

Einsatz von Wärmedämm-Verbundsystemen in anderen Klimazonen

von

Dipl.-Ing. Daniel Zirkelbach

Dr.-Ing. Hartwig M. Künzel

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Klaus Sedlbauer

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

(Leitung: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer)

Postfach 80 04 69 – 70504 Stuttgart

Nobelstraße 12 – 70569 Stuttgart

Institutsteil Holzkirchen

Postfach 11 52 – 83601 Holzkirchen

Fraunhoferstraße 10 – 83626 Valley

Daniel Zirkelbach
Hartwig M. Künzel
Klaus Sedlbauer

Einsatz von Wärmedämm-Verbundsystemen in anderen Klimazonen

Gute Erfahrungen mit Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS) in Deutschland begründen das Interesse von Baufirmen, diese Systeme auch vermehrt international einzusetzen. Dabei ist es in der Vergangenheit auch vorgekommen, daß durch die unsachgemäße Anwendung größere Schäden entstanden sind. Die vorliegende Untersuchung beschäftigt sich mit dem Einsatz von WDVS an Standorten in Südeuropa, Japan, Thailand und auf der arabischen Halbinsel. Die Ergebnisse zeigen, dass sich durch den Einsatz von WDVS gegenüber einer ungedämmten Wand sowohl in kaltem als auch in heißem Klima deutliche Verbesserungen der raumklimatischen, thermischen und energetischen Verhältnisse erzielen lassen. Allerdings kann es bei herkömmlichem Aufbau in Regionen mit sehr hohen Temperaturen und gleichzeitig hohen Luftfeuchten zu einer Feuchteansammlung in der Konstruktion kommen, die einer genaueren Betrachtung bedarf, um Schäden ausschließen zu können.

Application of External Thermal Insulation Composite Systems under various climate conditions.

The positive experience with External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) in Germany has inspired the building industry to apply these insulation systems more internationally. Past experience has also shown that inappropriate applications may lead to severe damages of structures insulated with ETICS. Therefore, this investigation deals with the application of ETICS at different locations of Southern Europe, Japan, Thailand and the Arabian Peninsula. The results prove that the application of ETICS significantly improves the room climate and the thermal and energetic situation compared to an uninsulated wall in cold but also in hot climate zones. However, in hot and humid climate regions the traditional composition of ETICS may lead to a certain moisture accumulation in the construction. This effect needs further attention in order to exclude moisture related damage of the structure.

1 Einleitung

In letzter Zeit häufen sich Anfragen von Bauunternehmen bezüglich der Eignung von Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS) für Baukonstruktionen in anderen Klimazonen. Ausgehend von guten Erfahrungen mit WDVS in Mitteleuropa [1] wollen deutsche Firmen auch im Ausland solche Systeme einsetzen. Leider ist dies nicht immer von Erfolg gekrönt, wie eine Vielzahl von Feuchteschäden im Zusammenhang mit WDVS in Nordamerika (dort EIFS = Exterior Insulation Finish Systems genannt) gezeigt haben [2]. Grundsätzlich ist die Wärmedämmung von Außenwänden auch in warmen Gebieten vor-

teilhaft, weil dadurch nicht nur Heiz- und Kühlenergie gespart, sondern auch die thermische Behaglichkeit im Gebäude verbessert werden kann. Ob dabei allerdings das Anbringen von Wärmedämm-Verbundsystemen eine geeignete Maßnahme darstellt, wird im Folgenden beispielhaft für Standorte in Südeuropa, Japan, Thailand und auf der arabischen Halbinsel untersucht. Dazu muß das Temperatur- und Feuchteverhalten von Betonwänden mit WDVS unter den jeweiligen Klimabedingungen rechnerisch simuliert und in Bezug auf die Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit der betrachteten Konstruktionen im Vergleich zur Situation in Deutschland analysiert werden.

