

Der Einfluss natürlicher Lehmbaustoffe und Lehmbauweisen auf die relative Luftfeuchtigkeit im Innenraum Mikroklima

Die relative Innenraum Luftfeuchtigkeit ist einer der wichtigsten Indikatoren für die Qualität des inneren Mikroklimas in einem Bau. Niedrige Luftfeuchtigkeit kann trockene Haut und trockene Kehlen und trockene Nasenschleimhäute hervorrufen, sowie statische Elektrizität erzeugen. Hohe Luftfeuchtigkeit kann zur Schimmelbildung, bakteriellem Befall und Kondensation auf kalten Oberflächen führen. ASHRAE Standard 55 (ANSI/ASHRAE 2004) bestimmt die Innenraum Komfortzone im Bereich von 68 bis 80°F (20 bis 27°C) bei einer relativen Luftfeuchtigkeit zwischen 20 und 80%. Dabei gilt: Je höher die Temperatur, desto niedriger die relative Innenraum Luftfeuchtigkeit und umgekehrt. Der Autor Jokl (1991) schlägt eine optimale Innenraum Luftfeuchtigkeit von 30 bis 70% bei einer Temperatur von 19 bis 24°C vor. Korjenic et al. (2010) stellt fest, dass die für Bewohner angenehmste Innenraum Luftfeuchtigkeit in Österreich bei 40 bis 60% liegt, mit höheren Werten im Winter und niedrigeren im Sommer.

Baustoffe, die Feuchtigkeit absorbieren und wieder abgeben können, sollten verwendet werden, da sie Luftfeuchtigkeit speichern und in trockenen Perioden wieder abgeben können. Der Hauptvorteil der Verwendung der Gebäudemasse zum Regulieren des Innenraumklimas ist das Senken des Energiebedarfs und damit der Betriebskosten. Lehm kann aufgrund seiner mineralogischen Zusammensetzung im Vergleich zu anderen Baustoffen besonders effektiv zum Speichern von Innenraum Luftfeuchtigkeit in der gewünschten Höhe verwendet werden. Gleichzeitig sind Lehmbaustoffe und Lehmbauteile umweltfreundlich wegen ihrer niedrigen, eingeschlossenen CO₂ und SO₂ Emissions- und Energiewerte. Sie können bei Abbruch recycelt werden und haben dadurch eine unbegrenzte Lebensdauer. Obgleich Lehm hervorragende Sorptionseigenschaften besitzt, verfügen Lehmbaustoffe über gewisse Sandmengen

zur Schrumpfungsreduzierung. Typische Lehmputze haben 70 bis 75% Sandanteile, die eine schnelle Sorptionsfähigkeit reduzieren. Ein so hoher Sandanteil bedeutet, dass die Sorptionseigenschaften von Lehmputz die gleichen sind wie die von traditionellen Kalksandputzen. Auch andere Faktoren sollten bei der Betrachtung des Sorptionspotenzials von Lehmputzen und Lehmbauteilen in Erwägung gezogen werden, wie chemische Stabilisierung, Trocknungsarten, mineralogische Zusammensetzung, usw.

Testverfahren für die Sorptionseigenschaften von Baustoffen

Sorption

Um die Sorptionen einzelner Baustoffe zu vergleichen, sollte der europäische Standard EN ISO 12571:20134 zugrunde gelegt werden. Das experimentelle Messverfahren der Sorptionswerte wird im Glasentfeuchter bei konstanter Temperatur und atmosphärischem Luftdruck durchgeführt. Die erzielte relative Luftfeuchtigkeit im Entfeuchter wird durch die Verwendung gesättigter Salzlösungen erreicht. Die Testproben werden der relevanten Umwelt ausgesetzt bis zur Gleichgewichtigkeit. Das wird erreicht, wenn in 24 Stunden Gewichtsunterschiede von weniger als 0.1% auftreten. Die Sorptionskurve ist das Ergebnis des getesteten Materials und beschreibt dessen Potenzial Luftfeuchtigkeit zu speichern. Andere Baustoffe können damit verglichen werden. Die Formel der Kurve kann bei weiteren mathematischen Simulationen verwendet werden. Ein wesentlicher Nachteil dieses Verfahrens ist, dass keine Aussagen getroffen werden können für echte Bauteile, die normalerweise aus mehreren Baustoffen und –schichten bestehen.

