

# **Entwicklung und Anwendung von evakuierten höchsteffizienten Dämmungen für Gebäude (Vakuumdämmung für Gebäude)**

**Hubert Schwab, Johannes Wachtel, Hans Scheuerpflug,  
Cornelia Stark, Ulrich Heinemann,  
Hans-Peter Ebert, Jochen Fricke**

## **Abschlussbericht**

gefördert unter dem Az: 9400/6.1 – IBS/b – 43145/00

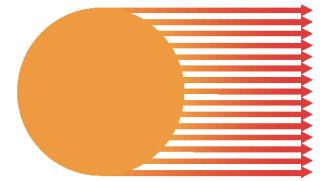
Zuwendungsbescheid: 13 12/683 81 / 986/2000 / 1329/2001 / 1330/2002 1331/2003

Unternummer: 004110

durch

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie  
- Innovationsberatungsstelle Südbayern -

**Report ZAE 2 - 1203 - 21 (2003)**



Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V.

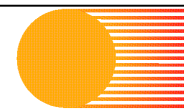
**Entwicklung und Anwendung von evakuierten höchsteffizienten  
Dämmungen für Gebäude (Vakuumdämmung für Gebäude)**

Abschlussbericht  
gefördert unter dem Az: 9400/6.1 – IBS/b –43145/00  
Zuwendungsbescheid: 13 12/683 81 / 986/2000 / 1329/2001 / 1330/2002 1331/2003  
Unter Nummer: 004110  
durch  
Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie  
- Innovationsberatungsstelle Südbayern -

**verfasst von**

**Hubert Schwab, Johannes Wachtel, Hans Scheuerpflug,  
Cornelia Stark, Ulrich Heinemann,  
Hans-Peter Ebert, Jochen Fricke**  
(Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V.)

**Report ZAE 2 - 1203 - 21 (2003)**



## Abschlussbericht VIP - DEMOOBJEKTE

Ein wesentlicher Bestandteil des Projektes „Vakuumdämmung für Gebäude“ war die praxisgerechte Anwendung der Vakuumdämmung. Basierend auf den Erfahrungen in der Grundlagen- und Konstruktionsentwicklung sollten ausgewählte Konstruktionen in konkreten Bauvorhaben eingesetzt und getestet werden. Anhand der Demonstrationsobjekte konnten zum erstenmal Erkenntnisse über den praktischen Einsatz der Vakuumdämmung (Handling, Montage,...) gewonnen werden. Schwierigkeiten im praktischen Einsatz können so festgestellt und Erfahrungen für weitere Bauvorhaben gewonnen werden. Durch IR-Aufnahmen (s. Kurzbeschreibung im Anhang) unmittelbar nach Einbau der Vakuumdämmung und jährliche Kontrolle konnte die Funktionsfähigkeit des Systems überprüft und erste Erfahrungen über das Verhalten der Vakuumdämmung im eingebauten Zustand gewonnen werden.

Folgende Demonstrationsobjekte werden in den anschließenden Kapiteln beschrieben:

- Sanierung einer Giebelfassade in Nürnberg mit VIP-WDVS mit Schienensystem (Fa. Schnös Trockenbau).
- Neubau in Holzbauweise in München mit einer eigens konzipierten Konstruktion, die, falls Paneele belüftet, den nachträglichen Ausbau der VIPs ermöglicht (Architekturbüro Lichtblau).
- Sanierung eines Reihenmittelhauses mittels einer vorgesetzten Fassadenkonstruktion (Architekturbüro Lichtblau).
- Erweiterungsbau im Krankenhaus Erlenbach mit vakuumgedämmten Brüstungselementen, die in Pfosten-Riegel-Fassade integriert wurden (Fa. Glas-Keil GmbH & Co. KG).
- Sanierung eines Turnhallenfußbodens in Gemünden (Ing.-Büro Rosel).
- Installation einer Wandheizung in einer ehemaligen Kirche in Wernfeld (Architekturbüro Haase & Partner).
- Sanierung des Kellerbodens und einer begehbaren Außenfläche im eza!-Haus in Kempten (Bayosan Wachter GmbH).
- Sanierung eines Turnhallenfußbodens in Nürnberg (va-Q-tec AG).
- Sanierung eines Ortgangs (ZAE Bayern).

Im Rahmen des Projektes wurden zahlreiche Demonstrationsobjekte durchgeführt, die nun im einzelnen vorgestellt werden. Schwerpunkt bei der Vorstellung der Demonstrationsobjekte ist die baupraktische Anwendung der Vakuumdämmung und die daraus gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnisse zum Einsatz der Vakuumdämmung im Baubereich. Bei der Auswahl der Demoobjekte wurden verschiedene Anwendungstechniken getestet, um möglichst verschiedene Erfahrungen beim Einsatz der Vakuumdämmung zu gewinnen. Einige Fragestellungen sind je nach Demonstrationsobjekt sehr unterschiedlich, andere allgemeine Sachverhalte, wie z.B. Maßhaltigkeit, betreffen nahezu jedes Objekt. Im Rahmen der zuerst vorgestellten Demonstrationsobjekte werden diese allgemeinen Sachverhalte beschrieben. Bei den weiteren Demonstrationsobjekten werden im wesentlichen nur die Besonderheiten der jeweiligen Anwendung besprochen.

Für alle Demoobjekte wurden die Rohplatten aus pyrogener Kieselsäure von der Fa. Wacker Ceramics bereitgestellt. Die Herstellung der VIPs erfolgte durch die Fa. Wacker Ceramics oder durch die Fa. va-Q-tec AG.

## 1. Sanierung einer Giebelfassade mit VIP-WDVS in Nürnberg

### 1.1. Aufgabenstellung

Das zur Sanierung anstehende denkmalgeschützte Zweifamilienhaus in Nürnberg wies an der Giebelseite nur einen geringen Dachüberstand auf. Für die Sanierung wurde von Seiten des Denkmalschutzamtes die Auflage gestellt, dass das anzubringende Dämmsystem eine Gesamtdicke von 6 cm nicht überschreiten darf, damit der typische Dachüberstand noch erhalten bleibt. Genau für derartige Problemstellungen, bei der die Dämmschichtdicke durch bauliche, denkmalpflegerische oder sonstige Vorgaben stark begrenzt ist, ist der Einsatz der Vakuumdämmung besonders geeignet. Nur mit Vakuumdämmung lassen sich schlanke und zugleich hochdämmende Konstruktionen realisieren. Die verputzte Giebelfassade sollte mit einem WDVS versehen werden, so dass die Fassade wie zuvor verputzt werden konnte. Die Fa. Schnös bot sich an, das neu entwickelte VIP-WDVS mit PVC-Schienen als Sanierungsmaßnahme anzubringen. Die VIPs wurden von der Fa. Wacker Ceramics zur Verfügung gestellt.

### 1.2. Beschreibung des Gebäudes und der eingesetzten Konstruktion

Die nachfolgende Abbildung zeigt das zu sanierende Gebäude, insbesondere die Giebelfassade, die mit VIP-WDVS gedämmt werden sollte. Die Wand des eingeschossigen Hauses bestand aus einem 30 cm dicken Bruchsteinmauerwerk. Innenseitig war von den Bauherren eine 4 cm dicke Dämmschicht angebracht worden, um im Winter unangenehm kalte Oberflächen zu vermeiden. Der U-Wert der unsanierten Wand kann nur abgeschätzt werden, da vor allem die Wärmeleitfähigkeiten der verwendeten Materialien nicht genau bekannt sind. Der U-Wert dürfte zwischen 0,6 und 0,75 W/(m<sup>2</sup>K) gelegen haben. Die Fläche der Giebelfassade beträgt ca. 35 m<sup>2</sup>.



Abbildung 1: Ansicht der zu sanierenden Giebelfassade mit geringem Dachüberstand.

Die folgende Abbildung 2 zeigt das bei der Sanierung eingesetzte VIP-WDVS.

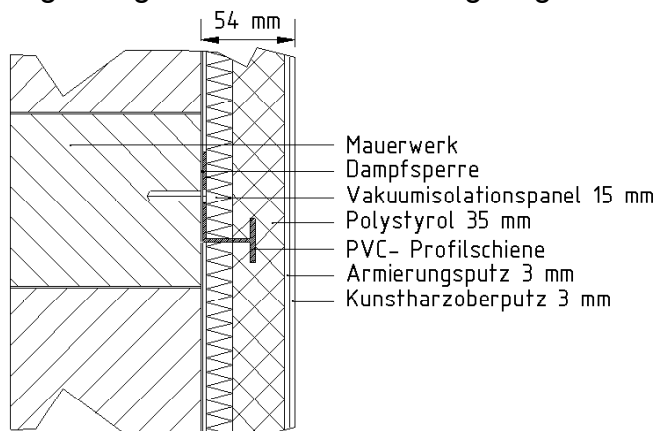


Abbildung 2: Konstruktionsskizze des bei der Sanierung angewandten VIP-WDVS mit PVC-Schienensystem.

Für das ausgeführte System wurden thermische Simulationsrechnungen mit dem Programm Heat 2 durchgeführt. Die wichtigsten Ergebnisse dieser Berechnungen sind:

- Der U-Wert der sanierten Wand beträgt  $0,19 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , womit eine Verbesserung des U-Wertes um mehr als einen Faktor 3 erreicht wurde.
- Der Unterschied der Oberflächentemperaturen (am Putz direkt über der Mitte eines VIP und direkt über der Wärmebrücke PVC-Schiene) beträgt nur  $0,1 \text{ K}$ .
- Die Temperatur zwischen dem VIP und der Steinwand liegt bei einer Außentemperatur von  $-10^\circ\text{C}$  bei ca.  $15^\circ\text{C}$ . Die Wand ist somit auch an kalten Wintertagen ausreichend warm, so dass, wie Berechnungen nach Glaser (DIN 4108) zeigen, keine Kondensation im Mauerwerk auftritt. Dies gilt auch für den Fall, dass die VIPs beschädigt und belüftet sind. Die VIPs hätten dann eine Wärmeleitfähigkeit von ca.  $0,02 \text{ W}/(\text{mK})$  und die Temperatur hinter dem VIP sinkt bei  $-10^\circ\text{C}$  Außentemperatur auf ca.  $11^\circ\text{C}$  ab. Auch bei dieser Temperatur tritt nach Glaser keine Kondensation auf. Um darüber hinaus eine mögliche Kondensation im kälteren Fugenbereich auszuschließen, wurde auf dem Mauerwerk zwischen tragender Wand und dem VIP-WDVS eine Dampfsperre aufgebracht.

### 1.3. Ausführung

Zur Anbringung des WDVS wurde in einem ersten Arbeitsschritt der alte Putz ausgebessert und vorbehandelt, so dass die Dampfsperre aus selbstklebender Aluminiumfolie aufgebracht werden konnte. Anschließend wurden die Kunststoffschienen horizontal an die Fassade angeschraubt. Die VIPs wurden in die Schienen eingestellt und die XPS-Putzträgerplatten davor gesetzt. Die XPS-Platten waren mit Nut versehen, so dass die XPS-Platte mit der Nut in die PVC-Schiene eingesteckt werden konnte. Zusätzlich wurde das VIP mit je einem Klebepunkt an der Wand und das XPS am VIP verklebt. Die VIPs wurden möglichst fugenfrei nebeneinander gestellt. Aufgrund umgelegter Folienränder ergaben sich dennoch Fugen von ca. 2 bis 4 mm. Die XPS-Platten konnten nahezu fugenfrei angebracht werden. Eventuell auftretende Fugen wurden mit einem Bauschaum verschlossen. Abbildung 3 zeigt die Montage

der VIPs in das Schienensystem. Zu sehen ist die Dampfsperre an der Wand, die PVC-Schienen mit den eingestellten VIPs und die vorgesetzten Putzträgerplatten.



Abbildung 3: Installation des VIP-WDVS bei der Sanierung der Giebelfassade.

Eine Besonderheit bei der Dämmung des Giebels war die Verwendung von VIPs in Dreieckform. Mit diesen VIPs konnte der Giebel am Rand bis zum Dach hin mit Vakuumdämmung versehen werden. Neben den dreieckigen VIPs wurde ein Standardformat 50 cm x 50 cm und wenige kleinere Sonderformate 25 cm x 50 cm, 12,5 cm x 50 cm eingesetzt. Die Sonderformate wurden zur Anpassung z.B. an Fenstern benötigt. Dennoch konnte die Giebelfassade nicht vollständig mit VIPs gedämmt werden. An einzelnen Stellen wurden deshalb Passstücke aus 5 cm dickem XPS eingesetzt. Auch die Fensterlaibungen wurden konventionell gedämmt. Insgesamt konnte eine Fläche von annähernd 95 % mit VIPs gedämmt werden, so dass der Einfluss der Passstücke auf die gesamte Dämmwirkung annähernd vernachlässigt werden kann.

#### **1.4. Ergebnisse**

Abbildung 4 zeigt die sanierte Giebelfassade. Durch die Anbringung des VIP-WDVS konnte ein hervorragender U-Wert von 0,19 W/(m<sup>2</sup>K) erreicht werden und zugleich das Erscheinungsbild des denkmalgeschützten Gebäudes beibehalten werden. Die in der Abbildung fehlenden Fensterläden wurden später wieder angebracht.



Abbildung 4: Ansicht der mit dem VIP-WDVS sanierten Giebelfassade.

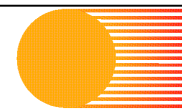
Insgesamt ließen sich die VIPs gut in die Schienenkonstruktion integrieren. Problematisch war das ungeschützte Handling der VIPs, vor allem beim Transport von der Palette, über das Gerüst bis zur Integration in die PVC-Schiene. Eine Anlieferung der VIPs in kleineren kompakten Kartons, die auf das Gerüst gehoben werden können, so dass die VIPs aus dem Karton heraus direkt eingebaut werden können, wäre von Vorteil. Eine Alternative wäre, die VIPs zusätzlich mit einem mechanischen Schutz zu versehen.

Um die Qualität der Dämmmaßnahme zu überprüfen, wurden unmittelbar nach Anbringung des VIP-WDVS, sowie in den beiden folgenden Jahren eine IR-Aufnahme durchgeführt. Abbildung 5 zeigt die IR-Aufnahmen im Vergleich.



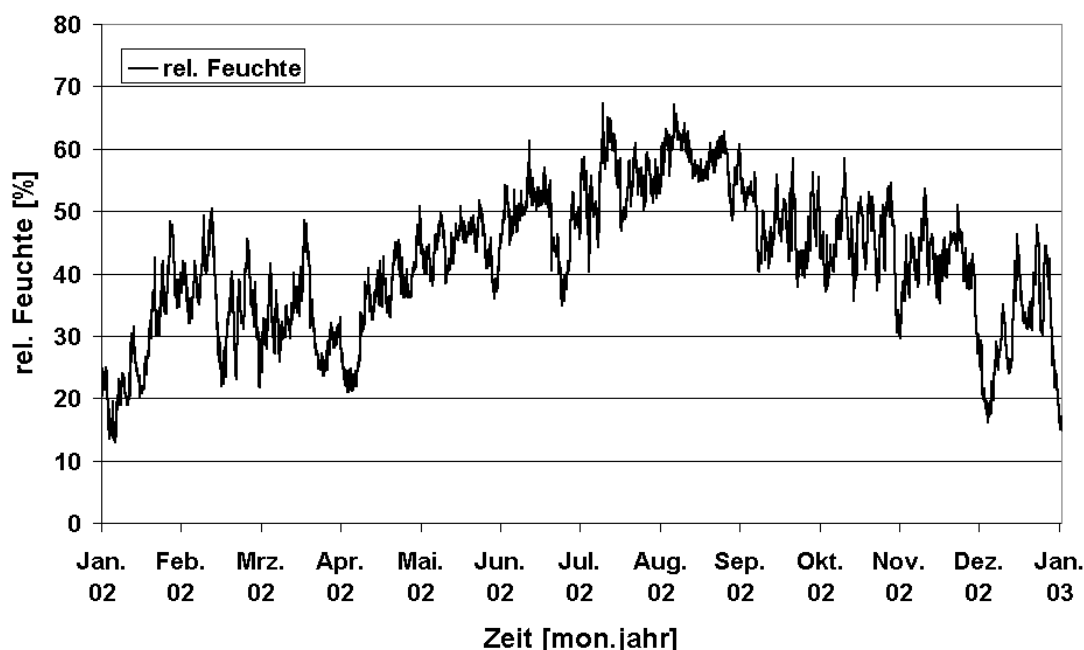
Abbildung 5: IR-Aufnahmen der Giebelfassade unmittelbar nach der Sanierung (links: 2001), nach einem Jahr (mitte: 2002) und nach zwei Jahren (rechts: 2003).