2 Untersuchungen

Die rechnerischen Simulationen des hygrothermischen Verhaltens werden mit Hilfe des am Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) entwickelten und vielfach verifizierten Verfahrens zur Berechnung des instationären Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen WUFI® [3] durchgeführt. Untersucht werden drei verschiedene Wandkonstruktionen: zunächst eine 180 mm dicke ungedämmte Betonwand mit 10 mm mineralischem Außenputz (s_d -Wert: 0,2 m) sowie auf der Innenseite mit 20 mm stehenden Luftschicht für Installationen und einer 12,5 mm Gipskartonplatte. Auf diese Wand wird dann in weiteren Varianten ein WDVS mit 100 mm Mineralwolle bzw. 100 mm EPS-Dämmung aufgebracht, wobei der gleiche Außenputz wie bei der ungedämmten Wand zum Einsatz kommt. Die erforderlichen Materialdaten stammen aus der WUFI-Datenbank.

Die neben Holzkirchen (Deutschland) zu untersuchenden Standorte Bangkok (Thailand), Dubai (Vereinigte Arabische Emirate), Lissabon (Portugal) und Tokio (Japan) weisen z. T. deutlich höhere Außenlufttemperaturen auf als die Regionen, in denen WDVS bisher in größerem Umfang zum Einsatz kommen. Die höchsten Oberflächentemperaturen der Fassade und somit kritischsten Verhältnisse sind dabei auf der gewählten westorientierten Fassade zu erwarten, da hier maximale Strahlungsmengen mit nachmittäglich hohen Lufttemperaturen zusammenfallen. Für die hellen Putzoberflächen wird eine Strahlungsabsorptionszahl von 0,4 angesetzt, die Wärmeübergangskoeffizienten betragen außen 17 W/m²K und innen 8 W/m²K. Die Regenwasserabsorption

wird nicht berücksichtigt, da der Regen bei den für WDVS üblicherweise verwendeten Außenputzen nur einen begrenzten Einfluß auf das hygrothermische Verhalten der Konstruktion hat und zuverlässige Regendaten nicht für alle Standorte verfügbar sind. Um eine gute Vergleichbarkeit zu erreichen, wird das Innenklima für alle Standorte einheitlich mit konstant 22 °C und 50 % relativer Luftfeuchte angesetzt. Die Anfangsfeuchte in den Konstruktionen entspricht der Gleichgewichtsfeuchte der verschiedenen Materialien bei 50 % relativer Luftfeuchte. Diese niedrige Anfangsfeuchte, die in etwa der rechnerischen Gleichgewichtsfeuchte von außen gedämmten Wandkonstruktionen unter Holzkirchener Klimabedingungen entspricht, wurde bewußt gewählt, um eine eventuell kritische Feuchtezunahme sofort erkennen zu können. Die Berechnungen beginnen im Oktober und erstrecken sich über einen Zeitraum von fünf Jahren.

3 Ergebnisse

3.1 Energetische Betrachtung

In Tabelle 1 ist der mittlere Wärmestrom durch die Innenoberfläche sowie die mittlere Temperatur der Innenoberfläche für die verschiedenen Standorte und Konstruktionen für den Monat Januar, in Tabelle 2 für den Monat Juli dargestellt. Hierbei ist zu beachten, daß der Regelquerschnitt der verschiedenen Wandkonstruktionen bei konstanten Innenbedingungen betrachtet wird und somit keine weiteren Einflüsse der Außen- auf die Innenbedingungen (wie z. B. solare Einstrahlung durch transparente Flächen) berücksichtigt werden. Für die Standorte Holzkirchen, Lissabon und Tokio ergibt sich im Januar jeweils ein mittlerer Wärmestrom von innen nach außen – also ein Wärmeverlust. In Holzkirchen ist dieser Wärmestrom mit etwa 50 W/m² bei der ungedämmten Wand am größten, gefolgt von Tokio mit etwa 30 und Lissabon mit gut 20 W/m². Durch das Aufbringen eines WDVS lassen sich diese Werte auf ca. 9 W/m² in Holzkirchen, 4 W/m² in Lissabon sowie 5 W/m² in Tokio reduzieren. Die Außenbedingungen in Dubai entsprechen im Winter im Mittel etwa den Verhältnissen im Innenraum, was lediglich zu einem vernachlässigbar ge-

ringen Wärmestrom von innen nach außen führt. In Bangkok liegt die mittlere Außentemperatur dagegen auch im Januar deutlich über den Innenraumverhältnissen. Hier ergibt sich somit ein unerwünschter Wärmegewinn mit einem Wärmestrom von etwa 13 W/m² bei der ungedämmten Konstruktion und 2 W/m²

bei den Wänden mit WDVS. Die geringfügigen Unterschiede im Wärmestrom bei WDVS mit Mineralwolle und EPS sind auf die größere Dampfdurchlässigkeit der Mineralwolle zurückzuführen. Durch den erhöhten Dampftransport und die damit verbundenen Phasenwechsel wird zusätzliche Wärme transportiert.

