



Einfluss von Steingeometrie, Mörtel und Feuchte auf die äquivalente Wärmeleitfähigkeit von wärmetechnisch hochwertigem Mauerwerk

Forschungsbericht - Kurzfassung

gefördert durch:
Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin
P 52-5-5.110-1402/12



FIW München

**Forschungsbericht FO-03/11
Kurzfassung**



1 Aufgabenstellung

In den letzten Jahren wurden etliche genormte und zugelassene Mauerwerksprodukte für den Wärmeleitfähigkeitsbereich von 0,060 bis 0,12 W/(m·K) auf den Markt gebracht. Ältere Forschungsergebnisse müssen für diese neuen hochwärmedämmenden Produkte erweitert werden, zumal die Umrechnungstabelle in DIN V 4108-4:2007-06 den Bereich der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit für Mauerwerk von 0,08 bis 0,18 W/(m·K) abdeckt. Die Neuauflage DIN 4108-4:2013-02 klammert den Wärmeleitfähigkeitsbereich 0,08 bis 0,09 W/(m·K) für Dickbettmörtelsorten wieder aus, legt jetzt jedoch nicht mehr Nennwerte sondern Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit für die Anwendung in Deutschland fest.

Es wird auch untersucht, wie sich Art und Abmessungen der Mörtelfugen, Feuchtegehalt, Griffaschen, Steinabmessungen und Ausrichtung der Hohlräume und Luftkammern auf die äquivalente Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerks auswirken. Aufbauend auf den Ergebnissen für die einzelnen Einflüsse werden Schwellen-U-Werte für das Mauerwerk festgelegt, für die die o.g. Einflüsse das 3 %-Kriterium aus DIN EN ISO 6946 übersteigen. Werden diese Einflüsse dann nicht im Rahmen der Festlegung der Nenn- und Bemessungswerte mittels Messungen an ganzen Wänden nach DIN EN 1934 bzw. in dreidimensionalen numerischen Simulationen erfasst, müssen sie bei der Berechnung der U-Werte nachträglich berücksichtigt werden.

Im Rahmen dieses Vorhabens werden die Verfahren zur Bestimmung von wärmetechnischen Nenn- und Bemessungswerten für Mauerwerk in DIN 4108-4 und DIN EN 1745 miteinander verglichen. Einige im europäischen Kontext unklare Aspekte in der DIN 4108-4 werden dargestellt und Empfehlungen zur Anpassung ausgearbeitet. Um die o.g. Ziele zu erreichen, werden umfangreiche Messungen und Berechnungen an Mauerwerk mit verschiedenen Methoden gemacht und die Ergebnisse miteinander verglichen. Im Einzelnen sind das:

- Messungen an ganzen Wänden nach DIN EN 1934
- Messungen an Halbsteinen nach der DIBt-Richtlinie
- Messungen an Steinmaterial nach DIN EN 12664
- Numerische Berechnungen 3d
- Numerische Berechnungen 2d

Die Ergebnisse sind im ausführlichen Forschungsbericht dargestellt. Für diesen Kurzbericht werden nur die wichtigsten Ergebnisse und Schlussfolgerungen zusammengefasst.

2 Auswertung und Diskussion

2.1 Vergleich der Messungen und der Berechnungen

Die Wandmessungen aller Ziegel und des PP-2 035 weisen deutlich höhere Werte auf, als bei der numerischen Simulation der Mauersteine mit den Eingangswerten aus der Messung des Materials zu erwarten gewesen wäre. Das trifft mit Einschränkungen auch auf die Halbsteinmessungen nach der DIBt-Richtlinie zu. Nachfolgend sind die möglichen Ursachen hierfür zusammengestellt.

