

# Gebäudesanierung mit VIP am Beispiel der Kita Plappersnut

Dipl.-Ing. H. Winkler, Professur für Baukonstruktionen und Bauphysik, Inst. f. BIW, AUF, Universität Rostock

## 1. Zweck und Ziel

In Wismar wurde die Kindertagesstätte „Plappersnut“ im Rahmen des Projektes „Energetische Verbesserung der Bausubstanz“ (EnSan) als Demonstrationsobjekt saniert. Ein Anliegen des EnSan-Projektes ist die Anwendung und Erprobung neuer Methoden und Komponenten.

Mit Unterstützung von Mitteln des Bundes (über Projektträger Jülich) wurden durch die Verantwortlichen insgesamt 4 Giebelfassaden mit einer Gesamtfläche von ca. 240 m<sup>2</sup> für eine Dämmung mit Vakuum-Isolationspaneelen ausgewählt. Ein besonderes Anliegen aller Beteiligten war es hierbei zwei verschiedene Systeme mit VIP in Anwendung zu bringen. So wurde die Westfassade (ca. 140 m<sup>2</sup>) für die Dämmung mit einem VIP-WDVS (Fa. STO, Fa. Porextherm) ausgewählt. An der Ostfassade sollte auf gleicher Fläche ein neu zu entwickelndes, vorgefertigtes VIP-Fassadenelement zum Einsatz kommen.

Zu diesem Zwecke fand sich ein Entwicklungsteam aus Vertretern der Universität Rostock, der Hochschule Wismar und der Fa. Adco aus Rostock zusammen.

Ziel der Arbeit dieses Teams war es in kurzer Zeit ein Fassadenelement zu entwickeln, welches folgende Vorteile in sich vereinen sollte:

- Hohe Wärmedämmung bei geringer Dicke
- Sichere bauliche Anwendung zunächst für Gebäude geringer Höhe
- Umfassender Schutz der VIPs insbesondere auf der Baustelle
- Hoher Vorfertigungsgrad, schnelle Baustellenmontage
- Funktionskontrolle der VIPs unmittelbar vor Integration in das Fassadenelement
- Gestaltungsmöglichkeiten der äußeren Oberfläche, hochwertige Optik

Die Untersuchungen zur Gebrauchstauglichkeit des so neu zu entwerfenden VIP-Fassadenelementes wird in 3 Schritten durchgeführt.

- 1) Prognoseberechnungen vor der Konfiguration der VIP-Elemente
- 2) Prototypenuntersuchungen in der Doppelklimakammer im Labor
- 3) Langzeituntersuchungen nach Montage (Temperatur, Fugen, Risse, Feuchte)

Schritt 1 dient zur Optimierung und Abschätzung der Gebrauchstauglichkeit vor allen weiteren Schritten. Schritt 2 soll im Labor mittels Untersuchungen an den Prototypen Aufschluss über die Richtigkeit der Annahmen aus Schritt 1 z. B. für den Wärmedurchgangskoeffizienten U und für das Ausdehnungsverhalten der VIP-Sandwichelemente geben. Mit den hier ermittelten Ergebnissen besteht noch einmal die Möglichkeit einer weiteren Optimierung mittels verbesserter Prognoserechnungen (Schritt 1).

Bei den Langzeituntersuchungen werden die VIP-Sandwichelemente mit einer Reihe von Thermoelementen und Feuchtefühlern im Fugen- und Plattenbereich ausgestattet. Durch eine kontinuierliche Datenerfassung über mind. 2 Winterperioden und eine regelmäßige visuelle Untersuchung sollen weitere Erfahrungen gesammelt werden.

