

# **Wärmebrücken in vorgefertigten Dämmelementen mit Vakuumdämmung für die Bestandssanierung**

Marc Großklos, Nikolaus Diefenbach, Institut Wohnen und Umwelt GmbH,  
Annastraße 15, D-64285 Darmstadt, 06151/2904-0, m.grossklos@iwu.de,  
n.diefenbach@iwu.de

## **1 Vakuumdämmung in der Bestandssanierung**

Bei der energetischen Sanierung ist die maximal mögliche Dämmstoffdicke bei einer Reihe von Gebäuden die begrenzende Größe für den zu erreichenden Kennwert nach der Sanierung. Hier sind besonders die Kellerdecken-, aber auch Dach- und Außenwanddämmung zu nennen, wenn zum Beispiel durch Nachbargebäude oder eine Grenzbebauung nicht beliebig starke Wandaufbauten möglich sind. In diesen Fällen bietet sich der Einsatz von Vakuumdämmplatten an, die durch ihre niedrige Wärmeleitfähigkeit von ca.  $0,005 \text{ W/(mK)}$  eine Reduktion der Dämmstoffdicke um den Faktor 5 bis 10 versprechen. Vakuumdämmpaneele (VIP) sind durch ihre dünne Hüllfolie aber sehr empfindlich gegenüber mechanischen Beschädigungen. Besonders Baustellen von Bestandsgebäuden bergen mit ihren Unwägbarkeiten eine hohe Gefahr der Beschädigung. Zusätzlich können VIPs nicht vor Ort zugeschnitten werden, sondern müssen bei der Planung "passend" bestellt werden. Hier bietet sich an, die komplette Dämmfassade industriell vorzufertigen und die empfindlichen Vakuumdämmplatten dabei so zu verkleiden, dass sie beim Transport und der Montage optimal geschützt sind. Ein Befestigungssystem zum Einhängen erlaubt zusätzlich eine schnelle Montage.

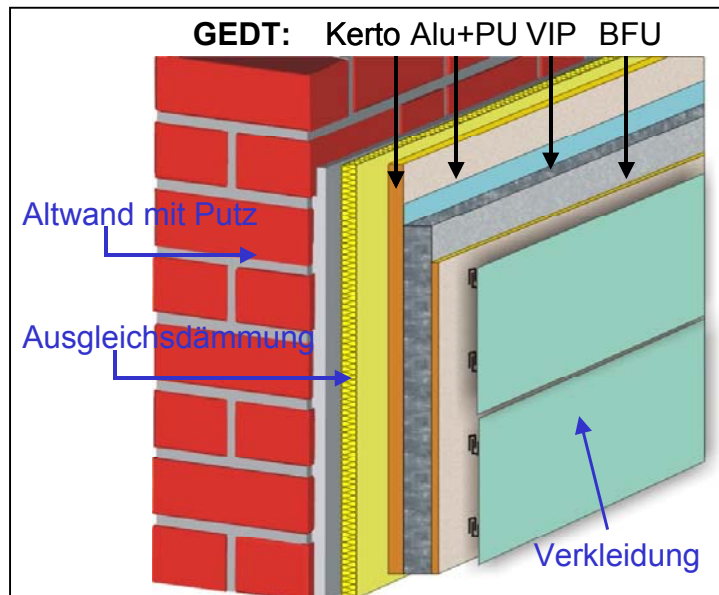
Für den Fall der Sanierung von Außenwänden mit beengtem Platzangebot (z. B. an öffentlichen Gehwegen) werden in einem Forschungsprojekt für drei Zweifamilienhäuser in Hofheim am Taunus großformatige, vorgefertigte Dämmelemente (GEDT) mit Vakuumdämmung entwickelt, die eine energetisch hochwertige Sanierung mit Vakuumdämmplatten mit den Vorteilen einer industriellen Vorfertigung kombinieren sollen. Details zu diesem Projekt können unter [Diefenbach 2006] nachgelesen werden. Die dort entwickelte Konstruktion bildet die Basis für die folgenden Untersuchungen zu Wärmebrücken und zur energetischen Gesamteffizienz.

