

Feuchteverhalten der TES Holzrahmenbauelemente

Dieser Bericht untersucht das hygrothermische Verhalten von TES-Fassadenelementen. Er stellt die Ergebnisse der in-situ-Messungen an Demonstrationsobjekten dar und vergleicht diese Ergebnisse mit den berechneten, instationären, hygrothermischen 2D-Simulationen der Außenwände mit WUFI.

Im Zuge dessen werden zwei dieser Demonstrationsobjekte vorgestellt und Messergebnisse aus ihren sanierten Außenwänden gezeigt. Die Demonstrationsobjekte in München, Deutschland und Oulu, Finnland, sind Teil des EU FP7 Projekts E2ReBuild. E2ReBuild ist ein europäisches Kooperationsprojekt, welches der Erforschung und Demonstration industrialisierter, energetischer Sanierungen zur Senkung des Heizwärmebedarfs von Wohngebäuden in kalten Klimazonen dient. Für die beiden hier vorgestellten Gebäude des E2ReBuild Projekts wird die TES-Methode angewandt, um die Transmissionsverluste der Gebäudehülle zu verringern und gleichzeitig eine Erneuerung der Fassade und der Erscheinung mit einer modernen Außenansicht zu erzielen.

Die TES-Verfahren nutzt großformatige, vorgefertigte, auf der Holzrahmenbauweise basierende Fassadenelemente zur Dämmung der Gebäudehülle.

Autoren:

Dipl.-Ing. Stephan Ott
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter
TU München, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
Carl-Magnus Capener, Ph.D.
SP Technical Research Institute of Sweden, Energy Technology, Schweden
Stephen Burke, Ph.D.
NCC Construction Sverige AB, NCC Teknik, Schweden
Simon Le Roux, Architect
Aalto University, Department of Architecture, Finnland

1. Beschreibung des Demonstrationsobjektes und Feldmessungen

1.1 Demonstrationsgebäude

1.1.1 Hintergrundinformationen zu München-Demo

Das Münchner Demonstrationsobjekt, im Rahmen von E2ReBuild, wurde im Jahr 1954 erbaut und besteht aus zwei dreigeschossigen Wohngebäuden. Die Konstruktion

der Außenwände besteht aus Betonhohlblocksteinen. Nach der Sanierung sinkt der Wärmebedarf des Gebäudes auf etwa 21-24 kWh/m². Das Sanierungsprojekt wird von einem signifikanten Rückbau der vorhandenen Bausubstanz eingeleitet. In Abbildung 1 (links) ist zu sehen, dass das Gebäude bis auf seine Primärstruktur zurückgebaut und das Dach abgenommen wird. Zusätzliche Eingriffe an den Innenwänden und den Fensteröffnungen wird aufgrund von weiteren Änderungen in der Grundrissgestaltung und dem Einbau einer komplett neuen TGA vorgenommen. Das Gebäude erhält ein zusätzliches, neues Dachgeschoss und eine neue, vorgestellte Gebäudehülle aus TES-Fassadenelementen. Die hochgedämmte Außenwand mit dreifach verglasten Fenstern ist der Hauptbestandteil der Gebäudehülle, siehe Tabelle 1.

Tabelle 1: Kenndaten zur Gebäudehülle, Demoprojekt München.

U-Werte	vorher	nachher
Außenwand und Dach	1.8 W/m ² K	0.15 W/m ² K
Fenster	2.5 W/m ² K	0.9 W/m ² K
Decke über Keller	1.55 W/m ² a	0.45 W/m ² K

Tabelle 2: Kenndaten zur Gebäudehülle, Demoprojekt Oulu.