Die erste IR-Aufnahme ist aus mehreren IR-Bildern zusammengesetzt, da die bei diesen Aufnahmen verwendete Kamera einen geringen Öffnungswinkel hatte. Die Bildqualität ist deswegen nicht optimal. In den folgenden Jahren wurde eine bessere Kamera eingesetzt, bei der die IR-Aufnahme der Fassade als Ganzes durchgeführt



werden konnte. Bei den einzelnen IR-Aufnahmen kann man aufgrund der hervorragenden Tempurauflösung der Kamera von ca. 0,05 K die PCV-Schienen und sogar die Fugen zwischen den VIPs erkennen. Der Temperaturunterschied zwischen Fuge und VIP-Mitte beträgt ungefähr 0,7 K. Bei allen drei IR-Aufnahmen sind hellere Flächen zu erkennen. Dies sind zum Teil XPS-Passtücke, wie sie z.B. über den Fensterstürzen eingesetzt wurden, zum Teil handelt es sich dabei auch um belüftete VIPs. Eindeutig als belüftete VIPs lassen sich mindestens drei Paneele identifizieren. Dabei handelt es sich um die VIPs direkt unterhalb des linken Fensters und daneben ein VIP zwischen den beiden unteren Fenstern. Am linken Fenster sind weitere hellere Stellen zu erkennen, wobei hier teilweise Passtücke verwendet wurden. Die Anzahl der belüfteten VIPs ist nicht das entscheidende Kriterium für die Funktionsfähigkeit des VIP-WDVS, da die VIPs eventuell bei Transport oder beim Einbau beschädigt worden sind. Wichtiger ist der Vergleich der Aufnahmen zwischen den einzelnen Jahren. Hier ist zu erkennen, dass sich im Lauf der Jahre kein weiteres VIP belüftet hat, d.h. alle VIPs wurden vor oder beim Einbau beschädigt. Die fehlerfrei eingebauten VIPs sind, wie die Aufnahmen zeigen, alle voll funktionsfähig. Auch die Putzoberfläche ist nach mehr als zwei Jahren in einwandfreien Zustand. Es sind keinerlei Verfärbungen, Risse oder sonstige Schäden zu erkennen.

Im Rahmen des Demonstrationsobjektes wurde ein Feuchtesensor im Bereich des Deckenauflegers von der Innenseite in die Wand eingebracht (Tiefe ca. 15 cm). Die nachfolgende Abbildung zeigt den gemessenen Feuchteverlauf über den Zeitraum von einem Jahr. Die rel. Feuchte ist niedrig und ein kritischer Feuchteanstieg ist nicht festzustellen. Die Daten zeigen sogar, dass im Winter die rel. Feuchte niedriger ist als im Sommer. Somit bestätigen diese Messungen an dem ausgeführten Demonstrationsobjekt, dass es zu keiner Kondensation im Winter kommt. Die niedrigere Feuchte im Winter ist darauf zurückzuführen, dass die Feuchte in der Wand im wesentlichen von der Raumluftfeuchte bestimmt wird, die im Winter üblicherweise niedriger ist als im Sommer. Die Messungen zeigen, dass die Konstruktion unter feuchtechnischen Aspekten unkritisch ist.





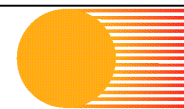


Abbildung 6: Rel. Feuchte im Mauerwerk (innenseitig in 15 cm Tiefe) im Bereich des Deckenaufagers.

## 1.5. Bewertung

Insgesamt lässt sich aus den vorgestellten Ergebnissen der Schluss ziehen, dass es mit dem VIP-WDVS mit PVC-Schienen gelungen ist, die Vorteile der Vakuumdämmung in einem schlanken hocheffizienten Dämmsystem umzusetzen.

Die Fa. Schnös will das System am Markt einsetzen und hat in der Zwischenzeit ein weiteres Bauvorhaben mit diesem System ausgeführt. Für die Bauvorhaben sind nach wie vor jeweils Einzelzulassungen erforderlich. Ziel sollte es sein, evtl. mit weiteren Industriepartnern, eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für dieses VIP-WDVS zu erhalten.

## 2. Neubau in Holzbauweise mit austauschbarer Vakuumdämmung in München

### 2.1. Aufgabenstellung

Im Rahmen dieses Teilprojektes sollte der Neubau eines Wohnhauses in Holzbauweise mit austauschbarer Vakuumdämmung realisiert werden. Im Rahmen einer integralen Gesamtplanung wurden mehrere Ziele verfolgt:

- Durch entsprechende Vorplanung sollte ein reibungsloser und schneller Einbau maßgefertigter VIPs erreicht werden. In der Wand wurde ein U-Wert unter  $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  angestrebt, was bei einer Gesamtwanddicke von weniger als 20 cm erreicht werden sollte.
- Durch die Gesamtkonzeption mit Einsatz der Vakuumdämmung im Außenwandbereich und im Pultdach, durch kontrollierte Lüftung über Erdreichwärmetauscher und Wärmerückgewinnung und durch Nutzung der Solaranlage mit Fassadenkollektoren für Heizung und Warmwasser, sollte ein Niedrigstenergiehaus mit einem Heizwärmebedarf von ca.  $20 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  und einem Primärenergiebedarf unter  $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  realisiert werden.
- Bei der Wahl der Konstruktion wurde ein System angestrebt, das eine leichte Zugänglichkeit und Austauschbarkeit für die VIPs ermöglicht.

Mit diesem Demonstrationsobjekt sollte zum ersten Mal ein Neubau realisiert werden, bei dem VIPs zur gesamten Dämmung des Gebäudes eingesetzt werden sollten (Ausnahme: Keller). Die nachfolgenden Beschreibungen beziehen sich vor allem auf die Anwendung von Vakuumdämmung in diesem Bauvorhaben und die daraus gewonnenen Erkenntnisse. Das Demonstrationsobjekt wurde vom Architekturbüro Lichtblau geplant. Die Fa. Wacker Ceramics lieferte die VIPs für das Bauvorhaben.

### 2.2. Beschreibung des Gebäudes und der Konstruktionen

Über der in klassischer Weise gedämmten Unterkellerung erhebt sich ein zweigeschossiger vorgefertigter Massivholzbau unter einem begrünten Pultdach. Die Hauptnutzfläche des Zweifamilienhauses beträgt  $292 \text{ m}^2$ . Die Fassade besteht aus lasierten Fichtenholztafeln, die auf der neuartigen Unterkonstruktion mit VIPs aufgebracht wurden. In Teilflächen wurden auf der Südseite Fassadensolarkollektoren eingebaut und auf der Nordseite kamen transluzente Dämmelemente zum Einsatz.

Der Einsatz der Vakuumdämmung erfolgte in der opaken Fassade, in die einlagig 40 mm dicke VIPs eingebaut wurden. Im Bereich der Fassadenkollektoren wurde eine zweilagige VIP-Konstruktion mit jeweils 15 mm dicken VIPs verwendet (Konstruktion s. Kapitel 3.4). Im Dachbereich wurde zusätzlich zu einer konventionellen 20 cm dicken Zellulosedämmung zwischen den Stegträgern unterseitig eine 30 mm dicke Vakuumdämmung eingebracht. Zwischen einer quer zu den Stegträgern verlaufenden Holzlattung wurden die VIPs eingebracht und mit Gipsfaserplatten zur Abdeckung und Befestigung versehen. Der U-Wert im Dach beträgt  $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Außerdem wurden die Haustüren mit 20 mm dicken VIPs gedämmt.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die in der opaken Fassade eingesetzte Konstruktion. Auf die 8 cm Massivholzwand ist eine horizontale Lattung angebracht in deren Zwischenraum Holzweichfaserplatten eingestellt sind. Auf diese Lattung ist nun eine weitere senkrecht verlaufende Konterlattung aufgebracht. In diese Konterlattung sind Gewindestäbe eingebracht, die zur Befestigung der Fassadenabdeckplatten dienen. Die Vakuumdämmung wird in die Zwischenräume der Konterlattung eingestellt, wobei die VIP's zuvor umlaufend mit einem Komtriband versehen werden. Auf diese Schicht kommt nochmals eine Lage Holzweichfaserplatten und dann als Abschluss die Fassadenabdeckplatten, die mittels den beschriebenen Gewindestäben am Gebäude befestigt wird.

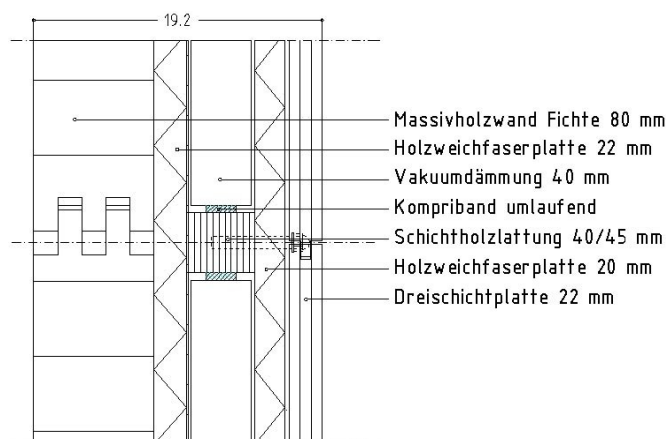


Abbildung 7: Konstruktionsskizze der vakuumgedämmten Holzlattungskonstruktion.

Vom Architekturbüro Lichtblau wurden verschiedene, statisch geprüfte Konstruktionen vorgeschlagen. Für diese Konstruktionen wurden wärmetechnisch und für ausgewählte Konstruktionen zusätzlich feuchtetechnische Simulationsrechnungen durchgeführt. Auch wurden Berechnungen für Wandanschlussdetails wie z.B. Fenster durchgeführt. Die in Abbildung 7 gezeigte Konstruktion wurde als Fassadenkonstruktion ausgewählt. Die Vorteile dieser Konstruktion sind in einer einfachen Montage und in der Austauschbarkeit begründet. Der Nachteil der Konstruktion ist die breite Wärmebrücke, die durch die Konterlattung verursacht wird. Durch die zusätzliche konventionelle Dämmebene vor und hinter der Konterlattung wird die Wärmebrücke jedoch reduziert. Aufgrund der 4 cm dicken Vakuumdämmung ist der Bereich hinter der Dämmung so warm, dass auch im belüfteten Fall hinter der VIP-Dämmung keine Kondensation auftreten kann. Um das Verhalten im Bereich der Wärmebrücken zu untersuchen, wurden Simulationsrechnungen mit WUFI2D durchgeführt. Im

Bereich der Wärmebrücke kommt es im Winter zu einer Feuchteanreicherung. Der Wassergehalt erreicht dabei maximal Werte um 10 Massen-%, was für Holz als un-kritisch anzusehen ist.

Ohne die Wärmebrücke wäre mit der Konstruktion ein U-Wert von  $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  erreichbar. Die Wärmebrücke führt zu einem deutlichen Anstieg des mittleren U-Wertes für die Fassade auf  $0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Insgesamt konnte trotz der Wärmebrücke ein hervorragender U-Wert von  $0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , d.h. Passivhausstandard, bei einer Gesamtdicke der Konstruktion von nur 19 cm erreicht werden. Dies veranschaulicht auf beeindruckende Weise, welche neuen Möglichkeiten sich durch die Anwendung der Vakuumdämmung ergeben. Die schlanke Holz/VIP-Konstruktion führte zu einem Nutzflächengewinn von  $15 \text{ m}^2$  gegenüber einem konventionell gebauten Passivhaus mit gleichen Außenmaßen.

### 2.3. Ausführung

Entsprechend der im vorherigen Kapitel gezeigten Konstruktion wird auf einer horizontal verlaufenden Lattung, in deren Zwischenräume Holzweichfaserplatten eingebracht sind, eine vertikal verlaufende Konterlattung aufgebracht. In die Zwischenräume der Konterlattung werden die VIPs eingestellt. Unmittelbar vor der Integration der VIPs wird an den Kanten eine umlaufendes Kompriband aufgeklebt. Die VIPs sind durch das Kompriband an den Seiten geschützt und werden zugleich durch das sich ausdehnende Kompriband zwischen der Konterlattung gehalten. Abbildung 8 zeigt wie die VIPs zwischen die Konterlattung eingebracht werden.



Abbildung 8: Einbau der VIPs in die Holzlattungskonstruktion.

Über die VIPs werden nochmals 2 cm dicke Holzweichfaserplatten angebracht. Die Holzweichfaserplatten überdecken die Konterlattung und werden zwischen den Gewindestäben eingeklemmt. Die Gewindestäbe in der Konterlattung sind in der Abbildung zu erkennen. VIPs und Holzweichfaserplatten sind während der Montage nur locker befestigt. Dies erfordert, dass die Montage einer kompletten Wandseite gut geplant und zügig durchgeführt werden muss. Abbildung 9 zeigt die Ostfassade des Neubaus. Die VIPs sind weitestgehend in der Fassade eingebaut. Es fehlen noch die Holzweichfaserplatten und abschließend die lasierten Fichtenholztafeln zur Abdeckung.



Abbildung 9: Ansicht Ostfassade während des Einbaus der VIPs.

## 2.4. Ergebnisse und Erfahrungen

### 2.4.1. Das Gebäude

Die beiden nachfolgenden Abbildungen zeigen das fertiggestellte Gebäude in Südansicht zum Garten hin und in der Nord-Ost-Ansicht von der Straßenseite. Zu sehen sind die lasierten Fichtenholzplatten und die Aluwinkelprofile, durch die die Fassadenplatten mit den Gewindestangen verschraubt wurden. Zwischen den Terrassen- und Balkontüren sind die Fassadenkollektoren zu erkennen.



Abbildung 10: Südsansicht des fertiggestellten Neubaus.

An der Nordseite ist in der Mitte eine transluzente Fassade mit TWD-Elementen zu erkennen.



Abbildung 11: Nord-Ost-Ansicht der fertiggestellten Neubaus.

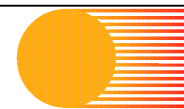
Die Bilder verdeutlichen, dass sich mit der Vakuumdämmung architektonisch ansprechende Gebäudekonzepte bei sehr niedrigem Energiebedarf realisieren lassen. Welches Potenzial die Vakuumdämmung beim Bau von Niedrigstenergie- oder Passivhäusern hat, konnte durch diese Demonstrationsobjekt sehr gut gezeigt werden. Ein weiterer Vorteil der Vakuumdämmung, gerade im Bereich der verdichteten Bauweise in Innenstädten mit hohen Grundstückskosten, ist der Gewinn an Nutzfläche. Die Erfahrungen, die bei diesem Demonstrationsobjekt gemacht wurden, werden im folgenden diskutiert.

#### **2.4.2. Erfahrung beim praktischen Einsatz der Vakuumdämmung**

Wie die obigen Bilder gezeigt haben, ist die Vakuumdämmung sehr gut geeignet, um beim Bau von Niedrigstenergiehäusern hocheffiziente Dämnhüllen mit schlanken und architektonisch hochwertigen Konstruktionen zu realisieren. Darüber hinaus muss die Vakuumdämmung weitere Anforderungen erfüllen, um im Baubereich anwendbar zu sein. Einige dieser Fragen wie der Anstieg der Wärmeleitfähigkeit oder der Einfluss von Wärmebrücken wurden bereits umfassend diskutiert. Im folgenden werden die Erfahrungen diskutiert, die beim Einsatz der Vakuumdämmung am Bau gemacht wurden.

Nachfolgend wird aufgelistet, welche Schwierigkeiten bei der Anwendung der Vakuumdämmung festgestellt wurden:

1. Maßhaltigkeit der VIPs war kritisch.
2. Verarbeitung ungeschützter VIPs birgt Gefahr der Beschädigung und Belüftung.
3. Ursache der Belüftung kaum feststellbar (Haftungsrechtliche Fragen unklar).
4. Gefahr von schleichender Belüftung bei Minimalbeschädigung oder bei schlechter Fertigungsqualität, so dass die Beschädigung nicht erkannt wird und fehlerhafte VIPs eingebaut werden.
5. aufwendige Maßfertigung erforderlich und keine Anpassung bei Abweichungen vom Sollmaß möglich.

**Zu 1:**

Bei den beschriebenen Konstruktionen ist eine möglichst genaue Maßfertigung erforderlich, da sonst bei zu kleinen Abmessungen Fugen entstehen können, die durch das Kompriband nicht mehr ausgefüllt werden. Bei einer Dicke des Kompribandes im dekomprimierten Zustand von 10 mm, lassen sich prinzipiell VIPs mit einer Maßgenauigkeit von  $\pm 5$  mm verarbeiten. Eine bessere Maßhaltigkeit ist wünschenswert, um die Fugen möglichst klein zu halten. Noch kritischer als zu kleine Paneele sind zu große VIPs, weil diese nicht mehr in die Konstruktion eingepasst werden können. Die Maßgenauigkeit der gelieferten VIPs lag im Bereich von  $\pm 5$  mm, so dass in Einzelfällen Einbauschwierigkeiten auftraten. Diese Abweichungen sind auf zwei Ursachen in der Fertigung der Paneele zurückzuführen. Zum einen führen Abweichungen im Zuschnitt des Füllkörpers in Abhängigkeit von der absoluten Paneelgröße zu unterschiedlichen Schwundmaßen nach der VIP Herstellung. Dies lässt sich durch den auf das Paneel allseitig wirkenden Atmosphärendruck erklären, durch den das Füllmaterial nochmals geringfügig verdichtet wird. Eine andere Schwierigkeit in punkto Maßhaltigkeit waren die zum Teil mehrfach umgelegten Folienränder der VIPs. Die Abweichungen durch Faltung nimmt bei dickeren Paneelen zu, weshalb bei den 4 cm dicken Paneelen die Faltung an den Ecken teilweise zu nicht unerheblichen Abweichungen vom Nennmaß führte. Mit dünneren Paneelen oder mit verbesserter Faltungstechnik lassen sich die Maßtoleranzen auf etwa 2- 3 mm reduzieren.