## 2 Konstruktion der Großelement-Dämmtechnik mit Vakuumdämmung

Das vorgefertigte Großdämmelement besteht aus einer tragenden Kerto-Schichtholzplatte (27 mm) auf der Altwandseite. In dieser sind die Befestigungselemente angebracht, und sie trägt alle Lasten ab. Daran schließen sich eine dünne Aluminium- (0,8 mm) und eine PU-Schutzschicht (5 mm) an. Es folgt die Vakuumdämmung (VIP mit 40 mm) und eine äußere Furnierschichtholzplatte (BFU 18 mm). Diese fünf Schichten bilden das vorgefertigte Großdämmelement, das mit metallischen Befestigungselementen an die Altwand gehängt wird. Zur Verhinderung von Konvektionsströmungen befindet sich zwischen Altwand und GEDT noch eine Ausgleichsdämmung.

Die Großdämmelemente werden jeweils geschosshoch gefertigt, besitzen eine Breite von ca. 5 m (halbe Hausbreite) und integrieren bereits die Fenster. Für die Häuser in Hofheim sind pro Straßenseite 4 Elemente erforderlich.

Zur Befestigung der Elemente befinden sich in der Ebene von Altwand und Kerto-Platte metallische Hängeverbindungen, die die Lasten in die Altwand



einleiten. Da sie auf der warmen Seite der Dämmung montiert sind, sind sie energetisch kaum relevant. Zusätzlich sind aus statischen Gründen noch Befestigungen zwischen Kerto und BFU erforderlich, um Lasten am VIP vorbei in die Wand einleiten zu können. Diese Anker aus Edelstahl in Form von Schrauben bzw. Flacheisen durchdringen die Dämmebene und stellen somit Wärmebrücken dar, die im Folgenden gemeinsam mit den Wärmebrücken an den Stoßstellen der VIPs und der GEDTs betrachtet werden sollen.

## 3 Wärmebrücken

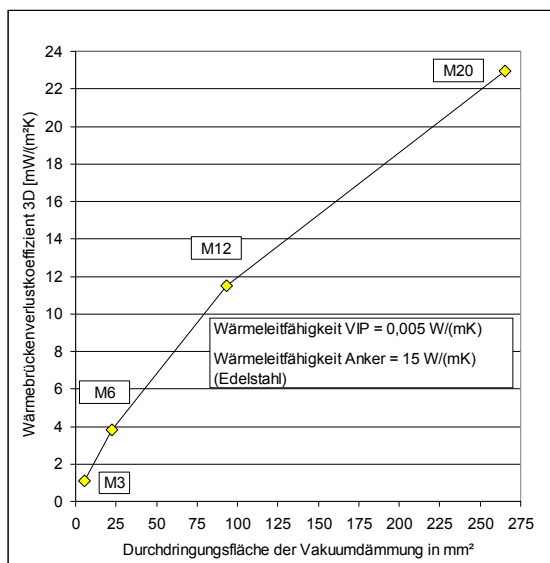
### Punktförmige Wärmebrücken (3D)

Die oben beschriebenen Befestigungsanker durch die wärmedämmende Hülle bestehen im einfachsten Fall aus einer Edelstahl-Gewindestange und zwei Unterlegscheiben auf der Kerto- und der BFU-Seite bzw. einem Flacheisen am Rand der Elemente. Abhängig von den statischen Anforderungen besitzen sie unterschied-

