

Austrocknung von Wandkonstruktionen mit Wärmedämm-Verbundsystemen

von

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)

Postfach 11 52 – D-83601 Holzkirchen

Miesbacher Straße 10 – D-83626 Valley

Austrocknung von Wandkonstruktionen mit Wärmedämm-Verbundsystemen

Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) sorgen gleichzeitig für den Wärme- und Witterungsschutz von Außenbauteilen. Je nach ihrer Beschaffenheit stellen sie jedoch auch ein unterschiedlich großes Trocknungshindernis für die anfangs vorhandene Baufeuchte im Wandbildner dar. Durch Freilandversuche und begleitende rechnerische Untersuchungen wird der Einfluß von WDVS mit Mineralwolle und Polystyrol-Hartschaum auf das Austrocknungsverhalten des darunterliegenden Mauerwerks ermittelt. Betrachtet wird das Aufbringen von WDVS für einen Standardfall auf baufeuchtem Kalksandsteinmauerwerk, einen Extremfall auf durchnäßigem Porenbetonmauerwerk und einen Sanierungsfall auf bewitterter Vollziegelwand. Die Austrocknungszeit kann je nach Anwendungsfall zwischen einem und zwölf Jahren betragen. Bei wenig dämmendem, innen verputztem Mauerwerk spielt die Art des WDVS für die Austrocknungszeit eine eher untergeordnete Rolle. Bei dämmendem Mauerwerk oder raumseitig dampfdichten Schichten sind Mineralwolle-WDVS günstig, da eine relativ rasche Trocknung nach außen gewährleistet bleibt.

Drying of walls with exterior thermal insulation composite systems. Exterior thermal insulation composite systems (ETICS) also called exterior insulation finish systems (EIFS) serve as heat insulation and weathering protection of building components. However, depending on their composition they also effect the drying of initial moisture in the masonry underneath. By field tests and complementary calculations the influence of ETICS with mineral wool or polystyrene on the drying behaviour of walls has been investigated. Considered are the applications of ETICS in a standard situation on lime silica brick, in an extreme situation on wet cellular concrete and in a rehabilitation case on a single layer brick wall. The dry-out time ranges between one and twelve years depending on the situation. In the case of masonry with low thermal insulation properties and vapour permeable interior plaster the kind of ETICS applied has no major effect on the drying time. For insulating masonry or walls with vapour tight interior layers ETICS with mineral wool are preferable, because a sufficient drying capacity to the exterior is guaranteed.

1 Einleitung

Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) bilden nicht nur einen problemlosen Wärmeschutz, sondern auch einen guten Witterungsschutz für Außenwände. Deshalb werden sie in letzter Zeit häufig bei der Altbausanierung, z. B. als Korrosionsschutz der Bewehrung von Stahlbeton-Sandwich-Wandtafeln für „Plattenbauten“ [1] eingesetzt, selbst wenn die Verbesserung des Wärmeschutzes nicht unbedingt erforderlich wäre. Das Ziel einer solchen Sanierung aus Korrosionsschutzgründen ist meist die rasche Austrocknung der

vorhandenen Konstruktion. Aber auch im Neubaubereich wird auf die schnelle Austrocknung der Wände aus Behaglichkeitsgründen Wert gelegt. Durch experimentelle und rechnerische Untersuchungen wird im folgenden gezeigt, welche Faktoren die Austrocknung einer Wand mit einem WDVS beeinflussen und mit welchen Austrocknungszeiten zu rechnen ist. Betrachtet wird das Aufbringen von WDVS auf Kalksandsteinmauerwerk (Standardfall), auf durchnäßigem Porenbetonmauerwerk (Extremfall) und auf bewittertem Vollziegelmauerwerk (Sanierungsfall).

2 Durchführung der Untersuchungen

Die im folgenden beschriebenen experimentelle Untersuchungen wurden an Versuchsbauten auf dem Freigelände des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik in Holzkirchen (Alpenvorland) durchgeführt. Da die Austrocknung in einigen Fällen am Ende des Versuchszeitraums nicht abgeschlossen war bzw. einige Varianten von praktischer Bedeutung nicht berücksichtigt werden konnten, sind für die Beurteilung des Feuchteverhaltens der betrachteten Konstruktionen begleitende rechnerische Untersuchungen erforderlich. Diese Berechnungen werden mit Hilfe des mehrfach experimentell verifizierten instationären Wärme- und Feuchtetransportprogramms WUFI [2] durchgeführt. Die zugrunde gelegten Wandaufbauten für die betrachteten WDVS-Anwendungsfälle sind in Tabelle 1 enthalten. Die hygrothermischen Eigenschaften der beteiligten Baustoffe stammen aus der WUFI-Materialdatenbank. Die wesentlichen Kennwerte sind in Ta-

