

# Feuchteverhalten von Holzständerkonstruktionen mit WDVS - Sind die Erfahrungen aus amerikanischen Schadensfällen auf Europa übertragbar?

Herrn o. Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. mult. Dr. E.h. mult. Karl Gertis zur Emeritierung gewidmet

Hartwig M. Künzel, Daniel Zirkelbach \*

## 1 Problemstellung

Seit Anfang der sechziger Jahre kommen Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) als Fassadenaußendämmung zur Anwendung. Trotz höherer hygrothermischer Beanspruchung im Vergleich zu herkömmlichen Putzfassaden haben sich WDVS auf massiven Außenwänden nachweislich gut bewährt, wobei Schäden meist sogar seltener auftreten als bei anderen Fassadenkonstruktionen [1, 2]. In den letzten Jahren werden WDVS in Europa auch zunehmend im Holzbau eingesetzt und zwar sowohl zur energetischen Sanierung älterer Fertighäuser als auch im Neubaubereich zur Abminderung der Wärmebrücken durch das Holztragwerk. Im Zusammenhang mit dem Holzbau bestehen bei uns jedoch noch keine langjährigen Erfahrungen.

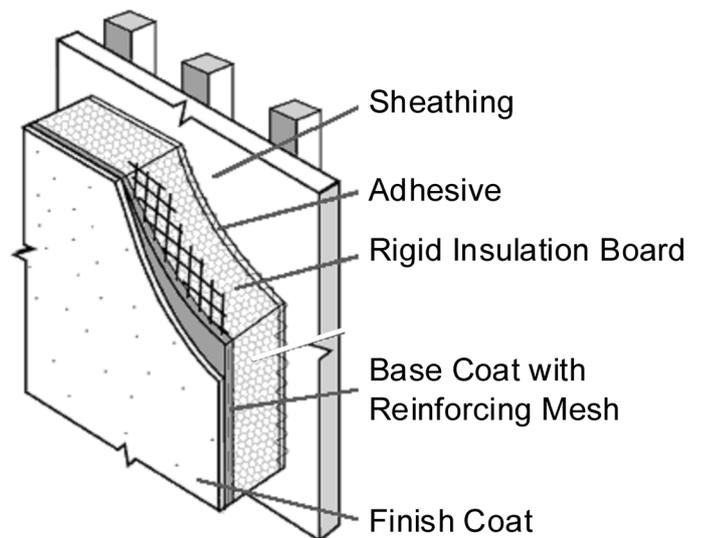
Allerdings sind aus Nordamerika bei WDVS ähnlichen Systemen größere Probleme bekannt geworden. In einigen Küstenregionen sind an einer Vielzahl von Gebäuden mit sog. Exterior Insulation Finish Systems (EIFS) zum Teil massive Feuchteschäden an der darunter liegenden Holzständerkonstruktionen aufgetreten. Trotz der etwas anderen Klimabedingungen in Nordamerika ist das Auftreten von entsprechenden Probleme auch hier in Europa nicht ganz auszuschließen. Deshalb wird zunächst die Situation in Nordamerika genauer analysiert. Anschließend soll mithilfe hygrothermischer Simulationen an ausgewählten Wandaufbauten festgestellt werden, inwieweit die Schadensrisiken unter nordamerikanischen und europäischen Klimabedingungen vergleichbar sind.

## 2 Erfahrungen aus Nordamerika

### 2.1 Aufbau der nordamerikanischen WDVS

Die in Nordamerika üblichen EIFS entsprechen ziemlich genau unseren Wärmedämm-Verbundsystemen. Bild 1 zeigt deren ursprünglichen Aufbau. Den Abschluss der Tragkonstruktion auf den das WDVS mit Hilfe eines Klebers aufgebracht wird, bildet die äußere Beplankung (sheathing), die aus OSB (oriented strand board), Sperrholz, Gipskarton oder Holzfaserplatten bestehen kann. Als Wärmedämmung werden meist Polystyrol- oder Polyurethan-Hartschaumplatten (typische Größe: 60 cm x 120 cm) mit einer Dicke zwischen 19 mm (3/4 inch) und

maximal 100 mm (4 inch) verwendet. Direkt auf die Dämmplatten wird ein polymerdispersionshaltiger Grundputz (base coat) mit der Glasfaserarmierung aufgetragen. Den Abschluss nach außen bildet der Deckputz (finish coat). Grundputz mit Armierung und Deckputz zusammen werden auch als „lamina“ bezeichnet, das bei den sog. „soft coat“ Systemen (PB = polymer based) typischerweise eine Dicke von weniger als 5 mm aufweist. Bei größerer mechanischer Beanspruchung werden zum Teil auch dickere und zementhaltigere Putze, die sog. „hard coat“ Systeme (PM = polymer-modified) appliziert. Zu den bedeutenden Herstellern von WDVS in Nordamerika gehören z.B. die Firmen Dryvit, Sto, Parex, USG, Synergy und Thoro.



**Bild 1:** Typischer Aufbau eines Wärmedämm-Verbundsystems (EIFS) in Nordamerika.

### 2.2 Feuchteschäden durch WDVS in Nordamerika

Mitte der neunziger Jahre sind in Nordamerika die ersten massiven Feuchteschäden im Zusammenhang mit Wärmedämm-Verbundsystemen aufgetreten. Besonders betroffen waren zunächst Gebäude in North Carolina, bald aber auch solche an der Westküste und in anderen feuchtwarmen oder niederschlagsreichen Regionen. Die Schäden betrafen meist das Substrat, also die äußere Beplankung auf die das WDVS aufgebracht wurde. Bilder von verrotteten OSB-Platten oder aufgeweichten Gipsbauplatten haben die Baubranche tief verunsichert und viele Sachverständige und Ursachenforscher auf den Plan gerufen [3]. Eine umfassende Zusammenstellung und Analyse von

\* Dr.-Ing. Hartwig M. Künzel, Dipl.-Ing. Daniel Zirkelbach, Fraunhofer-Institut für Bauphysik

mehr als zehn Untersuchungen mit jeweils zahlreichen Einzelobjekten kommt zu folgenden Ergebnissen [4]:

Die Hauptursache für die Feuchteschäden sind Leckagen im Bereich von Fenstern und Anschlüssen durch die bei Schlagregenbeanspruchung von außen Niederschlagswasser hinter das WDVS gelangen kann. Allerdings kann in Einzelfällen auch durch Konvektion und Dampfdiffusion eindringende Raumluftheuchte zu erhöhten Feuchteverhältnissen in der Wand führen. Verschärfend wirkt sich das geringe Trocknungspotential der betroffenen Holzbauwände aus. Das gilt sowohl für die Austrocknung durch das WDVS (mit diffusionshemmender Hartschaumdämmung) nach außen, als auch für die Trocknungsbehinderung durch die meist vorhandene raumseitige Dampfsperre nach innen.

