

An dem Studien- und Forschungsprojekt
„Einbindung von Vakuum – Isolationspaneelen in
modularen Fassadensysteme“ haben mitgewirkt:

Fachbereich Architektur

Dipl.-Ing. Karin Wert

Dipl.-Ing. Almut Wolff

Sigmar Stinzing, Cand. d. Architektur

Timo Deters, Cand. d. Architektur

Dipl.-Ing. Elia Mingrone

Prof. Hartmuth Stechow

Prof. Georg Seegräber

Fachbereich Bauwesen

Prof. Dr. Jörg Härtel

Inhalt

Einleitung	1
1. Klimaschutz, Nachhaltigkeit, Wärmedämmung	2
2. Stand der Wissenschaft und Technik	3
3. Eigenschaften von Vakuum-Isolationspaneelen	4
4. Anwendungsbeispiele	5
4.1. Wärmedämmverbundsystem, Sanierung	5
4.2. Wärmedämmverbundsystem Neubau	6
4.3. Vorgefertigte Konstruktionen mit VIP	7
4.4. Austauschbare VIP beim Neubau	8
4.5. Austauschbare VIP , Sanierung	9
4.6. Lösungsansatz für eine nichttragende Außenwand	10
5. Fragestellung und Zielsetzung	11
5.1.0 Ökologische Herstellung	13
5.1.1 Holz als ökologischer, nachwachsender Rohstoff	13
5.1.1.1 Bearbeitbarkeit	13
5.1.1.2 Physikalische Eigenschaften von Holz	14
5.1.1.3 Wiederverwertbarkeit	14
5.1.2. Ökobilanz von Vakuum-Isolationspaneelen	15
5.2. Transport/ Lagerung	19
5.2.1. Schutz/Vorfertigung	19
5.2.2. Handhabbarkeit	19
5.2.3. Reduktion der Mengen	19
5.3. Montage	20
5.3.1 Handhabbarkeit	20
5.3.2. Vorfertigung	20
5.3.3. Befestigung	21

5.4.	Nutzung	22
5.4.1.	Energiespareffekt der Konstruktion	22
5.4.1.1.	Randverbund der VIP	22
5.4.1.2	Fugen zwischen den eingelegten VIP und Fugen zwischen VIP und Kastenelement	23
5.4.1.3	Fugen zwischen den zum Schutz der VIP zu entwickel- den Kastenelementen	23
5.4.1.4	Durchdringungen	24
5.4.2.	Flächenspareffekt	25
5.4.3.	Architektursprache/Ästhetik	25
5.5.	Wiederverwertbarkeit des Materials	27
5.5.1	Lebensdauer	27
5.5.2.	Überprüfungsmöglichkeit des Vakuums	27
5.5.3.	Recycling	28
6.0.	Studentische Arbeiten aus 2007	29
6.1.	Herrmann Weglage	30
6.2.	Sergio De Sa, Nabil El Schami	34
6.3.	Aron Luft, Christiane Janssen	39
6.4.	Jakob von Zengen, Patrick Tiemann, Corinna Keppeler	43
6.5.	Alexander Größ, Roman Rosental, Frank Zietlow, Stefan Köther	46
6.6	Marcel Zerfas, Peter Eberlei	50
7.	Studienprojekt im Masterstudiengang 2008/2009	57
	Axel Haarmann	59
	Dorien Wulff	60
	Lasse Freytag	61
	Laura Warnke	62
	Marlene Brudeck	63
	Nadine Hermes	64
	Patrick Grossmann	65
	Daniel Spinneker	66
	Enno Garten	67
	Dominik Willgerod	68

8.	Entwicklung und Bau einer Modellfassade im Maßstab 1:1	69
8.1.	Aufbau des ersten Prototyps	70
8.2.	Beurteilung des ersten Prototyps	71
8.3.	Ergebnisse	74
8.4.	Ausblick	75
8.5.	Fazit	79
8.6.	Literaturangaben	81

Einleitung

Ziel des interdisziplinären Studien- und Forschungsprojekts war die Entwicklung eines neuen, marktfähigen Fassadensystems, in dem Vakuum - Isolationspaneele (VIPs) als Dämmung zur Anwendungen kommen sollten.

Um die baupraktische Verwendung der VIPs als Alternative zu herkömmlichen Dämmstoffen zu fördern, sollten in Hinblick auf die Planung, Ausführung und Wartung spezifische Kriterien erarbeitet werden.

Der erste Abschnitt des Studienprojekts wurde als interdisziplinäre Lehrveranstaltung der Fachbereiche Bauwesen und Architektur im Wintersemester 07/08 durchgeführt. Nach einführenden Vorlesungen haben Studierende der beiden Fachbereiche in zwei Workshops an der Entwicklung der neuen Fassadenkonstruktion gearbeitet und die Ergebnisse in Modellen und Detailzeichnungen dargestellt. Die studentischen Beiträge wurden im Anschluss wissenschaftlich ausgewertet.

Während einer zweiten Projektphase, die im Zusammenhang mit einer zweisemestrigen Lehrveranstaltung des Masterstudiengangs Architektur im Studienjahr 2008/2009 durchgeführt wurde, entwickelten Studierende Anwendungsbeispiele im Bereich des temporären Bauens.

Als Abschluss der Veranstaltung wurde mit den Studierenden dieser Lehrveranstaltung ein Fassadenmodell im Maßstab 1:1 gebaut, um die Machbarkeit der parallel weiterentwickelten Forschungsergebnisse zu überprüfen. Die studentischen Beiträge wurden ebenfalls dokumentiert und zusammen mit dem 1:1 - Modell ausgestellt.

Dieser Abschlussbericht beinhaltet eine zusammenfassende Darstellung der bisherigen Bearbeitung (2007- 2009) und soll als Grundlage für weitere Forschungsaktivitäten des Fachbereiches Architektur auf dem Gebiet der Gebäudehülle dienen.

1. Klimaschutz, Nachhaltigkeit, Wärmedämmung

Der derzeitige Energieverbrauch in Gebäuden hat am Gesamtenergieverbrauch in Deutschland einen Anteil von ca. 30 %. Davon fließen 75% in die Beheizung.

Die vergangenen drei Jahrzehnte waren durch eine kontinuierliche Verschärfung der gesetzlichen Anforderungen geprägt.

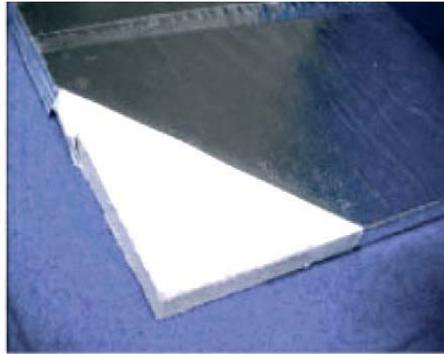
Diese Anforderungen beziehen sich sowohl auf Neubauten, als auch auf Nachrüstverpflichtungen im Altbau und den Ersatz von Bauteilen im Sanierungsfall. Hier liegt statistisch gesehen das größte Einsparpotential, da ca. 80 % der deutschen Wohngebäude aus der Zeit vor 1980 stammen.

Jeder Neubau erhöht den kumulierten Gesamtenergiebedarf durch seine Erstellung und den Verbrauch. Gerade hier sollte deshalb ein besonderes Augenmerk auf einen ganzheitlichen Planungsprozeß gelegt werden. Dieser umfaßt neben dem Anstreben eines niedrigen Energieverbrauchs auch alle anderen Nutzeranforderungen.

Zu entwickeln ist der behutsame und energiesparende Umbau des Bestands und die Konzipierung von Nullenergiegebäuden bei Neubauten.

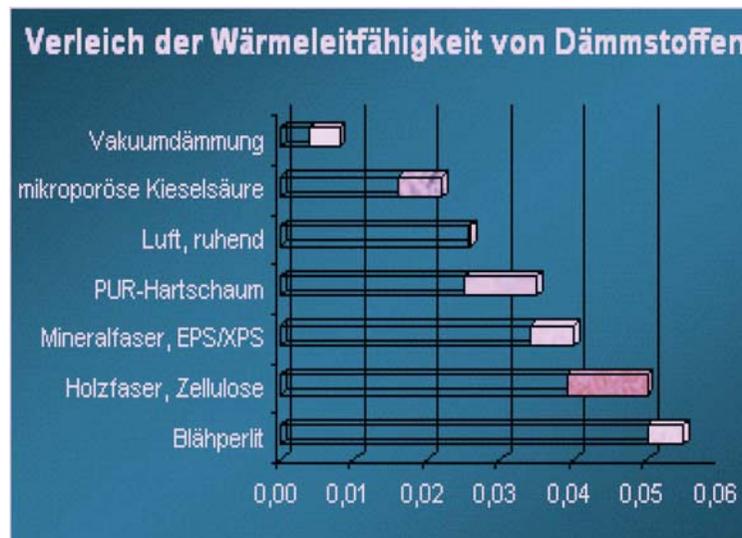
Das bereits jetzt erreichte Niveau der Gebäudedämmung mit Dämmstoffstärken von ca. 25 cm und mehr und der nichtlineare Zusammenhang zwischen Dämmschichtstärke und Dämmvermögen führen zu einem gesteigerten Interesse an effektiveren Lösungen für den Wärmeschutz, die geringere Außenwandstärken ermöglichen.

2. Stand der Wissenschaft und Technik



Aufgeschnittenes VIP (va-Q-vip) der Firma va-Q-tec
Bestandteile:

- Metallisch bedampfte Mehrschichtfolie
- Polyesterflies
- Kernmaterial aus Kieselsäure



Vakuu-Isolationspaneele sind evakuierte Dämmplatten, die einen microporösen Kern aus gepresster Kieselsäure (als Stützkörper) besitzen, und mit einer Hochbarrierefolie ummantelt sind.

Die Wärmeleitfähigkeit der Luft ist eine bedeutende Komponente in üblichen, luftgefüllten Dämmstoffen. Wird die Luft entfernt, so wird die Wärmeübertragung durch Luftmoleküle ausgeschaltet. Übrig bleibt zum einen nur noch die Übertragung der Wärme durch Wärmestrahlung, die durch den Zusatz von speziellen Trübungsmitteln auf einen niedrigen Wert gebracht werden kann und zum anderen die geringe Wärmeleitfähigkeit des hochporösen Kernmaterials.

Das Kernmaterial sollte offenporig und somit evakuierbar sein. Es muss den äußeren Belastungsdruck durch die Atmosphäre von 10 Tonnen pro Quadratmetern aufnehmen können. Außerdem sollte es eine geringe Wärmeleitfähigkeit aufweisen. Geeignete Materialien sind feinkörnige Pulverplatten, speziell behandelte Glasfaservliese oder offenporige Kunststoffschäume.

Kieselsäurepulver hat die gleiche chemische Struktur wie Sand. Durch einen speziellen Herstellungsprozess können jedoch extrem feinkörnige Pulverteilchen mit einer amorphen (glasartigen) Struktur erzeugt werden. Zu Platten verpresste Kieselsäure weist daher Hohlräume mit hochporöser Struktur auf, die um den Faktor 20 bis 100 kleiner sind als bei allen anderen Materialien, wie Perlitpulver, Glasfasern oder organischen Schäumen.

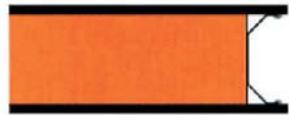
Die Anforderungen an das Vakuum sind daher ebenfalls um den Faktor 20 bis 100 geringer. Man kann mit mikroporösem Kieselsäurepulver zum Teil schon mit einem Grobvakuum von 10 bis 100 mbar eine sehr geringe Wärmeleitfähigkeit erreichen.

Daher können auch spezielle metallisierte Hochbarrierefolien, die fast frei von Wärmebrücken sind, als Umhüllungen der mikroporösen Dämmkerne zur Anwendung kommen und bei typischen Durchlassraten von 1-2 mbar pro Jahr den Druck auf lange Zeit auf Werte unter 100 mbar halten (der Anfangsdruck nach der Herstellung liegt gewöhnlich im Bereich von 1 mbar).

Die Wärmeleitfähigkeit beträgt bei den zugelassenen Dämmstoffen 0,008 W/mK, also ca. 5 -10 mal weniger als die Wärmeleitfähigkeit konventioneller Dämmstoffe.



1 Randverbund bei Hüllmaterial Glas (abstrahiert)



2 Randverbund bei Hüllmaterial Metallblech



3 Randverbund bei Hüllmaterial Folie



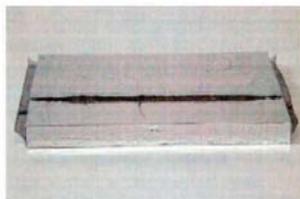
Randverbund bei einem frühen Paneel der Firma Microtherm



Frühes Paneel der Firma ZZWancor/Porextherm



Paneel des ZAE-Bayern, ca. 1998



Paneel d. Fa. va-Q-tec AG, ca. 2003

Entwicklung rechteckiger Vakuum-Isolationspaneele

VIP-Randverbund (schematisch)

3. Eigenschaften von Vakuum-Isolationspaneelen

Die Hüllfolie der Vakuum-Isolationspaneele ist extrem empfindlich. Würde die Folie verletzt, würden die Vakuumdämmplatten belüftet und die Wärmeleitfähigkeit würde auf einen Wert von 0,020 W/mK steigen.

Damit ist trotz des Verlustes des Vakuums die Wärmeleitfähigkeit eines Vakuum-Isolationspaneels niedriger als die Wärmeleitfähigkeit eines besonders guten Dämmstoffs. (zum Vergleich Mineralwolle: 0,035-0,045 W/mK). Der Wärmedurchgang ist jedoch bei gleicher Dämmstärke ca. 2,5 mal so groß wie bei einem unbelüfteten Paneel.

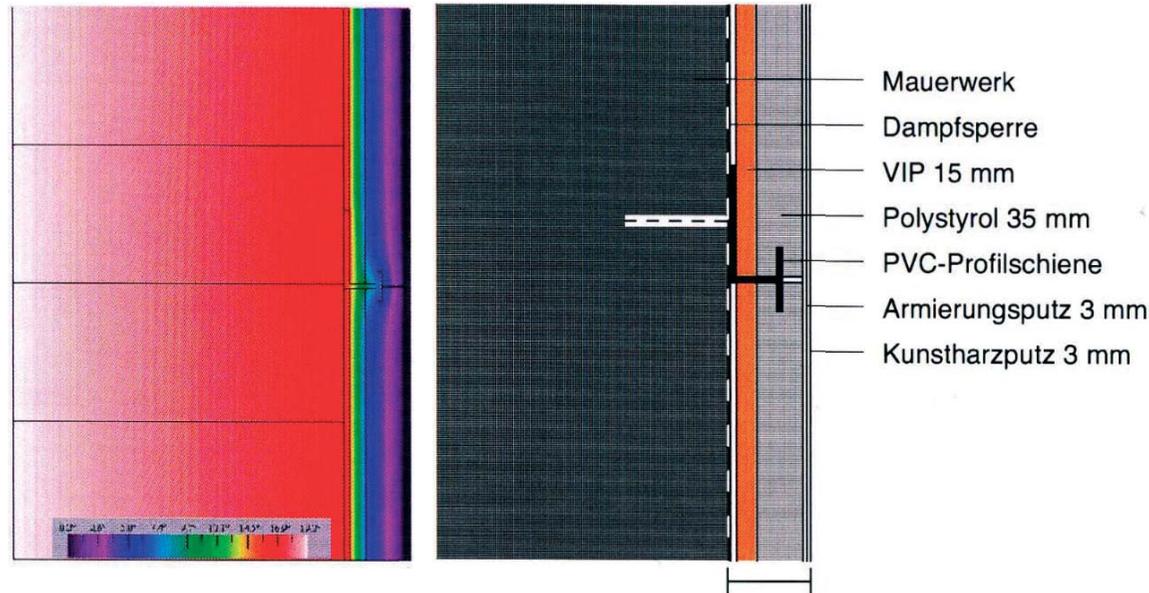
Die Vakuum-Isolationspaneele müssen deshalb beim Transport, bei der Montage und auch später bei der Nutzung geschützt werden.

Deshalb können VIPs auch nicht auf der Baustelle zugeschnitten werden, sondern es sind in der Regel eine Vorfertigung und Verlegepläne zwingend notwendig.

Zur Zeit liegen die Kosten einer ungeschützten, 2 cm starken VIP-Platte bei ca. 60 € pro m².

Die hohen Kosten sind u.a. der Grund, warum die Vakuum-Isolationspaneele zur Zeit noch vorrangig im Bereich von baulichen Sonderlösungen eingesetzt werden. (Fenster- und Türelemente, Brüstungselemente)

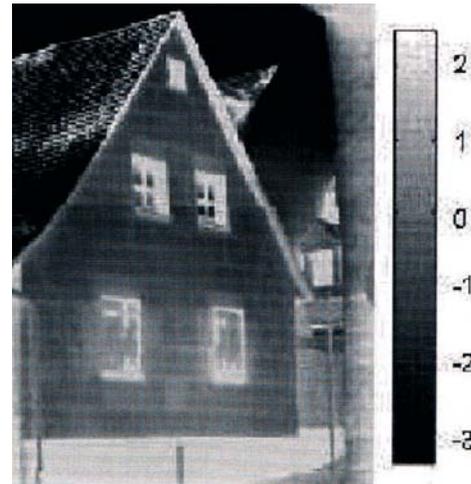
Das Material der Kernplatte, die mikroporöse Kieselsäure, ist ein wertvoller Rohstoff, der nach Wiederaufbereitung erneut verarbeitet werden kann, z.B. zu einer neuen Vakuumdämmplatte. Grundsätzlich ist nach derzeitigen Erfahrungen mit Kieselsäure keine nachteilige Einwirkung auf die Umwelt zu erwarten. Die Pulverplatte kann bei Bedarf in einer geeigneten Deponie abgelagert werden. Die hochwertige Umhüllung kann, wie jede andere Verpackungsfolie, entsorgt werden.



Isothermendarstellung der Wandkonstruktion und Wandaufbau



... während der Montage. Die VIP werden stumpf (mit minimaler Fuge) gestoßen.



Thermographie - Aufnahmen nach einem Jahr. Wärmbrücken sind kaum sichtbar.

4. Anwendungsbeispiele

Konstruktionsbeispiele, bei denen die VIP nicht austauschbar sind :

4.1. Wärmedämmverbundsystem, Sanierung

Eine der ersten Versuchsanwendungen im Zusammenhang mit VIP wurde durch das ZAE-Bayern anlässlich der Sanierung einer Giebelfassade eines kleinen Hauses in Nürnberg mit sehr geringem Dachüberstand unternommen.

Mit einer zusätzlichen Polystyrolschicht geschützte VIP wurden mittels eines PVC-Schienensystems befestigt. Dabei wurde nach Angaben des ZAE der U-Wert der Giebelwand von ca. $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ auf $0,19 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ verbessert.

Um die Wärmenbrückenwirkung im Bereich der PVC-Schienen besser beurteilen zu können, wurde eine Isothermendarstellung des Wandaufbaus erzeugt, die den Temperaturverlauf im Bereich der VIP-Stöße (Fugenbreite 2-4 mm) verdeutlicht:

Im Putzbereich über der PVC-Schiene liegt die Oberflächentemperatur nur um ca. $0,1 \text{ K}$ über der Regelschnittstelle. Die Wärmebrücke kann somit als unkritisch eingestuft werden. Dies gilt auch für den Fall von defekten, also belüfteten VIP.

Erfahrungen:

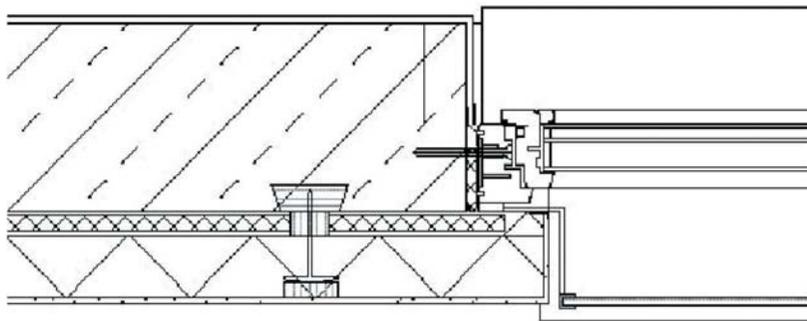
1. Die Handhabung ungeschützter VIP auf der Baustelle ist sehr kritisch, auch wegen der nahezu ausgeschlossenen Nachvollziehbarkeit der Ursache bei Versagen und der damit verbundenen Gewährleistungsfragen.
2. Die VIP sollten im Nachhinein austauschbar sein.
3. Unterschiedliche Zuschnitte und Formate der VIP (hier auch Dreiecke) stellen einen sehr hohen Aufwand dar.



Ansicht



Montage der VIP zwischen den PUR-Leisten



Wandaufbau, horizontal

4.2. Wärmedämmverbundsystem Neubau

Das Wohn- und Geschäftshaus in München steht an prominenter Stelle nahe dem Münchner Altstadttring. Bei innerstädtischen Grundstücken wie in der Seitzstraße sind die Grundstückspreise hoch und die Fläche begrenzt.

Konventionelle Dämmung würde bei diesem Gebäude eine Grundfläche von 125 qm in Anspruch nehmen, das entspricht 10% der Nutzfläche des Gebäudes. Durch die Vakuum-Dämmung in Verbindung mit dem Wärmedämmverbundsystem konnte der Prozentsatz auf 4% reduziert werden (50 qm).

Das 2004 fertiggestellte Gebäude weist eine Nutzfläche von 1350 qm auf.

Erfahrungen:

1. Interessant ist das für dieses Bauvorhaben entwickelte lineare Befestigungssystem aus einbetonierten PUR-Keilen, die zur Aufnahme der als Klemmleisten wirkenden PUR-Profile gedacht sind. Im Bereich der beiden übereinanderliegenden PUR-Streifen können nach Montage der VIP die Putzträgerplatten befestigt werden.
2. Die einschalig verlegten Vip sind durch diese Anwendung innerhalb des Wärmedämmverbundsystems nicht austauschbar und auch nicht hinterlüftet.



VIP in PUR geschützt
Glasfaseranker leiten
statische Lasten ab

Kerngedämmtes Holzfertigteil
der Firma VARIOTEC



4.3. Vorgefertigte Konstruktionen mit VIP

Projekte, bei denen VIPs zum Schutz in vorgefertigte Konstruktionen eingelegt werden, gibt es im Bereich der großformatigen Holzfertigteile und als Ortbetonkonstruktionen.

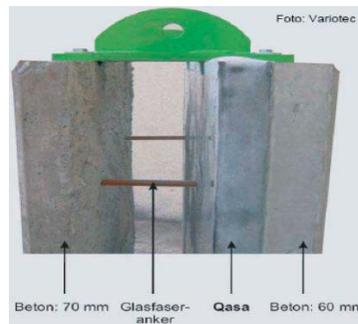
Dem Vorteil durch die Vorfabrikation, der im Wesentlichen durch den Schutz der VIP bei Transport und Montage begründet ist, stehen bei beiden Systemen erhebliche Nachteile gegenüber.

Erfahrungen:

1. An den Kanten der Fertigteile müssen die VIP durch festes Material mit ausreichender Stärke geschützt werden. Gleichzeitig ist hier auch der Verbund zwischen äußerer und innerer Schicht herzustellen. Dieser Randverbund führt zu einer linearen Wärmebrücke.
2. Zur Aufnahme von Toleranzen muß zwischen den Fertigteilen eine Montagefuge vorgesehen werden, die vor Ort zu dämmen und zu dichten ist. Diese notwendigen Montagefugen vergrößern die linearen Wärmebrücken und stellen hinsichtlich der Wasserführung - an der Fassade herab laufendes Niederschlagswasser - eine Schwachstelle dar.
3. Sowohl in den vorgefertigten Holzgroßelementen, als auch in den vorgefertigten kerngedämmten Betonfertigteilen sind die VIP nicht austauschbar. Das punktuelle Befestigungssystem über Glasfaseranker macht Aussparungen in den vorgefertigten VIP notwendig. Dadurch entsteht eine weitere Fehlerquelle in Bezug auf die Dichtigkeit und die notwendigen Aussparungen führen zu einer Verteuerung.



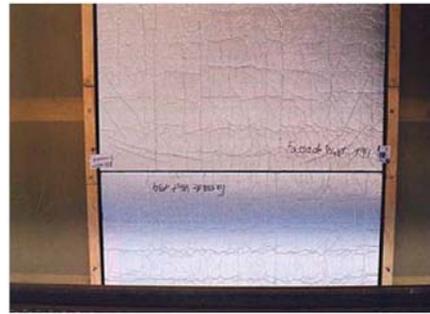
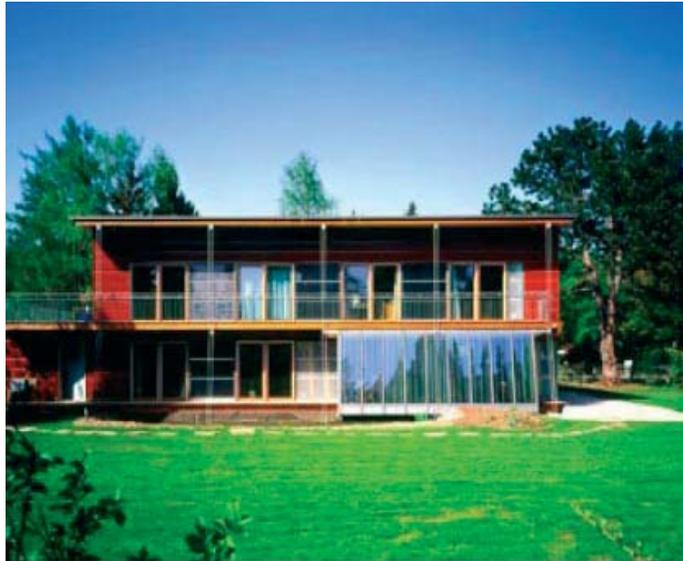
Kerngedämmtes Betonfertigteil
der Firma VARIOTEC



Ortbetonfertigteil
der Firma VARIOTEC

Betonkonstruktionen kommen auch mit einer Hohlachse zur Anwendung, die vor Ort ausgegossen wird. Ein Nachteil dieser Ortbetonkonstruktionen stellt die Betonfeuchtigkeit dar, die die Dämmwirkung der VIP entscheidend beeinträchtigen könnte. Aus Erfahrung weiß man, dass das Austrocknen solcher Beton - Sandwichkonstruktionen einen relativ langen Zeitraum benötigt (2-3 Jahre).

