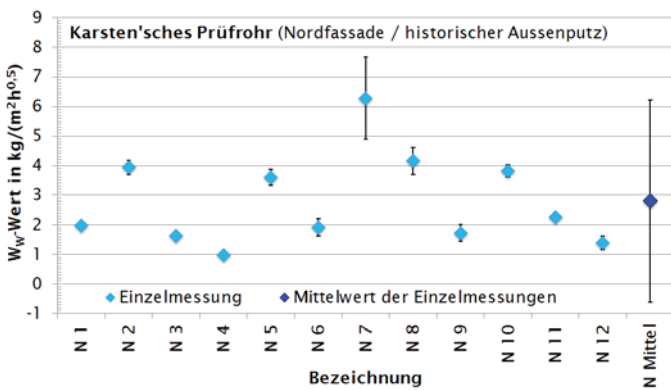
Prüfgerät

Die Wasseraufnahmeprüfplatte funktioniert nach dem gleichen Prinzip wie das Karsten'sche Prüfröhrchen. Das Prüfgerät aus Plexiglas weist ein Steigrohr mit einer Steighöhe von ca. 10 cm auf (siehe rechte Abbildung auf nebenstehender Seite). Der Unterschied zum Karsten'schen Röhrchen liegt in der grösseren Prüffläche. Diese weist eine Länge von ca. 25 und eine Breite von ca. 8.3 cm auf und beträgt etwa $(207 \pm 5.3) \text{ cm}^2$.

Kosten und Zeitbedarf

Folgende Anschaffungskosten für die Prüfgeräte und folgender Zeitbedarf für die W_w -Wert-Ermittlung einer Fassade sind ungefähr einzuplanen:

- Kosten (2 Prüfplatten; 2 Labor-Spritzflaschen; 1 kalibrierte Waage mit einer Genauigkeit von 0.01 g) ca. 850-900 CHF
- Zeitbedarf (4 gültige Einzelmessungen) ca. 2.5 h



Messablauf

Je mehr Einzelmessungen pro Fassade durchgeführt werden, umso genauer ist das Messergebnis. Pro zu untersuchender Fassade sollten mindestens vier gültige Messungen durchgeführt werden. Der parallele Einsatz von zwei Prüfplatten hat sich dabei als effizient erwiesen.

Die Wasseraufnahmeprüfplatte wird mit etwas Neigung nach links mit Hilfe des Dichtstoffes an der Wand angebracht. Die Neigung sorgt für ein Entweichung der Luft durch ein dafür vorgesehenes kleines Entlüftungsloch rechts oben.

Wichtig dabei ist, dass der höchste Punkt des rechteckigen Hohlraums der Platte unterhalb des minimalen Wasserspiegels im Steigröhrchen liegt. Andernfalls erfolgt ein Teil des Wasserverlustes in die Fassade über das Ausnivellieren der beiden Wasserspiegel im Rohr und in der Platte. Das Ausgleichen der beiden Wasserspiegel hat dann einen verfälschenden Einfluss auf die Messung, da nur noch ein Teil der Prüffläche mit Wasser bedeckt ist.

Nach dem Auffüllen der Vorrichtung bis zur Nullmarke wird das Loch mit Dichtstoff verschlossen. Kurz darauf beginnt die Messung. Der Wasserpegel im Röhrchen muss durch regelmässiges Nachfüllen mittels einer Labor-Spritzflasche konstant gehalten werden. Nach jedem Nachfüllen wird die jeweilige Wasserflasche gewogen, um zu bestimmen, wieviel Wasser der Aussenputz aufgenommen hat. Zeitintervall des Nachfüllens sowie Gesamtmessdauer sind analog zur Beschreibung des Punktes «Messablauf» im Abschnitt «Karstensch`es Prüfröhrchen» zu wählen. Die Anzahl der einzelnen Messpunkte muss wiederum für eine statistische Auswertung ausreichend sein.

Auswertung

Die Auswertung der Messung erfolgt analog der Beschreibung unter dem Punkt «Auswertung» im Abschnitt «Labormessung der Wasseraufnahme».