## 2. Erläuterungen zur Baukonstruktion

### 2.1 Aufbau der Ostfassade im unsanierten Zustand

Bei der Kindertagesstätte „Plappersnut“ in Wismar handelt es sich um einen zweistöckigen Plattenbau aus den 70-Jahren. Die Außenwände bestehen aus einer Einschichtenplatte mit folgendem Aufbau:

- 2,5 cm Innenputz
- 20 cm Leichtbeton mit haufwerksporigem Gefüge und porigen Zuschlägen
- 5,5 cm Wetterschale aus Beton mit im Mörtelbett eingelegten Spaltklinker (nur Giebelwände)



*Bild 1: Ostfassade der Kita „Plappersnut“ vor der Sanierung  
to: IGEL Institut für Gebäude+Energie+Licht Planung)*

(Fo-

Die Höhenabweichungen der Platten in der Fassadenebene betragen im Mittel ca. 2 bis 3 cm. Die maximal festgestellte Abweichung lag bei ca. 5 cm.

### 2.2 Aufbau des neuen VIP-Fassadenelementes

Das VIP-Fassadenelement selbst besitzt die Abmessungen (Länge x Höhe) von ca. 2 m x 1 m und besteht aus 4 VIPs von ca. 500 x 1000 mm. Die Dicke der VIP beträgt 20 mm. Als Oberflächen zum Schutz der VIPs kommen keramische Platten oder Glasscheiben zum Einsatz. Zur Vermeidung der gegenseitigen Beschädigung während der Nutzungsdauer sind die VIP-Paneele innerhalb des Elementes untereinander durch ein elastisches Fugenmaterial mit geringer Wärmeleitfähigkeit (Dicke ca. 1,5 mm) voneinander getrennt. Die Seitenkanten des VIP-Sandwichelementes sind durch ein umlaufendes Dichtmaterial vor äußeren Einwirkungen geschützt. Gleichzeitig übernimmt dieses Dichtmaterial die Verklebung der äußeren und inneren Oberflächen und leitet die Eigenlast und Windlast an die Unterkonstruktion weiter.

### 2.3 Befestigung der VIP-Fassadenelemente

Die Unterkonstruktion selbst ist ein am Markt etabliertes System aus den Bereich der vorgehängten hinterlüfteten Fassaden (VHF) auf welches das VIP-Fassadenelement aufgeklebt wird. Durch die Unterkonstruktion ist ein Ausgleich der weiter oben erwähnten Unebenheiten in der vorhandenen Fassadenoberfläche von ca. 60 mm möglich.

Die durch die Notwendigkeit des Höhenausgleichs entstandene Ebene hinter den Fassadenelementen wird mit konventionellem Dämmstoff ausgefüllt.

Bei Fassaden an denen ein geringerer Höhenausgleich notwendig ist, kann auf Befestigungsmöglichkeiten mit geringerer Tiefe zurückgegriffen werden.

### 3. Energetische Berechnungen

#### 3.1 Grundlagen

##### 3.1.1 Wärmedurchgangskoeffizient U von geschichteten Konstruktionen

Für die Berechnung der Wärmeverluste über die Gebäudehülle ist der Wärmedurchgangskoeffizient U der Außenbauteile zu bestimmen.

Der Wärmedurchgangswiderstand  $R_T$  eines Außenbauteils wird nach DIN EN ISO 6946 [1] aus der Summe der Widerstände der einzelnen Schichten zzgl. der Wärmeübergangswiderstände bestimmt.

Der Wärmedurchgangskoeffizient U ergibt sich nach gleicher Norm als Kehrwert aus dem Wärmedurchgangswiderstand  $R_T$ .

Die obige Annahme zur Bestimmung des Wärmedurchgangswiderstand ist gültig für Bauteile, die aus homogenen Schichten zusammengesetzt sind. Im vorliegenden Fall kann man eine homogene Schichtenaufteilung für den Innenputz bis zur vormaligen Wetterschale (ursprünglicher Aufbau) annehmen. Die Ausgleichsebene mit der Fassadenunterkonstruktion wie auch die Ebene der VIP-Sandwichenelemente müssen als inhomogene Schichten betrachtet werden.