Da Wasserdampfmoleküle um ein vielfaches kleiner sind als Luftmoleküle besteht in feuchten Konstruktionen die Gefahr, dass Wasserdampfteilchen durch die Folie in das VIP eindringen und so die Dämmwirkung erheblich herabsetzen.



4.4. Austauschbare VIP beim Neubau

Bei dem Zweifamilienhaus in der Melchiorstraße in München Solln stand die leichte Zugänglichkeit und Austauschbarkeit der VIP im Vordergrund.

Auf einer Massivholzkonstruktion wurden VIP mit einem Regelformat von 100 cm x 105 cm x 4 cm verlegt. Die Vip waren beidseitig durch Weichfaserplatten geschützt und durch eine relativ breite Holzlattung getrennt worden, über die die Befestigung der außenseitigen Schichten erfolgt. Die Stöße zwischen den VIP und der Lattung wurden durch Kompriband weitgehend verschlossen.

Die Schichtholzlattung bildete eine relativ starke Wärmebrücke, wodurch der in der Fläche theoretisch erreichbare U-Wert von 0,10 W/(m²K) auf 0,14 W/(m²K) abgewertet wurde.

Dieser gesamtflächenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient ist in Anbetracht einer Wandstärke von 19 cm immer noch als sehr günstig einzuschätzen.

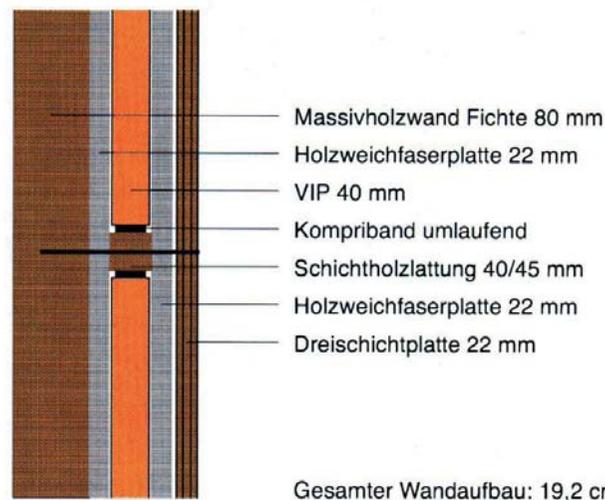
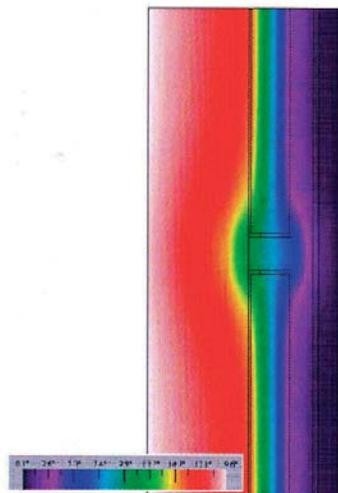
Simulationen und Messungen des ZAE konnten zeigen, dass auch diese Konstruktion bauphysikalisch einwandfrei ist, das heißt, die Wärmebrücken führen nicht zu kritischer Feuchtigkeitsanreicherung oder gar Tauwasserausfall.

Erfahrungen:

1. Das Flächeneinsparpotenzial gegenüber konventioneller Dämmung ist bei durchgängiger Verwendung von VIP groß. Für die Beispielanwendung belaufen sich diese auf 15 qm bezogen auf eine Hauptnutzfläche von 292 qm (ca. 5% Flächensparnis).
2. Die Maßhaltigkeit der VIP ist aufgrund der hohen Anforderungen bezüglich der Wärmebrückenproblematik kritisch. Nachträgliche Anpassungen sind nicht möglich.

Ansicht

Eingelegte VIP



Der Isothermenverlauf zeigt die starke Wärmebrücke deutlich (thermische Simulation von Jan Cremers), rechts: Wandaufbau

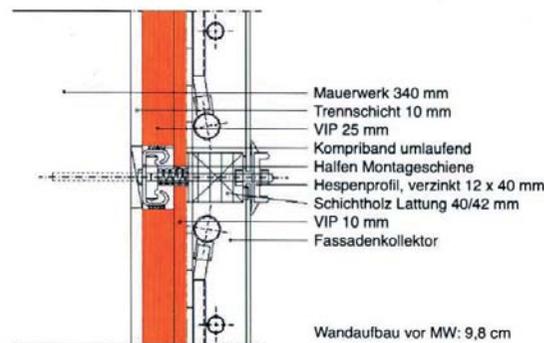
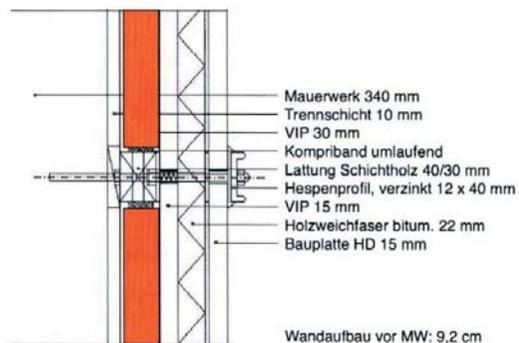
4.5. Austauschbare VIP , Sanierung

Für diese Anwendung kam ein Wandaufbau zum Einsatz, bei dem VIP zur Reduzierung der Wärmebrückenwirkung im Bereich der Befestigungen zweilagig eingebaut wurden. Mit dem Wandaufbau konnte laut ZAE-Bayern ein U-Wert von $0,155 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erreicht werden.

Auf der Südseite dieses Hauses wurde die Dämmkonstruktion der Nordseite durch die Ergänzung eines Absorbers so modifiziert, dass ein Fassadenkollektor entstand. Das ZAE hat für diesen Aufbau einen U-Wert von $0,19 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ermittelt.

Erfahrungen:

1. Der Wandstärkenunterschied zu den unsanierten Nachbarhäusern konnte trotz einer gravierenden Verbesserung des Wärmeschutzes auf ein Minimum reduziert werden.
2. Der vorhandene Dachüberstand musste nicht angepasst werden.
3. Der Einsatz von VIP im Bereich von Sonnenkollektoren ist durch die Hitzeentwicklung mit großen Problemen behaftet.
4. Durch die mehrlagige Verwendung von VIP wurde der Kostenaufwand bezogen auf die Dämmstärke deutlich erhöht, neben dem Materialaufwand bedingt durch einen größeren Montageaufwand, obwohl gleichzeitig die Anforderungen an die Passgenauigkeit leicht sanken und der negative Wärmebrückeneffekt einschaliger Dämmschichten spürbar reduziert wurde.

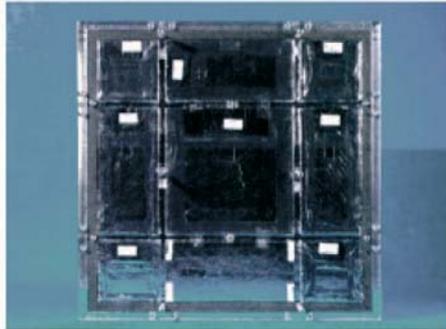


Links: Wandaufbau Nordfassade mit 2-lagig eingebauten VIP.

Rechts: Wandaufbau Südfassade mit integrierten Fassadenkollektoren



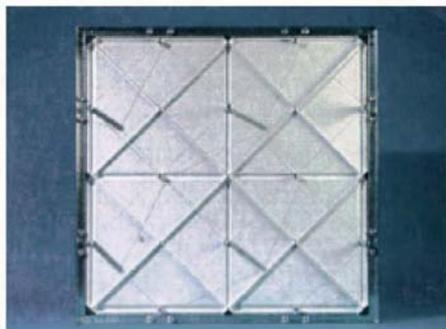
Die erste Lage VIP.



Die zweite Lage VIP.



Das fertige Modell von der einen ...



... und der anderen Seite

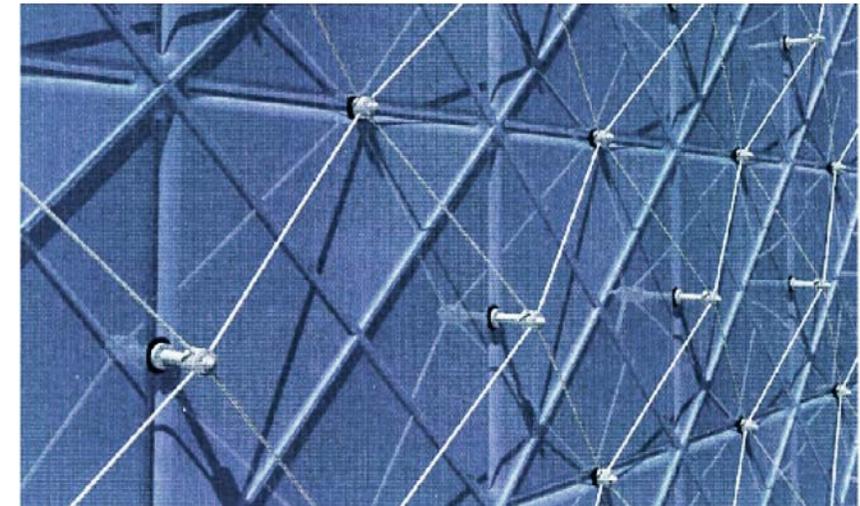
4.6. Lösungsansatz für eine nichttragende Außenwand

Besonders interessant erscheint der Ansatz von Jan Cremers, quadratische Kunststoffelementschalen so gegeneinander versetzt aufzubauen, dass kaum Wärmebrücken im Bereich von sich überlappenden Stegen entstehen können.

Die Haut des von Jan Cremers gebauten Prototypen besteht aus Polystyrol - Formteilen. Nach innen angeordnete Sicken, die in die Stöße der VIP eingreifen, dienen der Aufnahme der Seilbefestigungselemente. Die Aussteifung der Formteile in der Fläche erfolgt über nach außen zeigende Aufkantungen, die zur Entwässerung diagonal zu den senkrecht und waagrecht verlaufenden Sicken angeordnet sind.

Erwartungen:

Auch die außen und innen angeordneten Seilnetzkonstruktion unterliegt sehr unterschiedlichen Temperaturschwankungen. Im Bereich einer exponierten Südseite können dies außen bis ca. 100 K sein, innen dagegen beispielsweise nur 10 K. Der Unterschied zwischen beiden Seiten führt zu ungleichmäßigen thermischen Längenänderungen in den Seilen und damit u.U. zu einer asymmetrischen Verformung der Gesamtkonstruktion .



Detailansicht

5. Fragestellung und Zielsetzung

Die derzeitigen Anwendungsbeispiele beschäftigen sich im Wesentlichen mit Konstruktionen, bei denen die VIPs nicht austauschbar, nicht nachträglich überprüfbar und somit auch nicht wiederverwendbar sind.

Auch die beiden vorgestellten Konstruktionsbeispiele mit austauschbaren VIPs haben den Nachteil, dass die Vakuum-Isolationspaneele ungeschützt in der Fassadenkonstruktion liegen, so dass sie leicht beim Überprüfen des Vakuums oder beim Ausbau verletzt werden können.

Jan Cremers schlägt mehrere Varianten für nicht tragende Außenwände vor, die sich auf die Verwendung von exotisch anmutenden Kunststoffelementen beziehen und nicht wirklich der gängigen Baupraxis entsprechen. Vorzuziehen wäre ein einfacheres System, das sich nicht auf Sonderformen beschränkt, sondern innerhalb eines gängigen, üblichen Bauprozesses zur Anwendung kommen kann.

Optimal erscheint der Einsatz des Werkstoffes Holz, da es überall verfügbar, leicht bearbeitbar und auch vorfertigbar ist.

Aus den vorangeschilderten Überlegungen lässt sich folgende Fragestellung ableiten:

Wie könnte ein optimiertes Fassadensystem auf der Basis von Holzmodulen aussehen, das den gesamten Lebenszyklus von der Herstellung über den Transport, die Nutzung bis zum Recycling oder Rückbau der Konstruktion berücksichtigt?

Heutzutage sollten neue Technologien, Produkte und Konstruktionen daraufhin überprüft werden, ob Sie nachhaltig sind. Nachhaltigkeit bedeutet in diesem Sinne nicht nur, dass dieses neue Produkt oder die Konstruktion für Mensch, Umwelt und Wirtschaft machbar, bezahlbar und umsetzbar sein sollte, sondern dass die Entwicklung des Konzeptes den Lebenszyklus des Produktes von der Herstellung über den Transport, die Nutzung, aber vor allen Dingen auch die Wiederverwertbarkeit beinhaltet.

Auch die Analyse der derzeitigen Lösungen im Baubereich zeigt, dass hier bislang selten an ganzheitlichen, ökologischen Konzepten gearbeitet wird.

Nachdem die ursprüngliche Nutzung der Häuser beendet ist, erfolgt immer häufiger der Abriss, ohne Möglichkeiten der Wiederverwertbarkeit aufzugreifen. Da diese konzeptionell auch nicht mitgedacht wurden, fällt die Entscheidung zum Abriss.



Negativbeispiel Autowracks



Negativbeispiel Hausabriss



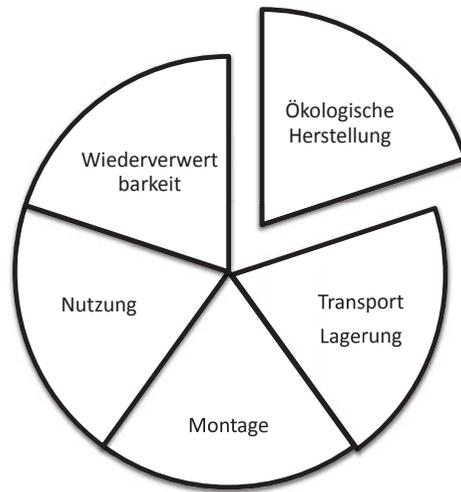
In Bezug auf ökologische Aspekte kommt in diesem Zusammenhang der Gebäudehülle eine besondere Bedeutung zu. Zum einen ist ihre „Dämmkraft“ direkt für den Energiehaushalt verantwortlich. Auf der anderen Seite ist die Hülle aber auch das Bauteil, das auf Grund der Witterungseinflüsse im Lebenszyklus eines Gebäudes die höchsten Unterhaltsaufwendungen in Anspruch nimmt.

Mit Vakuum-Isolationspaneelen steht eine hocheffiziente Wärmedämmung zur Verfügung, die zum größten Teil aus wiederverwertbarem Material besteht. Um diesen Vorteil nutzen zu können, ist das Bauteil Fassade entsprechend dem Lebenszyklus neu zu entwickeln. Um eine differenzierte Betrachtung vornehmen zu können, werden folgende fünf Kreissegmente eingeführt und im Weiteren in Bezug auf die zu untersuchende Konstruktion diskutiert.

1. Ökologische Herstellung
2. Transport/ Lagerung
3. Montage
4. Nutzung
5. Wiederverwertbarkeit

5.1.0 Ökologische Herstellung

Wie schon in Zusammenhang mit der eigentlichen Fragestellung erläutert, basieren die nachfolgend diskutierten Konstruktionen alle auf der Verwendung von Holz zur Einbindung von Vakuum-Isolationspaneelen. Ausgangsstoffe sind also zum einen Holz, zum anderen die in die Holzkonstruktion eingelegten Vakuum-Isolationspaneelen.



5.1.1. Holz als ökologischer, nachwachsender Rohstoff

Holz gilt allgemein als nachwachsender Rohstoff, der in unserer Region in hohem Maße verfügbar ist.

Deutschland ist ein Waldland: 11,1 Millionen Hektar – das ist ca. ein Drittel der Gesamtfläche – ist mit Wald bedeckt. Der gesamte Holzvorrat in Deutschlands Wäldern beträgt rund 3,4 Milliarden Kubikmeter. Diese Menge an Holz entspricht mehr als 300 Kubikmetern Holz pro Hektar. Damit verfügt Deutschland über die höchsten Holzvorräte in Europa - noch vor den „klassischen Waldländern“ wie Schweden oder Finnland.

In jedem Jahr wachsen pro Hektar Waldfläche in Deutschland mehr als zwölf Kubikmeter Holz nach. Dies sind mehr als 120 Millionen Kubikmeter Holz pro Jahr. Dem steht eine Holznutzung von ca. 70 Millionen Kubikmeter pro Jahr entgegen. Die Vorräte wachsen also weiter.

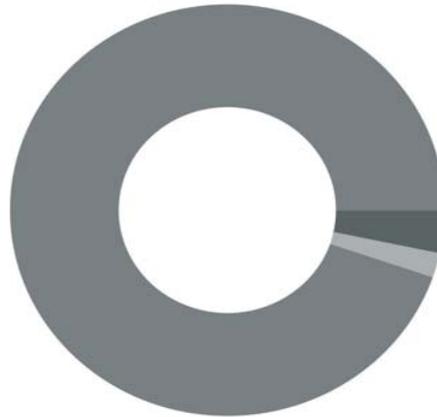
5.1.1.1 Bearbeitbarkeit

Holz ist ein relativ kostengünstiges Material. Sein Gewicht ist vergleichsweise gering und es ist relativ einfach zu bearbeiten. Außerdem spricht die trockene Montage dafür, Holz als Baustoff zu verwenden.

Die naturgegebene Vielfalt der verschiedenen Holzarten mit ihren sehr unterschiedlichen Eigenschaften bietet ein hohes Maß an Gestaltungsfreiheit und die Möglichkeit, das geeignete Material für die gewünschte Anwendung auszuwählen.



5.1.1.2 Physikalische Eigenschaften von Holz

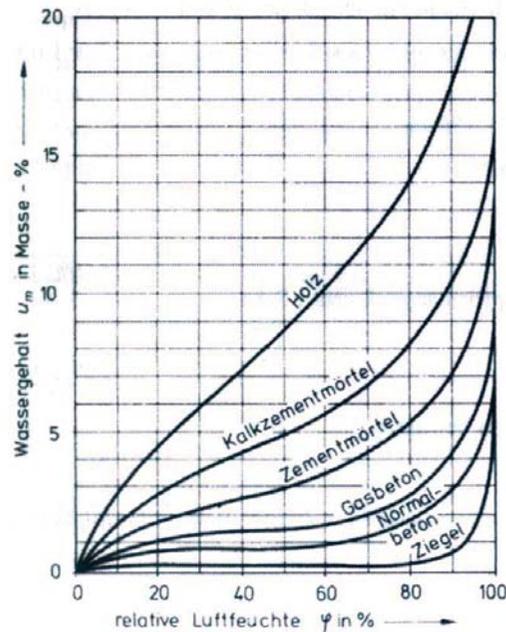


Vorrat:
3,4 Mrd. m³/Jahr

Zuwachs:
120 Mill. m³/Jahr

Nutzung:
70 Mill. m³/Jahr

Vorrat, Zuwachs und Nutzung von heimischem Holz, Informationsdienst Holz, 2009



Sorptionsthermen für verschiedene Baustoffe mit Angabe des Wassergehaltes in Masse-%

Die sprichwörtliche Kontaktwärme („Fußwärme“) von Holzoberflächen wie Dielenböden, Parkett und Wandbekleidungen beruht auf der niedrigen Wärmeleitfähigkeit des Holzes ($\lambda = 0,12-0,20 \text{ W/(mK)}$) in Verbindung mit der spezifischen Wärmekapazität $c = 2.100 \text{ J/(kgK)}$.

Diese beiden Stoffkennwerte sind maßgebend für die Wärmeableitung, die vom menschlichen Körper empfunden und bewertet wird. Beim Holz stehen sie in einem solchen Verhältnis zueinander, dass Oberflächentemperaturen als „warm“ bewertet werden, die bei anderen Materialien als „kalt“ erscheinen.

Holzoberflächen, soweit nicht durch filmbildende Behandlung gegenüber der Raumluft weitgehend abgeschlossen, können Dank der hygroskopischen Eigenschaften des Holzes je nach Raumklima Feuchtigkeit aufnehmen bzw. abgeben. Diese Erscheinung und die damit verbundenen Dimensionsänderungen werden geradezu als Charakteristikum des Holzes angesehen.

So liegt der Gedanke nahe, dass ein nennenswerter Anteil an Holzoberflächen das Raumklima hinsichtlich der Luftfeuchte puffern könne. Dies wurde häufig als positive Wirkung des Holzes auf das Raumklima hervorgehoben, dabei jedoch teilweise überschätzt.

Das schnelle Abführung von großen Feuchtigkeitsmengen durch Lüften oder Lüftungsanlagen bleibt gleichzeitig unumgänglich.

5.1.1.3 Wiederverwertbarkeit

Nachdem Holz als Baumaterial zum Einsatz gekommen ist, bestehen drei Möglichkeiten, das Material wiederzuverwerten:

1. Stofflich: Ein ausgebauter Balken wird anderswo wieder eingebaut. Das seit Jahrhunderten bewährte Rezept ist auch heute noch sinnvoll.
2. Thermisch: Altholz kann der Energiegewinnung dienen. Holz als Brennstoff bleibt CO₂-neutral, weil nicht fossil.
3. Biologisch: Das Holz wird dem natürlichen Abbau zurückgegeben. Das dabei freigesetzte CO₂ dient dem Aufbau neuer Wälder.

Wenn man den Stoffkreislauf konsequent zu Ende denkt, lassen sich Bau- und Werkstoffe aus Holz leicht integrieren: Unbehandelte Holzreste können stofflich oder thermisch weitergenutzt oder am Ende ihres Lebenszyklus durch einfache Verrottung wieder in den natürlichen Kreislauf zurückgeführt werden.

(Quelle: Holzabsatzfond)

5.1.2. Ökobilanz von Vakuum-Isolationspaneelen

Die Fragestellung der ökologischen Herstellung eines Dämmstoffes steht immer im Zusammenhang mit dem Energieeinsparpotential während der Nutzungsperiode. Zu diesem Thema hat das Institut für Energie, FH beider Basel, Muttens (CH) im Dezember 2003 eine Ausarbeitung im Auftrag des Schweizer Bundesamtes für Energie erarbeitet, die auf den folgenden Seiten im Wortlaut unverändert wiedergegeben wird.

Die Zusammenfassung der Ausarbeitung bezieht sich auf die Punkte:

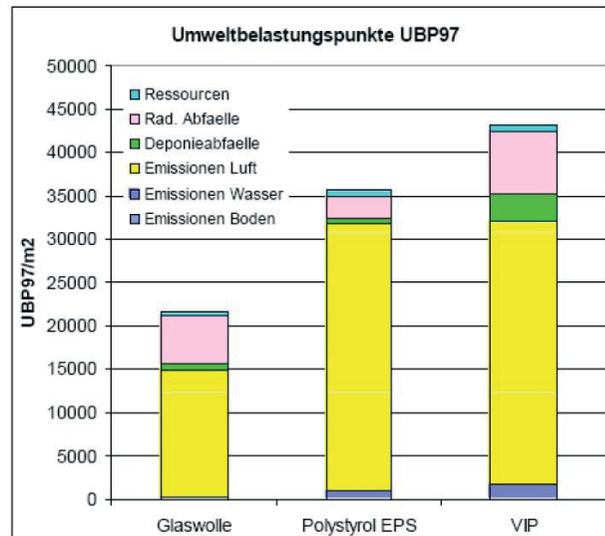
- Verfügbarkeit der Rohstoffe
- Energieaufwand zur Bearbeitung der Rohstoffe, Ökobilanz
- Ökologische Unbedenklichkeit, Emissionen bei der Herstellung

Die Studie kommt zu dem Schluß, dass die Ökobilanz von Vakuum-Isolationspaneelen sich je nach Untersuchungsmethode im Mittelfeld aller konventionellen Dämmstoffe bewegt, mit zunehmender Markteinführung jedoch eine positive Entwicklung durch optimierte Herstellungsverfahren zu erwarten ist.

Ökobilanz eines Vakuum-Isolationspaneels (VIP)

„Vakuum-Isolationspaneele (VIP) stellen zunehmend eine Alternative zu bekannten Dämmstoffen dar. Die acht- bis zehnfach dünnere Dämmstärke bei gleichem Wärmedurchlasswiderstand erweist sich in sehr vielen Baukonstruktionen als enormer Vorteil, für den gerne mehr bezahlt wird. Bereits werden VIP in der Schweiz in beachtlichem Umfang eingesetzt.

Immer wieder aber taucht die Frage auf, ob aus energetischer und ökologischer Sicht der Einsatz von VIP nicht problematisch sei, ob nicht letztlich mehr Energie in die Produktion von VIP hineingesteckt werde, als damit



Vergleich der Dämmmaterialien Glaswolle, Polystyrol EPS und VIP nach der Methode der ökologischen Knappheit mit Umweltbelastungspunkten UPB 97

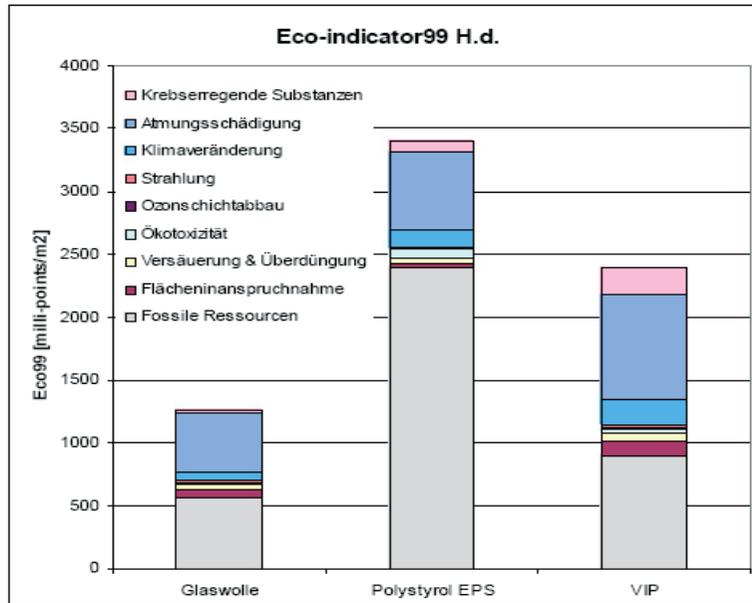
schließlich gespart werde und ob bei der Herstellung nicht mehr ökologischer Schaden angerichtet werde, als schließlich Nutzen gestiftet werde.

Das Institut für Energie der Fachhochschule beider Basel ist mit dieser Studie den Fragen der Umweltwirkungen von VIP nachgegangen. Mit den drei Bewertungsmethoden Eco-indicator 99, Methode der ökologischen Knappheit UB97 und dem Kumulierten Energieaufwand KEA wird das VIP mit zwei bekannten Dämmstoffen (Glaswolle, Polystyrol EPS) verglichen. In der Sachbilanz werden die Energie- und Stoffflüsse der zur Herstellung des VIP benötigten Prozesse erfasst. Für Hintergrundprozesse (Energiebereitstellung, Transportdienstleistungen, Entsorgungsdienstleistungen, etc.) wird dabei auf bereits verfügbare Sachbilanzdaten aus dem Nachschlagewerk Ökoinventare von Energiesystemen und die firmeninterne Datenbank von ESUservices zurückgegriffen.

