



**EnOB**

Forschung für  
Energieoptimiertes Bauen



**ViBau**



**VIP-BAU.DE**

Vakuum-Isolations-Paneele am Bau



ZAE BAYERN

# Vakuumdämmung im Bauwesen

## Block III

## Bauphysik

angefertigt von der Wolfgang Sorge IfB GmbH / Nürnberg  
im Auftrag des ZAE Bayern / Würzburg

Stand: Oktober 2009

Gefördert durch das



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

© ZAE Bayern



EnOB

Forschung für  
Energieoptimiertes Bauen



ViBau



VIP-BAU.DE

Vakuum-Isolations-Paneele am Bau

# 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.



# Gliederung I

---

- Allgemeines
- Wärmeschutz
  - Wärmeleitung
  - Wärmebrücken
- Feuchteschutz
  - Grundlagen des Feuchteschutzes
  - Untersuchungsmethoden
  - Hygrothermische Untersuchungen
  - Fazit



## Gliederung II

---

- **Schallschutz**

- Grundlagen der Bauakustik

- Messung der Schalldämmung von VIP

- Fazit

- **Brandschutz**

- Gesetzliche Vorgaben

- Hocheffiziente Wärmedämmung

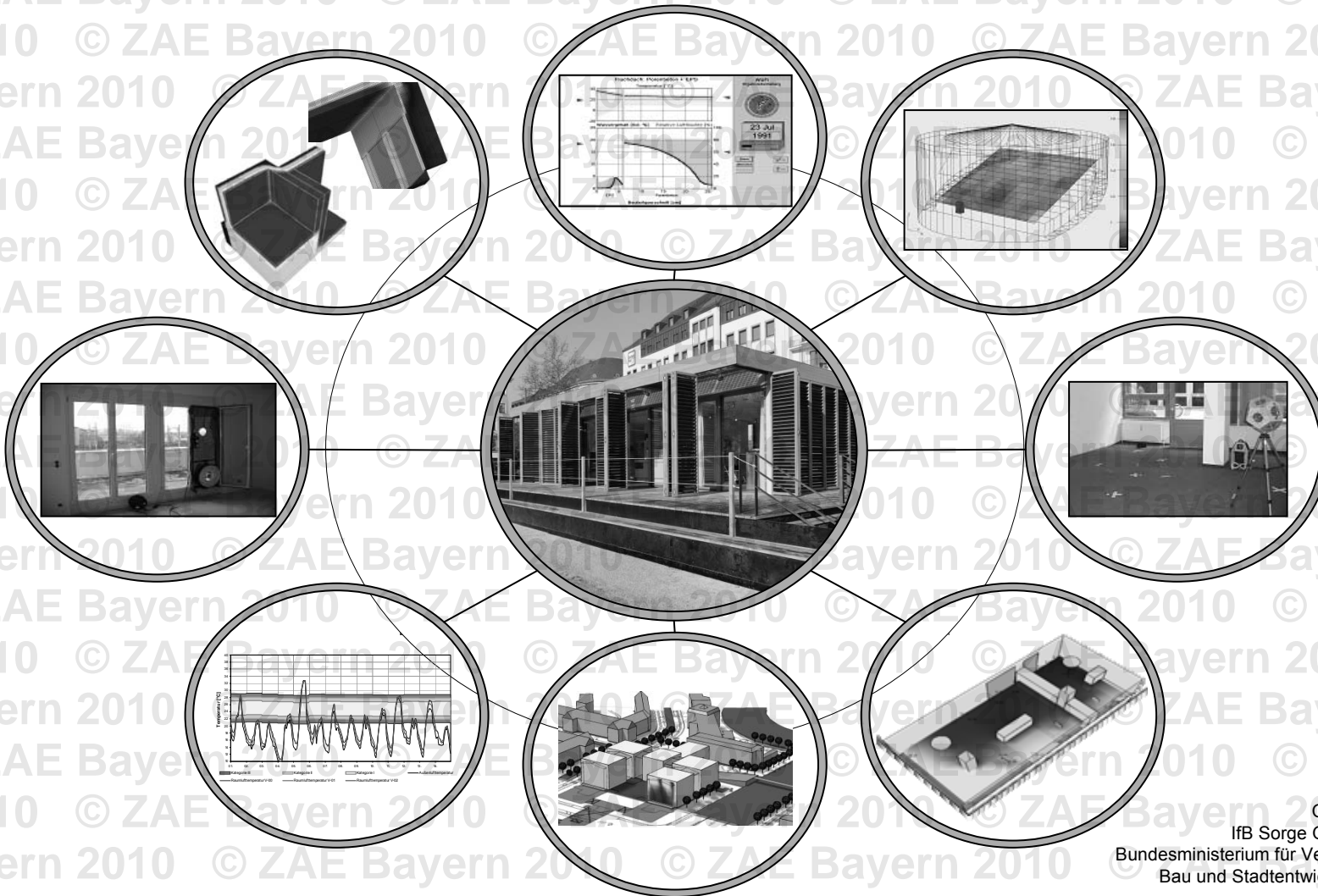


Forschung für  
Energieoptimiertes Bauen



VIP-BAU.DE  
Vakuum-Isolations-Paneele am Bau

# Bauphysik



Quelle:  
IfB Sorge GmbH,  
Bundesministerium für Verkehr,  
Bau und Stadtentwicklung

# Allgemeines

- Anfänge bauphysikalischer Betrachtungsweisen mit röm. Baumeister Vitruv (1. Jahrhundert v. Chr.).
- Bauphysik heute integraler Bestandteil:
  - vom Entwurf über die Planung und der Nutzung bis zum Abriss unerlässlich,
  - Vernachlässigung kann zu Bauschäden bei der Bauerstellung und v. a. in der Nutzung führen,
  - zeitgemäßes und menschengerechtes Entwerfen,
  - Vermeidung ökonomischer und ökologischer Nachteile.



