

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle
für Prüfung, Überwachung und
Zertifizierung
Zulassung neuer Baustoffe, Bauteile
und Bauarten
Forschung, Entwicklung,
Demonstration und Beratung auf
den Gebieten der Bauphysik

Institutsleitung
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer

IBP-Bericht HTB-19/2010

Bewertung der hygrothermischen Verhältnisse in verschiedenen Wandkonstruktionen nach der Sanierung mit einem diffusionsoffenen Wandheizungssystem

Durchgeführt im Auftrag von
Energiewerkstatt Rhein-Neckar GmbH

Der Bericht umfasst
6 Seiten Text
3 Tabellen
14 Bilder

Auszugsweise Veröffentlichung nur mit
schriftlicher Genehmigung des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik gestattet.

Dipl.-Ing. Christian Bludau
Dipl.-Ing. Daniel Zirkelbach

Holzkirchen, 17. November 2010

Stv. Abteilungsleiter



Dipl.-Ing. Daniel Zirkelbach

Bearbeiter



Dipl.-Ing. Christian Bludau

1 Problemstellung

Im Rahmen dieser Untersuchungen soll geklärt werden, ob das System mit einer Kombination aus Innendämmung und Wandheizung zu feuchtetechnischen Problemen führen kann. Hierbei soll entsprechend den Angaben des Auftraggebers die Wandheizung in den kalten Monaten durchgängig laufen, um die Funktion des Systems zu gewährleisten. Ein ausreichender Schlagregenschutz von außen ist Voraussetzung für die Anwendbarkeit des Systems.

2 Durchgeführte Untersuchungen

Die Untersuchungen erfolgen rechnerisch mit dem am Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), Holzkirchen, entwickelten und vielfach verifizierten Verfahren zur Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen WUFI® [1]. Das Programm entspricht u.a. vollständig den Anforderungen aus [2] und [3] für hygrothermische Simulationen. Die Simulation ermöglicht die Überprüfung des Verhaltens von Bauteilen hinsichtlich Ihres Wärme- und Feuchtehaushalts in Abhängigkeit von den Klimabedingungen der Außenluft und des Innenraums und berücksichtigt Diffusionstransport, Flüssigwasserleitung und Feuchtespeicherung in den einzelnen Materialien.

Die untersuchten Wände sind wie folgt von außen nach innen aufgebaut:

- 1,5 cm hydraulischer Kalkputz
- Bestandsmauerwerk
- 1,0 cm Kalkputz
- 4,0 cm Holzweichfaserplatte (WLG 040)
- 2,0 cm Schamotte mit integrierter Wandheizung
- 1,0 cm Kalkputz

Als Bestandsmauerwerk werden die folgenden Materialien betrachtet:

- 50 cm Bruchsteinmauerwerk
- 24 cm Hohlblockziegel
- 24 cm Porenbeton
- 17,5 cm Kalksandstein
- 12 cm Fachwerkausfachung aus Vollziegelmauerwerk

Die Materialkennwerte des Bestandsmauerwerk sowie der übrigen verwendeten Materialien sind in Tabelle 1 angegeben. Die Materialkennwerte für die Konstruktionen werden aus der WUFI®-Materialdatenbank entnommen und teilweise entsprechend den Produktinformationen der Hersteller angepasst. Eine Darstellung des für die Berechnungen in WUFI® modellierten Aufbaus liefert Bild 1.

Als Außenklima werden gemessene stündliche Klimadaten des Standorts Holzkirchen verwendet. Durch seine alpennahe Lage in ca. 680 m ü. NN. gilt dieser als kritisch repräsentativ für die meisten deutschen Klimastandorte. Die Berechnungen werden ohne Berücksichtigung von Regen durchgeführt, da ein funktionierender Schlagregenschutz vom Auftraggeber als Abwendungs-Voraussetzung

zung für das System angegeben wird. Im Innenraum werden Wohnraumverhältnisse mit üblichen Feuchtverhältnissen (normale Belegung nach EN 15026 [3]) angesetzt. Die Verläufe der Temperatur und relativen Feuchte sind für das Außenklima in Bild 2 und für die Innenraumbedingungen in Bild 3 dargestellt.

Die Wandheizung wird bei Temperaturen unter 15 °C als Wärmequelle berücksichtigt, wobei die Oberflächentemperatur der Wand im Bereich von 30 ± 2 °C liegen soll. Bild 4 zeigt den Temperaturverlauf exemplarisch für den Wandaufbau mit einer Bestandswand aus Kalksandstein. Die Unter- bzw. Überschreitungen der angestrebten Innenoberflächentemperatur treten nur in den Sommermonaten in Zeiten auf, an denen die Wandheizung nicht in Betrieb ist. Die Abbildung zeigt, dass die Oberflächentemperatur jeweils etwa 1,5 – 2 °C unter der Temperatur in der Ebene der Wandheizung liegt.

Die Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) der untersuchten Konstruktionen ist in Tabelle 2 dargestellt. Die untersuchte Innendämmung reicht dabei in den meisten hier untersuchten Fällen nicht aus, um die normalen Anforderungen der aktuellen EnEV einzuhalten.

Eine Zusammenstellung der für die Berechnung verwendeten Randbedingungen ist in Tabelle 3 dargestellt. Rechnungsbeginn ist Januar, Berechnungszeitraum sind drei Jahre.

3 Ergebnisse

Zur Beurteilung des Einflusses der Feuchte wird der Wassergehalt im äußeren Zentimeter der Holzweichfaserdämmung betrachtet. Da diese Position die kälteste Stelle im diffusionsoffenen Dämmaufbau darstellt, treten hier im Winter die höchsten Feuchtegehalte auf. Dabei sollte der Wassergehalt in der Dämmung die kritische Grenze von 20 M.-% nicht überschreiten, da ansonsten Wachstum von holzerstörenden Pilzen möglich ist [4]. Zur Weiteren Überprüfung wird die Monitorposition an der Grenze zwischen Holzweichfaserdämmung und Bestandswand betrachtet. Hier sollten keine höheren relativen Feuchten als 95 % auftreten, um Tauwasserbedingungen, Schimmelpilzwachstum und ggf. Frostschäden ausschließen zu können [5, 6, 7].