DIN EN ISO 6946 [1] schreibt zur Bestimmung des maßgebenden Wärmedurchgangswiderstandes  $R_T$  von Bauteilen aus homogenen und inhomogenen Schichten die Bestimmung des Mittelwertes aus einem oberen Grenzwert  $R'_T$  und einem unteren Grenzwert  $R''_T$  für den Wärmedurchgangswiderstand vor. Diesem Ansatz wird bei den weiteren Betrachtungen jedoch nicht gefolgt, da

- bei der Fuge zwischen den VIP-Fassadenelementen nicht von einem eigenen Bauteil gesprochen werden kann (wie z. B. Sparren und Gefach bei Dächern)
- die Wärmeleitfähigkeit im Fugenbereich für das hier untersuchte Bauteil bis zu 80 mal größer ist als im Zentrum einer VIP und somit eine ausgeprägte Wärmebrückenwirkung zu erwarten ist

Stattdessen wird vorgeschlagen, den Einfluss der Fugen auf das Dämmverhalten der gesamten Wand durch eine Bestimmung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten  $\psi$  Rechnung zu tragen.

### 3.1.2 Linearer Wärmebrückendurchgangskoeffizient $\psi$ bei Wärmebrücken

Der lineare Wärmedurchgangskoeffizient  $\psi$  wird nach DIN EN ISO 10211-2 [2] wie folgt bestimmt:

$$\psi = L^{2D} - U_{1D} \cdot L \quad (3-1)$$

Hierin bedeuten:

- $L^{2D}$       Thermischer Leitwert im Bereich einer Wärmebrücke in W/(mK)
- $U_{1D}$       Wärmedurchgangskoeffizient für das Bauteil ohne Einfluss einer Wärmebrücke in W/(m<sup>2</sup>K)
- $L$           Querschnittslänge für den die Berechnung angestellt wird in m

### 3.1.3 Einfluss des $\psi$ -Wertes auf den Gesamtwärmedurchgangskoeffizient U

Mittels des oben erwähnten längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten  $\psi$  kann dann der Wärmedurchgangskoeffizient U der gesamten Außenwand im Bereich eines VIP-Fassadenpaneels in Anlehnung an E DIN EN 13947 [3] wie folgt bestimmt werden:

$$U_{AW} = \frac{A_P \cdot U_P + \sum_{i=1}^n \psi_i \cdot l_i}{A_P} \quad (3-2)$$

Hierin bedeuten:

- $U_{AW}$       Wärmedurchgangskoeffizient der gesamten Außenwand (inkl. VIP-Fassadenelement) in W/(m<sup>2</sup>K) mit auf die Fläche des Elementes bezogenen Einfluss der linearen Wärmebrücken
- $A_P$       Fläche der Außenwand im Bereich eines VIP-Fassadenelementes in m<sup>2</sup>
- $U_P$       Wärmedurchgangskoeffizient der Außenwand inkl. VIP-Fassadenelement ohne Einfluss der Fugen zwischen den VIP-Fassadenelementen in W/(m<sup>2</sup>K)
- $\psi$         Längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten im Bereich von Wärmebrücken in W/(mK)
- $l$         Länge der Wärmebrücke in m

### 3.2 Wärmebrücken beim VIP-Fassadenelement

Die auf dem Bild 2 bezeichneten Wärmebrücken WB1 und WB2 sind die Wärmebrücken infolge des Fugenstoßes der VIP-Fassadenelemente. Die Bezeichnung WB3 bezieht sich auf einen Stoß der VIP-Paneelen untereinander innerhalb des VIP-Fassadenelementes.

