

# Vakuumdämmung im Bauwesen

## Vorlesungsumdruck

### Block VII

### Ausblick

angefertigt von der

Wolfgang Sorge IfB GmbH  
Südwestpark 100  
90449 Nürnberg

im Auftrag des  
Bayerischen Zentrums für Angewandte Energieforschung e. V.

ZAE Bayern  
Am Hubland  
97074 Würzburg

Nürnberg, September 2009



Gefördert durch das



## Nutzungsbedingungen

### 1) Urheberrechtshinweis:

Copyright ©

Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V. (ZAE Bayern)

Am Hubland

97074 Würzburg

Alle Rechte vorbehalten.

Alle Urheberrechte der Webseite [www.vip-bau.de](http://www.vip-bau.de) und der vorliegenden Unterlagen für die Aus- und Weiterbildung liegen beim ZAE Bayern.

Diese Webseite, sowie die darauf eingestellten Dokumente dürfen kopiert, ausgedruckt und verteilt werden, vorausgesetzt:

- Sie werden nur zu Informationszwecken - insbesondere für die Aus- und Weiterbildung von Fachplanern, Architekten und Handwerkern - und nicht kommerziell verwendet, und
- jede Kopie - auch Auszüge - enthält den vorgenannten Urheberrechtshinweis.

### 2) Haftungshinweis:

Das ZAE Bayern haftet nicht für die Inhalte externer Links, dafür sind ausschließlich deren Betreiber verantwortlich.

Das ZAE Bayern ist bemüht, sein Webangebot stets aktuell und inhaltlich richtig sowie vollständig anzubieten. Dennoch ist das Auftreten von Fehlern nicht völlig auszuschließen und das ZAE Bayern übernimmt daher keine Haftung für die Aktualität, die inhaltliche Richtigkeit sowie für die Vollständigkeit der eingestellten Informationen und Dokumente.

Geschützte Marken, Namen, Bilder und Texte werden in der Regel nicht als solche kenntlich gemacht. Das Fehlen einer solchen Kennzeichnung bedeutet aber nicht, dass es sich um einen freien Namen, ein freies Bild oder einen freien Text handelt.

### 3) Hinweis auf Fördermittelgeber:

Der Aufbau und die Pflege der Informationsplattform [www.vip-bau.de](http://www.vip-bau.de), wie auch die Ausarbeitung von Unterlagen für die Aus- und Weiterbildung werden und wurden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Forschungsschwerpunkts EnOB - Forschung für Energieoptimiertes Bauen - mit dem Forschungsakzent ViBau gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichungen liegt bei den Autoren.

## Inhaltsverzeichnis

## Seite

7.1	Vakuumdämmung	2
7.2	Innovative Bauprodukte	5
7.2.1	Vakuumisolierglas	5
7.2.2	Schaltbare Wärmedämmung	10

## 7.1 Vakuumdämmung

Die Weiterentwicklung der Vakuumdämmtechnik für die Verwendung im Bausektor wurde in den letzten Jahren bzw. Jahrzehnten international stetig vorangetrieben [1]. Die größten Durchbrüche wurden hierbei in Deutschland und der Schweiz erzielt [2]. Der Einsatz von VIP im Neubau und bei der Gebäudesanierung ist nunmehr technisch und praktisch lösbar. Insbesondere trugen die Erkenntnisse der Forschung dazu bei, VIP so zu optimieren, dass nunmehr eine allgemeine Tauglichkeit für Handwerksbetriebe gegeben ist. Der Forschungsschwerpunkt verlagerte sich in den letzten Jahren von der Herstellung der Paneele hin zur Qualitätskontrolle, der effizienten Gestaltung von Hüllfolien sowie der baupraktischen Anwendung von VIP. Anfänglich konzentrierte sich das Haupteinsatzgebiet von VIP vorwiegend auf Problemzonen, bei denen große Dämmstoffdicken nicht realisierbar sind sowie auf Bauelemente wie Türen, Fenster oder Fassadenpaneele. In einer Reihe von Forschungsprojekten wurden innovative Fassadensysteme mit VIP entwickelt und erfolgreich in der Praxis eingesetzt. Bisherige Bau- und Sanierungsvorhaben zeigten, dass der Einsatz von VIP vor allem für hocheffiziente Neubauten und als Problemlöser für Altbauten geeignet ist. Bei richtiger Planung und Berücksichtigung der Besonderheiten von VIP kann derzeit auch bei belüfteten VIP die Funktion des Gebäudes sichergestellt werden.