Für eine vergleichende Ökobilanz-Studie über Wärmedämmstoffe müssen viele Annahmen getroffen, Rahmenbedingungen festgelegt und von heutigen, teils sehr vergänglichen Fakten ausgegangen werden, von denen einige das Resultat maßgeblich beeinflussen. Einige der wichtigen Vorgaben der vorliegenden Ökobilanzstudie sind:

- Der Vergleich der Dämmstoffe bezieht sich auf einen Quadratmeter Wandkonstruktion mit einem U-Wert von $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ bzw. die dafür benötigten Mengen an Dämmstoff oder VIP.
- Es wird von einem VIP mit einem Kern aus pyrogener Kieselsäure ausgegangen, der von gasdichten Folien umhüllt wird. Die Bedeutung unterschiedlicher Folien wird untersucht, Alternativen für den Kern jedoch nicht.
- Pyrogene Kieselsäure ist ein Koppelprodukt der Reinsilizium-Herstellung für die Chip-Produktion. Das gemeinsame Vorprodukt Siliziumtetrachlorid beispielsweise ist in der Herstellung sehr energieintensiv. Die Zuordnung der Umweltbelastung dieser Vorprozesse zu den einzelnen Produkten erfolgt im Verhältnis ihrer Marktpreise. Die Herstellung von Tetrasiliziumchlorid prägt die Resultate der Ökobilanz zu über 60%.
- Die Bewertung erfolgt mit allen drei in der Schweiz aktuellen Ökobilanz-Bewertungsmethoden, nach Eco-Indicator 99, mit Umweltbelastungspunkten UB97 und der Methode des kumulierten Energieaufwandes KEA (graue Energie). Die Daten für Polystyrol und Glaswolle stammen aus Weibel/Stritz 1995 bzw. Richter et al 1995.

Die Wirksamkeit konventioneller Dämmstoffe beruht darauf, dass möglichst



Vergleich der Wirkkategorien für die Dämmmaterialien Glaswolle, Polystyrol EPS und VIP nach der Methode Eco-indicator 99

viel Luft mit möglichst wenig Material in möglichst kleine Zellen eingeschlossen wird. Dämmstoffe sind daher leichte Materialien, d.h. sie enthalten wenig Material, im Vergleich etwa zu Baustoffen wie Backstein, Beton, Glas, oder auch Holz.

Die Ökobilanzen von Dämmstoffen zeigen daher im allgemeinen auch, dass beim Einsatz von Dämmstoffen in der Gebäudehülle der Nutzen die ökologischen Belastungen klar übertrifft, auch wenn sehr gut gedämmt wird. Die Wärmedämmung spielt in der Umweltwirkungsbilanz eines ganzen Gebäudes eine untergeordnete Rolle. Zusammenfassende Haupteckdaten der vorliegenden Ökobilanzstudie ist, dass dies im Wesentlichen auch für Vakuum-Isolationen gilt. Ob, je nach Bewertungsmethode, VIP gegenüber Glaswolle oder Polystyrol etwas schlechter abschneidet, kann diesen grundlegenden Sachverhalt nicht verdecken. Außerdem ist das VIP, das der Studie zugrunde liegt, eine Art Vorserien-Produkt, das hinsichtlich seiner Umweltwirkungen noch nicht optimiert ist, das aber diesbezüglich ein großes Potenzial hat. So wird etwa, weil es ein Koppelprodukt ist, mit hochreinem Siliziumtetrachlorid gearbeitet, was für die VIP alleine in keiner Weise nötig wäre. Wenn VIP im großen Umfang hergestellt werden, dürften deshalb auch die Herstellungsprozesse weniger energieintensiv und umweltbelastend werden.

Alle bekannten und heute eingesetzten Alternativen zu pyrogener Kieselsäure als Kernmaterial sind ebenfalls mit geringerem Herstellungsaufwand verbunden (weisen aber nicht die gleich guten Voraussetzungen für VIP auf).

Die Ökobilanz von VIP ist in erster Linie geprägt durch den hohen Herstellungsaufwand. Die Materialflussaspekte treten demgegenüber stark in den Hintergrund.

So spielt auch die aluminiumbeschichtete Folie bzw. welcher Typus von Folie gewählt wird, eine völlig untergeordnete Rolle. In diesem Sinne ist es aus der Sicht der Ökobilanzierung des Materials unwichtig, ob VIP einlagig oder zweilagig eingebaut werden (um Dank versetzter Plattenstöße die Randwärmehürden zu verringern).

Vor dem Hintergrund der Tatsache, dass die Resultate der Ökobilanz für alle untersuchten Dämmstoffe, inkl. VIP, grundsätzlich gut sind, erstaunt es auch nicht, dass die Anwendung unterschiedlicher Bewertungsmethoden zu einer

Umkehr der Rangfolge führen kann. Je kleiner die Unterschiede, desto eher können solche Umkehrungen stattfinden. Die Bewertung mit der Methode der ökologischen Knappheit (UBP97) weist VIP leicht schlechter, insgesamt aber in gleicher Größenordnung wie Glaswolle und Polystyrol aus. Ausschlaggebend ist hier vor allem der hohe energetische Aufwand (besonders elektrisch) bei der Produktion des VIP. Aus der Sicht des Eco-indicator 99 wird allerdings v.a. durch die Bewertung des Ressourcenverbrauches von EPS die Vakuumdämmung ins Mittelfeld der Bewertungen verschoben.

Vor allem in der Dominanzanalyse nach Eco-indicator 99 Hierarchist default schlägt sich nieder, dass der Grossteil der VIP-Bestandteile auf sehr energieaufwändigem Weg (v.a. elektrisch) hergestellt wird.

90% der Gesamtbewertung von VIP gehen auf diesen Bereich (Silizium verarbeitende Industrie) zurück.

Mit der Sensitivitätsabschätzung werden Prozessoptimierungsmöglichkeiten aufgezeigt, durch die die Bewertung der VIP in den Bereich von Glaswolle gerückt wird.

Diese wurde im vorliegenden Vergleich am besten bewertet. Durch Substitution eines energiekritischen Bestandteils (Siliziumkarbid SiC) durch einen geeigneten Ersatz und durch die Optimierung des Vorproduktbezuges eines weiteren Bestandteils (Siliziumtetrachlorid) kann die Wirkungsbilanz für alle Methoden um etwa 45% verbessert werden. Mit Prozessoptimierungen dieser Art kann fest gerechnet werden, wenn VIP in größerem Umfang hergestellt werden.

Die ökologische Unbedenklichkeit wird sich mit zunehmender Marktdurchdringung also weiter verbessern.“

Quelle: Institut für Energie, FHBB, MuttENZ 2003:
Ökobilanz eines Vakuum-Isolations-Paneels (VIP)

5.2. Transport/ Lagerung

5.2.1. Schutz/Vorfertigung

In Bezug auf die leicht verletzbaren Vakuum-Isolationspaneele ist für den Transport und für das Lagern auf der Baustelle ein gewisser Schutz sinnvoll und notwendig. Dieser Aspekt spricht dafür, die Vakuum-Isolationspaneele in eine vorelementierte Konstruktion einzubinden, die die Vakuum-Isolationspaneele sowohl beim Transport und bei der Lagerung als auch bei der Montage schützt.

5.2.2. Handhabbarkeit

Die vorgefertigten Elemente sollten von einer Person getragen werden können. Das Gewicht ist also wenn möglich auf ca. 25 kg zu begrenzen und auch die Elementmaße sollten sich auf eine handhabbare Größe beschränken.

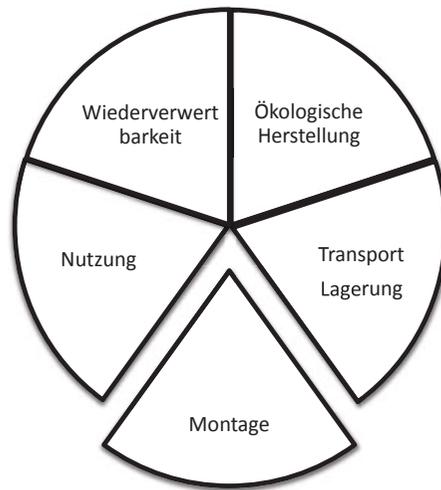
5.2.3. Reduktion der Mengen

Die Menge an Dämmstoff, die in Deutschland jährlich verbaut wird, ist gewaltig groß. So wurden im Jahr 2002 :

- 32 Mio. m² Wärmedämmverbundsystem, zu 90 % unter Verwendung von Mineralwolle und Polystyrol verbaut
- 18 Mio. m² vorgehängte hinterlüftete Fassaden gebaut

Die Verringerung der Dämmstärken um den Faktor 5-10 beinhaltet somit auch eine Reduktion der Lagerflächen und der Transportkosten in diesem Bereich. Dies führt indirekt wieder zu sinkenden Treibstoffkosten im Bereich Transport als auch zu geringeren Personalkosten bei Transport und Lagerung.





5.3. Montage

5.3.1 Handhabbarkeit

Auch für die Montage der Konstruktion spielt der Schutz der empfindlichen Vakuum-Isolationspaneele durch ein vorgefertigtes Modul eine wichtige Rolle. Der Zuschnitt und das Gewicht sollten so bemessen sein, dass besonders bei der Montage die Arbeiten durch nur eine Person ausgeführt werden können.

5.3.2. Vorfertigung

Die zu entwickelnde Fassade bezieht sich auf statische Systeme, die bereits ein Stützenraster oder tragende Innenwände vorgeben, so daß die vorgefertigten Elemente mit den eingeschlossenen VIPs von außen in der Funktion einer wärmedämmenden Fassade zwischen Fußboden und Deckenplatte montiert werden. Die angedachte Konstruktion versteht sich also nicht als tragende Außenwandkonstruktion.

Mitentwickelt wird lediglich die Unterkonstruktion, die keine für das Gebäude notwendige statische Funktion übernimmt, außer die Windlasten aus der Fassade aufzunehmen und sie an die tragende Konstruktion des Gebäudes weiterzuleiten.

Die Unterkonstruktion ermöglicht die Anbringung der Fassade an das statische System, so dass Anschlußpunkte zwischen der Fassade selbst und dem statischen System entfallen.

Die Einbringung der VIP muss bereits im Werkstattbereich erfolgen, um Beschädigungen vorbeugen zu können. Es eignen sich hier insbesondere vorgefertigte Leichtbauweisen, da traditionell mit geringen Toleranzen und ausgereiften Fügungsmethoden gearbeitet wird.

Die Vorfertigung ist auf der Basis des verwendeten Materials Holz wirtschaftlich sinnvoll und zum Schutz der Vakuum-Isolationspaneele unumgänglich. Gleichzeitig ergibt sich hieraus, sinnvolle Rastermaße einzuhalten und typisierte Elemente zu entwickeln.

Ziel der Vorfertigung ist auch, Fugen zwischen den Vakuum-Isolationspaneelen und dem Material Holz zu minimieren.

5.3.3. Befestigung

Technisch stellt sich die Montage der Paneele als besonders problematisch dar, weil ein verhältnismäßig großer Energieanteil über die potentiellen Wärmebrücken der Befestigungen verloren geht. Hier besteht auf allen Ebenen Entwicklungsbedarf.

Grundsätzlich gilt, dass die zu entwickelnden Elemente in zwei Lagen aufgebracht werden sollten, so dass die Elementstöße überdämmt werden. Das notwendige Befestigungsmaterial sollte minimiert werden und dahingehend optimiert werden, dass es nicht komplett durchgängig durch die Wärmedämmschicht gestaltet wird.

5.4. Nutzung

5.4.1. Energiespareffekt der Konstruktion

Die Wärmeleitfähigkeit der Vakuum-Isolationspaneele in der ungestörten Fläche liegt im Mittel bei 0,008 W/mK. Die Wärmeleitfähigkeiten konventioneller Dämmstoffe liegen um das 5-fache höher (ca. 0,040 W/mK).

Auf Grund des derzeit noch sehr hohen Preises für Vakuum-Isolationspaneele (etwa 4 mal so hoch wie bei Styropordämmssystemen mit vergleichbarem U-Wert) wird zur Zeit der gleichzeitige Raumsparereffekt unter ökonomischen Gesichtspunkten in den Mittelpunkt gestellt.

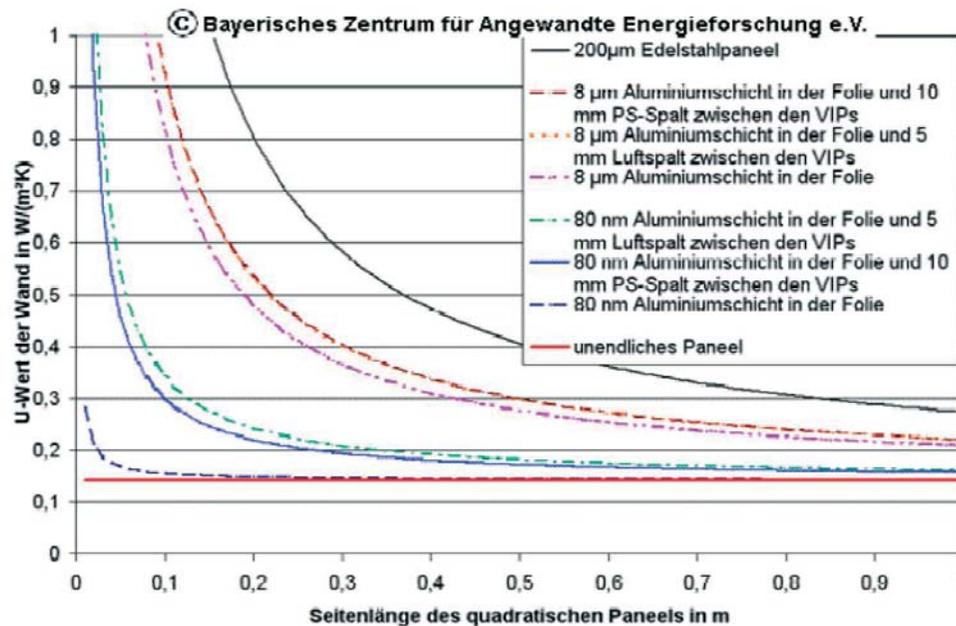
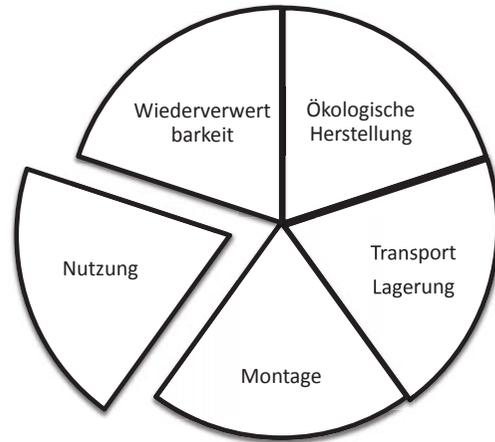
Auf Grund der äußerst niedrigen Wärmeleitfähigkeit lassen sich Fassadenkonstruktionen entwickeln, die bei einer Verwendung von 4 cm Vakuum-Dämmmaterial U-Werte aufweisen, die dem Passivhausstandard zuzuordnen sind.

Voraussetzung dafür ist, dass die zu erwartenden Wärmeströme über den Folienrandverbund, über die Stoßfugen zwischen den nebeneinander angeordneten VIP, über die senkrecht zur Fassadenebene liegenden Fugen zwischen den eingelegten VIP und der zu entwickelnden Schutzeinhausung (Kastenelement) und über die Montagefugen zwischen den Kastenelementen untereinander möglichst gering gehalten werden.

5.4.1.1. Randverbund der VIP

Grundsätzlich stellt der Randverbund in der wärmetechnischen Betrachtung eines Vakuum - Dämmsystems eine Schwachstelle dar, da die Wärmeleitung jedes bisher bekannten Hüllmaterials mehr oder weniger deutlich über der des eingeschlossenen Kerns liegt.

Die Randfläche eines VIPs liegt in der Richtung des Wärmestroms und ist somit eine große Wärmebrücke. Damit der Wärmestrom möglichst klein bleibt, muss die Aluminiumschicht in der Folie gering gehalten werden (vorzugsweise < 100 nm).



Effektiver Wärmedurchgangskoeffizient U in Abhängigkeit von der Seitenlänge des quadratischen Paneels für verschiedene Folien und Stoßvarianten.

Wandaufbau: 17,5 cm Kalksandsteinwand gedämmt mit 3 cm VIP und 3 cm Polystyrol.

Da große Paneele mit günstigen Rand/Flächen-Verhältnissen im Gegensatz zu kleinen Paneelen kleinere Gesamtwärmedurchlasskoeffizienten aufweisen, sollten die Paneele quadratisch sein und Mindestgrößen im Bereich von 0,5 m x 0,5 m aufweisen.

5.4.1.2 Fugen zwischen den eingelegten VIP und Fugen zwischen VIP und Kastenelement

Aufgrund von Maßtoleranzen, die bei der Herstellung der VIP kaum zu vermeiden sind, entstehen Wärmebrücken an den Stößen zwischen den einzelnen Vakuum-Isolationspaneelen untereinander und an den nicht ganz vermeidbaren Fugen zwischen VIP und dem Randverbund der Kastenelemente.

Um die Gesamtlänge dieser Fugen zu minimieren, sollten die eingelegten VIP und die zum Schutz der VIP angedachten Kastenelemente eine möglichst große Fläche und einen annähernd quadratischen Zuschnitt aufweisen. Durch die Forderung der Handhabbarkeit und der „Ein-Mann-Montage“ sollten die Kastenelemente jedoch eine Abmessung von 1,5 m x 1,5 m nicht überschreiten. Bei dieser Größe wäre es unter Umständen möglich, dass jeweils nur ein Vakuum-Isolationspaneel in das Kastenelement eingelegt werden könnte. Auf diese Weise würden die Fugen zwischen den VIP entfallen.

Zur Zeit werden die Abmessungen durch die vorhandenen Vakuum-Kammern bestimmt und liegen bei ca. 1 x 2 m.

Die verbleibende Toleranzfuge (Wärmebrücke) zwischen dem Randverbund des Kastenelements und dem eingelegten VIP könnte vor dem Verschließen unter Werkstattbedingungen gedämmt werden. Hierfür kommen entsprechende Fugenbänder, feinkörnige Schüttdämmungen oder neuartige, sogenannte Nanogelee in Betracht.

5.4.1.3 Fugen zwischen den zum Schutz der VIP zu entwickelnden Kastenelementen

Zwischen den zu konzipierenden Kastenelementen, die zu einer Fassadenfläche nebeneinander gefügt werden sollen, ist eine Montagefuge in der Größenordnung von 2- 4 mm vorzusehen.

Die Montagefuge dient dazu, die Kastenelemente untereinander ausrichten

und Maßtoleranzen aufnehmen zu können.

Diese notwendigen Montagefugen, die sowohl an den warmen Innenraum und an die kalte Außenluft anschließen, können wahrscheinlich nur unzureichend gedämmt werden.

Dies liegt daran, dass die Fugendämmung nach der Befestigung der Kasten-elemente auf der Baustelle erfolgen müsste. Darüber hinaus wäre sicher zu stellen, dass durch das Verschließen der Zwischenräume keine Zwängungen entstehen, die die spätere angestrebte Demontage der Kastenelemente erschweren würde.

Um den Wärmeverlust der gering gedämmten Montagefugen einzugrenzen, sollten die Kastenelemente zweilagig versetzt in Form einer inneren und einer äußeren Lage angeordnet werden, so dass diese Fugen wechselseitig überdeckt und überdämmt werden würden.

Vakuum-Isolationspaneele sind dampfdicht. Es ist zu erwarten, dass die Wasserdampfdiffusion verstärkt durch die Montagefugen zwischen den Kasten-elementen erfolgen wird. Ob mit Tauwasserausfall zu rechnen ist und ob entsprechende dampfbremsende Schichten eingebaut werden sollten, ist zu untersuchen.

5.4.1.4 Durchdringungen

Voraussetzung für einen gelungenen Energiespareffekt der Konstruktion ist auch die Reduktion von punktförmigen Wärmebrücken durch Befestigungsmittel.

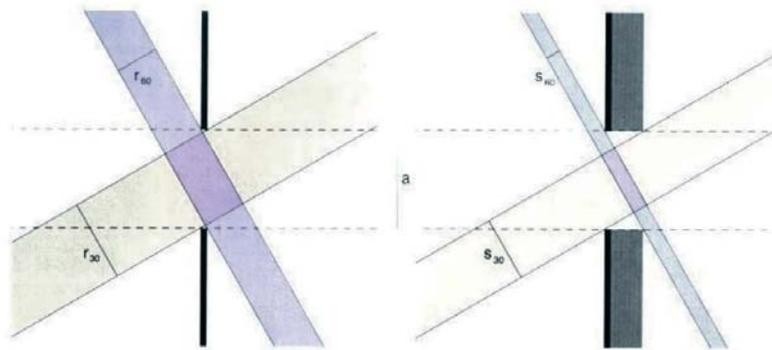
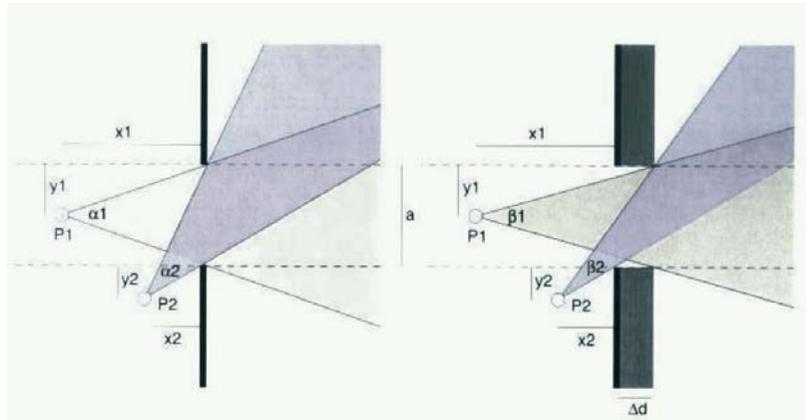
Auf Grund der geringen Dämmschichtdicke und der sehr niedrigen Wärmeleitfähigkeit wirken sich Wärmebrücken wie Halterungen und Durchdringungen aus Metall wesentlich stärker aus als bei konventionellen Dämmkonstruktionen. Ungünstig ausgeführte Befestigungen können den mittleren Wärmedurchlasswiderstand deutlich erhöhen. Daher muss jede vakuumgedämmte Konstruktion hinsichtlich des Einflusses der punktuellen Wärmebrücken untersucht und optimiert werden.

5.4.2. Flächenspareffekt

Der exponentiell ansteigende Anteil von Passivhäusern im Bereich des energieeffizienten Bauens mit bis zu 40 cm herkömmlicher Wärmedämmung erfordert im Massivhaussektor Gesamtaussenwanddicken mit ca. 60 cm Stärke, im Leichtbausektor mit ca. 50 cm Stärke.

Durch den Einsatz von Vakuumdämmung, ergänzt durch flächensparende Leichtbaukonstruktionen ist eine Reduktion der Aussenwanddicke auf 10 bis 15 cm denkbar. Das entspricht bei gleichen Außenmaßen einem Netto-Flächengewinn von ca. 12 m² für ein 125 m² großes, zweistöckiges Einfamilienhaus. (ca. 10 %)

Da es sich bei der derzeitig verfügbaren Vakuumdämmung in Form von Vakuum-Isolationspaneelen (VIP) voraussichtlich auch in naher Zukunft um ein Produkt im oberen Preissegment handeln wird, ist der Flächengewinn ein wichtiges Argument für ihren Einsatz.



Vergleich der Auswirkungen der Wandstärke auf die Sichtbeziehungen und die Tageslichtnutzungsmöglichkeiten
(Quelle: Jan Cremers)

5.4.3. Architektursprache/Ästhetik

Vorteile ergeben sich im gestalterischen Bereich durch die geringen Wandstärken. Nicht tragende Wände können wieder als solche identifiziert werden, ohne durch die gewaltigen Dämmstärken die Illusion einer statischen Notwendigkeit zu erzeugen. Die Fassade als „Hülle“ sinnbildlich „Haut“ des Gebäudes gewinnt wieder an Bedeutung.

Durch die Verringerung der Leibungstiefen auf Grund der geringeren Wandstärken kann auch damit einhergehend das Tageslicht besser genutzt werden.

Ein mehr an Tageslicht in Innenräumen ist ein direkter Beitrag zur Energieeinsparung. Auch bei bedeckten Himmel ist die Strahlungsintensität des Tageslichtes um ein vielfaches höher als das stärkste Kunstlicht. In Innenräumen muss Lumen für Lumen aufwendig erzeugt werden. Bei Büro- und Verwaltungsgebäuden kann der Energieaufwand für die Beleuchtung die Energiemenge, die für die Beheizung bereit gestellt werden muss, übersteigen.

Auf der Wunschliste für die eigene Traumwohnung steht „sonnig und hell“ ganz oben.

Der psychologische, positive Effekt des in Innenräumen wirksamen Tageslichts wird generell unterschätzt. Der permanente Lichtwechsel, die Dynamik

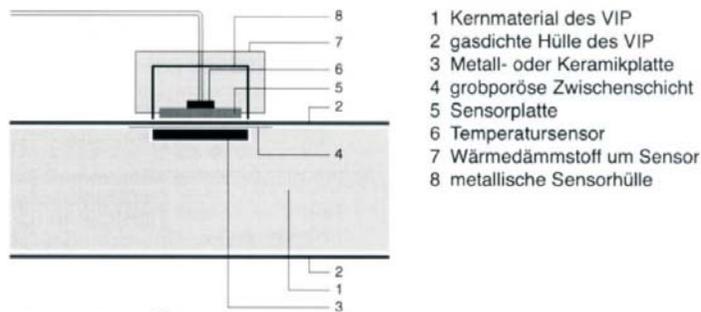
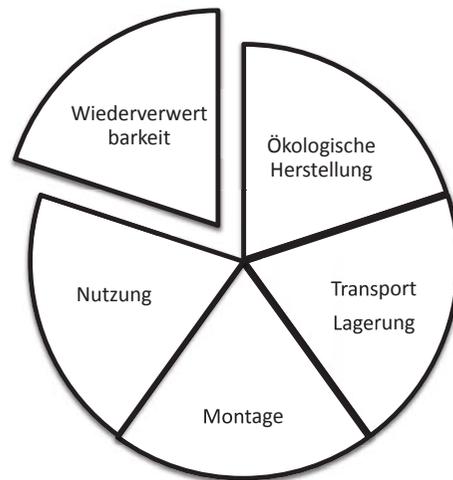
des Tageslichts wirkt wohltuend und anregend auf uns.