Bei dem Wandaufbau mit **Bruchsteinmauerwerk** wird als kritischer Fall der Regelquerschnitt durch ein einen relativ diffusionshemmenden Stein betrachtet (Materialdaten siehe Tabelle 1). Hier kann von der aus der Raumluft eindringenden Feuchte nur wenig nach außen weiterwandern und verdunsten. Der Verlauf des Wassergehalts im äußeren Zentimeter der Holzweichfaserplatte ist in Bild 5 dargestellt. Der Wassergehalt schwankt hier im Jahresverlauf zwischen ca. 6 und 9 M.-%. In Bild 6 ist der Verlauf der Temperatur und der relativen Feuchte des dritten berechneten Jahres dargestellt. Es zeigt sich, dass sich die Werte der relativen Feuchte zwischen 60 und 80 % bewegen. Bei diesen Bedingungen können weder holzerstörende Vorgänge noch Schimmelpilzwachstum auftreten. Auch Frostbedingungen treten nicht auf, da die minimale Temperatur an der Grenze zwischen Dämmung und Wand 2 °C beträgt. Dass trotz der niedrigen Außentemperaturen von bis zu -20 °C die Temperatur an dieser Position nicht unter 2 °C sinkt, ist auch auf die mit 50 cm relativ große Dicke der

Wand zurückzuführen – bei kleineren Wandstärken können die hygrothermischen Verhältnisse entsprechend ungünstiger werden.

Der Verlauf des Wassergehalts in der Dämmung für den Wandaufbau mit einer Bestandswand aus **Betonhohlblocksteinen** ist in Bild 7 dargestellt. Der Wassergehalt pendelt im Jahresverlauf zwischen 6 und 7 M.-%. Der Verlauf der Feuchte ist ähnlich dem des Bruchsteinmauerwerkes, obwohl der Diffusionswiderstand des Wandbildners mit 180 noch einmal deutlich höher liegt. Der U-Wert der beiden Bauteile unterscheidet sich dagegen mit 0,64 und 0,68 W/m²K kaum. Bild 8 zeigt die Temperatur und relative Feuchte an der Grenzfläche zwischen Dämmung und Putz. Die minimale Temperatur liegt auch hier über 2 °C; es tritt keine Eisbildung auf. Die Feuchte bewegt sich zwischen 56 und 72 % r.F. Aus hygrothermischer Sicht sind die Verhältnisse unproblematisch.

Die Verläufe des Bestandsmauerwerks aus **Porenbeton** sind in Bild 9 und Bild 10 dargestellt. Der Wassergehalt in der Innendämmung ist hier noch mal deutlich geringer als in den vorhergehenden Fällen, er bewegt sich im Jahresverlauf zwischen ca. 2,8 und 6,3 M.%. Die Temperatur bleibt fast das gesamte Jahr über 20°C, die relative Feuchte pendelt zwischen 30 und 56 %. Der Verlauf der relativen Feuchte ist hier nicht wie in den anderen Fällen gegenläufig zur Temperatur, sie verlaufen parallel. Dies ist auf die gute Dämmwirkung der Bestandswand aus Porenbeton zurückzuführen, die dazu führt, dass das neue Innendämmsystem im Wesentlichen auf der warmen Seite der Konstruktion liegt. Der Temperaturgradient in der Holzfaserdämmung ist nur gering und die Feuchtegehalte verlaufen analog zur relativen Luftfeuchte der Raumluft. An dem niedrigen U-Wert des gesamten Wandaufbaus (siehe Tabelle 2) hat die Bestandswand einen hohen Anteil.

Bild 11 zeigt den Wassergehalt im äußeren Zentimeter der Dämmung für den Wandaufbau mit **Kalksandstein**. Der Wassergehalt pendelt im Jahresverlauf zwischen 7,5 und 10,5 M.-%. Der Temperaturverlauf in Bild 12 zeigt, dass hier bedingt durch die geringe Wandstärke in Kombination mit einer hohen Wärmeleitfähigkeit des Kalksandsteins im Winter zwischen Innendämmung und Bestandswand Frostbedingungen auftreten. Die minimalen Temperaturen liegen bei -4,7 °C. Die relative Feuchte steigt parallel dazu auf Werte bis zu auf 89 % und bleibt damit noch im hygrothermisch unproblematischen Bereich.

Für das Anbringen des Dämmsystems auf einer Fachwerkkonstruktion wird hier exemplarisch eine Variante mit einer **Vollziegelausfachung** betrachtet, die allerdings nicht repräsentativ für andere Ausfachungstypen ist. Mit einem U-Wert von 0,74 liegt der Wärmeschutz des Gesamtaufbaus auf praktisch gleichem Niveau wie bei der Kalksandsteinwand, diffusionstechnisch ist das Ziegelmauerwerk aber durchlässiger und weist vergleichbare Werte wie die Porenbetonwand auf. Bild 13 zeigt wiederum den Verlauf des Wassergehaltes im äußeren Teil der Holzweichfaserdämmung. Der Wassergehalt schwankt im Jahresverlauf zwischen ca. 7 und 9 M.-% und bleibt deutlich unterhalb der kritischen 20 M.-%. Bild 14 zeigt die Temperatur und die relative Feuchte im Grenzbereich Dämmung – Kalkputz. Im Winter werden minimale Temperaturen von -4,7 °C erreicht. Die relative Feuchte bewegt sich zwischen 60 und 80 %. Kritische Verhältnisse werden nicht erreicht. Da beim Fachwerk dem Feuchteeintrag aus Niederschlag insbesondere im Bereich der Fugen zwischen

Holz- und Ausfachung eine große Bedeutung zukommt und eine zusätzliche Dämmung in der Regel das Trocknungspotential des Bauteils weiter reduziert, ist hier auf eine besonders sorgfältige Planung und Ausführung der Innendämmung zu achten, bei der die genaue Regenbelastung und die unterschiedlichen Ausfachungsmaterialien berücksichtigt werden müssen.

