

Evaluation von bauphysikalischen Vormessungen im Rahmen von komplexen Innendämmprojekten

Sebastian Latz¹, Andreas Thewes², Frank Scholzen¹, Stefan Maas¹

¹ Universität Luxemburg, L-1359 Luxemburg, E-Mail: sebastian.latz@uni.lu

² Hochschule Trier, D-54293 Trier, E-Mail: a.thewes@hochschule-trier.de

Einleitung

Die Installation von Innendämmsystemen im Rahmen von Sanierungen verändert das hygrothermische Verhalten des Bestandsmauerwerkes eines Gebäudes nachhaltig. Durch die innenliegende Dämmschicht sinkt die die Temperatur des Mauerwerks in der Heizperiode stärker ab und das Abtrocknungspotential reduziert sich erheblich. Bei zu starker Auffeuchtung durch die Aufnahme von Schlagregen von außen und Feuchte aus dem Innenklima kann es zu dauerhafter Schädigung des Mauerwerkes sowie Schimmelbildung kommen.

Die DIN 4108-3 [1] sowie die WTA Richtlinien der Merkblattgruppe 6 [2] stellen einfache Nachweisverfahren im Rahmen enger Grenzen zur Verfügung. Sofern der Schlagregenschutz nicht gewährleistet werden kann, muss der Nachweis über ein numerisches Simulationsprogramm für den instationären Wärme- und Feuchtetransport durchgeführt werden.

Diese Simulationen erfordern die Eingabe sensibler Randbedingungen und unterschiedlicher Materialparameter. Um präzise Simulationsergebnisse zu erhalten, sollten diese Eingabewerte über bauphysikalische Messungen validiert werden. Um die Simulationsparameter besser einschätzen zu können, wurden im Rahmen des Forschungsprojektes „Möglichkeiten und Grenzen der Innendämmung bei der Sanierung öffentlicher Gebäude in Luxemburg“ im Auftrag der *Administration des bâtiments publics* an der Universität Luxemburg diverse physikalische Messungen zur Vorbereitung eines Feldtests für Innendämmsysteme in einem Konferenzraum durchgeführt.

Nachweise für Innendämmsysteme

Für den Funktionsnachweis eines Innendämmsystems sind gemäß WTA Merkblatt E 6-4 zwei Nachweise zu führen:

- Thermischer Nachweis
- Hygrischer Nachweis

Während für die Anforderungen des thermischen Nachweises die nationalen Anforderungen zu beachten sind (Luxemburg: max. U-Wert $\leq 0,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$), stehen für den hygrischen Nachweis theoretisch drei Verfahren zur Verfügung:

1. Das Glaserverfahren (DIN 4108-3)
2. Das vereinfachte Nachweisverfahren (WTA 6-4)
3. Die numerische Simulation des instationären Wärme- und Feuchtetransports

Beim Glaserverfahren als auch beim vereinfachten Nachweis nach WTA 6-4 handelt es sich um konservative Nachweisverfahren mit reduziertem Rechen- und Zeitaufwand. Grenzfälle sollten immer mit Hilfe von numerischen Simulationsprogrammen (z.B. WUFI oder Delphin, ...) nachgewiesen werden.

Empfindliche Simulationsparameter

Der Feuchteeintrag von innen, in kontrollierter Form von Diffusion und in unkontrollierter Form durch Konvektion sowie der Eintrag von Schlagregen von außen als simulationskritisch. Generell ist der Feuchteeintrag durch Konvektion unter die Innendämmung durch bauliche Maßnahmen auszuschließen. Im Simulationstool kann Feuchteeintrag durch Konvektion nicht hinreichend genau abgebildet werden.

Folgende Randbedingungen und Materialkennwerte beeinflussen den Schlagregeneintrag sowie den Feuchteeintrag durch Diffusion von der Innenseite:

1. Der Schlagregeneintrag ist abhängig
 - a. vom Außenklima (Niederschlag, Wind, Solarstrahlung, etc.)
 - b. vom Wasseraufnahmekoeffizient der Fassade
 - c. der Ausrichtung und Exposition der Fassade
2. Der Feuchteeintrag von innen ist abhängig vom
 - a. Innenklima
 - b. Außenklima
 - c. der Stärke des Diffusionsstromes der wiederum vom
 - i. Diffusionswiderstand
 - ii. Dämmstoffstärke und Wärmedurchgangskoeffizienten
 - iii. Temperaturverlaufabhängt.

Neben den oben genannten Kriterien spielen auch weitere Materialparameter des Bestandsmauerwerkes sowie des eingesetzten Dämmstoffes eine wichtige Rolle.

Bauphysikalische Vorabmessungen

Übersicht

Tabelle 1 stellt eine Übersicht über empfohlene Vormessungen dar. Das Außenklima Luxemburg wurde von der Agrarklimastation in Roeser [3] übernommen.

