

# **Trocknung von Mauerwerk mit Wärmedämmverbundsystemen und Einfluß auf den Wärmedurchgang**

*Dipl.-Phys. Andreas H. Holm*

*Dr.-Ing. Hartwig M. Künzel*

*Fraunhofer-Institut für Bauphysik*

*(Leiter: o. Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. mult. Dr. E.h. mult. Karl Gertis)*

*Fraunhoferstr. 10*

*83626 Valley*

*info@hoki.ibp.fhg.de*

## **Zusammenfassung**

Durch das Aufbringen eines Wärmedämmverbundsystemes auf eine baufeuchte Mauerwerk wird das Austrocknungsverhalten beeinflusst. Da die in der Wandkonstruktion enthaltene Feuchte die Wärmedämmwirkung reduziert, ist eine rasche Trocknung auch aus energetischen Gesichtspunkten wichtig. Mit Hilfe von rechnerischen Untersuchungen wird der Einfluß von verschiedenen Parametern auf die Austrocknungszeiten und den resultierenden k-Werten ermittelt. Ein wesentlicher Einflußparameter ist der Diffusionswiderstand des Dämmstoffes. Die Untersuchungen zeigen, daß besonders bei dämmenden Mauersteine, wie z.B. porosierter Hochlochziegel, der projektierte k-Wert erst nach mehreren Jahren erreicht wird. In allen untersuchten Fällen beträgt die Abweichung des k-Wertes während der ersten Heizperiode ca. 25 bis 35 %.

## **1. Einleitung**

Durch das Aufbringen eines Wärmedämmverbundsystemes (WDVS) auf eine baufeuchte Wandkonstruktion wird deren Austrocknungsverhalten beeinflusst. Frühere Untersuchungen [1] haben gezeigt, daß die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl, also der  $\mu$ -Wert, des Dämmstoffes ein wichtiger Einflußparameter ist. WDVS mit Mineralwolle als Dämmstoff führen zu einer schnelleren Trocknung des Mauerwerks als solche mit Polystyrol-Hartschaumplatten (EPS) als Dämmung. Bei EPS-WDVS findet auf Grund des hohen  $\mu$ -Wertes eine Austrocknung der Wandkonstruktion hauptsächlich in Richtung Innenraum statt, bei Mineralwolle hingegen auch nach außen. Handelt es sich beim Wandbildner um ein dämmendes Mauerwerk, kann es auf Grund des Temperaturabfalls im Mauerwerk und der damit verbundenen Dampfdruckabsenkung zu einer deutlichen Verlangsamung der Austrocknung kommen. Da der Feuchtegehalt eines Materials einen starken Einfluß auf dessen Wärmeleitfähigkeit hat, reduziert die Baufeuchte den Wärmedurchlaßwiderstand des Wandbildners. Der

projektierte k-Wert könnte unter den oben genannten Umständen erst nach Jahren erreicht werden. Im folgenden soll untersucht werden, welchen Einfluß verschiedene Parameter, wie feuchtetechnische Eigenschaften von Mauerwerk und Dämmung, Dämmschichtdicke oder Zeitpunkt der Applikation auf das Austrocknungsverhalten und den resultierenden Wärmeschutz von Wandkonstruktionen mit WDVS haben.

## 2. Durchführung der Untersuchung

Mit Hilfe des am Fraunhofer-Institut für Bauphysik entwickelten Verfahrens zur Berechnung des Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen WUFI [2] wird das hygrothermische Verhalten von verschiedenen WDVS untersucht. Durch umfangreiche Vergleiche zwischen Messungen und Rechnung ist dieses Verfahren auch für zahlreiche WDVS verifiziert [1], [3]. Als Standardfall wird das Austrocknungsverhalten und der effektive k-Wert während der ersten Heizperioden für ein 80 mm dickes EPS-WDVS betrachtet, das auf eine baufeuchte Nordfassade aufgebracht ist. Zur Klärung des Einflusses des Wandbildners auf das Austrocknungsverhalten wird jeweils eine Konstruktion mit 300 mm Hochlochziegel und eine mit 240 mm Kalksandstein zugrunde gelegt. Ausgehend von diesem Standardfall werden für beide Mauerwerksbildner die in Tabelle 1 aufgeführten Varianten untersucht.