Die Langlebigkeit und Qualität der Produkte wird aller Voraussicht nach noch weiter optimiert und den individuellen Bedürfnissen der Baupraxis, wie der mechanischen Robustheit, angepasst werden. Bereits heute ist die Produktion von Formteilen möglich, mit denen gezielt Wärmebrücken an Ecken und Kanten, Rohrdurchführungen sowie Fensterleibungen minimiert werden können (siehe [3] und [4]). Die Verwendung dieser Sonderformen erfordert bislang eine Zustimmung im Einzelfall. Da eine Genehmigung im Einzelfall relativ aufwändig ist, sind allgemein bauaufsichtlich zugelassene VIP enorm wichtig. Im Jahr 2008 wurden bereits die ersten bauaufsichtliche Zulassungen für Bauprodukte mit VIP erfolgreich erteilt (siehe Block VI).





## 7.2 Innovative Bauprodukte

### 7.2.1 Vakuumisolierglas

Die bauordnungsrechtlich geschuldeten Anforderungen an den Energiehaushalt von Gebäuden werden sich in Zukunft drastisch verschärfen. Für wärmegeämmte Außenwände können die kommenden Anforderungen gerade durch Innovationen wie VIP problemlos erfüllt werden. Trotz rasanter Entwicklungsschritte der Verglasungsindustrie seit Beginn der 1980er Jahre bilden Fenster- und Fassadenkonstruktionen mit hauchdünnen Silber-schichten und Edelgasfüllungen immer noch die wärmetechnische Schwachstelle von Gebäuden ([10] und [11]).

*Thermografieaufnahme einer Außenfassade - Bestandsgebäude*



Im Vergleich zu opaken Fassaden im Passivhaus-Standard liegen die Wärmedurchgangskoeffizienten von hochdämmenden Verglasungen im Dreischeiben-Aufbau mit 0,5 bis 0,7 [ $\text{W m}^{-2}\text{K}^{-1}$ ] um einen Faktor 5, [12] - bei konventioneller Doppelverglasung bereits um einen Faktor von 7 - darüber. Durch die Verschärfung der Energieeinsparverordnung können konventionelle Fenster bereits in wenigen Jahren die gesetzlichen Anforderungen nicht mehr

erfüllen. Dreischeibenisoliervglas bietet zwar gewisse Reserven, benötigt jedoch seltene Edelgase. Damit verbunden ist auch ein um 50 % höheres Gewicht und Systemstärken zwischen 30 und 50 [mm]. Das hohe Gewicht kann Probleme bei Scharnieren, Beschlägen und Rahmen verursachen. Ein schwerer Aufbau, mehrere Zentimeter starke Verglasungen sowie der Einsatz von teuren Edelgasen bietet Anreiz für Innovationen in Form von hocheffizienten Verglasungen in schlanken Rahmen- und Fassadenkonstruktionen, die Planern und Architekten zusätzliche Freiheiten und neue ästhetische Möglichkeiten bieten.