Als Lösung werden sowohl die Ansträgung von Fassadenöffnungen nach außen als auch die bessere Abdichtung der Anschlüsse durch Klebebänder und Folien (engl. Flashing) empfohlen. Bei stärkerer Schlagregenbeanspruchung wird dränierbaren Systemen der Vorzug gegeben. Diese Systeme erlauben den Abfluss von Wasser, das hinter das WDVS gelangt ist nach unten bis zum Fußpunkt wo es durch eine spezielle Vorrichtung nach außen geleitet wird. Außerdem sollten feuchteempfindliche Beplankungsmaterialien, wie z.B. unbehandelte Gipsbauplatten, nicht unter einem WDVS zum Einsatz kommen. Auch der Austrocknung nach innen kommt offensichtlich eine gewisse Bedeutung zu. Eine rechnerische Analyse [5] zeigt, dass die Verbesserung des Trocknungspotentials zur Raumseite hin durch Weglassen der Dampfsperre oder Einsatz einer feuchteadaptiven Dampfbremse eine gewisse Entspannung der Situation in wärmeren Gebieten bringen kann.

Die in den neunziger Jahren in Nordamerika verstärkt aufgetretenen Feuchteschäden betreffen jedoch nicht nur Gebäude mit Wärmedämm-Verbundsystemen, sondern ganz allgemein Mehrfamilienhäuser in stark schlagregenbeanspruchten Gebieten. Dabei hat sich gezeigt, dass Gebäude mit Putzfassaden einem höheren Schadensrisiko ausgesetzt sind als solche mit konventioneller PVC- oder Holzverschalung [6, 7]. Da in der Regel die Schlagregenbeanspruchung der Auslöser für die Schäden ist, sind Konstruktionen, die nur langsam austrocknen oder das Niederschlagswasser schlechter ableiten bzw. speichern, stärker betroffen. Die Fachwelt in Nordamerika sieht die Lösung dieser Probleme deshalb in einer wesentlichen Verbesserung der Planung und Ausführung von Anschlussdetails im Bereich der Fassaden. Außerdem wird großer Wert auf das Trocknungspotential der Gebäudehülle gelegt. Da selbst bei sorgfältigster Verarbeitung kleinere Leckagen nie ganz auszuschließen sind, ist die Feuchtetoleranz von Baukonstruktionen in den letzten Jahren ein beherrschendes Thema geworden.

Das spiegelt sich auch im Entwurf der neuen ASHRAE-Norm 160P [8] zur feuchtechnischen Planung von Gebäuden wieder. Dort wird gefordert, dass bei der Auslegung von ex-

ponierten Außenwänden das eventuelle Eindringen von Schlagregenfeuchte in die Konstruktion berücksichtigt wird. Falls keine anders lautenden Ergebnisse aus einschlägigen Bewitterungstests vorliegen, soll bei der hygrothermischen Analyse angenommen werden, dass 1% der auf die Fassade auftreffenden Niederschlagsmenge auf der Witterungsschutzbahn (engl. weather-resistive barrier oder besser water-resistive barrier) hinter der Außenbekleidung zugeführt wird. Wenn keine Witterungsschutzbahn vorhanden ist sollen andere infrage kommende Bauteilbereiche für die Deposition dieser Wassermenge gewählt werden. Die Angaben in diesem Normentwurf stellen auch die Basis für die nachfolgenden hygrothermischen Untersuchungen dar.

## 2.3 Vergleich mit Erfahrungen in Europa

Lange Zeit gab es keine Hinweise auf ähnlich gelagerte Feuchteprobleme im Zusammenhang mit Wärmedämm-Verbundsystemen in Europa. Im Gegenteil, diese Systeme haben sich bei uns, wie bereits eingangs erwähnt, sehr gut bewährt [1, 2]. Selbst die Autoren eines Buches über Schäden an WDVS weisen in ihrem Vorwort darauf hin, dass „gravierende Schäden bzw. symptomatische Schadensbilder nicht allzu häufig auftreten“ [9]. Im Gegensatz zu Nordamerika werden in Deutschland WDVS ausschließlich als komplettes System angeboten und getestet, da jeder Hersteller für seine Systeme eine entsprechende bauaufsichtliche Zulassung des DIBt benötigt. Die damit verbundene Einweisung und Schulung der Verarbeiter sichert ein relativ hohes Niveau der Ausführung. Gleichzeitig garantiert die Zulassung, dass nur aufeinander abgestimmte Systemkomponenten verwendet werden.

Das allein kann die Unterschiede in der Schadenshäufigkeit zwischen Nordamerika und Europa jedoch nicht erklären. Vielmehr ist anzunehmen, dass auch der unterschiedliche Aufbau der Außenwände eine große Rolle spielt. Während in Nordamerika meist relativ dünne WDVS (Dämmschichtdicke i.d.R. 1 - 2 inch  $\approx$  25 - 50 mm) auf die Außenbeplankung von Holz- oder Metallständerwerk aufgebracht werden, bestehen die Unterkonstruktionen bei uns meist aus Mauerwerk oder Beton. Kleinere Leckagen spielen hier keine Rolle, da sowohl das Mauerwerk als auch der Beton relativ feuchteunempfindlich sind. Auch der in Mitteleuropa übliche Holztafelbau unterscheidet sich von den nordamerikanischen Konstruktionen, die in der Regel vor Ort aufgeschlagen werden. Durch die in Mitteleuropa übliche Vorfertigung im Werk ist eine höhere Ausführungsqualität erzielbar.

Diese Randbedingungen reduzieren zwar die Schadensanfälligkeit von Holzbauwänden mit WDVS. Sie schließen Feuchteschäden jedoch nicht völlig aus, wie die Beispiele in [10] und [11] zeigen. Besonders das aktuelle Beispiel in [11] erinnert sehr an die nordamerikanischen Probleme. Dort hat das Regenwasser wegen einer mangelhaften Abdichtung im Bereich der Fensterbank die OSB-Plat-

te unter dem WDVS stark durchfeuchtet. Es ist daher an der Zeit, auch bei uns Untersuchungen zur Feuchtetoleranz von Holzkonstruktionen mit Wärmedämm-Verbundsystemen durchzuführen.

### 3 Durchführung der rechnerischen Untersuchung

An ausgewählten Wandaufbauten werden die hygrothermischen Verhältnisse mit Hilfe des am Fraunhofer-Institut für Bauphysik entwickelten Verfahrens zur Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen WUFI® untersucht [12]. Dieses Rechenverfahren wurde bereits vielfach experimentell validiert, unter anderem auch für die Anwendung bei Wärmedämm-Verbundsystemen (z.B. in [13]). Für die nachfolgenden Berechnungen wird die eindimensionale Version des Programms verwendet.