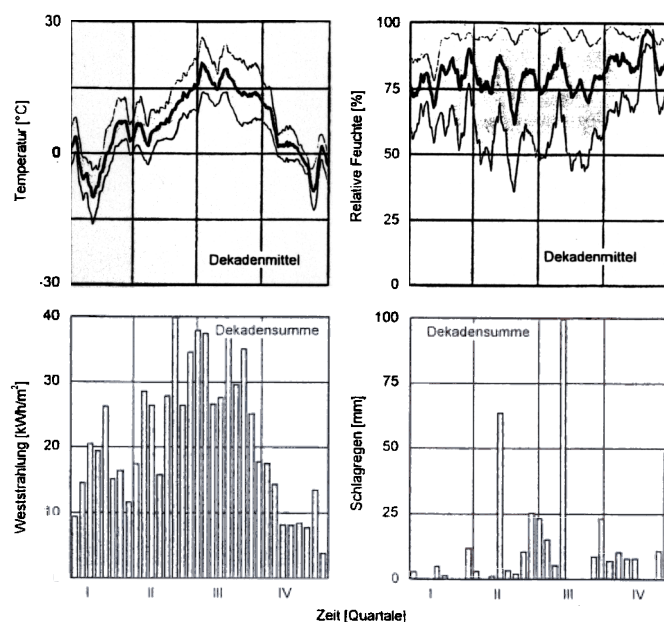


Bild 1. Klimatische Randbedingungen für eine nach Westen orientierte Wand auf der Basis gemessener Stundenmittelwerte eines für den Standort Holzkirchen (Alpenvorland) typischen Jahres. Die Außenlufttemperatur und -feuchte sind als gleitende Dekadenmittel mit Angabe des täglichen Schwankungsbereichs dargestellt; die kurzweilige Strahlung und der Schlagregen sind als Dekadensummen angegeben

Dr.-Ing. Hartwig M. Künzel, Fraunhofer-Institut für Bauphysik (Leiter: Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. mult. Dr. E. h. mult. Karl Gertis), Postfach 1152, 83601 Holzkirchen. Diplom Chemische Verfahrenstechnik Universität Erlangen. Seit 1987 wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Feuchtetechnik und seit 1994 Leiter der Abteilung Hygrothermik am Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Holzkirchen, 1994 Promotion.

Tabelle 1. Zusammenstellung der untersuchten Wandkonstruktionen

Standardfall		Wandaufbau		Sanierungsfall	
		Extremfall			
Min. Außenputz	10 mm	Min. Putz/Kunstharzputz/Fliesen*) s _d = 0,2 m	Fliesen*) s _d = 2,0 m	Min. Putz s _d = 0,2 m	Kunstharzputz*) s _d = 0,5 m
Dämmschicht aus MW/EPS	80 mm	Dämmschicht aus MW/EPS/XPS	50 mm	Dämmschicht aus MW/EPS	60/100 mm
Kalksandstein-Mauerwerk	240 mm	Porenbeton-Mauerwerk	300 mm	Vollziegel-Mauerwerk	400 mm
Innenputz/Fliesen*) s _d = 0,1 m s _d = 2,0 m		Innenputz*) s _d = 0,1 m		Innenputz*) s _d = 0,2 m	

*) Wird bei der Berechnung aus Vereinfachungsgründen als Dampfdiffusionswiderstand an der Außen- bzw. Innenoberfläche behandelt, so daß sich die Angabe der Dicke oder weiterer Stoffkennwerte erübrigt

Tabelle 2. Für die Berechnung verwendete hygrothermische Stoffkennwerte

Material	Mineral. Außenputz	Kalksandstein-Mauerwerk	Porenbeton-Mauerwerk	Vollziegel-Mauerwerk	Mineralwolle (MW)	expand. Polystyrol-Hartschaum (EPS)	extrud. Polystyrol-Hartschaum (XPS)
Rohdichte (kg/m ³)	1900	1900	530	1900	60	15	30
Wärmeleitfähigkeit (W/(m · K))	0,8	1,0	0,14	0,6	0,04	0,04	
feuchtebedingte Erhöhung von λ (%/M.-%)	8	8	4	15	*)	*)	*)
μ-Wert (-)	25	28	7	10	1,3	30-50	240
	0,1	3	4	4	-	-	
	4,5	2,5	1,8	1,8	-		
freie Wassersättigung (Vol.-%)	21	25	34	19			

*) Kein linearer Zusammenhang zwischen Erhöhung von λ und der Stofffeuchte vorhanden. Gemessene Funktionen sind in der WUFI-Datenbank enthalten und stammen aus [3]

belle 2 zusammengefaßt. Für die Berechnung sind außerdem die klimatischen Randbedingungen des Untersuchungszeitraumes in Form von Stundenmittelwerten erforderlich. Da diese jedoch nicht für alle Versuchsperioden vorliegen oder nur Monatsmittelwerte vorhanden sind, werden die meteorologischen Daten eines für Holzkirchen typischen Jahres verwendet. Wie in [2] dargelegt, ist durch diese Wahl bei längerfristigen Berechnungen keine Einbuße der Genauigkeit zu befürchten, da der Einfluß des meteorologischen Jahres auf die Berechnungsergebnisse relativ gering ist. Bild 1 zeigt die Jahresverläufe von Außenlufttemperatur und -feuchte als gleitende Dekadenmittel mit Angabe der Tagesschwankungsbereiche. Im gleichen Bild sind auch die Dekadensummen der kurzwelligen Strahlung und des Schlagregens auf eine nach Westen orientierte Fassade dargestellt. Die Raumklimabedingungen und die Übergangsbedingungen für die Innen- und Außenoberflächen der untersuchten Wandbauteile sind in Tabelle 3 aufgelistet.