Die für das jeweilige Material benötigten hygrothermischen Stoffkennwerte stammen aus der WUFI-Datenbank bzw. für den Hochlochziegel aus [3]. Sie sind in Tabelle 3 aufgeführt. Die Innenbekleidung wird bei der Berechnung aus Vereinfachungsgründen als Dampfdiffusionswiderstand ( $s_d$ -Wert) an der Innenoberfläche behandelt, so daß sich die Angaben der Dicke und weiteren Stoffkennwerte erübrigen. Für den Gipsputz wird ein  $s_d$ -Wert von 0,1 m und für die Fliesenbekleidung von 2,0 m angesetzt. Der Wärmeübergangskoeffizient beträgt auf der Außenseite  $17 \text{ W/m}^2\text{K}$ , auf der Innenseite  $8 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Die kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl des Außenputzes liegt bei 0,4. Schlagregeneinflüsse werden vernachlässigt.

Als klimatische Randbedingungen werden gemessene Stundenwerte eines für Holzkirchen typischen Jahres gewählt [4]. Das Raumklima variiert sinusförmig zwischen  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , 50 % relative Feuchte im Winter und  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  und 60 % relative Feuchte im Sommer. Diese Werte entsprechen einer normalen Nutzung als Wohngebäude mit hoher Feuchtelast (Austrocknungsphase der Baufeuchte) [5]. Die Anfangsfeuchte im Mauerwerk beträgt 10 Vol.-%, im restlichen Bauteil liegt ein Wassergehalt entsprechend der Ausgleichsfeuchte bei 80 % relativer Feuchte vor. Betrachtet wird neben dem Verlauf des Wassergehaltes des Wandbildners auch der für die Dauer der Heizperiode (November bis April) erreichte Monatsmittelwert des erzielten k-Wertes. Die Berechnung des erzielte k-Wertes ergibt sich aus der Differenz der mittleren Temperaturen an den Bauteiloberflächen und des mittlere Wärmestromes durch die Innenoberfläche in diesem Monat. Die projektierten k-Werte in Abhängigkeit vom Wandaufbau sind in Tabelle 2 angegeben.

**Tabelle 1** Randbedingungen beim Standardfall und die für beide Mauerwerksbildner durchgeführten Parametervariationen. Die Parameter des Standardfalls sind unterstrichen.

Standardfall	
Aufbau von innen nach außen	Gipsputz 240 mm Kalksandstein bzw. 300 mm Hochlochziegel 80 mm EPS-Dämmung 20 mm Kalkzementputz mit $s_d$ -Wert=0,5 m $w$ -Wert=0,25 kg/m <sup>2</sup> √h
Randbedingungen	Nordfassade ohne Schlagregenbelastung Kurzwellige Strahlungsabsorption $a_s=0,4$ Fertigstellung am 1. April

Parameter	Variationen
Dämmstoffdicke	60 mm, <u>80 mm</u> oder 100 mm
Ausrichtung	<u>Nord</u> oder Süd
Innenbekleidung	<u>Gipsputz</u> oder Fliesen
Fertigstellungstermin	<u>1. April</u> oder 1. Oktober
Dämmstoff	<u>EPS</u> oder Mineralwolle
w-Wert des Hochlochziegels	<u>3,4</u> oder 0,7 kg/m <sup>2</sup> √h

**Tabelle 2** Projektierte k-Werte in Abhängigkeit vom Wandaufbau

Dämmstoffdicke	k-Wert <sub>eff</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	
	Hochlochziegel	Kalksandstein
60 mm	0,31	0,52
80 mm	0,27	0,42
100 mm	0,24	0,35

**Tabelle 3** Feuchtetechnische Materialkennwerte

Baustoff	Kalk- zementputz	EPS	MW	Hochloch- ziegel	Kalksand- stein
Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	1900	15	60	800	1900
Wärmekapazität [kJ/kgK]	0,85	0,95	0,85	0,85	0,85
Wärmeleitfähigkeit <sub>tr</sub> [W/mK]	0,8	0,04	0,04	0,16	1
Feuchtebedingte Zu- nahme von $\lambda$ [%/M.-%]	8	1)	1)	10	8
Porosität [Vol.-%]	24	95	95	67	29
Freie Sättigung [Vol.-%]	21	-	-	15	25
Bezugsfeuchte [Vol.-%]	4,5	-	-	1,0	2,5
w-Wert [kg/m <sup>2</sup> √h]	0,25	-	-	3,4 <sup>2)</sup>	2,7
$\mu$ -Wert [-]	25	30	1,3	15	28