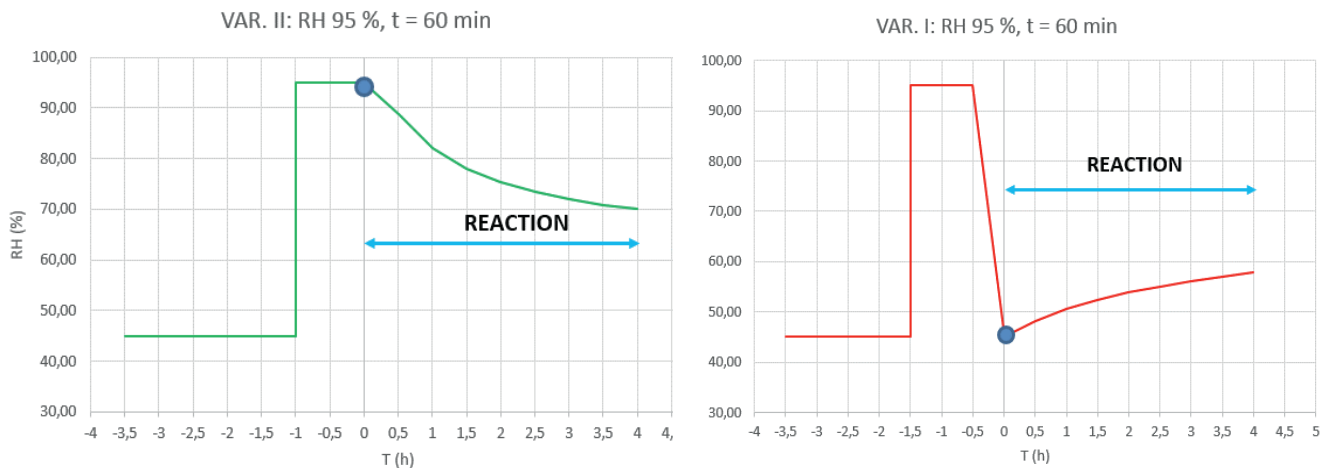


Abb. 1 Prüfverfahren für das dynamische Verhalten von Bauteilen unter dem Einfluss von RH Veränderungen: Adsorptionstest – links; Desorptionstest – rechts.

Probentest der Feuchtedämpfwerte und andere Testverfahren

Es gibt verschiedene Testmethoden, um den Einfluss von Baustoffen auf die relative Luftfeuchtigkeit im Innenraum festzustellen. Einige wurden von Time (1998), Padfield (1999), Hansen et al. (2000), usw. vorgeschlagen. Simon et al. (2002) zeigt, wie Holzbauweisen hohe Innenraum Luftfeuchtigkeit bis zu mehr als 35% reduzieren, oder bis zu 15% erhöhen können. Intensive Messungen der Feuchtigkeitspufferung von Baustoffen wurden von Mitamura et al. 2001 durchgeführt. Rode (2005) protokollierte im NORDTEST Projekt Testergebnisse für die Bestimmung von Pufferungswerten. Dabei wird ein dem Raumklima Ausgesetztsein in 8 + 16 Stunden Abständen bei hoher Luftfeuchtigkeit und 16 Stunden bei niedriger RH gemessen. Das entspricht in etwa dem Tagesablauf mit 8 Stunden Schlaf, Arbeitszeit, usw. Als niedrige Luftfeuchtigkeitswerte (RH) werden 33% angegeben und als hohe 75% angegeben. Jedoch werden auch weitere untere und obere RH Werte je nach eingesetzter, gesättigter Salzlösungen mit 33/54 % und 75/93 % benannt. Auch die Größe der Testproben wird vorgeschlagen mit einer Minimum Oberfläche von 0.01 m² bei einer Dicke von mindestens 10mm (Tiefe des Feuchteindringens bei den täglich schwankenden Feuchtigkeitswerten). Die Tests sollten mindestens dreimal durchgeführt werden mit verschiedenen Baustoffen.