2.1 Kalksandsteinmauerwerk mit WDVS (Standardfall)

Auf der Westseite sowie auf Teilflächen der Süd- und Nordseite eines neu errichteten Versuchshauses mit Außenwänden aus 24 cm dickem Kalksandstein-Mauerwerk wird im Zeitraum Sommer/Herbst zur Hälfte ein EPS-WDVS und zur Hälfte ein MW-WDVS aufgebracht (Tabelle 1) [4]. Auf die EPS-Dämmplatten (80 mm) kommen ein 5 mm dicker Armierungsputz und ein 5 mm dicker mineralischer Deck-

Tabelle 3. Für die Berechnung verwendete klimatische Rand- und Oberflächenübergangsbedingungen

Rand- und Übergangsbedingungen		Standardfall	Extremfall	Sanierungsfall
Außen	Klima	Holzkirchen 1991, West	Holzkirchen 1991, West	Holzkirchen 1991, West
	Wärmeübergangskoeffizient (W/(m ² · K))	17	17	17
	Feuchteübergangskoeffizient (m/h)	36	36	36
	kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl (-)	0,4	0,4	0,4 (0,6 ohne WDVS)
		0,7	0	0 (0,3 ohne WDVS)
Innen	Raumlufttemperatur*) (°C)	20-22	20-24	20-24
	Relative Feuchte*) (%)	35-65	50-60	
	Wärmeübergangskoeffizient (W/(m ² · K))	8	8	8
	Feuchteübergangskoeffizient (m/h)	12	12	12

*) Sinusförmiger Verlauf zwischen angegebenem winterlichen Minimum und sommerlichen Maximum

putz, auf die MW-Platten (80 mm) ebenfalls ein 5 mm dicker Armierungsputz und ein 10 mm dicker mineralischer Putz. An entnommenen Proben werden, beginnend mit dem ersten Jahr nach der Erstellung, zu vier verschiedenen Zeitpunkten nach Winter- und Sommerperioden die Feuchtegehalte der einzelnen Wandschichten gravimetrisch ermittelt. Der Innenraum des Versuchshauses ist während der Heizperiode auf ca. 20 °C geheizt. Nach der Austrocknung der Rohbaufeuchte in den raumnahen Wandbereichen stellen sich übliche Raumluftfeuchten ein. Die Anfangsfeuchte im Mauerwerk beträgt ca. 10 Vol.-%. Bei der vergleichenden Berechnung wird auch der Einfluß von raumseitig gefliesten Flächen (Küche, Bad) auf die Austrocknung der Wände untersucht.

2.2 Durchnäßtes Porenbetonmauerwerk mit WDVS (Extremfall)

Im Sommer werden in eine klimatisierte Versuchshalle (20 °C, 50 % r.F. während der Heizperiode) in die West- und Ostseite Porenbetonwände mit einem sehr hohen Anfangswassergehalt (ca. 30 Vol.-%) eingebracht [5]. Auf das 30 cm dicke Porenbetonmauerwerk werden u. a. folgende WDVS mit einer Dämmschichtdicke von 50 mm aufgebracht (s. auch Tabelle 1):

- Mineralischer Putz auf Mineralwolle
- Kunstharzputz auf Mineralwolle
- Mineralischer Putz auf EPS (Partikelschaum)
- Fliesen im Mörtelbett auf XPS (Extruderschaum)

Während des knapp zweijährigen Versuchszeitraumes werden insgesamt viermal Bohrkernproben entnommen, um die Feuchteprofile in der Porenbetonwand zu bestimmen.

2.3 Bewittertes Vollziegelmauerwerk mit WDVS (Sanierungsfall)

Validiert durch experimentelle Bestimmung des Feuchteverhaltens von nach Westen orientierten Fassadenelementen aus Vollziegelsichtmauerwerk [6] werden die langfristigen Feuchteverteilungen in einschaligen Ziegelwänden bei einer im Vergleich zum Standort Holzkirchen reduzierten Schlagregenbelastung berechnet. Ausgehend von der Feuchtesituation im eingeschwungenen Zustand (d. h. keine Veränderung der instationären Verhältnisse von einem Jahr zum nächsten) wird die Austrocknung solcher Wände nach Aufbringen von WDVS mit Mineralwolle- bzw. EPS-Dämmung unterschiedlicher Dicke (Tabelle 1) rechnerisch ermittelt.