Messungen an ganzen Wänden und an Wand-Probekörpern aus Halbsteinen bilden immer alle Imperfektionen der Steine und der Bauausführung in der Messung ab. Mögliche Inhomogenitäten in der Porengrößenverteilung des Porenbetons werden somit ebenso erfasst wie beispielsweise Abweichungen bei den Stegdicken der untersuchten Ziegel. Die in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen der Ziegel angegebenen Stegdicken und Steinabmessungen sind Mindestwerte für neue Mundstücke in der Ziegelproduktion. Während der Produktion nutzen sich auch die gehärteten Kerne der Mundstücke mit der Zeit ab, was zu einer Verkleinerung der Kammern und damit zu einer Vergrößerung der Stege führt. Durch die dickeren Stege verändert sich die äquivalente Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerks. Das könnte ein Grund sein, warum speziell bei den Ziegeln die Unterschiede zwischen den Messungen und den numerischen Simulationen relativ groß sind.

Weitere Ungenauigkeiten aus der Bauausführung lassen sich auch im Labor nicht ganz vermeiden. So kann es auch bei sorgfältigem Aufbau der Probekörper zu Mörtelbatzen in den Hohlräumen kommen – z.B. beim T 12 oder in den Griffhilfen der Porenbeton-Planblöcke. Das unvermeidliche Ausfüllen der angeschnittenen Poren beim Porenbeton mit Mörtel erhöht faktisch die Lagerfugendicke der Mauerwerksprobekörper. Bei der numerischen Simulation hingegen wird eine idealisierte Mörtelschicht in exakt der angestrebten Dicke betrachtet.

Nicht auszuschließen ist ein nennenswerter Anteil an Restfeuchte in den Proben für die Wandmessung, da vor allem bei den Porenbeton-Wänden die Trocknung sehr langwierig ist. Eine Beschleunigung der Trocknung konnte durch einseitig aufgebrachte Heizmatten erreicht werden. Auf der den Heizmatten abgewandten Seite der Probekörper herrschte dann aber nicht dieselbe hohe Trocknungstemperatur wie bei der freien Trocknung in der Trockenkammer mit Belüftung, was im Vergleich zu den Probenplatten für die Messung im Wärmeleitfähigkeits-Plattengerät auf einen höheren Restfeuchtegehalt des Materials schließen lässt.

Ein weiterer Unterschied zwischen Messung und Berechnung findet sich in der Luftdichtheit der Stoßfugen. Bei der Berechnung wird hier von abgeschlossenen

Luftkammern im Bereich der Nut- und Feder-Ausbildungen ausgegangen. In der Messung kann es jedoch aufgrund der zulässigen Abweichungen von der Rechtwinkligkeit der Steine mitunter zu nennenswerten Spalten zwischen zwei Steinen kommen. In diesen Bereichen kommt es über die Spalte dann zu einer direkten Verbindung zwischen der warmen und kalten Oberfläche der Wand. Auch in engen Spalten ist hier Konvektion nicht vollständig auszuschließen, auch wenn die gängigen Vereinfachungsformeln z.B. in DIN EN ISO 6946 hier die Konvektion bei Spaltbreiten von weniger als 5 mm vernachlässigen.

2.2 Einfluss des Mörtels

Der Mörtel einfluss auf den U-Wert der Wände ist auch bei Dünnbettmörtel nicht vernachlässigbar. Schon Lagerfugendicken von 2 mm mit wärmedämmendem Dünnbettkleber (z.B. $\lambda = 0,4 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) führen bereits zu Anstiegen des U-Werts des Mauerwerks von etwa 3 % (Abbildung 1). Auch die Gleichstellung von Mauerwerk mit LM 21 und dem reinen Steinwert (Tabelle A.2 in DIN 4108-4) kann so nicht bestätigt werden. Die Erhöhung beim T 12 durch die Berücksichtigung des Mörtels beträgt laut numerischer Simulation etwa 3,5 %. Hier führt, wie im ausführlichen Untersuchungsbericht beschrieben, schon der Leichtmörtel LM 21 alleine zu einer Erhöhung des U-Werts die über dem Bagatellkriterium von 3 % der DIN EN ISO 6946 liegt.