U-Werte	Vorher	nachher
Außenwand und Dach	0.28 W/m ² K	0.11 W/m ² K
Fenster	2.1 W/m ² K	0.8 W/m ² K
Bodenplatte	0.24/0.36 W/m ² a	0.11/0.15 W/m ² K
Dach	0.22 W/m ² a	0.08 W/m ² a

1.1.2 Hintergrundinformationen zu Oulu-Demo

Das E2ReBuild Demogebäude in Oulu, Nordfinland, ist eines von fünf Studentenwohngebäuden einer Wohnungsgesellschaft. Das finnische Demonstrationsgebäude wird ebenfalls einer kompletten Erneuerung der Gebäudehülle unterzogen, siehe Tabelle 2. Die äußeren beiden Schichten der bestehenden BES-Systemwände aus dreischaligen, kerngedämmten Betonfertigteilen werden entfernt, sodass allein die innere, tragende Betonschicht an ihrer ursprünglichen Stelle verblieben ist. Die Fassaden werden ebenfalls mit vorgefertigten Holzrahmenbauelementen ertüchtigt, siehe Abbildung 1, rechts. Das alte Dach wird komplett durch einen neuen Holzdachstuhl und eine neue Wärmedämmschicht von 550 mm, welche einen U-Wert von 0,08 W/m²K besitzt, ersetzt. Die Mineraldämmung wird lose eingeblasen und weist ein λ von 0,041 W/mK auf. Die alte Bodenplatte im Erdgeschoss wird durch eine neue Ortbeton-Platte auf

200 mm EPS-Dämmung ersetzt, deren $\lambda = 0,036$ W/mK beträgt.

1.2 Hygrothermische Langzeitmessung der Fassaden

Die Position jedes einzelnen Sensors in der Nordfassade des Münchner Demonstrationsgebäudes kann der Abbildung 2 entnommen werden. Der genaue Schichtaufbau des Fassadenelements ist in Tabelle 3 zusammengestellt.

Die Positionierung der Sensoren in der Fassade im Demonstrationsgebäude Oulu, Finnland, ähnelt dieser in München, vergleiche Abbildung 3. Ebenfalls nach Norden ausgerichtet, besteht die nachgerüstete Wandkonstruktion aus den in Tabelle 4 aufgeführten Materialschichten.

1.2.1 Messdaten

Im Münchener Demoprojekt werden zwischen 2012 und 2013 an drei Messpunkten die relative Feuchtigkeit und Temperatur, welche Abbildung 2 zu entnehmen sind, aufgenommen. Die Daten sind

Abb. 1:
Links: Rückgebauter Rohbau des Münchener Demos mit neuem Aufzugsschacht
(Bild: Lichtblau Architekten)

Rechts: Oulu Demo bei der Montage von vorgefertigten TES-Elementen
(Bild: Simon Le Roux)



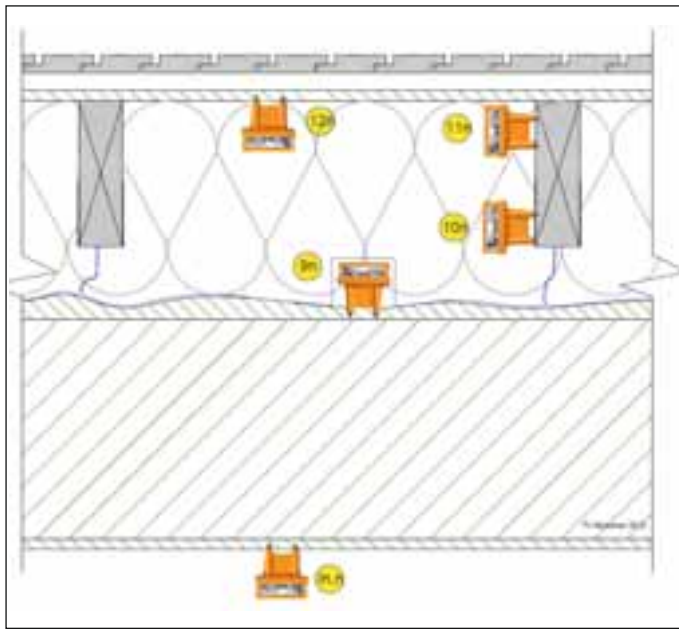


Abb. 2: Horizontalschnitt, Messsensorpositionen im Münchner TES-Fassadenelement.