Quelle: Fotolia



# Wärmeschutz

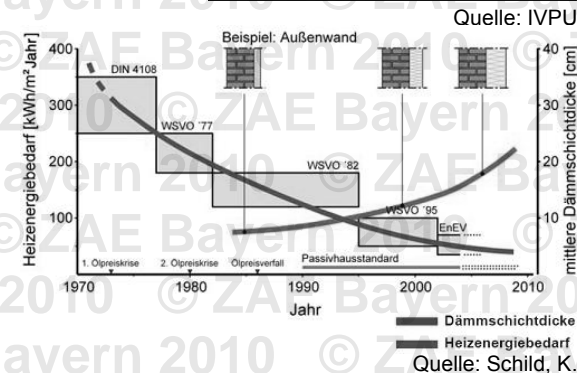
- Ziel ist u. a. die Verminderung von
  - winterlichen Wärmeverlusten,
  - sommerlicher Überhitzung;
- Steigerung des Dämmstandards:
  - Entwicklung:
    - heute: Passivhaustechnologie,
    - zukünftig: Plus-Energie-Haus;
  - bis zu 40 cm Dämmstoffdicke mit konventionellen Dämmstoffen,
  - dicke Dämmung - schlanke Bauweise?



Quelle: Der Dachschutz

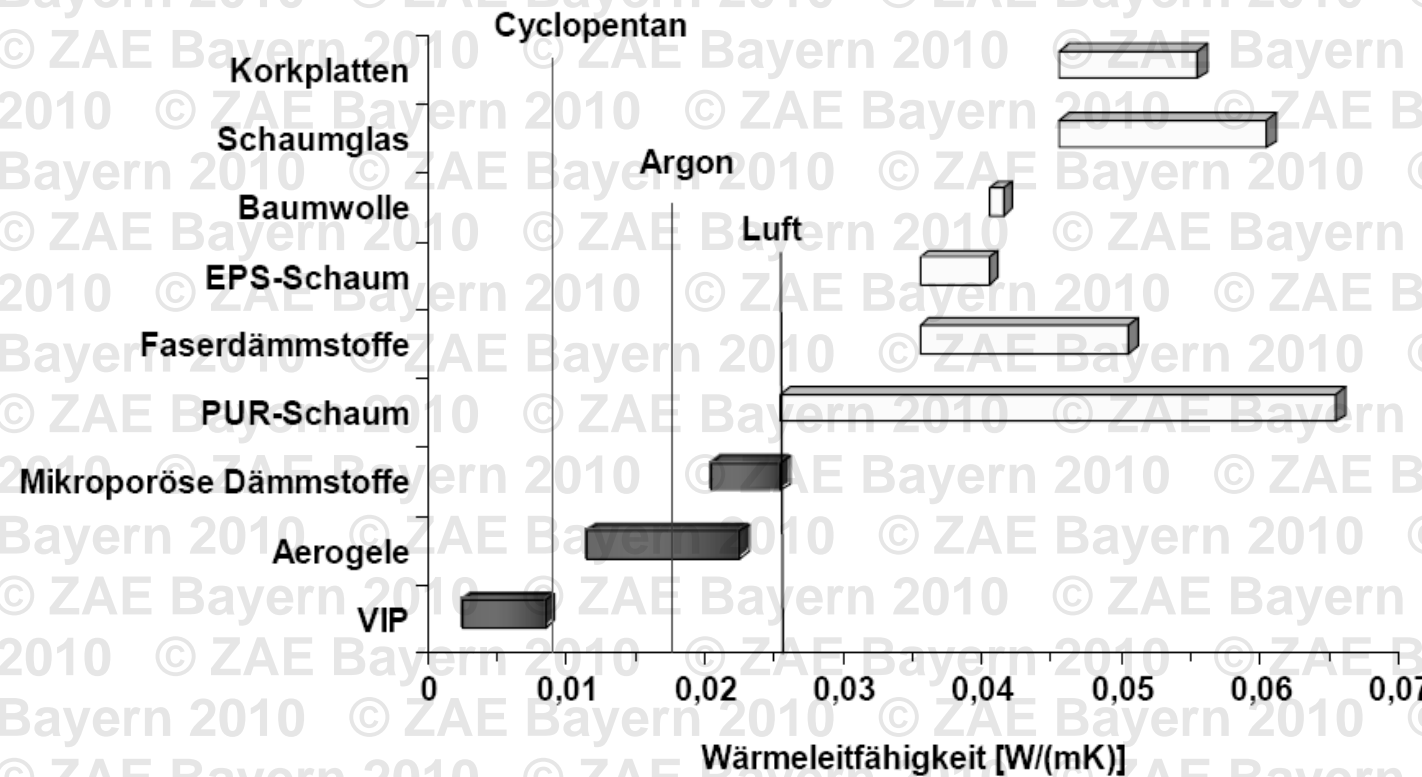


Quelle: IVPU



# Wärmeleitung

- Leistungsfähigkeit derzeitiger Dämmstoffe:



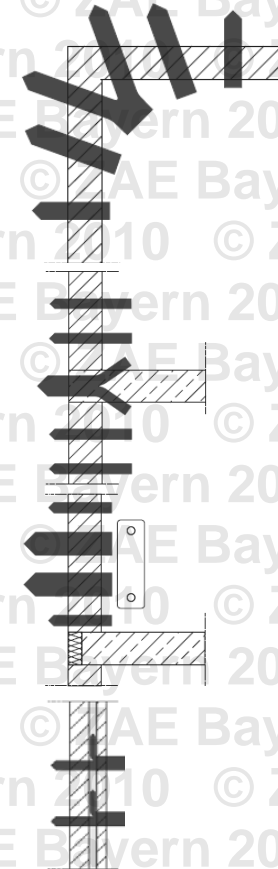


# Wärmeleitung

- Wärmeleitfähigkeit von VIP:
  - *Laborwert*: 0,001 bis 0,008 W/(m K),
  - *Bemessungswert*: 0,008 bis 0,011 W/(m K),
  - wesentliche Wärmetransportmechanismen:
    - Phononentransport (im homogenen Festkörper),
    - Photonentransport (in optisch dicken Medien),
    - Molekültransport (im ruhenden Gas),
    - Kopplungseffekte;
  - Anteil von Gasleitung : Strahlung : Festkörperleitung :
    - bei konventionellen Dämmstoffen 25 : 13 : 2,
    - bei evakuiertem Dämmmaterial mit sehr fein strukturiertem Kernmaterial (VIP) 0 : 1 : 3.