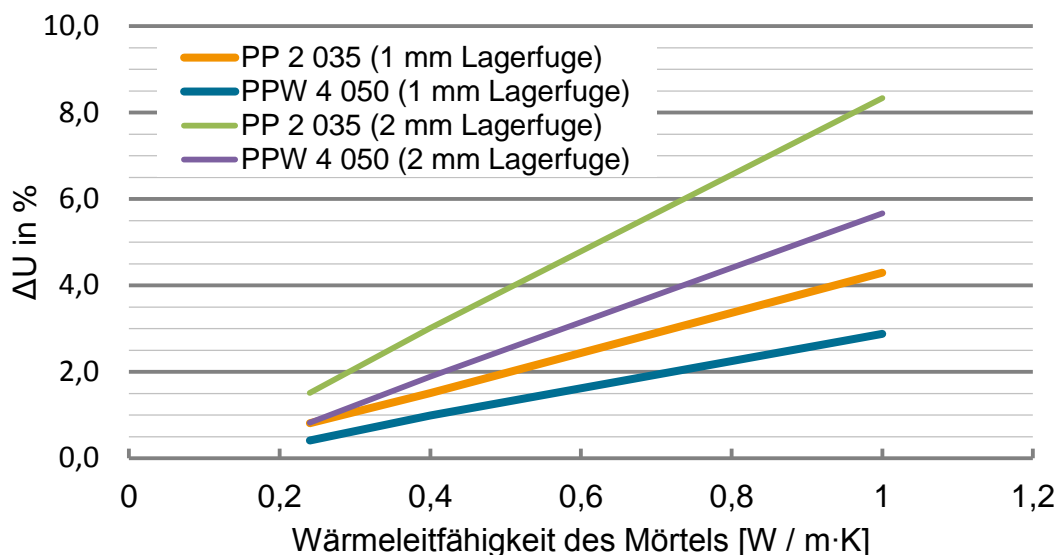


Abbildung 1: Erhöhung der U-Werte beim Porenbeton durch Berücksichtigung des Mörtels für verschiedene Wärmeleitfähigkeiten und Lagerfugendicken von 1 mm und 2 mm

2.3 Einfluss des Ausgleichsfeuchtegehaltes

Die Ergebnisse der Untersuchung des Feuchteinflusses auf den U-Wert des Mauerwerks sind in Abbildung 2 dargestellt. Die exakte dreidimensionale numerische Simulation erfolgte für den Porenbeton mit den für den Ausgleichsfeuchtegehalt nach Lagerung im Klima 23°C/80%r.F. gemessenen Werten. Bei den Ziegeln wurde nur für den Ziegelscherben ein Feuchtezuschlag in der numerischen Simulation angesetzt. Es ist davon auszugehen, dass der Anstieg der Wärmeleitfähigkeit aufgrund des baupraktischen Feuchtegehalts für die Mineralwolle in den Kammern vernachlässigbar ist.

Der Anstieg der Wärmeleitfähigkeit des Steinmaterials wirkt sich beim Porenbeton wie erwartet vollständig auf den U-Wert aus (Abbildung 2). Der Anstieg beim Porenbeton ist mit 6,5 % bis 9 % auch deutlich größer als bei den Ziegeln mit 3 % bis etwa 4 %. Der FZ 9 zeigt hier durch die im Vergleich mit den anderen beiden Ziegeln größeren Stegflächen einen größeren Anstieg beim U-Wert durch die Ausgleichsfeuchte.