**Zu 2, 3 und 4:**

Die Eckenfaltung führt zu einer ungenauen Maßhaltigkeit, zum anderen entstehen an der Folie, die an den Ecken umgelegt wird, Knicke und Kanten, die durch geringe äußere mechanische Belastung beschädigt werden können. Einige VIPs haben sich während der Baumaßnahme belüftet. Die genaue Ursache der Belüftung konnte nicht ermittelt werden. Es wurde aber festgestellt, dass meistens eine Belüftung von den Ecken her auftrat (mit abnehmendem Vakuum im VIP lockert sich die anliegende Folie und dieses Verhalten wurde zuerst im Eckbereich beobachtet). Eine hohe Beschädigungsgefahr für die VIPs besteht beim Transport auf das Gerüst und bei der Integration in die Haltekonstruktion, vor allem wenn die Eckenfaltung das Sollmaß überschreitet und die VIPs in die Konstruktion hineingedrückt werden. Äußerst kritisch ist es auch, wenn VIPs mit spitzen oder scharfen Gegenständen in Berührung kommen. Aber auch andere Ursachen wie Funkenflug, raue Dreckpartikel, usw. können die Folie verletzen. Beschädigte Paneele belüften je nach Stärke der Folienbeschädigung im Zeitraum von Minuten oder Stunden. Wird die Folie nur schwach beschädigt (Mikrolöcher), kann die Belüftung erst nach Tagen oder sogar erst nach Wochen eintreten. Es wurde festgestellt, dass Belüftung sowohl bei einigen Paneelen auftrat, die auf der Baustelle gelagert waren, als auch bei Paneelen, die bereits eingebaut, aber die Konstruktion noch nicht mit der Fassadenabdeckung geschlossen war (ein Austausch dieser Paneele war noch einfach möglich). Darüber hinaus sind, wie IR-Aufnahmen einige Wochen nach Einbau zeigen, voraussichtlich zwei der eingebauten Paneele belüftet (bei späteren IR-Aufnahmen wurden keine weiteren defekten Paneele entdeckt). Diese Paneele haben sich vermutlich so langsam belüftet, dass dies vor dem Verschließen der Fassade nicht bemerkt wurde. Da zum damaligen Zeitpunkt keine Qualitätskontrolle der VIPs vor Ort möglich war, konnte nicht festgestellt werden, was die Ursache der Beschädigung war (Einbaufehler, Transportbeschädigung zur Baustelle oder auf der Baustelle, Produktionsfehler). Dies führt allgemein zu dem Problem, dass sich Haftungs- und Gewährleistungsfragen nicht eindeutig zuordnen lassen. Mit dem von der Fa. va-Q-tec AG neu entwick-

kelten Verfahren va-Q-check (siehe unter [www.va-q-tec.com](http://www.va-q-tec.com)) besteht in der Zwischenzeit die Möglichkeit durch Qualitätskontrollen vor Ort die Funktionsfähigkeit der VIPs vor dem Verschließen der Fassaden zu testen. Unabhängig von der Gewährleistungsproblematik stellt sich allerdings die Frage, inwieweit eine ungeschützte Verarbeitung der VIPs auf der Baustelle überhaupt sinnvoll ist. Wie die Erfahrungen zeigen, sollte zumindest ein Eckenschutz vorgesehen werden. Auch ein Schutz der Fläche ist bei den rauen Bedingungen auf der Baustelle zu überlegen. In der Zwischenzeit werden von den VIP-Herstellern verschiedene Lösungsansätze untersucht. Nach Möglichkeit sollte die Schutzhülle multifunktional gestaltet werden und nicht nur mechanischer Schutz sein, sondern auch die Maßhaltigkeit und die Brandbeständigkeit bessern, wobei die Schutzhülle die Möglichkeit einer Qualitätskontrolle nicht verhindern sollte.

#### **Zu 5:**

Eine Maßfertigung mit Abweichung von den Standardmaßen erhöht den Produktionsaufwand. Durch entsprechende Planung, Optimierung der Fassadeneinteilung mit möglichst wenig unterschiedlichen Formaten lässt sich der Fertigungsaufwand reduzieren. Maßgefertigte Paneele erfordern einen logistisch geplanten Einbau. Der Einbau wurde durch beschädigte Paneele und Paneele mit unpassenden Maßen behindert, dies konnte aber durch Nachlieferung ausgeglichen werden.

Die vorgenannten Punkte haben die Schwierigkeiten bei der Integration der Vakuumdämmung beschrieben. Dennoch konnte der Großteil der VIPs zügig eingebaut und die VIP-Integration erfolgreich abgeschlossen werden.

Durch das Projekt konnten einige Schwachstellen der Vakuumdämmung im baupraktischen Einsatz aufgezeigt werden, die durch Weiterentwicklung und Optimierung in Zukunft vermieden werden können.

#### **2.4.3. IR-Aufnahmen zur Qualitätsüberwachung im eingebauten Zustand**

Abbildung 12 zeigt die IR-Aufnahme im Januar 2002 (links), einige Wochen nachdem die Fassade fertiggestellt wurde, und die IR-Aufnahme ein Jahr später (rechts). Um die Kontraste besser darzustellen zu können, wurde eine Schwarz-Weiß-Darstellung gewählt. Die Aufnahmen im Jahr 2003 wurden mit einer neuen Kamera mit verbesserter Aufnahmequalität durchgeführt.

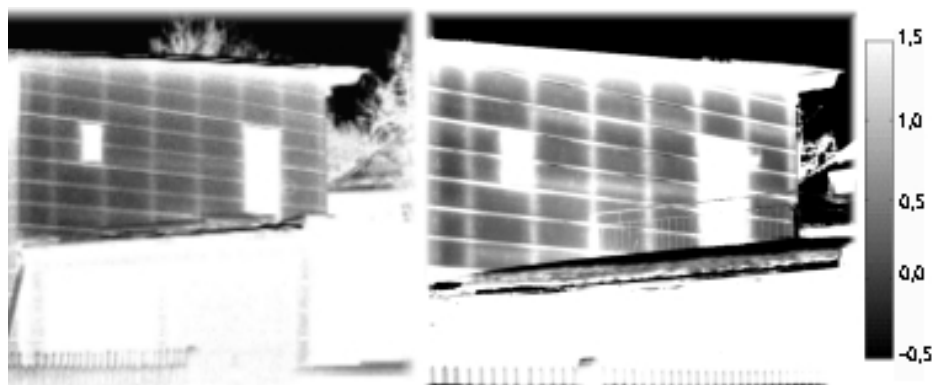


Abbildung 12: IR-Aufnahme der Westfassade in Schwarz-Weiß-Darstellung.

Deutlich ist die vertikal verlaufende Konterlattung an den hellen (wärmeren) Linien zu erkennen. Es sind zwei Arten horizontal verlaufender Linien zu sehen, die zum einen von den außen aufgeschraubten Aluminiumleisten und zum anderen von den Wärmebrücken der Fugen zwischen den VIPs hervorgerufen werden. Weil sich die Fugen und Konterlattung hell abzeichnet, können die einzelnen VIPs in der Fassade lokalisiert werden. Wäre ein VIP defekt, so erhöht sich die Oberflächentemperatur und der Bereich wird heller. In der Abbildung ist dies nicht festzustellen, so dass alle VIPs beim Einbau und auch nach einem Jahr noch in Ordnung sind. Die Abbildung 13 zeigt die IR-Aufnahme eines Teils der Ostfassade. Wiederum sind die hellen Linien durch Konterlattung, Aluminiumleiste und Fugen zu erkennen. Bei den etwas helleren Bereich unterhalb des kleinen oberen Fensters handelt es sich mit relativ hoher Sicherheit um ein belüftetes VIPs (eventuell ist noch ein zweites VIP links neben dem unteren Fenster beschädigt). Auch an der Nordseite könnten zwei weitere VIPs belüftet sein, während an der Südseite keine defekten VIPs erkennbar sind. Die Identifizierung beschädigter VIPs ist schwierig. Anhand der Originalaufnahmen der Kamera lassen sich allerdings die defekten VIPs besser erkennen als anhand der hier gezeigten Graphiken.

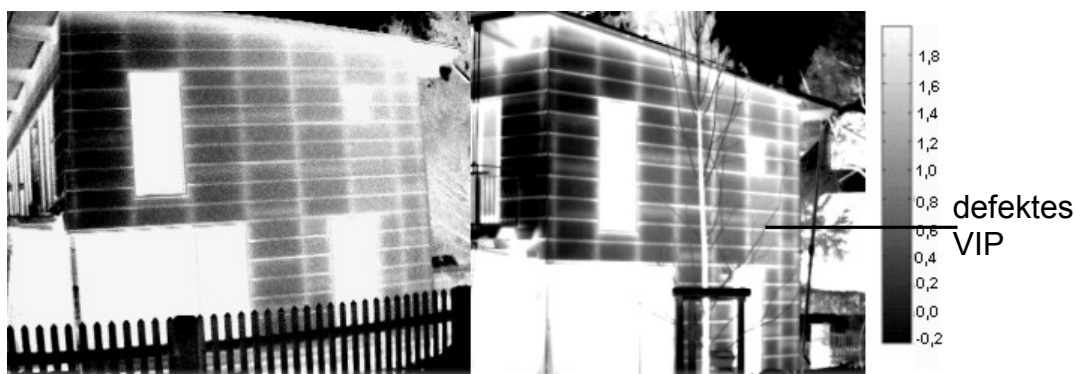


Abbildung 13: IR-Aufnahme der Ost-Fassade.

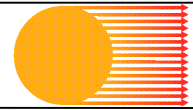
Die Tatsache, dass trotz sorgfältigen Einbaus ein paar wenige VIPs belüftet sind, zeigt, dass beim ungeschützten Handling der VIPs (im Werk, beim Transport oder beim Einbau) eine Beschädigung nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann. Im Fall von Mikrolöchern besteht die Gefahr, dass die Beschädigung nicht erkannt wird und fehlerhafte VIPs eingebaut werden. Entweder müssen die VIPs besser geschützt oder es muss zusätzlich zur Qualitätssicherung im Werk eine Qualitätskontrolle vor Ort möglich sein. Unabhängig von dieser Verarbeitungsproblematik ist auch bei diesem Bauvorhaben festzustellen, dass sich keine VIPs im eingebauten Zustand belüftet haben, so dass die Funktionsfähigkeit der Fassade bestätigt werden konnte.

## 2.5. Bewertung

Durch den Neubau eines vakuumgedämmten Niedrigstenergiehauses wurde eindrucksvoll gezeigt, welches hohe Anwendungspotenzial die Vakuumdämmung hat. Die Probleme in der praktischen Anwendung (Maßhaltigkeit, Beschädigungsgefahr, keine Qualitätskontrolle vor Ort) wurden im Rahmen dieses Pilotvorhabens deutlich.

Das Architekturbüro Lichtblau ist interessiert, in zukünftigen Bauvorhaben die Vakuumdämmung zu verwenden. Voraussetzung ist die Beseitigung der hier aufgezeigten





Probleme und die Lösung der Gewährleistungsfragen. Anstelle einer Einzelzulassung ist für die Zukunft eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung unbedingt erforderlich. Eine Multiplikatorwirkung durch die Demonstrationsobjekte ist bereits jetzt bei Bauherren und Architekten zu verzeichnen.

### **3. Sanierung eines Reihenmittelhauses mit austauschbarer Vakuumdämmung in München**

#### **3.1. Aufgabenstellung**

Bei der Sanierung des Reihenmittelhauses sollte erstmals ein Gebäude umfassend mit Vakuumdämmung saniert werden. Bei dem Gebäude handelt es sich um ein Reihenmittelhaus aus dem Jahr 1956 in München, das sich noch weitgehend im Originalzustand befand und komplett saniert auf Niedrigstenergiestandard gebracht werden sollte. Ziel war es die Gebäudesubstanz und den gestalterischen Kontakt zu den Nachbargebäuden zu erhalten. Darüber hinaus sollte der Heizwärmebedarf von annähernd 200 kWh/(m<sup>2</sup>a) auf ca. 20 kWh/(m<sup>2</sup>a) abgesenkt werden. Der Primärenergiebedarf sollte in etwa 50 kWh/(m<sup>2</sup>a) betragen. Neben dem Einsatz der Vakuumdämmung, war der Einbau einer kontrollierten Lüftung, sowie der Einbau von Fassadenkollektoren auf der Südseite vorgesehen. Um eine Absenkung des Wärmebedarfs um einen Faktor 10 zu erreichen, musste das Haus mit einer sehr guten Wärmedämmung versehen werden. Mit konventioneller Dämmung wären hier Dämmschichtdicken von über 20 cm erforderlich gewesen, was das architektonische Bild des Gebäudes in Zusammenhang mit den Nachbargebäuden erheblich gestört hätte und weitere Anpassungsprobleme, z.B. beim Dachüberstand, zur Folge gehabt hätte. Durch den Einsatz der Vakuumdämmung konnten sowohl die energetischen als auch die gestalterischen Anforderungen erfüllt werden. Dazu war es erforderlich, geeignete Konstruktionen und Anschlussdetails zu entwickeln, die den energetischen, bauphysikalischen und konstruktiv-statischen Anforderungen genügen.

Die nachfolgenden Beschreibungen beziehen sich vor allem auf die Anwendung der Vakuumdämmung in diesem Bauvorhaben und die daraus gewonnen Erkenntnisse.

Das Demonstrationsobjekt wurde vom Architekturbüro Lichtblau geplant. Die Fa. Wacker Ceramics lieferte die VIPs für das Bauvorhaben.

#### **3.2. Beschreibung des Gebäudes und der eingesetzten Konstruktionen**

Das Reihenmittelhaus verfügte über eine Wohnfläche von 130 m<sup>2</sup> und war unterkellert. Die Außenwand besteht aus einem verputzten Ziegelmauerwerk mit 34 cm Gesamtdicke. Die Decken sind aus Beton. Das Dachgeschoss war ausgebaut.

Die baulichen Maßnahmen mit Vakuumdämmung wurden an der Nord-, an der Südseite, im Dach und an der Kellerdecke ausgeführt. An der vollverglasten Südseite wurden vor der Vakuumdämmung Fassadenkollektoren eingebracht.

##### **Nordseite:**

Die Abbildung 14 zeigt die an der Nordfassade eingesetzte Konstruktion.

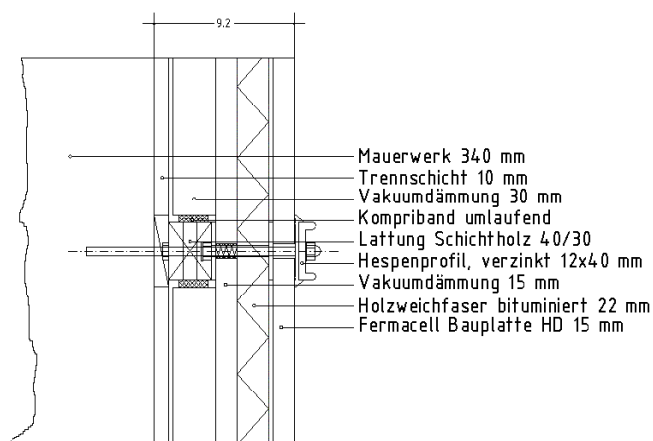


Abbildung 14: Konstruktionsskizze der an der Nordseite eingesetzten Dämmkonstruktion.

Um größtmögliche Formate der Vakuumdämmpaneele zu erhalten, wurde aufgrund nichtfluchtender Fassadenöffnungen in der Vertikalen eine horizontale Fugenausbildung für die Fassadenabdeckplatten gewählt. Die zu erneuernden Fenster wurden in der Dämmebene angeordnet. Da keine vertikale Lattung verwendet wurde (s. Kapitel 2), konnte hinter der Vakuumdämmung keine konventionelle Dämmung eingebracht werden. Die horizontale Schichtholzlattung (30 mm x 40 mm) wurde mit einem Toleranzausgleich von 10 mm direkt an der Fassade angebracht. Um den Einfluss der Wärmebrücke durch die Holzlattung zu reduzieren, wurden die VIPs zweilagig verlegt. In der Ebene der Holzlattung wurden 30 mm dicke VIPs, die an den Rändern umlaufend mit Kombriband versehen wurden, eingestellt. Zusätzlich wurden 15 mm dicke VIPs, ebenfalls mit Kombriband versehen, davor angebracht, so dass die Lattung wie in der Skizze zu sehen ist, vom VIP überdeckt wird. Zum Schutz und als zusätzliche Dämmung wurden 20 mm dicke Holzweichfaserplatten vorgesetzt. Als Fassadenabdeckung wurden Zement-Glasfaserplatten eingebaut, die mit Stahl-Pressleisten an die Wand geklemmt wurden. Die Stahlleisten wurden mit den Gewindestangen der Holzlattung verschraubt.

