

# Systematisiertes Bauen mit vakuumgedämmten Betonfertigteilen

Dipl.-Ing.(TU) Matthias Hangleiter  
Geschäftsführer  
A. Hangleiter GmbH & Co. KG  
Bleicherstraße 26  
88212 Ravensburg  
www.hangleiter.de

## 1 Einleitung

Zur Einsparung von Heizenergie und damit zur Verringerung von CO<sub>2</sub>-Emissionen ging in Deutschland der Trend in den letzten Jahren zu immer besser wärmedämmten Gebäuden. Gesetzliche Normen wie die Wärmeschutzverordnungen, die immer wieder verschärft wurden, und aktuell die Energieeinsparverordnung legten Mindestwerte für die wärmetechnischen Kennzahlen von Gebäuden fest. Im Hinblick auf die endlichen Ressourcen Erdöl, Erdgas und Kohle sowie die zunehmende Klimaveränderung ist in Zukunft mit noch höheren Anforderungen an den Wärmeschutz zu rechnen.

Bereits heute werden so genannte Passivhäuser mit einem Jahresheizwärmebedarf von unter 15 kWh/(m<sup>2</sup>a) gebaut. Um diesen Wert zu erreichen, waren bisher Dämmstoffdicken von 25 - 35 cm und damit Wandstärken bis zu 60 cm erforderlich, was einerseits zum architektonisch sehr unattraktiven "Schießcharteneffekt" bei Fenstern und andererseits zu Wohnraumverlust bei fest vorgegebenen Außenabmessungen führte.

Dieses Problem läßt sich durch den Einsatz so genannter Vakuumisolationspaneele (kurz VIP) lösen, die eine fünf- bis zehnmals geringere Wärmeleitfähigkeit haben als "konventionelle" Dämmstoffe, wie Schäume oder Fasern.

Die Verarbeitung der Vakuumdämmung ist allerdings nicht unkritisch, da die Hüllfolie sehr leicht verletzt, und das Paneel damit belüftet werden kann. Systematisiertes Bauen gewinnt deshalb im Hinblick auf die steigenden technischen und bauphysikalischen Anforderungen zunehmend an Bedeutung. Vor allem bei der Verwendung von VIPs ist zur Sicherung der Verarbeitungs- und Qualitätsansprüche ein industrieller Fertigungsprozeß von großem Vorteil. Hierbei bietet der Baustoff Beton, als Tragschale für die VIPs, ideale Voraussetzungen, da er hervorragende Eigenschaften im Hinblick auf Vorfertigung, Verarbeitung, Formgebung, Integration von Bauteilen, Schalldämmung und Wärmespeicherung hat.

## 2 Systementwicklung und Wandaufbau

### 2.1 Forschungsprojekt „Solaroptimiertes Bauen, Teilkonzept 1: Entwicklung von vakuumgedämmten Betonfertigteilen“

In einem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit geförderten Projekt (Förderkennzeichen 0327321 C) entwickelte die Firma A. Hangleiter GmbH & Co. KG vakuumgedämmte Betonfertigteile, die bereits bei einer Dicke von ca. 27 cm den für Passivhäuser erforderlichen Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) von nur 0,15 W/m<sup>2</sup>K erreichen. Für eine industrialisierte Bauweise mit VIPs wurden neben der sicheren Integration der Dämmelemente auch zahlreiche Anschluss- und Übergangsdetails entwickelt, simuliert und optimiert. Beteiligte Projektpartner waren:

- das Bayerische Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V. (ZAE Bayern) – wissenschaftliche Begleitung,
- die Firma Wacker Chemie GmbH – Vakuumisolutionspaneele,
- die ArchitektenWerkgemeinschaft Weinbrenner.Single. – Detailentwicklung und Planung eines Demogebäudes.