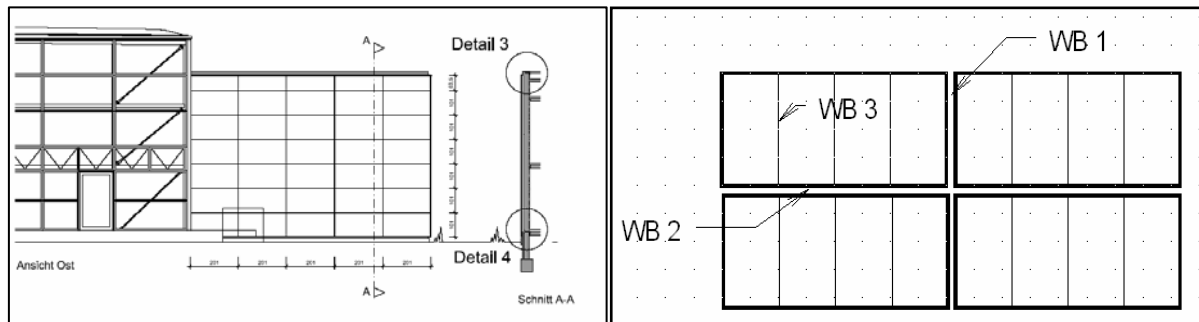


Bild 2: Fassadenplan Ost (Quelle: IGEL Institut für Gebäude+Energie+Licht Planung)

Bild 3: Auszug aus dem Fassadenplan mit Bezeichnung der Wärmebrücken

Bei allen Wärmebrückennachweisen wird der Einfluss der Hüllfolie (metallisierte Polymerfolie) auf den thermischen Leitwert  $L^{2D}$  (in Fuge als auch Querleitung aus der VIP-Ebene) berücksichtigt. Vereinfachend wird hierbei die mehrlagige Aluminiumbeschichtung zu einer Schicht mit der Dicke von 100 nm zusammengefasst. Eine überschlägige Berechnung des Wärmestromes durch den Kunststoffanteil (Dicke 100  $\mu\text{m}$  = 1/10 mm) im Vergleich zu dem Wärmestrom durch den Aluminiumanteil der Folie ergab bei beiden ungefähr die selbe Größenordnung. Aus diesem Grunde wurde zur Berücksichtigung der Wärmeleitung durch die Aluminiumbeschichtung vereinfachend die Dicke der Kunststoffolie bei der Modellierung der Wärmebrücke verdoppelt, indem bei der Modellierung eine „Ersatzfolie“ mit der Dicke von 2/10 mm mit einer üblichen Wärmeleitfähigkeit für Kunststoffe von  $\lambda = 0,25$  W/(mK) in Ansatz gebracht wurde.

#### 3.2.1 Modellierung und typische Ergebnisse der Berechnung

In den folgenden Bildern sind für die linearen Wärmebrücken WB1 bis WB3 die Modelle und die Ergebnisse der Berechnungen grafisch dargestellt. Die Berechnungen selbst wurden mit dem Programmsystem HEAT2 Version