Die obere rechte Grafik zeigt beispielhaft die Ergebnisse einer W_w -Wert-Messung mit der Prüfplatte nach Franke. Die Messungen mittels Prüfplatte wurden an der gleichen Fassade durchgeführt, an der auch die Messungen mittels den Karten`schen Prüfröhrchen erfolgten und aus welcher die Prüfkörper für die im Abschnitt «Labormessung der Wasseraufnahme» dargestellten Resultate stammten. Die Einzelmessungen liegen mit Werten zwischen $0.6 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}})$ und $1.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}})$ relativ nah beieinander. Mit einem Mittelwert der Einzelmessungen von $(0.8 \pm 0.38) \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}})$ weist der mit der Wasseraufnahmeprüfplatte ermittelte W_w -Wert ein kleineres Vertrauensintervall und damit eine grössere Sicherheit auf als der mit den Karstensch`en Prüfröhrchen an der gleichen Fassade ermittelte W_w -Wert.

Wasseraufnahmeprüfgerät

Im Jahr 2012 wurde an der der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig in Zusammenarbeit mit der Firma hf sensor GmbH das sogenannte Wasseraufnahmemessgerät entwickelt.

Prüfgerät

- 8 Das Wasseraufnahmemessgerät besteht aus einem Metallgehäuse. An diesem ist eine Pumpe, ein Ansaugstutzen und eine Sprinkleranlage fixiert. Das Prüfgerät verfügt zudem über eine Plattform, auf die eine Waage samt Wasserbehälter gestellt wird. Über einen Anschluss an eine Steuereinheit wird die Messung via Laptop gestartet. Die Pumpe wird mittels einer Autobatterie betrieben. Die Messung kann daher unabhängig von einem Stromanschluss durchgeführt werden. Während der Messung wird in einem wasserdicht abgeschlossenen Messbereich kontinuierlich eine definierte Wassermenge am oberen Rand der Prüffläche aufgesprüht. Das Wasser läuft an der Fassade ab und wird in einem Behälter aufgefangen, welcher auf einer Waage steht. In Abständen von einigen Sekunden wird das Gewicht des Behälters aufgezeichnet und so die Differenz zum Ausgangsgewicht und somit die aufgesaugte Wassermenge bestimmt. Im Lieferumfang enthalten ist die Software «Moist Tools», welche zur Steuerung der Pumpe sowie zur Aufzeichnung und Auswertung der Messwerte dient.

Da die Prüffläche durch das Anbringen des plastischen Dichtstoffes von Messung zu Messung etwas variiert, sollte die lichte Höhe und Breite zwischen den Knetstreifen nach Abschluss der Messung und vorsichtigem Entfernen des Metallgehäuses, jeweils mehrfach mit einem Meterstab bestimmt werden. Aus den gemessenen Werten wird die Prüffläche ermittelt, welche in der Regel in einem Bereich von $(1'200 \pm 10) \text{ cm}^2$ liegt.

Kosten und Zeitbedarf

Folgende Anschaffungskosten für die Prüfgeräte und Zeitbedarf für die W_w -Wert-Ermittlung einer Fassade sind ungefähr einzuplanen:

- Kosten (Prüfgerät inklusive Waage und Software; ohne Laptop) ca. 5'500 CHF
- Zeitbedarf (1 gültige Einzelmessung) ca. 2.5 h

Messablauf

Je mehr Messungen durchgeführt werden, umso sicherer kann für die untersuchte Fassade ein repräsentativer W_w -Wert ermittelt werden. Aufgrund der Grösse der Prüffläche sowie der computergestützten Durchführung und Auswertung der Messung, weist das Messverfahren eine vergleichsweise geringe Messunsicherheit auf. Auf der anderen Seite ist die Installation des Prüfgeräts verhältnismässig zeitintensiv, vor allem für Prüfer, die noch wenig Erfahrung mit der Messdurchführung haben. Daher scheint eine gültige Messung pro zu untersuchender Fassade für die praktische Durchführung dieser Insitu-Messmethode ausreichend zu sein.