Tabelle 1. Monatsmittelwerte für die Wärmeströme durch die Innenoberfläche sowie die Innenoberflächentemperatur im Januar.

Table 1. Monthly mean values of heat flux and temperature at the interior surface in January.

Standort	Konstruktion	Mittlerer Wärmestrom positiv: Wärmegewinn	Verhältnis	Mittlere Temperatur der Innenoberfläche
Holzkirchen	Beton massiv	-51,1 W/m ²	100 %	15,4 °C
	WDVS mit MW	-8,6 W/m ²	17 %	20,9 °C
	WDVS mit EPS	-8,6 W/m ²	17 %	20,9 °C
Lissabon	Beton massiv	-20,6 W/m ²	100 %	19,4 °C
	WDVS mit MW	-3,5 W/m ²	17 %	21,6 °C
	WDVS mit EPS	-3,5 W/m ²	17 %	21,6 °C
Tokio	Beton massiv	-29,8 W/m ²	100 %	18,2 °C
	WDVS mit MW	-5,1 W/m ²	17 %	21,4 °C
	WDVS mit EPS	-5,1 W/m ²	17 %	21,4 °C
Dubai	Beton massiv	0 W/m ²	-	22,0 °C
	WDVS mit MW	0 W/m ²	-	22,0 °C
	WDVS mit EPS	0 W/m ²	-	22,0 °C
Bangkok	Beton massiv	12,9 W/m ²	100 %	23,7 °C
	WDVS mit MW	2,1 W/m ²	16 %	22,3 °C
	WDVS mit EPS	2,1 W/m ²	16 %	22,3 °C

Tabelle 2. Monatsmittelwerte für die Wärmeströme durch die Innenoberfläche sowie die Innenoberflächentemperatur im Juli.

Table 2. Monthly mean values of heat flux and temperature at the interior surface in July.

Standort	Konstruktion	Mittlerer Wärmestrom positiv: Wärmegewinn	Verhältnis	Mittlere Temperatur der Innenoberfläche
Holzkirchen	Beton massiv	-6,3 W/m ²	100 %	21,2 °C
	WDVS mit MW	-0,9 W/m ²	15 %	21,9 °C
	WDVS mit EPS	-0,6 W/m ²	10 %	21,3 °C
Lissabon	Beton massiv	4,1 W/m ²	100 %	22,6 °C
	WDVS mit MW	0,7 W/m ²	17 %	22,1 °C
	WDVS mit EPS	0,7 W/m ²	16 %	22,1 °C
Tokio	Beton massiv	12,8 W/m ²	100 %	23,7 °C
	WDVS mit MW	2,5 W/m ²	19 %	22,4 °C
	WDVS mit EPS	2,2 W/m ²	17 %	22,3 °C
Dubai	Beton massiv	28,9 W/m ²	100 %	25,8 °C
	WDVS mit MW	5,0 W/m ²	17 %	22,7 °C
	WDVS mit EPS	4,9 W/m ²	17 %	22,7 °C
Bangkok	Beton massiv	14,8 W/m ²	100 %	24,0 °C
	WDVS mit MW	2,8 W/m ²	19 %	22,4 °C
	WDVS mit EPS	2,5 W/m ²	17 %	22,4 °C

Im Juli ergibt sich lediglich für den Standort Holzkirchen noch ein rechnerischer Wärmeverlust, der bei der ungedämmten Konstruktion mit einem Wärmestrom von 6 W/m^2 , bei den Varianten mit WDVS mit unter 1 W/m^2 zu Buche schlägt. Bei allen anderen Standorten liegen im Juli die Außentemperaturen über den innen angesetzten $22 \text{ }^\circ\text{C}$. Bei der ungedämmten Konstruktion führt dies in Lissabon zu einem Wärmestrom von ca. 4 W/m^2 , in Tokio von 13 W/m^2 und in Bangkok von 15 W/m^2 . In Dubai liegt dieser Wert mit 29 W/m^2 noch einmal deutlich höher als bei den übrigen Standorten. Durch die Verwendung von WDVS können die Wärmeströme wiederum deutlich verringert werden: Sie liegen dann bei unter 1 W/m^2 in Lissabon, etwa $2,5 \text{ W/m}^2$ in Tokio und Bangkok sowie um 5 W/m^2 in Dubai.