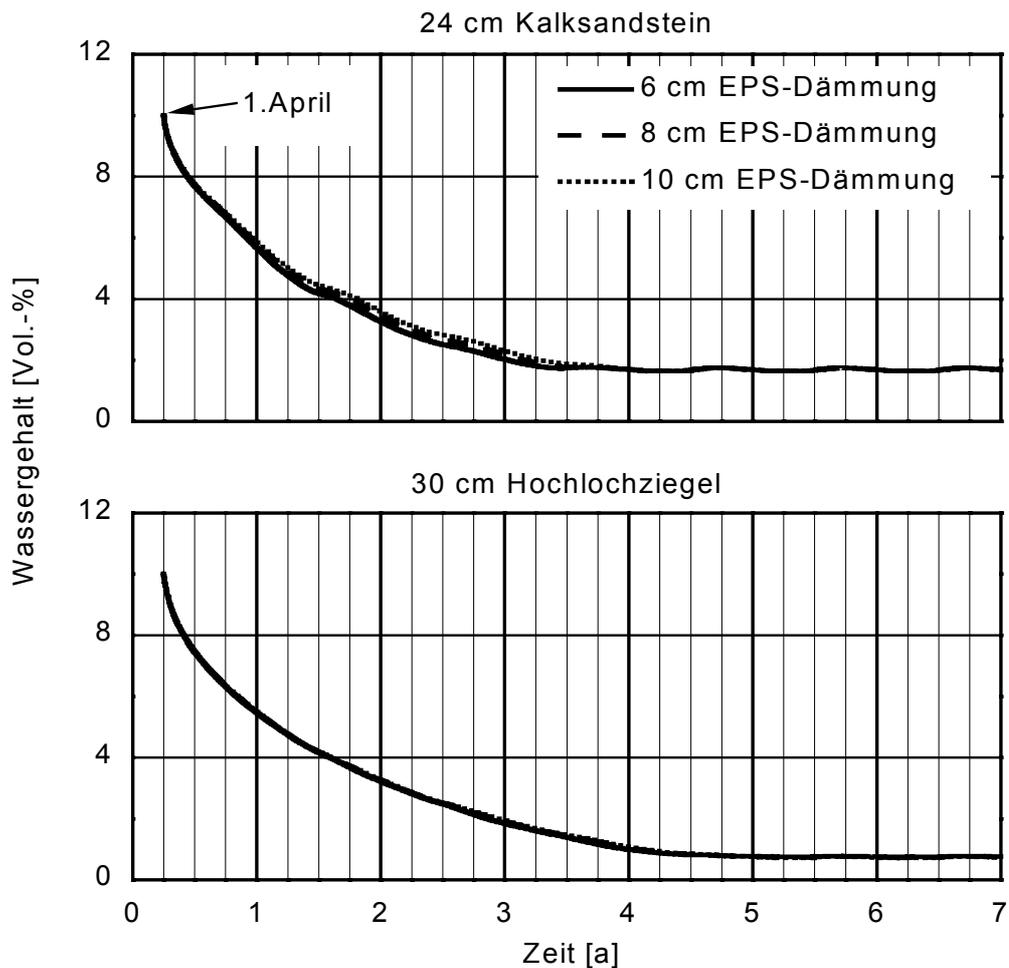
<sup>1)</sup> kein linearer Zusammenhang (progressiv steigend);  $\lambda(u_{\max}) = 0,6$  W/mK