3 Ergebnisse

3.1 Standardfall

Die Ergebnisse der gemessenen und berechneten Wassergehalte über den Querschnitt der westorientierten Kalksandsteinwand mit WDVS sind in Bild 2 vergleichend dargestellt. Sowohl für die Wandhälfte mit der EPS-Dämmung (oben) als auch für die mit der Mineralwollendämmung (unten) wird eine gute Übereinstimmung zwischen Messung und Berechnung erzielt. Die Form der Feuchteprofile deutet darauf hin, daß die Austrocknung mit der EPS-Dämmung in erster Linie zur Raumseite hin erfolgt, während das WDVS mit Mineralwolle auch eine deutliche Austrocknung nach außen zuläßt, was zu einer insgesamt rascheren Trocknung der Wand führt. Bild 3 zeigt die berechneten Verläufe des über den Querschnitt des Kalksandsteinmauerwerks gemittelten Wassergehaltes nach Fertigstellung der Wand in Abhängigkeit vom

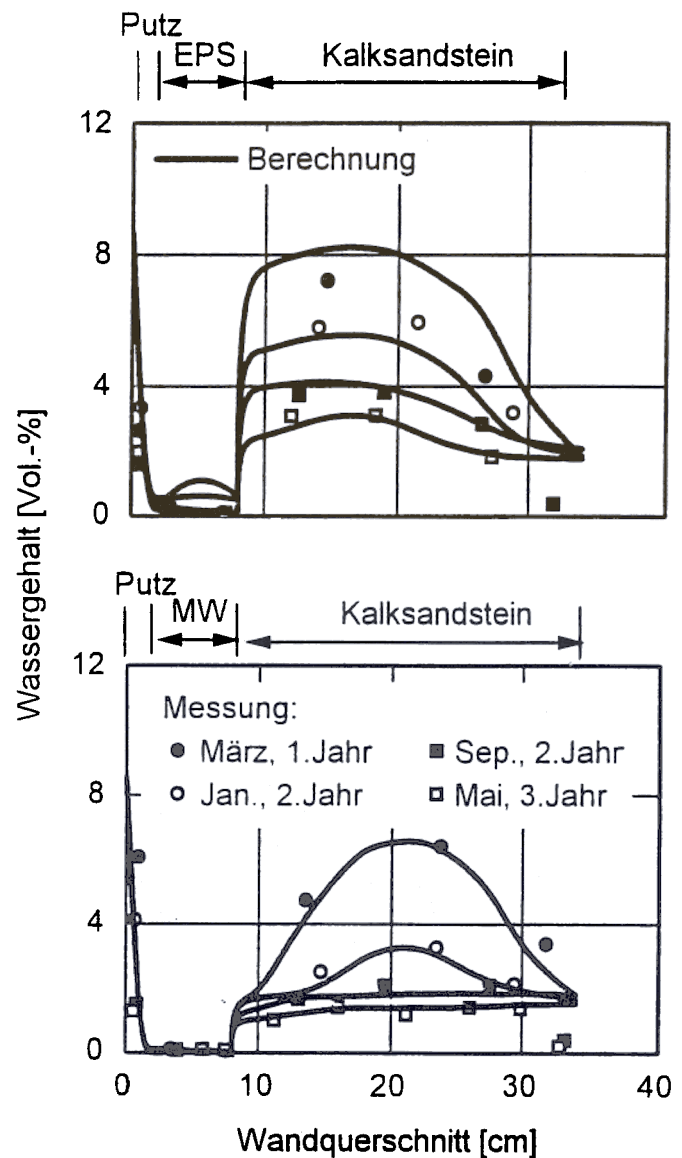


Bild 2. Gemessene und berechnete Feuchteverteilungen in einer nach Westen orientierten Kalksandsteinwand, bei der auf einer Hälfte ein EPS-WDVS und auf der anderen Hälfte ein Mineralwolle-WDVS aufgebracht wurde [4]

Dämmstoff des WDVS und von der Ausführung der Raumseite. Nimmt man als Maß für den „trockenen“ Zustand der Wand einen Wassergehalt von 2,5 Vol.-% an (Ausgleichsfeuchte von Kalksandstein bei 80 % relativer Feuchte in Tabelle 2), dauert die Austrocknung der innen verputzten Wand mit Mineralwollendämmung etwas über ein Jahr und mit EPS-Dämmung zweieinhalb Jahre. Ist die Wand innen gefliest, verlängert sich die Austrocknungszeit mit Mineralwolle-WDVS auf zwei Jahre und mit EPS-WDVS auf über vier Jahre.

3.2 Extremfall

Die gemessenen Wassergehaltsverläufe der anfangs durchnäßten Porenbetonwandbauteile mit unterschiedlichen WDVS sind in Bild 4 dargestellt. Die Feuchte ist in allen Fällen auf der Westseite etwas höher als auf der Ostseite, was wahrscheinlich auf die höhere Anfangsfeuchte der westorientierten Wände zurückzuführen ist bzw. bei den WDVS mit Mineralwollendämmung durch Schlagregeneinflüsse bedingt sein kann. Am raschesten erfolgt die Austrocknung mit Mineralwollendämmung und mineralischem Außenputz. Der