Der rechnerische U-Wert der Konstruktion auf der Nordseite beträgt bei einer Gesamtdicke der vorgesetzten Konstruktion von 9,2 cm (Ausgleichsschicht, Dämmung und Fassadenabdeckung)  $0,155 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Da das Reihenmittelhaus über Komunwände (gemeinsame Wand zwischen den Häusern) mit den Nachbarhäusern verbunden ist, stellt der Übergang zu den Nachbarhäusern eine starke Wärmebrücke dar. Zur Reduzierung der Wärmebrücke durch die Komunwand wurde ein von der Geländeoberkante bis zum Dach durchlaufender Schlitz (25 cm tief) gefräst, in dem VIPs zur Reduzierung der Wärmebrücke eingeschoben wurden.

### Südseite:

Abbildung zeigt die auf der Südseite des RMH eingesetzte Konstruktion. An der Südseite wurde vor der Vakuumdämmung ein Solarabsorber (DOMA-Solar) angebracht. Deswegen wurde anstelle der Holzlattung die Verwendung einer Stahlmontageschiene erforderlich. In gleicher Weise wie auf der Nordseite werden die VIPs zweilagig eingesetzt. Die verwendeten VIP-Dicken betragen 20 mm und 10 mm. Die Solarabsorber mit Solarprismenglas ESG sind über verzinkte Stahlleisten ver-

schraubt. Der Einsatz der Vakuumdämmung hinter dem Absorber wurde in Vorversuchen getestet. Die Ergebnisse werden in Kapitel 3.4 diskutiert.

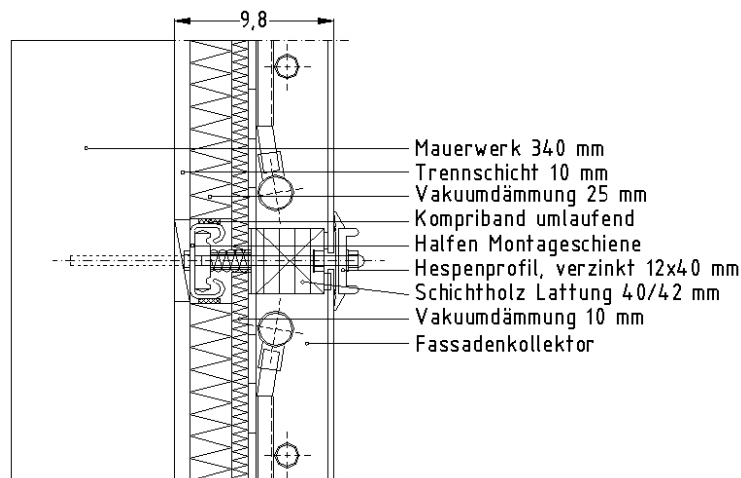


Abbildung 15: Konstruktionsskizze der an der Südseite eingesetzten Dämmkonstruktion mit vorgesetztem Fassadenkollektor.

Der rechnerische U-Wert der Konstruktion auf der Südseite beträgt bei einer Gesamtdicke der vorgesetzten Konstruktion von 9,8 cm (Dämmung und Fassadenkollektor)  $0,19 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

#### **Dach:**

Der Sparrenzwischenraum des Daches wurde mit einer herkömmlichen Zellulosedämmung ausgestattet. Zusätzlich wurden raumseitig in den Lattenzwischenraum 20 mm Vakuumdämmpaneele eingebaut. Das Dach erhielt im Rahmen der Sanierung eine Gaube auf der Südseite. Die Gaube besteht dreiseitig aus Glas und das Gaubendach wurde komplett mit VIPs abgedämmt. Es zeigte sich, dass die Vakuumdämmung gerade in Bereichen, wo wenig Raum zur Verfügung steht (Anschluss Dach – Gaube), hervorragend eignet, dämmtechnisch hochwertige Lösungen zu realisieren. Der rechnerische U-Wert der Dachkonstruktion beträgt  $0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

#### **Kellerdecke:**

Die Unterseite der Kellerdecke wurde ebenfalls mit Vakuumdämmpaneele ausgestattet. Diese wurden gemäß der vorher beschriebenen Lösung mittels umlaufenden Komriband in Lattenzwischenräume eingepasst und anschließend mit einer raumseitigen Abdeckplatte versehen. Bei dieser Maßnahme kamen die Schwierigkeiten bei der Anpassung von Vakuumdämmung an bauliche Gegebenheiten deutlich zu Tage. Bedingt durch die Versorgungsleitungen an der Decke des Kellergeschosses, musste eine größere Anzahl von Passtücken aus herkömmlichen Dämmstoffen (EPS / XPS) verwendet werden. Dies beeinträchtigt den Wärmedurchgangskoeffizienten deutlich. Dennoch kann gerade im Kellerbereich der große Vorteil der Vakuumdämmung zur Geltung gebracht werden. Bei einer Gesamtdicke der unter der Betondecke angebrachten Konstruktion von ca. 3,5 cm konnte eine gute Dämmung erreicht und zugleich die Raumhöhe annähernd beibehalten werden. Der rechnerische U-Wert der Kellerdecke beträgt  $0,26 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Insgesamt mussten im Rahmen der Komplettanierungen zahlreiche konstruktive Lösungen entwickelt werden. Zusätzlich müssen auch Anschlussdetails betrachtet werden. Ein Detail, das im Rahmen der Sanierung besonders untersucht wurde, ist der Fassadenkollektor, der im Kapitel 3.4 beschrieben wird.

### 3.3. Ausführung

Wie die Ausführung der Dämmkonstruktion in der Praxis umgesetzt wurde, ist in Abbildung 16 gezeigt. Im Wesentlichen erfolgt die Integration ähnlich wie bei Konstruktion in Kapitel 2.3. Im oberen Teilbereich sind die VIPs noch zu sehen, während im unteren Bereich bereits die Holzweichfaserplatten angebracht wurden. Über diese Holzweichfaserplatten werden nur noch die Zement-Glasfaserplatten angebracht, die über die angeschraubten Stahlpressleisten gehalten werden.



Abbildung 16: Einbau der VIPs in die Nordfassade.

### 3.4. Der Fassadenkollektor

Es war beabsichtigt, die gesamte Wandfläche auf der Südseite mit Solarkollektoren zu bestücken. Diese sollten flächenbündig in die Fassade eingebunden sein. Zudem sollte der Einsatz der Kollektoren zu keiner nennenswerten Verschlechterung der Dämmhülle des Gebäudes führen. Es lag nahe, die Kollektoren rückseitig mit Vakuumdämmung zu bestücken. Eine Schwierigkeit dabei waren die hohen Temperaturen des Kollektors am Absorberblech, was ein Versagen der VIP Hüllfolien zur Folge haben kann. Es wurden deshalb Versuche durchgeführt, inwieweit durch Variation der Absorbermaterialien und der Hüllfolien der Vakuumdämmung eine einwandfreie Funktion des Bauteiles / Kollektors sichergestellt werden kann. Abbildung 17 zeigt drei verschiedene Absorber, die zur Untersuchung rückseitig mit VIPs gedämmt waren. Bei den Absorbern handelte es sich um einen Selektiv-, um einen Schwarznickel- und um einen farbigen Absorber.



Abbildung 17: Testelement mit drei rückseitig vakuumgedämmten Solarabsorbern.

Die höchsten Temperaturen am Absorberblech traten nicht im Betrieb sondern bei Stillstand des Kollektors auf. Die Maximaltemperatur am VIP, welches direkt am Absorberblech anlag, betrug je nach Absorbermaterial zwischen  $116^{\circ}\text{C}$  und  $161^{\circ}\text{C}$ . Diese Temperaturen führten bereits nach 6 Wochen zur Belüftung des am Absorber anliegenden VIPs. Die Versagensursache dürfte darin begründet liegen, dass die Temperaturen in einer Größenordnung liegen, bei welcher die Hüllfolien der VIP's versiegelt werden.

Im Anschluss an diese Versuchsreihe wurde ein 5 mm dickes Vlies zwischen Absorber und VIP eingebracht. Dies senkte die am VIP anliegenden Temperaturen um ca. 25 K. Nach einem Beobachtungszeitraum von 10 Monaten war keinerlei Belüftung zu beobachten. Für den Einsatz der Kollektoren in der Südfassade wurde die vorgesehene Dämmstärke von 30 mm im Kollektorfeld aufgeteilt in  $2 \times 15$  mm. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass bei Versagen des am Absorber befindlichen VIPs nach wie vor eine Dämmebene intakt bleibt.

### **3.5. Ergebnisse**

#### **3.5.1. Das Gebäude**

Die nachfolgenden Abbildung zeigt die Nordansicht des sanierten Gebäudes. Zu sehen sind an der Nordseite die Zement-Glasfaser-Platten und die Stahlprofile, mit denen die Fassadenplatten befestigt sind. Anhand der Abbildung ist sehr gut zu erkennen, wie sich die sanierte Fassade in das Gesamterscheinungsbild mit den Nachbarhäusern integriert. Aufgrund der Regenwasserfallrohre ist der Übergang der Dämmkonstruktion zu den Nachbargebäuden sehr unauffällig. Dies konnte nur mit der schlanken, vakuumgedämmten Konstruktion erreicht werden.



Abbildung 18: Ansicht der sanierten Nordfassade.

Die Vorteile der hier gezeigten Lösungen sind:

- Optimaler Wärmeschutz bei schlankem Aufbau und geringem Konstruktionsgewicht, der zusätzlich anzubringenden Dämmkonstruktion.
- Minimaler Fassadenvorsprung zu den unsanierten Nachbarhäusern.
- Beibehaltung der Dachhöhe bei schmalen, durchlaufendem Dachüberstand.
- Wärmebrücke Komunwand durch Einschlitzeln und Verwendung von VIPs stark minimiert.
- Schlanke Ergänzungsämmung in Dachschrägen, Gauben und Kellerdecke.

In Abbildung 19 ist die Südansicht mit den Fassadenkollektoren zu erkennen. Der Anschluss zu den Nachbargebäuden ist ebenfalls unauffällig. Nur die schwarze Farbgebung lässt die technische Anwendung als Fassadenkollektor erkennen.



Abbildung 19: Ansicht der sanierten Südseite mit den schwarzen Fassadenkollektoren.

Wie die obigen Bilder gezeigt haben, ist die Vakuumdämmung sehr gut geeignet, um im Gebäudebestand hocheffiziente Dämmhüllen mit schlanken und architektonisch hochwertigen Konstruktionen zu realisieren.

Die Erfahrungen, die in diesem Projekt beim praktischen Einsatz der Vakuumdämmung auf der Baustelle gemacht wurden, entsprechen im wesentlichen den Erfahrungen beim Neubauobjekt in Kapitel 2.4.2. Während beim Neubau die Konstruktion in der Planungsphase an die Erfordernisse der Vakuumdämmung angepasst werden konnte, so dass z.B. wenig verschiedene Formate erforderlich sind, ist bei der Sanierung der Einsatz zahlreicher Sonderformate zwingend notwendig.

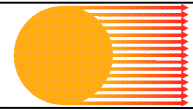
Eine Standardisierung der VIP-Formate wie sie aus Kostengründen wünschenswert ist, ist zumindest bei Anwendung in der Altbausanierung nicht möglich.

### 3.5.2. IR-Aufnahmen zur Qualitätsüberwachung im eingebauten Zustand

Abbildung 20 veranschaulicht die IR-Aufnahmen nach dem Einbau und nach einem Jahr. Die horizontal verlaufenden Linien werden durch das außenseitig angeschraubte Stahl-Hespenprofil verursacht. Relativ schwach sind vertikal verlaufende Linien zu erkennen, die die Fugen zwischen VIPs darstellen. Bei der IR-Aufnahme im Jahr 2002 nach dem Einbau sind keine beschädigten VIPs zu erkennen. Auch bei der Aufnahme im Jahr 2003 ist die Fassade in Ordnung. Lediglich unten links neben der Eingangstür ist eine hellere Stelle zu erkennen, die ein belüftetes VIP vermuten lässt. Hierbei könnte es sich zum erstenmal um ein VIP handeln, dass sich nachträglich im eingebauten Zustand belüftet hat. Was aber die Ursache der Belüftung ist, kann erst nach Ausbau des VIPs ermittelt werden. Wie bei dem Demonstrationsobjekt Neubau sind nochmals IR-Aufnahmen nach 4 Jahren vorgesehen, um das weitere Verhalten der VIPs zu dokumentieren. Falls weitere VIPs belüften, können diese ausgetauscht und nach Möglichkeit die Ursache der Beschädigung festgestellt werden.



Abbildung 20: IR-Aufnahme nach unmittelbar nach Einbau der VIPs (links: 2002) und nach einem Jahr (rechts: 2003).



Bei der rechten IR-Aufnahme ist äußerst rechts noch ein Teilbereich des unsanierten Reiheneckhauses zu erkennen. Der deutliche Farbunterschied zum sanierten Bereich veranschaulicht die Effektivität der Sanierungsmaßnahme.

### **3.6. Bewertung**

Der Einsatz im Sanierungsbereich stellt das größte Anwendungspotenzial für die Vakuumdämmung im Baubereich dar. Anhand dieses Demonstrationsobjektes konnte auf anschauliche Weise gezeigt werden, welche Vorteile die Vakuumdämmung gerade bei der Sanierung hat.

Die Probleme bei der Verarbeitung (Maßhaltigkeit, Beschädigungsgefahr, keine Qualitätskontrolle vor Ort,...), die bereits beim Demonstrationsobjekt Neubau auftraten, wurden durch dieses Bauvorhaben nochmals bestätigt. Somit gilt auch für den Sanierungsbereich die Schlussfolgerung von Seiten des Architekturbüros Lichtblau, dass das Architekturbüro die Vakuumdämmung gerne in weiteren Bauvorhaben, gerade im Sanierungsbereich, einsetzen möchte, wenn die hier aufgezeigten Probleme minimiert und vor allem eine bauaufsichtliche Zulassung erwirkt wird.

Der vakuumgedämmte Fassadenkollektor stellt eine interessante technische Anwendung der Vakuumdämmung dar. Die Problematik hoher Temperaturen am VIP könnte durch den Einsatz von Vakuumdämmpaneelen mit Edelstahlfolie behoben werden.

## **4. Vakuumgedämmte Brüstungselemente in einer Pfosten-Riegel-Fassade im Krankenhaus Erlenbach am Main**

### **4.1. Aufgabenstellung**

In einem Erweiterungsbau im Krankenhaus Erlenbach und in einer kleinen Fassadenfläche am Feuerwehrhaus in Gerbrunn sollte der Einsatz der vakuumgedämmten Brüstungselemente getestet werden. Anhand dieser Demonstrationsobjekte bot sich für die Fa. Glas-Keil GmbH & Co. KG die Möglichkeit, die bei der Entwicklung der vakuumgedämmten Brüstungselemente gewonnenen Erkenntnisse in die Praxis umzusetzen und dabei die industrielle Auftragsfertigung, Lieferung und Verarbeitung auf der Baustelle zu testen.

Aufgabe war es, die Brüstungselemente in gleicher Dicke einzubauen wie die verwendeten Isolierglasfenster. Das Dämmniveau sollte besser sein, als das ebenfalls ausgedescribte konventionelle Dämmsystem.

Die Fa. Glas-Keil GmbH & Co. KG betreute das Bauvorhaben von der Vorplanung, der Herstellung der Brüstungselemente bis zum Einbau. Die VIPs wurden bei diesen Bauvorhaben von der Fa. va-Q-tec AG und von der Fa. Wacker Ceramics geliefert.

### **4.2. Ausführung**

#### **4.2.1. Die vakuumgedämmten Brüstungselemente**

Bei dem Krankenhaus Erlenbach handelte es sich um eine Pfosten-Riegel-Konstruktion, in die die Brüstungselemente eingebaut werden sollten. Die Dickentole-



ranz betrug  $\pm 1$  mm und die Gesamtdicke war auf 32 mm festgelegt. Der Aufbau der Brüstungselemente bestand aus zwei 6 mm dicken, emaillierten ESG Floatglas-scheiben und aus einem umlaufenden Abstandhalterrahmen mit 20 mm Dicke, in die die 18 mm dicken VIPs eingelegt wurden. Abbildung 21 zeigt die eingesetzten Brüstungselemente.