Bauteiltest der Pufferungswerte

Ein interessanter Bauteiltest der Feuchtigkeitspufferung von Wänden mit einer Oberfläche von etwa 15.38 bis 20.24 m² wurde von Mortensen et al. vorgenommen (2005). Dabei wurden eine Gipskartonwand und eine Betonhohlblockwand getestet. Das Ausgesetztsein des Oberflächenmaterials bei verschiedenen hohen Feuchtigkeitswerten wurde dabei nachgeahmt. Um den Pufferungseffekt messen zu können, wurden die Wände kontrollierten Feuchtigkeitsvarianten ausgesetzt. Das Ergebnis bewies, dass die Pufferungskapazität von Baustoffen zur Reduzierung von Luftfeuchtigkeitsschwankungen im Innenraum genutzt werden kann.

Prüfung der dynamischen Sorption in ganzen Bauteilen

Um zuverlässige und gültige Aussagen über das Verhalten ganzer Bauteile bei Prüfungstests treffen zu können, müssen dafür passende Prüfverfahren entwickelt werden. Bei der Prüfung dynamischer Sorptionen müssen Bauteile und ihr Verhalten echten Situationen ausgesetzt werden. Dazu wird vorgeschlagen:

1. eine Innenraumatmosfera von 45% RH (leerer Raum),
2. eine Innenraumatmosfera mit zunehmenden RH Werten bis zu 95% für eine Zeitdauer von 60 Mi-

Tabelle 1 Gesättigte Salzlösungen

Gesättigte Salzlösungen	LiCl	KC ₂ H ₃ O ₂	K ₂ CO ₃	NH ₄ NO ₃	NaCl	KCl	KNO ₃	K ₂ SO ₄
RH [%]	11.3	24.0	43.2	62.0	75.5	85.5	95.0	97.6

Sample	Material source / producer	Mineralogical composition	Comments	Volume density	kg/m ³
Clay products					
Clay plaster	Picas		undercoat and finishing	1853	
Unburned hollow brick	Heluz			1626	
Clay board	Lemix			1356	
C_S10/W10 (Richter et al, 2014)	Claygar mixture used for rammed earth panels based on Hydromicas and Kaolinite with minor addition of Montmorillonite with 10% sand and 10% mixing water			2033	
Adobe	from a historical building from the end of 19 th century in Western Bohemia (typical)			1664	
Reference materials					
Ceramic hollow brick	Heluz			1259	
Concrete				2131	

Tabelle 2 Übersicht der Testproben

nuten (mit menschlichen Aktivitäten im Raum wie Duschen, Kochen, Arbeiten, Wäschetrocknen, usw.).

Danach wären folgende Schritte denkbar:

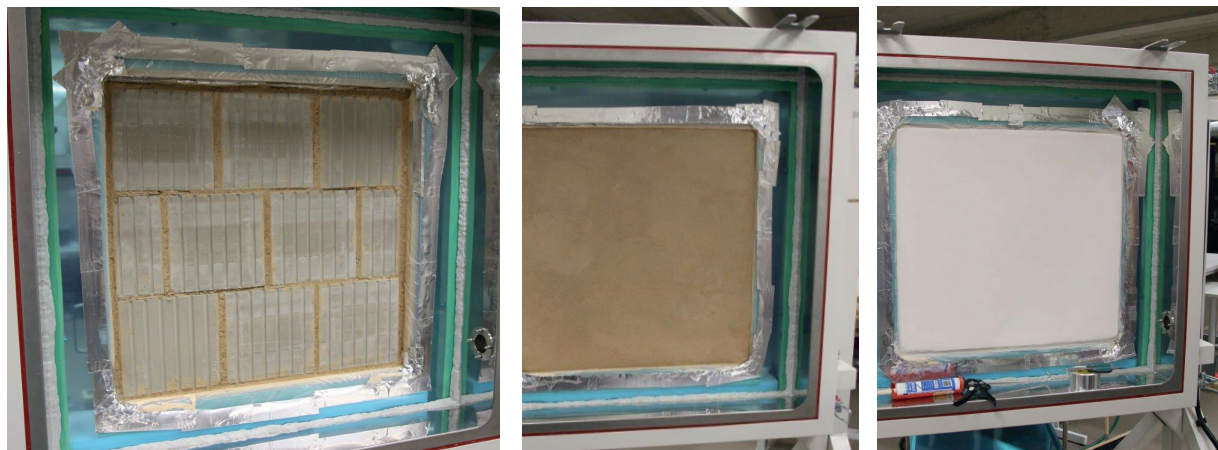
- 3a. nach der hohen RH Periode wird festgestellt, wie schnell die Luftfeuchtigkeit bis zu einem akzeptablen Wert abnimmt. Dann kann das Adsorptionspotenzial der Bauteile gemessen und festgestellt werden (Abb. 1 - links),
- 3b. der Innenraum wird für ca. 20 Minuten belüftet, um den Anfangswert von 45% RH zu erreichen. Danach wird die absorbierte Luftfeuchtigkeit in den Bauteilen und die Zunahme an RH gemessen und das Desorptionspotenzial festgestellt (Abb. 1 - rechts).

Ergebnisse

Sorption

Die Sorptionskurve wurde festgestellt mit Proben von 40 x40 x15 bis 25 mm Größe und einem Gewicht von 50 bis 60 Gramm. Alle Baustoffe wurden mit je drei luftgetrockneten Proben unter kontrollierten Bedingungen getestet (Temperatur 18 bis 22 °C, 40% RH) mit gleichem Gewicht. Höhere Temperaturen in einem Trockenraum können die Struktur der Materialien und ihre Sorptionseigenschaften verändern. Angestrebte RH Werte im Entfeuchter wurden mit Hilfe gesättigter Salzlösungen erreicht und sind als verschiedenen Punkten in der Adsorptionskurve dargestellt (Tabelle 1). Die in der Tabelle genannten RH-Werte sind ungefähr. Genaue Werte wurden mit dem Datalogger gemessen. Zum Gewichtsmessen

Abb. 3 Wandteilproben in der Klimakammer; links: unverputzte, ungebrannte Tonziegel; in der Mitte: ungebrannte Tonziegel verputzt mit Lehmputz; rechts: Klinkerhohlziegel mit Kalkputz)