Das in den Tabellen 1 und 2 dargestellte Verhältnis zwischen dem Wärmestrom durch die Innenoberfläche bei ungedämmten und gedämmten Konstruktionen zeigt, daß durch die Verwendung von WDVS in allen Fällen eine Verringerung des Wärmestroms von über 80 % erzielt wird, egal ob ein Verlust oder Gewinn zu verzeichnen ist. Zudem ergibt eine Auswertung der Innenoberflächentemperaturen, daß diese bei den ungedämmten Wänden jeweils deutlich weiter von der Innenraumlufttemperatur abweichen als bei den gedämmten Konstruktionen. Um vergleichbar behagliche thermische Verhältnisse im Innenraum wie bei den gedämmten Varianten zu erreichen, müßte die Raumlufttemperatur entsprechend weiter erhöht bzw. verringert werden, was zu noch höheren Wärmeströmen und Energieverlusten führt. Wie zuvor gezeigt sind Wände mit WDVS gegenüber ungedämmten Konstruktionen aus energetischer Sicht an allen Standorten eindeutig zu bevorzugen.

3.2 Hygrothermische Betrachtung

Im nächsten Schritt erfolgt eine Untersuchung des feuchtetechnischen Verhaltens der Wände mit WDVS an den verschiedenen Standorten. Dazu wird zunächst der zeitliche Verlauf des berechneten flächenbezogenen Gesamtwassergehalts der Konstruktionen betrachtet.

Bei der ungedämmten Konstruktion in Holzkirchen (Bild 1, oben) ist ausgehend von anfänglich etwa 9 kg/m^2 bei der massiven Konstruktion ein deutlicher Anstieg des Gesamtwassergehalts in den betrachteten 5 Jahren auf über 20 kg/m^2 zu erkennen. Die beiden Varianten mit WDVS verbleiben dagegen mit geringfügigen jahreszeitlich bedingten Schwankungen auf dem Ausgangsniveau um 9 kg/m^2 . Am Standort Lissabon (Bild 1, Mitte oben) ergibt sich nur ein geringer Anstieg des Gesamtwassergehalts bei der Wand ohne Dämmung von etwa 9 auf 12 kg/m^2 . Die Varianten mit WDVS verhalten sich ähnlich wie in Holzkirchen. Auch unter den Klimabedingungen von Tokio (Bild 1, Mitte) liegen die Gesamtwassergehalte der verschiedenen Konstruktionen nah beieinander. Ähnlich wie in Lissabon, ist bei der Variante ohne Dämmung ein leichter Anstieg des Wassergehalts auf 12 kg/m^2 erkennbar. Allerdings steigt hier auch der Gesamtwassergehalt in der mit Mineralwolle gedämmten Konstruktion geringfügig auf etwa 11 kg/m^2 ; die Feuchte in der Variante mit EPS-Dämmung bleibt weitgehend konstant. Unter dem Klima von Dubai (Bild 1, Mitte unten) sind etwas andere Verläufe zu beobachten: Die Variante ohne Dämmung weist hier über den ganzen Zeitraum den niedrigsten Gesamtwassergehalt auf und verzeichnet sogar eine geringe Abnahme von anfangs 9 auf 8 kg/m^2 . Die Feuchte in der Konstruktion mit Mineralwollendämmung steigt leicht auf 13 kg/m^2 an. Die Variante mit EPS-Dämmung bleibt wiederum annähernd konstant. Im Verlauf qualitativ ähnlich, jedoch extremer sind die in Bild 1 unten dargestellten Gesamtwassergehalte für den Standort Bangkok. Hier ist ein deutlicher Anstieg des Gesamtwassergehalts in der Konstruktion mit Mineralwollendämmung von 10 auf beinahe 25 kg/m^2 zu erkennen. Da die Steigung der Wassergehaltskurve gegen Ende der berechneten 5 Jahre immer noch hoch ist, muß hier mit einer weiteren Feuchteakkumulation gerechnet werden. Wird statt Mineralwolle EPS für das WDVS verwendet, bleibt der Anstieg des Gesamtwassergehalts geringer und erreicht gegen Ende der Berechnung 13 kg/m^2 . Bezüglich der gesamten Feuchte in der Konstruk-