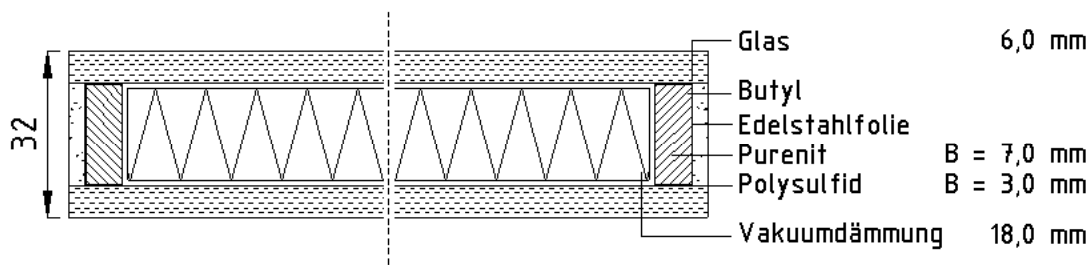


Abbildung 21: Aufbau des in der Pfosten-Riegel-Fassade eingesetzten Brüstungselements.

Bei einigen Brüstungselementen wurden anstelle einer ESG-Scheibe ein 3 mm dickes Aluminiumblech verwendet. Durch Verwendung einer 8 mm dicken ESG-Scheibe auf der Gegenseite konnten für die Elemente mit Aluminiumblech die Maßvorgaben eingehalten werden. Es wurde eine VIP-Dicke von 18 mm gewählt um eventuelle Maßtoleranzen in der VIP-Herstellung und Überstände durch überstehende Siegelnähte ausgleichen zu können.

#### 4.2.2. Wärmetechnische Bewertung der Fassade

Bei der Ausführung sollte vor allem der Einsatz der Brüstungselemente in einer konventionellen Pfosten-Riegel-Fassade getestet werden. Es wurde ein herkömmliches Pfosten-Riegel-System aus Aluminium verwendet. Eine thermische Gesamtoptimierung der Fassade, wie sie z.B. mit speziell entwickelten passivhaustauglichen Pfosten-Riegel-Systemen möglich gewesen wäre, war bei diesem Bauvorhaben nicht vorgesehen. Die vakuumgedämmten Brüstungselemente wurden als schlanke Systeme anstelle einer 7 cm dicken konventionellen Dämmung eingebaut. Ausgehend von einer Wärmeleitfähigkeit von  $0,04 \text{ W/(mK)}$  für konventionelle Dämmstoffe und ausgehend von der Wärmeleitfähigkeit von  $4 \cdot 10^{-3} \text{ W/(mK)}$  für die VIPs ergibt sich eine Verbesserung des Wärmedurchlasskoeffizienten von  $0,57 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  auf  $0,22 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  bei 18 mm VIP-Dicke, d.h. eine Verbesserung der Dämmwirkung um einen Faktor 2,6.

Die Angabe der Wärmedurchlasskoeffizienten ist ein Maß, um die Dämmwirkung einer Dämmung bestimmter Dicke zu charakterisieren. Für die Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten U-Wertes ist die gesamte Dämmwirkung einer Fassade zu ermitteln, d.h. für die genaue Bestimmung des U-Wertes einer Pfosten-Riegel-Fassade müssen die Wärmebrücken durch die Abstandhalter und durch die Pfosten-Riegel-Konstruktion berücksichtigt werden. Bei den starken Wärmebrücken, die die Pfosten und Riegel darstellen, hängt der U-Wert der Fassade wesentlich von der Größe der Brüstungselemente ab. Bei den Bauvorhaben wurde eine Pfosten-Riegel-System der Fa. Reynolds eingesetzt. Berücksichtigt man den Einfluss dieses Pfosten-Riegel-Systems, den Einfluss der Purenit-Abstandhalter und den Einfluss der VIP-Folie (hier: Hochbarrierefolie), dann ergibt sich die in Abbildung 22 dargestellte Abhängigkeit des U-Wertes von der Brüstungselementgröße. Die Berechnungen

gelten nur für das hier eingesetzte System. Werden thermisch ungünstige Materialien, wie z.B. Aluminiumabstandhalter oder VIPs mit Aluminiumverbundfolien verwendet, dann kann sich der U-Wert nochmals deutlich verschlechtern.

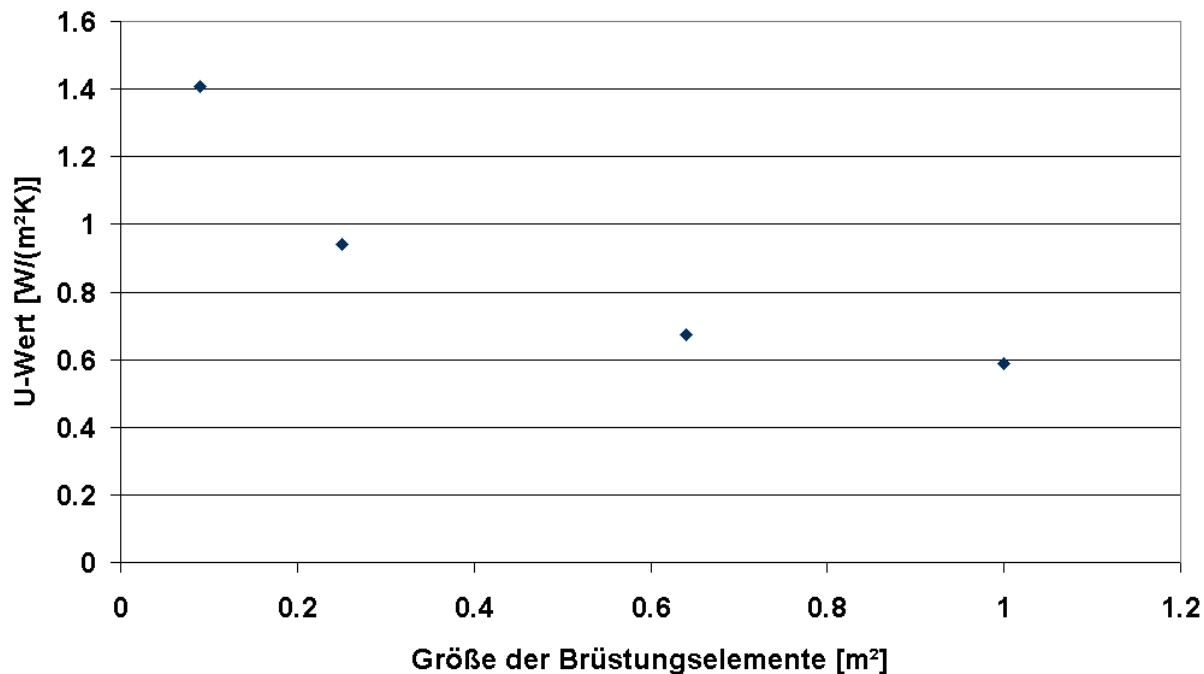


Abbildung 22: Gesamt-U-Wert der Pfosten-Riegel-Fassade in Abhängigkeit von der Größe der Brüstungselemente.

Abbildung 22 zeigt wie groß der Einfluss der Elementgröße auf den U-Wert sein kann. Selbst bei 1 m<sup>2</sup> großen Paneelen ist der effektive U-Wert mit ca. 0,6 W/(m<sup>2</sup>K) deutlich größer als der Wärmedurchlasskoeffizient des VIPs von 0,22 W/(m<sup>2</sup>K). Dieser Vergleich veranschaulicht, dass es bei Brüstungselementen immer erforderlich ist, den Einfluss der vorhandenen Wärmebrücken zu berücksichtigen.

Ausgehend von einer mittleren Brüstungselementgröße von angenähert 1 m<sup>2</sup> ergibt sich mit ca. 0,6 W/(m<sup>2</sup>K) ein guter effektiver U-Wert für die Pfosten-Riegel-Fassade bei dem Bauvorhaben in Erlenbach am Main.

#### 4.2.3. Der Einbau der Elemente

Der große Vorteil der Brüstungselemente ist die Möglichkeit, die Fassadenelemente im Werk vorfertigen und diese auf der Baustelle wie herkömmliche Isoliergläser einbauen zu können. Die Schwierigkeiten bei der Verarbeitung auf der Baustelle, wie sie bei anderen vakuumgedämmten Systemen festgestellt wurden, sind hier nicht zu erwarten. Abbildung 23 zeigt den Einbau der vakuumgedämmten Brüstungselemente in die Pfosten-Riegel-Konstruktion. Die mit hellblau emaillierten Glasabdeckungen versehenen Brüstungselemente werden zwischen die Pfosten-Riegel-Konstruktion eingestellt. Mit Halterungen, die in die Pfosten und Riegel eingesetzt werden, werden die Brüstungselemente an der Konstruktion befestigt. Der Einbau ist weitestgehend problemlos, da eine Beschädigung der VIPs beim Einbau nicht auftreten kann. Die Elemente müssen ebenso sorgfältig eingesetzt werden, wie konventionelle Isoliergläser.



Abbildung 23: Einbau der Brüstungselemente in die Pfosten-Riegel-Fassade.

Im Rahmen des Bauvorhabens wurden zu Testzwecken unterschiedliche Systeme verwendet. So wurden neben den hauptsächlich eingesetzten Purenitabstandshaltern einige wenige Elemente mit Edelstahlabstandhalter gefertigt. Auch wurden verschiedenen VIPs zum einen von der Fa. Wacker Ceramics und zum anderen von der Fa. va-Q-tec AG eingesetzt. Der negative Einfluss der Edelstahlabstandhalter ist anhand der IR-Aufnahmen (s. Kapitel 4.3.2) deutlich zu erkennen. Ein Unterschied zwischen den verschiedenen VIPs wurde unmittelbar nach beim Einbau festgestellt. Durch die umgelegte Faltung bei den VIPs der Fa. Wacker Ceramics entstanden Fugen zwischen VIP und Abstandhalter und zwischen einzelnen VIPs (wenn mehrere VIPs in ein Brüstungselement eingelegt wurden), die bei Sonnenschein auf der raumzugewandten Seite sichtbar wurden, da die Transluzenz der emaillierten Gläser ein Durchscheinen des Sonnenlichtes nicht vollständig unterdrücken konnte. Diese Brüstungselemente mussten nochmals ausgebaut werden, um die Fugen mit einem lichtundurchlässigen Kleband abzukleben. Abbildung 24 veranschaulicht den Unterschied in der Fugenausbildung je nach verwendetem VIP-Typ.

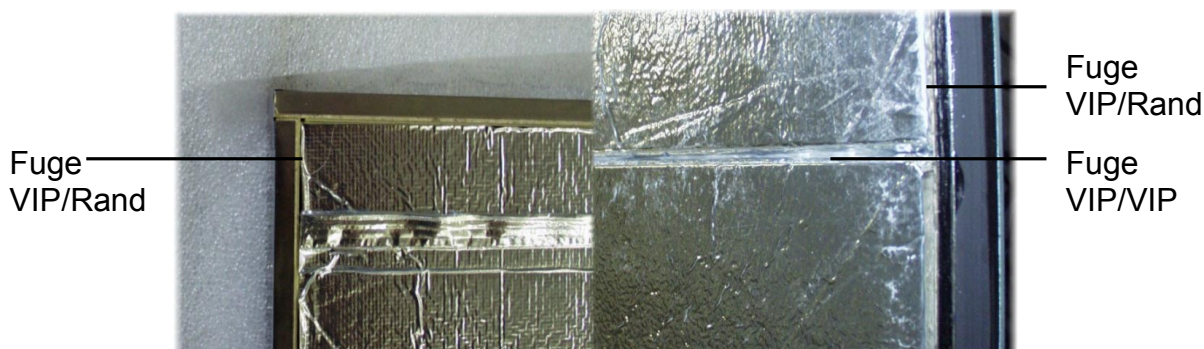


Abbildung 24: Fugen- und Randausbildung von VIPs in Brüstungselementen (links: va-Q-seam-Technik der Fa. va-Q-tec AG, rechts: umgelegte Folienränder wie sie bei Wacker Ceramics Produkten auftreten).

Links in der Graphik ist zu erkennen, wie sich das VIP der Fa. va-Q-tec AG nahezu fugenfrei in die durch den Abstandhalter vorgegebene Ecke einpasst. Rechts ist die

Fuge zwischen zwei VIPs und am rechten Rand die Fuge zwischen VIP und Abstandshalter zu erkennen. Die Fuge wird vor allem durch die umgelegte Siegelnaht an den Seiten des VIPs verursacht.

### 4.3. Ergebnisse

#### 4.3.1. Das Gebäude

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen eine Außen- und Innenansicht eines Teilbereichs der vakuumgedämmten Pfosten-Riegel-Fassade. Die Außenansicht unterscheidet sich nicht von der Ansicht einer konventionell gedämmten Fassade.



Abbildung 25: Außenansicht der vakuumgedämmten Pfosten-Riegel-Fassade.

Im Innenbereich führt die Verwendung der schlanken vakuumgedämmten Brüstungselemente dazu, dass der Wechsel von Pfosten-Riegel-System mit den VIPs der Innenansicht eine eigenständige Kontur verleiht. Bei einer konventionellen Dämmung wäre der Zwischenraum innerhalb der Pfosten-Riegel-Konstruktion weitestgehend mit Dämmung aufgefüllt.



Abbildung 26: Innenansicht der vakuumgedämmten Pfosten-Riegel-Fassade.

Im Rahmen des Demonstrationsobjektes konnte gezeigt werden, wie gut sich zwischen Glasscheiben integrierbare VIPs in Pfosten-Riegel-Konstruktionen integrieren

lassen. Auch an dieser Fassade wurden IR-Aufnahmen durchgeführt, die im Weiteren diskutiert werden.

### 4.3.2. IR-Aufnahmen

Der Erweiterungsbau mit der Pfosten-Riegelfassade wurde im Innenhof des Krankenhauses angebaut. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, die IR-Aufnahmen in einem ausreichenden Abstand durchzuführen, um die Fassade als Ganzes zu erfassen. Der mögliche Abstand ist so gering, dass nur einzelne Brüstungselemente mit der IR-Kamera vermessen werden konnten. In der folgenden Abbildung wurden die IR-Aufnahmen verschiedener Brüstungselemente in Dreiergruppen zusammengefügt und die Gruppen in ein Bild integriert. Die hier gezeigte IR-Aufnahme wurde im Jahr 2003 und somit ca. 1 ½ Jahre nach Einbau gemacht.

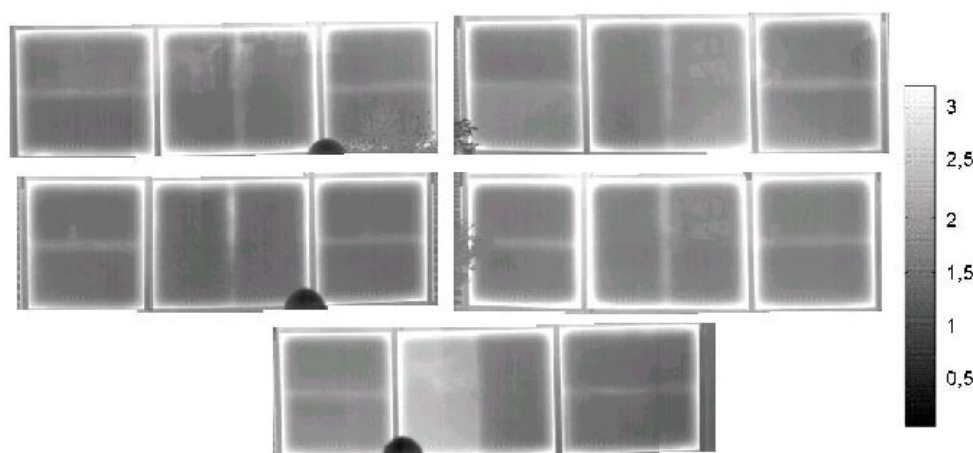


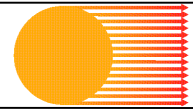
Abbildung 27: IR-Aufnahmen der Brüstungselemente im Krankenhaus Erlenbach im Jahr 2003.

Bei allen Brüstungselementen ist der Wärmefluss über den Abstandshalter am Rand zu erkennen. Bei den Aufnahmen rechts in der zweiten Reihe ist ein stärkerer Wärmebrückeneffekt am Rand festzustellen. In diesen Elementen wurden Edelstahlabstandshalter verwendet. Auch die Fugen zwischen den beiden VIPs in einem Brüstungselement sind zu erkennen<sup>1</sup>. Sehr deutlich ist in der untersten Reihe ein belüftetes VIP zu sehen (helle Teilfläche). Diese Belüftung wurde auch in der IR-Aufnahme unmittelbar nach dem Einbau (hier nicht gezeigt) festgestellt. Auch bei der Anwendung Brüstungselement hat sich seit dem Einbau kein weiteres VIP belüftet und die Funktionsfähigkeit der vakuumgedämmten Pfosten-Riegel-Fassade konnte somit bestätigt werden.