Der Umriss der zu benetzenden Fläche wird an die Wand angezeichnet. Entlang der Prüffläche wird die Dichtmasse auf die Wand aufgebracht und gut angedrückt. Anschliessend wird die Apparatur auf der Dichtmasse fixiert, mit einem Kunststoffhammer aufgedrückt. Erfahrungsgemäss muss von innen her nochmals eine dünne Wulst Dichtmasse angebracht werden, um sicherzustellen, dass die Prüfkammer komplett dicht an

der Fassade angebracht ist. Wenn alles abgedichtet ist, wird die Messkammer verschlossen und die Messung via Laptop gestartet. Die zuvor mittels einer Wasserwaage ausnivellierte Waage misst standardmässig alle 10 Sekunden das Gewicht des Wasserbehälters und übermittelt die Daten an den Laptop. Die Messung läuft automatisch ab, die Messzeit beträgt standardmässig 40 Minuten. Anzahl der Einzelmessungen, Dauer der Gesamtmesszeit sowie Benetzungszeit können individuell in der Software angepasst werden.

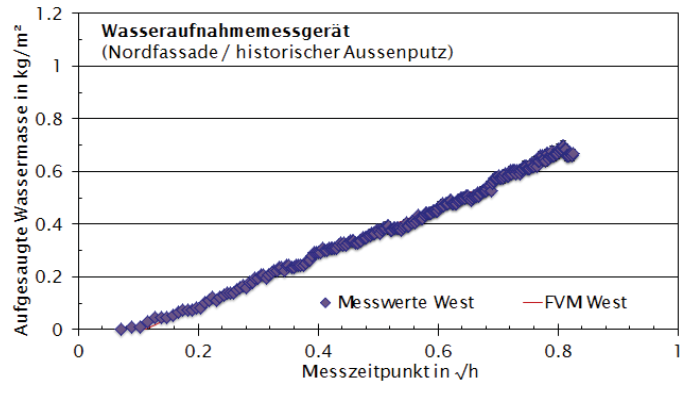
Am Ende der Messung werden die Daten gespeichert und können ausgewertet werden.

Auswertung

Das Prüfergebnis kann von der Software «Moist Tools» ausgegeben werden, welche den W_w -Wert mittels linearer Regression berechnet. Für diese wird das Bestimmtheitsmass R^2 ermittelt. Jedoch wird das Prüfergebnis ohne Vertrauensintervall angegeben. Nachteilig bei der Auswertung mittels der Software «Moist Tools» ist auch, dass die Messunsicherheiten der verschiedenen physikalischen Grössen, wie beispielsweise die der Messung zugrundeliegende Prüffläche, nicht angepasst werden können.

Für ein vollständigeres Messergebnis kann die Auswertung der Messung anhand der Einzelmesswerte analog der Beschreibung unter dem Punkt «Auswertung» im Abschnitt «Labormessung der Wasseraufnahme» selbst vorgenommen werden.

Die Grafik auf nebenstehender Seite zeigt beispielhaft für die untersuchte Nordfassade die mittels Wasseraufnahmemessgerät erfassten Einzelmesswerte inklusive Regressionsgerade nach dem «Fehler in den Variablen Modell» (FVM), aufgetragen über der Wurzel der Zeit. Die Steigung der Geraden beschreibt den Wasseraufnahmekoeffizienten. Der mit Hilfe des Wasseraufnahmemessgerätes ermittelte W_w -Wert der untersuchten Nordfassade ergibt sich zu $(0.95 \pm 0.01) \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}})$. Die Messung mittels Wasseraufnahmemessgerät weist im Vergleich zu den zuvor vorgestellten Insitu-Messmethoden die geringste Messunsicherheit auf.



5 Schlussfolgerungen für die Baupraxis

Es wird eine Beurteilung der Insitu-Messmethoden hinsichtlich ihres Einsatzes in der Baupraxis vorgenommen. Zudem werden Umrechnungsfunktionen aufgezeigt, um einen Vergleich zwischen insitu und den im Labor gemessenen W_w -Werten herstellen zu können.

10

Beurteilung der Insitu-Messmethoden

Die vorgestellten Insitu-Messmethoden weisen verschiedene Vor- und Nachteile hinsichtlich ihrer praktischen Anwendung am Bau auf.