Außer auf der Südseite werden aus Gründen der Energieeinsparung die Fensterflächen bei Neubauten tendenziell minimiert und die Außenwandstärken wegen erhöhter Wärmedämmanforderungen vergrößert. Die Tageslichtversorgung der Innenräume wird zunehmend problematisch. Gleichzeitig nimmt die Verweildauer in Gebäuden ständig zu.

Auch die Sichtbeziehungen zwischen innen und außen werden durch die dünnen Wände in Fensternähe verbessert.

(siehe Jan Cremers: Einsatzmöglichkeiten von Vakuum-Isolationspaneelen im Gebäudebereich)

5.5. Wiederverwertbarkeit des Materials



Prinzip des Messverfahrens der Firma va-Q-check

5.5.1 Lebensdauer

Die Lebenserwartung einer Vakuum-Dämmung hängt entscheidend von der Dichtigkeit der verwendeten Folienhülle ab. Gasmoleküle dringen durch die Folie selbst (Pinholes) und deren Schweißnähte ein. Pinholes sind mikroskopische Fehlstellen in der gasdichten Schicht der Folie.

Je nach Ausführungsqualität der Schweißnähte und dem Verhältnis von Paneelfläche zu Paneelumfang dominiert der eine oder der andere Weg.

Trotzdem deuten die bisher vorliegenden Untersuchungen und Erfahrungen darauf hin, dass der Unterdruck in Vakuum-Isolationspaneelen heutiger Technologie bei fachgerechter Handhabung über die erwarteten vier bis fünf Jahrzehnte ihrer Funktionsdauer erhalten bleibt.

5.5.2. Überprüfungsmöglichkeit des Vakuums

Das Versagen einzelner Platten oder ganzer Flächen sollte aber als Risiko in die Planung und Ausführung einbezogen werden. Wünschenswert wäre eine Strategie, die darauf abzielt, die Vakuum-Isolationspaneele kontrollieren und im Versagensfall ersetzen zu können.

Ein entsprechendes Überprüfungsverfahren des Herstellers Va-Q-tec steht bereits zur Verfügung. Jedes Vakuumpaneel wird nach der Produktion mit Hilfe des patentierten Messsystems „Va-Q-check“ daraufhin geprüft, ob der Gasdruck ausreichend niedrig ist.

Diese Prüfung kann auch der Anwender vor Ort vornehmen. Voraussetzung dafür ist natürlich, dass die Prüffläche auf der Oberseite des Vakuumpaneels für diese Messung zugänglich gemacht werden kann.

Deshalb gilt für die zu entwickelnde Fassade, dass alle Details und Verbindungen den Aspekt der Reversibilität berücksichtigen.

5.5.3. Recycling

Wie schon unter dem Aspekt der Ökobilanz in Punkt 5.1. für die beiden Materialien Holz und Vakuum-Isolationspaneelle beschrieben, ergeben sich für beide Materialien unterschiedliche, aber absehbar gute Möglichkeiten des Recyclings.

So besteht zum gegenwärtigen Zeitpunkt die gesicherte Annahme, dass in Folge einer Markteinführung von Vakuum-Isolationspaneelen das zur Zeit besonders energieaufwendig hergestellte Koppelprodukt Kieselsäure in Zukunft wiederverwendet werden kann.

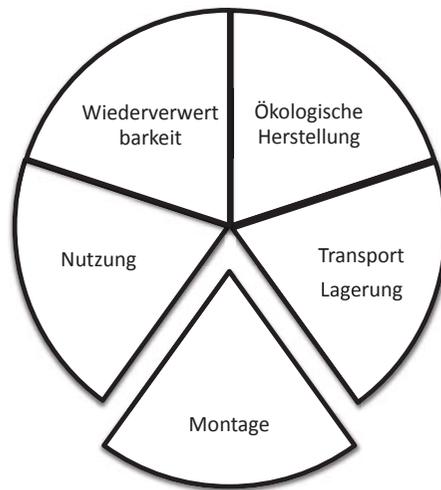
Vorstellbar wäre zum jetzigen Zeitpunkt ein Ausleeren des Stützkörpermaterials aus den Folien von defekten VIPs und Wiederverfüllen von neuen VIPs mit entsprechend aufbereiteter Kieselsäure.

6.0. Studentische Arbeiten aus 2007

Projektbetreuung:

Prof. Dr. Jörg Härtel

Prof. Georg Seegräber



- Hermann Weglage:
Konventionelle Konstruktion

- Sergio de Sa , Nabil el Schami
Geschosshoher Klemmechanismus

- Aron Luft , Christiane Janssen
Anpressung über Kunststoffelemente

- Jakob von Zengen, Patrick Tiemann, Corinna Keppeler
Zweilagige Holzständerkonstruktion

- Alexander Größ, Roman Rosental, Frank Zietlow, Stefan Köther
Anpressung über gefederte Stahlprofile

- Marcel Zerfas, Peter Eberlei
Versetzte quadratische Module

Die Projektarbeiten der Studenten zeigen die Einbaumöglichkeiten von Vakuum-Isolationspaneelen in einer ungestörten Regelfläche einer Holzaußenwandkonstruktion unter der Beachtung der Standsicherheit und der Bauphysik auf.

Entwickelt wurden Systeme aus Holz, die im Wesentlichen revisionsfähig, transportierbar und anwendungsfähig erscheinen.

Im Folgenden werden die Arbeiten vorgestellt, die Konstruktion dargestellt und unter gestalterischen Aspekten bewertet. Außerdem erfolgt eine Einschätzung hinsichtlich der Kriterien Vorfertigungsmöglichkeiten und Revisionsfähigkeit.

In einem weiteren Schritt wurde jeweils eine Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten der vorgeschlagenen Konstruktion durchgeführt und in einer vergleichenden Tabelle erläutert.



Verfasser des Aufbaus:

6.1. Herrmann Weglage

Konstruktion

Bei der von Herrmann Weglage entwickelten Fassade werden auf ein statisch tragendes System aus Stahlstützen zunächst 25 mm starke Multiplexplatten geschraubt, die innenseitig optional mit einer Gipskarton- oder Maleroberfläche ausgeführt werden können. Auf die Außenseite der Multiplexplatten wird flächig eine Dampfbremse aufgebracht.

Der nächste Arbeitsschritt umfasst das Aufschrauben von horizontal verlaufenden Multiplexleisten, zwischen die die erste Lage Vakuum-Isolationspaneel eingelegt wird. Danach werden auf diese Schicht senkrecht verlaufende Multiplexprofile angebracht und wiederum eine 2. Schicht Vakuum-Isolationspaneel eingelegt.

Die Elemente der beiden Dämmlagen sind so platziert, dass die Stoßfugen sowie die Multiplexleisten der jeweils anderen Schicht überdämmt werden.

Mit Hilfe eines speziell geformten Aluminiumprofils werden die hinterlüfteten Fassadenplatten aus 10 mm starkem Kunststoff auf den äußeren Multiplexleisten angebracht. Das Aluminiumprofil dient darüber hinaus zum Fixieren der äußeren Vakuum-Isolationspaneel.



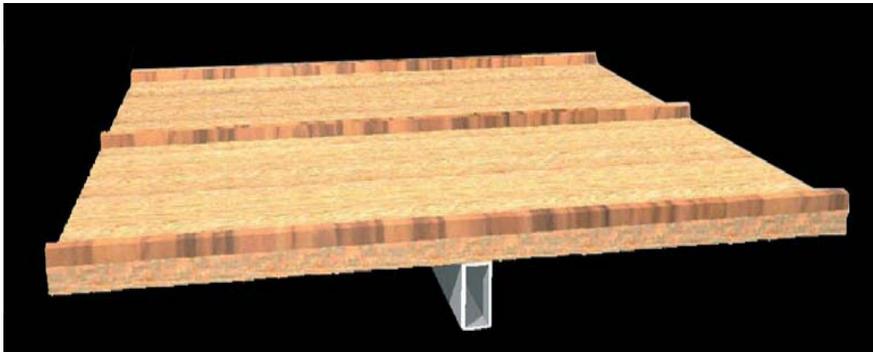
Bewertung

Gestalterische Aspekte

Der extrem dünne Wandaufbau mit der Stärke von 104 mm könnte bei entsprechender Detailausbildung an den Übergängen zu Öffnungen oder zu anderen angrenzenden Bauteilen eine unverwechselbaren Architektursprache hervorbringen, die im Gegensatz zu den heute üblichen Außenwandstärken von 30 bis 40 cm wieder eindeutig in tragende und hüllende Bauteile differenziert.



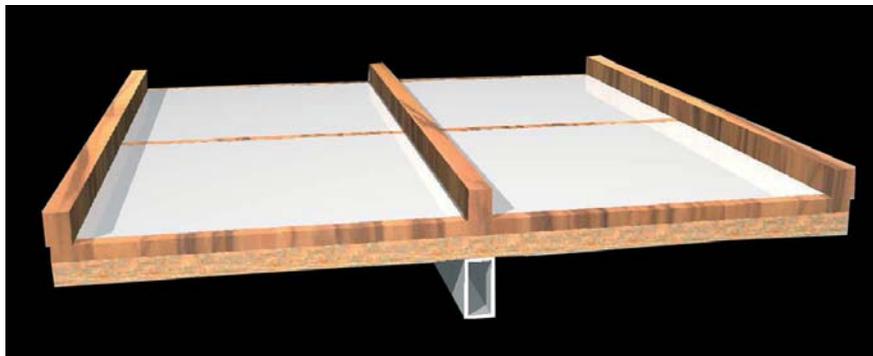
Montageabfolge der Fassade



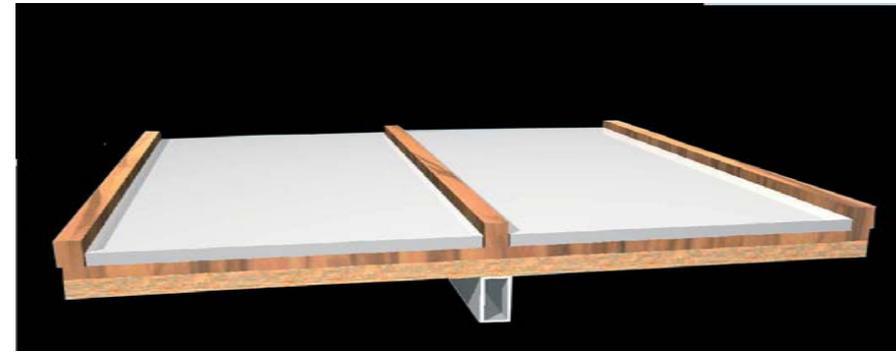
1. Multiplex Wandtafel mit aufgeleimten Leisten 20 x 20 mm



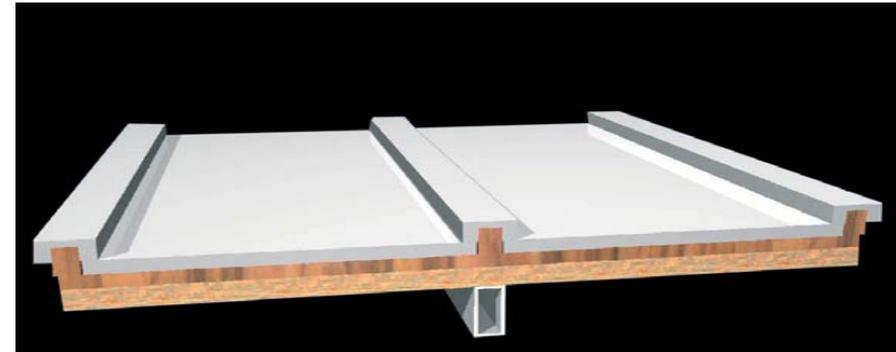
2. Erste Lage VIP 20 mm



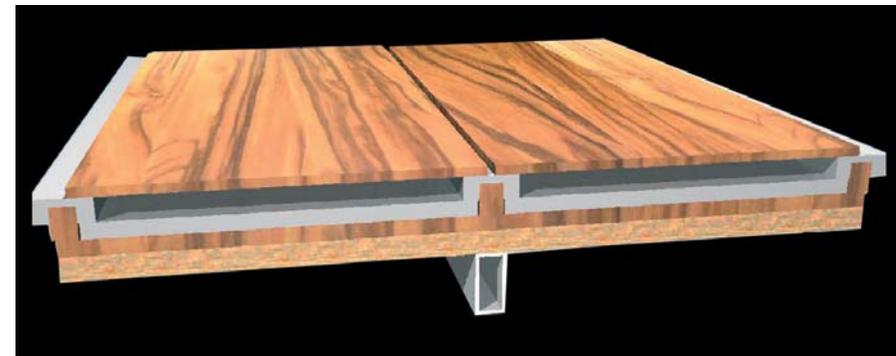
3. Vertikale Leisten aus Multiplex 30 x 42 mm



4. Zweite Lage VIP (20 mm)



5. U-Profil auf Multiplex-Vertikalprofil als Montagegrund

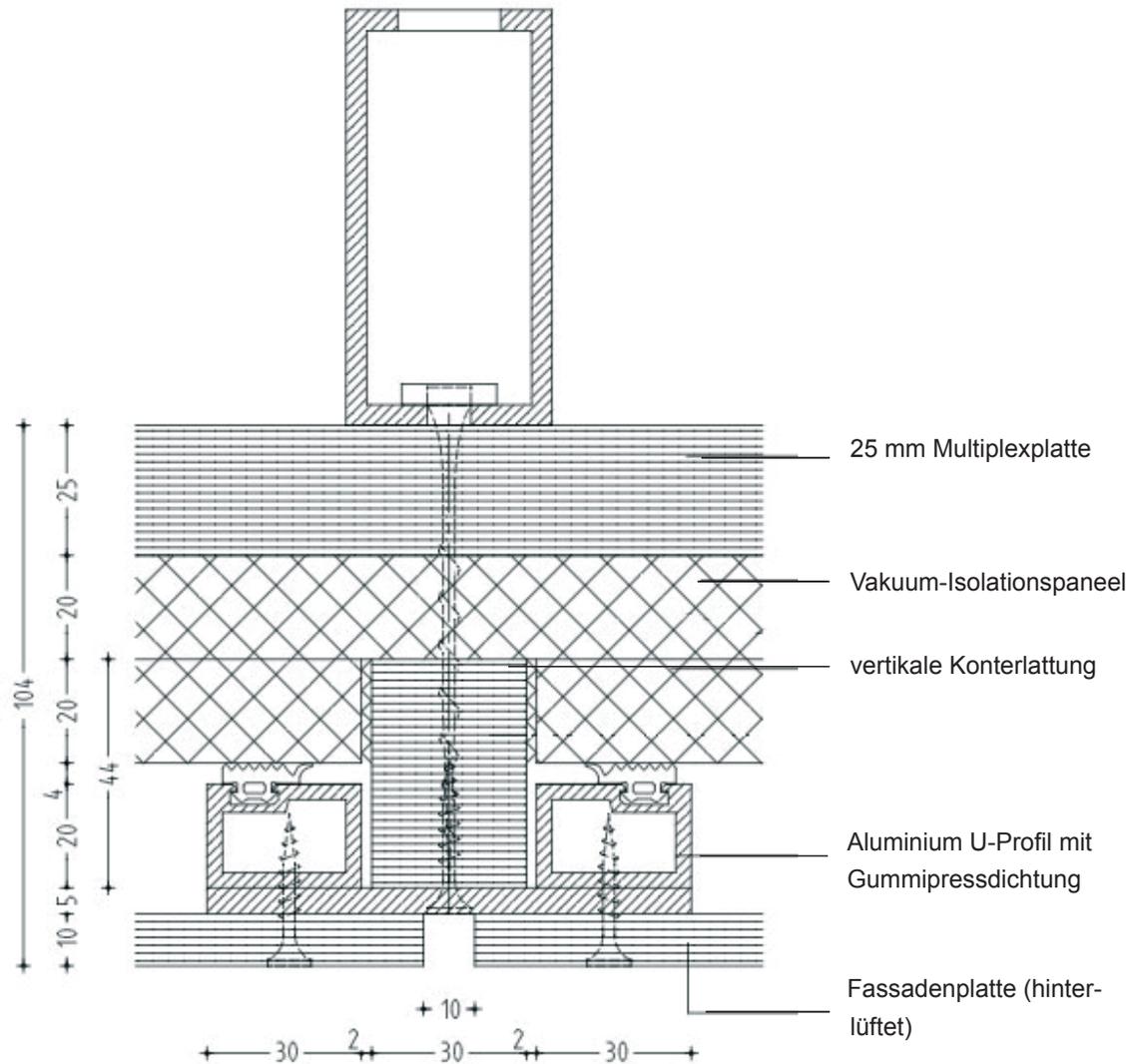


6. Fundermax Fassadenplatte

Vorfertigung

Die Einzelteile der Fassadenkonstruktion können vorgefertigt und relativ einfach auf der Baustelle zusammengesetzt werden. Um die beiden Lagen aus Vakuum-Isolationspaneelen bei dieser Konstruktion so anzuordnen, dass die Stoßfugen der ersten Dämmschicht durch die VIPs der zweiten Lage überdämmt werden, ist jedoch eine relativ aufwendige Vor-Ort-Montage notwendig.

Nur die Wandplatten aus 25 mm starkem Multiplex einschließlich der aufgeleimten, horizontal verlaufenden Multiplexleisten könnten als vorgefertigte Elemente angeliefert werden. Das Anordnen der ersten Dämmlage, das Aufschrauben der senkrechten Multiplexleisten, das Anbringen der zweiten Dämmschicht und das Befestigen der Fassadentafeln ist vor Ort zu bewerkstelligen. Problematisch sind in diesem Zusammenhang die freiliegenden, ungeschützten Vakuum-Isolationspaneele, die bei den unterschiedlichen Arbeitsgängen leicht verletzt werden könnten.



Revision

Die Austauschbarkeit beschädigter Vakuum-Isolationspaneele wird durch die verschiedenen Arbeitsgänge bei freiliegenden VIPs erschwert. Außerdem sind sehr viele Schraubverbindungen zu lösen (Fassadenplatten, Aluminiumprofil, senkrechte Multiplexleisten). Um die Demontagezeit zu verkürzen, sollten diese Verbindungen überarbeitet werden.

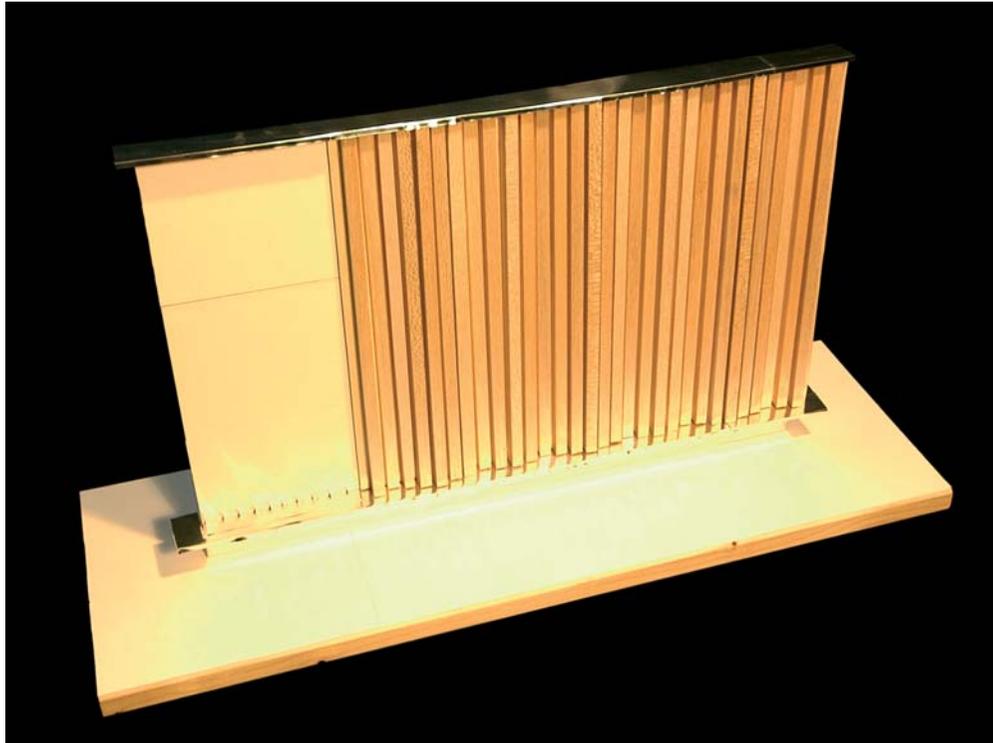
Berechnung des Wämedurchgangskoeffizienten

Der im Vergleich zu den homogenen Fassadenvorschlägen schlechtere U-Wert resultiert aus der großen Anzahl der Kreuzungspunkte der Multiplexleisten. Der relativ enge Achsabstand der Unterkonstruktion von ca. 50 cm ist erforderlich, weil sich die ein Zentimeter starke Fassadenbekleidung aus Kunststoffplatten bei einem größeren Achsabstand unter Windbelastung zu sehr verformen würde. Außerdem erfordert die Kraftweiterleitung auf die tragenden Stahlstützen diese relativ engmaschige Anordnung der Multiplexleisten.

Die Anteilswerte der einzelnen Gefache betragen in diesem Beispiel:
 92 % bestehend nur aus Vakuum-Isolationspaneelen,
 7,7 % bestehend aus einer Lage Holz überdeckt mit VIPs
 0,16 % der Fläche bestehend aus 2 sich kreuzenden Multiplexleisten.

VIP in cm	2	4	6	8	10	12
W/m ² K	0,45	0,26	0,19	0,15	0,12	0,11

Weiterführende Lösungsansätze sollten an den Vorgaben dieses relativ konventionell angesetzten Arbeitsansatzes gemessen werden und den hier erzielten U-Wert möglichst unterschreiten.



Verfasser des Aufbaus:

6.2. Sergio De Sa, Nabil El Schami

Konstruktion

Die von Sergio De Sa und Nabil El Schami entwickelte Fassadenkonstruktion ist für ein eingeschossiges Gebäude konzipiert.

Die vorgestellte Konstruktion wurde unter der Prämisse entworfen, dass sie als Selbstbau in Eigenleistung umgesetzt werden kann.

Zunächst werden 2 cm starke Korkplatten flächig auf eine 6 cm starke, tragende Massivholzwand aufgeklebt. Die Korkplatten bilden den Befestigungsgrund für die Vakuum-Isolationspaneele. Auf die Rückseite der Vakuum-Isolationspaneele werden dünne Gewebestreifen aufgeklebt. Mit Hilfe dieser Gewebestreifen werden die Vakuum-Isolationspaneele mit Reiszwecken auf die gleichzeitig schützende Korkplatte vormontiert. Nach dem Anheften werden die Paneele mit geschosshohen, ca. einen Meter breiten Anpresselementen befestigt.

Die Anpresselemente werden zwischen Winkelschienen, die am Dachabschluss und im Sockelbereich montiert sind, eingeklemmt. Ein Anpresselement besteht aus einer 2 cm starken Schichtholzplatte, die durch ein mittig aufgeleimtes Kantholz (8/12) ausgesteift wird. Die Anpresselemente werden mit einer Bolzenverbindung, die in die Enden des aufgeleimten Kantholzes eingreift, am Sockel und am Dachrand befestigt. Auf diese Weise gelingt es, eine durchgehende, wärmebrückenfreie Dämmschicht herzustellen.

Zur Überdeckung der senkrechten Stöße zwischen den Anpresselementen werden weitere Kanthölzer (Hauptpfosten, 8/12 cm) mit der gleichen Bolzenverbindung angebracht. Im letzten Arbeitsschritt werden die noch freiliegenden Bereiche der Schichtholzplatten mit Füllhölzern (8/8 cm) verkleidet. Hierfür haben Sergio De Sa und Nabil El Schami einen speziellen Einhängemechanismus entwickelt, mit dem die Holzprofile schnell und einfach montiert werden können.

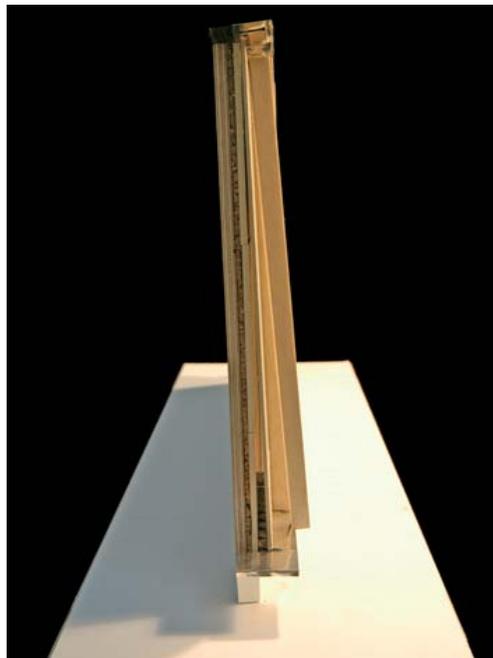
Bewertung

Gestalterische Aspekte

Die von Sergio De Sa und Nabil El Schami vorgeschlagene Fassadenlösung zeichnet sich durch ein durchdachtes Selbstbausystem in Verbindung mit einer angemessenen Fassadengestaltung aus. Durch die Verwendung linienförmiger Bauteile wird dem Charakter einer Holzkonstruktion entsprochen. Die Beplankungsprofile sind so bemessen, dass der außenliegende Holzanteil verwittern kann und sie dadurch ohne UV-Schutz eingesetzt werden können.

Vorfertigung

Wandelemente, Anpresselemente, Hauptpfosten und Füllhölzer sowie Befestigungsteile können unter der Prämisse der „Selbstbauweise“ vorgefertigt werden. Ein Nachteil dieser Konstruktion liegt in der Vor-Ort-Montage der sensiblen Vakuum-Isolationspaneelen. Der Anpressdruck auf die VIPs darf nicht zu groß werden und muß sich gleichmäßig über die Fläche verteilen. Die Detailsausbildung und die Werkstoffqualität sind darauf abzustimmen.