#### 3.1 Aufbau der untersuchten Konstruktionen

Auf eine Holztafelkonstruktion mit Mineralfaserkern-dämmung wird außen ein WDVS jeweils mit Mineralwolle-dämmung (MW) und Expandiertem Polystyrol (EPS) aufgebracht. Auf der Innenseite kommt entweder eine Dampfbremse mit einem konstanten sd-Wert von 20 m (Polyethylenfolie) oder eine feuchteadaptive Dampfbremse mit variablem sd-Wert zwischen 0,15 und 4 m (Vario KM Duplex) zum Einsatz. Als äußere Bepunktung werden zwei typische Vertreter der Holzwerkstoffe ausgewählt, zum einen OSB-Platten, die eine eher geringe Dampfdurchlässigkeit besitzen und zum anderen diffusionsoffene MDF-Platten. Der Aufbau der Konstruktion von außen nach innen gestaltet sich demnach wie folgt:

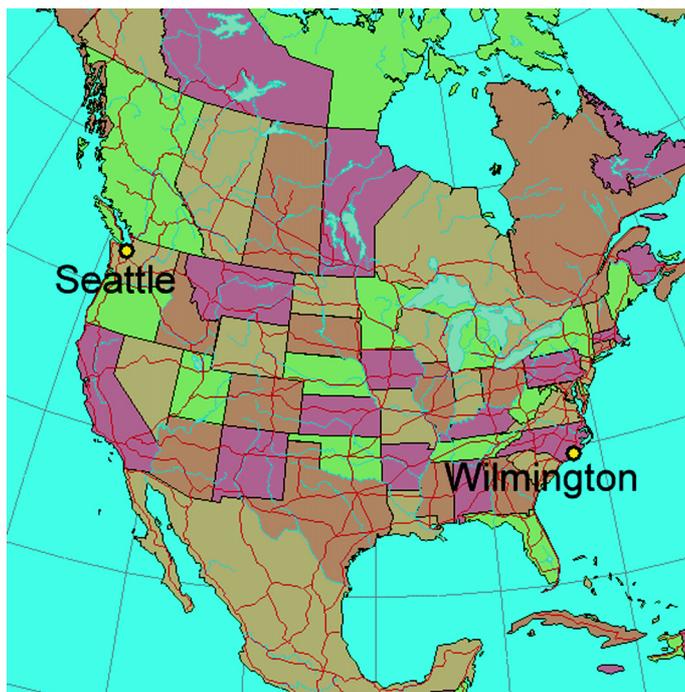
- 10 mm mineralischer Außenputz
- 60 mm Wärmedämmung aus MW oder EPS
- 15 mm OSB oder MDF
- 160 mm MW Gefachdämmung
- Dampfbremse: Vario KM Duplex oder Polyethylenfolie mit sd-Wert 20 m
- 40 mm Luftschicht (Installationsebene)
- Gipsfaserplatte (raumseitige Bekleidung)

Die hygrothermischen Stoffkennwerte und -funktionen der einzelnen Bauteilschichten werden der WUFI®-Materialdatenbank entnommen. Die kurzzeitige Strahlungsabsorptionszahl der äußeren Putzoberfläche liegt bei 0,4 was für eine weiße bzw. sehr helle Farbe charakteristisch ist.

#### 3.2 Auswahl der klimatischen Randbedingungen

Zunächst werden repräsentative meteorologische Randbedingungen für die nordamerikanischen Klimaregionen zugrunde gelegt, wo anfangs die größten Probleme aufgetreten sind. Stellvertretend für North Carolina an der Ostküste der Vereinigten Staaten werden die Klimadaten von Wilmington aus der WUFI®-Datenbank gewählt. Für die

regenreichen Regionen der Westküste werden die Klimadaten von Seattle (Washington State) verwendet. Zum Einsatz kommen hier jeweils die feuchtetechnisch etwas ungünstigeren Wetterdaten eines kalten Jahres (das kälteste aus zehn Jahren gemäß [14]). Bild 2 zeigt die geographische Lage beider Städte und Tabelle 1 gibt einen kurzen Überblick über die durchschnittlichen Klimaverhältnisse an diesen Standorten. Während die Jahresmittelwerte der Luftfeuchte mit etwas über 70 % r.F. sich die Waage halten, sind die Temperaturen in Wilmington im Sommer mit ca. 25 °C deutlich höher als in Seattle (19 °C). Der aus feuchtetechnischer Sicht wichtigste Unterschied besteht jedoch in der Schlagregenbeanspruchung. Während in Wilmington pro Jahr etwa 190 Liter Schlagregen auf einen Quadratmeter Fassadenoberfläche treffen, sind es in Seattle über 30% mehr (ca. 250 l/m²a). Nicht zu vernachlässigen ist auch die Hauptorientierung der Schlagregenbeanspruchung. In Seattle kommt die in Tabelle 1 aufgeführte Schlagregenmenge aus Norden, wo wegen geringer solarer Einstrahlung die ungünstigsten Trocknungsbedingungen herrschen, während in Wilmington hauptsächlich die Südfassaden vom Schlagregen betroffen sind.

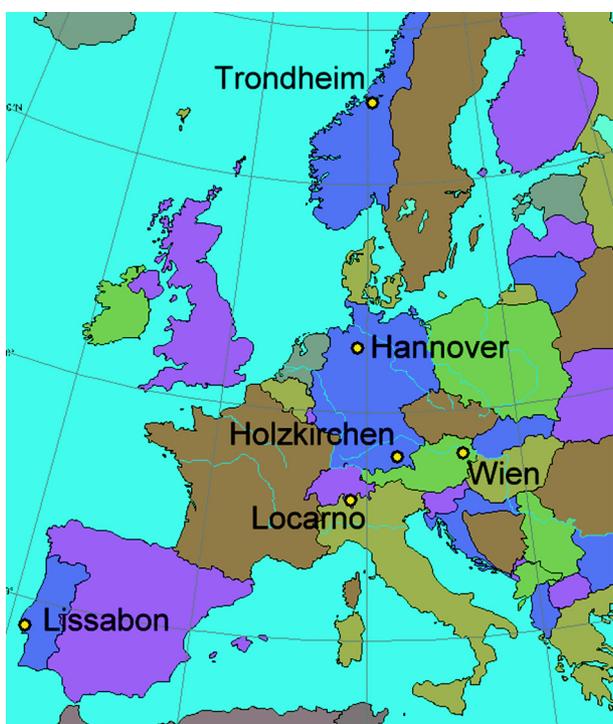


**Bild 2:** Für die Simulationen ausgewählte Klimastandorte in Nordamerika

	Schlagregen Jahressumme (Fassadenorientierung)	Relative Luftfeuchte Jahresmittel	Temperaturen (Mittelwerte)		
			Jahr	Januar	Juli
Wilmington	186 l/m²a (Süd)	73%	16,1 °C	5,7 °C	24,9 °C
Seattle	245 l/m²a (Nord)	72%	10,4 °C	3,9 °C	19,0 °C
Hannover	160 l/m²a (West)	80%	8,6 °C	-0,1 °C	17,1 °C
Holzkirchen	413 l/m²a (West)	81%	6,4 °C	-2,5 °C	17,8 °C
Lissabon	193 l/m²a (West)	75%	15,6 °C	9,8 °C	20,7 °C
Locarno	133 l/m²a (Ost)	72%	11,5 °C	2,1 °C	22,2 °C
Trondheim	266 l/m²a (West)	88%	5,4 °C	-0,9 °C	13,6 °C
Wien	112 l/m²a (West)	73%	10,4 °C	0,1 °C	20,6 °C

**Tabelle 1:** Zusammenstellung der Klimadaten der ausgewählten Standorte in Nordamerika und Europa. Die Mengenangaben zum Schlagregen beziehen sich auf die in Klammern angegebene Fassadenorientierung mit der größten Schlagregenbeanspruchung.