Tabelle 1: Übersicht Vormessungen

Art der Messung	Ziel der Messung
Außenklima	Quantifizierung
Innenklima	Quantifizierung
Wasseraufnahmekoeffizient	Regeneintrag bei Benetzung
Wärmefluss	Wärmedurchgangswiderstand der Bestandwand
Porenluftfeuchte im Mauerquerschnitt	Initialwerte

Messergebnisse

Außenklima

Das vergangene Klima in Luxemburg kann auf der Webseite von agrimeteo [3] für zahlreiche Standorte kostenfrei in Form von Stundenmittelwerten z.T. ab dem Jahr 2000 heruntergeladen werden. Die Werte können unkompliziert in die Simulationssoftware übertragen werden.

Innenklima

Für die Messung des Innenklimas wurden über mehrere Wochen die Werte der Lufttemperatur, der rel. Luftfeuchte sowie die CO₂ Werte (als Marker für die Raumnutzung) mitgeschrieben.

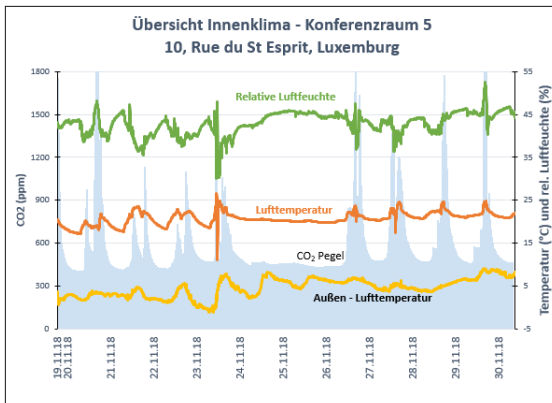


Abbildung 1: Innenklima über eine Woche

Abbildung 1 stellt exemplarisch für eine Woche den Verlauf der Lufttemperatur, der relativen Feuchte, der Außenlufttemperatur (gemessen) und der CO₂ Konzentration dar.

Da die gemessenen Temperaturen zum Teil deutlich oberhalb der in WTA 6-2 veranschlagten 20 °C Raumtemperatur lagen, wurde rechnerisch der Wasserdampfpartialdruck in der Raumluft ermittelt um trotzdem eine Einordnung in die vier Feuchtelaststufen der WTA 6-2 möglich zu machen.

Der Wasserdampfpartialdruck wird dabei mit der Magnus-Formel (1) zur Berechnung des Wasserdampfsättigungsdruckes und der Multiplikation mit der relativen Raumluftfeuchte ermittelt. Die Formel gilt für den Temperaturbereich für Luft über Wasser von -50 bis 100 °C und den Umgebungsdruck von 101325 Pa.

$$p_{pd} = \varphi \cdot 611.2 * e^{\left(\frac{17,62+t}{243,12+t}\right)} \quad [\text{Pa}] \quad (1)$$

- φ Relative Luftfeuchte [%]
- t Lufttemperatur [°C]
- p_{pd} Wasserdampfsättigungsdruck [Pa]

In Abbildung 2 sind die Stundenwerte des Wasserdampfpartialdruckes der Raumluft in Abhängigkeit zur Außenlufttemperatur aufgetragen. Anhand der Trendlinie lässt sich deutlich erkennen, dass im Messzeitraum ein Innenklima mit **niedriger Luftfeuchte** geherrscht hat.

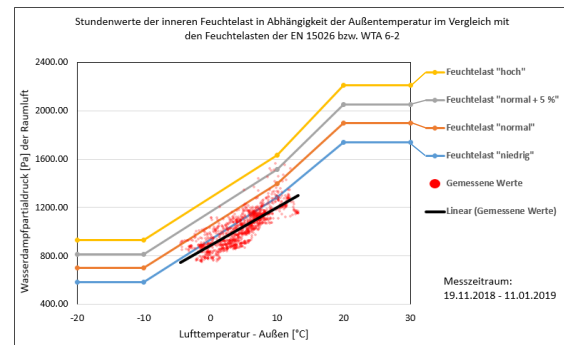


Abbildung 2: Einordnung der Messwerte in die WTA 6-2

Wasseraufnahmekoeffizient der Außenfassade

Der w_a Koeffizient der Außenfassade wurde mit dem WAM100B der Fa. hf-sensor GmbH gemessen. Da die Fassade im Jahr 2013 saniert wurde, wurde ein sehr niedriger Wert von $w_a \leq 0,1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ gemessen.

Dabei wird die Fassade auf einer Fläche von 30 · 40 cm über eine Stunde benetzt und fortlaufend von einer Waage das eingedrungene Wasser gemessen [5].