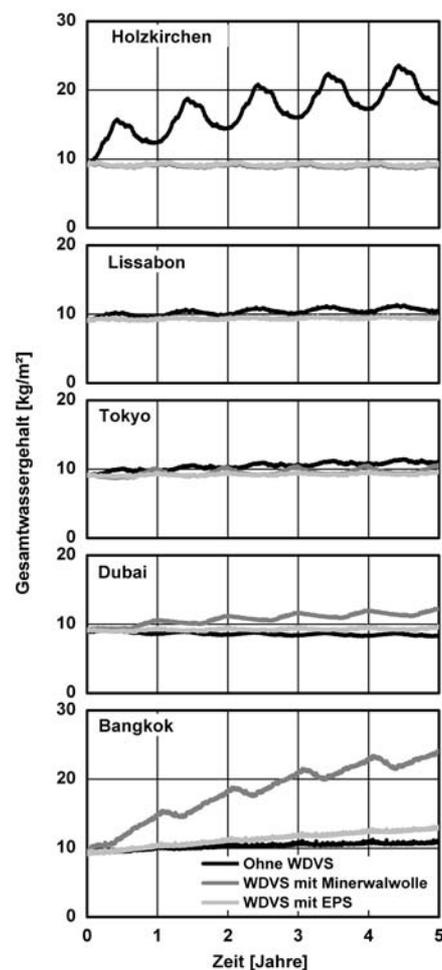


Bild 1. Berechneter zeitlicher Verlauf des flächenbezogenen Gesamtwassergehalts der drei untersuchten Konstruktionen für eine westorientierte Betonaußenwand an fünf verschiedenen Standorten

Fig. 1. Calculated temporal variation of the total water content in the three constructions at the five different locations for the west facing external wall

tion verhält sich in Bangkok ebenfalls die Variante ohne Dämmung am günstigsten. Hier fallen nach 5 Jahren nur 11 kg/m^2 Gesamtwassergehalt an.

Somit ergibt sich, daß aufgrund des auftretenden Anstiegs des Gesamtwassergehalts neben der ungedämmten Konstruktion in Holzkirchen das WDVS mit Mineralwolle am Standort Dubai sowie beide WDVS in Bangkok genauer zu untersuchen sind. Alle anderen Konstruktionen entfernen sich nur unwesentlich von den anfänglich angenommenen 50 % relativer Feuchte und befinden sich somit im unkritischen Bereich. Da eine Ausführung ohne Wärmedämmung in Deutschland unzulässig ist

und die auftretenden Probleme bekannt sind, wird auf eine weitere Betrachtung der ungedämmten Konstruktion in Holzkirchen verzichtet. Für die eventuell kritischen WDVS Varianten in Dubai und Bangkok wird zusätzlich der Verlauf von relativer Feuchte und Temperatur im Beton außen, in Höhe der Bewehrung in 20 mm Tiefe sowie an der Innenoberfläche im letzten berechneten Jahr betrachtet. Für die Konstruktion mit WDVS aus Mineralwolle sind diese Verläufe in Bild 2 dargestellt. Der Verlauf an der Außenoberfläche des Betons bewegt sich zwischen 60 % r. F. im Sommer und etwa 90 % im Winter. In Höhe der Bewehrung liegt