Da in Europa wegen der geringeren Verbreitung von WDVS auf Holzkonstruktionen bislang keine regionale Schadhäufung stattgefunden hat, ist die Auswahl der Klima-Standorte hier eher willkürlich. Als bekanntermaßen feuchtetechnisch extremes Klima für deutsche Verhältnisse gilt das Jahr 1991, gemessen am Standort der IBP-Freilandversuchsstelle am Alpenrand in Holzkirchen. Als Vertreter der norddeutschen Tiefebene fällt die Wahl auf Hannover, dessen meteorologische Daten den alten deutschen Test-Referenzjahren entnommen werden [15] (die neuen Test-Referenzjahre des DWD enthalten leider keinen Niederschlag mehr und sind deshalb hier nicht geeignet). Die weiteren europäischen Standorte in den verschiedenen Himmelsrichtungen, Locarno im Westen, Wien im Osten, Trondheim im Norden und Lissabon im Süden werden weitgehend aufgrund ihrer Verfügbarkeit ausgewählt. Ihre genaue geographische Lage ist in Bild 3 dargestellt.



**Bild 3:** Für die Simulationen ausgewählte Klimastandorte in Europa

Der Vergleich der mittleren Klimadaten in Tabelle 1 mit den amerikanischen Standorten zeigt folgendes: Die Schlagregenintensität an der Fassade ist in Holzkirchen und Trondheim am höchsten und liegt noch über den Werten von Seattle. Lissabon liegt zwischen Seattle und Wilmington, alle anderen europäischen Standorte erreichen nur zwischen 60% und 85% der Schlagregenmengen von Wilmington. Die Hauptschlagregenorientierung der europäischen Standorte ist Westen. Die einzige Ausnahme bildet Locarno, wo die größte Schlagregenmenge, wegen der umliegenden Berge, aus Richtung Osten kommt. Die Unterschiede in der mittleren relativen Luftfeuchte sind gering; sie betragen maximal 16 % zwischen dem feuchtesten (Trondheim 88 % r.F.) und dem trockensten (Locarno 72 % r.F.) Standort. Die sommerlichen Höchstwerte der Temperaturen von Wilmington werden an den

europäische Standorten nicht erreicht, im Jahresmittel kommen die Verhältnisse in Lissabon jedoch recht nahe heran. Im Mittel am kältesten ist naturgemäß die norwegische Stadt Trondheim (Jahresmittel 5,4 °C), allerdings dicht gefolgt von Holzkirchen (6,4 °C).

Im Innenraum werden normale Wohnraumverhältnisse vorausgesetzt. Vereinfachend werden einheitlich für alle Standorte sinusförmige Verläufe von Raumlufttemperatur und -feuchte angenommen, die im jahreszeitlichen Rhythmus zwischen 20 °C bzw. 40 % r.F. im Winter und 22 °C bzw. 60 % r.F. im Sommer variieren. Die angesetzten Wärmeübergangskoeffizienten von 17 W/m<sup>2</sup>K außen und 8 W/m<sup>2</sup>K innen entsprechen den Erfahrungswerten aus Freilandversuchen bzw. einschlägigen Richtlinien.

### 3.3 Berücksichtigung von Leckagen durch Fehlstellen

Der ASHRAE Standard 160P sieht für eine Beurteilung des hygrothermischen Verhaltens von WDVS auf Holzständerkonstruktionen vor, dass zur Überprüfung des Austrocknungspotentials bei unplanmäßig eindringender Feuchte 1 % des auf der Bauteiloberfläche auftretenden Schlagregens hinter dem WDVS der Unterkonstruktion zugeführt wird. Dies soll der Tatsache Rechnung tragen, dass im Anschlussbereich z.B. von Fenstern immer gewisse Undichtheiten der Konstruktion auftreten. Dieser Ansatz kann mit der neuesten Version von WUFI® Pro (4.1) berücksichtigt werden. Daher werden neben den oben genannten konstruktiv und standortbedingten Varianten auch jeweils Berechnung mit und ohne Feuchteeintrag hinter dem WDVS betrachtet. Die Orientierung der Fassaden erfolgt an den verschiedenen Standorten jeweils in die Richtung mit der stärksten Schlagregenbelastung.

Die Berechnungen beginnen vor der Tauperiode im Oktober und werden über einen Zeitraum von drei Jahren durchgeführt wobei jeweils derselbe Klimadatensatz mehrmals hintereinander durchlaufen wird. Die Anfangsfeuchte in den einzelnen Materialien entspricht der Gleichgewichtsfeuchte bei 80 % relativer Luftfeuchte, die sich bei der Lagerung von Baumaterialien in offenen Hallen oder auf der Baustelle bei ausreichendem Regenschutz einstellt.

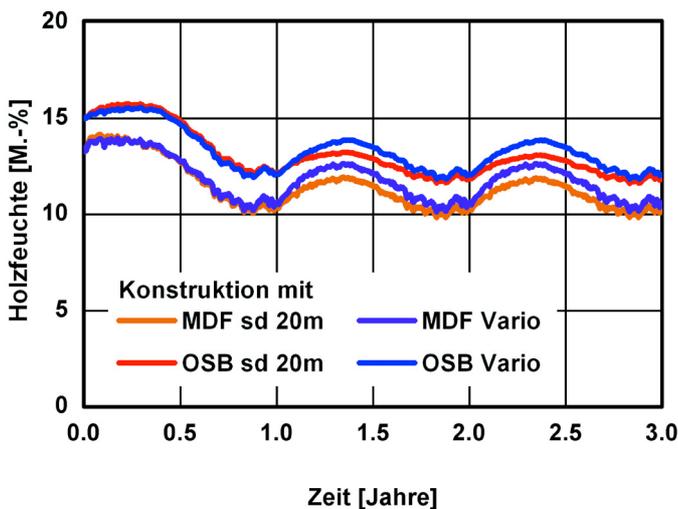
## 4 Untersuchungsergebnisse

Die Erfahrungen aus den USA haben gezeigt, dass bei Schäden der kritischste Bereich die äußere Beplankung unter dem WDVS ist. Daher werden die Ergebnisse anhand der Holzfeuchte in diesem Bereich dargestellt. Da es sich bei OSB- und MDF-Platten um feuchteempfindliche Holzwerkstoffe handelt, sollte deren Wassergehalt nicht über 20 M-% ansteigen.

