

# **Wissenschaftliche Analyse eines auf vorgefertigten Vakuum- Panel-Verbundplatten beruhenden Innendämmsystems**

## **Kurzbericht**

### **Projektleitung:**

Christof Stölzel  
VARIOTEC GmbH & Co. KG  
Weißmarterstraße 3-5  
D-92318 Neumarkt

### **Forschende Stelle:**

Passivhaus Institut  
Dr. Wolfgang Feist  
Rheinstraße 44 – 46  
D-64283 Darmstadt

### **gefördert von:**

Forschungsinitiative Zukunft Bau  
Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung  
Referat II3  
Deichmanns Aue 31 – 37  
D-53179 Bonn  
**AZ II2-F20-06-042**

### **Projektleitung / Autoren:**

Teil A / B: Dr. Ing. Rainer Pfluger, Wolfgang Hasper  
Teil C: Burkhard Schulze Darup  
Teil D: Fa. VARIOTEC / Dirk Sommer  
Teil E: Dr. Ing. Rainer Pfluger, Wolfgang Hasper,  
Prof. Dr. Wolfgang Feist  
Teil F: Dr. Burkhard Schulze Darup, Martin Forstner

### **Projektlaufzeit:**

August 2006 bis Januar 2011

## Ziel und Durchführung des Forschungsvorhabens

Gegenstand dieses Forschungsvorhabens sind Untersuchungen an einem marktfähigen integralen Innendämmungssystem auf der Basis von Verbundplatten mit Vakuum-Dämmpaneelen inkl. der zugehörigen Planungs- und Anwendungshinweise.

Zur Erreichung des Ziels wurde das Projekt in verschiedene Arbeitsschritte eingeteilt.

Arbeitsschritt 1: Aufbau eines thermisch-hygrischen Modells mit vorhandener Software „Delphin-Modellberechnung“ zur Simulation des mehrjährigen Feuchteverhaltens eines Vakuum-Innendämmsystems an verschiedenen Altbau-Außenwänden und unter verschiedenen feuchtetechnischen Randbedingungen.

Daraus abgeleitet wurden die bauphysikalischen Voraussetzungen, die für den Einsatz eines Vakuum-Innendämmsystem geeignet sind.

Arbeitsschritt 2: Analyse von Prototyp-Verbundplatten im laborseitigen Aufbau zum Test der Eigenschaften.

Ziel dieses Arbeitsschrittes ist die Bestätigung der durch die Simulation erwarteten Eigenschaften und das Erkennen evtl. bestehender Schwachpunkte und Risiken.

Arbeitsschritt 3: Planung und Durchführung der Modernisierung von mindestens zwei Musterwohnungen im deutschen Altbaubestand unter Verwendung des laborseitig getesteten Systems. Dabei wurden die spezifischen Anschlussdetails ausgearbeitet und dokumentiert und praktische Erfahrungen mit der Ausführung der Innendämm Maßnahme gesammelt.

Arbeitsschritt 4: Zur Evaluierung der Simulationsdaten wurden Temperaturen, Feuchtigkeit und Wärmeströme an mindestens drei Messstellen der Innendämmkonstruktion (inkl. der alten Bestandswände) zur kontinuierlichen Messdatenerfassung durchgeführt.

Weiterhin wurde für eine Vielzahl von Gebäudetypen unterschiedlicher Baualtersklassen (insgesamt 76), geeignete Konstruktionen und Detaillösungen untersucht. (Vergleich hierzu Teil C + D)

## Teil A Grundlagen für die Innendämmung

Die Anbringung konventioneller Innendämmsysteme ist bisher in bestehenden Gebäuden auf die Objekte begrenzt, in denen genügend Platz für diese Dämmsysteme vorhanden ist. Die von Firma VARIOTEC entwickelten und praxis- erprobten Dämmverbundelemente erlauben ein platzsparendes, als Alternative für die außenliegenden Dämmungen, und darüber hinaus hoch effizientes Innendämmsystem.

Grundsätzlich sind bei diesen Innendämmmaßnahmen die bauphysikalischen Grundlagen äußerst genau zu beachten und die Feuchtequellen bei Außenwänden wie z. B. Schlagregen, Tauwasseranfall und aufsteigende Grundfeuchte sowie die anfänglichen Baufeuchten zu beachten.