# Wärmebrücken

- physikalische Ursachen für Wärmebrücken:
  - geometrisch bedingte Wärmebrücken  
(Beispiel Außenecke),
  - materialbedingte Wärmebrücken  
(Beispiel einbindende Betondecke  
ohne Stirndämmung),
  - umgebungsbedingte Wärmebrücken sowie  
(Beispiel Heizkörper vor Außenwand)
  - massestrombedingte Wärmebrücken  
(Beispiel Kaltwasserrohr in Außenwand).



# Wärmebrücken

## ■ wärmebrückenbehaftete Konstruktionen:

### ➤ mögliche Konsequenzen:

➤ erhöhte Transmissionsverluste über Wärmebrücken  
(Heizkosten),

➤ unzureichende Beheizung des Gebäudes  
(Oberflächentemperaturen zur gering),

➤ Feuchteanreicherungen;

### ➤ Folgen:

➤ Stauablagerung,

➤ Schimmelpilzbildung,

➤ Bauschaden.





EnOB

Forschung für  
Energieoptimiertes Bauen



ViBau



VIP-BAU.DE

Vakuum-Isolations-Paneele am Bau

# Wärmebrücken

---

- **Hocheffiziente Dämmsysteme:**

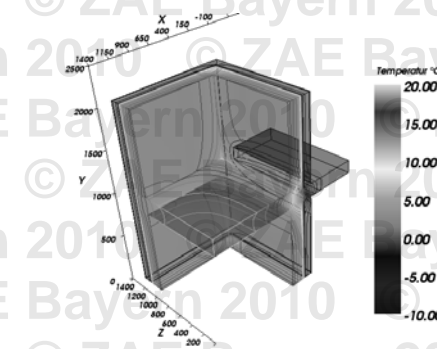
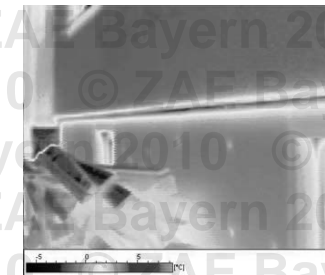
- Temperaturgradienten im Bereich der Wärmebrücken wesentlich größer,
- im Vergleich zu ungestörten, schichtenartigen Wandaufbauten komplexere quantitative Folgen von Wärmebrücken.



**Detaillierte Beurteilung von Wärmebrücken sind bei Konstruktionen mit VIP über thermische und hygrische Berechnungen notwendig!**

# Wärmebrücken

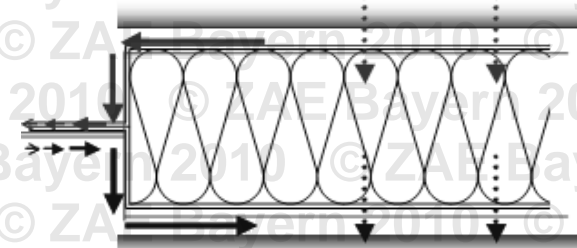
- Wärmebrückenzuschlag  $\Delta U_{WB}$ :
  - $\Delta U_{WB} = 0,10 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$  pauschal für konventionelle Bauteilaufbauten ohne Nachweis,
  - $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$  bei Ausführung von Anschlussdetails gemäß DIN 4108 Beiblatt 2,
  - rechnerische Ermittlung von  $\Delta U_{WB}$ .
- Temperaturfaktor  $f_{RSi}$ :
  - konstant, dimensionslos, bauspezifisch,
  - Kenngröße zur Abschätzung der Tauwasser- bzw. Schimmelpilzgefahr,
  - Grenzwert:  $f_{RSi} \geq 0,70$ .



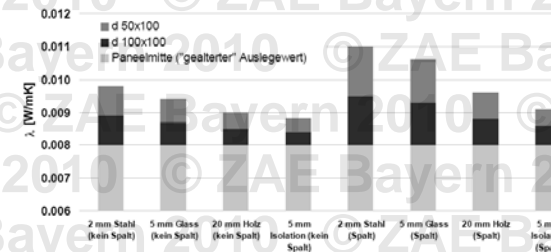
# Wärmebrücken

## ■ Wärmebrücken in Konstruktionen mit VIP

- Randeffekte in der VIP-Schicht durch die umlaufende Hüllfolie,
- Luftschichten im Stoßbereich (falls nicht satt gestoßen), sowie Anschlusssituation an angrenzende Bauteile,
- zusätzliche konventionelle Wärmedämmstoffschichten auf einer oder beiden Deckschichten reduziert den Effekt von Wärmebrücken.