## 4.1 Standorte in Nordamerika

### Wilmington

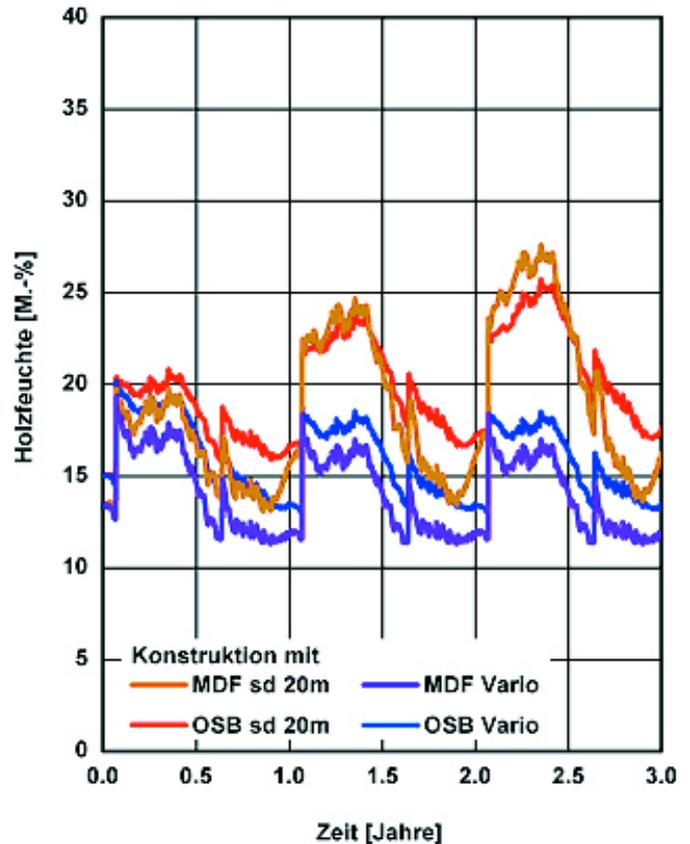
Bild 4 zeigt den Verlauf der Holzfeuchte in den beiden Beplankungen am Standort Wilmington jeweils bei Verwendung der feuchteadaptiven und der konventionellen Dampfbremse bei Annahme einer einwandfrei ausgeführten, regendichten Konstruktion. Im WDVS kommt hier eine EPS-Dämmung zum Einsatz. Die Holzfeuchte in den OSB-Platten liegt zu Beginn der Berechnung entsprechend der gewählten Anfangsfeuchte bei etwa 15 M.-%. Im ersten Winter ist ein leichter Anstieg auf knapp 16 M.-% zu verzeichnen, in den folgenden Jahren bewegt sich die Feuchte zwischen etwa 12,5 M.-% im Sommer und 14 M.-% im Winter. Entsprechend der etwas niedrigen Feuchtespeicherfähigkeit der MDF-Platten liegt hier die Anfangsfeuchte bei 14 M.-%; die Werte im eingeschwungenen Zustand bewegen sich dann zwischen 10 M.-% im Sommer und 12 bis 13 M.-% im Winter. Eine vollständig Regendichtheit vorausgesetzt stellt sich die Konstruktion somit für alle Varianten als völlig unkritisch dar. Die Feuchten liegen mit maximal etwa 15 M.-% im für Holzmaterialien hygrothermisch günstigen Bereich. Bei Verwendung von Mineralwolle anstelle von EPS ergibt sich ein weitgehend identisches Ergebnis (nicht dargestellt).



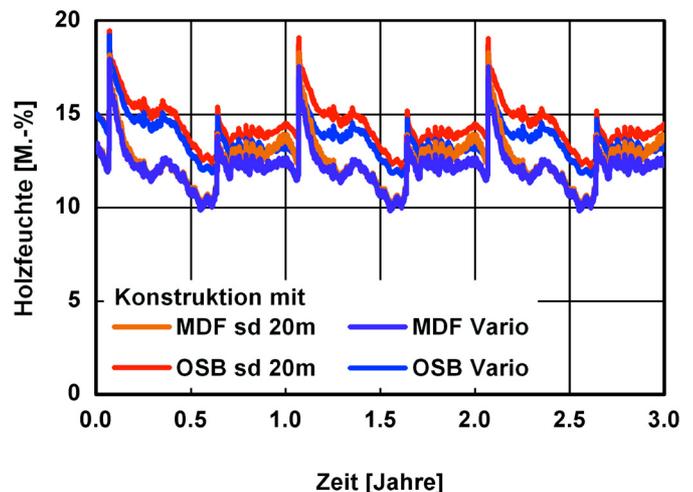
**Bild 4:** Außenwand am Standort Wilmington (North Carolina) mit WDVS aus EPS ohne Leckagen. Im Oktober beginnende Berechnung des zeitlichen Verlaufs der Holzfeuchte in der Beplankung unter dem WDVS (OSB- oder MDF-Platte) bei Verwendung der Dampfbremse Vario KM Duplex bzw. einer PE-Folie mit einem sd-Wert von 20 m.

In einem zweiten Schritt wird die Annahme einer perfekt abgedichteten Konstruktion durch normierte Leckagen gemäß [8] ersetzt, d.h. 1 % des an der Oberfläche ankommenden Schlagregens wird der Unterkonstruktion hinter dem WDVS zugeführt. Wie die Rechenergebnisse in Bild 5 zeigen können sich dadurch bei der Variante mit EPS-Dämmung deutlich höhere Holzfeuchtwerte einstellen, da eine Trocknung der eindringenden Feuchte nach außen infolge des hohen Diffusionswiderstands des Dämmmaterials nur in geringem Umfang möglich ist. Allerdings stellt hier nur die Kombination von WDVS (auf der Basis von EPS) mit

einer entsprechend dichten raumseitigen Dampfbremse (PE-Folie mit  $s_d = 20 \text{ m}$ ) der Holzkonstruktion ein Problem dar, da diese auch eine Trocknung nach innen verhindert. Hier ist von Winter zu Winter ein kontinuierlicher Anstieg der Holzfeuchte sowohl in der OSB-Platte als auch in der MDF-Platte von anfänglich knapp 15 M.-% auf gut 25 M.-% im dritten Jahr festzustellen (vgl. Bild 5).



**Bild 5:** Außenwand am Standort Wilmington (North Carolina) mit WDVS aus EPS mit Leckagen, d.h. über Undichtheiten der Konstruktion gelangt 1 % des außen auftreffenden Schlagregens auf die Beplankung hinter der WDVS Dämmung. Im Oktober beginnende Berechnung des zeitlichen Verlaufs der Holzfeuchte in der Beplankung unter dem WDVS (OSB- oder MDF-Platte) bei Verwendung der Dampfbremse Vario KM Duplex bzw. einer PE-Folie mit einem sd-Wert von 20 m.



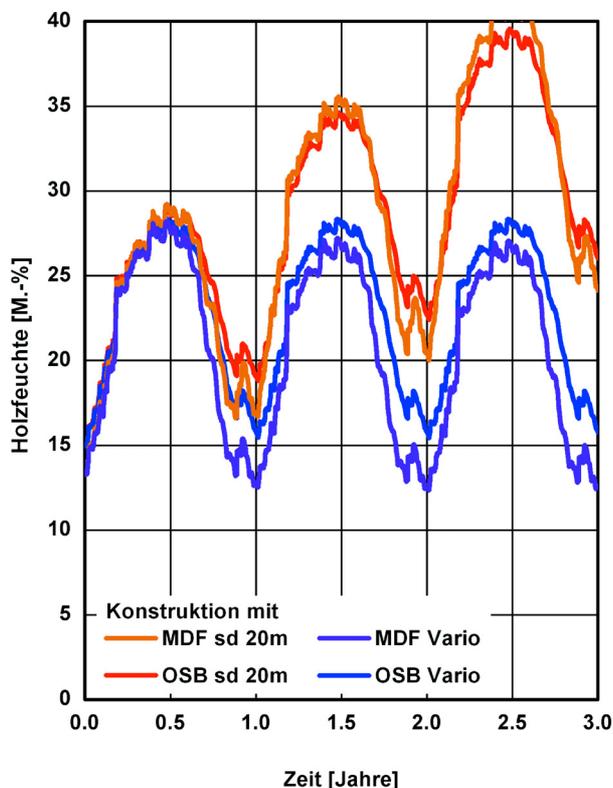
**Bild 6:** Außenwand am Standort Wilmington (North Carolina) mit WDVS aus Mineralwolle mit Leckagen. Im Oktober beginnende Berechnung des zeitlichen Verlaufs der Holzfeuchte in der Beplankung unter dem WDVS (OSB- oder MDF-Platte) bei Verwendung der Dampfbremse Vario KM Duplex bzw. einer PE-Folie mit einem sd-Wert von 20 m.