4 Zusammenfassung

Die Untersuchungen der verschiedenen Bestandswände mit Innendämmung und einer in Schamottsteinen verlegten Wandheizung haben gezeigt, dass dieses System unter Voraussetzung eines permanenten Betriebs im Winter und eines ausreichenden Schlagregenschutzes mit den hier untersuchten Bestandswänden ein hygrothermisch unproblematisches Verhalten aufweist. Auch bei dünnen Wänden, die unter der Innendämmung relativ kalt werden, ist im Winter durch die Wandheizung ausreichend Trocknungspotential vorhanden.

Wesentlichen Beitrag zu diesem Ergebnis leistet der direkte Eintrag von Wärme über die Wandheizung. Wenn diese nicht in Betrieb ist, steigt das Feuchteniveau sowohl aufgrund des Feuchteintrags aus dem Innenraum als auch aufgrund einer schlechteren Trocknung von Sorptions- oder Niederschlagsfeuchte nach außen. Daher sollte der Betrieb in allen Räumen weitgehend ohne Nacht- oder Abwesenheitsabsenkung gewährleistet sein.

Bei einer Anwendung auf Fachwerken muss zusätzlich sichergestellt werden, dass in die Fuge zwischen Holz und Gefach kein Regenwasser eindringen kann. Dies ist in der Regel nur durch einen konstruktiven Schlagregenschutz (z.B. Dachüberstand, hinterlüftete Fassade) zu bewerkstelligen. Eine situationsspezifische Beurteilung der Regenbelastung und der Einfluss auf die jeweiligen Ausfachungsmaterialien sind hier zu empfehlen.

5 Literatur

- [1] Künzel, H.M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation Universität Stuttgart 1994.
- [2] WTA-Merkblatt 6-2-01/ D: Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse. Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V., WTA Publications, Mai 2002.
- [3] DIN EN 15026, Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation; Deutsche Fassung EN 15026:2007, Beuth Verlag, Berlin 2007
- [4] DIN 68800, Holzschutz - Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau. Entwurf. Beuth Verlag, Berlin 2009

- [5] WTA-Merkblatt E 6-4: Innendämmung nach WTA I – Planungsleitfaden. Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V., WTA Publications, September 2009.
- [6] Borsch-Laaks, R., Krus, M.: Tauwasserschutz zweidimensional, Teil 2: Welche Dampfbremse beim Deckenanschluss? Holzbau quadriga, Heft 01/2006, Verlag Kastner, 2006
- [7] Müller, J. (Hrsg.): Holzschutz im Hochbau. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2005

6 Tabellen und Bilder

Tabelle 1: Materialeigenschaften

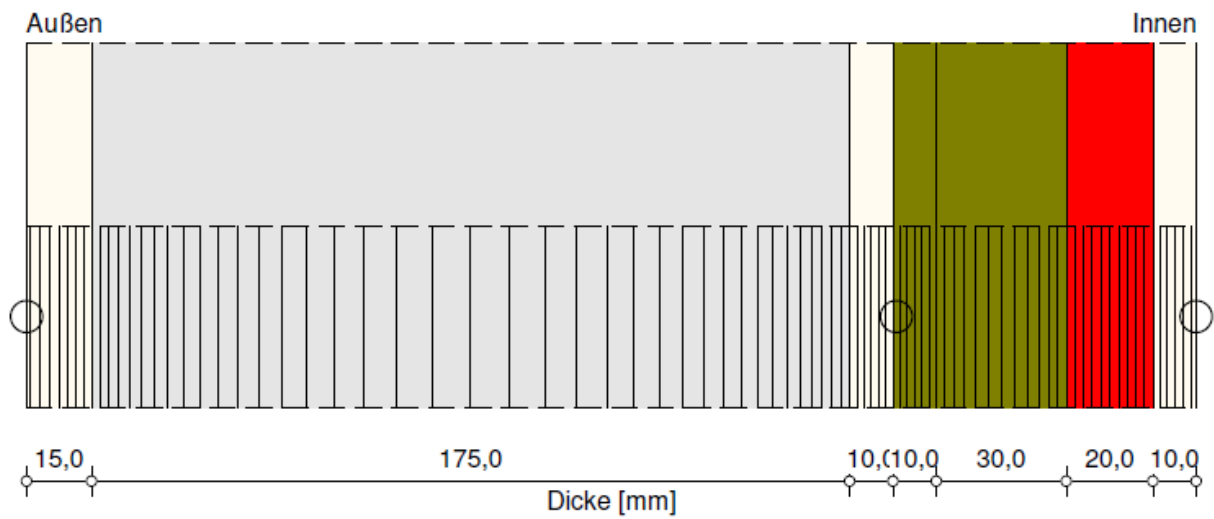
	Rohdichte [kg/m ³]	Porosität [m ³ /m ³]	Wärmekap. [J/kgK]	λ-Wert [W/mK]	μ-Wert [-]
Bruchstein	2453	0,095	702	1,66	54
Beton Hohlblock	1105	0,4	850	0,5	180
Porenbeton	600	0,72	850	0,14	8,3
Kalksandstein	1900	0,29	850	1,0	28
Vollziegel-Aus- fachung	1900	0,24	850	0,6	10
Kalkputz	1600	0,3	850	0,7	7
Holzfas- dämmplatte	160	0,98	2100	0,04	5
Schamotte	2050	0,2	1000	1,0	10

Tabelle 2: U-Werte der untersuchten Aufbauten mit dämmenden Wandheizsystem

Material Bestandswand (Stärke der Bestandswand)	U-Wert [W/m ² K]
Bruchsteinmauerwerk (50 cm)	0,68
Hohlblock (24 cm)	0,64
Porenbeton (24 cm)	0,36
Kalksandstein (17,5 cm)	0,75
Vollziegelausfachung (12 cm)	0,74

Tabelle 3: Randbedingungen für die Simulation.