Quelle: Gutzwiller, S.



mit und ohne Luftspalt (d = 5 mm)



Quelle: VARIOTEC GmbH & Co. KG



# Feuchteschutz

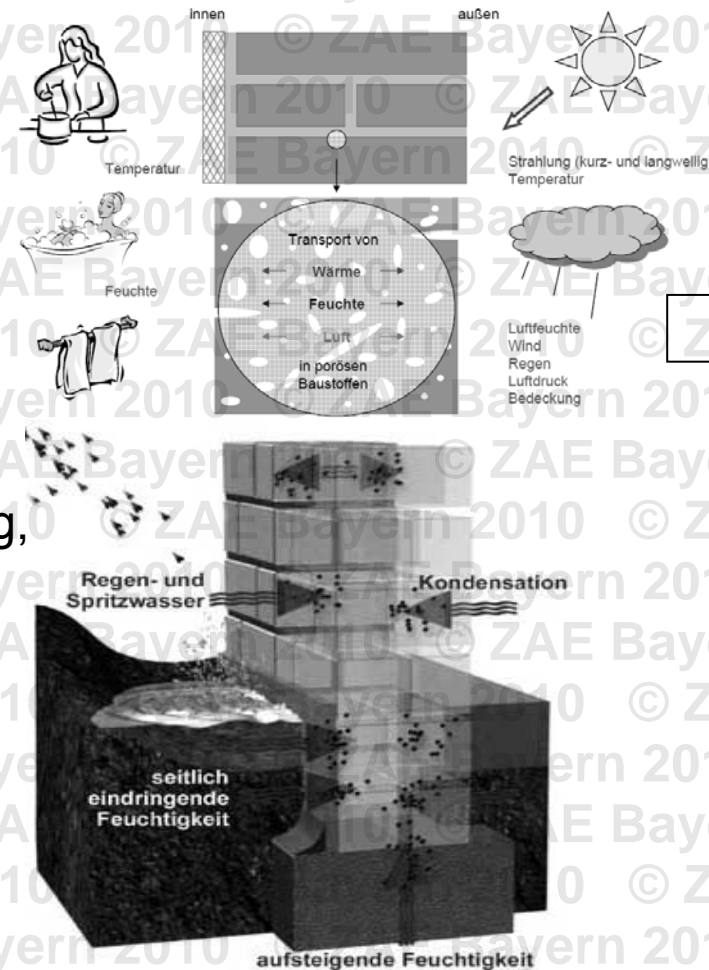
---

- **Feuchteschutz stellt sicher:**
  - **Dauerhaftigkeit:**
    - mechanische Belastung (Quell- und Schwindvorgänge durch Feuchtewechsel / Salzkristallisationsprozesse),
    - Schäden durch Frost, Fäulnis oder Korrosion bei erhöhter Materialfeuchte,
    - unvollständige Hydratation durch zu rasche Trocknung;
  - **Wärmeschutz:**
    - mit dem Feuchtegehalt im Baustoff sinkt die Dämmwirkung;
  - **Hygiene:**
    - verstärkte Verschmutzung, Algen- oder Schimmelpilzbildung.

# Grundlagen des Feuchteschutzes

## ■ Feuchteeinwirkungen:

- Baufeuchte,
- Niederschlagsfeuchte,
- Wasserdampf :
  - interne Feuchtequellen,
  - raumseitige Tauwasserbildung,
  - Tauwasserbildung im Bauteil;
- Bodenfeuchtigkeit:
  - Erdfeuchte,
  - Sickerwasser,
  - Schichtenwasser.







# Grundlagen des Feuchteschutzes

## ■ Feuchteschäden und mikrobieller Befall durch

- erhöhte Feuchteeinwirkung,
- mangelhaften Wärmeschutz:
  - ungenügendes Wärmedämmniveau,
  - erhöhte Wärmeübergangswiderstände,
  - Wärmebrücken,
  - unzureichende Beheizbarkeit;
- Nutzerfehlverhalten:
  - mangelhaftes Lüftungsverhalten,
  - unüblich hohe Feuchteproduktion,
  - unzureichende Beheizung.



Quellen: Ortler, Riggert



EnOB

Forschung für  
Energieoptimiertes Bauen



VIP-BAU.DE

Vakuum-Isolations-Paneele am Bau

# Grundlagen des Feuchteschutzes

## ■ Feuchtemanagement:

- Abführen von Baufeuchte,
- Abdichten gegen Brauchwasser,
- Tauwasserschutz für Oberflächen,
- Tauwasserschutz im Bauteilinneren,
- Schutz vor Wasser im Baugrund,
- Schlagregenschutz.



Quellen: Hörst, P., FHG IBP, Rauch P., Langer K.-H., baunetz wissen

# Grundlagen des Feuchteschutzes

## ■ Besonderheiten von VIP

- sehr geringe Wärmeleitfähigkeit:
  - starker Temperaturabfall bzw. -anstieg auf kurzer Strecke,
  - Durchlässigkeit an den VIP-Stoßstellen möglicherweise kritisch;
- Hochbarrierelamine sind systemimmanent beidseitig dampf- und gasdicht:
  - nahezu keine Diffusion von Wasserdampf- und Gasmolekülen,
  - Wirkung wie eine extrem gute Dampfsperre,
  - an VIP angrenzendes Konstruktionswasser kann die Lebensdauer von VIP beeinträchtigen:
    - erhöhte Permeation von Wasserdampfmolekülen,
    - Erhöhung des Restgasdrucks im VIP,
    - Verminderung der Wärmedämmwirkung,
    - grundsätzlich gilt ein VIP-Element dennoch als **diffusionsdicht**.

# Untersuchungsmethoden

## ■ Feststellung anfallender Feuchtigkeit:

### ➤ Messverfahren, u. a.:

- Kernbohrung und Messung des Wassergehalts,
- Infrarot Messung,
- Mikrowellen-Feuchtemessung,
- elektrische Feuchtemessung;



Quelle: Testo

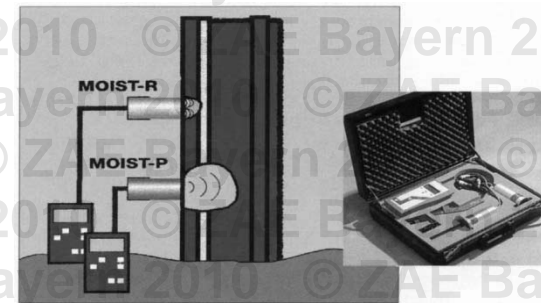
### ➤ Berechnungsverfahren:

#### ➤ stationäre Berechnungsverfahren:

- Glaserverfahren;