<sup>2)</sup> gemessen an Ziegelscherben

### 3. Ergebnisse

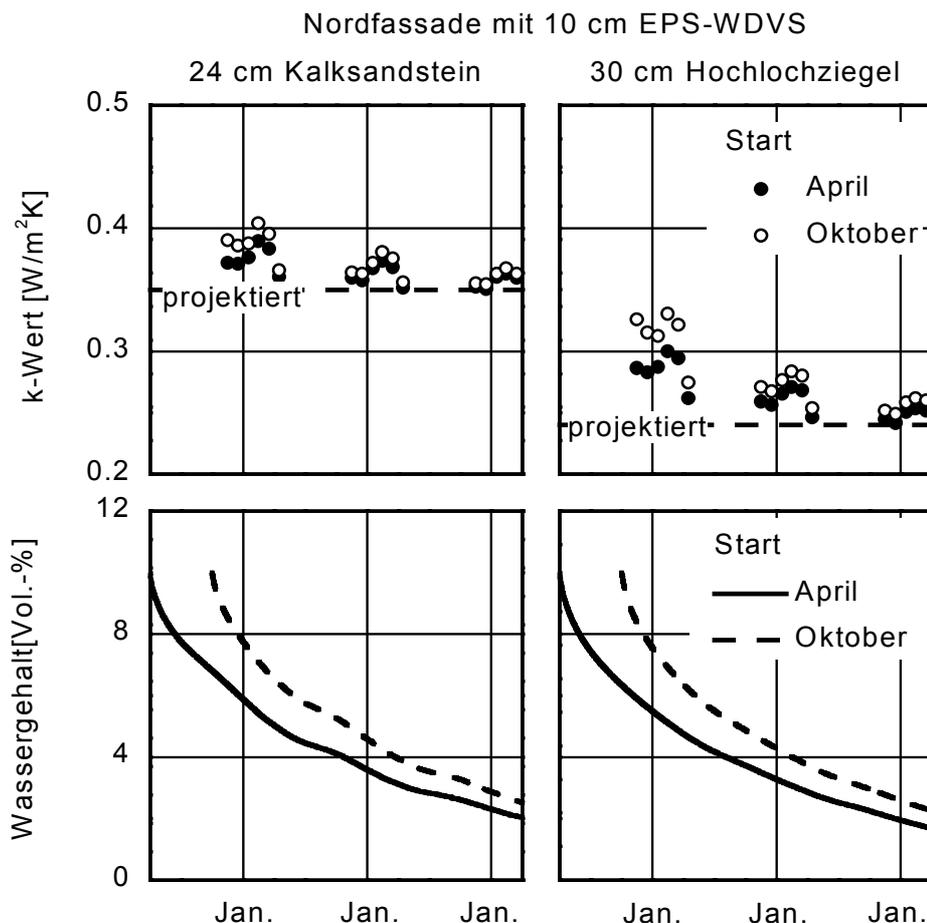
Bild 1 zeigt den Einfluß der Dämmstoffdicke des EPS-WDVS auf das Austrocknungsverhalten des baufeuchten Mauerwerks. Im oberen Bild ist der Verlauf des mittleren Wassergehalt des Mauerwerks für eine Konstruktion aus 24 cm Kalksandstein, im unteren für eine aus 30 cm Hochlochziegel über einen Zeitraum von sieben Jahren aufgezeichnet. Der eingeschwungene Zustand des Systems ist für das Kalksandsteinmauerwerk bereits nach dem 3. Winter, für das Mauerwerk aus Hochlochziegeln erst nach dem 4. Winter erreicht. Während der ersten beiden Jahre verhalten sich aber beide Konstruktionen ähnlich. Der Einfluß der Dämmstoffdicke bei Verwendung von Polystyrol-Hartschaumplatten ist in beiden Fällen sehr klein.

Der Einfluß der solaren Einstrahlung auf das Austrocknungsverhalten der Konstruktion sollte durch den Vergleich der Ergebnisse bei Nord bzw. Südausrichtung erfolgen. Doch sowohl für Kalksandstein, als auch für das Hochlochziegelmauerwerk sind keine nennenswerten Unterschiede im Verlauf des Wassergehaltes zu beobachten, weshalb hier auf eine Darstellung der Ergebnisse verzichtet wird.