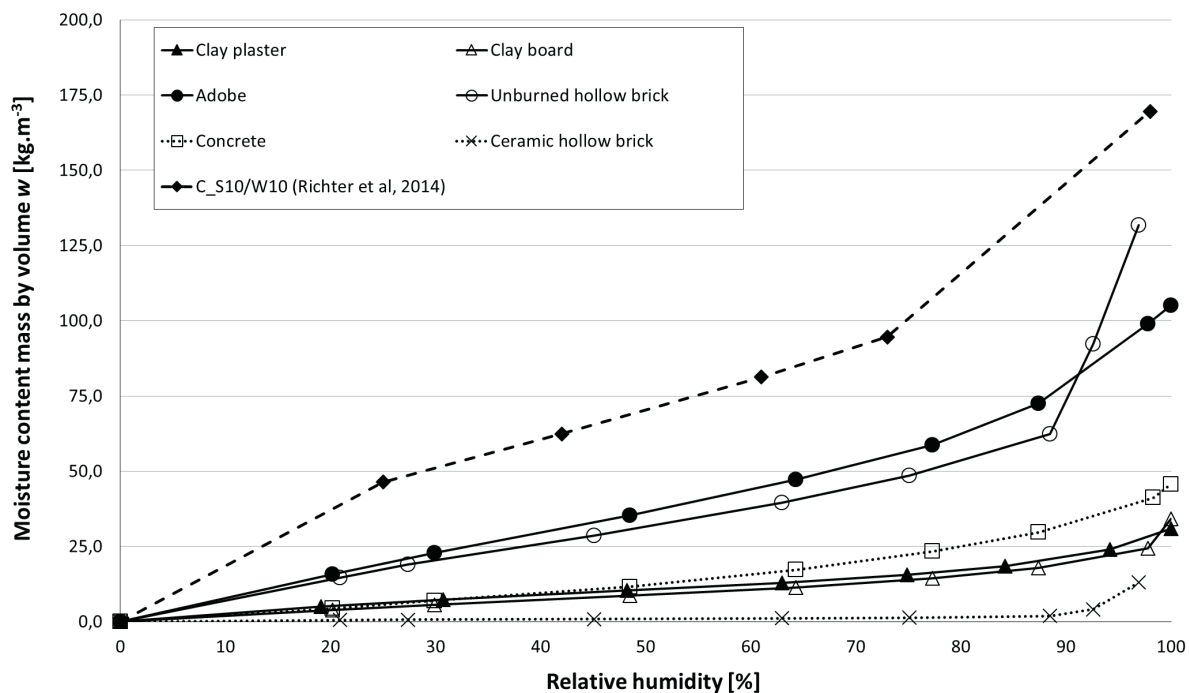


Abb. 2 Adsorptions Kurven: Vergleich verschiedener Lehmprodukte mit konventionellen Baustoffen

wurde eine digitale Laborwaage mit einer Präzision von ± 0.005 g verwendet.

Die Bestimmung der trockenen Massendichte wurde nach dem Europäischen Standard EN 772-13 (2001) durchgeführt. Am Ende der Prüfung wurden alle Baustoffe in der Trockenkammer bei 105 °C getrocknet bis zu einem konstanten Gewicht, um die Massendichte im trockenen Zustand bestimmen zu können. Die Maße der Proben wurden nach der Euro Norm EN 120856 mit einem digitalen, elektronischen Messschieber (Präzision von ± 0.005 mm) gemessen. Daraus wurde dann das Volumen der entsprechenden Probe errechnet. Die in Tabelle 2 aufgeführten Testproben für die Prüfung der dynamischen Sorption in Wänden wurden aus Produkten hergestellt, die auf den tschechischen Baumärkten angeboten werden: Ungebrannte Hohlblöcke „Heluz“, Lehmputze „PICAS“ und Klinker. Um die Unterschiede zwischen den Lehmprodukten zu zeigen, wurden auch historische Adobeziegel, Lehmplatten „LEMIX“ und „Claygar“ Mischungen für Stampflehmwände verwendet und mit konventionellen Baustoffen wie Beton der Stärkeklasse C30/37 sowie gebrannten Holzriegeln „Heluz“ verglichen.

Die Unterschiede des Sorptionspotenzials bei verschiedenen Baustoffen werden in Abb. 2 gezeigt. Die Sorptionsisothermen von Adobe und ungebrannten Hohlblocksteinen sind fast gleich in der Kurve und vergleichbar mit dem halben Potenzial der C_S10/

W10 Mischung für Stampflehmwände. Die Sorptionsisothermen für Lehmputze und Lehmplatten sind wiederum gleich, aber die Sorption ist sehr viel niedriger, als die der anderen Baustoffe. Andererseits war der Vergleich mit konventionellen Baustoffen überraschend und zeigte, dass das Sorptionspotenzial bei manchen Lehmstoffen überbewertet wird. Das niedrige Potenzial bei Lehmputzen und Lehmplatten wird durch erhöhte Sandanteile zur Verringerung der Schrumpfung hervorgerufen. Das Sorptionspotenzial ist mit dem von Betonmischungen gleichwertig! Die geringe Fähigkeit von Keramikstoffen Feuchtigkeit zu absorbieren steht auch fest.