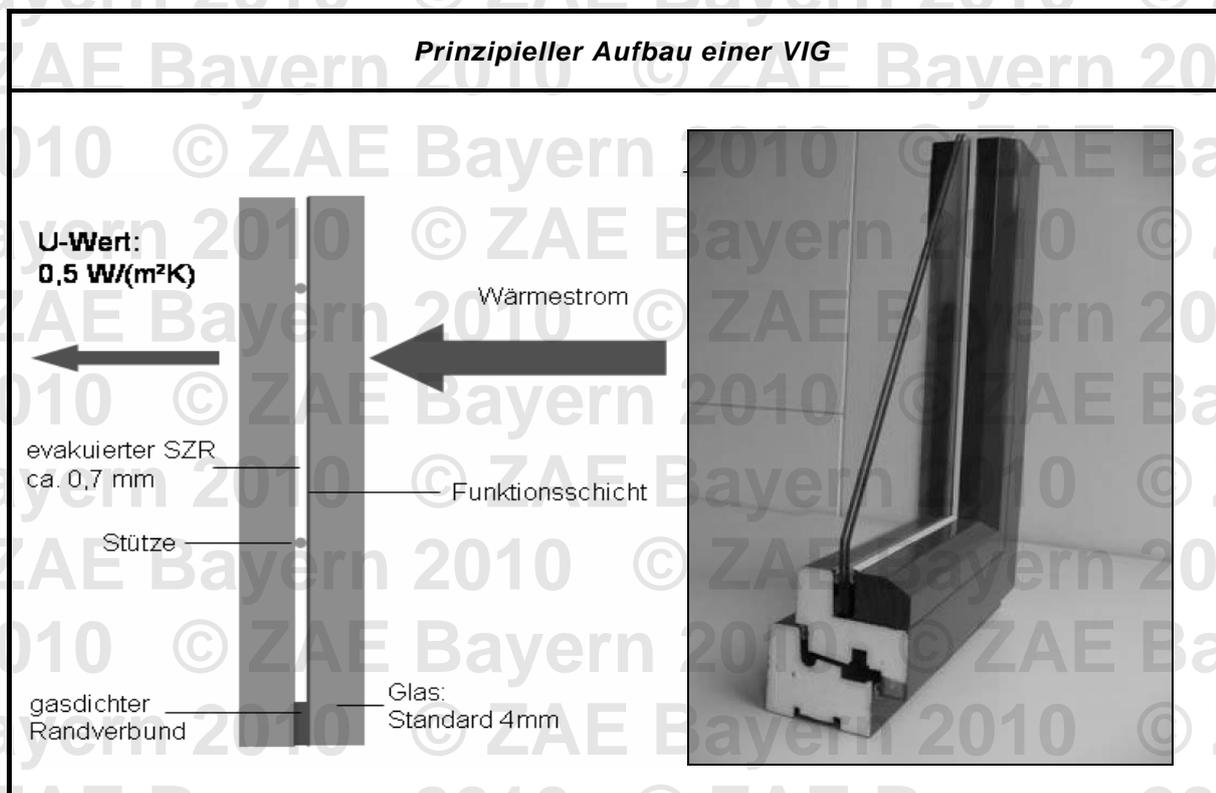
Ähnlich wie bei VIP bietet auch bei Verglasungen die Evakuierung des Scheibenzwischenraums ein enormes wärmeschutztechnisches Verbesserungspotenzial. Unter dem Begriff Vakuüm-Verglasung (VIG) wird in [13] eine dämmende Doppelverglasung verstanden, deren Scheibenzwischenraum nicht wie üblich mit Luft oder speziellen Edelgasen gefüllt ist, sondern der evakuiert ist. Vakuüm anstelle von Edelgasen - mit dieser Technologie könnte den Verglasungen nochmals ein enormer Entwicklungsschritt gelingen. Im Zweischiebenaufbau mit evakuierten Scheibenzwischenraum wäre VIG bei denkbaren Wärmedurchgangskoeffizienten von bis zu  $0,4 [W m^{-2} K^{-1}]$  deutlich schlanker, leichter und in der Dämmwirkung um den Faktor zwei bis drei besser als konventionelle Isolierverglasung. Wird eine Dreifachverglasungen im Passivhausstandard als Referenz genommen, kann mit VIG der Heizwärmeverbrauch um weitere 20 bis 30 % reduziert werden.

#### Historie:

Die ersten VIG wurden in Japan entwickelt, um die übliche Einfachverglasung ohne Rahmenaustausch ersetzen zu können. Kommerzielle VIG sind derzeit durch drei Anbieter am Markt verfügbar. Ein japanisches Unternehmen, Nippon Sheet Glass Co., und ein chinesisches Unternehmen, Qingdao Hengda Industry Co., bieten bereits VIG im Zweischiebenaufbau mit 2 x 4 [mm] Floatglas und einem Wärmedurchgangskoeffizienten von etwa  $1,1 [W m^{-2} K^{-1}]$  am asiatischen Markt an.

Die relativ hohen Wärmedurchgangskoeffizienten sind herstellungsbedingt. Die während des Herstellungsprozesses auftretenden Temperaturen schließen die Verwendung von hochwertigen low-e-Schichten aus. Im europäischen Markt bietet Velux seit geraumer Zeit eine 24 [mm] dicke Vakuum-Energiespar-Scheibe mit einem  $U_g$  -Wert von  $0,7 [W m^{-2}K^{-1}]$  an, bei der ein VIG in einen Zweischeibenaufbau integriert ist.