Die Verwendung der feuchteadaptiven Vario KM Duplex anstatt einer PE-Folie führt dagegen nur zu einem maximalen Anstieg der Holzfeuchte bis auf ca. 18 M.-% im dritten Winter, ohne dass es langfristig zu einer Feuchteakkumulation wie im vorangegangenen Fall kommt. Dies ist durch das in Richtung Innenraum gesteigerte Trocknungspotential unter sommerlichen Verhältnissen beim Einsatz dieser Dampfbremse zu erklären. Wird die EPS Dämmung des WDVS durch eine diffusionsoffene Mineralwollendämmung ersetzt, ist auch das Trocknungspotential nach außen ausreichend groß, um die Holzfeuchte in der Beplankung unabhängig von der Wahl der Dampfbremse ganzjährig unterhalb von 20 M.-% zu halten (siehe Bild 6).

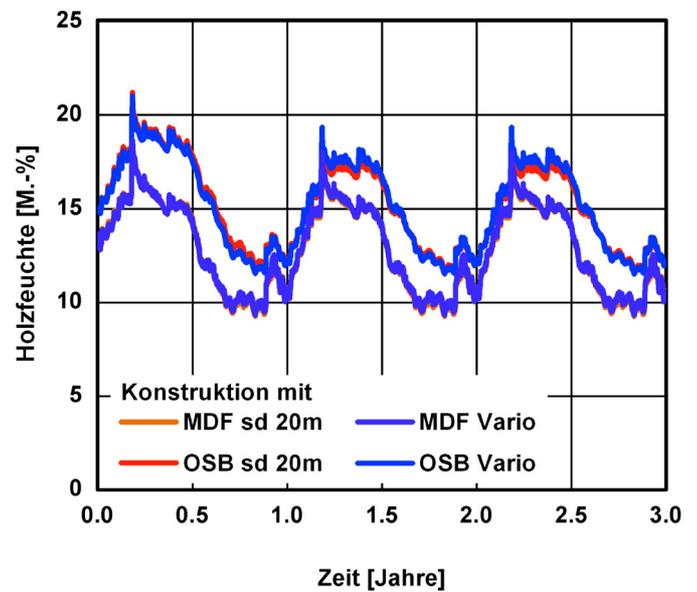
## Seattle

In Seattle unterscheiden sich die Ergebnisse für die Holzfeuchte in der Beplankung bei den absolut regendichtesten Konstruktionen (keine Leckagen im Bereich von Anschlüssen, etc.) nicht von denen in Wilmington. Deshalb werden sie hier nicht eigens dargestellt. Bei allen untersuchten Varianten stellen sich dauerhaft Holzfeuchten unterhalb von 15 M.-% ein. Dieses Ergebnis bestätigt die Theorie vom feuchtetechnisch positiven Effekt einer Außendämmung.

Unter der Annahme von Leckagen gemäß [8] sind die Ergebnisse aufgrund der höheren Schlagregenbeanspruchung und schlechteren Trocknungsbedingungen jedoch deutlich ungünstiger, wie Bild 7 zu entnehmen ist. Die außenseitige



**Bild 7:** Außenwand am Standort Seattle mit WDVS aus EPS mit Leckagen. Im Oktober beginnende Berechnung des zeitlichen Verlaufs der Holzfeuchte in der Beplankung unter dem WDVS (OSB- oder MDF-Platte) bei Verwendung der Dampfbremse Vario KM Duplex bzw. einer PE-Folie mit einem sd-Wert von 20 m.



**Bild 8:** Außenwand am Standort Seattle mit WDVS aus Mineralwolle mit Leckagen. Im Oktober beginnende Berechnung des zeitlichen Verlaufs der Holzfeuchte in der Beplankung unter dem WDVS (OSB- oder MDF-Platte) bei Verwendung der Dampfbremse Vario KM Duplex bzw. einer PE-Folie mit einem sd-Wert von 20 m.

EPS-Dämmung ermöglicht der zusätzlich eingedrungene Regenfeuchte nur ein geringes Austrocknungspotential nach außen, d.h. die Feuchte bleibt im Winter im Bereich der Beplankung. Nach innen kann die Feuchte nur im Fall der feuchteadaptiven Dampfbremse austrocknen. Allerdings ergeben sich beim Einsatz der Vario KM Duplex trotz akzeptabler Werte im Sommer zu hohe Beplankungsfeuchten im Winter. Im Gegensatz zur Variante mit PE-Folie schaukelt sich die Feuchte über die Jahre jedoch nicht auf. Die kontinuierliche Feuchtezunahme beim Einsatz einer PE-Folie, wo bereits im zweiten Sommer die 20 M.-% nicht mehr unterschritten werden kann als Erklärung für die tatsächlich aufgetretenen Feuchteschäden dienen. Dieses Beispiel zeigt auch, dass sich durch die Annahmen im Entwurf der ASHRAE-Norm 160P [8] die in der Praxis aufgetretenen Probleme nachvollziehen lassen.

Würde anstatt von EPS, Mineralwolle als WDVS-Dämmung verwendet (unüblich in Nordamerika), könnte die zusätzlich eindringende Feuchte durch den sehr diffusionsoffenen Dämmstoff nach außen wieder abgegeben werden. Das zeigen auch die entsprechenden Verläufe in Bild 8. Unabhängig von Beplankungstyp und Dampfbremse bleiben die Holzfeuchtwerte ganzjährig unter 20 M.-%.