**Bild 1** Einfluß der Dämmstoffdicke des EPS-WDVS auf das Austrocknungsverhalten des baufeuchten Mauerwerks.  
 Oben: 24 cm Kalksandstein  
 Unten: 30 cm Hochlochziegel

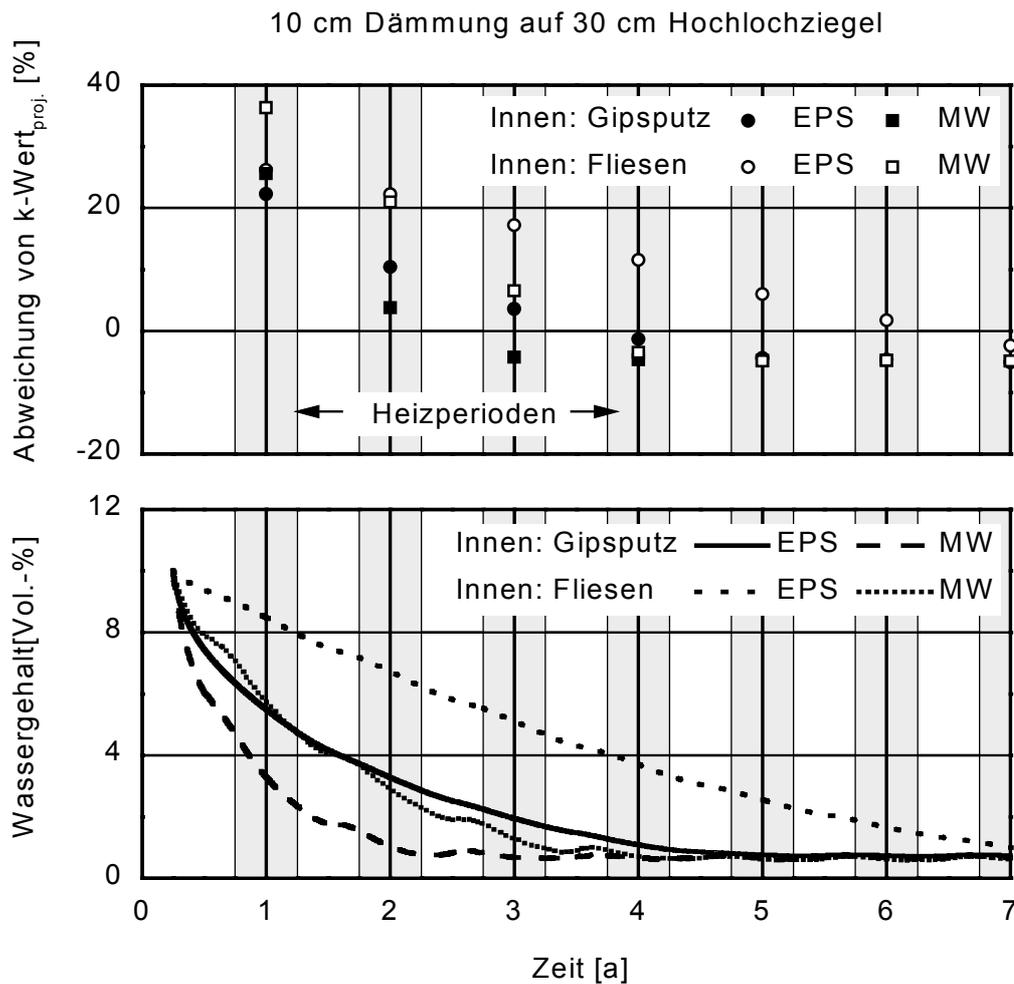
Auch der Zeitpunkt der Applikation hat Auswirkungen auf das hygrothermische Verhalten der Wandkonstruktion. In Bild 2 sind die Verläufe des mittleren Wassergehaltes (jeweils unten) und die resultierenden k-Werte der Außenwand (jeweils oben) für zwei unterschiedliche Fertigstellungstermine aufgetragen. Erfolgt die Aufbringung des EPS-WDVS Anfang Oktober, ist der k-Wert für beide Konstruktionen während der ersten drei Heizperioden höher als bei einer Aufbringung im April. Der Grund dafür ist, daß durch die spätere Applikation zum Zeitpunkt des Heizperiodenbeginns noch mehr Baufeuchte im Mauerwerk vorhanden ist. Bei Fertigstellung im Oktober sind während des 1. Winter noch ca. 7,5 Vol.-%, bei Beendigung der Bauarbeiten im April immerhin noch fast 6 Vol.-% Baufeuchte im Hochlochziegel vorhanden. Das führt dazu, daß in diesem Fall der durchschnittliche k-Wert während des ersten Winters bei Fertigstellung im Herbst um ca. 15 % größer ist als bei Fertigstellung im Frühjahr. Erst nach dem dritten Winter sind beide k-Werte vergleichbar. Dadurch, daß der