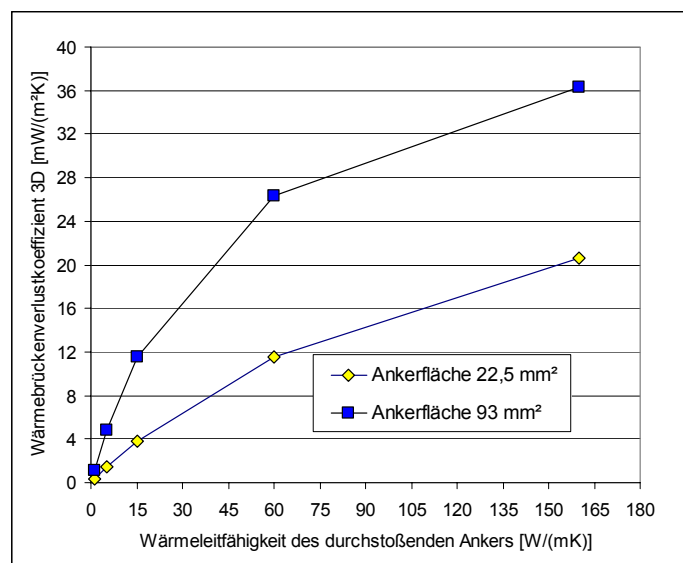
liche energetisch wirksame Querschnittsflächen, die im Folgenden untersucht werden sollen.

Die Ankerfläche hat einen großen Einfluss auf den Wärmebrückenverlustkoeffizienten (WBV), der in den folgenden Diagrammen in Milliwatt pro m<sup>2</sup> GEDT und Kelvin dargestellt ist. Im Diagramm links ist beispielhaft für Schrauben unterschiedlicher Größen der WBV dargestellt. Kleine Querschnitte erhöhen den Wärmestrom um wenige Milliwatt, mit zunehmender Fläche steigt der WBV jedoch steil an, so dass Anker durch die Dämmschicht möglichst dünn gewählt werden sollten.

Die Wärmeleitfähigkeit des Ankers ist im rechten Diagramm als Parameter eingetragen. Bei kleinen Ankerflächen verdreifacht sich die Wärmebrückenwirkung beim Übergang von Edelstahl ( $\lambda = 15 \text{ W/(mK)}$ ) auf Stahl ( $\lambda = 60 \text{ W/(mK)}$ ). Aluminium ( $\lambda = 160 \text{ W/(mK)}$ ) verfünffacht den WBV. Bei dickeren Ankern fällt der Anstieg weniger drastisch aus, aber auch hier ist die Verwendung hochwertiger Stähle mit niedriger Wärmeleitfähigkeit unbedingt erforderlich. Die Punkte im Bereich von 5 bzw. 1 W/(mK) lassen erwarten, dass durch neue, innovative hochfeste Materialien der Einfluss der Befestigungsanker nochmals mindestens halbiert werden kann.