Außenoberfläche	
Außenklima	Holzkirchen FRY 05/06
Übergangskoeffizient außen	19 W/m²K
s _d -Wert außen	-
Kurzwellige Strahlungsabsorption	0,4
Langwellige Strahlungsemission	0,9
Regen	-
Orientierung	Nord
Neigung	90°
Innenoberfläche	
Innenklima	nach EN 15026, normale Feuchtelast
Übergangskoeffizient innen	8 W/m²K
s _d -Wert innen	-
Quelle	
Wärmequelle	Schamotte (gesamtes Material)
	q(T _a < 0) = 110 W/m² q(0 ≤ T _a ≤ 15) = 90 W/m²
Sonstiges	
Anfangsfeuchte im Bauteil	Anfangsfeuchte bei 80% r.F.
Rechenzeitraum	3 Jahre
Rechnungsbeginn	Januar



○ - Monitorpositionen

Materialien :



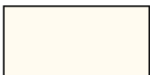



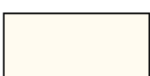
-  - *hydraulischer Kalkputz
-  - *Bestandswand
-  - *Kalkputz
-  - *Holzfaserdämmplatte (WLG 040)
-  - *Holzfaserdämmplatte (WLG 040)
-  - *Schamotte
-  - *Kalkputz

Bild 1: Aufbau der zum Innenraum gedämmten Wand für die Simulation mit WUFI®.

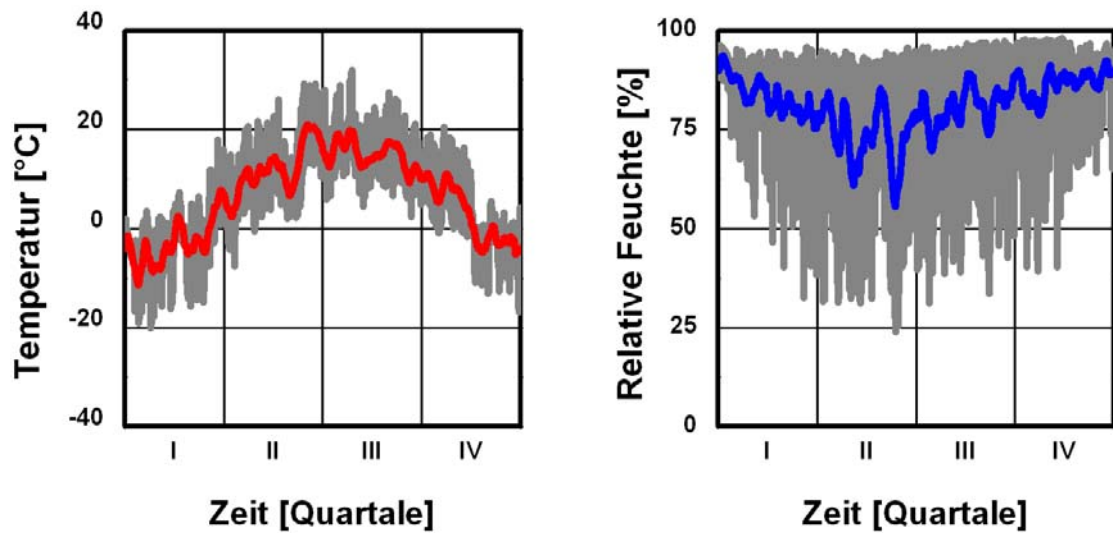


Bild 2: Außenklima des Standorts Holzkirchen. Die zur Simulation verwendeten Stundenwerte sind grau dargestellt, das gleitende Monatsmittel in Farbe.

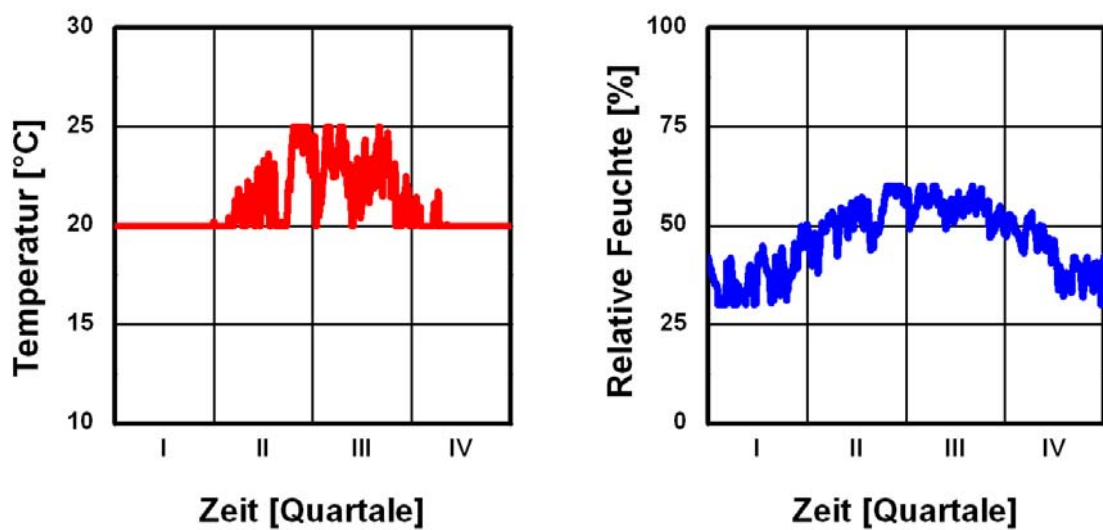


Bild 3: Innenraumklima für normale Wohnraumbedingungen nach EN 15026 [3].