Die im Forschungsprojekt entwickelten, vakuumgedämmten Betonfertigteile haben folgende Eigenschaften:

- Gesamtwanddicke (inkl. hinterlüfteter Fassade, 40 mm Lüftungsebene): 27 cm
- Mittlerer U-Wert (inklusive aller Wärmebrücken) von 0,15 W/mK und damit passivhaustauglich
- nachträgliche Austauschbarkeit eventuell defekter VIPs ist jederzeit möglich
- Schutz der VIPs vor Beschädigung und vor Feuchte (Witterung und Feuchte aus dem frisch gegossenen Beton)
- Sichtbetonqualität auf der Rauminnenseite
- hoher witterungsunabhängiger Vorfertigungsgrad durch ein einfaches, schnelles, flexibles und relativ kostengünstiges Herstellungsverfahren

### 2.2 Konstruktiver Wandaufbau

Die Dämmschicht, bestehend aus einer 3 cm starken, vlieskaschierten PU-Hartschaumplatte, einem 3 cm starken VIP und einer Alufolie als Dampfsperre, wird auf den frischen Beton (Außenseite) aufgelegt. In die Stoßfugen werden spezielle, extrem wärmebrückenarme Gewebeankeiler eingedrückt, die die Dämmschicht nur auf kleinster Fläche durchdringen. An diesem Gewebeankeiler wird dann ein am Gebäude vertikal verlaufendes Tragprofil befestigt. Dieses Profil hält die Dämmschicht auf Zug am Beton und bildet gleichzeitig eine statisch wirksame Unterkonstruktion für die Fassade. Auf diese Unterkonstruktion können für den Witterungsschutz dann fertige Fassadenplatten, Putzträgerplatten oder eine Holzschalung montiert werden.

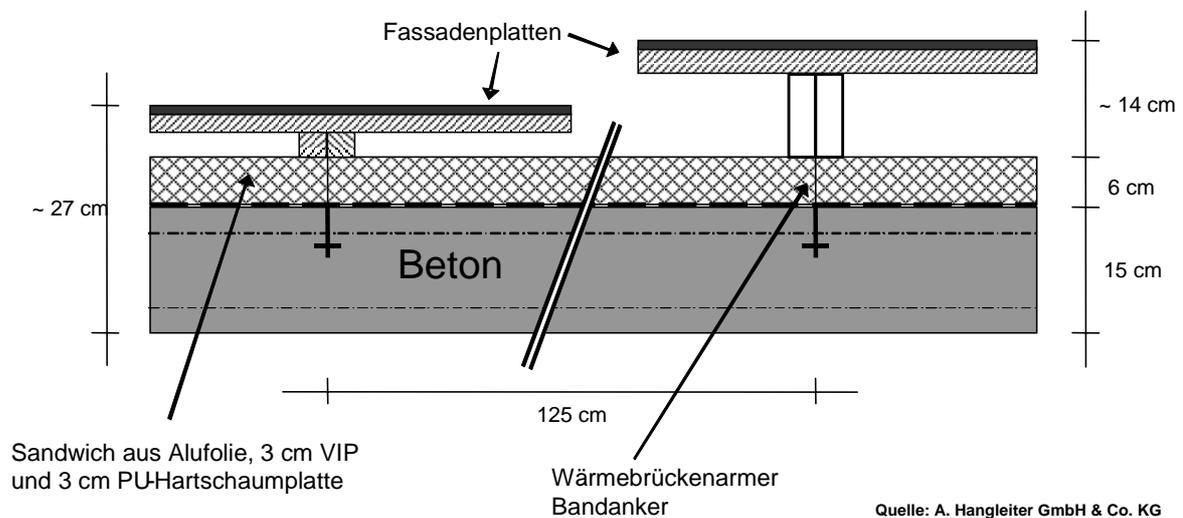


Bild 1: Horizontalschnitt durch ein vakuumgedämmtes Betonfertigteil. Links: mit 40 mm Hinterlüftungsebene, rechts: mit 110 mm Hinterlüftungsebene zur Aufnahme von Jalousiekästen.

Dieses vorgefertigte, hochdämmende, hinterlüftete Außenbauteil weist dann einen mittleren U-Wert (also unter Einbeziehung aller Wärmebrücken) von nur  $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$  auf. Die Gesamtdicke dieses Elements entspricht etwa der Dicke der Dämmschicht, die bei konventioneller Technik notwendig gewesen wäre, um diesen U-Wert zu erreichen.

Bei der Herstellung der vakuumgedämmten Betonfertigteile werden mit einer speziell entwickelten Laibungskonstruktion gleich die Fenster- und Türelemente mit eingebaut. Die Anschluss- und Übergangsdetails wurden im Forschungsprojekt optimiert und somit die dadurch entstehenden Wärmebrücken minimiert. Aufwändige Montage- und Abdichtungsarbeiten auf der Baustelle entfallen. Außerdem können im Fertigteil bereits sämtliche Elektro- und Sanitär-Einlegearbeiten integriert werden.