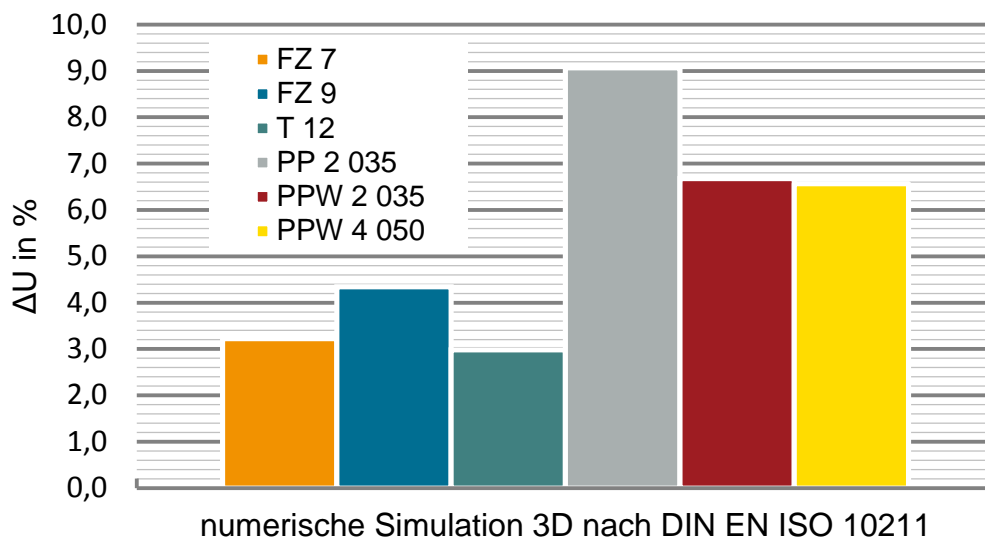


Abbildung 2: Einfluss der Ausgleichsfeuchte auf den U-Wert des Mauerwerks

2.4 Einfluss der Steinbreiten bei Mörtel und Griffhilfen

Der Einfluss der Steinbreiten (Wanddicke) wurde für Dünnbettmörtel DBM 027 in der Lagerfugendicke 1 mm beim FZ 9 Ziegel untersucht. Der Mörtel einfluss liegt etwas unter 1 % für den betrachteten Dickenbereich von 30 cm bis 49 cm. Die Wärmebrückenwirkung steigt mit niedrigerem U-Wert etwas an, wie es für Wärmebrücken in hochwärmegedämmten Konstruktionen zu erwarten ist. Absolut gesehen sinkt der Einfluss des Mörtels jedoch, d.h. ΔU in $W/(m^2 \cdot K)$ wird kleiner. Der Unterschied für die untersuchten Steinbilder 30er 10 DF; 36,5er 12 DF und 49er 16

DF ist vernachlässigbar. Das Ergebnis ist für die anderen Steintypen ähnlich zu erwarten.

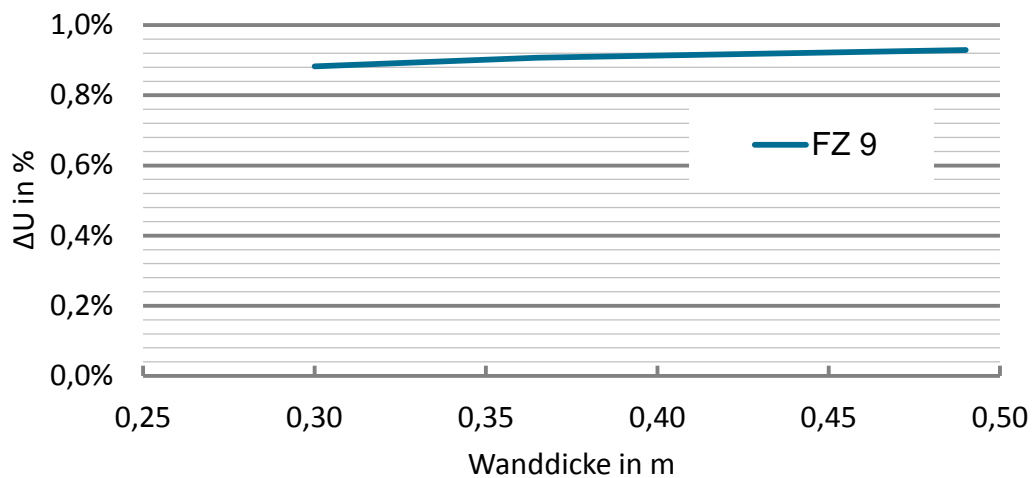


Abbildung 3: Einfluss der Steinbreite (Wanddicke) beim FZ 9 mit Dünnbettmörtel DBM 027 auf den U-Wert der Wand