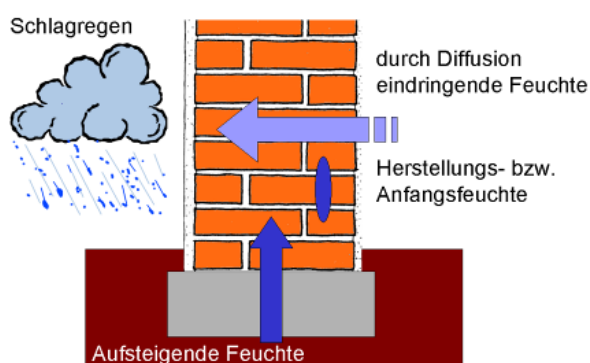


Abbildung 1: Feuchtequellen bei Außenwänden (Beregnung, Tauwasseranfall, aufsteigende Grundfeuchte und anfängliche Baufeuchte)

## **Besonderheiten bei Vakuum-Innendämmung**

VIP-Elemente werden zum Schutz der Perforation der Hochbarrierefolie mit entsprechenden Deckschichtmaterialien als Sandwich-Modul hergestellt.

Die Elementstöße werden mit einem elastischen, vlieskaschierten Butylklebeband abgedichtet. Mit dieser Bauweise kann ein großflächiges Paneel als mehrfachfunktionale Einheit aus Wärmedämmung (VIP) und Dampfsperre (dünnes Aluminiumblech) hergestellt werden.

Ein solches Innendämmsystem ist absolut dampfdiffusionsdicht. Alle Durchdringungen, Stoßfugen, Ränder und Bauwerksanschlüsse müssen daher sorgfältig abgedichtet werden.

Somit ist ein Schutz gegenüber Feuchteintrag in die Innendämmung bzw. in die Außenwand aus der Raumluft, sei es durch Diffusion oder aber durch konvektive Hinterströmung der Dämmelemente gegeben. Wie bei jeder diffusionsdichten Innendämmung ist daher ein Austrocknen der Wand über die Innenoberfläche dauerhaft ausgeschlossen.

Dem zuverlässigen Schutz vor äußeren Feuchteinträgen kommt deshalb entscheidende Bedeutung hinzu. Wie bei jeder Innendämmung, jedoch bei VIP-Dämmungen in verstärktem Ausmaß, gewinnen Wärmebrückeneffekte besondere Bedeutung.

Einbindende Bauteile sind zumeist nicht veränderlich und so kann nur eine Reduzierung der Wärmebrückenverluste etwa durch Begleitdämmung erreicht werden.

Einer sorgfältigen Detailausbildung aller Elementfugen und Durchdringungen kommt ebenso große Bedeutung zu. Fehlstellen durch Mängel in der Ausführung, unbekannte Fugen in der bestehenden Konstruktion oder aber durch Beschädigung während der Nutzungsdauer sind nicht auszuschließen.

Ihr Einfluss wurde in diesem Projekt daher untersucht.

## **Empfehlungen zum Einsatz von VIP-Innendämmung**

Der Einsatz von VIP-Innendämmung kann für folgende Fassaden empfohlen werden, wenn keine Außendämmung möglich ist:

- Alle Fassaden, die mit wasserabweisendem Putz und Anstrich versehen werden können
- Klinkerfassaden mit sanierten Fugen und geprüfter Hydrophobierung
- Fassaden mit Behang oder Vormauerwerk

## **Einbau und Montage von VIP-Innendämmelementen**

Die großflächigen VIP-Paneele werden in der Außenwand durch wärmebrückenreduzierte polyamid- oder glasfaserverstärkte Kunststoffschrauben befestigt. Durch die Verwendung dieser Materialien mit geringer Wärmeleitfähigkeit wird die Forderung nach Wärmebrückenvermeidung erfüllt.

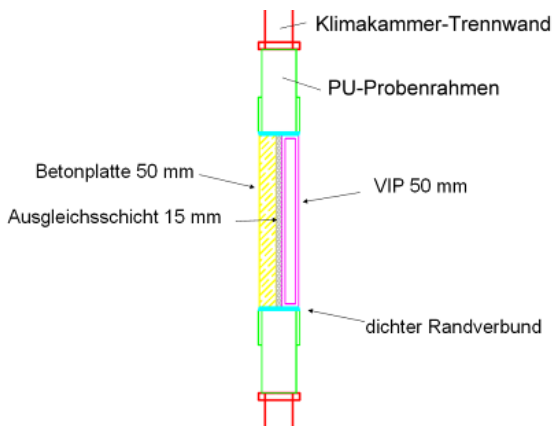
Vakuum-Isolationspaneele werden mit geringen Ebenheitstoleranzen hergestellt und sind als starre Platten nicht in der Lage, Unebenheiten des Untergrundes auszugleichen. Hohlräume zwischen Dämmebene und bestehender Außenwand sind unerwünscht und müssen mittels einer elastischen Zwischenlage vermieden werden.