**Einfluss der Durchdringungsfläche auf den Wärmebrückenverlustkoeffizient**



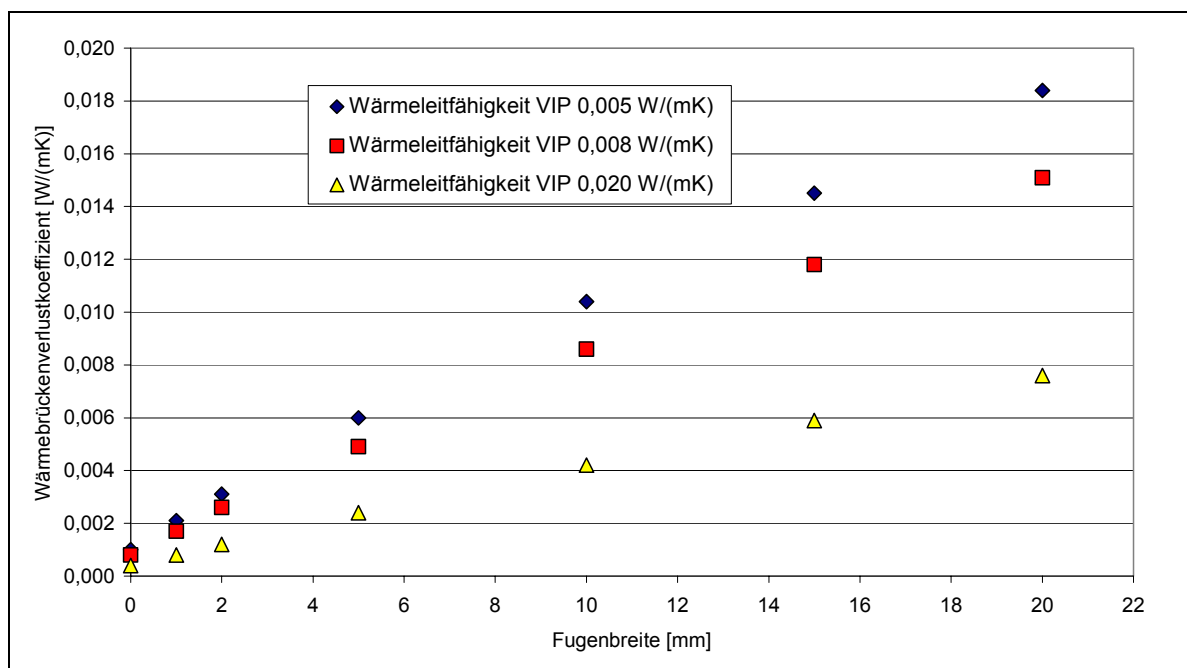
**Einfluss der Wärmeleitfähigkeit des durchstoßenden Ankers auf den Wärmebrückenverlustkoeffizient**

Im Einbauzustand besitzen die Dämmpaneele ein  $\lambda$  von ca.  $0,005 \text{ W/(mK)}$ . Im Laufe der Jahre altern die Paneele (durch Gasdiffusion steigt die Wärmeleitfähigkeit an). Als langjähriger Mittelwert wird hier  $0,008 \text{ W/(mK)}$  angesetzt. Tritt ein Defekt an den Paneelen auf, so erhöht sich die Wärmeleitfähigkeit auf ca.  $0,020 \text{ W/(mK)}$  – die Vakuumdämmpaneele erreichen „nur“ noch etwa die doppelte Effizienz von normalem Dämmstoff. Auch die Wärmeleitfähigkeit der VIP-Paneele wirkt sich auf den WBV aus. Im Vergleich zum fabrikneuen Ausgangszustand sinkt der WBV bei einer Wärmeleitfähigkeit von  $0,008 \text{ W/(mK)}$  um ca. 20 % (über die Wärmebrücken

am Anker entweicht weniger zusätzliche Wärme), bei einem defekten VIP um 40 % – 50 %. Dieser Effekt kompensiert bei Konstruktionen mit unvermeidlichen Wärmebrücken ein wenig den Anstieg der Wärmeleitfähigkeit der VIPs.

### Lineare Wärmebrücken

Vakuumdämmpaneele können nicht beliebig groß hergestellt werden, so dass innerhalb der GEDT mehrere einzelne VIPs angeordnet werden müssen. Diese Stöße stellen lineare Wärmebrücken dar. Sie werden vor allem durch die Breite der Lücke zwischen zwei Paneelen beeinflusst. Maßhaltigkeit der Paneele, Folienfaltung und Qualität bei der Montage sind hier die wichtigsten Randbedingungen. Innerhalb eines GEDTs summieren sich die Längen der VIP-Stöße auf über 38 m. Planungswert ist hier einer Fugenbreite von 4 mm. Auch an den Rändern der GEDTs ergeben sich bei der Montage immer Fugen, die mit Kompiband aufgefüllt werden müssen. Die minimale Fugenbreite liegt - bedingt durch die großen Abmessungen der Elemente von mindestens 2,5 m x 5 m - höher als bei den VIP-Fugen. Die Gesamtlänge beläuft sich hier auf 11,6 m, die angestrebte mittlere Fugenbreite liegt bei 15 mm. Das folgende Diagramm zeigt die Abhängigkeit des linearen WBV von der Fugenbreite für die VIP-VIP-Fugen, die GEDT-Fugen verhalten sich ähnlich.