stündlich aufgezeichnet. Die Sensoren sind in der Konstruktion drahtlos angebracht und senden die Daten per Funk an den zentralen Logger. Unerfreulicher Weise gibt es vereinzelte Schwierigkeiten auf Seiten der Sensoren, die Daten während der Messperiode stündlich zu senden, weshalb einige Datenpunkte verloren gegangen sind. Außerdem wird die Aufzeichnung der Daten durch den Datenlogger zwischen Februar und

April 2013 gestoppt. Alle vorhandenen Daten werden aufbereitet und die Zeiten den durchgängigen WUFI-Simulationen für Vergleichszwecke angepasst.

Analog zu München werden in Oulu die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit zwischen Februar 2013 und März 2014 an vergleichbaren Messpunkten (in Bezug auf die Position im Querschnitt bzw. der Funktion der Bauteilschicht) überwacht. Zu entnehmen sind die Messpunkte der Abbildung 3.

2. Hygrothermische Modellierung und Simulation

Das hygrothermische Verhalten der Fassade der Demogebäude wurde mit Hilfe der zweidimensionalen, hygro-

Abb. 3: Horizontalschnitt, Messsensorpositionen im Oulu TES-Fassadenelement.

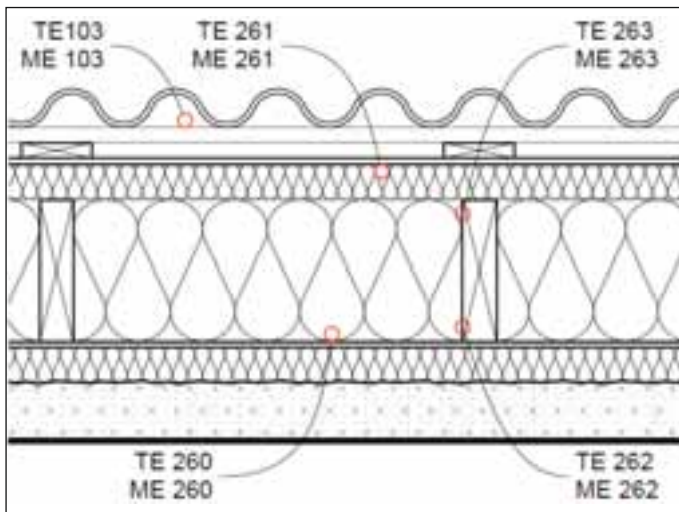


Tabelle 3: Bestandteile der Außenwand im Demo München, berechneter U-Wert der Gesamtwand beträgt 0,15 W/m²K, von außen nach innen.

Holzschalung, Nadelholz	24 mm
Luftschicht / Lattung horizontal	24 mm
Gipsfaserplatte	15 mm
Konstruktionsvollholz / Zellulose, $\lambda = 0,04$ W/mK	200 mm
Ausgleichsschicht Zellulose, $\lambda = 0,04$ W/mK	60 mm
Dampfbremse, $s_d = 5$ m	
Bestand Putz Kalk-Zement-Putz	25 mm
Bestand Außenwand Leichtbetonmauerwerk	300 mm
Bestand Putz Kalk-Zement-Putz	15 mm

thermische Simulationssoftware WUFI 2D 3.3 modelliert und berechnet. Die Software wird experimentell für viele Arten von Bauteilen und ähnliche Konstruktionsaufbauten überprüft.

Materialdaten und Anfangsfeuchte-Bedingungen werden aus Materialdatenbanken wie der MASEA Datenbank (Materialdatensammlung für die energetische AltbauSanierung) und der Fraunhofer IBP Materialdatenbank entnommen. Da die Gebäude zwischen 30 und 60 Jahre alt sind, liegen präzise historische Materialdaten nur unzureichend vor. Für fehlende Materialangaben werden dementsprechend sinnvolle Annahmen getroffen.