Prüfung dynamischer Ad- und Desorption

Die dynamischen Sorptionseigenschaften ganzer Bauteile wurden mit Proben der Größe 820 x 750 mm in der Klimakammer WEISS WK3-1000/0-S mit einem Volumen von 1.3 Kubikmeter getestet. Die Proben wurden aus technischen Gründen mit hölzernen Rahmen umgeben. Die Rückseiten und Seiten der Proben wurden mit 12 mm dickem OSB und einer PE Folie Gutta bedeckt, um zu vermeiden, dass die Feuchtigkeit an den Seiten austritt. Folgende Proben wurden getestet:

- Unverputzte, ungebrannte Tonhohlblocksteine (Heluz Nature Energy) 12/25, 120 Millimeter dick,
- die gleichen Tonziegel mit einem 22 Millimeter dicken Verputz mit PICASS ECONOM,
- Klinkerhohlziegel Heluz 8, 80 mm dick mit einem 12 Millimeter dicken Kalkputz HASIT 160.

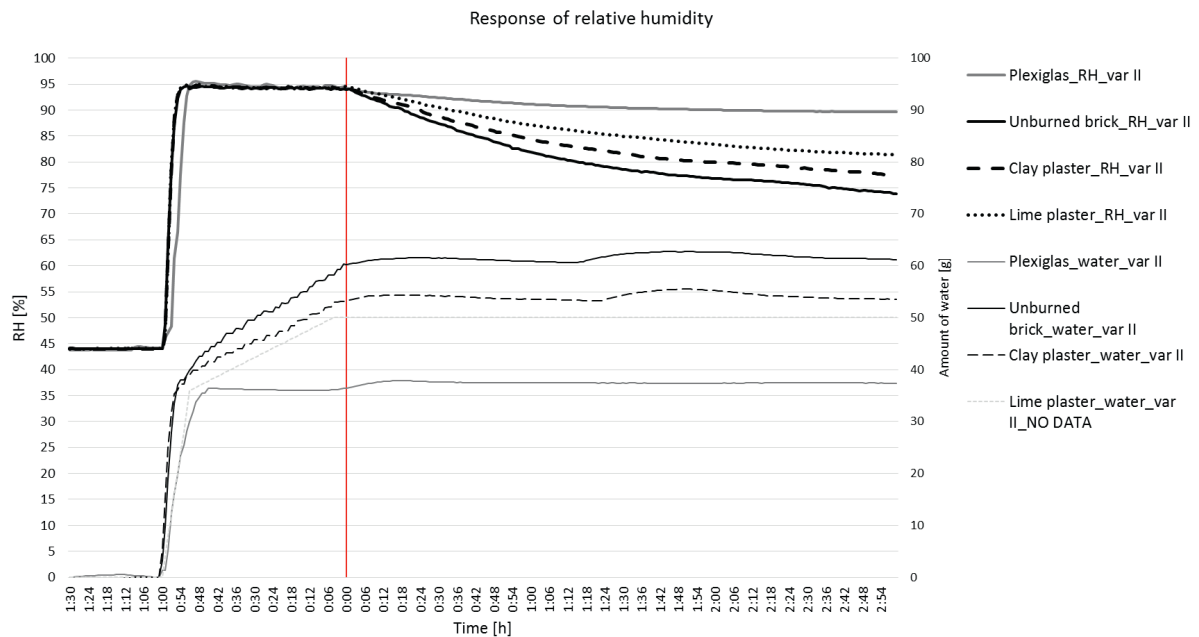


Abb. 4 Verhalten der Testwände während des dynamischen Sorptionstests

Nach dem Herstellen der Proben wurden diese für 2½ Monate in der Klimakammer einer $50 \pm 10\%$ RH und Temperatur von $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ausgesetzt. Die relative Luftfeuchtigkeit wurde laufend gemessen und bei Bedarf justiert. Das wird in Abb. 4 und 5 rechts gezeigt.

Dynamischer Adsorptionstest

Hierbei wird der Zustand der Testproben nach dem Ausgesetztsein der Wandteilproben bei hoher RH beschrieben. Der Test wurde bei konstanter Temperatur von $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ in der Klimakammer durchgeführt und bestand aus folgenden Schritten:

1. Konditionieren der Testwände für 48 Stunden bei $45 \pm 1\%$ RH,
2. 60 Minuten bei hoher relativer Luftfeuchtigkeit von $95 \pm 1\%$,
3. Überwachung der RH Änderungen in der Klimakammer über einen Zeitraum von 16 Stunden.