Kalksandsteinwand

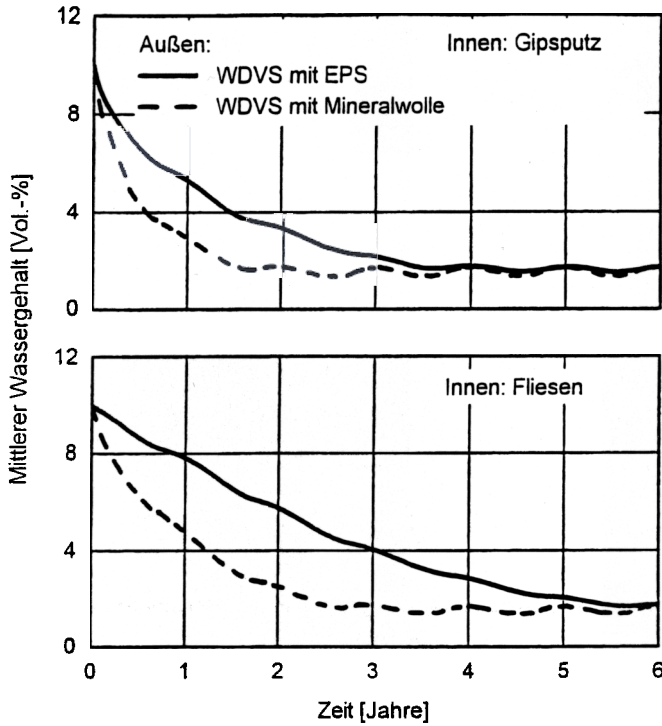


Bild 3. Berechnete Verläufe des über den Querschnitt gemittelten Wassergehalts in einem 24 cm dicken Kalksandsteinmauerwerk in Abhängigkeit vom aufgetragenen WDVS für eine innen verputzte (oben) und eine innen geflieste (unten) Westwand

Porenbetonwand mit Fliesen auf XPS

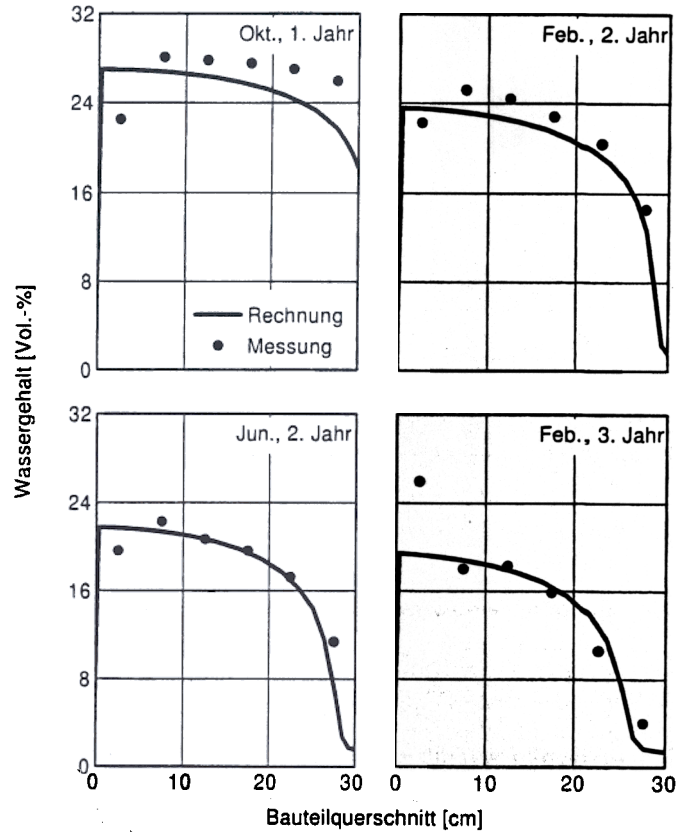


Bild 5. Gemessene und berechnete Feuchteprofile im Porenbetonmauerwerk mit Spaltplatten im Mörtelbett auf XPS-Dämmung zu verschiedenen Zeitpunkten nach Errichtung der Wände im Sommer

Porenbetonwand

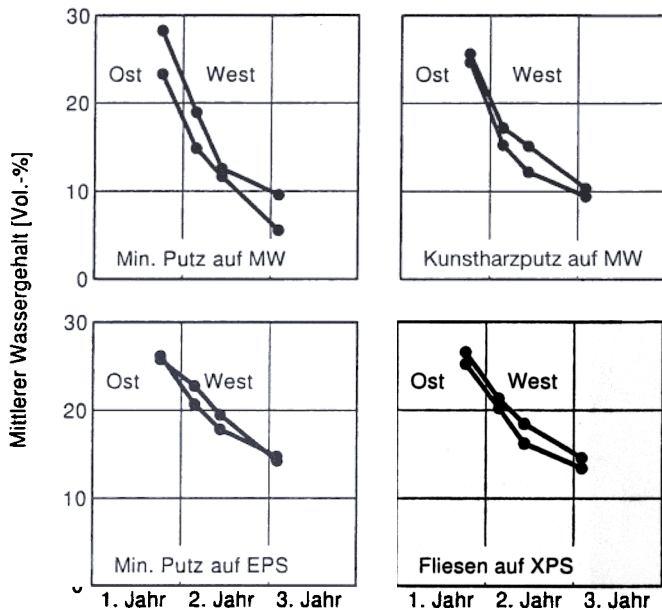


Bild 4. Gemessene Verläufe des über den Querschnitt gemittelten Wassergehalts eines nach Westen bzw. Osten orientierten, durchnässten 30 cm dicken Porenbetonmauerwerks mit unterschiedlichen WDVS [5]