Für den Porenbeton wurde der Einfluss der Griffhilfen in zwei Steinbreiten (Wanddicken) untersucht. Der Einfluss auf den U-Wert der Wand wird mit zunehmender Wanddicke kleiner, was vor allem durch die feste Größe der Griffhilfen bedingt ist. Beim 30er und beim 36,5er Porenbeton ist gleichermaßen jeweils eine Griffhilfe in der Stoßfuge angeordnet. Das Volumen der Hohlräume ist bei beiden Steinen gleich, weswegen der Einfluss bei der dickeren Wand geringer ist. In Abbildung 4 ist der Einfluss der Griffhilfen für den PP 2 035 und den PPW-4 050 dargestellt.

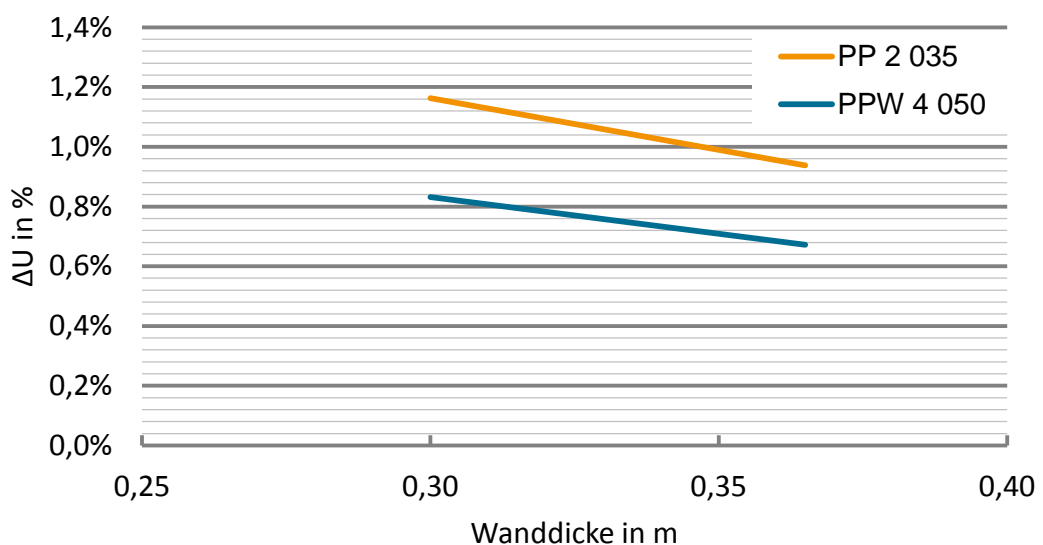


Abbildung 4: Einfluss der Griffhilfen abhängig von der Steinbreite (Wanddicke) bei Porenbeton



2.5 Einfluss der Anisotropie

Für die Ziegel wurde der Einfluss der Anisotropie des Scherbens untersucht. Wird die Anisotropie nicht berücksichtigt, sind die U-Werte der Mauerwerke der betrachteten Ziegel zwischen 6,3 % beim FZ 9 und 8,2 % beim T 12 zu niedrig und damit zu günstig. Alleine der Einfluss aus der Anisotropie übersteigt das 3 % Bagatellkriterium aus DIN EN ISO 6946 um das Doppelte bis fast das Dreifache. Es ist daher zukünftig dringend erforderlich bei der Festlegung der Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit für Ziegel, die aufgrund von numerischen Simulationen gemacht werden, die Anisotropie des Scherbens zu berücksichtigen. Bei der Festlegung der Bemessungswerte aufgrund von Ergebnissen aus Wandmessungen ist die Anisotropie bereits in den Messergebnissen enthalten.