2.1 Demoprojekt München

Als Grundlage der WUFI-2D-Simulationen wird sowohl die Zeichnung, welche in Abbildung 2 gezeigt wird, als auch die vom 1. Januar 2012 bis 28. Oktober 2013 gemessenen Klimadaten verwendet. Stoffeigenschaften werden

überwiegend aus der WUFI-Baustoffdatenbank entnommen.

Die spezifischen Materialeigenschaften in der bestehenden Wand sind unbekannt. Ebenfalls unbekannt sind somit dessen thermische Eigenschaften sowie Feuchtigkeitseigenschaften. Bekannt ist, dass das Material eine Art Leichtbetonhohlblockstein mit Bims oder anderen porösen Zuschlägen ist. Der tatsächliche Lambda-Wert des alten Mauerwerks wird unter Verwendung der gemessenen Innentemperaturen, Temperaturen in der Ausgleichsschicht und Temperaturen im äußeren Teil der Mineralwolldämmung berechnet. Diese Berechnungen zeigen, dass der Lambda-Wert der alten Mauer in der Realität zwischen 0,09 und 0,12 W/mK liegen muss. Diese Beobachtung lässt eine Ähnlichkeit zu thermischen Eigenschaften der WUFI-Werkstoffdaten für die Materialien Blähton und Porenbeton feststellen. Der Lambda-Wert des Bestandwandmaterials in

Tabelle 4: Bestandteile der Außenwand im Demo Oulu (US10YK), berechneter U-Wert der Gesamtwand beträgt 0,11 W/m²K, von außen nach innen.

Fassadenbekleidung Wellfaserzement	7 mm
Luftspalt / Holzlattung	44 mm (22 + 22x100 mm)
Beplankung (Windsperre), Gipsplatte	9 mm
Dämmung Glaswolle, $\lambda = 0,033$ W/mK	50 + 200 mm
Horizontalen Holzlatten + Holzrahmenbau	42x48 mm (c = 600 mm) + 42x198 mm (c = 600 mm)
Innere Beplankung, Sperrholzplatte	9 mm
Wärmedämmung Glaswolle	50 mm
Bestand Betonfertigteil	80 mm

WUFI 2D wird auf Grundlage dieser Erkenntnis so verändert, dass er zu dem gemessenen Messwert der tatsächlich vorhandenen Wand passt. Wärme- und Feuchteigenschaften der weiteren Materialien basieren auf der WUFI-Datenbank oder Herstellerangaben. Bei der Berechnung wird die Standardfeuchtigkeit von Blähton verwendet, da die tatsächlichen Feuchtigkeitseigenschaften der vorhandenen Wand nicht bekannt sind. Die Anfangsfeuchte aller Materialien wird zu Beginn der Berechnung auf etwa 80% relative Luftfeuchtigkeit eingestellt.

2.2 Demoprojekt Oulu

Für das finnische Demoprojekt wird die WUFI-2D-Simulation nach dem Schnitt in Abbildung 3 zusammen mit gemessenen Klimadaten für den Zeitraum von März 2013 bis März 2014 durchgeführt.

Die Anfangsfeuchte bei 60% Luftfeuchtigkeit für die Konstruktionsaufbauten eingestellt, da das Demoprojekt ein trockenes Bestandsgebäude ist und keine überschüssige Feuchtigkeit vorliegt. Außerdem wird eine relativ niedrige Luftwechselrate im Luftspalt hinter der Fassadenbekleidung von 5 Luftwechseln pro Stunde (5 ACh^{-1}) angenommen.

3. Ergebnisse

Sowohl die Ergebnisse der Simulation der ertüchtigten Außenwand des Münchener Demos als auch in Oulu stimmen recht gut mit den Messergebnissen in der neuen Wand überein. Die berechneten Temperaturen korrelieren sehr gut mit den Messergebnissen. Die Feuchtigkeitsgehalte korrelieren ebenfalls sehr gut, jedoch zeigen die gemessenen Daten viel mehr Variation als die simulierten Daten.