Kunstharzputz auf der Mineralwolle verzögert demgegenüber die Austrocknung etwas, während EPS- und XPS-Dämmung eine spürbare Verlangsamung der Trocknung bewirken. Im vorliegenden Fall hat jedoch die schnellere Austrocknung durch die Mineralwollendämmung einen gravierenden Nachteil. Die hohe Dampfdurchlässigkeit der Dämmung hat im ersten Winter zu einer starken Rückseitenbe-

Porenbetonwand

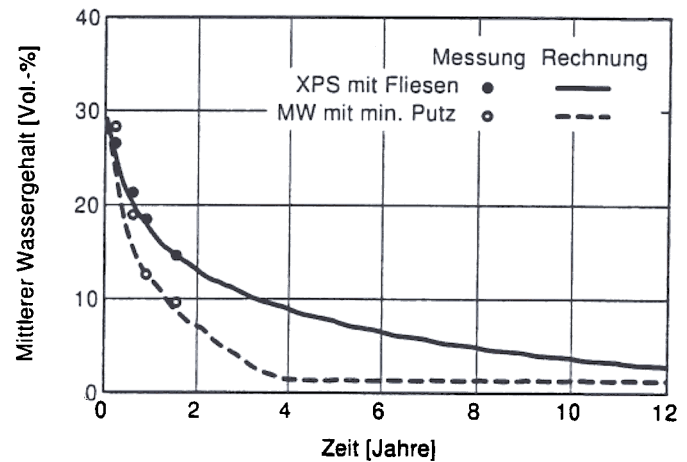


Bild 6. Gemessene und berechnete Verläufe des über den Querschnitt gemittelten Wassergehalts im durchnässten Porenbetonmauerwerk nach Aufbringen unterschiedlicher WDVS

feuchtung der Außenputze geführt, was vor allem beim Kunstharzputz Frostschäden zur Folge hatte.

Diese Probleme mit der Baufeuchte sind beim WDVS mit XPS-Platten trotz des wenig dampfdurchlässigen Fliesenbelages nicht aufgetreten. Dafür ist in diesem Fall aufgrund des hohen s_d -Wertes ($> 10 \text{ m}$) des WDVS so gut wie keine Austrocknung nach außen möglich. Dies bestätigen auch die gemessenen und berechneten Feuchteprofile im Porenbetonmauerwerk in Bild 5. Der höchste Wassergehalt ist an der

Außenseite zu finden, wobei aber auch im zweiten Jahr noch einige Zentimeter hinter der Innenoberfläche eine beträchtliche Materialfeuchte vorhanden ist. Die rechnerische Extrapolation in Bild 6 zeigt, daß die Austrocknungszeit für diesen Extremfall (bezogen auf den Ausgleichszustand von ca. 2 Vol.-%) zwölf Jahre betragen kann. Im Gegensatz dazu liegt sie unter den gleichen Umständen bei einem WDVS auf Mineralwollebasis (Bild 6) bei weniger als vier Jahren.

3.3 Sanierungsfall

Das Feuchteverhalten einer nach Westen orientierten einschaligen Vollziegelwand ohne Zusatzdämmung ist in Bild 7 dargestellt. Die durchgezogene Linie repräsentiert das mittlere Wassergehaltsprofil und der schraffierte Bereich die klimabedingte Schwankungsbreite innerhalb eines Jahres. Die Feuchte im Mauerwerk stammt aus der Schlagregenbelastung, wobei die Außenoberfläche zwar nach Regen den höchsten Wassergehalt aufweist. Durch die rasche Abtrocknung in regenfreien Perioden liegt das mittlere Feuchtemaximum jedoch einige Zentimeter hinter der Fassadenoberfläche. Durch das Aufbringen eines WDVS wird das darunterliegende Mauerwerk vor Schlagregen geschützt, so daß es austrocknen kann. Ausgehend von der ursprünglichen Feuchteverteilung sind die berechneten Austrocknungsverläufe nach Aufbringen von WDVS mit Mineralwolle- und EPS-Dämmung unterschiedlicher Dicke in Bild 8 zu sehen. Die Trocknungszeit des Vollziegelmauerwerks bis zum Erreichen der Ausgleichsfeuchte (Sorptionsfeuchte bei 80 % r.F. in Tabelle 2) beträgt bei der Mineralwolledämmung etwas über ein Jahr und bei der EPS-Dämmung ca. zweieinhalb Jahre. Sie ist im hier betrachteten Schichtdickenbereich zwischen 60 und 100 mm relativ unabhängig von der Dämmplattendicke. Dies liegt daran, daß eine größere Plattendicke einerseits den Dampfdiffusionswiderstand nach außen erhöht, andererseits aber ein höheres Temperaturniveau im