Beurteilung Karsten'sches Prüfröhrchen

Die Karsten'schen Prüfröhrchen sind die kostengünstigsten Insitu-Messgeräte. Wegen ihrer geringen Grösse sind sie leicht zu handhaben. Doch gerade dieser vermeintliche Vorteil geht mit einer vergleichsweise kleinen Prüffläche einher. Diese führt dazu, dass vorhandene Fehlstellen, wie Risse und Löcher im Aussenputz sowie Leckagen zwischen Dichtmasse und Fassade stärker ins Gewicht fallen. Diese Einflüsse können das Messergebnis erheblich verfälschen. Aufgrund des ungünstigen Umfang zu Flächen-Verhältnisses beeinflusst der Randeffect, sprich der Wasserverlust in der Ebene der Fassade, die Resultate im Vergleich zu den übrigen Insitu-Messverfahren am meisten. Aus diesen Gründen streuen die Einzelmessungen der mittels Karsten'schen Prüfröhrchen ermittelten W_w -Werte einer Fassade teils stark. Der mittlere W_w -Wert liegt oft deutlich über den mittleren W_w -Werten der übrigen Insitu-Messverfahren sowie der Labormessung. Dies ist auch an der untersuchten Nordfassade der Fall, bei welcher der mit Hilfe der Prüfröhrchen gemessene mittlere W_w -Wert mit $(3 \pm 3.4) \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}})$ ein sehr grosses Vertrauensintervall und damit eine hohe Messunsicherheit aufweist. Die Erfahrungen der Messungen mittels Prüfröhrchen haben zudem gezeigt, dass bei Fassaden mit niedrigen Wasseraufnahmekoeffizienten im Bereich von 0.1 bis $0.2 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}})$, der Ablesemasstab der Prüfröhrchen im Vergleich zu der geringen Menge aufgesaugtem Wasser zu grob skaliert ist. In diesen Fällen stösst das Messverfahren an seine Grenzen. Neuere Fassaden mit modernen Putzsystemen weisen in der Regel niedrige W_w -Werte auf, weshalb der beschriebene Nachteil bei deren Untersuchung vermutlich häufig auftritt.

Beurteilung Frank'sche Prüfplatte

Gegenüber dem Karsten'schen Prüfröhrchen liegt die Franke'sche Prüfplatte höher in den Anschaffungskosten. Die Wasseraufnahmeprüfplatte weist gegenüber dem Karsten'schen Prüfröhrchen eine ca. 29-mal grössere Prüffläche auf, was einige Vorteile mit sich bringt. So verfälschen kleine Fehlstellen in der Fassade den gemessenen Wasseraufnahmekoeffizienten nur geringfügig. Ebenfalls minimiert sich der Randeffect, da das Verhältnis des Umfanges zur Prüffläche kleiner ist, als jenes der Karsten'schen Prüfröhrchen. Zudem ist eine Messung der Wasseraufnahme an Fassaden mit niedrigen Wasseraufnahmekoeffizienten möglich, da mit zunehmender Prüffläche der Wasserverlust insgesamt höher ist. Dies ermöglicht ein genaueres Messen der aufgenommenen Wassermenge. Hinzu kommt, dass mit der Wägung der verwendeten Spritzflaschen genauere Werte ermittelt werden können, als durch das Ablesen an der Volumenanzeige der Karsten'schen Prüfröhrchen. Die Handlichkeit der Franke'schen Prüfplatte ist ähnlich gut wie die der Karsten'schen Prüfröhrchen. Aufgrund ihres verhältnismässig genauen Prüfergebnisses, ihrer benutzerfreundlichen Handhabung sowie ihrem guten Preisleistungs-verhältnisses ist die Wasseraufnahmeprüfplatte die geeignetste Insitu-Messmethode für eine schnelle und einfache Messung von W_w -Werten am Bau.