#### ➤ instationäre Berechnungsverfahren:

- Cond,
- BSim,
- Hyg2D,
- Wufi / Delphin;



Quelle: IRP Fraunhofer



# Untersuchungsmethoden

## ■ Glaser-Verfahren bei VIP nicht ausreichend:

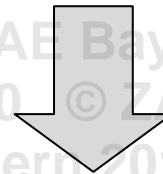
### ➤ Berücksichtigung von:

- Temperatur,
- Luftfeuchtigkeit;



### ➤ keine Berücksichtigung von:

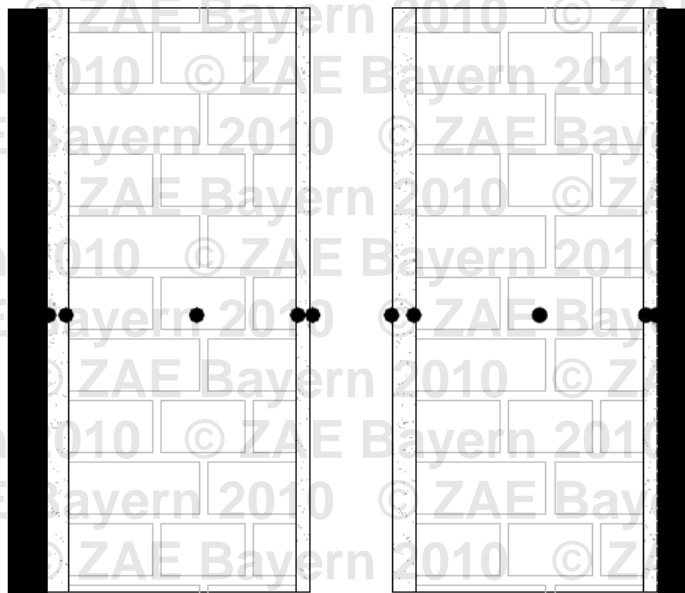
- externer Feuchteeinwirkungen (Niederschlag),
- vorhandener Baufeuchte bzw. eingeschlossener Feuchte,
- Zeitpunkt und klimatische Verhältnisse beim Einbau,
- maßgeblichen Transportvorgängen im Bauteil.



**detailliertere Berechnungsverfahren erforderlich!**

# Hygrothermische Untersuchungen

## VIP-gedämmte Altbauaußenwand:

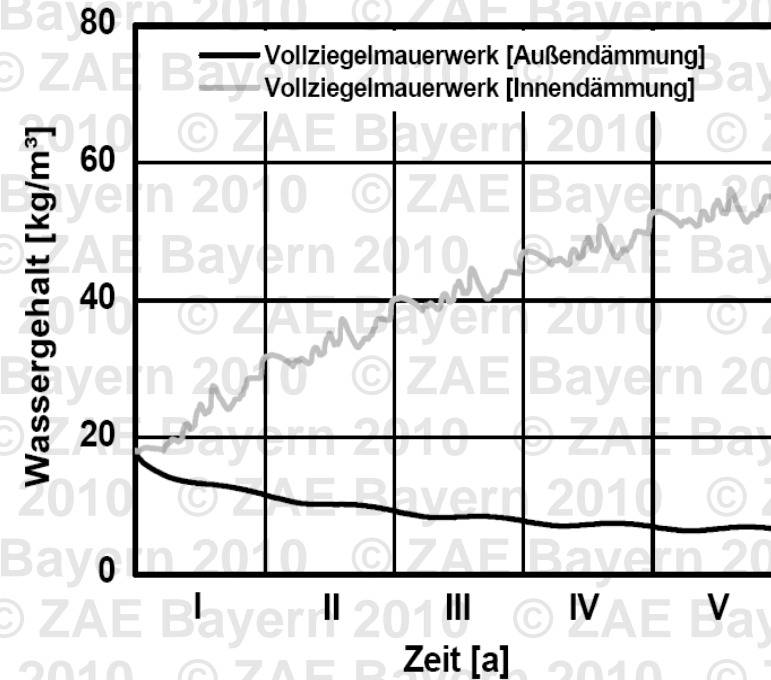


Variante 1: mit Außendämmung

außen:  
Zementputz 5 mm  
VIP – Dämmung 40 mm  
Vollziegelmauerwerk  
Gipsputz 15 mm