**Bild 2** Einfluß des Applikationszeitpunktes auf das Austrocknungsverhalten des baufeuchten Mauerwerksbildners (unten) und die Auswirkung auf den effektiven k-Wert (oben).  
 links: 24 cm Kalksandstein  
 rechts: 30 cm Hochlochziegel

Kalksandstein nicht selbst dämmende Eigenschaften aufweist, ist diese Differenz bei ihm nicht so ausgeprägt (ca. 5 %). Ab dem zweiten Winter ist der Unterschied nur noch minimal. Für beide Konstruktionsvarianten ist der effektiv erzielte k-Wert während der ersten Jahre deutlich über dem projektierten. Auffallend ist auch, daß der durchschnittliche k-Wert während einer Heizperiode für beide Varianten nicht konstant ist. Die k-Wert für die Monate Februar, März und April sind höher als die für die Monate November, Dezember und Januar. Dies ist durch die Feuchteakkumulation auf Grund von Dampfdiffusion während des Winters innerhalb des Dämmstoffes zu erklären.

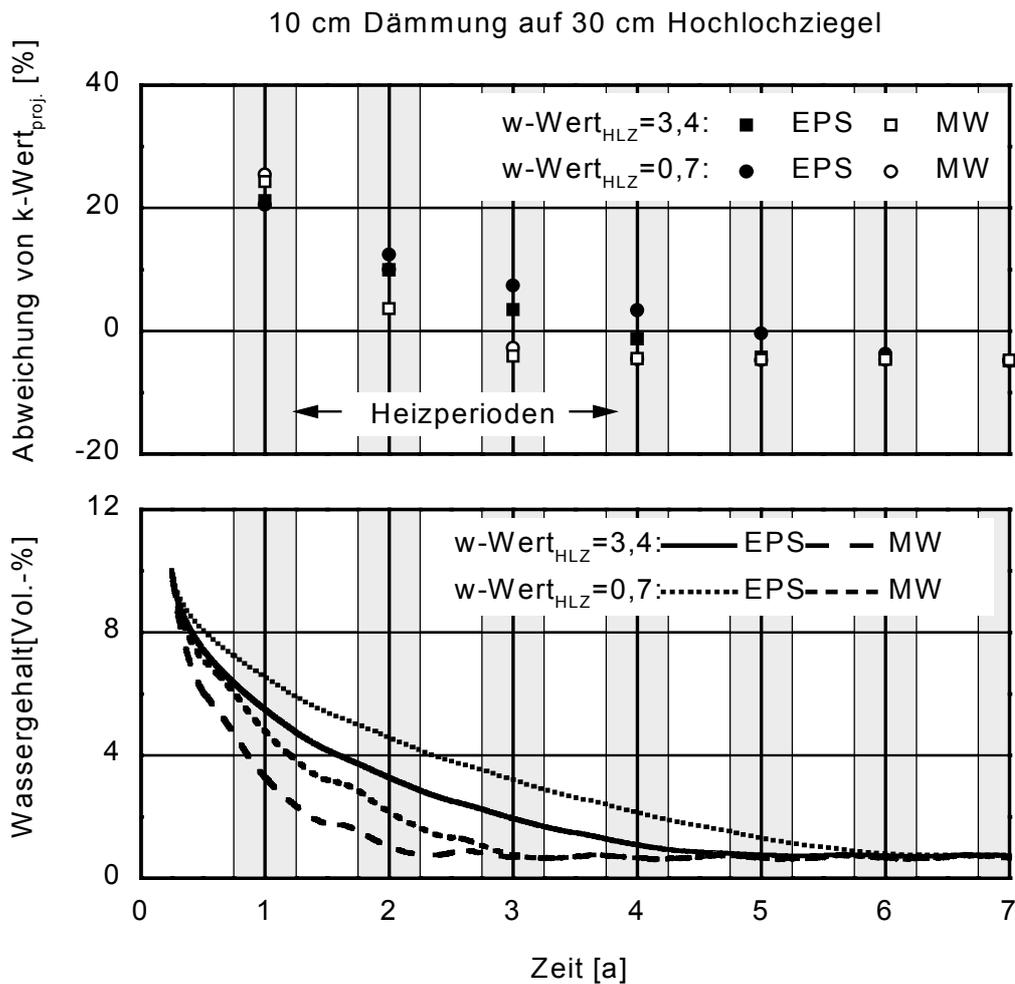
Die weiteren Betrachtungen beziehen sich auf den energetisch etwas günstigeren Fall einer Fertigstellung im Frühjahr. Bild 3 und Bild 4 zeigen den Einfluß der Innenraum-bekleidung und des Dämmstoffes. Sowohl bei der Kalksandstein als auch bei der