Beurteilung Wasseraufnahmemessgerät

Das Wasseraufnahmemessgerät ist mit Abstand das teuerste der vorgestellten Prüfgeräte. Vor allem wegen der Autobatterie weist der Messkoffer ein relativ hohes Gewicht und damit eine vergleichsweise sperrige Handhabung auf. Die Batterie bringt jedoch den Vorteil mit sich, dass die Insitu-Messung unabhängig von einem Stromanschluss durchgeführt werden kann, vorausgesetzt der bei der Messung verwendete Laptop weist eine genügend lange Akkulaufzeit auf. Nachteilig für den Anwender ist, dass der Ladezustand der Autobatterie am Prüfgerät nicht angezeigt wird bzw. überprüft werden kann. Ein weiterer Nachteil liegt in der vergleichsweise langen Vorbereitungs- und Installationszeit des Prüfgerätes. Letzterer wird aber durch das automatisierte Arbeiten der Apparatur während der Messphase teilweise wieder wettgemacht. Ein erfahrener Prüfer benötigt zudem weniger Zeit für die Installation des Wasseraufnahmemessgerätes.

Die mittels Franke'schen Prüfplatte und Wasseraufnahmemessgeräte ermittelten W_w -Werte liegen in der Regel nahe beieinander. So wurde an der Nordfassade mittels Prüfplatte ein W_w -Wert von $(0.8 \pm 0.19) \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}})$ und mittels Wasseraufnahmemessgerät ein W_w -Wert von $(0.95 \pm 0.01) \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}})$ ermittelt. Im Vergleich dazu liegt der mittlere W_w -Wert der Labormessung an Prüfkörpern der selben Fassade bei $(0.6 \pm 0.53) \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}})$, also näher am W_w -Wert der Prüfplatte. Dies spricht wiederum für den Einsatz der Prüfplatte zur Ermittlung der Wasseraufnahmefähigkeit von Aussenputzsystemen.

Der grosse Vorteil der Messung mittels Wasseraufnahmemessgerät liegt in dem vergleichsweise niedrigen Vertrauensintervall. Die Erfahrung zeigt, dass dies meist deutlich tiefer als die Vertrauensintervalle und damit die Messunsicherheit der übrigen Insitu-Messmethoden liegt.

Umrechnungsfunktionen

Um aus den Insitu-Messungen Rückschlüsse auf den im Labor bestimmten W_w -Wert ziehen zu können, sind Umrechnungsfunktionen notwendig.

Vergleich Insitu-Messungen zu Labormessung

Die Erfahrung zeigt, dass die im Labor an Bohrkernen bzw. Prüfkörpern ermittelten W_w -Werte im Vergleich zu den mit Insitu-Messungen ermittelten W_w -Werten teils deutlich niedriger liegen. In der oberen Tabelle auf nebenstehender Seite sind Mittelwerte der Messwerte, gewonnen mit den Insitu-Messmethoden und durch Labormessungen, zusammengestellt. Gemessen wurde immer das System bestehend aus Farbe, Putz und Putzgrund. Die Messungen wurden im Rahmen des einleitend erwähnten Forschungsprojektes der BFH AHB «Wasseraufnahmekoeffizienten historischer Aussenputze» durchgeführt.

Die Messungen im Labor finden unter genormten und konstanten Prüfbedingungen an Bohrkörpern der originalen Fassadenbauten statt. Sie werden daher als das sicherste Messverfahren angesehen, mit welchem sich die plausibelsten W_w -Werte ermitteln lassen. Voraussetzung hierfür sind jedoch intakte Prüfkörper, welche den Flächenangaben der Norm EN ISO 15148 entsprechen. Das Ziehen der Bohrkern aus historischen Fassaden stellt jedoch eine Herausforderung dar. Es ist nicht immer möglich die Vorgaben hinsichtlich der Prüfflächen der Einzelprüfkörper sowie der Gesamtprüfflächen einzuhalten. Daher sind auch die Messungen im Labor mit einer gewissen Unsicherheit belegt.