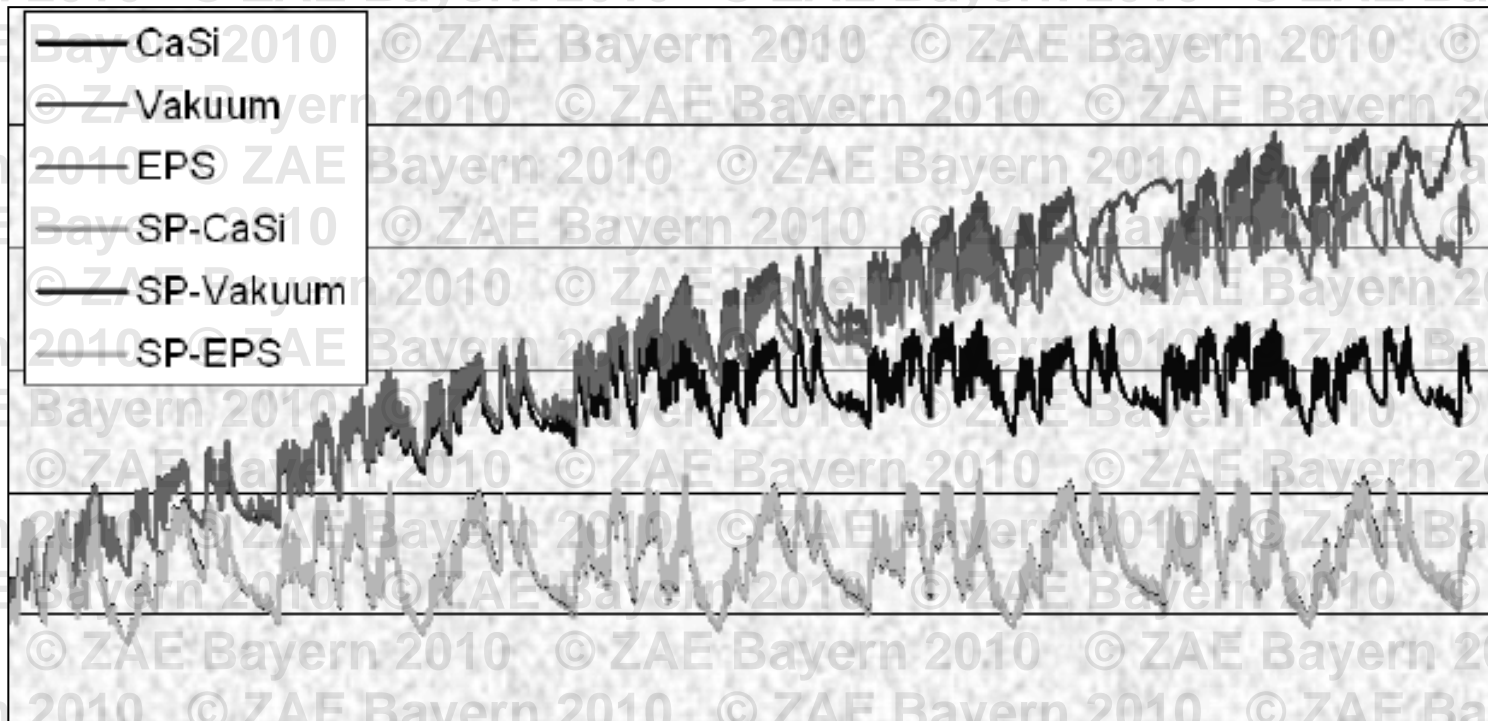
Variante 2: mit Innendämmung

außen:  
Zementputz 5 mm  
Vollziegelmauerwerk  
VIP – Dämmung 40 mm  
Gipsputz 15 mm



# Hygrothermische Untersuchungen

- VIP im Vergleich zu anderen Innendämmungen:



SP = Sanierputz; hier : hydrophobierter Außenputz

# Hygrothermische Untersuchungen

- Regeln für die Sanierung eines Gebäudes:
  - Analyse der Bestandswand:
    - welches Baumaterial,
    - Feuchtegehalt,
    - Feststellung möglicher Kapillareffekte (v. a. aus dem Untergrund),
    - Untersuchung der Wände auf evtl. Feuchtenester;
  - Vor der Maßnahme ist eine Austrocknung der Wand unbedingt erforderlich:
    - Innen: VIP und ergänzende Maßnahmen sind absolut dampfdicht auszuführen,
    - außen: nach außen diffusionsoffene schlagregendichte Beschichtung (sonst unkontrollierte Auffeuchtung der Bestandswand).





EnOB

Forschung für  
Energieoptimiertes Bauen

ViBau



VIP-BAU.DE

Vakuum-Isolations-Paneele am Bau

# Hygrothermische Untersuchungen

## ■ Problemkonstruktionen bezüglich der Luftdichtheit:

### ➤ Fachwerkwände:

Fugen an Übergängen von  
Holzträgerwerk zu Gefachen,



### ➤ Holzbalkendecken:

Außenwandfläche, Auflager  
sowie rund um die Balkenköpfe,



### ➤ Mauerwerk:

Fugen im Innenputz, insbesondere in  
Verbindung mit Luftkanälen.



Quelle: Rüpke, Heinze, Riggert



# Hygrothermische Untersuchungen

- **Verwendung von VIP als Innendämmung:**
  - **Fachwerk:**  
Vakuum-Innendämmung nicht zu empfehlen!
  - **Sichtmauerwerk:**  
Hydrophobierung im Allgemeinen erforderlich! Berücksichtigung der dazu erforderlichen Rahmenbedingungen!
  - **Zweischaliges Mauerwerk:**  
In den meisten Fällen gut für eine Vakuum-Innendämmung geeignet!
  - **Natursteinfassaden:**  
Individuell sehr unterschiedliche Ergebnisse, Fachgutachten erforderlich!
  - **Putze und Beschichtungen**  
Auftrag von wasserabweisender hydrophober aber diffusionsoffener Außenputze in regenbelasteten Regionen notwendig!



# Fazit

- **Außendämmung:**

- geringfügige Austrocknung der Konstruktion,
- kein zusätzlicher Feuchteintrag von außen.



Quelle: ZAE Bayern

- **Innendämmung:**

- Feuchte kann nicht nach innen austrocknen:
  - Vermeidung von Kondensationsfeuchte aus dem Innenraum hinter der Dämmebene,
  - Problematik erhöhter Materialfeuchten in der Konstruktion durch Feuchteintrag von außen (z. B. Schlagregen):
  - Wassergehalt der Konstruktion kann kontinuierlich zunehmen;
- Wärmebrücken bei Durchdringungen sind bei VIP ausgeprägter als bei konventionellen Dämmstoffen.



# Schallschutz

## ■ Baulicher Schallschutz:

- über 70 % der Bevölkerung fühlen sich durch Lärm gestört,

Quelle: Trendbefragung für Immobilienscout 24, Innofact 03/2008

- Unterscheidung zwischen:

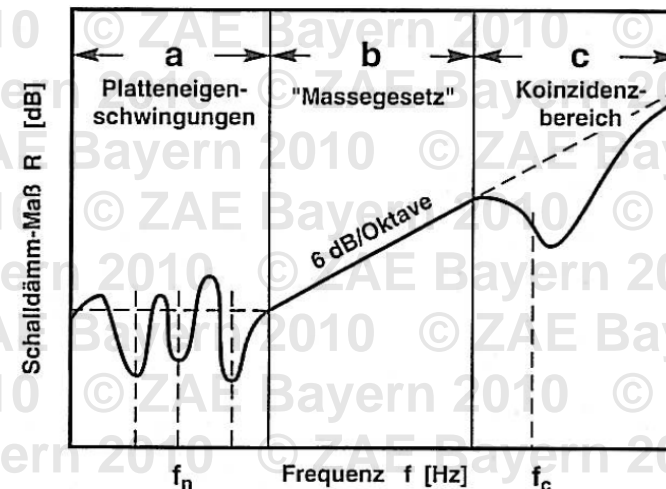
- aktive Maßnahmen:  
Maßnahmen gegen die Schallentstehung,
- passive Maßnahmen:  
Maßnahmen, die die Schallübertragung außerhalb oder innerhalb eines Gebäudes zu einem schutzbedürftigen Raum verringern.