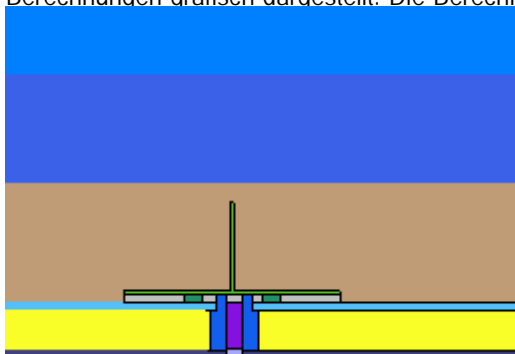


Bild 4: Modell der Wärmebrücke WB1

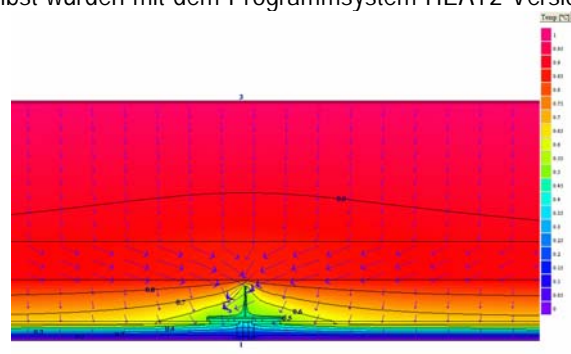


Bild 5: WB1 – Isothermenverlauf, Temperaturfeld und Vektorfeld des Wärmestromes

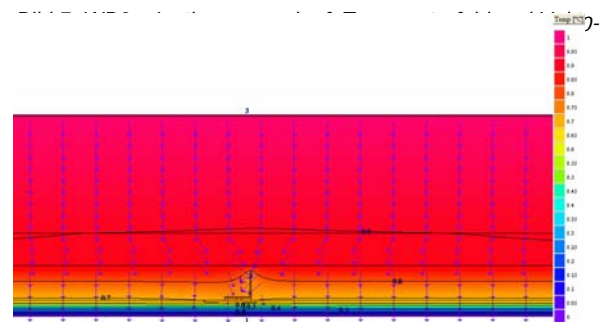
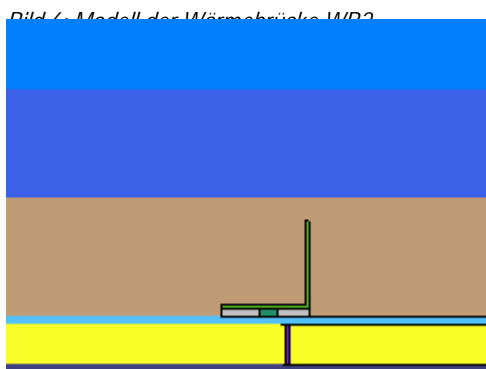
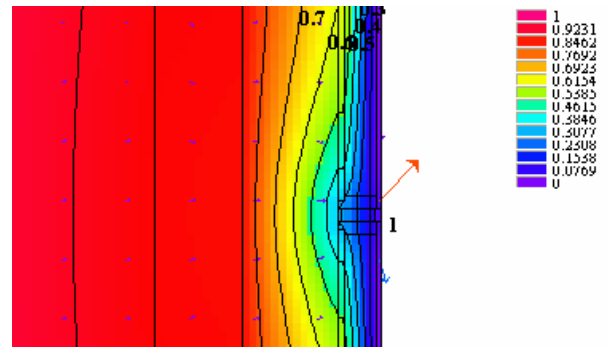
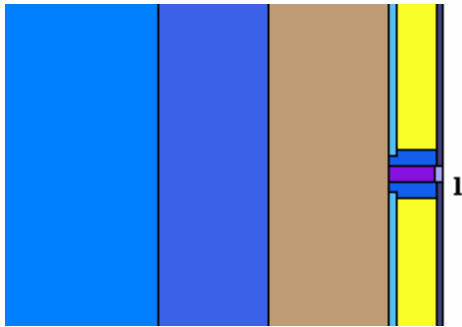


Bild 8: Modell der Wärmebrücke WB3

Bild 9: WB3 – Isothermenverlauf, Temperaturfeld und Vektorfeld des Wärmestromes

Aus allen drei Wärmebrückenberechnungen ist zu erkennen, dass die Wärmebrücke zwischen den Fassadenelementen auch in den dahinter liegenden Materialschichten eine deutliche Auslenkung des Isothermenverlaufes bewirken, welche durch die damit verbundene Ablenkung der Wärmestromrichtung einen deutlichen Querleitungseffekt hervorbringt. Hierdurch wird insgesamt der Wärmestrom über die Wärmebrücke verstärkt. Dieser Effekt ist umso ausgeprägter, je höher die Wärmeleitfähigkeit der an die Wärmebrücke angrenzenden Materialschicht ist.