Die Innenoberfläche der Fertigteile wird in Sichtbetonqualität hergestellt. Diese kann je nach Wunsch naturbelassen, lasiert, gestrichen, gespachtelt, tapeziert oder verputzt werden.

### 3 Demoobjekt – Wohnhaus mit Büro in Ravensburg

Um sämtliche Anschluß- und Übergangsdetails entwickeln zu können, wurde ein komplettes Demogebäude aus vakuumgedämmten Betonfertigteilen durchgeplant. Dabei wurde von Anfang an eine konsequente horizontale und vertikale Rasterung berücksichtigt. Sämtliche Öffnungen und Wand- bzw. Deckendurchbrüche wurden an diesem Raster ausgerichtet.



Bild 2: Westansicht Demogebäude mit horizontaler und vertikaler Rasterung

Die Rasterung ermöglicht eine durchgängige Systematisierung bzw. Standardisierung sämtlicher Bauteile. Die Gebäudeabmessungen, die Dämmelemente, die Türen und Fenster, die Fassaden- und die Dachkonstruktion können modular aufgebaut und beliebig im Raster formatiert werden. Die Rasterung ist außerdem die Voraussetzung, dass überwiegend Standardformate der VIPs eingesetzt werden können. Beim Demogebäude wurden für die Hauptflächen lediglich drei VIP-Standardformate benötigt.

Zur Aussteifung der vorgefertigten Wandelemente wird bevorzugt eine massive Ortbetondecke mit Halbfertigteilen eingesetzt. Die oberste Decke bildet gleichzeitig den statischen Unterbau für die vakuumgedämmte Dachkonstruktion.

Beim Demogebäude wurde die oberste Decke (Flachdach) vollflächig mit Vakuumdämmung ausgelegt. Darauf wurden auf einer Schutzfolie großformatige, vorgefertigte, 10 cm schlanke Betonfertigteileplatten mit Dachüberstand aufgelegt. Somit wird eine umlaufend geschlossene Dämmhülle aus VIPs und ein extrem schlanker Dachaufbau mit einer Konstruktionshöhe von lediglich 14 cm ermöglicht. Auf die Betonabdeckplatten wurde eine konventionelle Flachdachabdichtung und anschließend eine zurückversetzte Dachbegrünung aufgebracht.

Die im Forschungsprojekt neu entwickelte Fassadenkonstruktion wurde am Demogebäude erfolgreich umgesetzt. Hierfür wurden in den Betonabdeckplatten am Dachüberstand bereits Halteschienen eingebaut, von denen die Fassadentragprofile abgehängt wurden. Das Eigengewicht der Fassade wird also nach oben gehängt und über das Massivdach abgetragen. Die Fassade steht bzw. hängt somit als eigenes statisches System vor der Dämmebene und wird lediglich über die Bandanker gegen Windsog horizontal gehalten. Die Fassadenprofile hängen unmittelbar vor der Dämmebene, so dass auch Druckkräfte (Winddruck) direkt abgeleitet werden können. Außerdem werden so die Dämmplatten dauerhaft mechanisch gehalten und gegen ein Ablösen gesichert. Ein weiterer Vorteil dieser Konstruktion liegt in der Demontierbarkeit, so dass die Dämmebene jederzeit zugänglich gemacht werden kann.

Im Erdgeschoß war ein runder Anbau vorgesehen. Auch dieser wurde konsequent mit VIPs gedämmt. Dafür wurden die vorbereiteten VIPs nachträglich in kleinen Segmenten auf die rund betonierte Wand aufgeklebt. Nachdem an diesem Bauteil kein Dachüberstand vorgesehen war, wurde für die Fassadenkonstruktion ein umlaufender, schmaler Betonsockel hergestellt, auf dem die Fassadentragprofile aufstehen. Durch die Rundung steift sich dieses System selbst aus, so dass keine zusätzlichen Bandanker notwendig waren.