## **Teil B Laboruntersuchung**

Die Laboruntersuchungen an einem Innendämmsystem auf Basis von Verbundplatten mit Vakuum-Dämmpaneelen hatten das Ziel, die Grundlagen für zugehörige Planungs- und Anwendungshinweise zu schaffen, damit das System in der Umsetzung eine baupraktische und bauphysikalisch einwandfreie Lösung für die Altbaumodernisierung darstellt.

Bei den Laborversuchen ging es nicht darum, den Feldversuch am Prüfstand nachzuvollziehen, sondern vielmehr die Validität des Simulationsmodells zu prüfen und mit den tatsächlichen Materialdaten abzugleichen.

Da sich hygrische Vorgänge auf wesentlich längeren Zeitskalen abspielen, wie Wärmetransportvorgänge, wurde im Versuchsaufbau mit dünnen Materialstärken gearbeitet. Stellvertretend für die Außenwand eines Bestandsgebäude wurde bei der Feldmessung in Neuwied, Beton eingesetzt.



**Abb. 2 Schichtaufbau des Probekörpers**



**Abb. 3 Schichtaufbau und Sensorpositionen**

Die Versuche im Labor wurden in einem Differenzklimakammer-Prüfstand durchgeführt. Die Probekörper wurden mit einem kombinierten Temperatur-/Feuchtesensor ausgestattet, darüber hinaus wurde der Wärmefluss durch den Probekörper mittels Wärmeflussplatte gemessen.

### **Befeuchtungsexperiment zur Schlagregensimulation**

Die Wasseraufnahme bei einer Außenwand durch Schlagregen spielt bei einer Vakuum-Isolationsinnendämmung eine eminent wichtige Rolle. Um diese Wasseraufnahme im Laborversuch unter definierten Bedingungen simulieren zu können, wurden Vorversuche an einer Betonplatte unternommen. Von einer mittels Sprühflasche abgegebenen Wassermenge von 61 g wurden entsprechend den Ergebnissen aus den Vorversuchen ca. 53 g von der Betonprobe aufgenommen.

Mit Hilfe der gekoppelten thermisch/hygrischen Simulation konnte sowohl der Verlauf der Temperaturen und Wärmeströme als auch des Aw-Wertes im Schichtaufbau des Probekörpers berechnet werden.

Die Übereinstimmung ist mit einigen Ausnahmen insbesondere in Bereichen mit niedrigen Temperaturen zufriedenstellend, auch die Auswirkungen bei auftreffendem Schlagregen (im Laborversuch durch definierte Sprühversuche simuliert) werden durch das Simulationsmodell realitätsnah wiedergegeben.

### **Teil C + D Konstruktionsdetails und Wärmebrückenberechnungen nach Baualtersklassen**

Im Rahmen des Forschungsvorhabens erfolgte eine systematische Aufstellung von relevanten Details für den Einsatz von Vakuum-Innendämmungen. Dazu wurden charakteristische Konstruktionen in Abhängigkeit von verschiedenen Baualtersstufen untersucht. Vielfältig einsetzbare Details wurden festgelegt und die dazu gehörigen Detailzeichnungen erstellt. (Bauzeiten von 1870 – 1985)