# Grundlagen der Bauakustik

- **Berger'sches Massegesetz:**
  - Schalldämmung einschaliger Bauteile proportional zu deren Masse,
- **Einbrüche in der Schalldämmung aufgrund**
  - einer hohen Biegesteifigkeit,
  - Koinzidenzeffekte und
  - Platteneigenschwingungen.

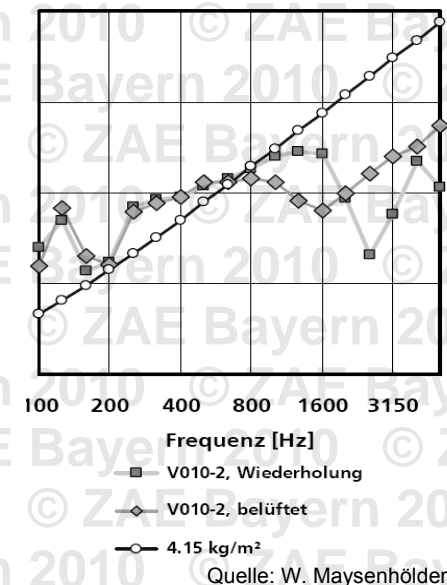
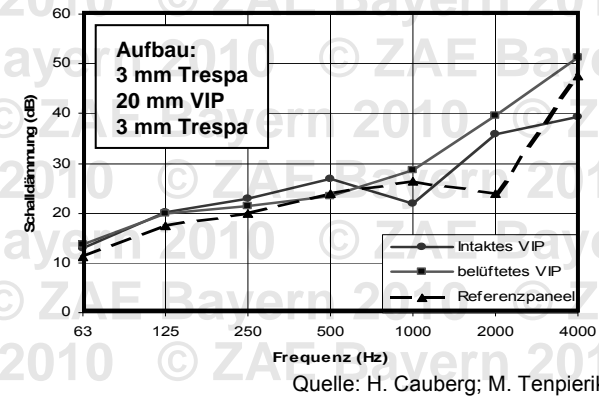


$f_n$  Platteneigenfrequenz  
 $f_c$  Koinzidenzfrequenz

Quelle: W. Fasold, E. Veres

# Messung der Schalldämmung von VIP

- Auswirkung des Unterdrucks:
  - Koinzidenz von intakten VIP bei ca. 1.000 Hz,
  - belüftetes VIP zeigt Verhalten entsprechend Massegesetz,
  - wider erwarten keine signifikante Erhöhung der Schalldämmung aufgrund des Vakuums. Ursache sind Körperschallübertragungen über
    - Umhüllung,
    - Stützkörper und
    - Abstandhalter.



# Messung der Schalldämmung von VIP

- Schalldämmung von Großelementen mit VIP:

- Elementkonstruktion:

Ebene	Schichtaufbau (von innen nach außen)
1	20 mm Mineralwolle (zusammendrückbar)
2	27 mm Tragplatte aus Kerto-Furnierschichtholz
3	2,75 mm Schutzschicht (Sperrholz + 0,25 mm Alu)
4	40 mm VIP-Dämmung
5	2,5 mm Sperrholz
6	18 mm Baufurniersperrholz-Platte
7	20 mm + 5 mm Aluminium-Hohlprofil
8	8 mm Vollkern-Schichtstoff-Fassadenplatte



Quelle: : Reyer

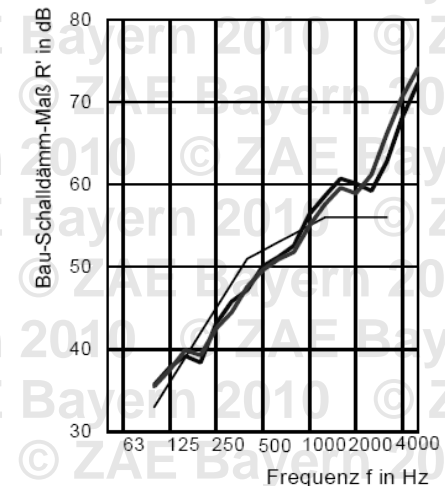
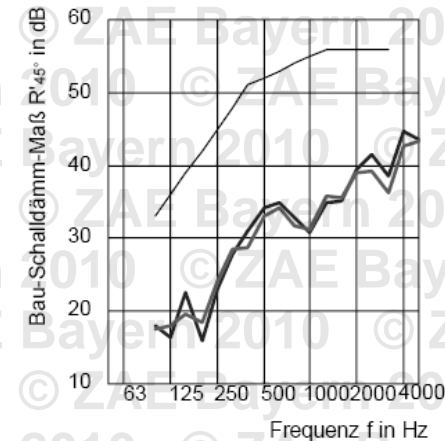
- Abmessungen:

- zwei 5,25 m x 2,50 m,
    - zwei 5,25 m x 3,25 m sowie
    - vier Füllelemente für den Bereich „obere Außenwand - Traufe“.