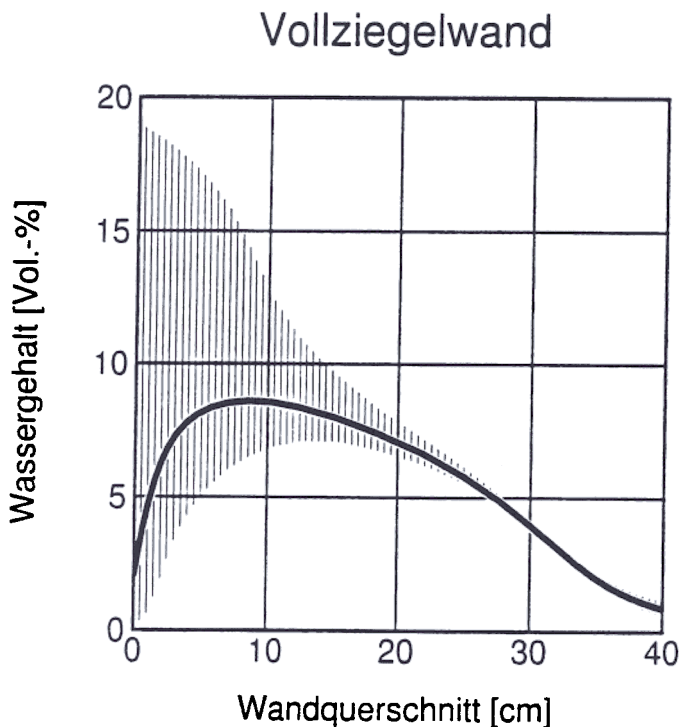


Bild 7. Berechnete Durchschnittsverteilung (durchgezogene Linie) und jährliche Schwankungsbreite (schraffierter Bereich) der schlagregenbedingten Feuchte in einer einschaligen Wand mit Ziegelsichtmauerwerk ohne Zusatzdämmung [6]

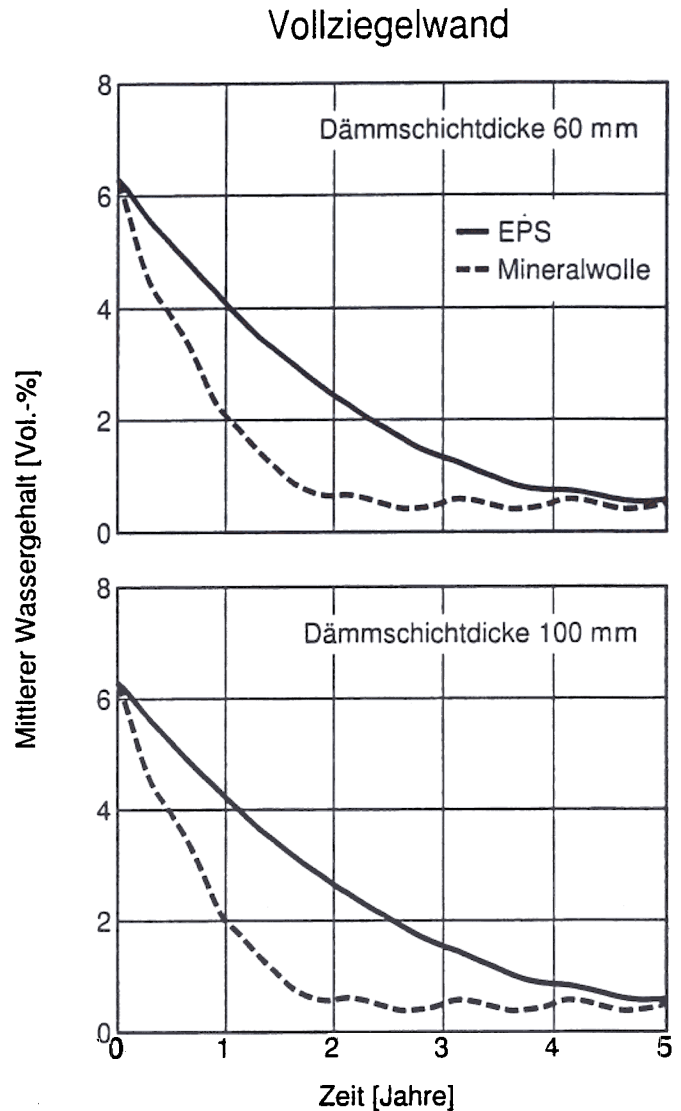


Bild 8. Berechnete Verläufe des mittleren Wassergehalts in der bewitterten Wand (Bild 7) nach Aufbringen von WDVS mit unterschiedlichen Dämmmaterialien und Dämmschichtdicken

Mauerwerk erzeugt, was wiederum die Austrocknung nach innen begünstigt.