**Bild 3** Einfluß der Innenraumbekleidung und des Dämmstoffes auf das Austrocknungsverhalten (unten) des anfänglich baufeuchten Hochlochziegels und die Auswirkung der Feuchte auf den erzielten k-Wert (oben).

Hochlochziegelvariante trocknet das Mauerwerk bei Verwendung von EPS-WDVS und raumseitigem Fliesenbelag am langsamsten aus. Am schnellsten hingegen das System mit Mineralwolle und innenliegendem Gipsputz. Hier findet eine Austrocknung sowohl nach innen als auch nach außen statt. Vom Trocknungsverhalten vergleichbar ist das System mit Mineralwolle und Fliesen und das mit EPS und Gipsputz.

Die Auswirkungen auf den effektiven k-Wert sind in den beiden Bildern jeweils oben aufgezeichnet. Dabei ist hier der mittlere k-Wert während der entsprechenden Heizperiode für die betrachteten Varianten angegeben. Bei der Verwendung von Hochlochziegeln als Mauerwerksbildner (Bild 3) ist in allen vier Fällen der k-Wert während der ersten Heizperiode um ca. 25 bis 35 % höher als der projektierte. Der projektierte k-Wert wird bei Verwendung von EPS als Dämmstoff und raumseitiger Verfliesung erst im 7. Winter erreicht, während dies bei MW-WDVS und innenliegendem Gipsputz schon vor dem dritten Winter der Fall ist. Bei allen vier Fällen liegt der im



**Bild 4** Einfluß des w-Wertes des Hochlochziegels bei unterschiedlichen Dämmstoffen auf das Austrocknungsverhalten (unten) des anfänglich baufeuchten Kalksandsteins und die Auswirkung der Feuchte auf den erzielten k-Wert (oben).

eingeschwungenen Zustand erzielte k-Wert um ca. 5 % unter dem projektierten.. Grund dafür ist, daß sich im Laufe der Jahre im Hochlochziegel eine Ausgleichsfeuchte von ca. 60 % r.F. einstellt, bei der Berechnung des projektierten k-Wertes hingegen 80 % r.F. angenommen werden.

Aufgrund der Struktur eines Hochlochziegels ist der am Scherben gemessene w-Wert von  $3,4 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$  für den gesamten Stein zu hoch angesetzt. Die Hochlochstruktur des Steines führt zu einer Reduzierung dieses Wertes. Zur Berücksichtigung des Umwegfaktors durch die Stege wurde für eine weitere Berechnung der w-Wert des Ziegels um den Faktor 5 verkleinert. Bild 4 zeigt den Einfluß des reduzierten w-Wertes auf das Austrocknungsverhalten bei unterschiedlichen Dämmstoffen. Durch die niedrigere Kapillarleitfähigkeit verzögert sich die Austrocknung entsprechend. Sie dauert ca. 1 Jahr länger. Das hat auch Auswirkungen auf den erzielten k-Wert. Die

Abweichung vom projektierten k-Wert beträgt beim MW-WDVS während zweiten Heizperioden dann noch 10 % (vorher < 5 %). Beim EPS-WDVS ist der erzielte k-Wert erst während der 5. Heizperiode (vorher 4. Heizperiode) mit dem projektierten vergleichbar.

Ähnlich wie beim Hochlochziegel verhalten sich die resultierenden k-Werte beim Kalksandstein. Allerdings sind die prozentualen Unterschiede auf Grund der fehlenden Eigendämmwirkung des Mauerwerksbildners geringer. Auch ist die Differenz zwischen im eingeschwungenem Zustand erzielten und dem projektierten k-Wert vernachlässigbar.