# Messung der Schalldämmung von VIP

- Beurteilung der Ergebnisse:
  - Außenwand (Fenster):
    - untersuchte Fenster zeigen nahezu deckungsgleiches spektrales Verhalten,
    - vorgehängte Fassade mit VIP verschlechtert die Schalldämmung der Fenster nicht;
  - Flankenübertragung:
    - nahezu identische gemessene Schalldämmkurven (100 bis 1.600 Hz),
    - keine Verschlechterung der Schalldämmung durch Einsatz von VIP im Vergleich zu konventionellem WDVS.



Quelle: : ift Schallschutzzentrum

# Fazit

---

- **Schalldämmung blanker VIP:**
  - bei tiefen Frequenzen kann die Schalldämmung eines VIP über das Massegesetz beschrieben werden,
  - bei hohen Frequenzen sind numerische Berechnungsmodelle erforderlich,
  - bei Beschädigung („Belüftung“) der VIP nimmt die Schalldämmung ab.
- **Weiterer Forschungsbedarf:**
  - Anisotropie und Frequenzabhängigkeit des VIP,
  - Ursache der Dämpfung in einem nanostrukturierten Material wie pyrogener Kieselsäure.



EnOB

Forschung für  
Energieoptimiertes Bauen

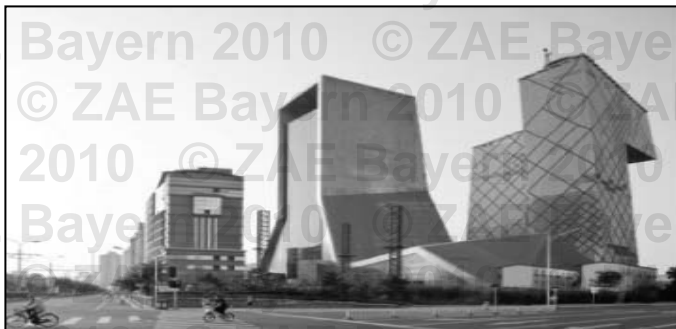
ViBau



VIP-BAU.DE

Vakuum-Isolations-Paneele am Bau

# Brandschutz





EnOB

Forschung für  
Energieoptimiertes Bauen



ViBau



VIP-BAU.DE

Vakuum-Isolations-Paneele am Bau

# Gesetzliche Vorgaben

---

- Musterbauordnung 2002 (MBO2002):

## § 14 - Brandschutz

Bauliche Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandausbreitung) vorgebeugt wird und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind.

# Gesetzliche Vorgaben

## ■ Bauaufsichtliche Anforderungen an Bauprodukte:

<i>Bauaufsichtliche Anforderung</i>	<i>Baustoffklasse DIN 4102-1</i>	<i>Euroklasse DIN EN 13501-1</i>	<i>Anforderungs- niveau</i>	<i>Anmerkungen</i>
nicht brennbar	A1	A1	kein Beitrag zum Brand	<b>ohne organische Bestandteile</b> (z. B. Mineralfaser, Beton)
	A2	A2	vernachlässigbarer Beitrag zum Brand	<b>mit brennbaren organischen Bestandteilen</b> Rauchentwicklung brenn. Abtropfen (z. B. Mineralwolle, Polystyrolbeton)
schwer entflammbar	B1	B	sehr geringer Beitrag zum Brand	Rauchentwicklung brenn. Abtropfen (z. B. Brandschutz-behandelte Holzwerkstoffe, Hartschaum-kunststoffe)
		C	geringer Beitrag zum Brand	

# Gesetzliche Vorgaben

- Bauaufsichtliche Anforderungen an Bauprodukte:

<i>Bauaufsichtliche Anforderung</i>	<i>Baustoffklasse DIN 4102-1</i>	<i>Euroklasse DIN EN 13501-1</i>	<i>Anforderungs- niveau</i>	<i>Anmerkungen</i>
normal entflammbar	B2	D	hinnehmbarer Beitrag zum Brand	Rauchentwicklung brenn. Abtropfen (z. B. Holzbauteile und Holzwerkstoffe mit einer Dicke > 2 mm )
		E	hinnehmbares Brandverhalten	brenn. Abtropfen
leicht entflammbar	B3	F	keine Anforderungen	<b>nicht im Bauwesen verwendbar</b> (z. B. Holzbauteile und Holzwerkstoffe mit einer Dicke < 2 mm, Stroh, Stroh, Papier)

# Hocheffiziente Wärmedämmung

- **Verbundwerkstoff VIP:**  
Brandverhalten von VIP in Abhängigkeit von Hüll- und Kernmaterial

- **Edelstahlhülle (A1)**  
in Kombination mit

- Kern aus Kieselsäure A1,
- Kern aus PUR-Schaum B2;



- **Kunststoffhochbarrierelaminat (A2-B2)**  
in Kombination mit pyrogener Kieselsäure:

- maximal zu erwartende Baustoffklasse B2,
- Kern aus PUR-Schaum B2;

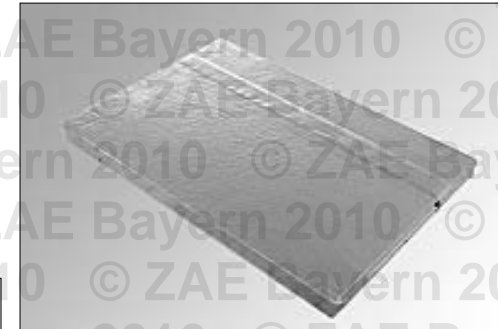


Quelle: variotec GmbH & Co. KG

- derzeit erzielbare Baustoffklasse des blanken VIP (B2-B3).

# Hocheffiziente Wärmedämmung

- Bauaufsichtlich zugelassene VIP (B2):



Quelle: Porextherm Dämmstoffe GmbH, Vaku-Isotherm GmbH, va-q-tec AG





**EnOB**

Forschung für  
Energieoptimiertes Bauen



**ViBau**



**VIP-BAU.DE**

Vakuum-Isolations-Paneele am Bau

# Vakuumdämmung im Bauwesen

**Bauphysik**

**Fragen?**