4 Schlußfolgerungen

Die gute Übereinstimmung der experimentellen und rechnerischen Ergebnisse bestätigt die Aussagekraft der rechnerischen Extrapolationen und Übertragungen auf reale Verhältnisse. Sie zeigt außerdem, daß durch die Kombination beider Untersuchungsmethoden größere Interpretationsmöglichkeiten und ein besseres Verständnis für die realen Feuchteverhältnisse und ihre Einflußparameter möglich werden. Betrachtet man die Austrocknung von Bau- oder Regenfeuchte im Mauerwerk nach dem Aufbringen von WDVS im Vergleich zu anderen Wandkonstruktionen, kann folgendes festgestellt werden:

Die Austrocknungszeit von wenig dämmenden Wandbildnern, wie Kalksandstein, liegt mit EPS-Dämmung im Bereich der Trocknungszeit von monolithischen Wänden. Bei Verwendung von Mineralwolle liegt sie noch darunter. Ist die Wand raumseitig relativ dampfdicht, bestimmt der Dampfdiffusionswiderstand nach außen das Austrocknungsverhalten der Wand. Hier hat ein WDVS auf Mineralwollebasis Vorteile gegenüber EPS-Systemen, die nur

eine langsame Trocknung zulassen. Da das Kalksandsteinmauerwerk aber nur eine vergleichsweise geringe Wärmedämmfunktion hat, stellt die langanhaltende Baufeuchte in der Regel kein Problem dar, solange sie nicht über Anschlüsse oder Einbindungen in feuchteempfindliche Zonen gelangt. Handelt es sich beim Wandbildner um dämmendes Mauerwerk, wie z. B. Porenbeton (ähnliches gilt auch für porosierte Ziegel oder Leichtbetonsteine), dann sind WDVS mit dampfdiffusionshemmender Dämmung, wie z. B. Polystyrol-Hartschaumplatten, ungünstig. Durch den Temperaturabfall im dämmenden Mauerwerk und die damit verbundene Dampfdruckabsenkung wird die Dampfdiffusion nach innen verlangsamt. Da auch die Kapillarleitung bei hochdämmenden Mauersteinen nur wenig leistungsfähig ist, kann die geringe Trocknungsmöglichkeit nach außen zu länger anhaltender, erhöhter Baufeuchte im Mauerwerk führen mit entsprechenden Konsequenzen für den Wärmedurchlaßwiderstand der gesamten Wand. Wird ein WDVS auf Mineralwollebasis angebracht, so trocknet die Wand in der Regel ebenso schnell wie ohne Außendämmung, wobei jedoch darauf zu achten ist, daß nur diffusionsoffene Außenputze verwendet werden, um Frostschäden zu vermeiden. Hinter diffusionshemmenden Außenbekleidungen, wie z. B. Fliesen, können in diesem Fall kritische Feuchtesituationen entstehen [7].

Für die Sanierung im Altbaubereich sind WDVS besonders geeignet. Die Dampfdurchlässigkeit des Dämmmaterials spielt dabei im Fall von massiven Wänden i. a. keine große Rolle, wie z. B. für die Plattenbausanierung bereits gezeigt wurde [8]. Das liegt vor allem daran, daß die Wandfeuchte

vor der Sanierung selbst auf der Wetterseite deutlich kleiner ist als die Rohbaufeuchte. Bei Wänden mit feuchteempfindlichen Baustoffen, wie z. B. Holz, dient eine gute Austrocknungsmöglichkeit nach außen häufig als vorbeugender Feuchteschutz, so daß hier andere Kriterien gelten. Deshalb sind beispielsweise für die Außendämmung von Fachwerkhäusern diffusionsoffene WDVS mit Mineralwolle-Dämmung vorzuziehen.

Literatur

- [1] Marquardt, H.: Korrosionshemmung in Betonsandwichwänden durch nachträgliche Wärmedämmung. Diss. TU Berlin 1992.
- [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] Cammerer, J. und Achtziger, J.: Einfluß des Feuchtegehaltes auf die Wärmeleitfähigkeit von Bau- und Dämmstoffen. Forschungsinstitut für Wärmeschutz, Vorhaben B I 5-800183-4, Gräfelfing 1984.
- [4] Künzel, H., Riedl, G. und Kießl, K.: Langzeituntersuchungen zu Fragen des Feuchteverhaltens und der Haftzugfestigkeit bei Wärmedämmverbundsystemen. IBP-Bericht FtB-5/1996.
- [5] Böhm, H. und Künzel, H.: Feuchtigkeitstechnische Untersuchungen an Wänden mit Vollwärmeschutzsystemen. IBP-Bericht FP-115/1987.
- [6] Künzel, H. M. und Kießl, K.: Feuchte- und Wärmeschutz von Sichtmauerwerk mit und ohne Fassadenhydrophobierung. Mauerwerksbau aktuell 98, S. D. 48–D. 57.
- [7] Künzel, H. M.: Feuchteverhalten von Wärmedämmverbundsystemen auf baufeuchten Außenwänden. IBP-Bericht HTB-4/1996.
- [8] Künzel, H. M. und Gertis, K.: Plattenbausanierung durch Außendämmung. Wie wichtig ist die Dampfdurchlässigkeit des Dämmsystems? IBP-Mitteilung 23 (1996), Nr. 305.