### 3.2.2 Variation der Fugenbreite und der Unterkonstruktion

Der Einfluss der Wärmebrücken auf den Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten  $U$  der gesamten Wand wurde zwecks Optimierung an zwei verschiedenen Varianten A und B untersucht. Hierbei sollte der Einfluss der sichtbaren Fugenbreite, die Materialart der Unterkonstruktion (Verstärkung des Querleitungseffektes bei Materialien mit hoher Wärmeleitfähigkeit) und die Dicke der Randverklebung auf den Wärmedurchgangskoeffizienten der gesamten Wand abgeschätzt werden. Die Varianten A und B unterscheiden sich nur in der Wahl des Materials für die Unterkonstruktion und in der sichtbaren Fugenbreite, da diese Optimierungen ohne aufwendige Änderungen im Detail am schnellsten umsetzbar wären.

Folgende Varianten wurden unterschieden:

Variante A: Sichtbare Fugenbreite 8 mm, Unterkonstruktion aus einer Aluminiumlegierung, Untersuchung der Abhängigkeit des Wärmedurchgangskoeffizienten U von der Dicke der umlaufenden Randverklebung

Variante B: Sichtbare Fugenbreite 5 mm, Unterkonstruktion aus Edelstahl, Untersuchung der Abhängigkeit des Wärmedurchgangskoeffizienten U von der Dicke der umlaufenden Randverklebung

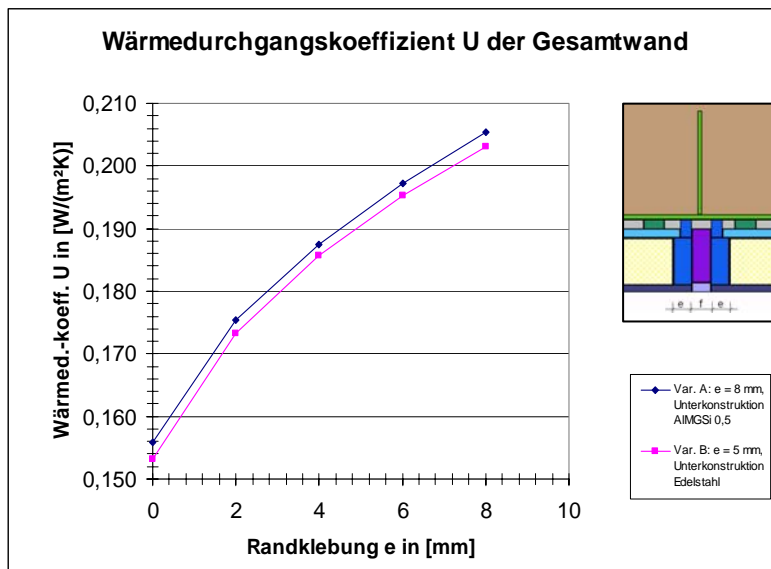


Bild 10: Abhängigkeit des Wärmedurchgangskoeffizienten U der Gesamtwand von der Art der Unterkonstruktion, der sichtbaren Fugenbreite und der Randverklebung

Aus dem Bild 10 ist erkennbar, dass die Ausführung der Unterkonstruktion in Edelstahl sowie die Verringerung der sichtbaren Fugenbreite von 8 auf 5 mm keine großen Einfluss auf das Gesamtdämmverhalten haben. Ursache für deren geringe Einflussnahme liegt in der thermischen Entkopplung der Unterkonstruktion von den Fassadenelementen durch die Klebeschicht sowie im Einsatzes von Materialien geringer Wärmeleitfähigkeit innerhalb der sichtbaren Fuge.

Wesentlich größeren Einfluss auf den Wärmedurchgangskoeffizienten U der Gesamtwand hat die Dicke der Randverklebung der Fassadenelemente. Bei einer theoretisch stark reduzierten Dicke der Verklebung kann die Gesamtwand im vorliegenden Fall den Bereich des U-Wertes einer Passivhausaußenwand erreichen.