Wärmeflussmessungen

Um den Wärmedurchgangswiderstand der Bestandwand zu ermitteln, wurden mehrere Wärmeflussmessungen durchgeführt. Zusätzlich zum Wärmefluss wurden die Luft- und Oberflächentemperaturen auf der Innen- und Außenseite gemessen. Die theoretische U-Wert Berechnung ergab einen Wert von 1.5 W/(m²·K) (85 cm Sandbruchstein, beidseitig verputzt).

Die Messung ergab einen experimentellen U-Wert von 1.0 W/(m²·K) - siehe Abbildung 3. Dies kann durch den inhomogenen Aufbau und Lufteinschlüsse in der 400 Jahre alten Bruchsteinwand erklärt werden.

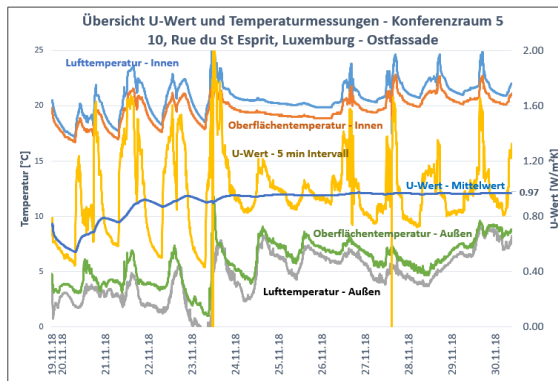


Abbildung 3: Messergebnisse der Wärmeflussmessung

Messung der Porenluftfeuchte

Um die wichtigen Initialfeuchtwerte korrekt eingeben zu können, wurden Feuchtemessungen in drei Bohrtiefen im Mauerwerk durchgeführt: 10.04.2019 / 11.05 Uhr

1. 3 cm unter dem Innenputz 20.4 °C / 57 %
2. 45 cm (Mauerkern) 17.1 °C / 55 %
3. 80 cm (unter dem Außenputz) 16.0 °C / 59 %

Bewertung der Messungen und Ausblick

Alle Messungen lieferten wertvolle Ergebnisse, die direkt in die Simulationssoftware übernommen werden konnten. Der Wasseraufnahmekoeffizient lag im untersten Bereich $< 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$. Die Wärmeflussmessungen ergab aufgrund der Inhomogenität des Mauerwerkes (Gaseinschlüsse) einen um 30 % besseren U-Wert als die theoretische Vorabrechnung. Untersuchungen von Hoos [4] bestätigen diese Beobachtungen. Die niedrigen Feuchtwerte im Mauerwerk erklären sich durch den guten Schlagregenschutz und sind daher in einem unkritischen Bereich.

Es werden momentan weitere Untersuchungen angestellt, um in Zukunft, die Exposition einer Fassade auf Basis der gemessenen Parameter und mit Hilfe von Simulationen ermitteln zu können. Ziel dieser Untersuchungen ist eine sichere Voraussage zum Verhalten der Wand nach der Innendämmung, da v.a. die Exposition und Schlagregenbelastung im Einzelfall kaum abschätzbar sind.

Literatur

- [1] DIN 4108-3: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden, Beuth Verlag, Berlin, 11/2014
- [2] WTA Merkblatt E 6-4 Planungsleitfaden Innendämmung, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 01/2016
- [3] Wetterdaten Station Roeser (Luxemburg), URL: <https://www.agrimeteo.lu/>
- [4] Hoos et al.: Messtechnische Ermittlung der U-Werte von Altbaufassaden URL: obilu.uni.lu/handle/10993/23050
- [5] Stelzmann M.: In-situ-Messgerät für die zerstörungsfreie Messung der kapillaren Wasseraufnahme von Fassaden, Hanseatische Sanierungsstage 2013

Curriculum Vitae

**M. Eng.
Sebastian Latz**



Ausbildung:

- | | |
|-----------|---|
| 2009 | Abitur am Burg-Gymnasium Schorndorf |
| 2010-2016 | Studium der Versorgungstechnik / TGA und des Energiemanagements an der Hochschule Trier |
| 10/2017- | Promotion zum Thema: Möglichkeiten und Grenzen der Innendämmung bei der Sanierung öffentlicher Gebäude an der Universität Luxemburg |

Beruflicher Werdegang:

- | | |
|----------|--|
| 10/2016- | Kuehne + Nagel Sarl, Contern / Lux |
| 09/2017 | Betriebsingenieur Gebäudetechnik |
| 10/2017- | Universität Luxemburg, Fakultät für Naturwissenschaften, Technologie und Kommunikation, wissenschaftlicher Mitarbeiter |

CO – Autoren

- Prof. Dr.-Ing. Andreas Thewes, Hochschule Trier
 Prof. Dr.-Ing. Frank Scholzen, Universität Luxemburg
 Prof. Dr.-Ing Stefan Maas, Universität Luxemburg

Danksagung

Die Universität Luxemburg bedankt sich für die finanzielle Unterstützung des Projektes insbesondere bei den Herren J. Leyder und C. Reckel von der *Administration des bâtiments publics Luxembourg*.