Am ZAE Bayern werden derzeit mit Industriepartnern VIG entwickelt, die bei einer Gesamtstärke von nur 9 [mm] und einem Gewicht entsprechend dem der Zweifachverglasung einen  $U_g$ -Wert von  $0,5 [W m^{-2}K^{-1}]$  aufweisen [14]. Anhand von Musterscheiben wurde die mechanische Stabilität wie auch die Gasdichtigkeit des Randverbundes bestätigt. Und auch hinsichtlich der mechanischen Belastbarkeit hielten die VIG den gleichen thermischen Spannungen stand wie konventionelle Wärmeschutzverglasungen. Neben der Standardausführung von VIG aus Floatglas lassen sich auch Sicherheitsgläser als ESG oder VSG realisieren. Nachfolgend ist der prinzipielle Aufbau einer VIG und eine entsprechende Musterscheibe dargestellt:



### Funktionsprinzip:

In einem VIP tragen mehrere Effekte zum Wärmedurchgang bei:

- Wärmestrahlung,
- Wärmeleitung über die notwendigen Stützen und
- Wärmeleitung über den Randverbund.

Um den zuletzt genannten Effekt zu minimieren, sollte die Verglasung ausschließlich in hoch-wärmedämmende Rahmen mit großem Rahmeneinstand eingebaut werden.

Zur technischen Realisierung von VIP muss der Gasdruck im Scheibenzwischenraum auf Werte unter  $10^{-3}$  [mbar] evakuiert werden [11]. Durch den äußeren Atmosphärendruck, der durch das Evakuieren entsteht, werden die Glasscheiben einer Belastung von zehn Tonnen pro  $m^2$  Scheibenfläche ausgesetzt. Um ein Zusammendrücken der Scheiben zu verhindern, müssen in dem knapp 1 [mm] starken Scheibenzwischenraum in regelmäßigen Abständen kleine Stützen (Pillars) angebracht werden, um ein Durchbiegen und Brechen des Glases zu verhindern. So bestand nach [13] eine der technischen Herausforderungen in der Entwicklung von Pillars, die in der Lage sind, diese Lasten aufzunehmen.

Während für Optik und Thermik des VIP kleine Pillars mit geringer Auflagefläche günstig sind, trifft auf die Anforderungen an die Mechanik genau das Gegenteil zu. Berücksichtigt werden muss, dass die Größe der Abstandhalter, der Abstand der einzelnen Stützen zueinander sowie die Wärmeleitfähigkeit des verwendeten Materials den Gesamtwärmeverlust des VIP beeinflussen [10]. Mit einem Rastermaß der Abstandhalter von 30 bis 40 mm und einem Durchmesser von 0,5 mm konnte ein Stützmaterial aus Metallzylinder gefunden werden, die ausreichende mechanische Stabilität und Elastizität bieten, blendfrei sind und nur vor kontrastarmen Hintergrund bei einem Abstand von weniger als einem Meter sichtbar werden [10] und [15].

Der Randverbund ist neben den erforderlichen Pillars das Kernproblem von VIG, da er langfristig die Gasdichtigkeit des Systems sicherstellen muss. Aufgrund der guten Dämmeigenschaft des evakuierten Scheibenzwischenraumes herrschen erhebliche Temperaturschwankungen zwischen äußerer und innerer Scheibe. Die damit verbundene Längenänderungen müssen ebenfalls im Bereich des Randverbundes aufgenommen werden.

Scheibenbruch: Prinzipiell weist VIG die gleiche mechanische Belastbarkeit auf wie konventionelles Isolierglas. Sollte eine Scheibe durch äußere Kraft einwirkung zu Bruch gehen, kollabiert brechendes VIG aufgrund des Unterdrucks im Scheibenzwischenraum nach innen. Selbst wenn kein Sicherheitsglas verwendet wird, besteht bei Bruch somit keine Gefahr durch herumfliegende Splitter.