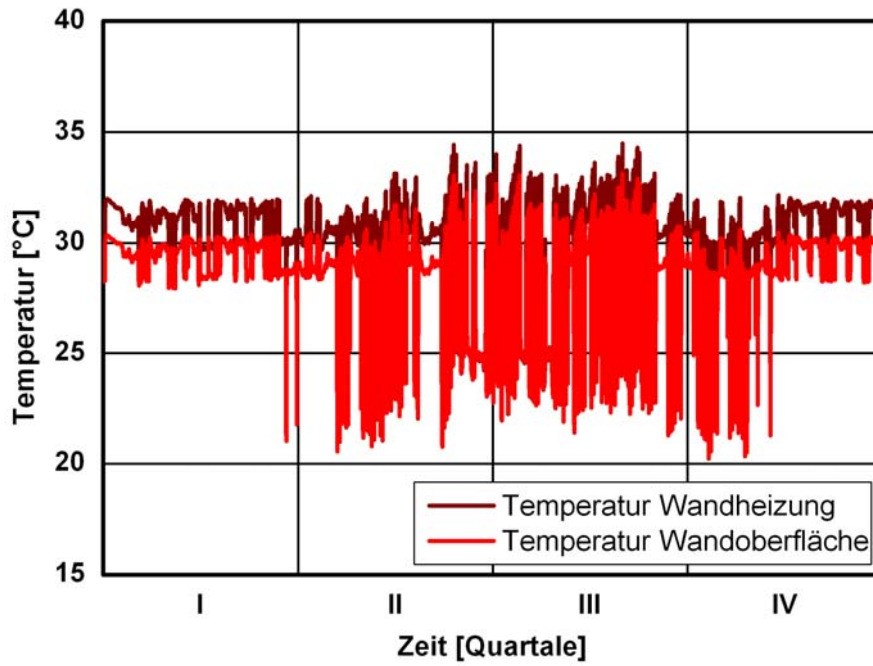


Bild 4: Jahresverlauf der Temperatur an der Wandinnenoberfläche und der Temperatur der Wandheizung.

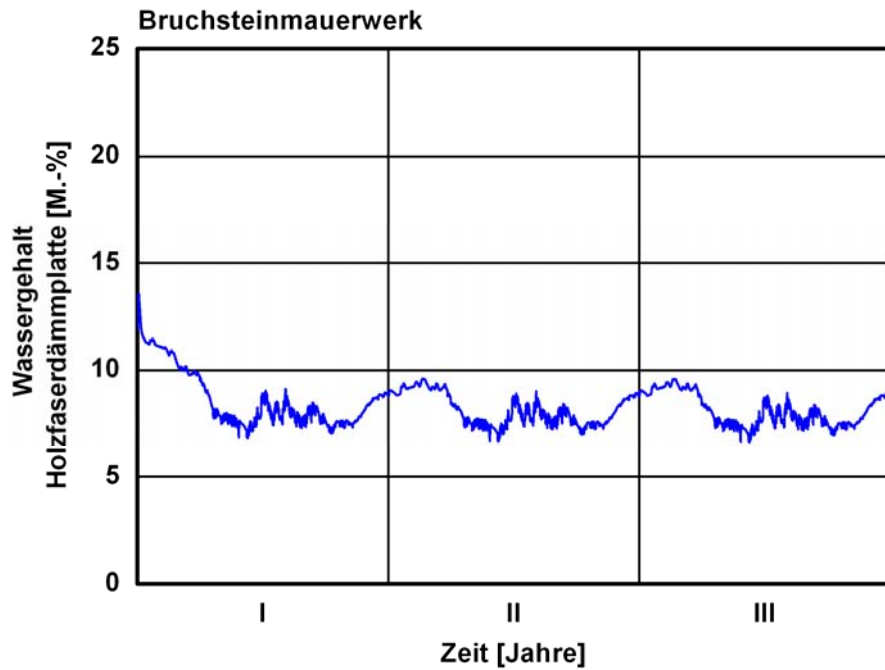


Bild 5: Bruchsteinmauerwerk: Verlauf des Wassergehalts im äußeren (kalten) Zentimeter der Holzweichfaserplatte.

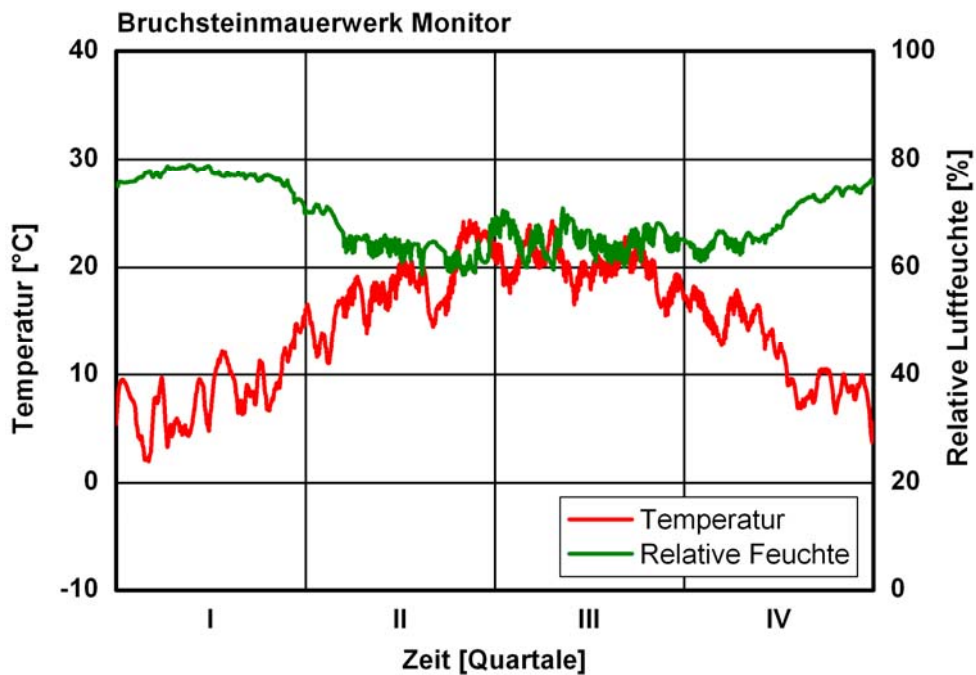


Bild 6: Bruchsteinmauerwerk: Verlauf der Temperatur und relativen Feuchte in der Grenzschicht zwischen Kalkputz und Holzweichfaserplatte.