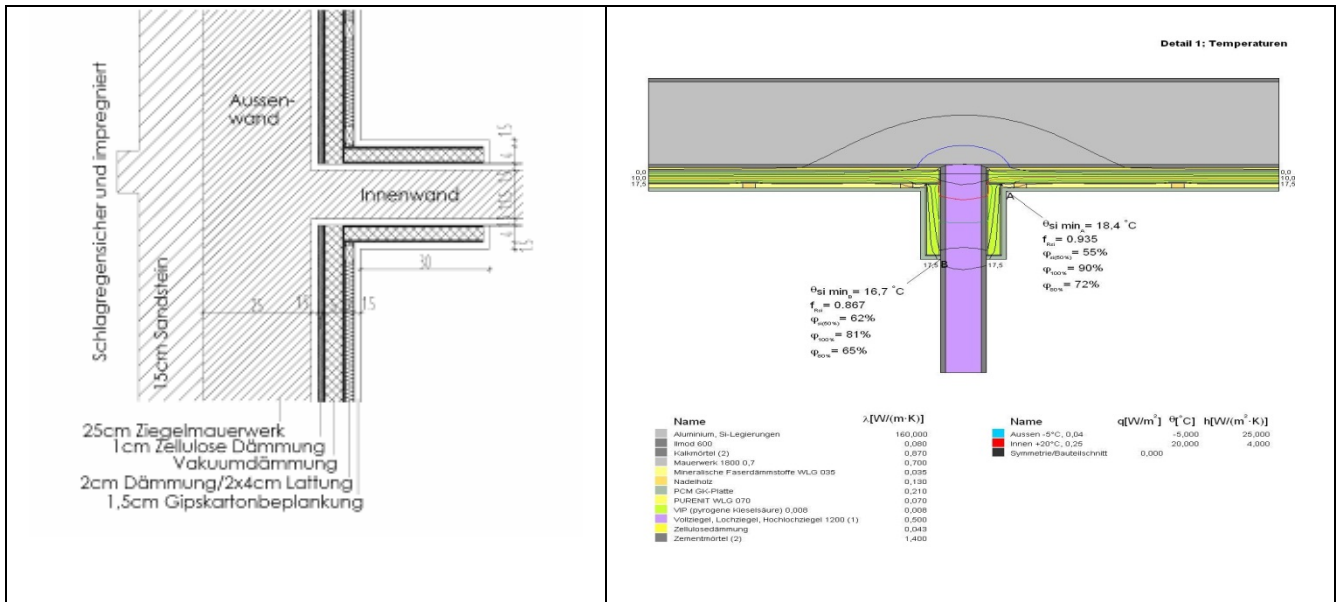


Abb. 4 Detailaufbau von 1870 – 1920 Außenwand

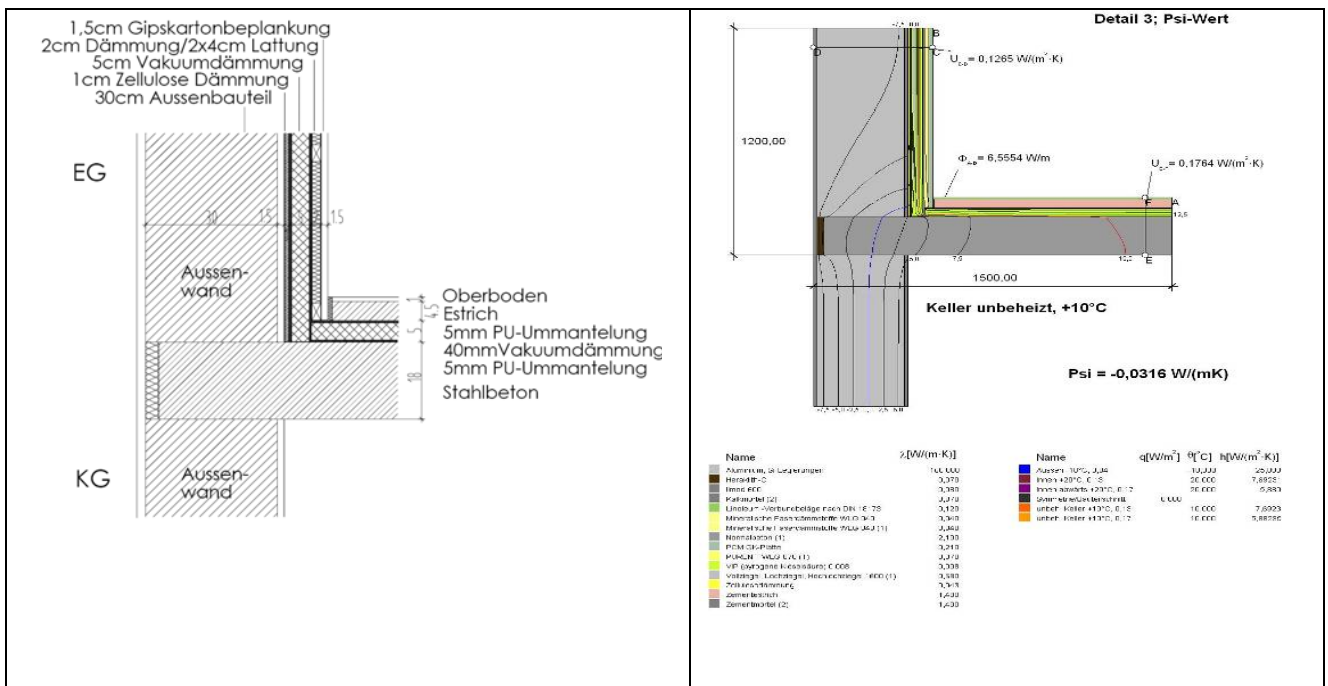


Abb. 5 Detailaufbauten von 1945 – 1960 Sockel KG/EG

## Teil E Pilotprojekt Neuwied

Als erstes Objekt für einen Feldtest der zuvor konzipierten Konstruktion einer Innendämmung mit Vakuum-Isolationspaneelen konnte das Wohnheimgebäude des DRK-Krankenhauses in Neuwied gewonnen werden. Das um 1960 als Stahlbetonkonstruktion errichtete Gebäude wurde umfassend energetisch saniert, wobei an drei Hauptfassaden ein Wärmedämmverbundsystem zum Einsatz kam. Bei der vierten Fassade (Nordost) konnte aufgrund der Grenzbebauung keine außenliegende Wärmedämmung realisiert werden, eine Innendämmung wurde erwogen.

### Konstruktion

Im Pilotprojekt Neuwied wurden geschosshohe Paneele eingesetzt. Hierfür wurde nach präzisem Aufmaß ein Herstellungs- und Verlegeplan entwickelt, der der fertigungsbedingten

Forderung nach einer möglichst geringen Zahl unterschiedlicher Größen von VIP-Elementen entsprach. Anschließend wurden die Einzelelemente zu 8 großflächigen Paneelen für die Wandflächen gemäß dem unter Abbildung 2 aufgeführten Schichtaufbau zusammengefasst.

Zum Ausgleich von Unebenheiten, an welche die starren VIP-Paneele sich nicht anpassen können und mit dem Ziel, den Feuchtehaushalt im Zwischenraum günstig zu beeinflussen wurde an der 180 mm starken Stahlbeton-Außenwand zunächst eine 30 mm starke Ausgleichssicht aus Hanffaser-Dämmmatten angeklebt.



Abb. 6 Hanffaser-Dämmmatten als Ausgleichsschicht