#### **4. Diskussion der Ergebnisse und Schlußfolgerungen**

Die Ergebnisse der eindimensionalen Feuchteberechnungen zeigen, daß das Austrocknungsverhalten eines Mauerwerksbildners bei Applikation eines WDVS von verschiedenen Parametern mehr oder weniger stark abhängt. Die Orientierung und die Dämmstoffdicke haben bei Wärmedämmverbundsystemen aus Polystyrol-Hartschaumplatten nur einen kleinen Einfluß. Der vermutete Effekt einer Trocknungsbehinderung aufgrund des Temperaturabfalls im dämmenden Mauerwerk und der damit verbundenen Dampfdruckabsenkung erscheint hier wenig ausgeprägt. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Wärmeleitfähigkeit im baufeuchten Zustand ca. 5 mal so hoch ist wie im trockenem Zustand. Somit ist der Temperaturgradient im Ziegel niedriger als anfangs erwartet. Des weiteren ist der Haupttransportprozeß zu Beginn die Kapillarleitung. Bedeutender ist der Einfluß des Applikationszeitpunktes, des Dämmstoffes und der Innenraumbekleidung. Durch die Verwendung von Mineralwolle statt Polystyrol-Hartschaumplatten werden die Austrocknungszeiten deutlich verkürzt. Ist die Wand raumseitig relativ dampfdicht, bestimmt der Diffusionswiderstand nach außen das Austrocknungsverhalten der Wand. Hier hat ein WDVS mit Mineralwolle als Dämmmaterial Vorteile.

Die Untersuchungen zeigen auch, daß die Baufeuchte den Wärmeschutz einer Außenwand vermindert. In allen untersuchten Fällen beträgt die Abweichung des k-Wertes während der ersten Heizperiode ca. 25 bis 35 %. Besonders bei dämmenden Wandbildnern wie z.B. beim Hochlochziegel wird der projektierte k-Wert erst nach einigen Jahren erreicht. Bei Verwendung von EPS als Dämmstoff und raumseitiger Verfliesung dauert es sogar 6 Jahre. Auch bei nicht dämmenden Mauerwerk findet durch die anfängliche Befeuchtung der Dämmschicht in den ersten Jahren eine gewisse Erhöhung des Wärmedurchgangs statt. Berücksichtigt man außerdem, daß die Verschiebung des Applikationszeitpunktes in den Herbst den effektiven k-Wert in der ersten Heizperiode nochmals um fast 15 % erhöht, so ist es nicht verwunderlich, daß unmittelbar nach der Fertigstellung der prognostizierte Energieverbrauch nicht eingehalten werden kann.

Zur Erhöhung des Energieverbrauchs aufgrund der feuchtebedingten Transmissionswärmeverluste kommen noch zusätzliche Lüftungswärmeverluste, die durch

das notwendige Herauslüften der nach innen wandernden Baufeuchte entstehen. Zur Klärung der Frage, welche Energieverluste ausschließlich auf die Baufeuchte zurückzuführen sind, sollten genauere Untersuchungen an beispielhaften Gebäuden mit unterschiedlichen Wandaufbauten durchgeführt werden. Die gilt jedoch nicht nur für Gebäude mit Wärmedämmverbundsysteme, sondern vor allem auch für solche mit monolithischen Wänden.

## 5. Literatur

- [1] Künzel, H.M.: Austrocknen von Wandkonstruktionen mit Wärmedämme-Verbundsystemen. Bauphysik 20 (1998), H. 1, S. 18-23.
- [2] Künzel, H.M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation Universität Stuttgart 1994.
- [3] Krus, M. und Künzel, H.M.: Vergleich experimenteller und rechnerischer Ergebnisse anhand des Austrocknungsverhaltens von Ziegelwänden. CIB-Beitrag Wien 1996
- [4] Holm, A. und Künzel, H.M.: Feuchte- und Temperaturbelastung von Mineralwolleplatten in Wärmedämmverbundsystemen. WKSB 43 (1998), H. 41, S. 2-6.
- [5] Künzel, H.M.: Bedeutung von Klimabedingungen und Diffusionseigenschaften für die Feuchtesicherheit voll gedämmter Altbaudächer. Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Gertis. IRB-Verlag, Stuttgart 1998, S. 371-389.