## 4.4. Bewertung

Die Anwendung der Vakuumdämmung als Brüstungselement ist sehr vorteilhaft, da die Elemente im Werk vorzufertigen sind, beim Einbau keine nennenswerte Beschädigungsgefahr vorhanden ist und die VIPs im eingebauten Zustand sehr gut geschützt sind. Der Einsatz vakuumgedämmter Brüstungselemente kann als marktreif beurteilt werden. Die Fa. Glas-Keil GmbH & CO. KG möchte in Zukunft diese Brü-

<sup>1</sup> In den IR-Aufnahmen sind ausschließlich VIPs der Fa. Wacker zu erkennen. Die VIPs der Fa. Va-Q-tec wurden bei kleineren Elementen im Fensterbereich verwendet, wobei aus gestalterischen Gründen eine metallische Verkleidung vorgesetzt wurde, so dass IR-Aufnahmen hier nicht sinnvoll sind.



stungselemente im Baubereich anbieten. In der Zwischenzeit werden bereits erste vakuumgedämmte Brüstungselemente von weiteren Firmen am Markt angeboten. Diese Systeme sind meist thermisch nicht optimiert. Wie weitere Untersuchungen gezeigt haben, können die U-Werte von Pfosten-Riegel-Fassaden mit diesen Brüstungselementen um ein Mehrfaches schlechter sein als die thermisch optimierten Systeme. Die Schaffung entsprechender Standards ist unbedingt notwendig, um eine gute Qualität der eingesetzten Elemente zu gewährleisten. Darüber hinaus ist es für die zukünftigen Anwendungen aus baurechtlichen Gründen erforderlich, dass die VIP-Hersteller die bauaufsichtliche Zulassung für die folienumhüllten VIPs erwirken.

## 5. Vakuumgedämmte Fußbodenheizung in einer Turnhalle in Gemünden

### 5.1. Aufgabenstellung

Im Jahr 2001 beabsichtigte die Stadt Gemünden am Main die Sanierung einer örtlichen Turnhalle durchzuführen. Der Fußboden war defekt und musste ausgetauscht werden. Zugleich sollte die Heizung erneuert werden. Aus technischer Sicht bestanden die Alternativen die bestehende Lüftungsanlage durch eine neue zu ersetzen oder die Turnhalle mit einer physiologisch behaglichen Fußbodenheizung auszustatten. Es wurde entschieden, eine Fußbodenheizung einzubauen und die Lüftungsanlage mit kontrollierter Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung zu betreiben. Die Lüftungsanlage wurde über Luftqualitätsfühler bedarfsgesteuert gefahren, wobei während des Sportunterrichts der Luftbedarf auf den erforderlichen Luftbedarf von 300 m<sup>3</sup>/h reduziert wurde.

Bei Sanierungsmaßnahmen ist die Aufbauhöhe von Fußbodendämmung oft durch bauliche Vorgaben begrenzt. Bei diesem Sanierungsobjekt war die Aufbauhöhe des Fußbodens durch die an die Halle angeschlossenen Geräteboxen für die Turngeräte begrenzt. Eine Anhebung der Fußbodenhöhe der Geräteboxen mit einhergehender Erneuerung der zugehörigen Tore war aus finanziellen Gründen nicht möglich. Niedrige Aufbauhöhen schränken die Dämmschichtdicke ein und haben erhöhte Wärmeverluste zur Folge. Für derartige Problemstellungen ist die Vakuumdämmung optimal geeignet. Im Rahmen des Demonstrationsobjektes sollte ein einfaches System zur schlanken hocheffizienten Dämmung der Fußbodenheizung eingebaut und getestet werden.

Das Ingenieurbüro Rosel betreute das Bauvorhaben von der Vorplanung bis zum Einbau. Der Einbau wurde vom ZAE Bayern durchgeführt. Die VIPs wurden von der Fa. Wacker Ceramics geliefert.

### 5.2. Ausführung

Im Rahmen des Demonstrationsvorhaben sollte eine Teilfläche des Hallenbodens von ca. 45 m<sup>2</sup> mit Vakuumdämmung versehen werden. Die Restbodenfläche der Turnhalle wurde konventionell gedämmt.

Abbildung 28 zeigt den Aufbau der Fußbodenheizung mit und ohne Vakuumdämmung. Während im konventionell gedämmten Bereich 4 cm dicke mit Aluminiumfolie

kaschierte PU-Platten auf der Bodenplatte verlegt wurden, sind im vakuumgedämmten Bereich 2 cm dicke VIPs auf 2 cm dicke PU-Platten gelegt worden.

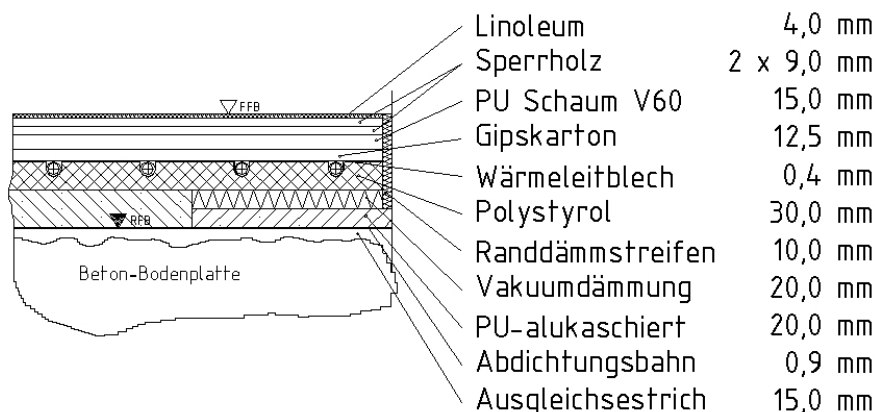


Abbildung 28: Konstruktionsskizze des vakuumgedämmten Fußbodenaufbaus mit Fußbodenheizung und Sportoberboden. Zum Vergleich ist der konventionell gedämmte Bereich mit 4 cm PU (links) neben dem vakuumgedämmten Bereich (rechts: 2 cm PU und 2 cm VIP) eingezeichnet.

Nach Entfernung des alten Sportbodens bestand aufgrund der Unebenheit des Rohfußbodens die Notwendigkeit, einen Ausgleichsestrich aufzubringen. Im Anschluss daran wurde eine Abdichtungsbahn aus PE, und darauf eine erste Dämmebene aus 20 mm alukaschierten PU-Schaumplatten verlegt. Auf diese erste Dämmebene wurden die Vakuumdämmplatten im Format 100 x 50 cm verlegt. Die Fugen zwischen den VIP's wurden mit einem Klebeband verschlossen. Auf die VIP-Lage wurde nun erneut eine Schicht aus 30 mm starkem EPS gelegt, die bereits Ausfräsungen zur Aufnahme der Rohrschlangen besaß. Nach Verlegung der Heizkreise wurde ein Wärmeverteiltblech aufgebracht, welches eine bessere Ankopplung des Heizsystems an den Oberboden gewährleistet. Die weitere Schichtenfolge bis Oberkante Fertigfußboden ist aus der obigen Skizze zu ersehen.

Die Art und Weise der Ausführung lässt sich gut anhand der nachfolgenden Abbildungen erkennen. Auf den mit Aluminiumfolie kaschierten PU-Schaumplatten (im Vordergrund zu sehen) sind die VIPs aufgelegt und man erkennt, wie mit einem Klebeband die Fugen abgeklebt wurden. Unmittelbar nach dem Aufbringen der VIPs und dem Abkleben der Fugen werden die EPS-Platten mit den Rohrausfräsungen aufgelegt. Durch diese Vorgehensweise wird vermieden, dass die VIPs beim Verlegen betreten werden müssen.



Abbildung 29: Einbau der VIPs in den Fußboden. Zu sehen: PU-Platten im Vordergrund, VIPs mit abgeklebten Fugen und EPS-Platten mit Aussparung für die Heizschlangen.

### 5.3. Ergebnisse

Der fertiggestellte Turnhallenboden ist in der Abbildung 30 zu sehen.



Abbildung 30: fertiggestellte Turnhalle mit teilweise vakuumgedämmtem Fußboden.

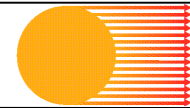
Bei gleicher Dämmschichtdicke von 7 cm unterscheidet sich die herkömmlich gedämmte Fläche der Turnhalle gegenüber der vakuumgedämmten Fläche im Wärmedurchlasskoeffizient  $\Lambda$ :

- Konventionell gedämmter Bereich:  $\Lambda = 0,43 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .
- Vakuumgedämmter Bereich:  $\Lambda = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Durch Einsatz der Vakuumdämmung konnte somit die Dämmwirkung um einen Faktor 3 verbessert werden.

Bei der Ausführung der o.g. Maßnahme gab es, wie bereits bei den anderen durchgeführten Demonstrationsobjekten erwähnt, die Problematik, die VIPs unversehrt in die Konstruktion einzubringen. Es wurde darauf geachtet, dass die Fläche auf die die VIPs aufgebracht wurde, besenrein und frei von sonstigen, das VIP gefährdenden





Verunreinigungen war. So musste z.B. sehr sorgfältig darauf geachtet werden, dass keine Perlitkörner, die anderweitig zur Verfüllung von Einbauten in der Sporthalle verwendet wurden, zwischen die konventionellen Dämmplatten und die VIPs gelangten. Auch bei dieser einfachen Art der VIP-Integration bedurfte es einer sehr sorgsam und gründlichen Vorgehensweise bei der Verlegung, um das Risiko einer Verletzung der Hüllfolie der VIPs zu minimieren.

Die Druckbelastbarkeit der verwendeten Vakuumdämmung kann für die üblichen Verkehrslasten als ausreichend betrachtet werden. Die unverbauten Vakuumpaneele werden bereits durch den Atmosphärendruck mit einer Flächenpressung von 100 kN pro Quadratmeter belastet. Die in DIN 1055 geforderte lotrechte Verkehrslast von Decken beträgt je nach Einsatzzweck zwischen 1,5 bis 5 kN/m<sup>2</sup> für die üblichen Nutzungen. Dies bedeutet eine Erhöhung der bereits vorhandenen Flächenpressung für das VIP von zusätzlich 1,5 bis 5 %. Das Füllmaterial der Vakuumdämmpaneele ist in der Lage, diese zusätzliche Last aufzunehmen.

Mittels IR-Aufnahmen sollte die Qualität der durchgeführten Maßnahmen überprüft werden. Aus der IR-Aufnahme konnten jedoch keine Erkenntnisse gewonnen werden, da keinerlei Temperaturunterschiede (aufgrund der Fugen oder fehlerhafter VIPs) erkennbar waren. Durch die eingebauten Wärmeverteilerbleche, die über den Rohrleitungen für die Fußbodenheizung angebracht waren, wurde die Oberflächentemperatur weitestgehend vergleichmäßig.

#### **5.4. Bewertung**

Die Anwendung der Vakuumdämmung im Fußbodenbereich ist gerade bei Sanierungen sehr interessant. In der Regel ist die Aufbauhöhe durch bauliche Vorgaben begrenzt. Gemäß EnEV werden, wenn Außenbauteile an bestehenden Gebäuden geändert werden, Anforderungen an den Wärmedurchgangskoeffizient U des Bauteils gestellt (EnEV: Anhang 3). Bei Begrenzungen gegen Erdreich ist bei Einbau neuer Dämmschichten ein U-Wert von mindestens 0,5 W/(m<sup>2</sup>K) vorgeschrieben. Diese Anforderung konnte hier mit einer 7 cm dicken konventionellen Dämmung eingehalten werden. Bei geringeren baulich vorgegebenen Aufbauhöhen können die Anforderungen durch den Einsatz der Vakuumdämmung problemlos erfüllt werden.

Ingesamt konnte gezeigt werden, dass der Einsatz von VIPs zur Fußbodendämmung durch eine Sandwichlösung mit konventionellen Dämmplatten einfach realisierbar ist. Es sind keine konstruktiven zusätzlichen Halterungen erforderlich, unter Beachtung einer sorgfältigen Verlegung lassen sich die VIPs schnell und nahezu wärmebrückenfrei einbauen.

Für die Zukunft sind auch hier Standards für eine hinreichende und zuverlässige Qualitätskontrolle zu setzen. Es müssen Verfahren entwickelt werden, die es erlauben nach erfolgtem Einbau von VIPs die Funktionsfähigkeit zu kontrollieren.

## 6. Vakuumgedämmte Wandheizung in einer Kirche in Wernfeld

### 6.1. Aufgabenstellung

Bei dem Bauvorhaben handelt es sich um die Sanierung der denkmalgeschützten historischen "Alten Kirche" in Wernfeld. Die ehemalige Kath. Pfarrkirche Mariä Himmelsstadt (Chorturm 1484, Langhaus 1612) stand seit geraumer Zeit leer und sollte zu einem multikulturellen Mehrzweckraum umgebaut werden. Die besondere Anforderung bestand zum einen darin, dass das denkmalgeschützte Gebäude umgenutzt werden sollte (höheres Temperaturniveau, vielfältige Nutzungsanforderungen, etc.) und zum anderen, dass der Energieverbrauch der ehemaligen Kirche auf ein Minimum beschränkt werden sollte, um die laufenden Energiekosten und den CO<sub>2</sub>-Ausstoß so klein wie möglich zu halten.

Elementarer Teil der baulichen Umsetzungen dieser Anforderungen war die Nachdämmung des Gebäudes und die Wärmeverteilung. Das Konzept eines geringen Heizwärmebedarfs setzt voraus, dass die Aufheizzieltemperatur im gesamten Kirchenraum möglichst niedrig gehalten wird. Um trotzdem ein angenehmes Temperaturempfinden bei den Nutzern zu erzeugen, muss die Wärmeabgabe hauptsächlich dort bereitgestellt werden, wo sich der Nutzer befindet. Gleichzeitig müssen die Wärmeverluste dort besonders gering sein. Diese Ziele sollten durch ein kombiniertes Heizsystem aus Lüftungsheizung und nutzernahe Wandheizung erreicht werden.

Während Dach, Fenster und Boden herkömmlich saniert werden konnten, war es nicht möglich, den Wandbereich konventionell zu dämmen. Eine herkömmliche Dämmung der Außenwand im Bereich der Wandheizung mit einer dementsprechend dicken Vorsatzschale war aus denkmalpflegerischen Gründen nicht möglich. Dennoch war eine gute Dämmung erforderlich, um die Wärmeverluste über das massive Bruchsteinmauerwerk mit einer Wärmeleitfähigkeit  $\lambda \approx 2 \text{ W/(mK)}$  zu reduzieren. Für derartige Problemstellungen ist die Vakuumdämmung optimal geeignet. Es lässt sich damit ein schlankes Wandheizungssystem realisieren, das, unter Reduzierung nach außen abfließender Wärmeverluste, die Wärmeabgabe mittels physiologisch angenehmer Wärmestrahlung unmittelbar in den Nutzbereich ermöglicht.

Die Baumaßnahme wurde von dem Architekturbüro Haase & Partner geplant. Die VIPs wurden von der Fa. va-Q-tec AG geliefert.

### 6.2. Ausführung

Abbildung 31 zeigt die für die Wandheizung verwendete vakuumgedämmte Konstruktion.

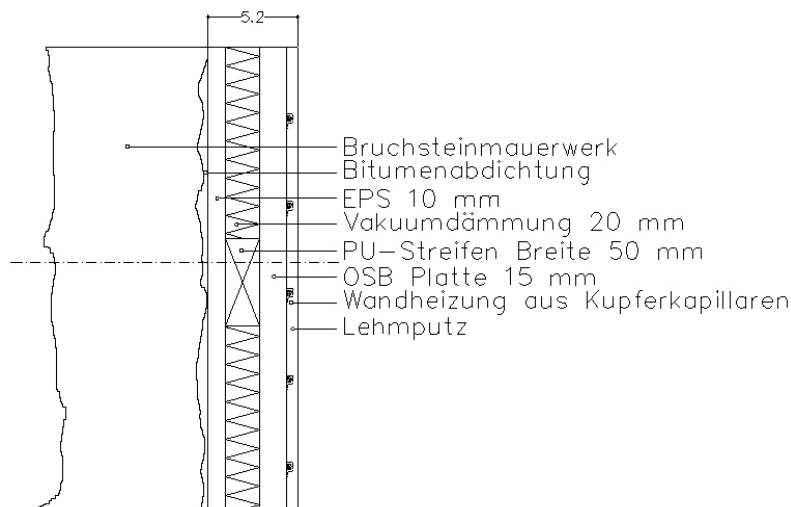


Abbildung 31: Konstruktionsskizze des vakuumgedämmten Wandheizungssystems.

Auf die Wand wurde ein bituminöser Anstrich aufgebracht auf den noch 1 cm dicke EPS-Platten geklebt wurden. Durch diese Maßnahme sollten zum einen die Unebenheiten der Wand ausgeglichen werden und die VIPs sollten auf eine gleichmäßige Fläche ohne Beschädigungsgefahr aufklebbar sein. Zum anderen sollte durch die Ausgleichsschicht an der Wand ein Luftabschluss erreicht werden, um mögliche Schimmelpilzbildung zwischen VIP und Außenwand zu vermeiden. Die VIPs wurden in dem einheitlichen Format 50 cm x 100 cm x 2 cm auf die Polystyrolplatten mit Dispersionsmörtel aufgeklebt. In Abbildung 32 ist der Dispersionsmörtel, der mit einem Streifenspachtel auf die EPS-Platten aufgetragen wurde, der angeklebte PU-Streifen, sowie die Fuge zwischen zwei VIPs zu erkennen. Aufgrund der hier eingesetzten Folienfaltungstechnik bei der VIP-Herstellung (mit rechtwinkligen Kanten und ohne Folienüberstand) konnten die Fugen zwischen den VIPs und den PU-Streifen sehr gering (1-2 mm) gehalten werden. Um auch über diese schmalen Fugen ein Eindringen von Raumluftfeuchte in die Wand zu verhindern, wurden die Fugen innenseitig abgeklebt.