### **Einfluss der Fugenbreite auf den Wärmebrückenverlustkoeffizienten**

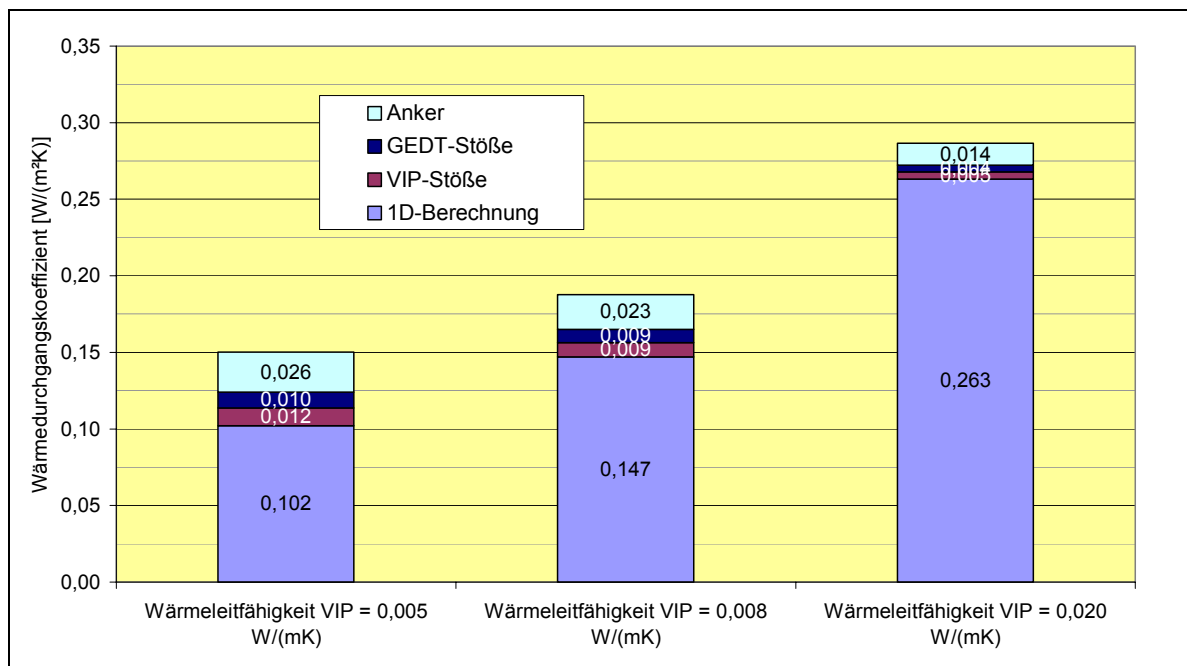
Für die Einbindung von Fenstern in eine Vakuumdämmung gelten die bei konventionellen Dämmstoffen üblichen Regeln für die Rahmenüberdämmung nur begrenzt. Für die vorgefertigten Dämmelemente ergibt sich energetisch eine deutlich bessere Einbausituation, wenn VIP- und Fensterebene fließend ineinander übergehen, als wenn das Fenster vom VIP überdämmt wird. Gründe sind die geringe Stärke der Dämmebene von 4 cm, der eine Ansichtsbreite eines Passivhausfensters von

mindestens 12 cm gegenübersteht und die hohe Wärmeleitung in der Hüllfolie. Beim hier untersuchten GEDT-Aufbau wird die Situation durch die Aluminiumschicht auf der warmen Seite des VIPs nochmals verschärft.

Auch die Anbindung des Dämmelements an die Traufe oder ein anschließendes WDVS ist aufgrund der Dickenunterschiede der Dämmung (von 4 auf 20 cm) nicht trivial. Grundsätzlich gilt, dass der konventionelle Dämmstoff die Vakuumdämmung überragen sollte und nicht umgekehrt.