2.6 3 % Kriterium beim U-Wert aus DIN EN ISO 6946

Zu untersuchen war, ob sich „Schwellen-U-Werte“ für die Berücksichtigung bzw. Vernachlässigung der Beeinträchtigung des Wärmedurchgangs durch die einzelnen Einflüsse festlegen lassen. Im Sinne der DIN EN ISO 6946 gilt das 3 % Kriterium für die Summe der Einflüsse, d.h. es sind die Einflüsse danach zu bewerten, ob sie zusammengenommen die 3 % Erhöhungsregel aus DIN EN ISO 6946 überschreiten: *„Der Wärmedurchgangskoeffizient ist gegebenenfalls [...] zu korrigieren. Ist jedoch die Gesamtkorrektur geringer als 3 % von U, braucht keine Korrektur vorgenommen zu werden.“* (Quelle: DIN EN ISO 6946:2008-04 S.16)

Wie die vorliegenden Untersuchungen deutlich zeigen, wird das 3 % Kriterium bereits durch einzelne Einflussfaktoren deutlich überschritten. Im ausführlichen Forschungsbericht sind Nomogramme enthalten, mit denen für bestimmte wärmetechnische Qualitäten des Mauerwerks und Wanddicken die Größe der Einflüsse auf den U-Wert abgelesen werden können.

2.7 Empfehlungen zur Anpassung und Harmonisierung

DIN 4108-4 – Anhang A

Um Verwechslungen vorzubeugen werden eindeutige Indizes für die Bezeichnung der Wärmeleitfähigkeitswerte vorgeschlagen. Für ganze Steine sollte *unit* verwendet werden, für Wände mit Mörtel *mas*, für das Steinmaterial *mat* und für den Mörtel *mor*. Die Bezeichnungen wären dann konsistent mit DIN EN 1745:2012-07.

Die Bezeichnungen $\lambda_{90/90}$ und $\lambda_{50/90}$ sind in diesem Fall falsch, da es sich um eine selbstgewählte Rohdichtespanne und nicht um statistisch abgesicherte Werte einer Messreihe von Wärmeleitfähigkeits-Werten handelt, die mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit in Untersuchungen ermittelt wurde, so wie es im Sinne der DIN EN ISO 10456 ist. Die Bezeichnung sollte so gewählt werden, dass die

fragwürdigen Begriffe vermieden werden. Beispielsweise könnte $\lambda_{90/90}$ in λ_{p90} geändert werden, ggf. mit dem Zusatz „10,dry“.

Um aus dem Bemessungswert des Steins einen Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit für das Mauerwerk zu machen, muss noch der Einfluss des Mörtels berücksichtigt werden. Das kann durch numerische Simulationen erfolgen oder flächenanteilig, wie in DIN EN 1745 beschrieben. Die Anwendung des vereinfachten Verfahrens für zusammengesetzte Bauteile aus DIN EN ISO 6946 ist auch möglich. Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass für Porenbeton die Unterschiede der Umrechnungsverfahren vernachlässigbar sind. Lediglich bei den Ziegeln kommt es aufgrund der Querleitung aus den Stegen in die Mörtelfugen zu einer geringfügigen Unterschätzung des Wärmetransports beim vereinfachten Verfahren nach DIN EN ISO 6946 bzw. bei der flächenanteiligen Umrechnung.

Die Umrechnung nach Tabelle A.2 in DIN 4108-4 muss überarbeitet werden. Wie die vorliegende Untersuchung zeigt, steigt auch die äquivalente Wärmeleitfähigkeit von Mauersteinen die mit Dünnbettmörtel vermörtelt werden deutlich an. Da die Tabelle beim Dünnbettmörtel auch die Lagerfugendicke 2 mm abdecken soll (Steinhöhe 248 mm), müssen auch die Werte für die Dünnbettmörtelfuge angepasst werden. Der folgende Entwurf wurde mit dem vereinfachten Verfahren aus DIN EN ISO 6946 berechnet und gibt realistische Umrechnungswerte für das Mauerwerk an, die auf der sicheren Seite liegen (Tabelle 1).