Abb. 7 Wandflächen-Paneele in Position

## Messkonzept

Um die Voraussetzungen für eine Erfassung des realen Verhaltens der Konstruktion zu schaffen, wurden Sensoren für alle wichtigen Parameter des thermischen und hygrischen Verhaltens im Zentrum der gedämmten Wand installiert. Zudem wird die Oberflächentemperatur an der kritischen Stelle des Übergangs der Begleitdämmung zum Bauwerk erfasst. Alle Sensoren werden mit einer zentralen Datenerfassungsanlage (ALMEMO Datenlogger 2890-9, Fa. Ahlborn MRT) in minütlichen Intervallen (Mittelwerte) aufgezeichnet. Die Messkanäle sind in folgender Tabelle detailliert aufgeführt:

Nr.	Parameter	Messstelle	Kurzbez.	Typ
1	Schlagregenbelastung Außenwand	Vor Außenwand	Regen1	THIES 5.4103.20.041
2	Temperatur Außenwand	30mm hinter Außenoberfläche Außenwand	Aussenw1 T	E+E 06
3	Relative Feuchte Außenwand	30mm hinter Außenoberfläche Außenwand	Aussenw1 rF	E+E 06
4	Wärmestrom	Innenoberfläche Außenwand	Wäfl1	Phymeras T7
5	Temperatur Ausgleichsschicht	Innenoberfläche Außenwand	Ausgl1 T	E+E 06
6	Relative Feuchte Ausgleichsschicht	Innenoberfläche Außenwand	Ausgl1 rF	E+E 06
7	Feuchte Ausgleichsschicht	Innenoberfläche Außenwand	Holz1	Ahlborn MRT FHA636MF
8	Oberflächentemperatur	Innenoberfläche VIP	OberflVIP1	Pt100 Folienfühler Ahlborn MRT FP0685
9	Oberflächentemperatur	Innenoberfläche Vorsatzschale	OberflGK1	Pt100 1/10 DIN B
10	Oberflächentemperatur	Übergang Begleitdämmung / Bauwerk	OberflVIP2	Pt100 Folienfühler Ahlborn MRT FP0685
11	Raumlufttemperatur	Deckenbereich	Raum1 T	E+E 06
12	Raumluftfeuchte	Deckenbereich	Raum1 rF	E+E 06