## 4 Energetische Gesamteffizienz der vorgefertigten Dämmelemente

Die vorgefertigten Dämmelemente mit Vakuumdämmung erreichen ohne Berücksichtigung der Wärmebrücken und mit fabrikneuen, 4 cm starken VIPs einen U-Wert von  $0,115 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , unter Berücksichtigung der Altbauwand und der Ausgleichsschicht sogar  $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Durch die Wärmebrücken an den VIP-Rändern und -Stößen, den GEDT-Stößen und den Ankern erhöht sich der Gesamt-U-Wert jedoch auf  $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  (siehe folgende Abbildung). Die Wärmebrücken, die mit dem GEDT-Konzept direkt in Verbindung stehen, belaufen sich auf ca. 25 % vom Gesamt-U-Wert. VIP-Ränder und -Stöße tragen ca. 8 % zum Gesamt-U-Wert bei. Trotz metallischer Anker durch die Dämmebene kann mit der Großelement-Dämmtechnik ein hervorragender U-Wert bei der energetischen Altbauanierung erreicht werden.



**Vergleich der Gesamt-U-Werte des GEDT-Elements für unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit der Vakuumdämmung**

Durch Alterung wird die Wärmeleitfähigkeit der VIPs ansteigen. Gleichzeitig sinkt aber der Einfluss der Wärmebrücken, so dass sich bei einer Wärmeleitfähigkeit von  $0,008 \text{ W/(mK)}$  ein Gesamt-U-Wert von  $0,190 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  ergibt. Innerhalb welcher Zeit mit dieser Verschlechterung zu rechnen ist, kann bisher nur schwer abgeschätzt werden, es handelt sich aber wohl um Jahrzehnte.

Da Vakuumdämmplatten sehr empfindlich gegen mechanische Beschädigungen sind und auch durch Alterung ein Versagen der Hüllfolie möglich ist, sei hier noch der unwahrscheinliche Fall eines vollständigen Versagens aller Vakuumpaneele (14 Stück) in den GEDTs dargestellt. Durch einen solchen Totalausfall würde sich der Gesamt-U-Wert auf ca.  $0,29 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  erhöhen. Die aktuellen Anforderungen der Energieeinsparverordnung würden damit zwar immer noch eingehalten, der angestrebte Energieverbrauch des Hauses würde sich jedoch deutlich erhöhen.

## **5 Fazit**

Vakuumdämmstoffe besitzen hervorragende Dämmeigenschaften; sie sind jedoch empfindlich gegenüber mechanischen Beschädigungen und sollten möglichst geschützt montiert werden. Ein Ansatz die Vakuumpaneele zu schützen sind industriell vorgefertigte großformatige Dämmelemente. Durch eine Vorfertigung ergeben sich statische Anforderungen, die zu Befestigungselementen (Halteanker) durch die Dämmebene führen. Die dadurch verursachten Wärmebrücken verschlechtern den Gesamt-U-Wert um ca. ein Drittel. Voraussichtlich kann durch eine Weiterentwicklung der Fertigung und der statischen Konstruktion zukünftig der Wärmebrückenanteil aber weiter reduziert werden.

Grundsätzlich muss bei jeder Anwendung von Vakuumdämmstoffen der Wärmebrückeneinfluss sorgfältig untersucht werden, da sie sich, bedingt durch die geringe Dicke und die vergleichsweise gut leitende Hüllfolie, energetisch teilweise anders verhalten als konventionelle Dämmstoffe.

### **Danksagung**

Die vorgestellten Untersuchungen und das Gesamtprojekt wurden vom Bundesministerium für Wirtschaft (und Technologie) sowie vom Hessischen Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung finanziell gefördert.

[Diefenbach 2006] Diefenbach, N.; Großklos, M.: Modernisierung von Zweifamilienhäusern auf unterschiedliche energetische Standards unter Einsatz von Großelementen mit Vakuumdämmung, 10. Passivhaustagung in Hannover Mai 2006