Abbildung 32: Aufbringung der VIPs mittels Dispersionskleber auf die EPS-Platten.

Insgesamt wurden drei Reihen VIPs aufgeklebt. Zwischen jeder VIP-Reihe wurde ein 5 cm dicker PU-Streifen eingelegt. Dieser PU-Streifen diente zur Befestigung des Wandheizungssystems. Abbildung 33 zeigt die vollständig aufgebrachte Dämmung vor dem Anbringen des Wandheizungssystems.



Abbildung 33: Installation des Wandheizungssystems nach Anbringen der VIPs.

Zur Befestigung der Wandheizung wurden 15 mm dicke OSB-Platten vor den VIPs über die PU-Streifen angeschraubt. Auf den OSB-Platten wurden Kapillarrohre aus Kupfer als Heizschlangen aufgebracht und direkt mit Lehmputz verputzt.

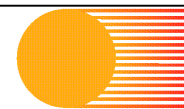
### 6.3. Ergebnisse

In Abbildung 34 sind die auf die OSB-Platten aufgebrachten Kupferheizschlangen zu erkennen. Zur Fertigstellung musste noch der Putz direkt auf die OSB-Platten aufgetragen werden, so dass die Kupferschlangen vollständig eingeputzt waren.



Abbildung 34: Vakuumgedämmtes Wandheizungssystem mit an OSB-Platten befestigten Kupferheizschlangen.

Das oben durchgeführte Vorhaben einer Teil-Innenwanddämmung zeigt die hervorragende Eignung der Vakuumdämmung im Sanierungsbereich. Vor allem das Ver-



hältnis von Dämmstärke zu Dämmwirkung überzeugte den Architekten bzw. Bauherrn. Bei der Verwendung konventioneller Dämmstoffe wäre sowohl aus Denkmalschutz als auch aus ästhetischen Gründen einer Beheizung über Strahlungsflächen nicht möglich gewesen. Das durchgeführte Vorhaben demonstriert erneut die erheblichen Anwendungspotenziale der Vakuumdämmung im Bereich von Sanierungsmaßnahmen.

#### **6.4. Bewertung**

Die Installation des hier beschriebenen Wandheizsystems konnte sehr einfach ausgeführt werden. Durch die Vakuumdämmung wird gewährleistet, dass die über das Heizsystem zugeführte Energie in den Raum eingebracht wird und nicht über die massive Wand abfließt. Durch den schlanken Aufbau integriert sich das Heizsystem unauffällig in den ehemaligen Kircheninnenraum. Aus diesem Grund ist dieses System auch zur Sanierung bestehender Kirchen gut geeignet. In vielen Kirchen sind heutzutage Probleme mit Elektro- oder Lüftungsheizungssystemen vorhanden und es besteht ein hoher Sanierungsbedarf. Dieses hier realisierte Heizsystem ist eine attraktive Alternative und könnte bei entsprechend vorhandenen Freiflächen unauffällig in das Kircheninnere integriert werden.

### **7. Fußbodensanierung im eza!-Haus**

#### **7.1. Aufgabenstellung**

Aufgrund der ersten Versuche mit Vakuumdämmung im Fußbodenbereich war die Fa. Bayosan Wachter GmbH interessiert, die Anwendung der Vakuumdämmung in einem konkreten Bauvorhaben zu testen. Im April 2001 kontaktieren die Architekten Prill und Schurr die Fa. Bayosan Wachter GmbH mit der Anfrage nach einer optimalen Wärmedämmung bei geringer Aufbauhöhe. Die Architekten beabsichtigten im Auftrag des Energie- und Umweltzentrum Allgäu GmbH (eza!) als Bauherr in Kempten ein Gebäude nach neuesten energetischen Erkenntnissen zu sanieren. Das eza!-Haus sollte als Beratungs- und Ausstellungsgebäude genutzt werden.

Die Fa. Bayosan Wachter GmbH erklärte sich bereit, die Vakuumdämmung in diesem Bauvorhaben einzusetzen. Die Aufgabenstellung umfasste die Dämmung eines Kellerbodens und die Dämmung einer Decke, die an die Außenluft angrenzt.

Die Fa. Bayosan Wachter GmbH betreute das Bauvorhaben von der Festlegung des Fußbodenaufbaus, der Erstellung der Stücklisten gemäß Werksplan bis zur Bestellung der Materialien sowie der Betreuung und Dokumentation beim Einbau. Die VIPs wurden von der Fa. Wacker Ceramics geliefert.

#### **7.2. Ausführung**

Der zu dämmende Kellerraum sollte nach der Sanierung als Schulungsraum genutzt werden. Die zu dämmende Decke war nach der Sanierungsmaßnahme Teil des Eingangsbereichs. Während im Innenbereich eine Sandwichlösung realisiert wurde, bei der 2 cm dicke VIPs zwischen einer Weichfaserplatte und einer Polystyrolplatte eingelegt wurden, wurden im Außenbereich mit EPS ummantelte VIPs mit einer Gesamtstärke von 3 cm eingesetzt. Die Abmessungen der Elemente betrug 50 x 50 x 3 cm<sup>3</sup>, wobei die VIPs die Abmessungen 49 x 48 x 1 cm<sup>3</sup> aufwiesen.

Abbildung 35 zeigt den Aufbau, der im Kellerboden eingesetzt wurde.

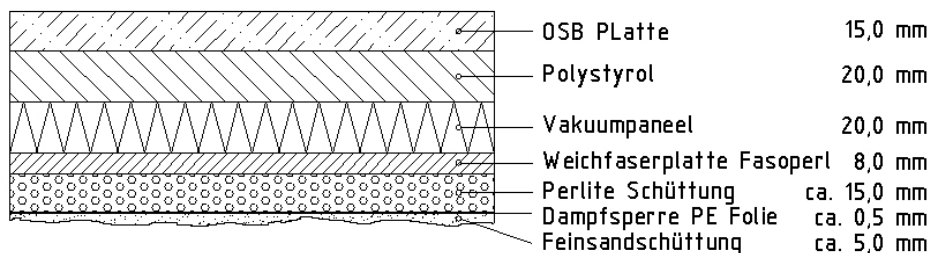


Abbildung 35: Schichtaufbau des vakuumgedämmten Kellerbodens.

Auf der zum Ausgleich von Unebenheiten aufgetragenen Feinsandschüttung wurde eine PE-Folie als Dampfsperre und gegen aufsteigenden Feinsand eingelegt. Eine weitere Ausgleichsschicht aus Perlit wurde eingebracht, die mit Weichfaserplatten der Marke Fasoperl belegt wurde. Auf diese Schicht konnten die VIPs aufgelegt und mit 2 cm dicken Polystyrolplatten belegt werden. In Randbereichen wurden anstelle der VIPs XPS-Passstücke eingesetzt. Darauf aufgetragene OSB-Holztafeln bildeten den Oberboden. Die folgende Abbildung zeigt den Einbau der VIPs auf den Kellerboden.



Abbildung 36: Einbau der VIPs in die Fußbodendämmung im Kellergeschoß.

In Abbildung 36 ist der Schichtaufbau gut zu erkennen. Im Hintergrund sind die Weichfaserplatten und die darauf aufliegenden VIPs zu erkennen. Im Vordergrund sind die OSB-Platten zu sehen, sowie noch ein Teil der weißen EPS-Platten. Mit diesem Aufbau konnte ein Wärmedurchlasskoeffizient von  $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  erreicht werden.

Abbildung 37 veranschaulicht den Fußbodenaufbau im Außenbereich.

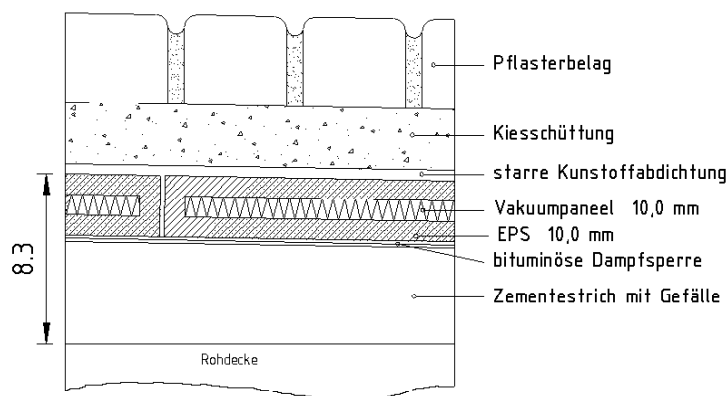


Abbildung 37: Aufbau der Bodendämmung im Außenbereich des eza!-Hauses.

Auf einen Zementestrich mit Gefälle wurde eine bituminöse Dampfsperre mit einem Trennvlies aufgebracht, so dass die EPS-ummantelten VIPs direkt aufgelegt werden konnten. Über die ummantelten VIPs wurde eine starre Kunststoffabdichtung angebracht, auf die eine Kiesschüttung und der Pflasterbelag aufgetragen werden konnten. Abbildung 38 zeigt die bereits eingelegten weißen EPS-ummantelten VIPs. Wie gut zu erkennen ist, wurde der Randstreifen zum angrenzenden Gebäude mit hellblauen Polystyrol-Passstücken aufgefüllt.



Abbildung 38: Einbringen der EPS-ummantelten VIPs zur Dämmung des unterkellerten Außenbereiches.

Der große Vorteil der EPS-ummantelten VIPs ist das problemlose Handling auf der Baustelle, wie dies auch in der Abbildung zu sehen ist. Andererseits besteht dann die Gefahr, dass die Elemente ohne jede Sorgfalt behandelt werden. Zudem fehlt bei einer vollständigen EPS-Umhüllung die Möglichkeit, eine Qualitätskontrolle der VIPs (z.B. durch Sichtkontrolle) durchzuführen. Dennoch ist die Anwendung geschützter VIPs eine gute Alternative zu der schadensanfälligen ungeschützten Verarbeitung. Zu beachten ist allerdings der Einfluss der EPS-Randes auf die Wärmedämmung. Während der U-Wert im ungestörten Bereich  $0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  beträgt, verschlechtert sich die Dämmwirkung durch den 1 cm breiten EPS-Rand bei einer Elementgröße von  $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$  auf  $0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

### 7.3. Ergebnisse

Die Verlegung der Platten wurde von Handwerksfirmen durchgeführt, die vor der Verarbeitung auf die VIP-Besonderheiten eingewiesen und geschult wurden. Die Verlegung wurde von der Fa. Bayosan Wachter GmbH begleitet. Der Einbau verlief ohne größere Probleme. Im Kellerbereich wurden zwei VIPs beim Einbau beschädigt und konnten ausgetauscht werden. Die Gefahr der ungeschützten Verarbeitung hat andererseits den Vorteil, dass offensichtlich beschädigte Paneele noch ausgetauscht werden können. Aufgrund der am Rand umgelegten Siegelnaht entstanden mehrere Millimeter breite Fugen zwischen den VIPs. Entsprechend der Werkplanung wurden im Kellerbereich 5 verschiedene VIP-Formate verwendet, um die Flächen in den Kellerräumen möglichst vollständig mit VIPs zu belegen. Die Verlegearbeiten konnten zügig abgeschlossen werden. Auch im Außenbereich konnten die Arbeiten ohne größere Probleme abgeschlossen werden. Allerdings wurde dort nur ein Paneelformat (50 cm x 50 cm x 3 cm) eingesetzt, so dass schräge oder mit Bauteilen durchsetzte Flächen nicht vollständig belegt werden konnten, sondern mit konventionellen Dämmstoffen nachgedämmt werden mussten.

Insgesamt wurde das Bauvorhaben nicht nur von der Fa. Bayosan Wachter GmbH, sondern auch von den Handwerksfirmen positiv beurteilt. Die Handwerksfirmen sind an einer weiteren Verarbeitung der Vakuumdämmung u.a. im Bereich der Flachdachabdichtung und Sanierung interessiert. Eine IR-Aufnahme zur Qualitätskontrolle konnte bisher nicht durchgeführt werden, ist aber von der Fa. Bayosan Wachter GmbH im Winter 2004 vorgesehen. Abschließend zeigt Abbildung 39 das Demonstrationsobjekt eza!-Haus.



Abbildung 39: Außenansicht des eza!-Hauses.

### 7.4. Bewertung

Die Ausführung der Vakuumdämmung konnte aus Sicht der Fa. Bayosan Wachter GmbH erfolgreich abgeschlossen werden. Die Verarbeiter zogen eine positive Bilanz der Verlegearbeiten. Eine Weiterentwicklung und Ausweitung der Anwendung auf weitere Gewerke, z.B. der Flachdachsanieierung, wird von der Fa. Bayosan Wachter GmbH in Erwägung gezogen.



Die Anwendung der Vakuumdämmung im Fußbodenbereich ist einfach zu realisieren. Problematisch ist nach wie vor der Nachweis der Funktionsfähigkeit der eingebauten VIPs. Im Jahr 2004 beabsichtigt die Fa. Bayosan Wachter GmbH, eine IR-Aufnahme im Bereich des Kellerbodens durchzuführen. Aufgrund des schlanken Aufbaus ohne zusätzlichen Estrich besteht hier die Möglichkeit, eventuell defekte VIPs feststellen zu können.

## 8. Fußbodensanierung einer Turnhalle in Nürnberg

### 8.1. Aufgabenstellung

Die Fa. va-Q-tec AG beteiligte sich als VIP-Hersteller mit anderen Firmen an verschiedenen Entwicklungen und Demonstrationsobjekten (Innendämmung, Wandheizung, Brüstungselemente,...). Vakuumdämmung im Bodenbereich ist aus Sicht der Fa. va-Q-tec AG eine der interessantesten Anwendungen. Um als VIP-Hersteller Erfahrung bei Anwendungen im Bau zu sammeln, hat die Fa. va-Q-tec AG ein Demonstrationsobjekt gewählt, bei dem der Fußboden einer Turnhalle saniert werden sollte. Das Bauvorhaben wurde von der Planung, Fertigung bis zum Einbau betreut und dokumentiert.

### 8.2. Ausführung

In Abbildung 40 ist der Schichtaufbau der Fußbodendämmung dargestellt. Auf den Rohfußboden wurde oberhalb des Estrichs noch eine Fußbodenheizung eingebaut und darauf der eigentliche Sportboden aufgesetzt.

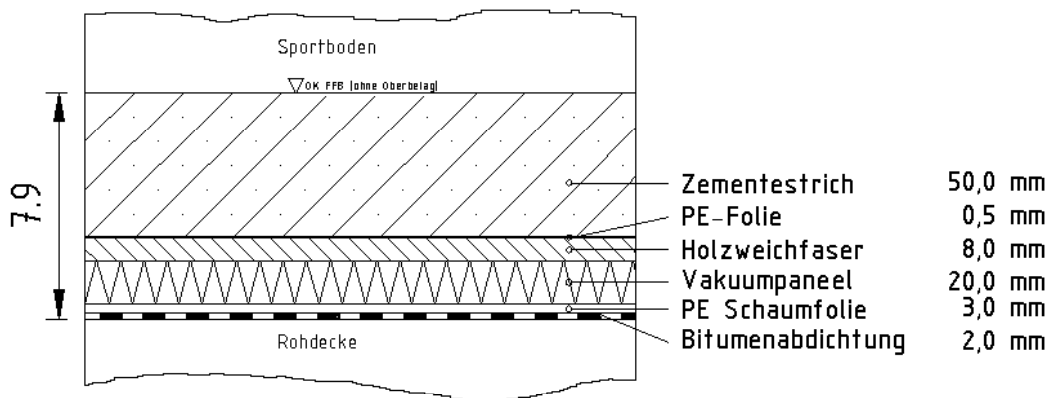


Abbildung 40: Schichtaufbau des vakuumgedämmten Turnhallenfußbodens.

Auf die bestehende Bodenabdichtung mit Bitumenschweißbahnen wurde eine 3 mm PE-Schaumfolie und anschließend 15 mm dicke Vakuumdämmplatten (von Wacker Ceramics und va-Q-tec AG) aufgebracht. Durch Auflegen von 8 mm Holzfasernplatten (Trittschalldämmplatten) auf die VIPs war die Fläche anschließend direkt begehbar, so dass die Abdichtungsfolie ausgelegt werden konnte, auf die der ca. 50 mm dicke Zementestrich zum Niveaueausgleich ausgebracht wurden. Nach Aushärten des Estrichbelags konnte die Fußbodenheizung zusammen mit dem Sportboden installiert werden. Um die vorhandenen Durchbrüche der Dämmebene durch die Bodenhülsen für Geräte herum wurden kleinformatische Vakuumdämmplatten gelegt. Die übrig gebliebenen kleinen Flächen wurden mit einem schüttbaren Dämmstoff ausgefüllt. Abbildung 41 zeigt die auf die grüne PE-Schaumfolie ausgelegten VIP-Platten. Im

Hintergrund sind die braunen Holzfaserplatten zu erkennen, über die die Dichtfolie ausgelegt wurde und auf der der Estrich direkt aufgebracht wird. Der große Vorteil bei dem hier vorgestellten Fußbodenaufbau ist die äußerst schlanke Dämmebene.