## Zusammenfassung des Modellvorhabens BV Neuwied

Die Analyse der Klimadaten am Standort und der für den Auswertzeitraum 21.08.2007 bis 23.04.2010 vorliegenden Wetterdaten weist auf durchschnittliche Bedingungen während der

Messbegleitung hin. Die innengedämmte Wand ist windabgewandt und wird einer Schlagregenbelastung im Grenzbereich der Beanspruchungsgruppen I und II der DIN 4108-3 zugeordnet.

Die Messwerte liegen durchweg in einem unkritischen Bereich, auch die erkennbaren Trends deuten auf eine dauerhaft schadensfreie Funktion hin und befinden sich in guter Übereinstimmung mit den durch numerische Simulationsrechnungen vorab ermittelten Werten. Es zeigt sich ebenfalls, dass die Wärmebrücken Entschärfung durch Begleitdämmung wirksam ist, das heißt feuchtebedingte Bauschäden können zuverlässig vermieden werden.

## **Feuchteverhältnisse im Bauteilaufbau**

Neben den zuvor betrachteten Feuchteverhältnissen an den Bauteiloberflächen ist die Feuchtigkeit innerhalb des Bauteils und ihre langfristige Entwicklung für die Funktionsfähigkeit der Konstruktion von entscheidender Bedeutung. Sie wurde daher in verschiedenen Bauteilschichten fortlaufend erfasst.

An den Messstellen liegt die Feuchte ständig unterhalb der kritischen Schwelle von 80 % r.F. (entsprechend einem  $a_w$ -Wert von 0,8).

Der Trend zeigt einen sich mit der Zeit abschwächenden Anstieg der Feuchte. Es ist durch eine vergleichbare Extrapolation wie bei den Simulationsergebnissen absehbar, dass bei einem mittleren Wert von ca. 70 % nach etwa vier bis fünf weiteren Jahren ein Gleichgewicht erreicht wird. Dies befindet sich in guter Übereinstimmung mit den zuvor diskutierten Ergebnissen der Simulationsrechnung.

## **Projektbeschreibung Springe-Eldagsen**

Im Energie- und Umweltzentrum am Deister in Springe Eldagsen wurden im Rahmen eines Innendämmprojektes verschiedene Räume mit unterschiedlichen Innendämmsystemmaterialien ausgestattet. Für die QASA Vakuuminnendämmung wurde ein Büroraum zusammen mit Passivhausfenstern ausgestattet.

Die Montage der Vakuuminnendämmung erfolgte ohne Zwischenlage aus Hanf; der Einbau erfolgte im Gegensatz zum Projekt Neuwied ausschließlich über eine Verklebung mit PU – Baukleber. Unebenheiten in den Oberflächen sind daher auszufüllen und planeben vorzubereiten und eine Klebeabreißprobe durchzuführen.

### **Fazit:**

Die Befestigung der Innendämmpaneele ausschließlich ohne mechanische Befestigungen hat sich als schwierig erwiesen, da der Klebeuntergrund und die Klebebedingungen ideal sein müssen. Die Weiterentwicklung der QASA Innendämmelemente haben eine mechanische Befestigung als Grundlage, dieser Einbau ist als problemlos zu betrachten und wird zur Ausführung vorgeschlagen.

## **Zusammenfassung der Ergebnisse**

Die VIP-Innendämmung ist ein absolut luftdichtes System welches die Dampfdiffusion von innen nach außen unterbindet.

Eine Verdunstung von eingedrungener Feuchtigkeit nach innen kann nicht mehr erfolgen. Eine mechanische Be- und Entlüftungsanlage mit WRG, ist je nach Objektgröße einzuplanen.

### **Außenwand: Aufsteigende Kapillarfeuchte**

Eine Grundvoraussetzung für den Einsatz von Innendämmung besteht darin, dass die zu dämmende Außenwand kein Problem mit aufsteigender Kapillarfeuchte aufweist.

Ein kontinuierlicher Feuchtetransport aus dem Keller-, Sockel oder Fundamentbereich führt zu einer überhöhten Feuchte, die zwangsläufig Schäden auf der Außen- und Innenseite des Mauerwerks nach sich ziehen würde. Deshalb ist eine genaue Überprüfung der Mauerwerksfeuchte und ihrer Ursachen erforderlich und eine sichere Abdichtung gegen aufsteigende Feuchtigkeit auszuführen.