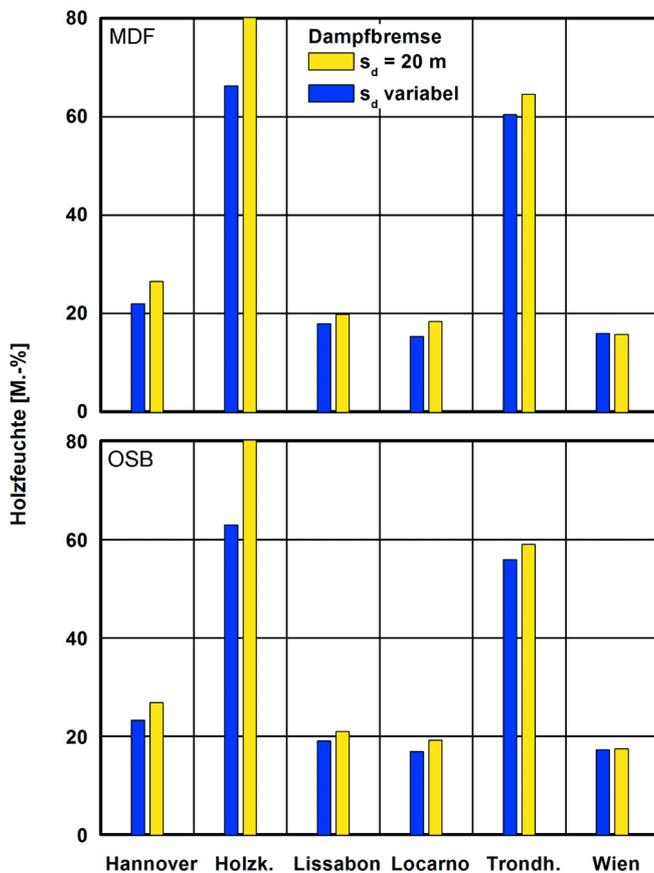
## 4.2 Europäische Standorte

Die für Europa ausgewählten fünf Standorte in verschiedenen Ländern sind: Hannover, Holzkirchen (bayerisches Alpenvorland), Lissabon, Locarno (Lago Maggiore), Trondheim (Norwegen) und Wien (siehe Karte in Bild 3).

Die Konstruktionen ohne Fehlstellen erweisen sich wie bereits an den beiden amerikanischen Standorten bei allen Varianten als unkritisch und werden daher nicht eigens dargestellt. Die Verläufe entsprechen jenen in Bild 4. Die Er-

gebnisse für die Konstruktionen mit Leckagen gemäß [8] werden im Folgenden nicht mehr in ihrem Verlauf gezeigt, sondern nur noch die maximalen Holzfeuchtwerte für den Dreijahreszeitraum angegeben, da sich gezeigt hat, dass bei Maximalwerten unter 20 M.-% auch keine langfristige Feuchteakkumulation auftritt. Somit sind alle Varianten, bei denen der Maximalwert 20 M.-% nicht übersteigt, in Ordnung, während solche, die deutlich darüber liegen, keine ausreichende Feuchtetoleranz gegenüber Fehlstellen besitzen.

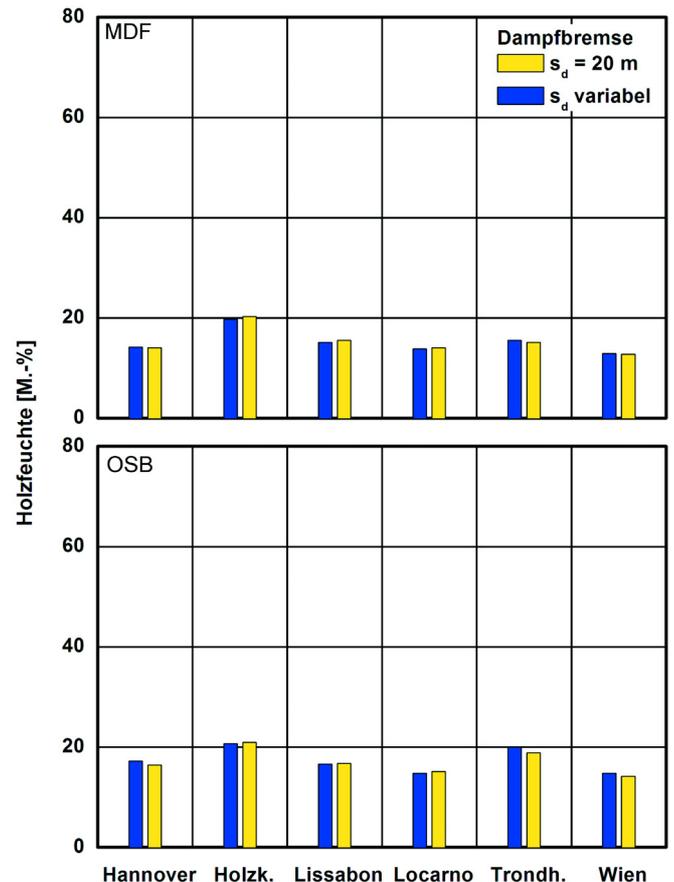
Für die Konstruktionen mit EPS-Dämmung im WDVS sind die auftretenden Maximalwerte der Holzfeuchte in der äußeren Beplankung in Bild 9 dargestellt. Das obere Balkendiagramm zeigt die Werte für die Beplankung aus MDF- und das untere für die aus OSB-Platten. Die höchsten Holzfeuchten sind mit 60 M.-% bis über 80 M.-% für beide Beplankungen am Standort Holzkirchen zu beobachten. Hier tritt mit 413 l/m<sup>2</sup>a auch die höchste Schlagregenbelastung auf. Etwas niedriger aber ebenfalls sehr ungünstig sind die maximalen Holzfeuchtwerte der Beplankung in Trondheim, die um 60 M.-% liegen. Auch in Hannover werden bei einer Schlagregensumme von 160 l/m<sup>2</sup>a die kritischen 20 M.-% im Winter überschritten. Die übrigen Standorte Lissabon, Locarno und Wien weisen dagegen Holzfeuchten der Beplankung auf, die die kritischen Werte nicht oder nur minimal (Lissabon) überschreiten.



**Bild 9:** Außenwand an verschiedenen europäischen Standorten mit WDVS aus EPS mit Leckagen. Maximalwert der im dritten Jahr in den beiden Beplankungen aus MDF (oben) und OSB (unten) auftretenden Holzfeuchte in Abhängigkeit von der Wahl Dampfbremse (Vario KM oder Polyethylenfolie mit konstantem  $s_d$ -Wert von 20 m).

Der Einfluss der beiden verschiedenen Beplankungen ist dabei trotz eines um den Faktor zehn unterschiedlichen Diffusionswiderstands nur gering - die Varianten mit der dichteren OSB-Platte weisen etwas niedrigere Feuchtegehalte auf als die Varianten mit MDF-Platten. Der Einfluss der verwendete Dampfbremsen ist zwar erkennbar, die Verbesserung durch die feuchteadaptive Dampfbremse ist aber weniger entscheidend als z.B. in Wilmington. Bei extremer Schlagregenbeanspruchung, wie in Holzkirchen und Trondheim versagen alle Varianten mit EPS-Dämmung völlig. Auch in Hannover sind die maximalen Feuchtegehalte zu hoch, wobei eine ähnliche Tendenz wie in Seattle festzustellen ist, d.h. eine kontinuierliche Feuchtezunahme bei den Varianten mit PE-Folie und ein Einpendeln auf höherem Niveau bei den Varianten mit der feuchteadaptiven Dampfbremse.

Die maximalen Beplankungsfeuchten für die Varianten mit einem WDVS auf der Basis von Mineralwolle sind in Bild 10 dargestellt. An allen Standorten bleiben die untersuchten Varianten im Wesentlichen im unkritischen Bereich unterhalb von 20 M.-% da das diffusionsoffene Dämmmaterial eine gute Trocknung der zusätzlich eindringenden Regenfeuchte nach außen ermöglicht. Der Einfluss der verschiedenen Beplankungsmaterialien und Dampfbremsen bleibt dabei insgesamt vernachlässigbar.