Um die Luft- und Feuchtigkeitsdichtigkeit in der Klimakammer zu prüfen, wurde eine Kontrollprobe aus Plexiglas verwendet. Schon eine geringe Abnahme der RH Werte um 10% wird angezeigt und kann bei der endgültigen Wertung der drei Wandproben berücksichtigt werden. Wie erwartet, hat die Wandprobe aus ungebrannten und unverputzten Tonziegeln das höchste Sorptionspotenzial und die Klinkersteinprobe, die mit Kalkputz versehen ist die niedrigste. Die Menge an Wasser, die benötigt wird, um die Luft-

feuchtigkeit auf 95 % RH zu halten korrespondiert mit der Sorptionsfähigkeit des verwendeten Baustoffs.

Dynamischer Desorptionstest

Dieser Teil der Testreihe wurde durchgeführt, nachdem die Periode mit hoher RH zu Ende war und die relative Luftfeuchtigkeit die anfänglichen RH Werte erreicht hat (durch Ventilation oder Lüften, usw.). Dabei wird die Fähigkeit der Proben beobachtet RH in kurzer Zeit aus der Umgebung aufzunehmen. Der Test wurde bei einer konstanten Temperatur von $23 \pm 0.5^\circ\text{C}$ in der Klimakammer durchgeführt und bestand aus folgenden Schritten:

1. Konditionieren der Testproben bei $45 \pm 1\%$ RH über einen Zeitraum von 48 Stunden;
2. 60 Minuten bei einer hohen Luftfeuchtigkeit von $95 \pm 1\%$;
3. Ventilieren der Umgebung zur anfänglichen RH von $45 \pm 3\%$ für 20 Minuten;
4. Überwachen der Veränderungen der RH Werte in der Klimakammer für 16 Stunden.

Wieder wurde eine Kontrollprobe aus Plexiglas verwendet, um die Luft- und Feuchtedichtigkeit in der Klimakammer zu demonstrieren. Wie erwartet, hat die Wandprobe aus ungebrannten und unverputzten Ziegeln das höchste Potenzial die RH Werte zu regulieren. Das betrifft gleichfalls die Wandprobe aus ungebrannten, aber mit Lehmputz verputzten ungebrannten Ziegeln (Abb. 5 rechts).