### **Außenwand: Schlagregenschutz**

Der Eintrag von Feuchtigkeit durch Schlagregen in eine Außenwandkonstruktion kann beim Einsatz von Innendämmung zu wesentlichen Schäden in der Konstruktion führen. Deshalb ist eine diesbezügliche Überprüfung der Fassade im Zuge der Planung von sehr hoher Bedeutung.

**Fachwerk** verhält sich äußerst problematisch hinsichtlich der Schlagregensituation. Deshalb wird die Verwendung von Vakuum-Innendämmung in Verbindung mit diesen Konstruktionen nicht empfohlen. Selbst bei sorgfältiger Ausführung während der Sanierung kann auf Grund von Bewegungen zwischen den unterschiedlichen Konstruktionsteilen ein Wassereintritt im Bereich von Fugen zwischen Balken und Ausfachung oder innerhalb der Balken erfolgen. **Sichtmauerwerk** ist in zahlreichen Konstruktionsformen möglich und muss deshalb individuell beurteilt werden. **Vollziegelmauerwerk** wurde in der Gründerzeit oftmals in Verbindung mit **Verblendmauerwerk** im Verbund gemauert. Bei diesen Konstruktionen ist sowohl die Situation der Mauerwerksfugen zu überprüfen als auch das Mauerwerk hinsichtlich seiner Aufnahmefähigkeit für Feuchte aus Schlagregen. Eine Hydrophobierung wird im Allgemeinen notwendig sein, wobei eine sehr genaue Untersuchung der zugrunde liegenden Rahmenbedingungen erforderlich ist. Die gleiche Situation ist bei Konstruktionen mit Sparverblendern gegeben.

**Putze und Beschichtungen** können einen sehr guten Schlagregenschutz darstellen. Anforderungen für die Schlagregenschutzwirkung werden nach DIN 4108 und 18550 [DIN 4108-3 und DIN 18550 Teil 1] gestellt. Für Gebäude in der Beanspruchungsgruppe II müssen mindestens wasserhemmende, für Beanspruchungsgruppe III wasser-abweisende Putze ausgeführt werden. Für die energetische Sanierung in schlagregenbelasteten Regionen ist deshalb der Auftrag wasserabweisender hydrophober aber diffusionsoffener Außenputze geboten. **Innendämmung** selbst weist oftmals an den unteren, oberen und seitlichen Anschlüssen Undichtheiten zu den anschließenden Konstruktionsteilen auf. Deshalb ist es besonders wichtig, dass die Innendämmung auf der Fläche zur Außenwand vollflächig und ohne Luftzwischenräume angebracht wird. Das kann durch vollflächige Kleber erfolgen oder durch ein verformbares Dämmmaterial. Dadurch wird vermieden, dass Raumluft hinter der Innendämmung zirkuliert und sich Konvektionsfeuchte in diesem kalten Bereich niederschlägt. Mit ventilatorgestützter Wohnungslüftung stellt sich typischerweise in den relevanten Monaten Januar bis März eine Raumluftfeuchte von 40 % bis 30 % ein. D. h. durch die Lüftungstechnik wird nicht nur gute Raumluftqualität sichergestellt, sondern es werden auch günstige Rahmenbedingungen für den Einsatz von Innendämmung geschaffen.

## **Zusammenfassung und Ausblick**

Können die Voraussetzungen für den Einsatz von Vakuum-Innendämmung erfüllt werden, so stellt diese Form der Dämmung eine gute Option bei der energetischen Sanierung von Gebäuden dar. Sie verbessert die Behaglichkeit und erbringt eine entscheidende Energieeinsparung, wenn eine Außendämmung nicht möglich ist.

Es müssen jedoch alle bauphysikalischen Einflüsse geprüft werden, insbesondere Zustand und Feuchtigkeitsbelastung der Außenwand sind wichtige Parameter, die vom Planer und Verarbeiter beachtet werden müssen.

Bei der Analyse der Projekte zeigt sich, dass unter Einsatz von Passivhauskomponenten bei fast allen denkmalgeschützten Gebäuden zumindest eine Energieeinsparung um den Faktor 4 möglich ist, in vielen Fällen auch bis hin zum Faktor 10.