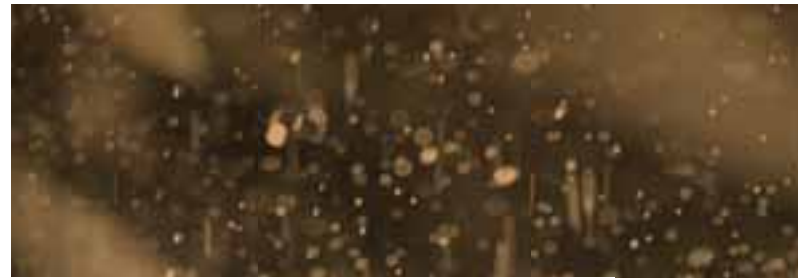
3.1 München

Die Feuchtigkeitsmesspunkte liegen von der Mineralwollschicht vor. Die simulierten Ergebnisse werden ebenfalls

aus der Mineralwollschicht ausgelesen. Eine interessante Beobachtung ist, obwohl es sich um dieselben Ausgangspunkte handelt, dass die berechneten Punkte eine wesentlich stabiler verlaufende Feuchtigkeitskurve als die in Realität gemessene aufweisen. Das gemessene Feuchtigkeitsniveau über den Querschnitt Außenwand ist größtenteils gleichförmig, während das berechnete Feuchtigkeitsniveau in der Mitte der Wand (Punkt 9n in Abbildung 2) nicht mit den gemessenen Werten übereinstimmt. Weitere Berechnungen deuten darauf hin, dass hinter der Dampfbremse an Messposition 9n der Feuchtegehalt stärker als üblich variiert. Berechnet man den Feuchtigkeitsgehalt des Elements mit der vorhandenen Dampfbremse ($s_d = 5 \text{ m}$), ist der Feuchtigkeitsgehalt an der zum Innenraum hin ausgerichteten Seite der Dampfbremse sowohl stabiler als auch viel höher als in der Berechnung. Während alle anderen gemessenen Feuchtigkeitsgehalte eine hohe Übereinstimmung mit den berechneten Werten aufzeigen. Wird der s_d -Wert der Dampfbremse auf den der Windbremse ($s_d = 0,1 \text{ m}$) herabgesetzt, stimmen die simulierten Feuchtwerte am Messpunkt 9n mit den gemessenen Daten überein. Allerdings haben alle anderen Messpunkte in diesem Fall eine höhere Abweichung als bei der Simulation mit der Dampfbremse.

Dies deutet darauf hin, dass der Messpunkt 9n stärker durch das Außenklima beeinflusst wird, als dies der Fall wäre, wenn eine intakte Dampfbremse vorhanden wäre.

Das könnte daran liegen, dass die Dampfbremse nach der Anbringung des Sensors und trotz nachträglicher Verklebung nicht mehr vollständig funktioniert. Es kann auch der Ausgleichsspalt mit dem Außenklima in Verbindung stehen, weil die luftdichte Randausbildung um das TESA-Element nicht funktioniert. Möglich wäre auch ein Einfluss einer hohen Anfangs-

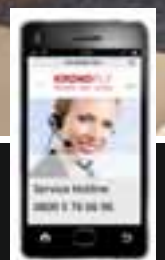


Schutz vor Regen !

Kein Problem mit unserer neuen Holzfaserdämmung

KRONOPLY flex, safe und uni – Ein starkes Team

- Mit KRONOPLY safe drei Arbeitsschritte in Einem: Dämmung - Wasserführung - Verklebung
- Wohlfühl-Dämmung aus natürlichen Holzfasern
- Mehr Schutz vor Hitze, Kälte und Lärm
- Zuverlässig, langlebig, nachhaltig und wertsteigernd



Member of



www.kronoply.com

Service Hotline 0800 5 76 66 96

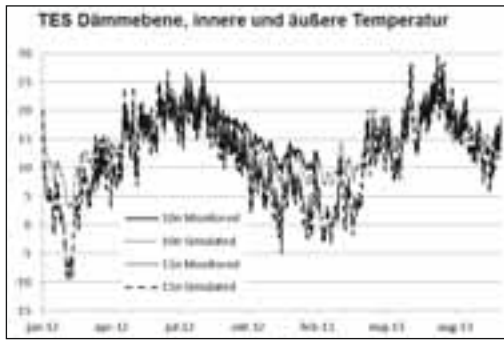


Abb. 4: Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit für die Münchner TES Fassadenelemente, Dämmung, innere (10n) und äußeren (11n) Position.