Tabelle 1: Entwurf für eine Umrechnungstabelle für die Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit für die verschiedenen Mörtelsorten

Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit in $W/(m \cdot K)^a$				
Steinprodukte (ohne Mörtel)	Mauerwerk mit Mörtel ohne Stoßfugenvermörtelung			
	$\lambda_{design,mas,100\%}$			
$\lambda_{design,unit,100\%}$	LM 21	LM 36	NM	DBM
0,08	b)	b)	b)	b)
0,09	b)	b)	b)	b)
0,10	0,11	0,12	0,16	0,11
0,11	0,12	0,13	0,17	0,12
0,12	0,13	0,14	0,18	0,13
0,13	0,14	0,14	0,19	0,14
0,14	0,15	0,15	0,19	0,15
0,15	0,16	0,16	0,20	0,16
0,16	0,17	0,17	0,21	0,17
0,18	0,19	0,19	0,23	0,19

a) Diese Tabelle gilt für die Steinhöhen 238 mm (Dickbettmörtel) und 248 mm (Dünnbettmörtel) und für die Steinlänge 250 mm.
 b) im Einzelfall nachzuweisen

DIN 4108-4 Anhang B

Für die Überwachung eines individuellen Feuchteumrechnungsfaktors F_m ist es nicht ausreichend nur den Sorptionsfeuchtegehalt nach Lagerung bei 23 °C und 80 % relative Luftfeuchte zu überwachen. Hierzu gehört auch die Wärmeleitfähigkeit. Der entsprechende Abschnitt sollte eindeutiger formuliert

werden. Ein nachgewiesener individueller Umrechnungsfaktor für den Feuchtegehalt sollte mindestens einmal jährlich durch eine anerkannte Prüfstelle überwacht werden. Hierzu sind die Wärmeleitfähigkeit im trockenen Zustand und der Sorptionsfeuchtegehalt an Proben aus derselben Produktionscharge zu bestimmen.

Angleichung der Verfahren für Mauerwerks- und Dämmstoffprodukte

Die Vorgehensweise für Dämmstoffe für das CE-Zeichen mit einer ständigen (u.U. mehrmals täglich) Eigenüberwachung der Wärmeleitfähigkeit ist für Mauerwerksmaterialien nicht möglich, bzw. unverhältnismäßig aufwändig. Es könnte jedoch das in Deutschland für Dämmstoffe angewendete Verfahren über den Grenzwert der Wärmeleitfähigkeit, der in einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung beschrieben ist, auch für Mauerwerk analog angewendet werden. Hierfür müsste der nach Produktnorm des jeweiligen Materials in Verbindung mit DIN EN 1745 deklarierte Nennwert für den Trockenwert des Steines $\lambda_{10,dry,unit}$ mittels des grafischen Verfahrens in DIN 4108-4 auf die obere Grenze des selbst gewählten Rohdichtebereiches extrapoliert werden. Dieser Wert der Wärmeleitfähigkeit für den jeweiligen Stein könnte als Grenzwert für die Überwachung in der Zulassung verankert werden.

Der Nachweis selber könnte dann in Anlehnung an die Methoden und Vorgehensweisen der DIN EN 1745 mittels Messung einer Wand mit Mörtel im trockenen Zustand und anschließender Rückrechnung auf den Stein erfolgen. Alternativ wäre die Vorgehensweise über die Messung des Steinmaterials mit anschließender numerischer Simulation zur Überprüfung des Grenzwertes für den Stein möglich.

Falls ein spezifischer Feuchtekorrekturfaktor für die betrachteten Steine verwendet wird, sollte auch dieser durch eine Fremdüberwachung überprüft werden. Hierfür muss an der identischen Charge zur Überwachung des Grenzwertes der Wärmeleitfähigkeit auch der Ausgleichsfeuchtegehalt über Sorption nach Lagerung im Klima 23°C/80%r.F bestimmt werden.