1. Eine Holzplatte dient als Trägerplatte.



2. Auf die Trägerplatte werden Korkplatten geklebt.



3. Montage der Winkelprofile für den Sockel- und Dachabschluß



4. Montage der Vakuum-Isolationspaneele



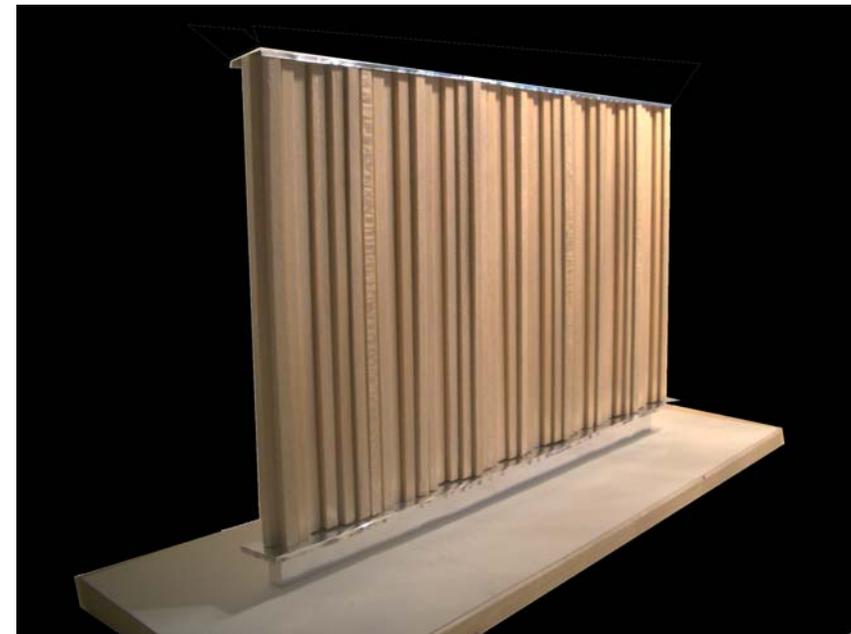
5. Die Vakuum-Isolationspaneele werden mit Leimschichtholzplatten verkleidet, auf denen jeweils bereits ein tragender Hauptpfosten befestigt ist.



6. Zwischen diese Hauptpfosten werden Füllpfosten geklemmt.



7. Über die Stöße der Leimschichtholzplatten werden ebenfalls Hauptpfosten gesetzt.



8. So sieht die fertige Wandkonstruktion von außen aus.

Revision

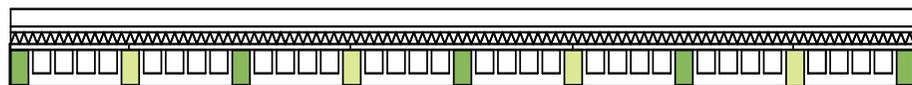
Der Austausch undichter Vakuum-Isolationspaneele ist grundsätzlich gut möglich. Die Befestigungsart der Anpresselemente, der Hauptpfosten und der Füllhölzer sollte überprüft und hinsichtlich der erforderlichen Umsetzbarkeit im Detail weiter bearbeitet werden.

Die Revisionsmöglichkeit wird durch die begrenzte Wandhöhe unterstützt.



Berechnung des U-Wertes (Wärmedurchgangskoeffizient)

Die Gesamtstärke dieser homogenen Außenwand beträgt bei den vorliegenden Abmessungen inclusive Holzwand 26 cm. Die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten ergibt bei 4 cm VIP und 2 cm Kork einen U-Wert von 0,16 W/m²K. Da weder konstruktive Elemente in die Wandebene einbezogen wurden noch durchdringende Befestigungselemente notwendig sind, ergibt sich ein U-Wert, der einen Einsatz im Passivhausbereich ohne weiteres zulässt.



Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten des homogenen Wandaufbaus mit unterschiedlich dicken Schichten von Vakuum-Isolationspaneelen

VIP in cm	2 cm	4 cm	6 cm	8 cm	10 cm	12 cm
W/m²K	0,27	0,16	0,11	0,09	0,07	0,06

Verfasser des Aufbaus:

6.3. Aron Luft, Christiane Janssen

Konstruktion

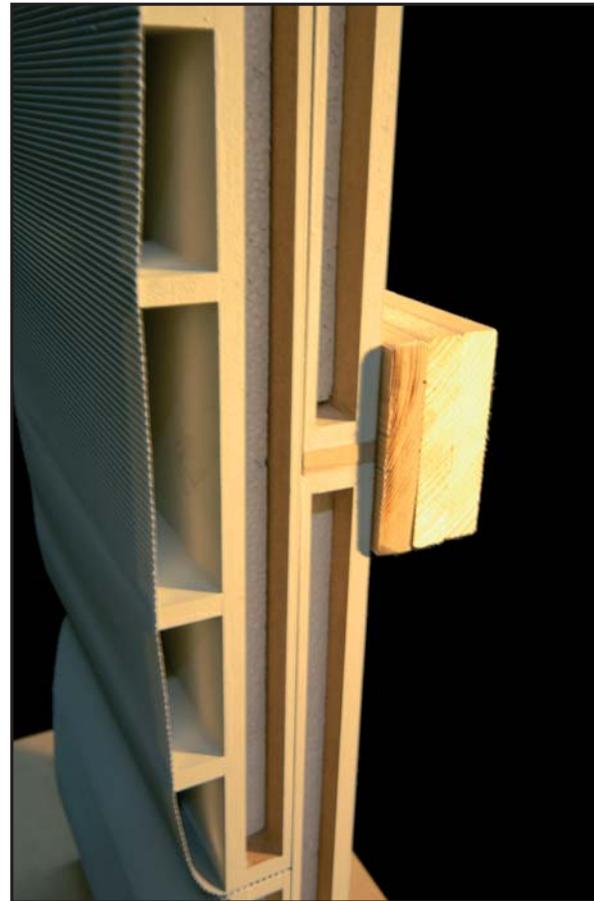
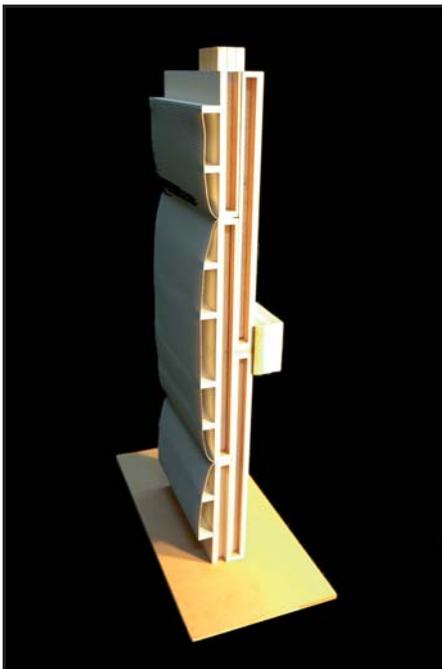
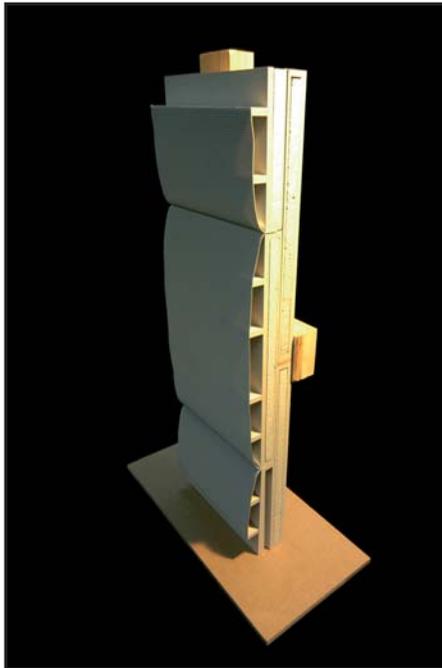
Die vorgeschlagene Fassadenkonstruktion ist aus zwei unterschiedlich geformten Kunststoffelementen (Abmessung Hauptelement ca. 94 cm; Abmessung Anpresselement ca. 47 cm), aufgebaut, die liegend an Stützen in einem Achsabstand von ca. 300 cm montiert werden.

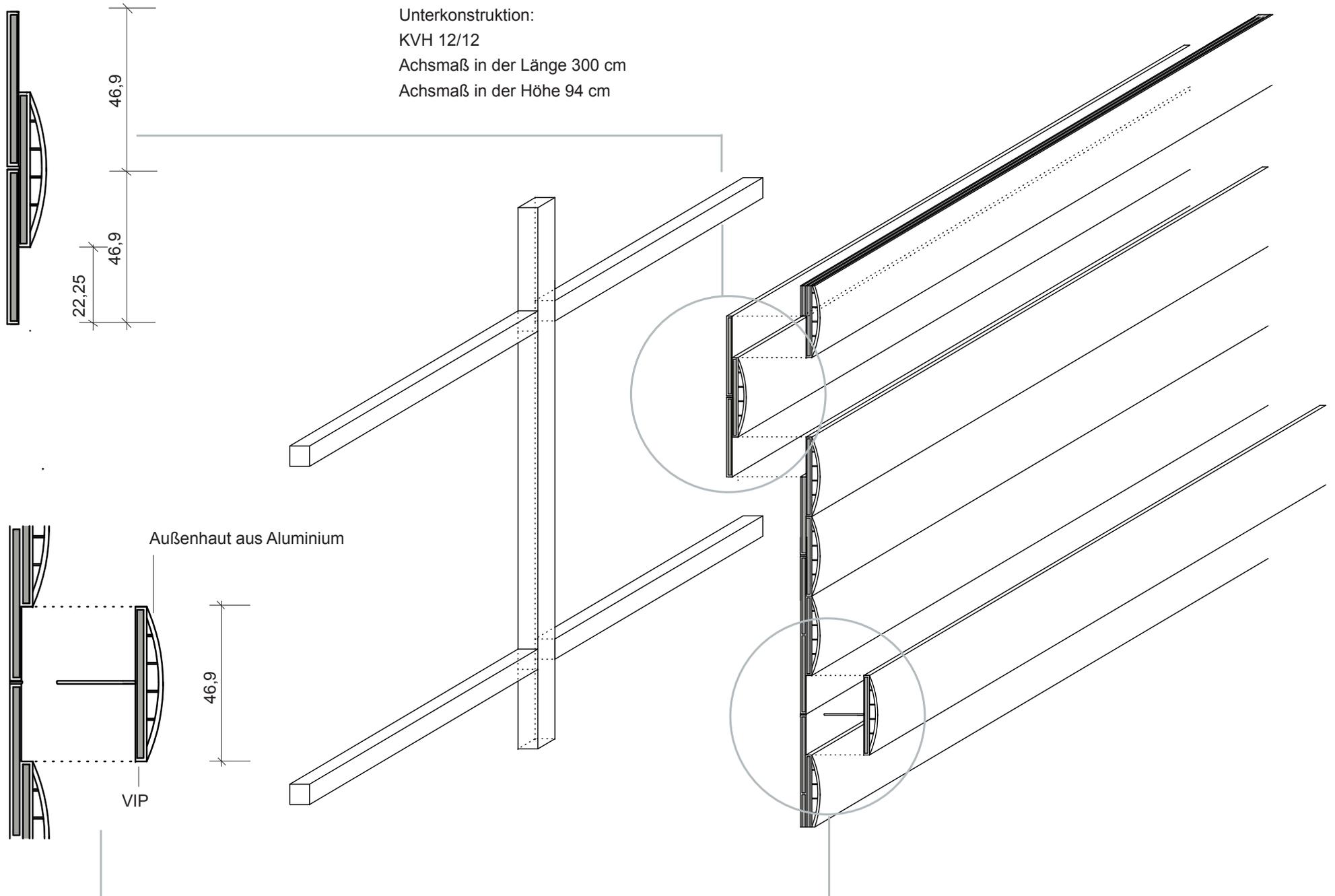
Die vom Innenraum komplett sichtbaren Hauptelemente bestehen im senkrechten Schnitt aus drei etwa gleich großen, gedämmten Kammern (eingeschobene Isolationspaneele) und der von außen sichtbaren, gewölbten Aluminiumverkleidung. Die Kammern sind so angeordnet, dass im oberen und unteren Randbereich ein Stufenfalz ausgebildet wird.

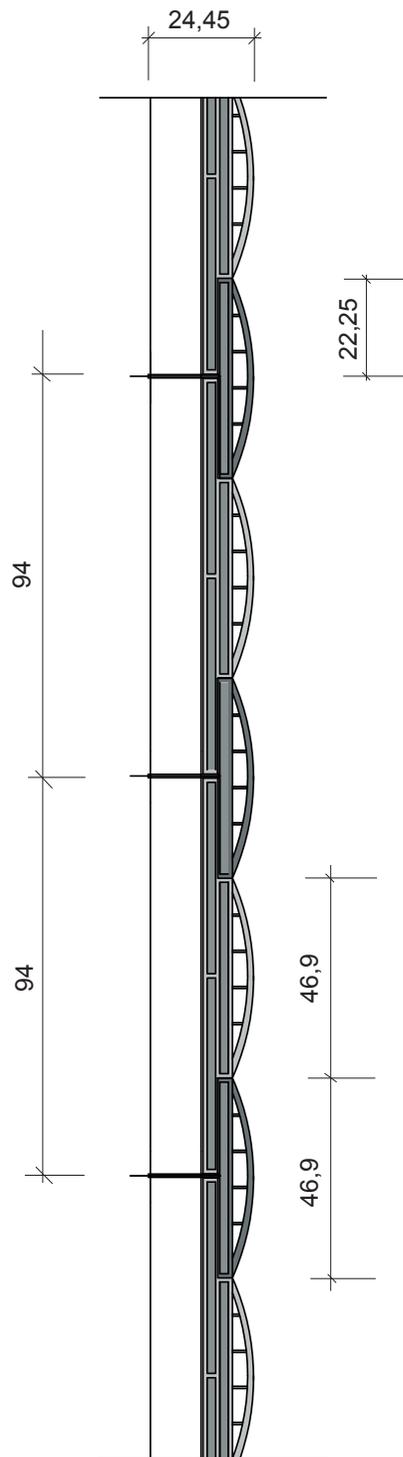
Die Hauptelemente werden zunächst auf Fuge (ca. 5 mm) an den Stützen vormontiert. Die endgültige Stabilität erhält die Fassade durch die äußeren Anpresselemente, die auf die einlagigen Randbereiche der Hauptelemente aufgelegt werden und durch Zugverbindungen mit den Stützen die Hauptelemente einklemmen. Die äußeren Anpresselemente bestehen aus einer gedämmten Kammer und sind wie die Hauptelemente im von außen sichtbaren Bereich mit einer gewölbten Aluminiumhaut überzogen. Von innen sind die Anpresselemente nicht sichtbar.

Die gewölbte Aluminiumverkleidung dient dazu, die Kunststoffelemente zusätzlich gegen auftretende Windlasten auszusteiern.

In der senkrechten Schnittebene entstehen so zwei übereinanderliegende Dämmschichten. Durch die versetzte Anordnung der Kammern werden die konstruktionsbedingten Wärmebrücken (Randstege der Kammern) überdämmt.







Bewertung

Der Konstruktionsvorschlag von Christiane Janssen und Aron Luft ist nur in der vertikalen Fügung der Haupt- und Anpresselemente durchdacht. Die horizontale Addition der Fassadenteile ist nicht entwickelt. Eine einfache Stoßfuge ohne überlappende Dämmung würde zu einer nicht tolerierbaren Wärmebrücke führen.

Bei der nachfolgenden Bewertung wird die waagerechte Verlängerbarkeit der Konstruktion außer Acht gelassen, obwohl die Detailausbildung an den senkrechten Stößen für die Beurteilung der Vorfertigung, der Revision und der Vor-Ort-Montage relevant wäre.

Gestalterische Aspekte

Die vorgeschlagene Fassadenkonstruktion ist gekennzeichnet durch das Bestreben, die fertigen und sichtbaren Oberflächen in das vorgefertigte Element zu integrieren. Aufgrund der differenzierten Ausformung der Einzelelemente wurde gewebeverstärkter Kunststoff als Hauptwerkstoff der Konstruktion gewählt. Um die UV- und Witterungsbeständigkeit zu optimieren, wurden die Außenoberflächen der Elemente mit einer Aluminiumhaut verkleidet.

Vorfertigung

Die differenziert ausgebildeten Kunststoffelemente können nur in einem relativ aufwendigen Produktionsprozess hergestellt werden und sind vorzufertigen. Das Einschleiben der Vakuum-Isolationspaneele erfordert eine hohe Maßhaltigkeit der Hohlkammern.

Die Beschichtung der Fassadenelemente mit einer Aluminiumhaut kann nur durch Verkleben realisiert werden. Um die Haltbarkeit dieser Verbindung zu garantieren, kann das Aufbringen der Metallverkleidung auf den Kunststoffgrund nur in der Werkstatt unter genormten Bedingungen erfolgen.

Die Montage vor Ort erfordert eine Tragkonstruktion, die mit exakt angeordneten Bohrlöchern zur Aufnahme der Befestigungsbolzen der Anpresselemente ausgestattet ist. Aus diesem Grund sollte das Tragsystem ebenfalls vorgefertigt werden.

Die Montage auf der Baustelle ist einfach und unproblematisch auszuführen. Die Hauptelemente werden so auf Fuge gesetzt, dass für das Einschieben der Anpresselemente und den daran angebrachten Befestigungsbolzen ausreichend Platz zur Verfügung steht. Der Luftraum zwischen den Hauptelementen wird durch die Anpresselemente ausreichend überdämmt. Die Vakuum-Isolationspaneele sind während der Montage auf der Baustelle vor Beschädigungen geschützt.

Revision

Das Abnehmen der vorfabrizierten Fassadenelemente sowie der Austausch nicht mehr funktionstüchtiger Vakuum-Isolationspaneele ist einfach zu bewerkstelligen. Voraussetzung hierfür ist, dass auch zu einem späteren Zeitpunkt exakt auf Maß gefertigte Dämmelemente geliefert werden können.

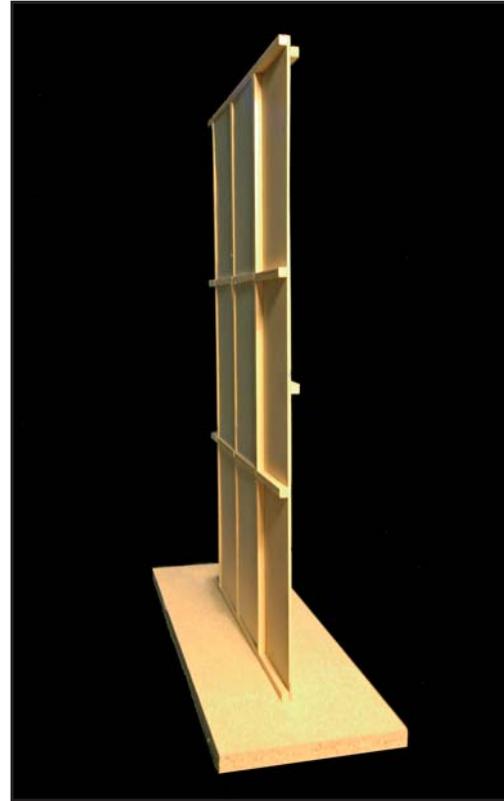
Berechnung des U-Wertes

Diese Konstruktion wird von Materialien mit einer hohen Wärmeleitfähigkeit (Nirosta- Stahl) durchstoßen, so dass bei der Berechnung des U-Wertes Korrekturen für durchdringende Befestigungsmaterialien berücksichtigt werden müssen.

Außerdem sind die Vakuumisolationspaneele in Kunststoffkammern eingeschoben, die in einer Richtung überlappend angeordnet sind. Im Bereich der Kammerstege treten auf die gesamte Konstruktion bezogen rechnerisch genauso viele Wärmebrückeneffekte auf, wie bei einer konventionell entwickelten Lösung, die schmale Holzleisten in der Dämmebene verwendet.

Der Wärmedurchgangskoeffizient könnte verbessert werden, wenn besonders hochdämmende und gleichzeitig stabile Kunststoffe verwendet würden.

VIP in cm	2 cm	4 cm	6 cm	8 cm	10 cm	12 cm
W/m²K	0,39	0,27	0,20	0,16	0,13	0,11



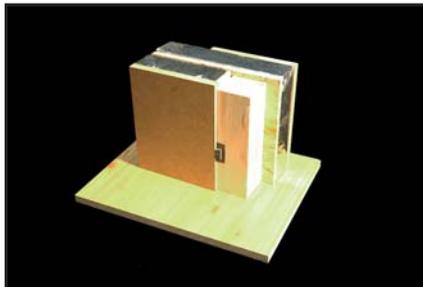
Verfasser des Aufbaus:

6.4. Jakob von Zengen, Patrick Tiemann, Corinna Keppeler

Konstruktion

Der Lösungsansatz von Jakob von Zengen, Patrick Tiemann und Corinna Keppeler basiert auf einem zweilagigen Holzständerwerk. Zwischen den beiden Ständerwerken ist eine durchgehende Schicht aus OSB-Platten angeordnet, die die Wandkonstruktion aussteift. Die beiden Fachwerke sind horizontal um ein halbes und vertikal um ein Drittel Rastermaß versetzt. Auf diese Art entstehen Gefache mit den Abmessungen von 1 m x 2 m und 1 m x 3 m. Das Holzständerwerk besteht aus Leimschichtholz mit dem Querschnitt 8/8 cm. Die beiden Fachwerke bilden das Traggerüst für „Wannenelemente“, die von außen und innen in die Gefache eingeschoben und mittels Schwalbenschwanzverbindungen arretiert werden.

Die Wannenelemente bestehen aus einem 19 mm starken Boden aus OSB-Platten und aus einer umlaufenden, 10 mm starken Randeinfassung aus Sperrholz. Die Wannenelemente können als Fertigteil einschließlich der Vakuum-Isolationspaneele unter Werkstattbedingungen vorfabriziert werden. Die versetzte Anordnung der beiden Holzständerwerke hat den Sinn, Wärmebrücken zu vermeiden.



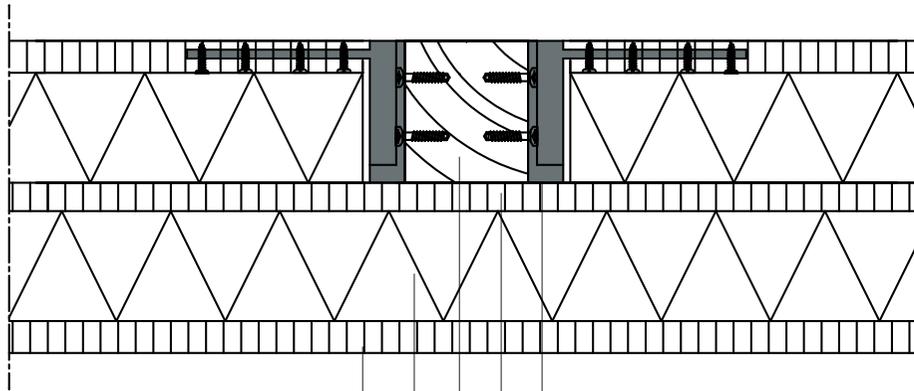
Bewertung

Gestalterische Aspekte

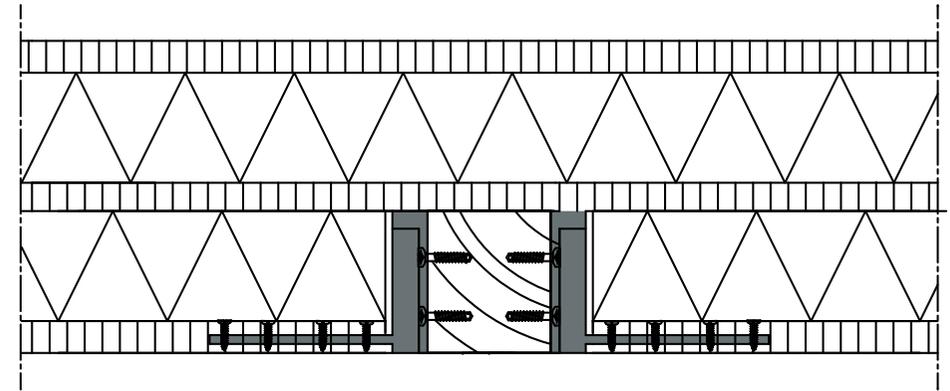
Der Wandvorschlag von Jakob von Zengen, Patrick Tiemann und Corinna Keppeler beinhaltet keine Vorschläge für die Innen- und Außenwandbekleidung. Die erarbeitete Konstruktion weist innen und außen eine ebene Oberfläche auf, sodass die unterschiedlichsten Fassadenbekleidungen unter Beachtung der Ausbaubarkeit der Wannenelemente vorstellbar sind.



Horizontalschnitt Verbindungselement

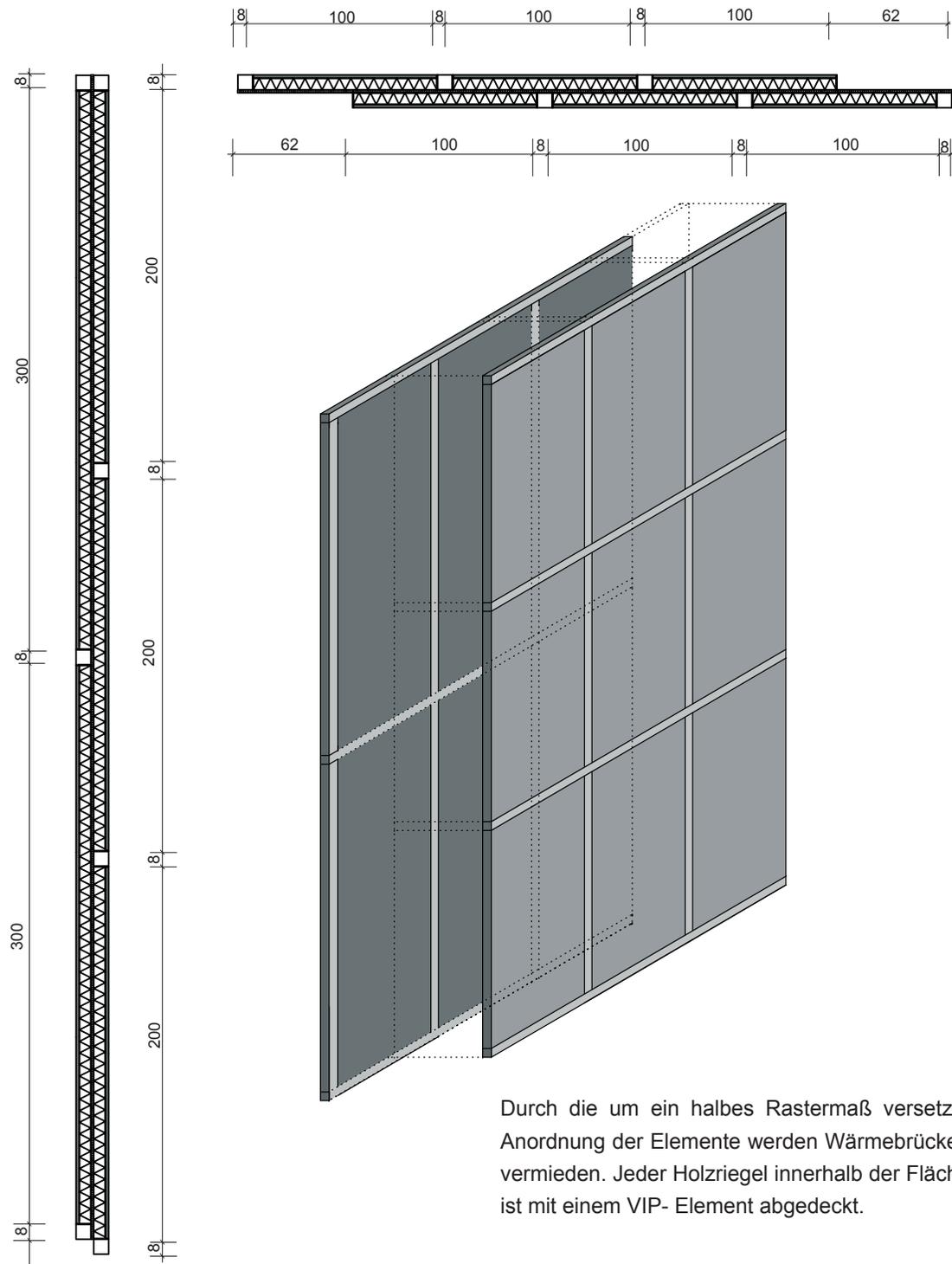


- Sperrholz _____
- VIP 6 cm _____
- Konstruktionsvollholz 6/8 cm _____
- aussteifende OSB- Platte _____
- Schwalbenschwanzverbindung, Stahl _____



Vorfertigung

Die tragenden Ständerwerke sowie die aussteifenden OSB-Platten können in einer Zimmerei abgebunden und leicht vor Ort aufgeschlagen werden. Die Wannenelemente sind so konzipiert, dass sie ebenfalls in der Werkstatt einschließlich der Vakuum-Isolationspaneele vormontiert werden können. Die Baustellenmontage der Wannenelemente erfolgt durch Einschieben in die konisch geformten Metallpassungen. Diese Verbindungstechnik erfordert ein Höchstmaß an Präzision, die nur über eine exakte Vorfertigung in der Werkstatt zu leisten ist.