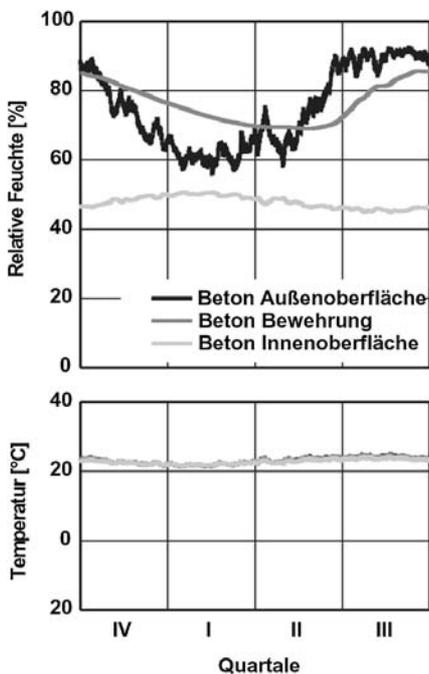


Bild 2. Westorientierte Außenwand mit WDVS auf der Basis von Mineralwolle am Standort Dubai. Berechneter zeitlicher Verlauf der relativen Feuchte und der Temperatur im fünften berechneten Jahr an drei Positionen im Beton: Außenoberfläche (Grenze zur Dämmschicht), äußere Bewehrung (in 20 mm Tiefe) und Innenoberfläche (Grenze zur Luftschicht hinter Gipskartonplatte) Fig. 2. West facing external wall with ETICS based on mineral wool in Dubai. Calculated temporal variation of the relative humidity and the temperature in the dynamic equilibrium after five years of simulation at three different positions in the concrete: at the exterior surface (interface between concrete and insulation), at the reinforcing steel bar (20 mm beneath exterior surface) and at the interior surface (interface between concrete and interior lining)

die Bandbreite zwischen etwa 70 % r. F. im Winter und 85 % r. F. im Sommer, während die Feuchte an der Innenoberfläche ganzjährig unterhalb von 50 % r. F. bleibt. Im Außenbereich des Betons könnten die hohen Feuchtebedingungen im Sommer u. U. zu mikrobiellem Wachstum führen [4]; da dieser Bereich jedoch vom Innenraum gut getrennt ist, stellt dies ein tolerierbares Risiko dar. Bedenklicher ist das regelmäßige Überschreiten von 80 % r. F. im Bereich der Bewehrung. Hier ist – insbesondere in Anbetracht der hohen Temperaturen von über 20 °C – bei fortschreitender Karbonatisierung des Betons die Gefahr von Korrosion des Bewehrungsstahls gegeben [5]. In Bangkok stellen sich für die Wand mit WDVS aus Mineralwolle (Bild 3) an den beiden äußeren Positionen fast ganzjährig 100 % r. F. ein, lediglich im Winter ist ein kurzzeitiges Absinken auf etwa

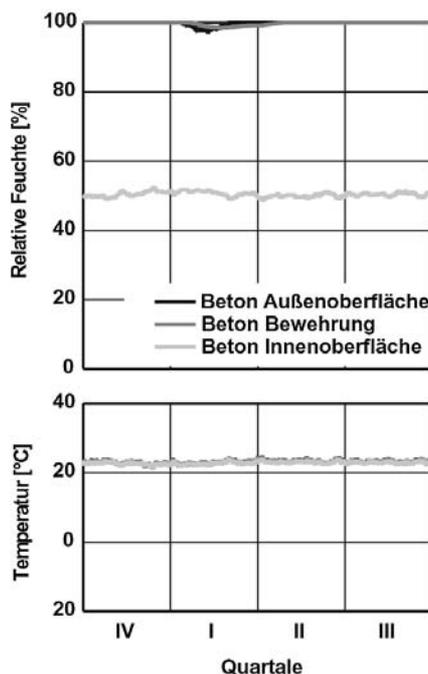


Bild 3. Westorientierte Außenwand mit WDVS auf der Basis von Mineralwolle am Standort Bangkok. Berechneter zeitlicher Verlauf der relativen Feuchte und der Temperatur im fünften berechneten Jahr an drei Positionen im Beton (wie Bild 2) Fig. 3. West facing external wall with ETICS based on mineral wool in Bangkok. Calculated temporal variation of the relative humidity and the temperature in the dynamic equilibrium after five years of simulation at three different positions in the concrete (Fig. 2)

95 % zu verzeichnen. Bei der Variante mit EPS-Dämmung (Bild 4) ist die relative Feuchte außen etwas niedriger im Bereich zwischen 80 und 90 %. Die Temperaturen liegen jeweils im ganzen Jahr über 22 °C. Somit ist insbesondere bei der Variante mit Mineralwolle eine erhöhte Gefahr von mikrobiellem Wachstum zwischen Beton und Dämmschicht sowie von Bewehrungskorrosion bei Karbonatisierung des Betons gegeben. In etwas geringerem Maß gilt dies auch für die Variante mit EPS-Dämmung.