**Bild 10:** Außenwand an verschiedenen europäischen Standorten mit WDVS aus Mineralwolle mit Leckagen. Maximalwert der im dritten Jahr in den beiden Beplankungen aus MDF (oben) und OSB (unten) auftretenden Holzfeuchte in Abhängigkeit von der Wahl Dampfbremse (Vario KM oder Polyethylenfolie mit konstantem  $s_d$ -Wert von 20 m).

## 5 Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerung

Die Ergebnisse zeigen, dass bei sorgfältiger Planung und Ausführung - also ohne das Eindringen von Niederschlagswasser durch Fehlstellen in die Konstruktion - keinerlei Probleme bei der Anwendung von Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS) im Holzbau zu erwarten sind. Das gilt für alle untersuchten Standorte gleichermaßen. Setzt man jedoch das Vorhandensein von Leckagen voraus, indem man gemäß den nordamerikanischen Normvorgaben ein Prozent des auf die Fassade auftreffenden Schlagregens der Beplankung unter dem WDVS zuführt, ergibt sich ein ganz anderes Bild. Jetzt entscheidet in erster Linie das Austrocknungspotential über die langfristige Feuchte der als Substrat für das WDVS dienenden äußeren Beplankung der Holzkonstruktion. Unter diesen ungünstigen Bedingungen - die allerdings bei Verarbeitungsfehlern auftreten können - ergibt sich bei entsprechender Schlagregenbeanspruchung ein erhöhtes Feuchteschadensrisiko für Fassaden mit WDVS auf EPS-Basis.

Der Einsatz einer feuchteadaptiven Dampfbremse, wie der ISOVER Vario Duplex erhöht zwar das Austrocknungspotential nach innen und verbessert dadurch die Situation etwas. Aber nur an wenigen Standorten, wie z.B. Wilmington ist der Vorteil gegenüber einer Polyethylenfolie so groß, dass dauerhaft unkritische Verhältnisse in der Konstruktion erreicht werden. Das heißt, eine feuchteadaptive Dampfbremse kann in der Regel eine schlechte Verarbeitung nur unzureichend kompensieren. Die Berechnungen zeigen aber auch, dass ihr Einsatz durchaus eine positive Wirkung hat. Bei kleineren Fehlstellen ist daher von einem spürbaren Vorteil gegenüber konventionellen Dampfbremsen auszugehen.

Die in Nordamerika bislang unüblichen mineralischen Wärmedämm-Verbundsysteme (Dämmschicht aus Mineralwolle) verleihen der Konstruktion ein derart großes Trocknungspotential, dass an allen untersuchten Standorten trotz Leckagen keine Feuchteschäden zu erwarten sind. Eine zusätzliche Austrocknung der Niederschlagsfeuchte nach innen ist hier nicht unbedingt erforderlich. Das heißt, der Einsatz einer konventionellen Dampfbremse hat in diesem Fall offensichtlich keine Nachteile für die äußere Beplankung, zumindest solange kein ausgeprägter Umkehrdiffusionsstrom nach innen entsteht.

Während die hier gewählten Klimabedingungen für Deutschland als einigermaßen repräsentativ für Gebiete mit hoher Schlagregenbeanspruchung gelten können, ist das bei den beiden nordamerikanischen Standorten nur bedingt der Fall. Sie repräsentieren lediglich zwei Klimaregionen an der West- und Ostküste wo viele Schadensfälle mit den untersuchten Konstruktionen aufgetreten sind. Umgekehrt mag die angenommene Leckagerate repräsentativ für den Bau der neunziger Jahre in Nordamerika sein, während in Deutschland aufgrund der Systemanforderungen von einem höheren Qualitätsniveau ausgegangen werden kann. Dennoch sollten die Erfahrungen aus Nordamerika als Warnung dienen. Der Einsatz von WDVS mit Polystyrol-Hartschaumplatten im Holzbau birgt ein gewisses Restrisiko dem durch eine sorgfältige Verarbeitung und Detailplanung vorzubeugen ist. Ob in diesem Zusammenhang dränierbare

Systeme helfen können, das Feuchteschadensrisiko zu reduzieren, muss die Zukunft zeigen. In Nordamerika werden zum Teil bereits Systeme eingesetzt, die Vorrichtungen besitzen, um eindringendes Niederschlagswasser hinter den WDVS-Dämmplatten abzuleiten und nach außen zu führen.

## 6 Literatur

- [1] Künzel, H.: Warum sich Wärmedämm-Verbundsysteme durchgesetzt haben - Vergleiche mit anderen Wandkonstruktionen. Bauphysik 20 (1998), H. 1, S. 2-8.
- [2] Künzel, H.M., Künzel, H. & Sedlbauer, K.: Hygrothermische Beanspruchung und Lebensdauer von Wärmedämm-Verbundsystemen. Bauphysik 28 (2006), H. 3, S. 153-163.
- [3] Nisson, N. & Best, D.: Exterior Insulation and Finish Systems. Compilation of articles from EDU-Newsletter, Cutter Information Corp., Arlington 1999.
- [4] Cheple, M. & Huelman, P.: Literature Review of Exterior Insulation Finish Systems and Stucco Finishes. Report MNDC/RP B80-0130, University of Minnesota 2000.
- [5] Karagiozis, A. & Kumaran, K.: Drying Potential of EIFS Walls: Innovative Vapor Control Strategies. STP 1339, American Society for Testing and Materials (ASTM), West Conshohocken 1997.
- [6] Lawton, M.: Vancouver's Rotting Condominium Problem - How Did We Get into This Mess? Journal of Thermal Envelope & Building Science vol. 22 (1999), pp 356-363.
- [7] Rousseau, M.: An Overview of the Survey of Building Envelope Failures in the Coastal Climate of British Columbia. Journal of Thermal Envelope & Building Science vol. 22 (1999), pp 364-367.
- [8] BSR/ASHRAE Standard 160P: Design Criteria for Moisture Control in Buildings. Public review draft Sept. 2006.
- [9] Cziesielski, E. & Vogdt, U.: Schäden an Wärmedämm-Verbundsystemen. Schadenfreies Bauen Band 20, Hrsg. Günter Zimmermann, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2000.
- [10] Schulze, H. & Radovic, B.: Zweigeschossiges Holzhaus mit Wärmeeis-Wärmedämm-Verbundsystem; Putzschäden im Bereich der Geschossdecke. Deutsches Architektenblatt 1/1992, S. 123.
- [11] Schumacher, R.: Außenwand aus Holztafeln mit Wärmedämmverbundsystem - Feuchteschaden wegen fehlerhaftem Sohlbankeinbau. Der Bausachverständige 6/2006, S. 14-16.
- [12] Künzel, H.M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation Universität Stuttgart 1994.
- [13] Künzel, H.M.: Austrocknung von Wandkonstruktionen mit Wärmedämm-Verbundsystemen. Bauphysik 29 (1998), H. 1, S. 18-23.
- [14] Sanders, C.: Environmental Conditions. Final report vol. 2, IEA-Annex 24 Heat Air and Moisture Transfer in Insulated Envelope Parts (HAMTIE), Leuven 1996.
- [15] Blümel, K. et al.: Die Entwicklung von Testreferenzjahren (TRY) für Klimaregionen der Bundesrepublik Deutschland. BMFT-Forschungsbericht T - 86-051, 1986.