#### Anwendungen:

Die Einsatzbereiche von VIG sind vielfältig und liegen schwerpunktmäßig bei Fenstern, Fassaden oder Überdachungen gewerblicher und privater Gebäude. Weitere Anwendungsgebiete liegen im mobilen Bereich, wo auf geringes Gewicht, schlanke Systeme und exzellente Dämmwerte Wert gelegt wird. Nischenmärkte wie gewerbliche und private Kühlgeräte bieten ebenfalls interessante Anwendungsbereiche für VIG.

#### Zukünftige Entwicklung:

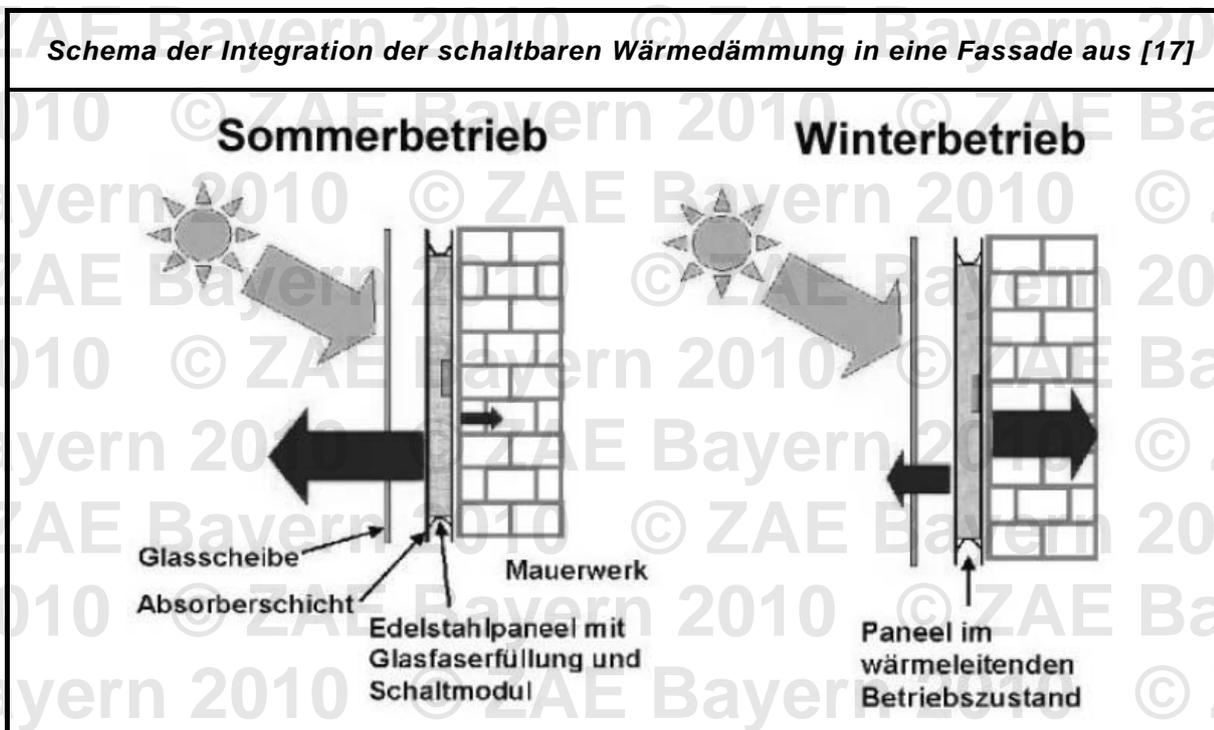
Seit Juni 2007 werden im Rahmen eines vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Projektes Produktionstechniken zur Herstellung von VIG entwickelt. Sie sollen etwa bis 2011 zur Verfügung stehen.

Parallel wird in einem weiteren Forschungsprojekt die Entwicklung hochdämmender und schlanker Rahmen vorangetrieben, damit einheitliche Konzepte für die Fassadenintegration von VIG möglich werden. Mit einer Markteinführung von hoch effizienten VIG-Rahmenkonstruktionen ist voraussichtlich 2010 zu rechnen.