Durch die um ein halbes Rastermaß versetzte Anordnung der Elemente werden Wärmebrücken vermieden. Jeder Holzriegel innerhalb der Fläche ist mit einem VIP- Element abgedeckt.

Revision

Der Ausbau der äußeren Wannenelemente und der Austausch der in die Wannenelemente eingelegten Vakuum-Isolationspaneele ist bei entsprechender Ausbildung der Fassadenbekleidung einfach zu handhaben.

Der Ausbau der inneren Wandelemente ist jedoch nur möglich, wenn keine Zwischendecken oder Trennwände an die Wandkonstruktion anschließen. Die Verwendung dieser Fassadenkonstruktion ist aus diesem Grund nur bei entsprechenden Bauaufgaben, wie z.B. im Hallenbau, möglich.

Ein weiteres Problem stellt die Lösbarkeit der Schwalbenschwanzverbindungen dar. Durch kleinste Verformungen der Ständerwerke oder der Wannenelemente, z.B. durch das „Arbeiten“ der Holzwerkstoffe, würden sich die Zinken so stark mit der Nut verkeilen, dass ein leichtes Herausnehmen der Wannenelement nicht mehr möglich wäre.

Berechnung des U-Wertes (Wärmedurchgangskoeffizient)

Die Wandkonstruktion umfasst insgesamt eine 12 cm starke Dämmschicht aus Vakuum-Isolationspaneelen. Die hohen Kosten für diesen Dämmstoff sprechen dafür, mindesten 50% der VIPs durch konventionelle Dämmstoffe zu ersetzen. Außerdem erscheinen die materialbedingten Wärmebrücken, die aus den Überschneidungen der Holzprofile und aus der Querleitung der mittig angeordneten OSB-Platten resultieren, zu groß. Eine thermische Trennung in der Ebenen der aussteifenden OSB-Platten mit Sandwichplatten, deren Kernmaterial aus einem leichtem Kunststoff besteht, könnte zu einer wesentlichen Verbesserung führen.

VIP in cm	2	4	6	8	10	12
W/m²K	0,27	0,22	0,20	0,17	0,15	0,13
bei cm Kork	2 x 5	2 x 4	2 x 3	2 x 2	2 x 1	ohne

Die Entwurfsverfasser wählten hier einen Konstruktionsaufbau mit insgesamt 12 cm Vakuum-Isolationspaneelen, so daß sich ein errechneter Wert von 0,13 W/m²K ergibt. Um den Konstruktionsaufbau mit anderen Wandaufbauten vergleichen zu können, wurde jeweils bei Reduzierung der VIP-Stärke eine entsprechend große Korkschiebt angesetzt.

Verfasser des Aufbaus:

6.5. Alexander Größ, Roman Rosental, Frank Zietlow, Stefan Köther

Konstruktion

Ziel der Fassadenkonstruktion von Alexander Größ, Roman Rosental, Frank Zietlow und Stefan Köther war es, bei einem zweigeschossigen Gebäude die Dämmschicht aus Vakuum-Isolationspaneelen ohne Durchdringungen anordnen zu können.

Die Gruppe entwickelte ein zweigeschossiges Holzskelett, das außen mit 6 cm starken Mehrschichtplatten verkleidet wird. Vor den Mehrschichtplatten ist in einem Abstand von 12 cm ein Ständerwerk aus Stahlprofilen in den Achsabständen von 80 cm angeordnet.

Die Quadrathohlprofile mit dem Querschnitt 10 x 10 x 0,5 mm sind nur am Fußpunkt und an der Traufe befestigt und überspannen eine Höhe von ca. 6 m.

An den Stahlprofilen sind über die gesamte Höhe durchlaufend trapezförmige Klemmprofile angebracht, die über Federn Druck auf die zweilagig angeordneten Vakuum-Isolationspaneele (2 und 4 cm) ausüben und diese dadurch fixieren.

Darüber hinaus sorgt der Federmechanismus auch dafür, dass die Vakuum-Isolationspaneele nicht durch auf die Fassade wirkende Windkräfte zu stark belastet werden.

Durch das Nachgeben der Federn können sich die Stahlprofile, an denen die Fassadenbekleidung mit KVH – Riegeln angebracht ist, durchbiegen und die Windlasten zu den Haltepunkten an Traufe und Sockel weiterleiten.

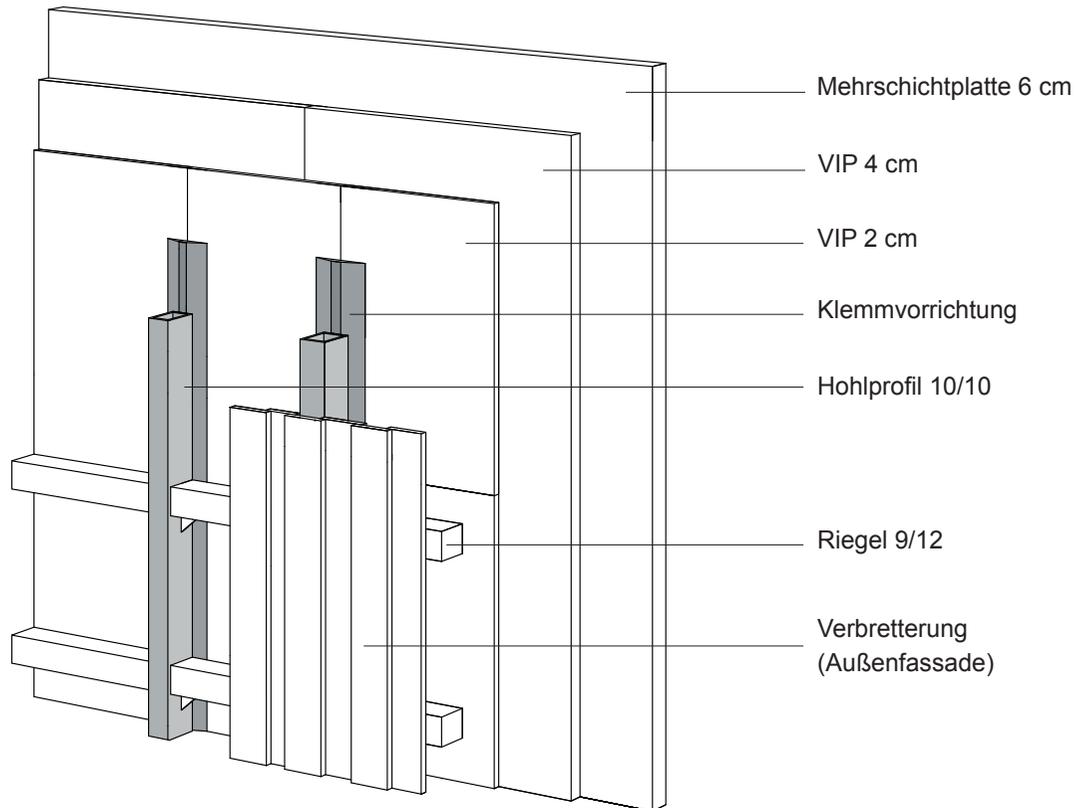
Erwähnenswert an diesem Beitrag ist, dass die Gruppe aus zwei Studenten des Bauwesens und zwei Studenten der Architektur bestand. Die Gruppe dimensionierte die Stahlprofile unter Berücksichtigung der zu erwartenden Windkräfte und ermittelte die maximale Durchbiegung, um den Federweg festlegen zu können.



Bewertung

Gestalterische Aspekte

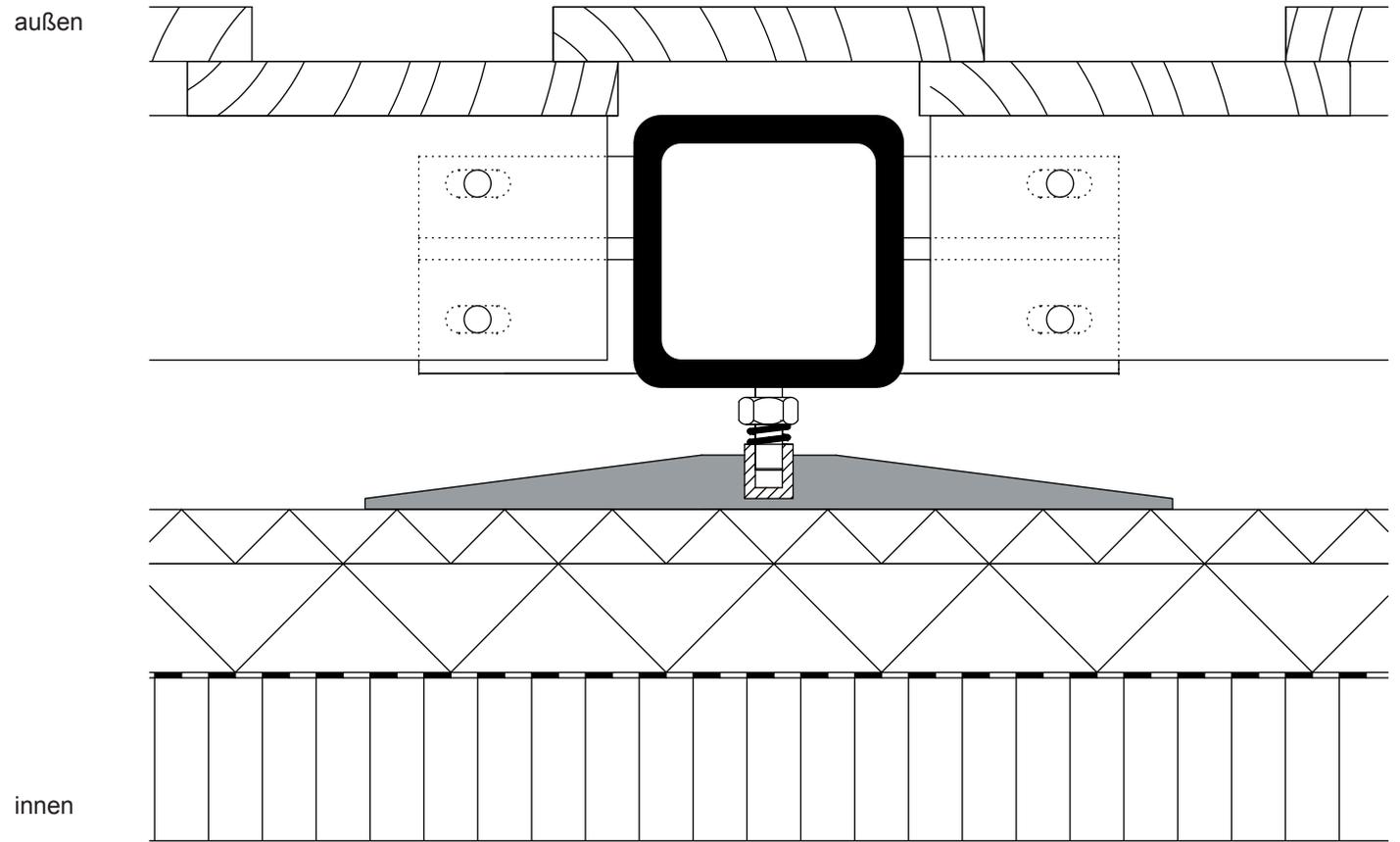
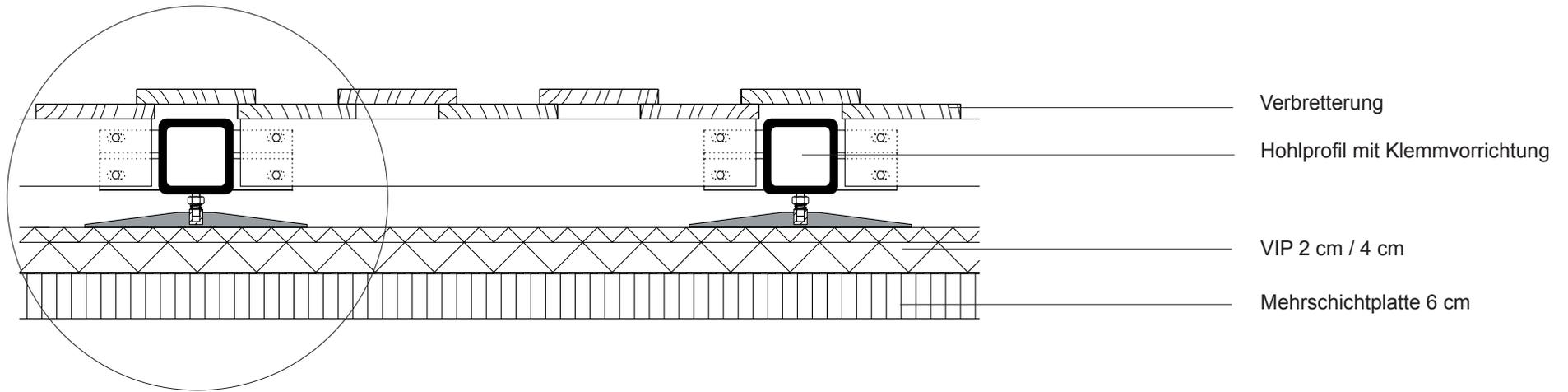
Durch die Verwendung der Boden-Deckel-Schalung ist der innovative Charakter dieser Lösung nicht mehr ablesbar. Der Materialwechsel innerhalb der Fassadenebene von Stahl auf Holz ist nicht begründet. Dieser vorgeschlagenen Konstruktion würde eher eine Metallfassade entsprechen.



Vorfertigung

Dem Vorteil der durchgehenden, wärmebrückenfreien Dämmebene steht der Nachteil der Vor-Ort-Montage der Vakuum-Isolationspaneelle entgegen. Die wesentlichen Einzelteile der Konstruktion können vorfabriziert, transportiert und einfach montiert werden. Schwierigkeiten bereitet jedoch das Einschleiben der ungeschützten Vakuum-Isolationspaneelle zwischen die geschlossene Holzwand und die Klemmprofile.

Nach Montage der Dämmelemente müssen noch Querriegel für die Befestigung der Boden-Deckel-Schalung im Abstand von 6 cm vor den verletzbaren Vakuum-Isolationspaneelle angebracht werden. Auch dieser Arbeitsgang stellt hinsichtlich der Verletzbarkeit der Vakuum-Isolationspaneelle ein Gefährdungspotential dar.



Revision

Für den Austausch undichter Vakuum-Isolationspaneele muss die elementierte Boden-Deckel-Schalung abgenommen und die KVH-Querriegel abgeschraubt werden. Danach müssen die Klemmprofile soweit gelöst werden, dass die Vakuum-Isolationspaneele herausgenommen werden können. Die vorgeschlagenen Detailausbildungen, insbesondere der Schraubmechanismus zum Zurückfahren der Klemmprofile, führen zu einer zeitaufwendigen Demontage. Die entsprechenden Verbindungen müssten hinsichtlich einer zeitsparenden, maschinellen Lösbarkeit weiter optimiert werden.

U-Wert-Berechnung

Der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten liegt ein homogener Fassadenaufbau zu Grunde. Im Entwurf wurden 6 cm starke VIP-Schichten eingebaut. Zum derzeitigen Zeitpunkt wäre es ökologisch und ökonomisch sinnvoll, die Schichtdicke eines homogenen Fassadenaufbaus auf 4 cm zu begrenzen. Da dieser Entwurf jedoch eine aufwendige Konstruktion aufweist, um die Vakuum-Isolationspaneele ohne Durchdringung zu befestigen, ließe sich auch der Einsatz von 6 cm Vakuum-Isolationsmaterial an dieser Stelle vertreten.

VIP in cm	2	4	6	8	10	12
W/m ² K	0,37	0,19	0,13	0,10	0,08	0,07

Verfasser des Aufbaus:

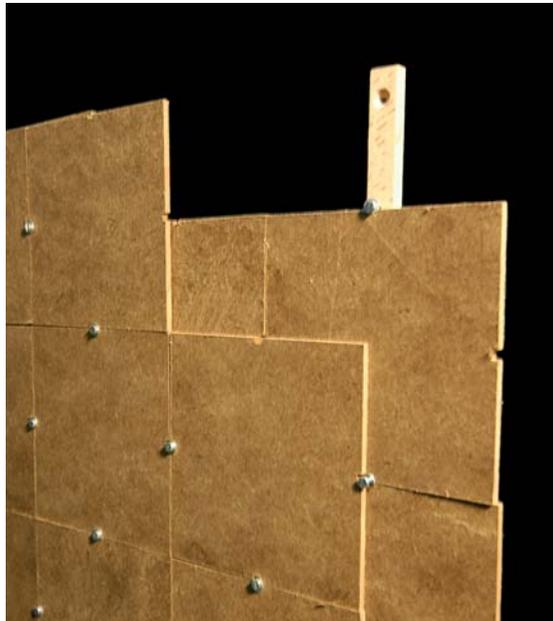
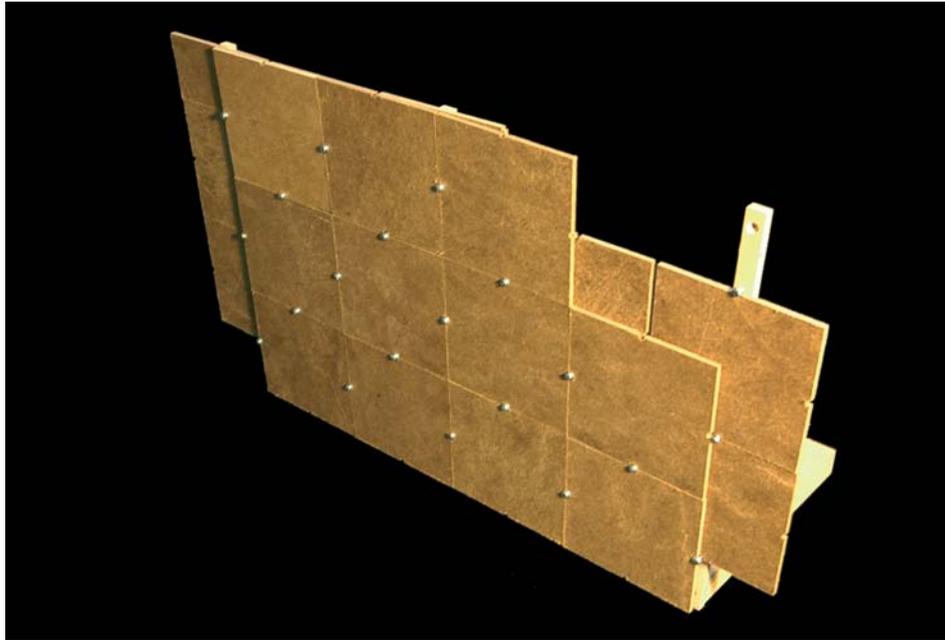
6.6 Marcel Zerfas, Peter Eberlei

Konstruktion

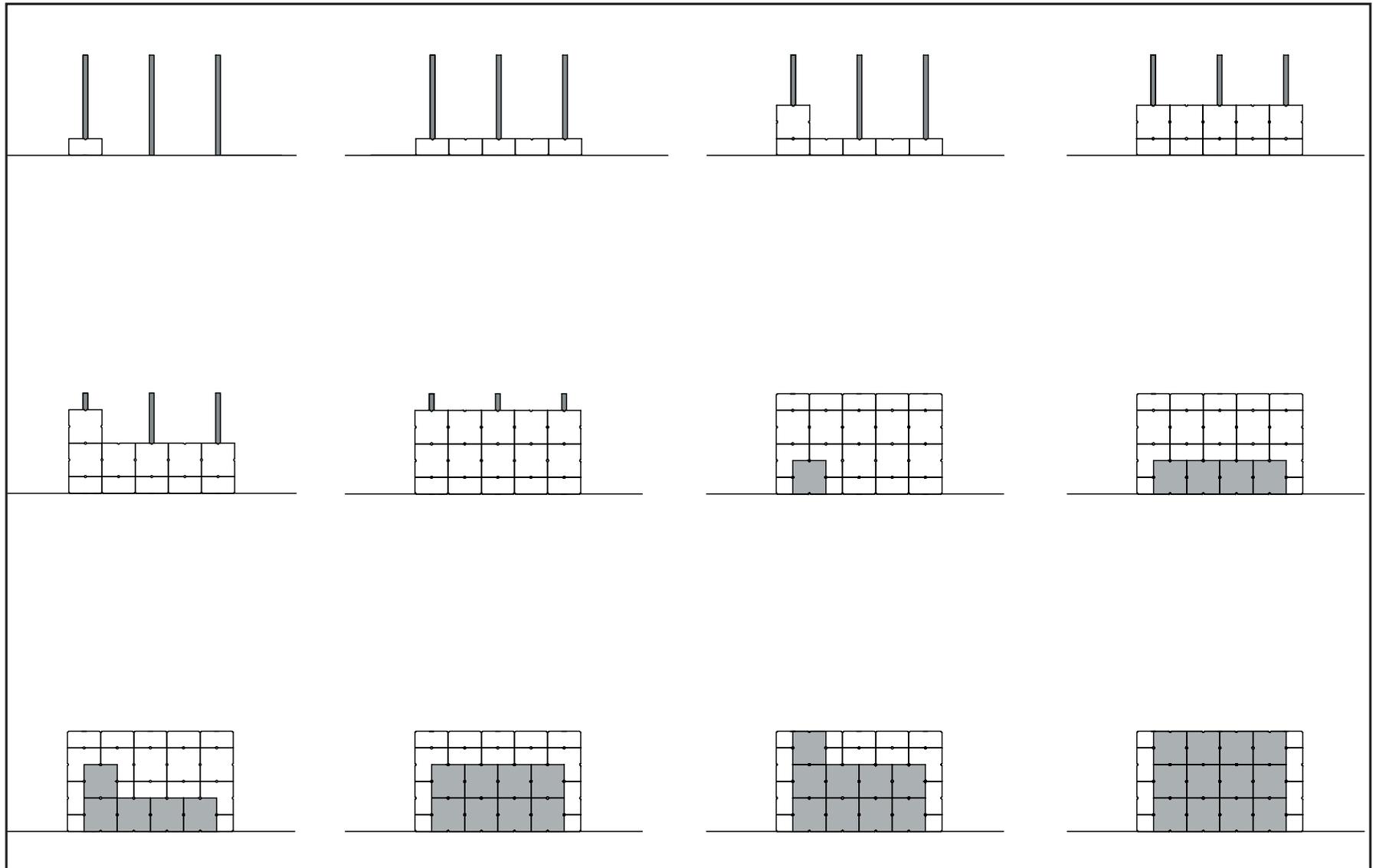
Die Wandkonstruktion von Marcel Zerfaß und Peter Eberlei wird aus einem quadratischen Hauptelement mit der Abmessung 1,25 m x 1,25 m zusammengesetzt. Dieses Hauptelement ist 6 cm stark und besteht im Kern aus einem 2 cm starken Vakuum-Isolationspaneel und einer Ummantelung aus 19 mm starken OSB-Plattenmaterial.

Die Hauptelemente werden in zwei Lagen mit einem horizontalen und einem vertikalen Versatz von einem halben Rastermaß zu einer Wand gefügt. Die Wand aus den versetzt angeordneten Elementen wird alle 2,50 m von einer innen liegenden Stütze stabilisiert.

Die Stahlanker, die das Wandpaket an den Stützen befestigen und die beiden Schichten untereinander verbinden, werden an den Kreuzungspunkten der Stoßfugen angeordnet. Ziel der versetzt angeordneten Hauptelemente ist es, die Wärmebrücken, die durch Stoßfugen und Randeinfassungen der Hauptelemente entstehen, zu überdämmen.



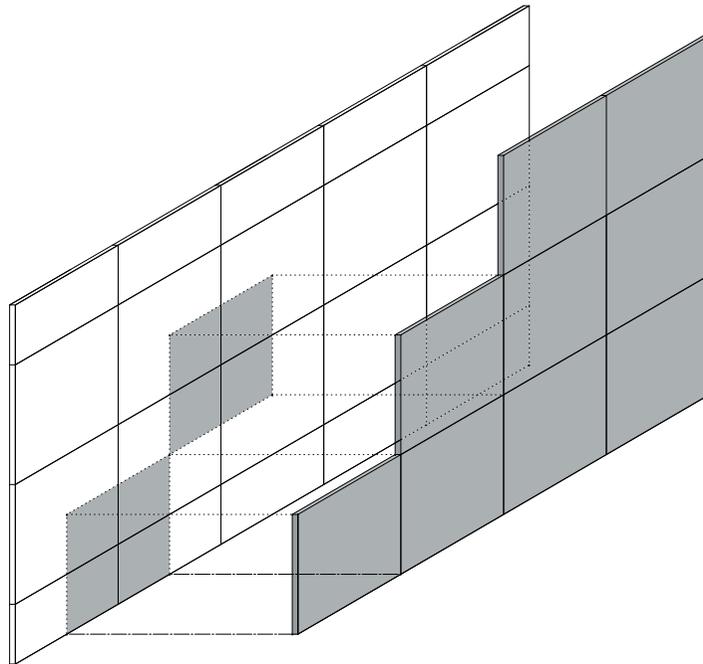
Aufbauschema einer Wand. Die Kantenstöße werden von der darüber liegenden Lage überdeckt, so dass keine Wärmebrücken entstehen.