Abb. 5: Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit für die Münchner TES Fassadenelemente, Holzständer (12n).

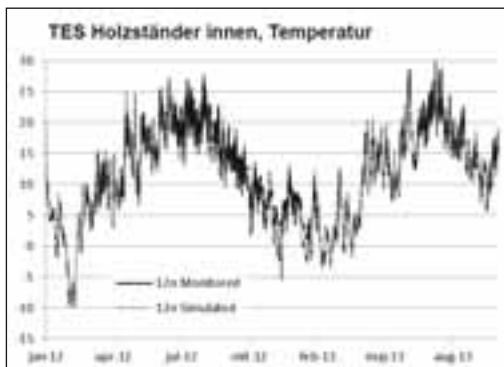


Abb. 6: Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit für die Oulu TES Fassadenelemente Dämmung, Innen (TE / ME260) und äußeren (TE / ME261) Position.



Abb. 7: Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit für die Oulu TES Fassadenelemente Holzständer, Innen (TE / ME262) und äußeren (TE / ME263) Position.



feuchtigkeit der Bestandswand, die im Laufe der Sanierungsphase im Rohbauzustand war und sich bei Niederschlägen extrem mit Wasser vollgesaugt hat.

Sowohl bei den berechneten als auch bei den gemessenen Ergebnissen scheint langfristig kein bedeutendes Feuchtigkeitsrisiko mit der TES-Fassade des Demoprojekts München in Verbindung gebracht werden zu können. Der Trend, der sich aus der WUFI-Berechnung herauslesen lässt, ist, dass der Feuchtegehalt des Bestands und der TES-Elemente über die Zeit stetig abnimmt und die Konstruktion hinreichend konvektionsdicht und diffusionsoffen ist, um Trocknungsreserven zu bieten.

3.2 Oulu

Die Messergebnisse im Demoprojekt in Oulu korrelieren gut mit der simulierten Kurven.

Zu beachten ist, dass die Anfangsfeuchte einen großen Einfluss auf die simulierten Werte hat. Hierbei ist die relative Feuchtigkeit am Anfang zu niedrig für die Außenseite des Holzständers aber für die zum Innenraum orientierte Seite weist die Simulation Übereinstimmungen mit den Messergebnissen auf.

Nach einigen Monaten kommen die simulierten Werte jedoch sehr nah an die gemessenen heran und die Holzrahmenbauwand der TES-Elemente wird immer trockener. Die Luftwechselrate hinter der Fassadenbekleidung scheint ebenfalls einen nicht unwesentlichen Einfluss zu haben, zumindest auf die äußeren Schichten der simulierten Wand.

Die niedrige Luftwechselrate mit 5 ACh⁻¹ ergibt recht ähnliche Ergebnisse während vieler Perioden im Messzeitraum, jedoch scheint der Einfluss des Luftwechsels unterschätzt zu werden, wie an den größeren Schwankungen in der relativen Feuchtigkeit auf der Innenseite der äußeren Gipsplatte zu sehen ist. Ein möglicher Grund für die Schwankungen der Messergebnisse könnte

aber auch auf eine unzureichende Luftdichtheit der Windsperre zurückzuführen sein. Dies würde die großen, gemessenen Schwankungen im Dämmungsbereich im Vergleich zu den relativ stabilen, simulierten Ergebnissen erklären.