4 Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse

Die Verwendung von WDVS birgt auch unter anderen Klimabedingungen ein signifikantes Energieeinsparpotential. Die hier durchgeführten Berechnungen zeigen eine Reduktion der Wärmeströme durch die

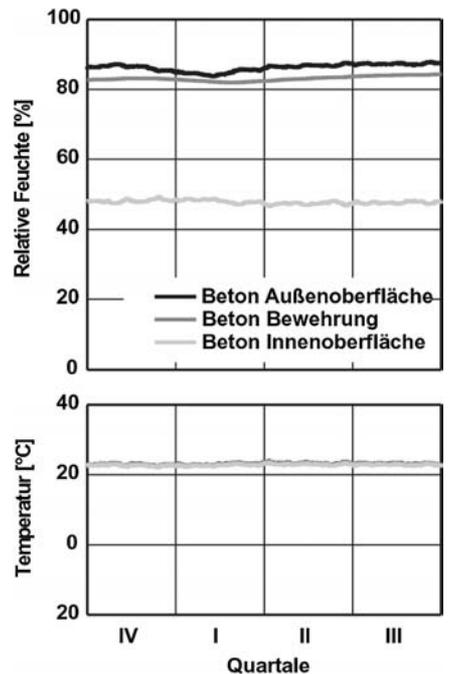


Bild 4. Westorientierte Außenwand mit WDVS auf der Basis von EPS am Standort Bangkok. Berechneter zeitlicher Verlauf der relativen Feuchte und der Temperatur im fünften berechneten Jahr an drei Positionen im Beton (wie Bild 2) Fig. 4. West facing external wall with ETICS based on EPS in Bangkok. Calculated temporal variation of the relative humidity and the temperature in the dynamic equilibrium after five years of simulation at three different positions in the concrete (Fig. 2)

Außenwände um über 80 %. Während der Feuchtegehalt in den untersuchten Konstruktion an den Standorten Holzkirchen, Lissabon und Tokio im unbedenklichen Bereich liegen, kommt es bei WDVS mit diffusionsoffener Mineralwolle in Dubai und bei beiden Varianten in Bangkok zu Feuchtegehalten, die bezüglich Korrosion und mikrobiellem Wachstum nicht unbedenklich sind. Inwieweit diese Konstruktionen durch die Verwendung dichter Putze oder Dämmmaterialien soweit optimiert werden können, daß sie auch unter sehr warmen und feuchten Außenverhältnissen dauerhaft funktionieren, sollte Gegenstand weiterer Untersuchungen werden.

Literatur

- [1] *Künzel, H.*: Warum sich Wärmedämm-Verbundsysteme durchgesetzt haben – Vergleiche mit anderen Wandkonstruktionen. In: *Bauphysik* 20 (1998), H. 1, S. 2–8.
- [2] *Nisson, N., Best, D.*: Exterior Insulation and Finish Systems. Compilation of EDU Newsletters, Cutter Information Corp., Arlington 1999.
- [3] *Künzel, H. M.*: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchte- transports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation Universität Stuttgart, 1994.
- [4] *Sedlbauer, K.*: Beurteilung von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. In: *Bauphysik* 24 (2002), H. 3, S. 167–176.
- [5] *Cziesielski, E.*: Energiegerechte Sanierung von Korrosionsschäden bei Stahlbetongebäuden. In: *Bauphysik* 13 (1991), H. 5, S. 138-143.

Autoren dieses Beitrages:

Dipl.-Ing. Daniel Zirkelbach, Gruppenleiter in der Abt. Hygrothermik, Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), 83601 Holzkirchen

Dr.-Ing. Hartwig M. Künzel, Leiter der Abt. Hygrothermik, Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), 83601 Holzkirchen

Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer, Institutsleiter Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) Holzkirchen und Stuttgart, Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart, Professor am Lehrstuhl für Bauphysik an der Universität Stuttgart.