### 3.3 Vergleichende Bewertung

In der Tabelle 1 sind die Rechenergebnisse zur Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten U für die Wand vor und nach der Sanierung dargestellt. Zum Vergleich ist ebenfalls der U-Wert der Wand mit max. 60 mm Dämmung in der Ausgleichsebene und 90 mm (gleiche Dicke wie Wand mit VIP-Sandwichelementen) sowie der theoretische erreichbare Wert für den Wärmedurchgangskoeffizienten dargestellt.

Tabelle 1: Vergleich der Wärmedurchgangskoeffizienten U

Bestand	Bestand (+ 60 mm Dämmung)	Bestand (+ 90 mm Dämmung)	tn. Sanierung (mit VIP-Sandwich)	Theoret. Wert
U [W/m <sup>2</sup> K]	U [W/m <sup>2</sup> K]	U [W/m <sup>2</sup> K]	U [W/m <sup>2</sup> K]	U [W/m <sup>2</sup> K]
1,29	0,44	0,33	0,20	0,16

Aus der Tabelle 1 ist eine deutliche Verbesserung des Wärmedurchgangskoeffizienten U im Vergleich zur dem Wert vor der Sanierung erkennbar. Vergleicht man den Wert für den Bestand inkl. 60 mm Dämmung in der Ausgleichsebene wird der U-Wert durch den Einsatz der VIP noch halbiert. Stellt man den U-Wert für eine konventionelle Dämmung mit einer Dicke von 90 mm der mit den VIP-Sandwichelementen gedämmten Wand gegenüber, so wird durch letztere der U-Wert noch um ca. ein Drittel verbessert.

### 3.4 Schlußfolgerungen

Vergleicht man den U-Wert des Bestandes mit dem Wert für U nach der Sanierung so erreicht man eine Verbesserung um ca. das 6-fache, was zunächst zufriedenstellend klingt. Für die Analyse der Wirtschaftlichkeit sollte aber auch der U-Wert nach einer VIP-Sanierung mit einer gleich dicken Dämmvariante aus konventioneller Dämmung verglichen werden. Hier schmilzt im vorliegenden Fall der Vorteil des VIP-Einsatzes innerhalb von Sandwichelementen auf nur ein Drittel.

Um den Vorteil der VIP voll zur Geltung zu bringen, sollen für den vorliegenden Fall folgende Ansätze weiter verfolgt werden:

- Reduzierung der Dicke der Ausgleichsebene auf ein unbedingt notwendiges Maß
- Durch weitere Optimierungen soll der U-Wert der Gesamtwand mit der VIP-Sandwichkonstruktion in den Bereich des theoretisch erzielbaren U-Wertes nach Tabelle 1 geschoben werden.

## 4. Thermisch hygrisches Verhalten des neuen Fassadenelementes

(aus Zeitgründen nicht vorgetragen)

## 5. Spannungs- und Verformungsuntersuchungen

(aus Zeitgründen nicht vorgetragen)



## 6. Literatur

- [1] DIN EN ISO 6946: 1996+A1:2003 (D), Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient
- [2] DIN EN ISO 10211-2: 2001-06, Berechnung der Wärmeströme und Oberflächentemperaturen – Teil 2: Linienförmige Wärmebrücken
- [3] Entwurf DIN EN 13947: 2001-01, Wärmetechnisches Verhalten an Vorhangfassaden – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten
- [4] K. Ghazi Wakili, R. Bundi, B. Binder. Effective thermal conductivity of vacuum insulation panels. Building Research & Information (July-August 2004) 32(4), S. 293-299
- [5] HEAT2, Version 6.0. Programmsystem zur Berechnung linearer Wärmebrücken. Blocon Schweden

**Dipl.-Ing. H. Winkler**

Universität Rostock

AUF

Institut für Bauingenieurwesen

Lehrstuhl für Baukonstruktionen und Bauphysik

E-mail: [Heiko.Winkler@uni-rostock.de](mailto:Heiko.Winkler@uni-rostock.de)