Bewertung

Gestalterische Aspekte

Der Beitrag von Marcel Zerfaß und Peter Eberlei trifft zu den letztendlich sichtbaren Oberflächen keine Aussage. Die klare Modularisierung der Konstruktion sollte auch bei der Gestaltung der Außen- bzw. Innenoberfläche ausschlaggebend sein. Die dem innovativen Dämmmaterial entsprechenden Themen wie Vorfertigung, Revision, Recycling könnten dadurch visualisiert werden.



Plattenmaße:

62,5 cm x 125 cm (Seitenverhältnis 1:2)

125 cm x 125 cm (Seitenverhältnis 1:1)

Vorfertigung

Die Art und Größe der Hauptelemente eignet sich im besonderen Maße für eine industrielle Vorfertigung, für die Lagerung und den Transport sowie für die Montage auf der Baustelle. Die empfindlichen Vakuum-Isolationspaneele können unter optimalen Werkstattbedingungen in die Kastenelemente eingelegt werden und sind für den anschließenden Bauprozess ausreichend geschützt. Die rustikale Einhausung der Dämmelemente müsste jedoch weiter optimiert werden. Der Wärmebrückeneffekt des Randverbundes und der Befestigungsanker könnte durch eine thermische Trennung wesentlich reduziert werden. Es ist vorstellbar, dass die Böden und Deckel der Kastenelemente aus einem leichteren und dünneren Holzwerkstoff bestehen.

Revision

Die Einteilung der Fassadenkonstruktion in quadratische Module mit einer Kantenlänge von 1,25 m eignet sich sehr gut für die Wartung und den Austausch defekter Isolationspaneele. Zur Zeit liegt die ökonomisch sinnvoll herzustellende Größe von Vakuum-Isolationspaneelen bei ca. 1 m x 1 m. Die Vergrößerung der Kantenlänge auf 1,2 m würde bei der Abnahme größerer Stückzahlen keine Mehrkosten verursachen. Nach der Demontage der äußeren Schicht könnten alle Kastenelemente geöffnet und die belüfteten VIPs ausgetauscht werden. Voraussetzung hierfür ist, dass die Fassaden-

bekleidung ebenfalls schnell und einfach abzunehmen wäre. Die Kastenelemente sollten in Bezug auf den einfachen Austausch der Dämmkerne weiterentwickelt werden.

Statik

Die Standsicherheit der von Marcel Zerfas und Peter Eberlei vorgeschlagenen Konstruktion ist in Bezug auf angreifende Windlasten problematisch. Durch die Elementierung der Wandkonstruktion entstehen in den Feldern zwischen den Stützen Gelenkketten, die bei entsprechendem Windangriff zu einer Verformung der Fassadenkonstruktion führen.

Aufgrund der ungünstigen Hebelverhältnisse würden die punktuellen Klemmverbindungen zwischen äußerer und innerer Schicht bei Winddruck nachgeben oder sich in den Holzwerkstoff eindrücken. Die kraftschlüssige Verbindung wäre dadurch aufgehoben.

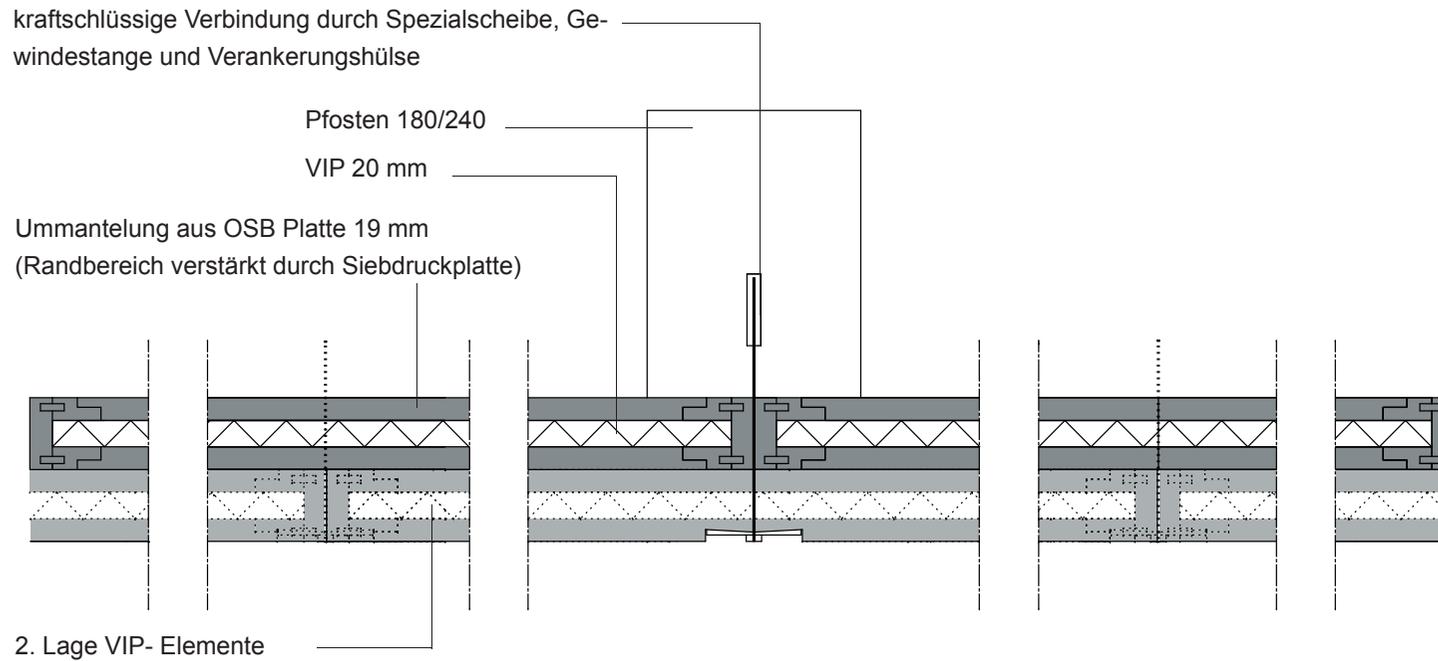
Durch eine Überarbeitung der Konstruktion könnte man eventuell erreichen, dass allein der kraftschlüssige Verbund zwischen den Kastenelementen der inneren Schicht und den Stützen die Haltbarkeit der Fassade gewährleistet. Um die oben beschriebene Gelenkkette zu vermeiden, müssten die Stützen in einem engeren Achsabstand von 1,25 m angeordnet werden.

Bei einer zu überspannenden Geschosshöhe von 3 m könnten dann folgende Querschnitte unter Umständen ausreichen: Fassadenprofile aus Leimschichtholz mit dem Querschnitt 6/6 cm, Elemente der inneren und äußeren Schicht mit einer Stärke von 40 mm.

Eine weitere Alternative, um die Stabilität der Fassadenkonstruktion zu erhöhen, könnte mit der zusätzlichen Anordnung einer äußeren Stützenreihe einhergehen.

Analog zu einem Stegträger würden dann angreifende Windkräfte in Zug- und Druckkräfte aufgeteilt und von den innen und außen liegenden Stützen, ähnlich wie ein Ober- bzw. Untergurt, aufgenommen. Durch den Verbund der Stützen mit der dazwischen liegenden Wandkonstruktion (Kastenelement) könnten die Querkräfte (Steg) übertragen werden.

Bei einem Achsabstand der Stützen von 62,5 cm wären möglicherweise folgende Querschnitte zu realisieren: innere und äußere Stützenprofile aus Furnierholz mit den Abmessungen 40/40 mm, Kastenelemente der Wandkonstruktion mit einer Stärke von 35 mm.



Die außen und innen angeordneten Stützen könnten bei dieser Variante als Unterkonstruktion für die Fassade und für die Innenwandbekleidung dienen.

Die U-Wert-Berechnung erfolgt zum einen über die einzelnen Gefachanteile der umhüllenden OSB-Platten im Verhältniss zu den umhüllten VIP-Flächen. Zum anderen wurde ein Korrekturfaktor für Befestigungsmittel aus Metall berücksichtigt, da der Wandaufbau in den sich überschneidenden Bereichen von Verbindungsankern durchdrungen wird.

In Ansatz gebracht wurden 4 Durchstoßpunkte pro m² mit einem Querschnitt von insgesamt 0,5 cm². Als Material wurde Nirosta-Stahl mit einer Wärmeleitfähigkeit von 15 W/mK angenommen.

U-Wert-Berechnung

VIP in cm	2	4	6	8	10	12
W/m ² K	0,39	0,23	0,17	0,14	0,11	0,10

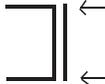
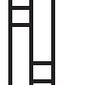
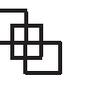
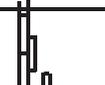
Auswertung

Nach Abschluß des Studienprojektes wurden die 7 unterschiedlichen Konstruktionsansätze verglichen, ausgewertet und zueinander ins Verhältniss gesetzt.

Der Entwurf von Zerfass und Eberlei weist bei einer Verwendung von 4 cm VIPs in einem 2-schaligen Aufbau bei einem Gesamtkonstruktionsaufbau von 11,6 cm einen errechneten U-Wert von 0,23 W/m²K auf.

Dieser im Vergleich zu den homogenen Wandaufbauten schlechte U-Wert ergibt sich durch die relativ große Stegbreite (2 cm) und die großzügigen Edelstahldurchdringungen.

Übersichtstabelle mit Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte in W/m²K)

	VIP in cm	2 cm	4 cm	6 cm	8 cm	10 cm	12 cm	Konstruktionsaufbau	Konstruktion gesamt in cm
	Zietlow Größ, Köther Rosental	0,37	0,19	0,13	0,10	0,08	0,07	homogener Wandaufbau aus 6 cm Holz und VIP	12 cm + Verkleidung
	De Sa El Schami	0,27	0,16	0,11	0,09	0,07	0,06	6 cm Holz, 2 cm Kork, VIP 2 cm Mehrschichtplatte	14 cm incl. Verkleidung
	Von Zengen Tiemann Keppeler	0,27	0,22	0,20	0,17	0,15	0,13	1,9 cm OSB, VIP, 1,9 cm OSB, VIP 1,9 cm OSB	17,7 cm
	Zerfaß Eberlei	0,39	0,23	0,17	0,14	0,11	0,10	OSB-Platten mit Stegen und eingelegten VIPs mit Nirosta Durchdringung	11,6 cm
	Luft Janssen	0,39	0,27	0,20	0,16	0,13	0,11	OSB-Taschen mit eingeschobenen VIPs Nirosta Durchdringung	12 cm + Verkleidung
	Weglage	0,45	0,26	0,19	0,15	0,12	0,11	2,5 cm Multiplexplatte mit versetzten Holzlatten 2 x 2 cm hinterlüftete Fassade	10,5 cm incl. Verkleidung

Diese Tabelle stellt die Ergebnisse der unterschiedlichen Konstruktionsansätze der Studienarbeiten zusammen.

Um die verschiedenen Lösungsansätze in Bezug auf ihren Wärmedurchgang vergleichen zu können, wurde für jede Konstruktion der U-Wert mit Vakuumisulationspaneelstärken zwischen 2 und 12 cm berechnet.

Grau hinterlegt sind die im Entwurf verwendeten VIP-Stärken. Die zu Grunde gelegte Wärmeleitfähigkeit der Vakuum-Isulationspaneele liegt bei 0,008 W/mK. Dies entspricht dem Wert der bauaufsichtlichen Zulassung.

Während die Entwurfsgruppen Zietlow-Größ-Köther-Rosental und De Sa-El Schami homogene Wandaufbauten aus Holz und Vakuum-Isulationspaneelen verwendeten, wurde für die anderen vier Entwürfe der jeweils in der Dämmebene liegende Holzanteil ermittelt und mit in die Berechnung einbezogen.

Bei den Entwürfen von Zerfaß-Eberlei, Luft-Janssen und Weglage wurde zusätzlich eine Durchdringung von 0,5 cm² Nirosta-Stahl pro qm Bauteilfläche berücksichtigt. Die Gesamtstärke der Konstruktion bezieht sich auf die von den Entwurfsverfassern gewählte Stärke der Vakuum-Isulationspaneele.

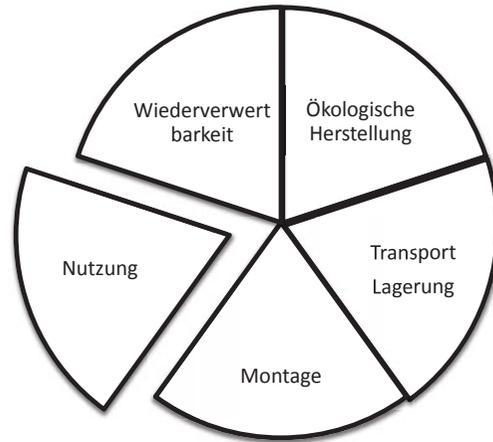
7. Studienprojekt im Masterstudiengang 2008/2009

Betreuer:

Prof. Hartmut Stechow

Prof. Georg Seegräber

Dipl.-Ing. Karin Wert



Im Modul Entwerfen + Gebäudetechnologie des Masterstudiengangs Architektur wurden im Wintersemester 2008/09 Einsatzmöglichkeiten von Vakuum-Isolationspaneelen im Bereich mobiler Raumstrukturen untersucht. Die Bearbeitung der Studierenden umfasste den architektonischen Entwurf, die konstruktive Vertiefung und die Darstellung struktureller Kombinationsmöglichkeiten der temporären Raumeinheiten.

Parallel zu der Lehrveranstaltung wurde das Forschungsvorhaben weiterentwickelt.

Zum Abschluss des Semesters konnte zusammen mit den Studierenden ein Fassadenausschnitt mit integrierten Vakuum-Isolationspaneelen im Maßstab 1:1 gebaut werden.

Die Ergebnisse der Lehrveranstaltung und das Fassadenmodell wurden im Sommer 2009 im Rahmen einer Ausstellung der interessierten Öffentlichkeit vorgestellt.

Entwerfen und Gebäudetechnik

SS 2009

Modulares Entwerfen unter Verwendung
von Vakuum-Isolationspaneelen

Prof. H. Stechow - Prof. G. Seegräber, Dipl.- Ing. K. Wert



Axel Haarmann
Notunterkünfte



Dorien Wulff
Temporärer Kindergarten

Lasse Freytag
Mobiles Wohnen

Laura Warnke
Mobile Praxis



Marlene Brudeck
Socio - Mobiles Wohnen

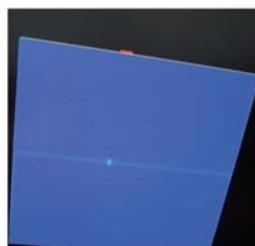
Nadine Hermes
Temporäre Ferienhäuser

Patrick Grossmann
Temporäres Wohnen

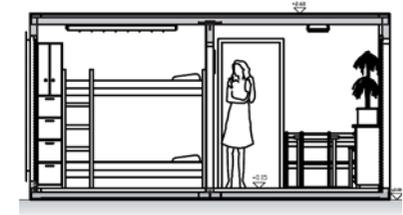
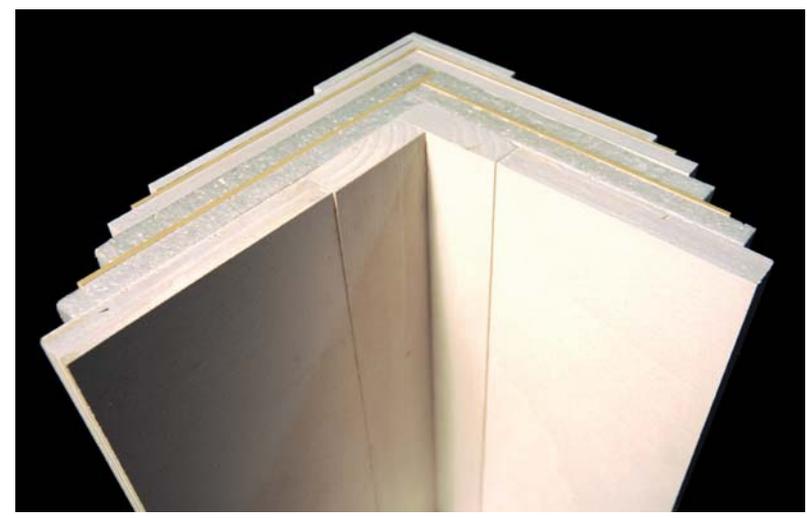
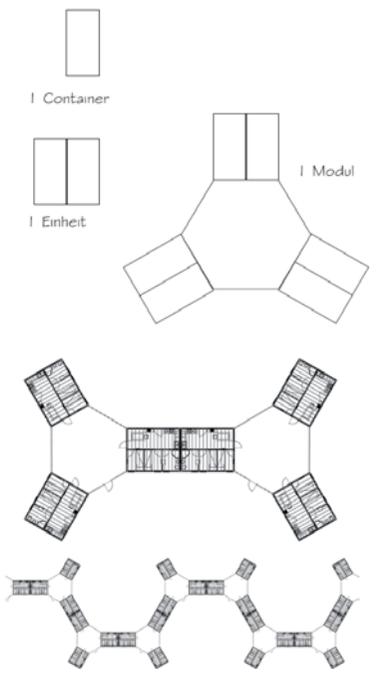
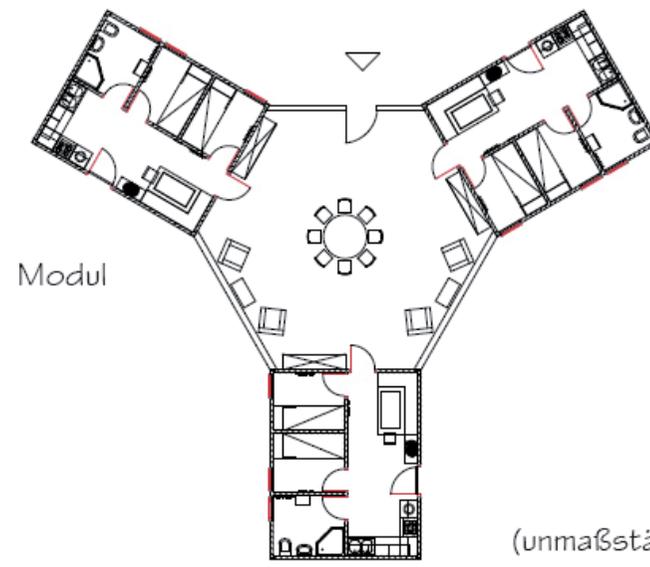
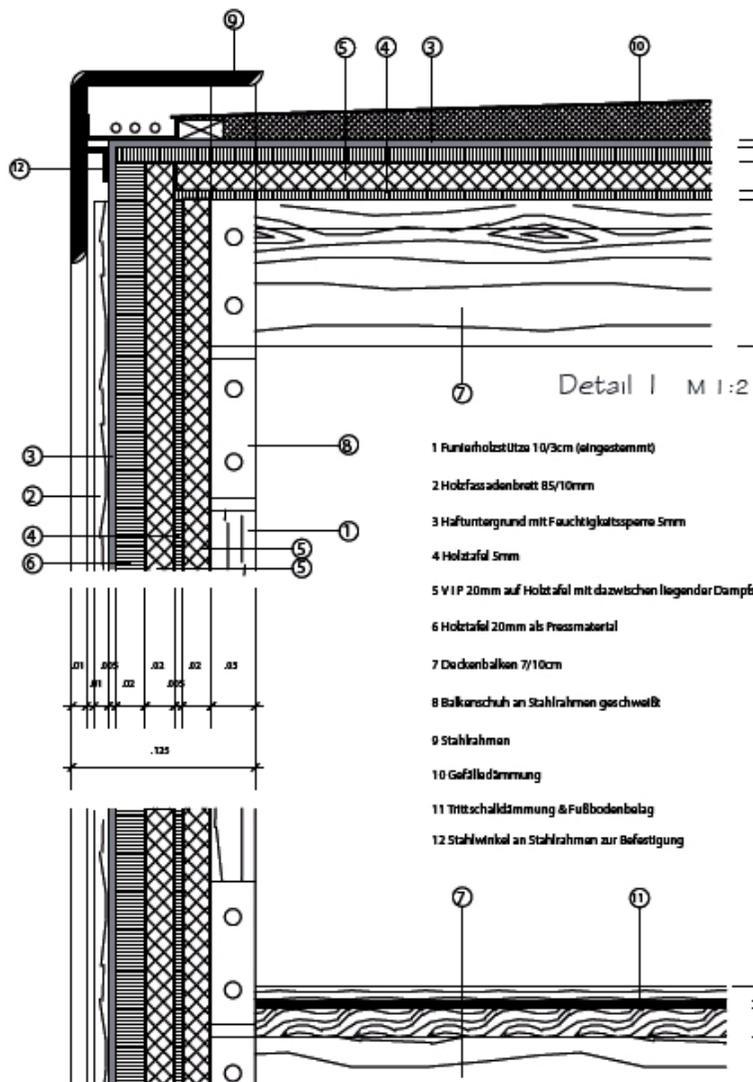
Daniel Spinneker
Mobiles Strandhaus

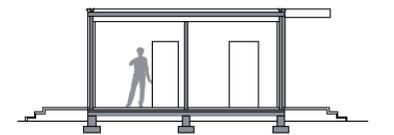
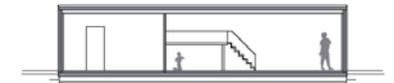
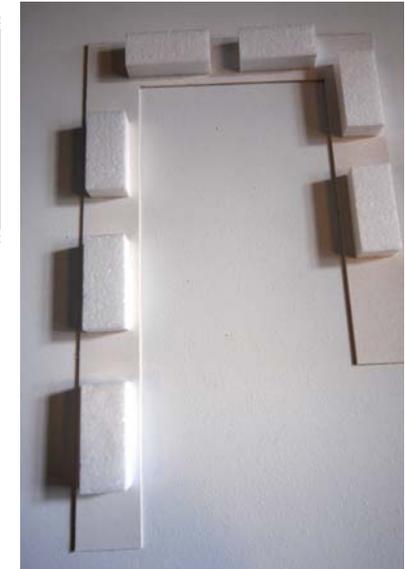
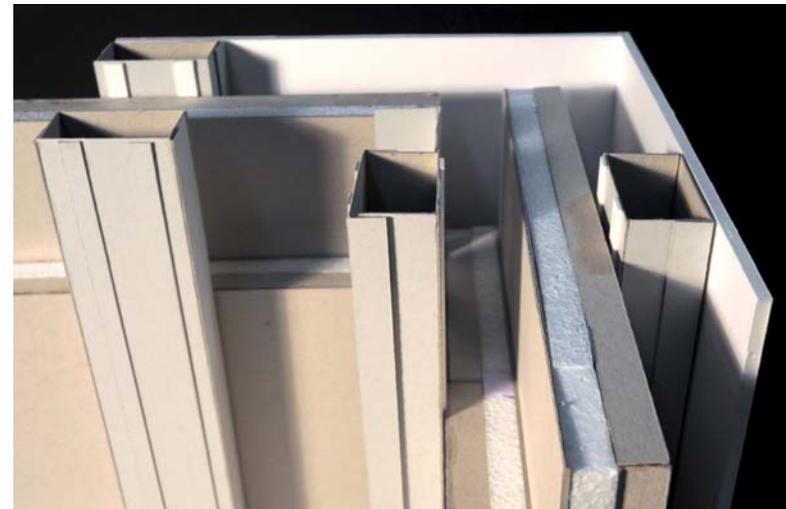
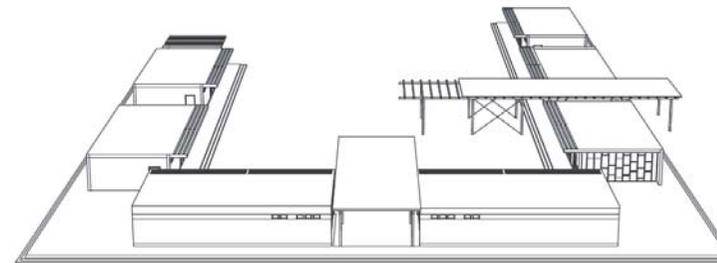
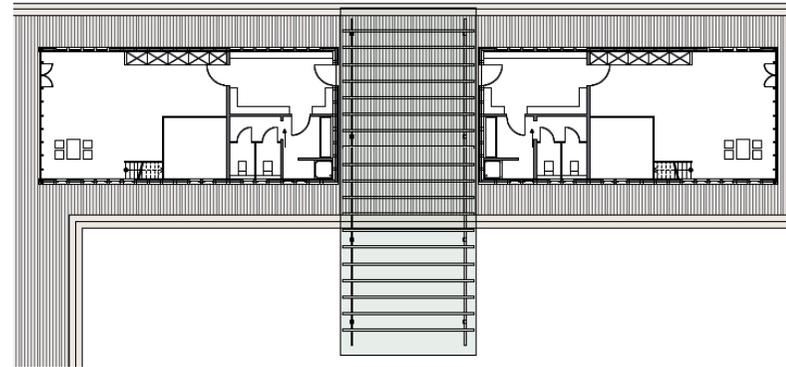
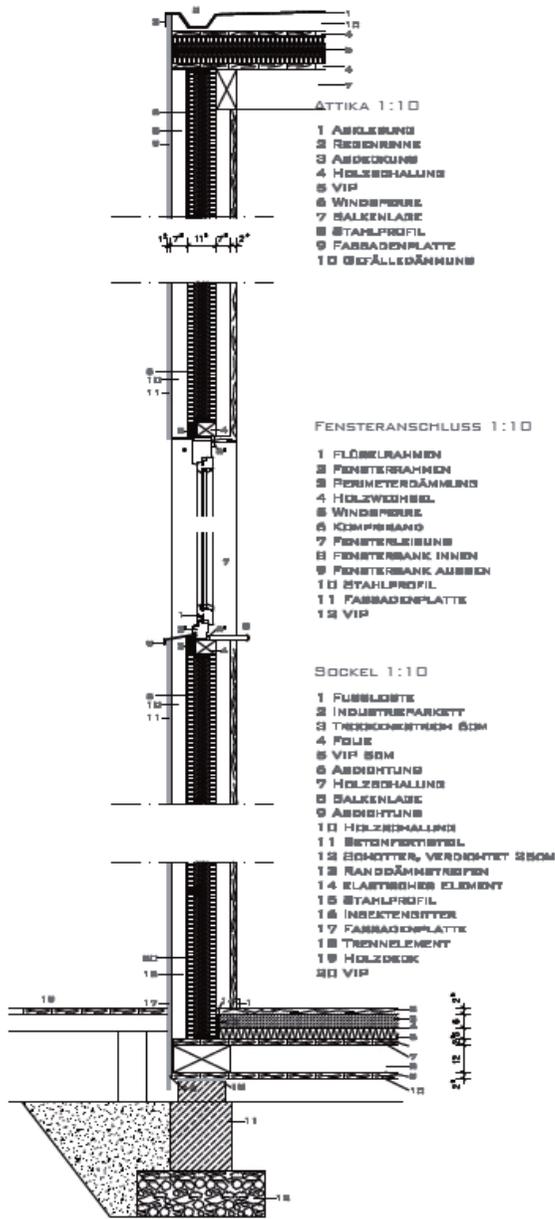
Enno Garten
Mobile Ausstellungsbox