Nachdem der Heizenergiebedarf wegen der hochgedämmten Außenhülle extrem niedrig war, wurde im Demoprojekt ein innovatives, energiesparendes Deckenheiz- und Kühlsystem integriert. Bei der Herstellung der Massivdecken wurden vorgefertigte Heiz- bzw. Kühlregister in die Schalung eingelegt und anschließend einbetoniert. Diese Register liegen nur wenige Millimeter von der Betonoberfläche entfernt und geben damit die erforderliche Wärme (Winter) bzw. Kälte (Sommer) über Strahlung sehr reaktions-schnell ab. Die erforderliche Heiz- bzw. Kühlenergie wird über drei Erdsonden (je 110 m) und eine Wärmepumpe erzeugt. Gleichzeitig wird über Solarkollektoren auf dem Flachdach der Brauchwasserspeicher zusätzlich erwärmt.

Wegen diesem Niedertemperatursystem (Vorlauftemperatur Winter: + 26°C, Sommer: + 18°C) wird ein hoher Wirkungsgrad der Wärmepumpe erreicht. Zusätzlich kann das Gebäude im Sommer über einen Wärmetauscher, ohne zusätzliche Kühlenergie, angenehm temperiert werden. Sämtliche Technikkomponenten werden über EIB vernetzt und zentral gesteuert. Somit kann das System über mehrere Heiz- bzw. Kühlperioden hinweg optimiert und über eine Datenleitung (Internet) extern verwaltet und gewartet werden.



Abbildung 4: Schematische Darstellung eines Deckenheiz- und Kühlsystems (Hybridsystem) in einer Massivdecke. (Bild: RCS, System Climacool RBO-90)

Eine weitere Innovation stellt das sensorgesteuerte Lüftungssystem im Demogebäude dar. Dieses System wurde gewählt, da wegen des relativ hohen Luftvolumens eine konventionelle Be- und Entlüftungsanlage unverhältnismäßig teuer gewesen wäre. In diesem Fall werden über einen VOK-Luftsensor elektrisch betriebene Kippflügel sowie ein Abluftgebläse gesteuert. Somit wird lediglich bei Bedarf automatisch für einen kurzen Luftaustausch, ähnlich wie beim Stoßlüften, gesorgt. Über eine Visualisierung kann jederzeit die Luftqualität sowie der Feuchtegehalt überwacht werden.

Mit der Fertigstellung des Demogebäudes Anfang 2005 wurde das systematisierte Bauen mit vakuumgedämmten Betonfertigteilen zur Markt- und Serienreife gebracht.

#### 4 Kalkulatorischer Kostenvergleich

Mauerwerk mit WDVS	Betonfertigteile mit VIP
<p>1 2 3 4</p> <p>10 240 260 10</p> <p>520 mm</p>	<p>1 2 3</p> <p>150 60 60</p> <p>270 mm</p>
<p>1 - Innenputz, geglättet: 12,00 €/m<sup>2</sup></p> <p>2 - HLZ, 1200 kg/m<sup>3</sup>: 58,00 €/m<sup>2</sup></p> <p>3 - PS 15, WLG 0,40: 43,00 €/m<sup>2</sup></p> <p>4 - Außenputz, gestrichen: 40,00 €/m<sup>2</sup></p>	<p>1 - Betonfertigteile, Sichtbeton: 105,00 €/m<sup>2</sup></p> <p>2 - VIP mit Schutzplatte: 85,00 €/m<sup>2</sup></p> <p>3 - Hinterlüftete Fassade: 90,00 €/m<sup>2</sup></p>
<p><b>Gesamtkosten: 153,00 €/m<sup>2</sup></b></p>	<p><b>Gesamtkosten: 280,00 €/m<sup>2</sup></b></p>

<b>Kostenvergleich für ein Einfamilienhaus mit ca. 150 m<sup>2</sup> Wohnfl.</b>	
Außenwandfläche 200 m <sup>2</sup> : 30.600,00 €	Außenwandfläche 200 m <sup>2</sup> : 56.000,00 €
	./. Nutzflächengewinn
	18 m <sup>2</sup> x 2200 €/m <sup>2</sup> = -39.600,00 €
<b>Effektive Kosten: 30.600,00 €</b>	<b>Effektive Kosten: 16.400,00 €</b>
Zzgl. laufende Kosten für Fassadensanierung	Wartungsfrei, keine laufenden Kosten
	<b>Kostenersparnis : 14.200 € bzw. 71 €/m<sup>2</sup></b>