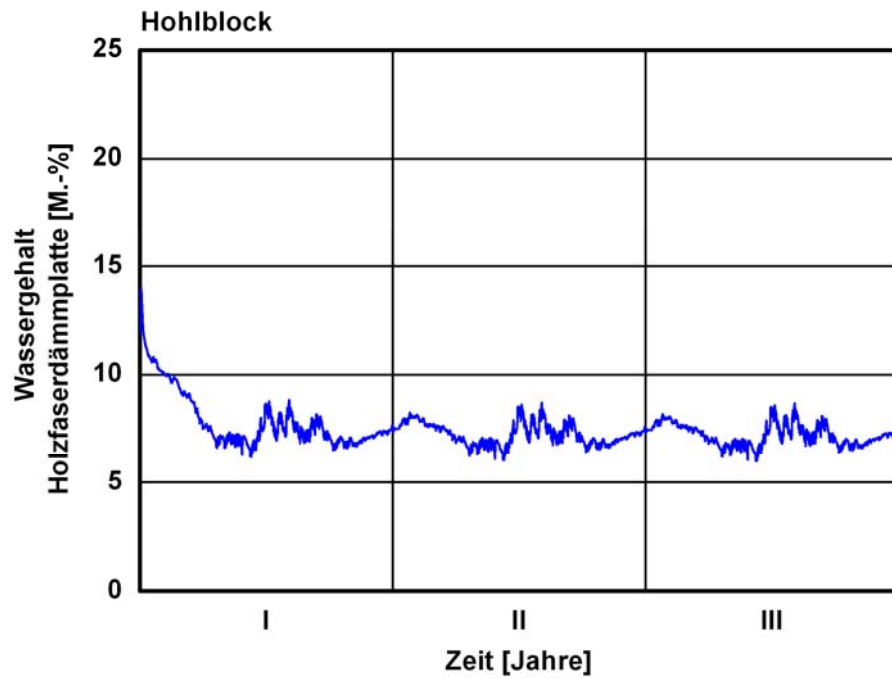


Bild 7: Hohlblock: Verlauf des Wassergehalts im äußeren (kalten) Zentimeter der Holzweichfaserplatte.

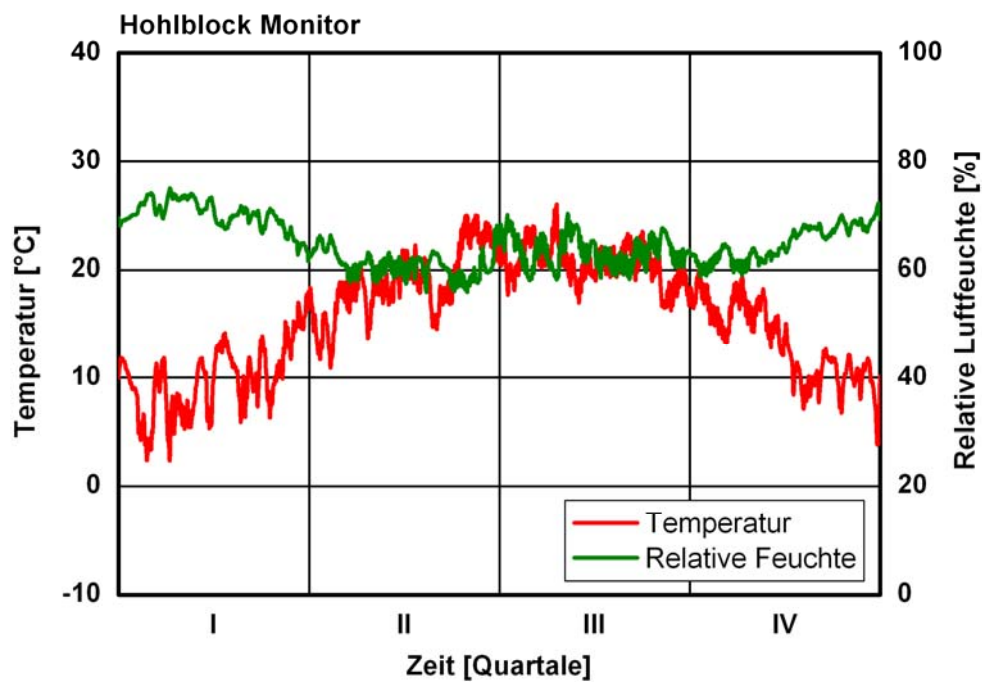


Bild 8: Hohlblock: Verlauf der Temperatur und relativen Feuchte in der Grenzschicht zwischen Kalkputz und Holzweichfaserplatte.

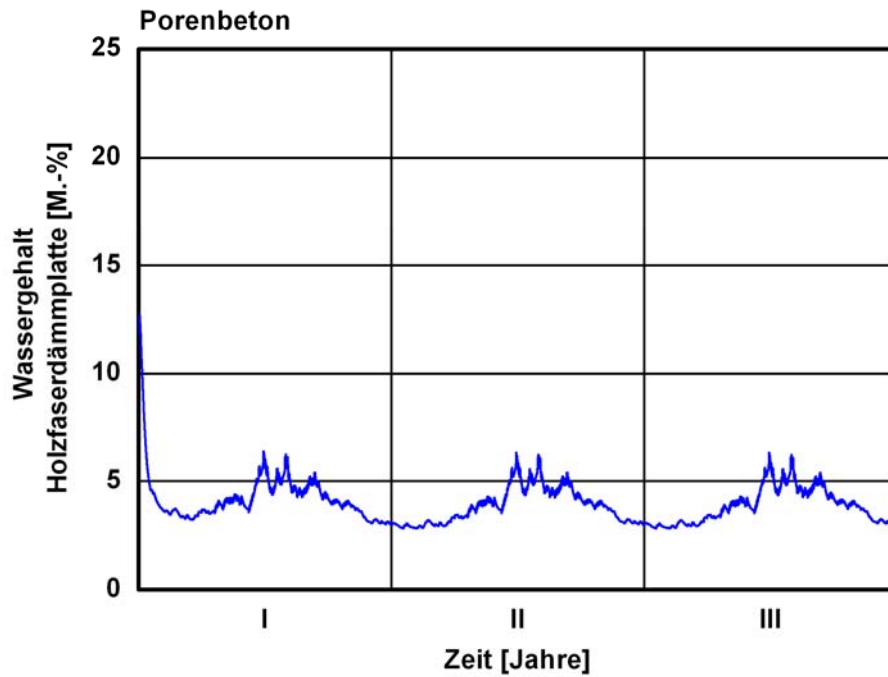


Bild 9: Porenbeton: Verlauf des Wassergehalts im äußeren (kalten) Zentimeter der Holzweichfaserplatte.