Auf Grundlage einer Reihe von Versuchsdurchführungen in genanntem Forschungsprojekt konnte eine Beziehung zwischen

Insitu- und Labormessungen abgeleitet werden. So wurden anhand der Korrelationen zwischen Insitu- und Labormessungen Umrechnungsfunktionen ermittelt, mit welchen die insitu ermittelten Wasseraufnahmekoeffizienten der Aussenputze in mit Labormessungen vergleichbare Werte umgerechnet werden können. Diese ermöglicht es Planern und Ausführenden, den Wasseraufnahmekoeffizienten eines historischen Aussenputzes insitu am Objekt zu bestimmen und anschliessend mit der Labormessung nach EN ISO 15148 zu vergleichen. Die in untenstehender Tabelle aufgeführten Gleichungen der berechneten Korrelationen der Labormessung zu den Insitu-Messverfahren können verwendet werden, um die Verhältnisse ungefähr abschätzen zu können.

Demnach ist z. B. ein mittels der Karsten'schen Prüfröhrchen ermittelter Wasseraufnahmekoeffizient als x-Wert in die entsprechende Funktion einzusetzen, um den ungefähren, im Labor an Putzproben gemessenen W_w -Wert, als y-Wert zu erhalten.

Die «Umrechnung» der Insitu bestimmten W_w -Werte mittels der genannten Funktionen stellt jedoch nur eine Annäherung dar. Um gesicherte Umrechnungsfunktionen ermitteln zu können, müssen diese durch weitere Insitu- sowie Labormessungen validiert werden.

Mittelwerte der Insitu-Messungen und Labormessungen									
Nr.	Objektname	Karsten'sche Prüfröhrchen		Franke'sche Prüfplatte		Wasseraufnahmemessgerät		Labormessung	
		Mittelwert	Dw_w	Mittelwert	Dw_w	Mittelwert	Dw_w	Mittelwert	Dw_w
1	Evilard W	4.0	± 2.1	1.8	± 0.58	1.39	± 0.01	-	-
	Evilard N	3.0	± 3.4	0.8	± 0.39	0.95	± 0.012	0.6	± 0.532
2	Oberdorf W	1.0	± 1.1	1.0	± 1.32	0.61	± 0.022	-	-
	Oberdorf S	0.7	± 0.72	0.3	± 0.34	0.3	± 0.28	0.1	± 0.15
3	Lachen W	4	± 2.9	2.2	± 0.93	1.46	± 0.0082	-	-
	Lachen N	6	± 2.0	3.0	± 1.7	2.94	± 0.01	1.3	± 0.4
4	Holderbank M/O	1.4	± 0.38	0.7	± 0.32	0.46	± 0.377	0.30	± 0.13
	Holderbank Mit	0.1	± 0.5	0.32	± 0.24	0.24	± 0.09	0.2	± 0.17

Umrechnungsfunktionen	
Beziehung	Funktionen
Labormessung (W_w) zu W_w -Wert Karsten'sche Prüfröhrchen (x)	$W_w = (0.2 \pm 0.063) x + (0.04 \pm 0.19) \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$
Labormessung (W_w) zu W_w -Wert Franke'sche Prüfröhrchen (x)	$W_w = (0.42 \pm 0.186) x + (0.07 \pm 0.27) \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$
Labormessung (W_w) zu W_w -Wert Wasseraufnahmemessgerät (x)	$W_w = (0.42 \pm 0.133) x + (0.09 \pm 0.19) \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$

6 Quellen

1. EN ISO 15148:2002-12; Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten bei teilweisem Eintauchen (ISO 15148:2002)
2. WTA Merkblatt 6-5-14/D; Innendämmung nach WTA II: Nachweis von Innendämmsystemen mittels numerischer Berechnungsverfahren Referat 6 Bauphysik. Deutsche Fassung. Stand April 2014

Projektförderung:

Stiftung zur Förderung der Denkmalpflege

Projektverantwortung

Prof. Dr. Christoph Geyer

Projektumsetzung:

Barbara Wehle (Projektleitung)

Federico Gariglio

Kontakt:

Barbara Wehle (barbara.wehle@bfh.ch / Tel: +41(0) 32 344 02 54)

Berner Fachhochschule

Architektur, Holz und Bau

Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur

Solothurnstrasse 102, Postfach 6069

CH-2500 Biel 6

Telefon +41 (0) 32 344 02 02

fe@bfh.ch

www.ahb.bfh.ch