## 7.2.2 Schaltbare Wärmedämmung

Zur Entlastung einer konventionellen Gebäudeheizung wurde im Rahmen des Projekts "Schaltbare Wärmedämmung (SWD) zur Nutzung der Sonnenenergie in Gebäuden" am ZAE Bayern eine Technik entwickelt, die auf elegante Weise Sonnenenergie thermisch nutzen kann. Die Ausführung einer solchen SWD beruht nach [16] auf der Technologie von VIP und kann schematisch wie folgt dargestellt werden:

Schema der Integration der schaltbaren Wärmedämmung in eine Fassade aus [17]



Mit einer SWD wird die auftreffende Energie der Sonnenstrahlung als nutzbare Wärme zum Rauminneren transportiert - allerdings nur dann, wenn Heizungsbedarf und ausreichende Einstrahlung gegeben sind. Zu allen anderen Zeiten, etwa im Sommer oder an trüben Wintertagen, wird die SWD im hochdämmenden Zustand gehalten. Hier sorgt ein sehr geringer U-Wert von etwa  $0,2 \text{ [W m}^{-2}\text{K}^{-1}]$  zum einen für hervorragende Wärmedämmung, zum anderen ist im Gegensatz zu transparenten Wärmedämmungen mit der bekannten Überhitzungsproblematik kein mechanischer Sonnenschutz erforderlich [18].



## Literaturverzeichnis

- [1] M. Tenpierik: Research into the integration of vacuum insulation panels in architectural climate-separating constructions, 2007
- [2] Binz A., Moosman, A., Stenke, G., Schonhardt, U., Fregnan, F., Simmler, H., Brunner, S., Ghazi, K., Bundi, R., Heinemann, U., Schwab, H., Cauberg, H., Tenpierik, M., Johannesson, G., Thorsell, T., Erb, M., Nussbaumer, B.: Vacuum Insulation in the Building Sector, Systems and Applications, Annex 39 "HiPTI - High Performance Thermal Insulation" of IEA/ECBCS-Implementation Agreement, Report on Subtask B, published on [www.vip-bau.de](http://www.vip-bau.de), 2005
- [3] Porextherm Dämmstoffe GmbH, 2009
- [4] VARIOTEC GmbH & Co. KG, 2009
- [5] M. Zwerger, H. Klein: Integration von VIP's in Wärmedämm-Verbundsysteme, 2005
- [6] A. Binz, A. Primas, N. Zeuggin, A. Pedraza: Betonkonstruktionen mit Hochleistungswärmedämmstoffen, 2002
- [7] W. Feist: Wissenschaftliche Analyse einer auf vorgefertigten Vakuum-Paneel-Verbundplatten beruhenden Innendämmsystems, 2008
- [8] E. Panic: Erste Passivhaussanierung auf Passivhausstandard mit Vakuumisulationspaneelen, 1. Zwischenbericht, Haus der Zukunft, 2007

- [9] Lang, J.: Vakuu-Isolation in Fassadenelementen, Bine Informationsdienst, Projektinfo 08/04
- [10] Schneider, B.: Vakuu-verglasung: Wenn Vakuu Edelgas ersetzt, Bine Informationsdienst, Projektinfo 01/08
- [11] Ebert, H.-P., Weinländer, H., Hippeli, S.: Ultraschlanke Vakuu-verglasung für optimalen Wärmeschutz, Detail Green, Heft 1/2009
- [12] Glaser, S.: Vakuu Isolierglas - Entwicklungen und Bewertungen von VIG-Technologien, Anwendungspotentiale und Verfügbarkeiten von VIG, 6. Symposium "Zukunft Glas" 2005, Zwiesel
- [13] Weinländer, H.: Wärmedämmung - Vakuuisolierglas (VIG), FVEE Themen, 2008
- [14] Heinemann, U.: Vakuuisolationspaneele - Potentiale und Besonderheiten, VIP-Bau: 3. Fachtagung (2007), Würzburg
- [15] Weinländer, H., Fricke, J.: VIG - Vakuu-Isolierglas, ZAE Bayern
- [16] Kerschberger, A., Brillinger A., Binder M.: Energieeffizient sanieren: mit innovativer Technik zum Niedrigenergie-Standard, Solarpraxis AG
- [17] Heinemann, U.: Schaltbare Wärmedämmung zur Solarenergienutzung, ZAE Bayern
- [18] Horn, R.: Zur thermischen Nutzung der Sonnenenergie - Schaltbare Wärmedämmung, Sonnenenergie, Heft 4/97
- [19] Weinländer, H.: Wärmedämmung - Schaltbare Wärmedämmung (SWD), FVEE Themen, 2008