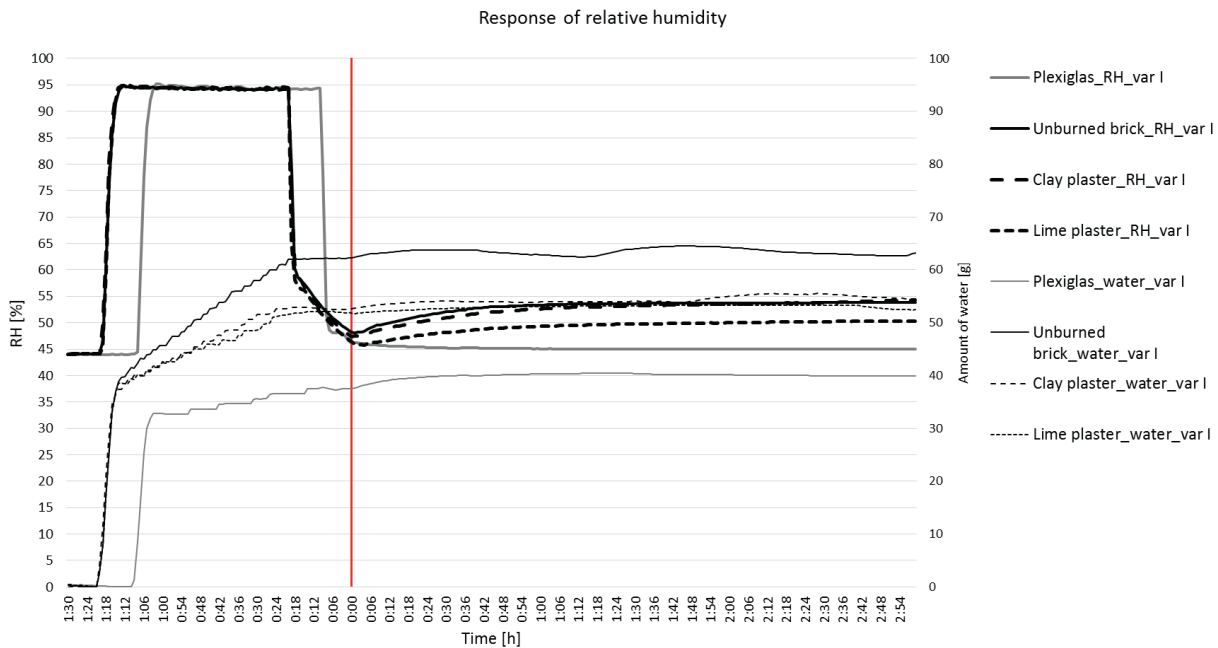


Abb. 5 Verhalten der Testwände während des dynamischen Desorptionstest

Schlussfolgerung

Das in diesem Bericht beschriebene entwickelte Testverfahren wurde als gut eingestuft für die gewünschten Untersuchungen. Die Ergebnisse sind nützlich für weitere Forschungen auf diesem Gebiet und haben bewiesen, dass umweltbezogene Baustoffe dazu beitragen können das Innenraum Mikroklima zu verbessern und dabei Energie einzusparen.

Danksagung

Die Arbeit wurde gefördert vom Ministerium für Bildung, Jugend und Sport im Rahmen des nationalen Nachhaltigkeitsprogramms I (NPU I), Projekt Nr. LO1605, University Centre for Energy Efficient Buildings – Sustainability Phase.

Referenzen

- [1] Jokl, M (1991) Teorie vnitřního prostředí budov (Indoor Environmental Quality). 2. ed., Prague: CTU in Prague, (in Czech).
- [2] Minke, G. (2006) Das Neue Lehmhandbuch: Baustoffe, Konstruktionen, Lehmarchitektur, Stufen bei Freiburg, Ökobuch.
- [3] Ruzicka, J. & Havlik, F. (2012) Advanced Prefabricated Rammed Earth Elements for Vertical and Horizontal Structures. In Proceedings of LEHM 2012–Tagungsbeiträge der 6. Internationalen Fachtagung für Lehm. Weimar. Dachverband Lehm e.V., pp. 134-145.
- [4] EN ISO 12571 (2013) Hygrothermal performance of building materials and products. Determination of hygroscopic sorption properties.
- [5] EN 772-13 (2001) Methods of test for masonry units– Part 13: Determination of net and gross dry density of masonry units (except for natural stone).
- [6] Richter, J., Stanek, K., Ruzicka, J., Havlik, F. (2014). Sorpční vlastnosti dusaných hliněných směsí (Sorption properties of rammed-earth mixtures), In Civil Engineering Journal, in press (in Czech).
- [7] Richter, J., Stanek, K., Ruzicka, J., Havlik, F., (2014) Stabilization of indoor humidity by rammed earth. Advanced Material Research, Vol. 1000 Ecology and New Building Materials and Products, pp. 342-345.
- [8] International Energy Agency (IEA), Energy Conservation in Buildings & Community Systems Programme (ECBCS): Annex 41 – Common Exercise 3, 2003 – 2007. Available online: http://www.kuleuven.be/bwf/projects/annex41/protected/Common_Exercises/Documentation_of_Common_Exercises.htm.
- [9] Rode, C. (2005) Moisture Buffering of Building Materials. Technical report. The Technical University of Denmark (2005). Available online: http://orbit.dtu.dk/fedora/objects/orbit:75984/datastreams/file_2415500/content.
- [10] Mortensen, L. H., Rode, C., Peuhkuri, R. H. (2005) Full scale test of moisture buffer capacity of wall materials, in G. Johannesson (Ed.), Proceedings of the 7th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries (Vol. 2, pp. 662-669), Reykjavik, Iceland, The Icelandic Building research Institute IBRI.