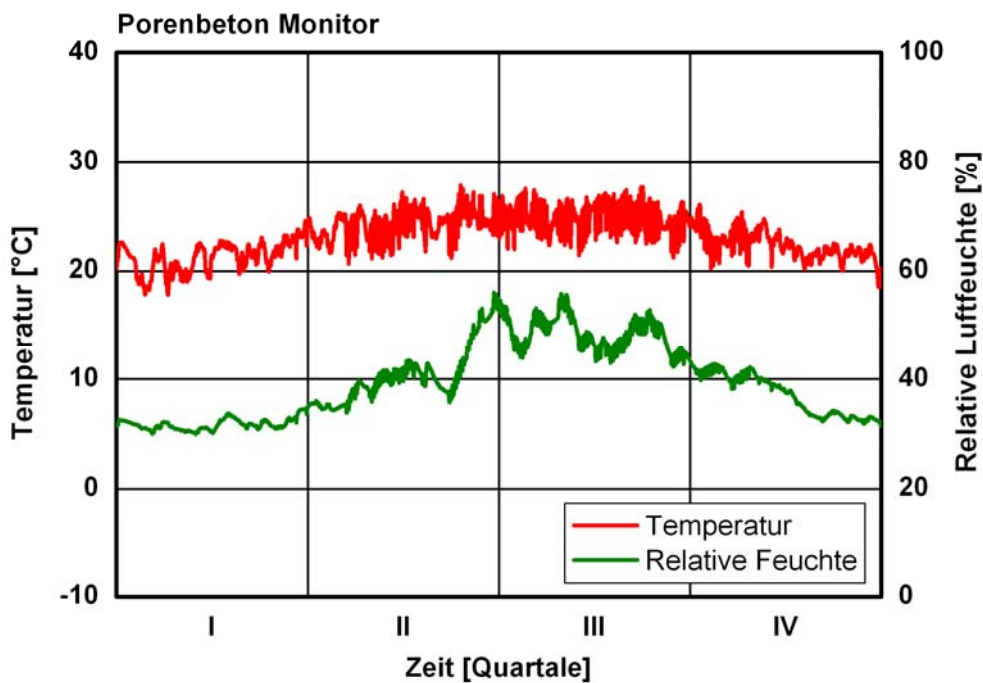


Bild 10: Porenbeton: Verlauf der Temperatur und relativen Feuchte in der Grenzschicht zwischen Kalkputz und Holzweichfaserplatte.

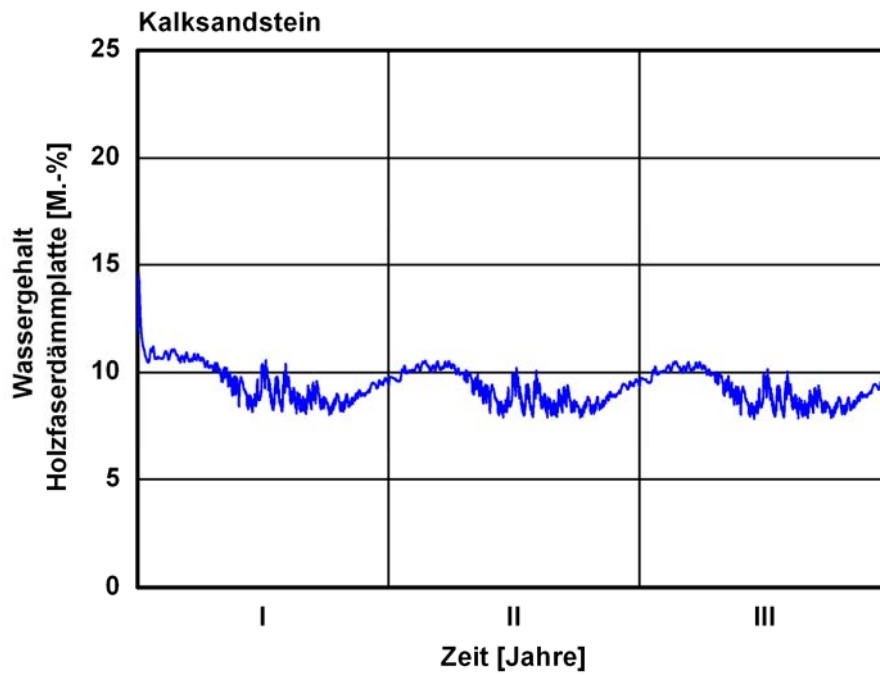


Bild 11: Kalksandstein: Verlauf des Wassergehalts im äußeren (kalten) Zentimeter der Holzweichfaserplatte.