Offensichtlich ist, dass die zusätzlich angebrachte Dämmebene von 48 mm, welche an der Außenseite der Holzständer liegt, einen positiven Einfluss auf die Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit der Ständerkonstruktion hat. Vergleicht man in den TES-Elementen die Messergebnisse der äußeren Dämmung (Position ME261) mit der im äußeren Randbereich der Holzständer (ME263) festgestellten relativen Feuchtigkeit, ist eine Reduktion der relativen Luftfeuchtigkeit deutlich zu sehen. Im Vergleich zu einer Holzrahmenkonstruktion ohne eine zusätzliche Dämmschicht unterbricht die zusätzliche Dämmebene nicht nur

die Wärmebrücken, sondern sorgt auch für einen Anstieg der Temperatur im äußeren Randbereich der Ständer, was einen Rückgang der relativen Luftfeuchtigkeit bedeutet und damit die Reduktion des Risikos von Feuchteschäden bewirkt.

4. Schlussfolgerungen

Es kann festgehalten werden, dass die WUFI-2D-Simulation ein geeignetes Werkzeug ist, um das Feuchtigkeitsverhalten der TES EnergyFacade nach einer energetischen Sanierung zu bestimmen, wie die beiden zur Demonstration herangezogenen Fälle aus München und Oulu zeigen. Festzustellen ist allerdings auch, dass die Ergebnisse sehr empfindlich auf eine Eingabe der Eingangsdaten, wie beispielsweise die aus der Wand, Klimadaten, neuer Baustoffe oder auf Probleme bei der Qualität der ausgeführten Arbeiten reagieren.

Die Messergebnisse an den Demogebäuden zeigen, dass die Risiken durch Feuchtigkeitsschäden in Form von Schimmelbildung in der TES EnergyFacade, in beiden Fällen unter den einwirkenden Klimaeinwirkungen, dennoch relativ niedrig sind. Diese Erkenntnis gibt eine ausgezeichnete Möglichkeit, TES Fassadenelemente mit verschiedenen Modifikationen und an anderen Standorten mit WUFI 2D zu berechnen und zu überprüfen.

Allerdings muss auch festgehalten werden, dass eine hohe Anfangsfeuchte eine nicht unerhebliche Gefahr für die Holzkonstruktion darstellen kann; sowohl ein erhöhter Feuchtigkeitsgehalt in der Holzrahmenkonstruktion selbst, als auch im Innenraum und bestehenden Wandmaterial, vor dem das TES-Element platziert wird. Insbesondere vorhandene Konstruktionen der Bestandswand aus Beton oder Leichtbetonsteine können während der Umbauphase

große Mengen an Wasser aufnehmen und somit eine erhebliche Feuchtequelle für das TES-Element darstellen. Dies wird durch fehlende Dachüberstände, -entwässerung, fehlende Fenster und generell einem entkernten Rohbauzustand des Sanierungsobjekts begünstigt. Somit sind Wetterschutzvorkehrungen während der Bauzeit ein zu beachtender Punkt bei Fassadensanierungen mit vorgefertigten Elementen.

Für die künftige Arbeit wäre es interessant, die Wirkung der Anfangsfeuchte in der Bestandswand auf die hygrothermische Robustheit der TES-Elemente und das Risiko von daraus hervorgehenden Feuchteschäden genauer zu untersuchen. Darüber hinaus ist die Empfindlichkeit des Systems in Bezug auf Feuchtigkeit aus Undichtheiten der Gebäudehülle oder von der Vorfertigung bis zur Baustelle ein Thema, welches weitere Untersuchung benötigt. ■

Anzeige

ALLERGIE? NICHT MIT PUREN®-DÄMMSTOFFEN!

Wer Wohlfühlklima unterm Dach möchte,
vertraut auf puren-Dämmstoffe.

Informieren Sie sich:

www.puren-steildach.de



Allergiker-
geeignet



Frei von Weichmachern,
Formaldehyd und
ätherischen Ölen.



puren[®]
gmbh

www.puren.com

PURe technology!