Abbildung 41: Einbringen der Dämmung in die Turnhalle. Zu sehen: Schaumfolie (grün), VIP, Holzweichfaserplatten (braun) und aufliegend die PE-Dichtfolie.

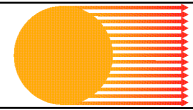
Mit VIP, Holzfaserplatte und den Schutz- und Dichtfolien beträgt die Gesamtdicke dieses Aufbaus weniger als 30 mm und dennoch ergibt sich für diesen eindimensional betrachteten Schichtaufbau ein Wärmedurchlasskoeffizient von ca.  $0,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , wenn für das VIP eine Wärmeleitfähigkeit von  $4 \cdot 10^{-3} \text{ W}/(\text{mK})$  angenommen wird.

Insgesamt wurden in der Sporthalle  $440 \text{ m}^2$  Vakuumdämmplatten verlegt. Die Ausführung der Arbeiten erfolgte durch eingewiesene Hilfskräfte, die die Vakuumdämmplatten mit ausreichender Sorgfalt behandelten. Es wurde nur ein belüftetes Vakuumpaneel festgestellt, das ausgetauscht wurde. Die Verlegung von Vakuumdämmplatten im Bodenbereich kann aufgrund der bisherigen Erfahrung daher als relativ problemlos angesehen werden.

### 8.3. Bewertung

Dieses Demonstrationsobjekt veranschaulicht wiederum, wie mit äußerst schlankem Aufbau eine effiziente Dämmung erreicht wird. Auch bei diesem Objekt konnte keine Überprüfung der VIPs im eingebauten Zustand erfolgen, da Estrichschicht, die aufgebrachte Heizung und eine zu geringere Temperaturdifferenz (im Vergleich zu Aufnahmen bei Außenwandanwendungen) keine aussagekräftige IR-Aufnahmen ermöglichen. Gerade für Anwendungen im Fußbodenbereich wäre die Entwicklung eines kontaktfreien Messverfahrens, mit dem der Paneelinnendruck direkt gemessen werden kann, wichtig, um Erkenntnisse über das Verhalten im eingebauten Zustand gewinnen zu können.

Die Erfahrungen, die in diesem Demonstrationsobjekt gesammelt wurden, bestärken die Fa. va-Q-tec AG, diese Anwendung weiter zu verfolgen. Eine Zulassung der Vakuumdämmung für die Anwendung im Fußbodenbereich wird angestrebt, so dass das System im Markt eingeführt werden kann.



## 9. Sanierung eines Ortgangs mit Vakuumdämmung

### 9.1. Aufgabenstellung

Die bisherigen Demonstrationsobjekte zeigen vor allem großflächige Bauanwendungen der Vakuumdämmung. Interessant sind aber auch kleinflächigere Anwendungen. Durch gezielten Einsatz von VIPs an thermischen Schwachstellen kann eine hohe Effektivität erreicht werden. Zugleich ist der Kostenaspekt bei kleinflächigen Anwendungen nicht von wesentlicher Bedeutung. Typische Einsatzbereiche könnten die Dämmung von Haustüren oder Fensterstürzen sein. Auch Baumaßnahmen zur Beseitigung von Bauschäden sind durch den Einsatz der Vakuumdämmung gut möglich. Dies soll am Beispiel einer Ortgangdämmung veranschaulicht werden.

In einem Haus zeigten sich an der Rauminnenseite der Außenmauer direkt unter der Ortgang-Kante zur Decke Verfärbungen, die als erste Anzeichen von Schimmelpilz anzusehen waren. Mit Hilfe von Wärmebrückenberechnungen sollte die vorhandene Situation bewertet und eine Sanierungsmaßnahmen erarbeitet werden, wobei der Einsatz von Vakuumdämmung vorgesehen war. Die VIPs wurden von der Fa. va-Q-tec AG zur Verfügung gestellt.

### 9.2. Ausführung

Sowohl die Hauswand als auch das Dach waren bei dem Gebäude gedämmt. Im Bereich des Ortgangs wurde beim Bau keine Dämmung eingebracht, so dass dieser eine deutliche Wärmebrücke darstellte. Die Wand und das Dach sind folgendermaßen aufgebaut.

- Die Außenmauer besteht aus 30 cm Ziegelsteinen (Wärmeleitfähigkeit 0.36 W/mK) auf die 5 cm Styropordämmung (Wärmeleitfähigkeit 0.040 W/(mK)) aufgebracht sind. Die Wand ist beiderseits 1 cm dick verputzt (Wärmeleitfähigkeit 0.87 W/(mK)) und am oberen Rand der Mauer ist eine Schicht aus Beton angebracht. Deren Höhe wurde 5 cm dick angesetzt. Auf dem äußeren Rand der Mauer liegt ein Holzbrett, auf dem die Querlatten befestigt werden.
- Das Dach hat 20 cm hohe Sparren mit einer ebenso hohen Zwischensparrendämmung (Wärmeleitfähigkeit 0.040 W/(mK)). Auf den Sparren sind erst Längs- und darüber Querlatten angebracht. Den Abschluss bilden Dachziegel.

Für diesen Aufbau ergeben sich für die Wand ein Wärmedurchgangskoeffizient  $U$  von 0.44 W/(m<sup>2</sup>K) und für die Decke 0.30 W/(m<sup>2</sup>K), so dass der Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2 eingehalten wird. Die DIN 4108-2 erklärt in Abschnitt 6.2 *Maßnahmen zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung*: "Ecken von Außenbauteilen mit gleichartigem Aufbau, deren Einzelkomponenten die Anforderung erfüllen, bedürfen keines gesonderten Nachweises". Es wäre also zu erwarten gewesen, dass die Temperatur von 12.6 °C nicht unterschritten wird und kein Tauwasser auftritt. Jedoch zeigen sich nach 8 Jahren entlang der nord-ost-orientierten Ortgangkanten deutlich Verdunkelungen an denen früher oder später Schimmelpilze auftreten könnten.

Abbildung 42 zeigt eine Querschnittsskizze der Ortgangkonstruktion. Bei der Skizze ist bereits eingezeichnet, wie der Ortgang nachträglich gedämmt wurde. Im Bereich des Ortgangs wurden zuerst konventionelle Dämmstreifen eingebracht, auf die anschließend die VIPs aufgelegt wurden.

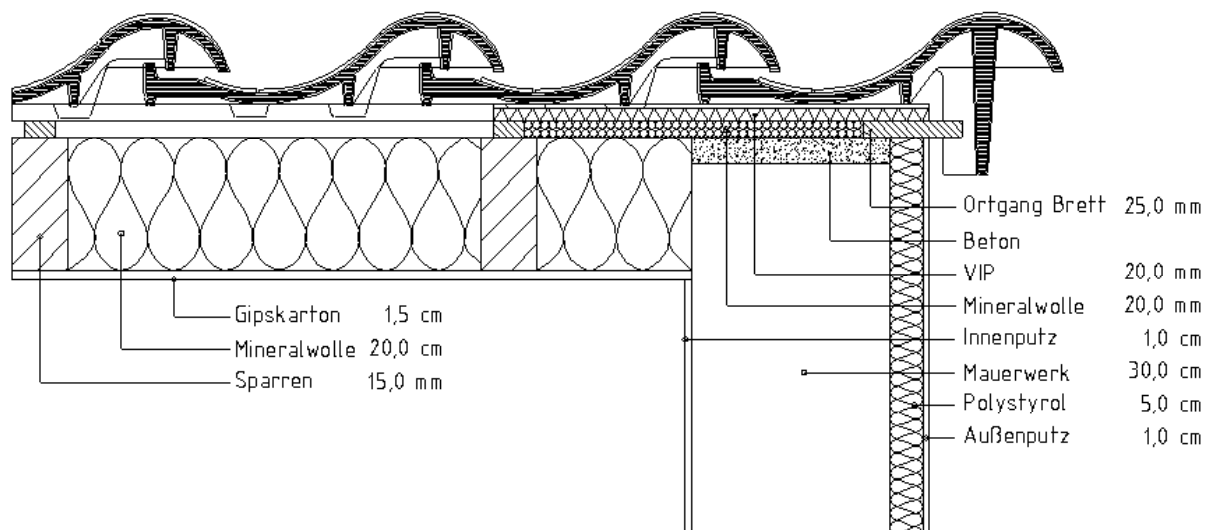


Abbildung 42. Querschnitt der Ortgangkonstruktion mit integrierter Vakuumdämmung.

Die Einbausituation im Bereich des Ortgangs wird in Abbildung 43 gezeigt. Deutlich ist zu erkennen, wie die konventionelle Dämmung zwischen äußerem Holzbrett an der Ortgangkante und der Längslattung auf den Dachbalken eingebracht und wie die VIPs darauf aufgelegt wurden. Zum Schutz wurden die VIPs ober- und unterseitig mit Aluminiumselbstklebefolie beklebt. Über die VIPs wurden abschließend die Ortgangziegel aufgebracht. Die „Nasen“ der Ziegel greifen im Bereich der Schaumstreifen an die Querlattung.

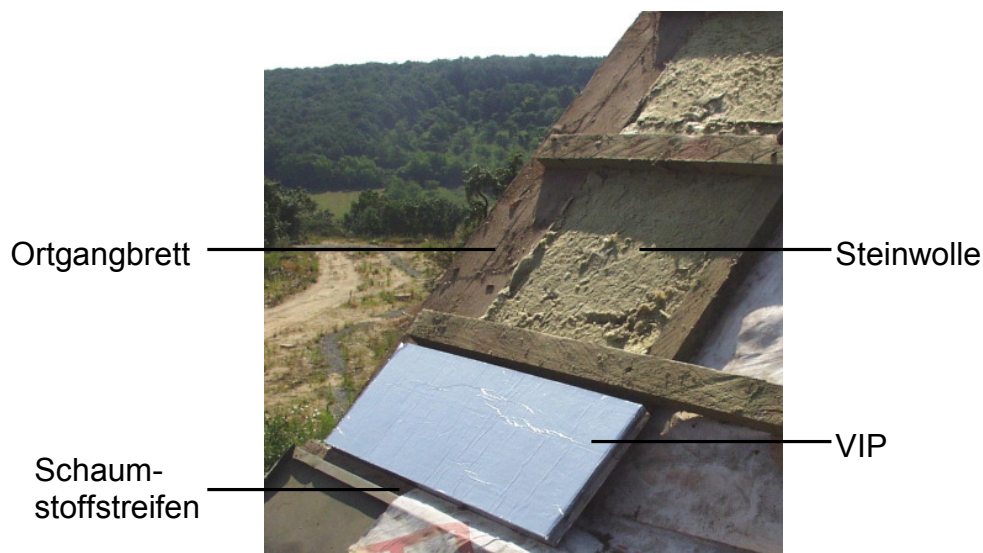
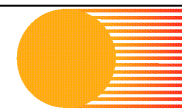


Abbildung 43: Einbau der VIPs zur Dämmung des Ortgangbereichs.

### 9.3. Ergebnisse

Zur wärmetechnischen Bewertung der Konstruktion wurden vier Varianten berechnet:

- Variante 1: bestehende Konstruktion ohne Dämmung im Ortgangbereich.
- Variante 2: der Bereich zwischen äußerem Holzbrett und der Längslatte auf dem ersten Sparren wird mit einer 24 mm dicken konventionellen Dämmung aufgefüllt.



- Variante 3: Oberhalb der konventionellen Dämmung wird zwischen den Querlatten ein 20 mm dickes VIP ( $\lambda=5,0 \cdot 10^{-3} \text{ W/(mK)}$ ) eingebracht.
- Variante 4: Anstelle der VIPs wird konventionelle Dämmung zwischen die Querlattung eingebracht.

Für die Berechnungen mit dem Wärmebrückenprogramm Heat3 wurden eine Raumtemperatur von 20 °C und eine Außentemperatur von – 5 °C angesetzt. Der äußere Wärmeübergangswiderstand wurde mit 0.04 m<sup>2</sup>K/W angesetzt und innen wurde im Bereich der Innenecken ein Wärmeübergangswiderstandswert von 0.25 m<sup>2</sup>K/W angenommen. Gemäß DIN 4108-2 wird unter den gegebenen Bedingungen eine minimale raumseitige Oberflächentemperatur der Außenbauteile von 12.6 °C als ausreichend angesehen, um das Risiko von Schimmelpilzbefall soweit zu reduzieren, dass bei üblicher Raumnutzung hygienische Bedingungen sichergestellt sind.

Tabelle 1: Temperatur in der Kante und Wärmebrückenverlustkoeffizient des Ortgangs bei unterschiedlichen Dämmvarianten

Variante	Oberflächentemperatur an der Innenkante [°C]	Wärmebrückenverlustkoeffizient für den Ortgang [W/(mK)]
1	10.6	0.187
2	12.1	0.138
3	13,5	0.092
4	12,7	0.117

Es ist zu erkennen, dass die vorhandene Dämmung die Anforderung, 12.6 °C nicht zu unterschreiten, nicht erfüllt und die beobachtete Verdunkelung daher auf die Bausituation zurückzuführen ist (Variante 1). Mit 10.6 °C liegt die Temperatur sehr niedrig und der Mindestwärmeschutz ist nicht gegeben, obwohl sowohl Wand als auch Decke einzeln die gestellten Forderungen erfüllen. Das Einbringen einer 24 mm dicken konventionellen Dämmung genügt ebenfalls nicht, da die Temperatur dann immer noch 0.5 °C unter der anzustrebenden liegt (Variante 2). Bringt man weitere 20 mm konventionelle Dämmung zwischen den Querlatten an, so kann die Temperatur an der kältesten Stelle auf 12.7 °C erhöht und damit über die 12.6 °C–Grenze gebracht werden (Variante 4). Die Dämmung mit den Vakuumpaneelen verbessert die Dämmung am meisten – die Temperatur erreicht den höchsten Minimalwert von 13.5 °C (Variante 3).

#### 9.4. Bewertung

Das ausgeführte Demonstrationsvorhaben zeigt, wie die Vakuumdämmung sehr effektiv auch bei kleinflächigen Sanierungsmaßnahmen eingesetzt werden kann. Der Einsatz der Vakuumdämmung im Sanierungsbereich zur Behebung lokaler thermischer Schwachstellen stellt eine weitere sinnvolle und äußerst effektive Anwendung für die VIPs im Baubereich dar. Bei derartigen Baumaßnahmen ist der Kostenfaktor der Vakuumdämmung von untergeordneter Bedeutung, so dass gerade für derartige Anwendungen ein großer Markt vorhanden sein sollte.

## 10. Zusammenfassung Demonstrationsobjekte

Alle Demonstrationsvorhaben konnten erfolgreich abgeschlossen werden. Bei keinem der Demonstrationsvorhaben sind bisher Schäden an der Konstruktion, in oder an der Fassade zu beobachten. Alle IR-Aufnahmen, soweit sie bei den verschiedenen Bauvorhaben durchführbar waren, zeigen, dass die Vakuumdämmung im eingebauten Zustand funktioniert. Lediglich bei einem VIP besteht der Verdacht, dass erst in einem späteren Zeitraum nach dem Einbau eine Belüftung des VIPs eintrat. Aus diesem Grund ist es wichtig, die Fassaden weiterhin zu beobachten.

- Bei der Umsetzung am Bau wurden einige Schwierigkeiten bei der praktischen Anwendung der Vakuumdämmung offensichtlich. Dazu gehören:
- Noch zu geringe Maßhaltigkeit der VIP.
- Hohe Beschädigungsgefahr, vor allem an den Ecken.
- Aufwändige Maßfertigung vor allem bei Sonderformaten und Austausch bei Beschädigung.
- Gewährleistungsproblematik, da bisher keine Qualitätskontrolle vor Ort möglich.
- Baurechtliche Anforderungen (Festlegung Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit, Festlegung Brandschutzklasse,...) müssen noch nachgewiesen werden.

Insgesamt sind die meisten Firmen an einer weiteren Anwendung der Vakuumdämmung interessiert. Die oben angesprochenen baupraktischen Probleme müssen aber zwingend behoben werden. Die VIP-Hersteller arbeiten daran, ihre Produkte weiter zu entwickeln. Die Verbesserung der Maßhaltigkeit, der Einsatz von Schutzhüllen, neue Messmethoden zur Qualitätskontrolle sind ebenso vorgesehen wie die Nachweisuntersuchungen für die baurechtlichen Anforderungen.