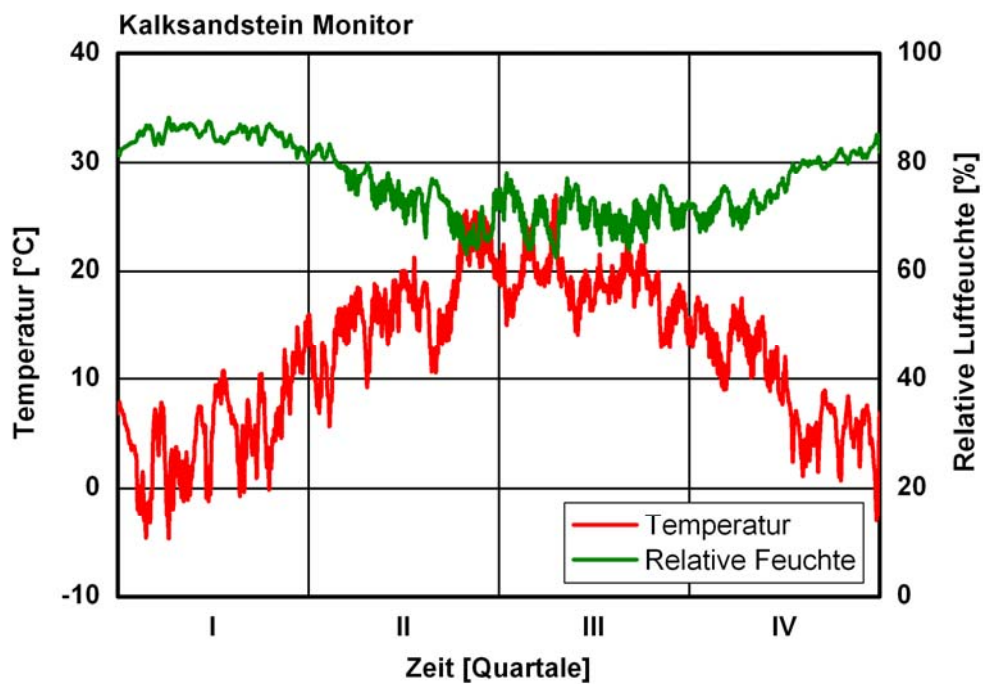


Bild 12: Kalksandstein: Verlauf der Temperatur und relativen Feuchte in der Grenzschicht zwischen Kalkputz und Holzweichfaserplatte.

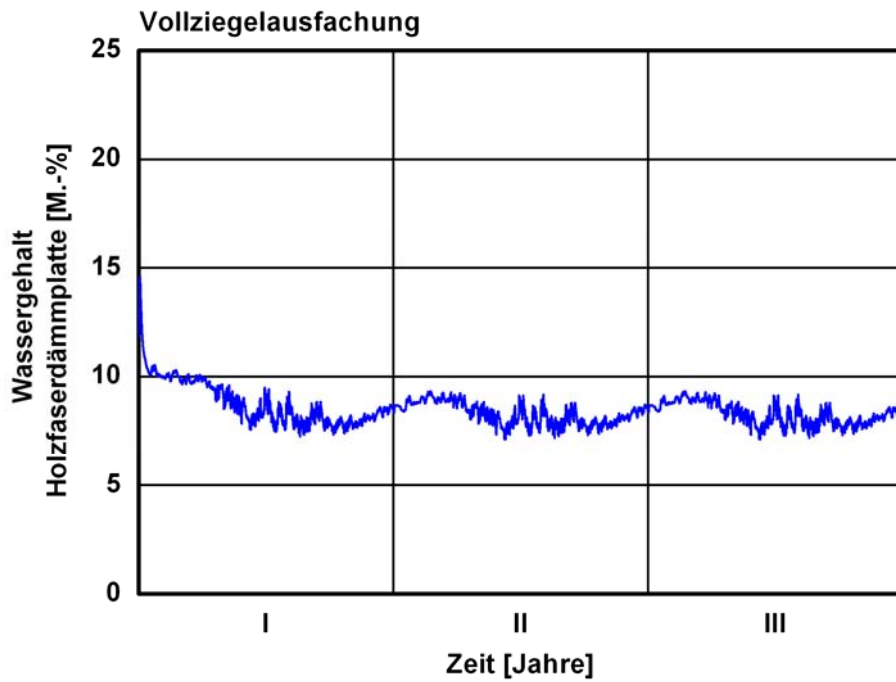


Bild 13: Vollziegelausfachung: Verlauf des Wassergehalts im äußeren (kalten) Zentimeter der Holzweichfaserplatte.

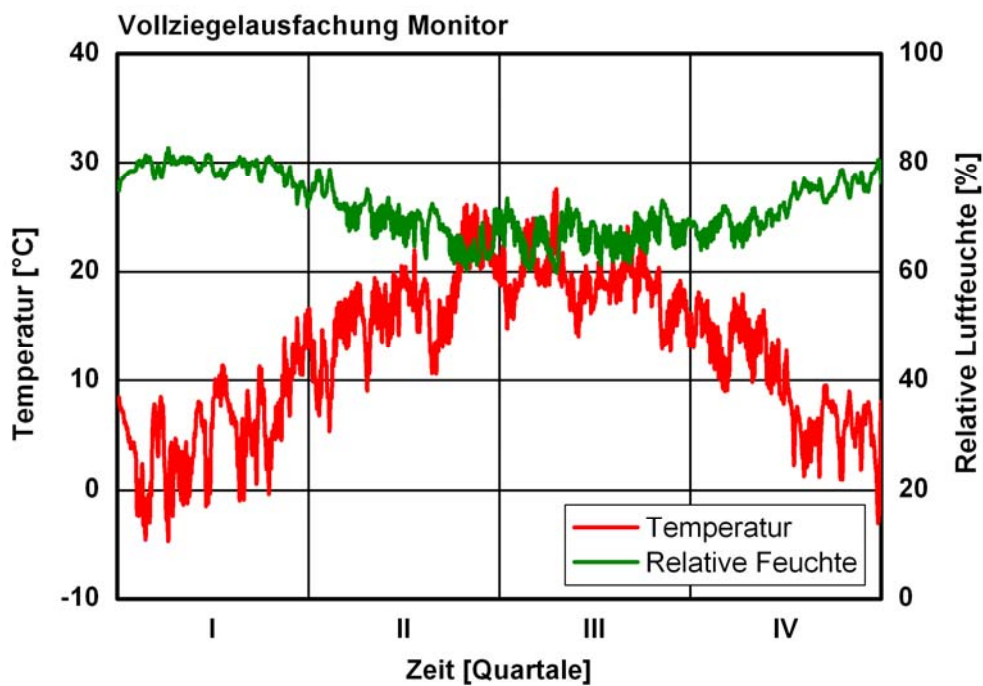


Bild 14: Vollziegelausfachung: Verlauf der Temperatur und relativen Feuchte in der Grenzschicht zwischen Kalkputz und Holzweichfaserplatte.