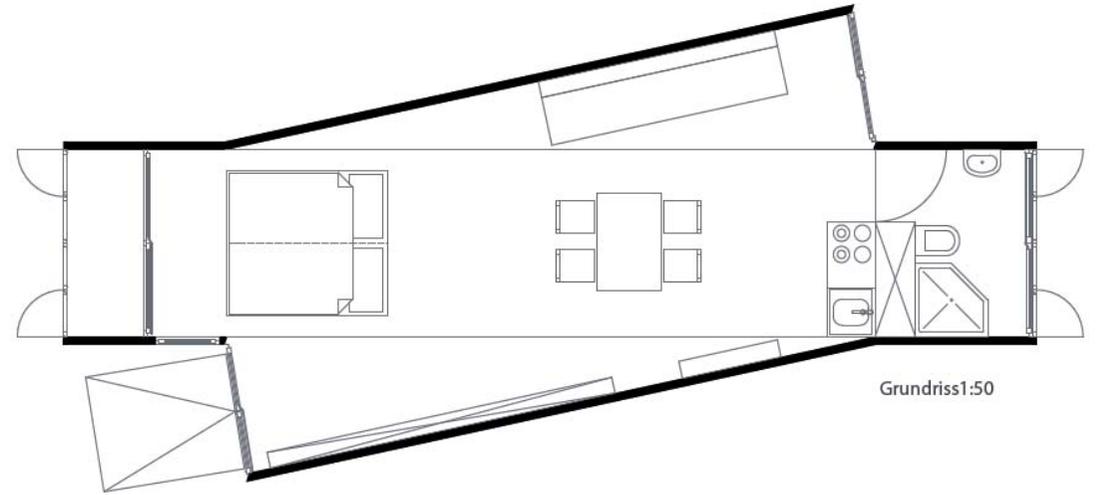
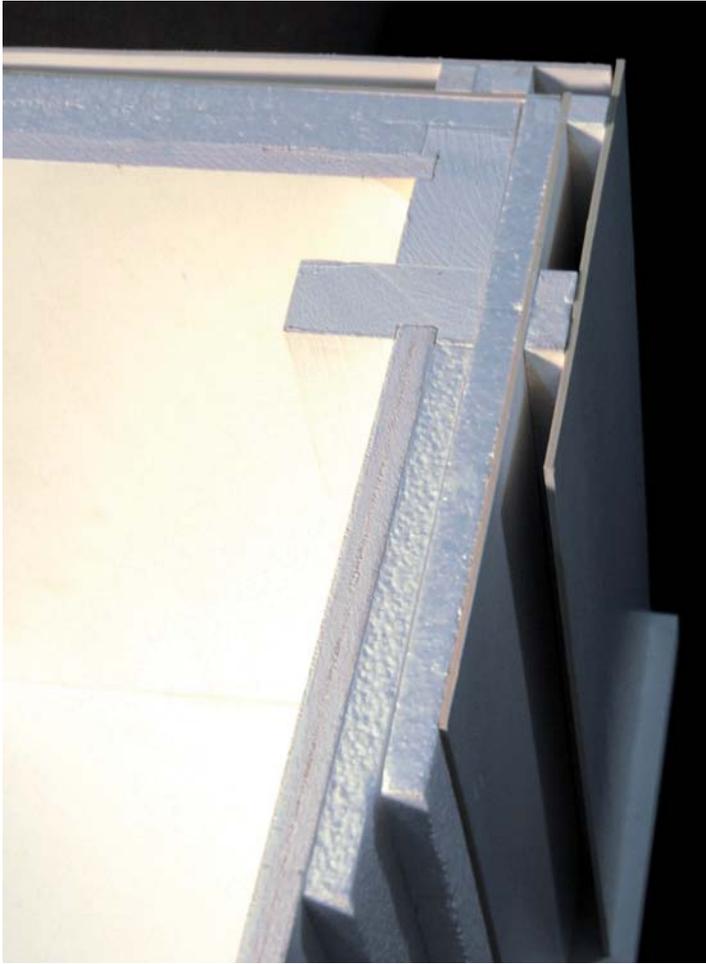
Dominik Willgerod
temporäre Wohneinheiten



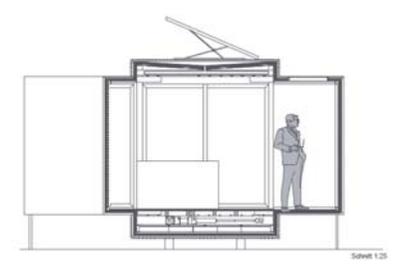
Bau des 1:1 Modells



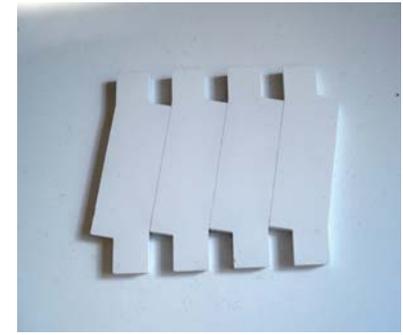
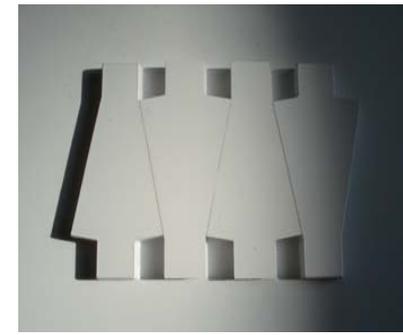




Grundriss1:50

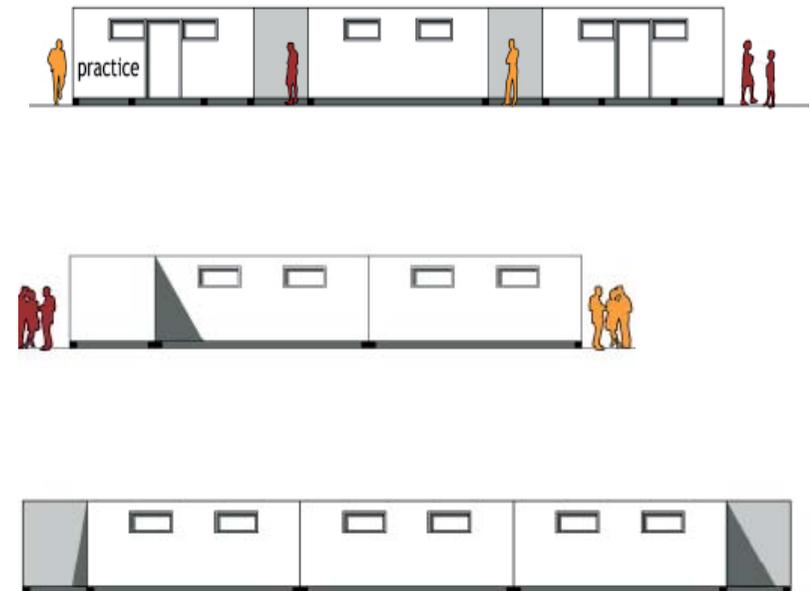
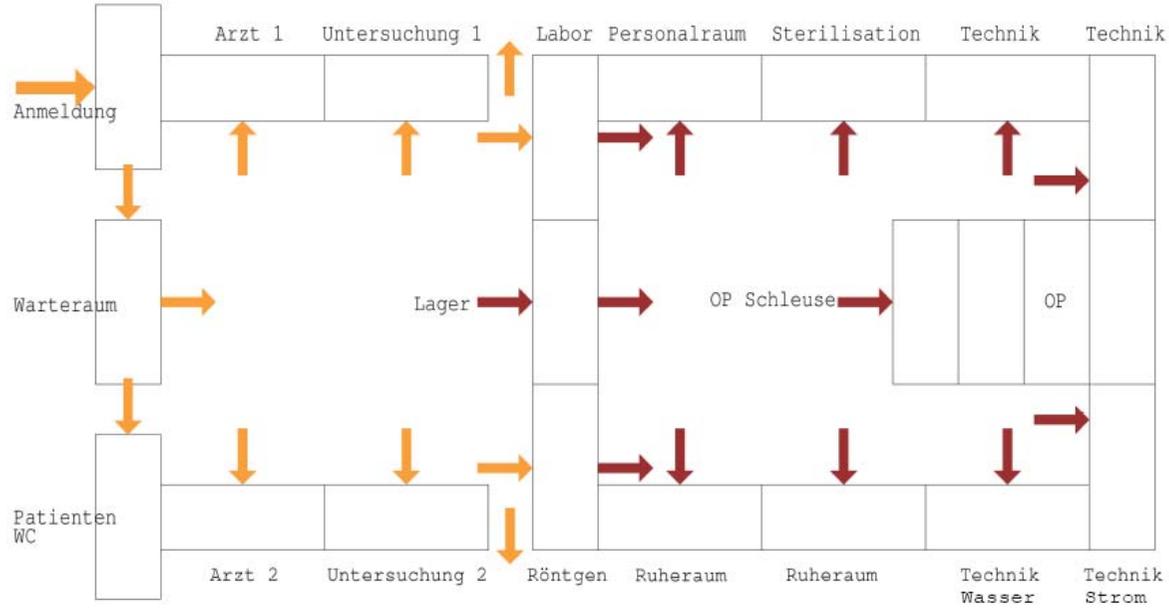
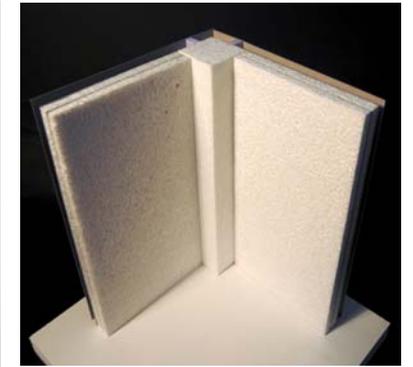
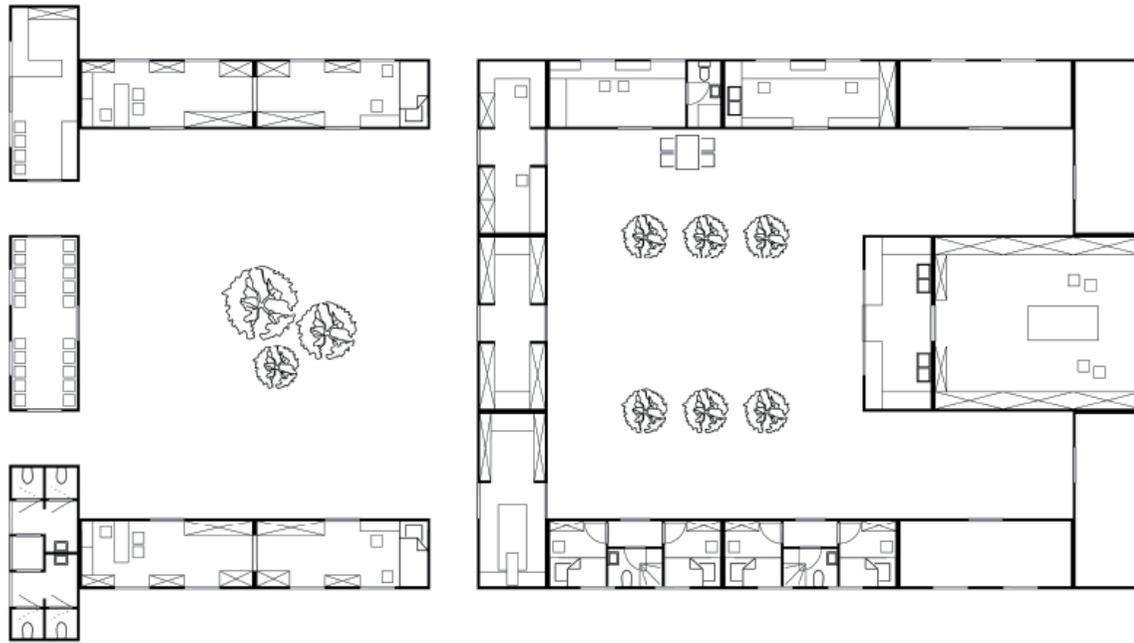


Schnitt 1:25

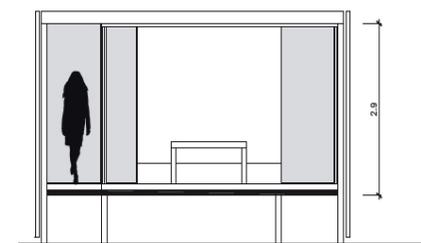
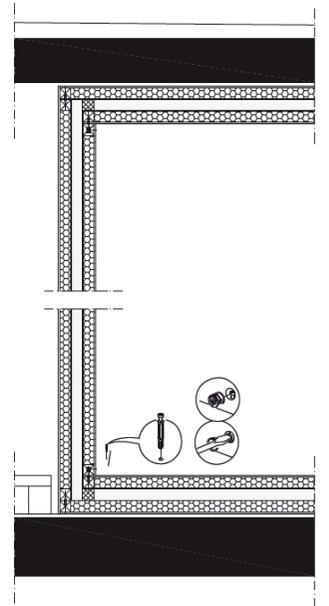
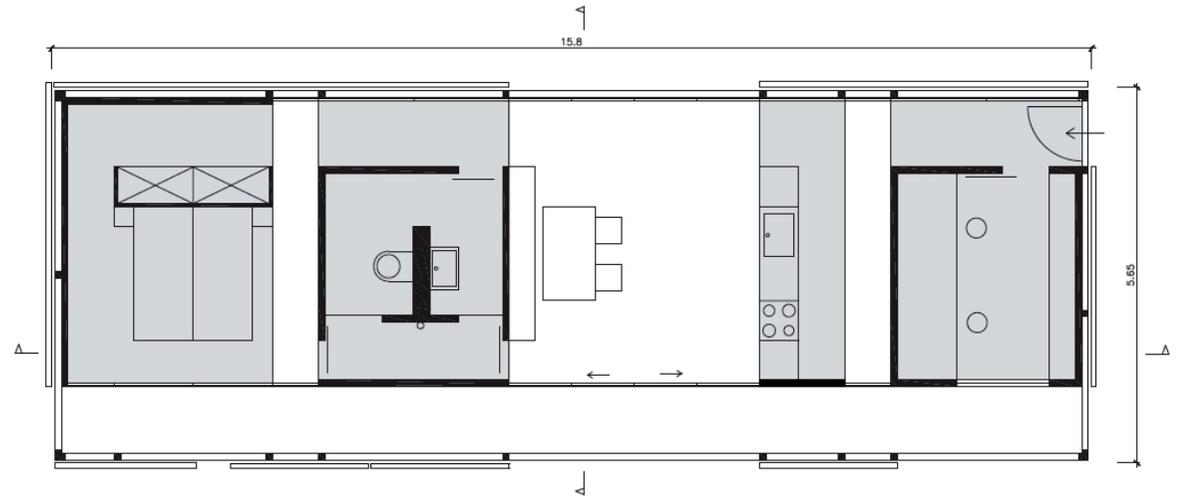
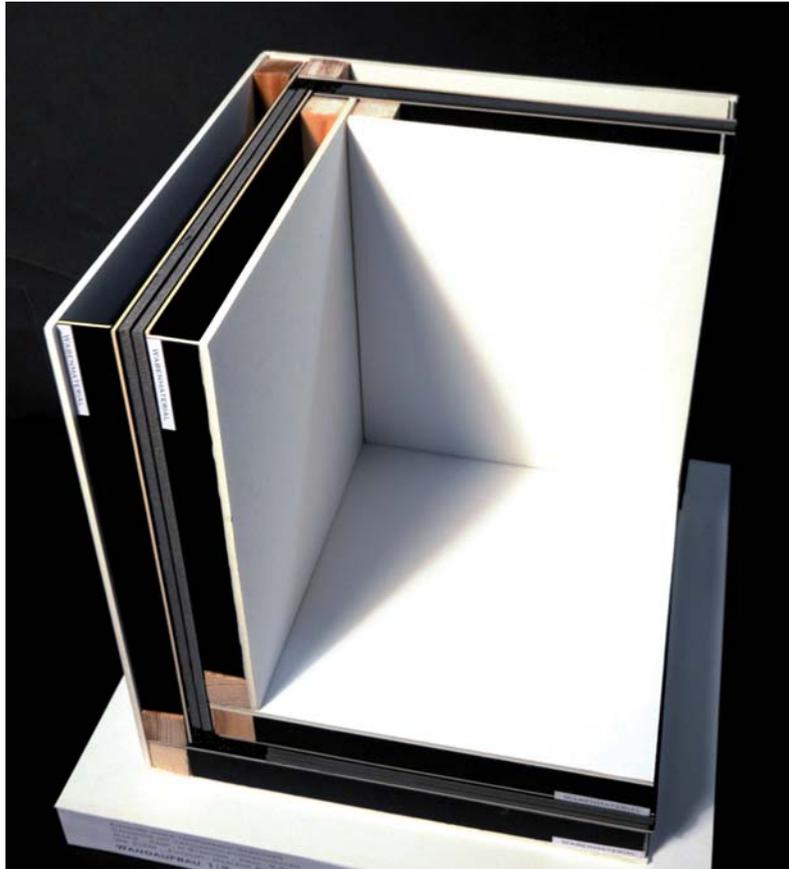


Lasse Freytag

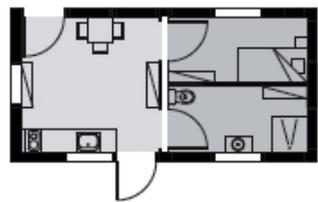
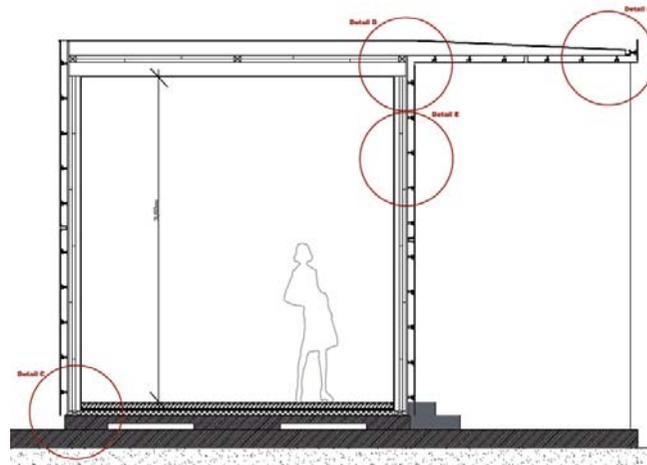
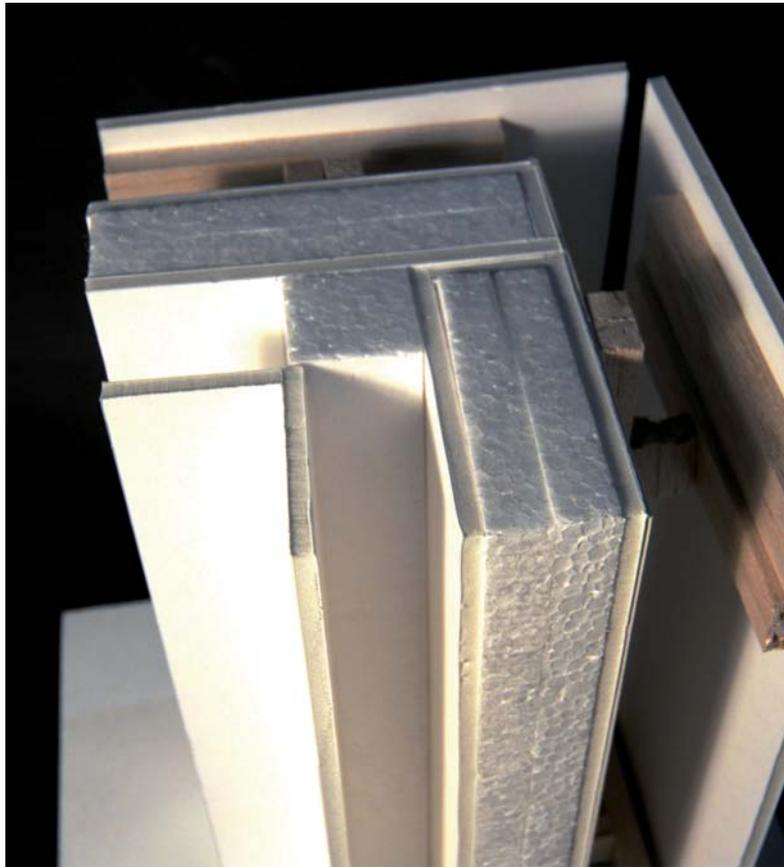
Mobiles Wohnen



Laura Warnke Mobile Praxis



Marlene Brudeck Socio Mobiles Wohnen



1 Person
Aufenthalts-
raum mit
Küche/
Schlafzimmer
und Bad



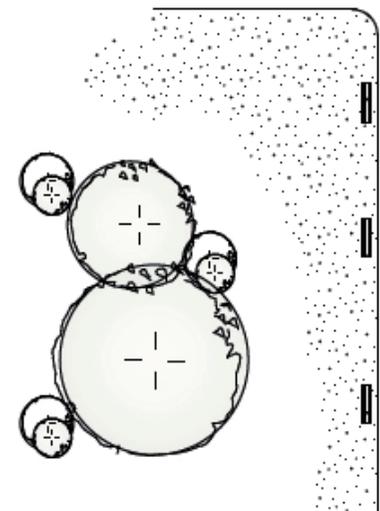
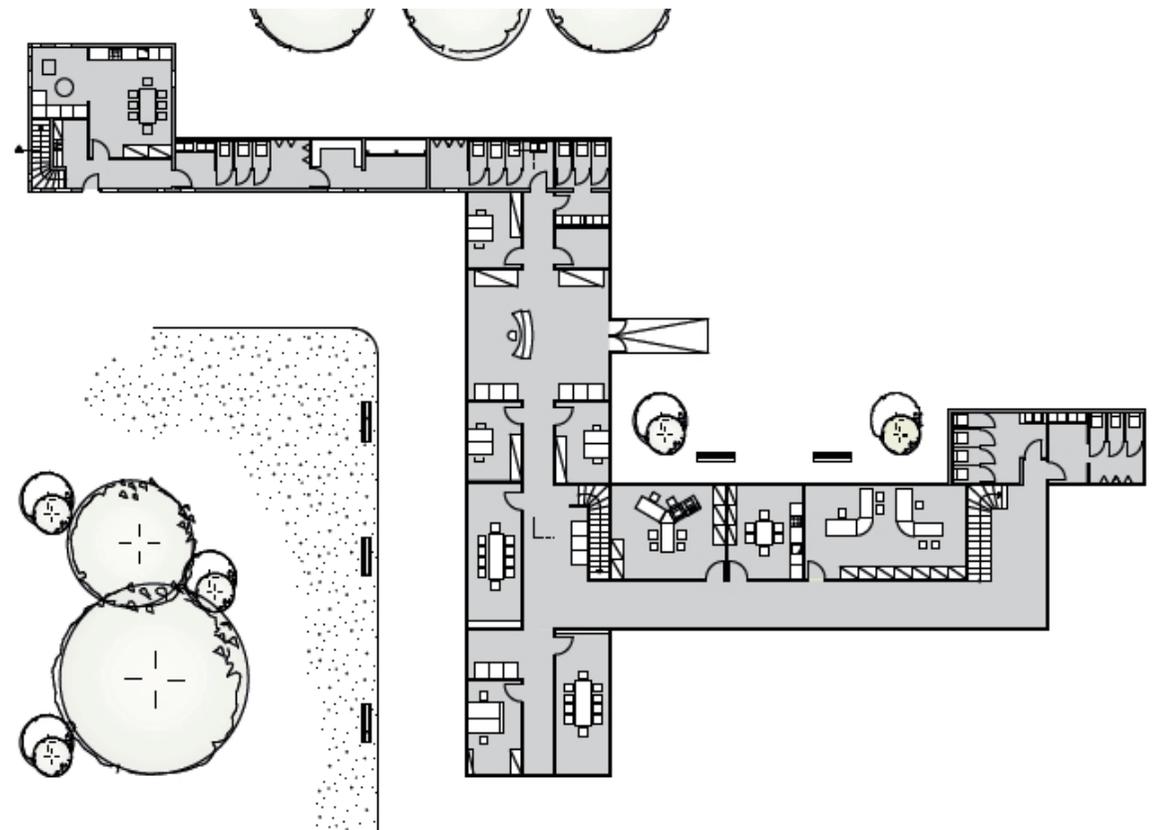
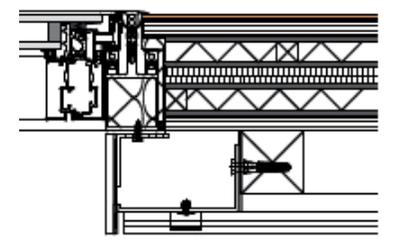
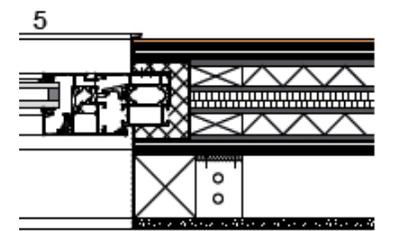
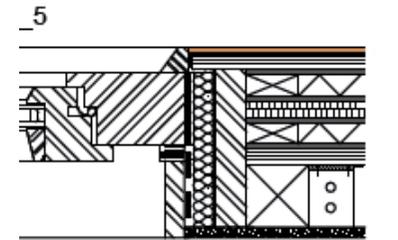
1 Person
Wohnzimmer/
Küche/
Schlafzimmer
und Bad

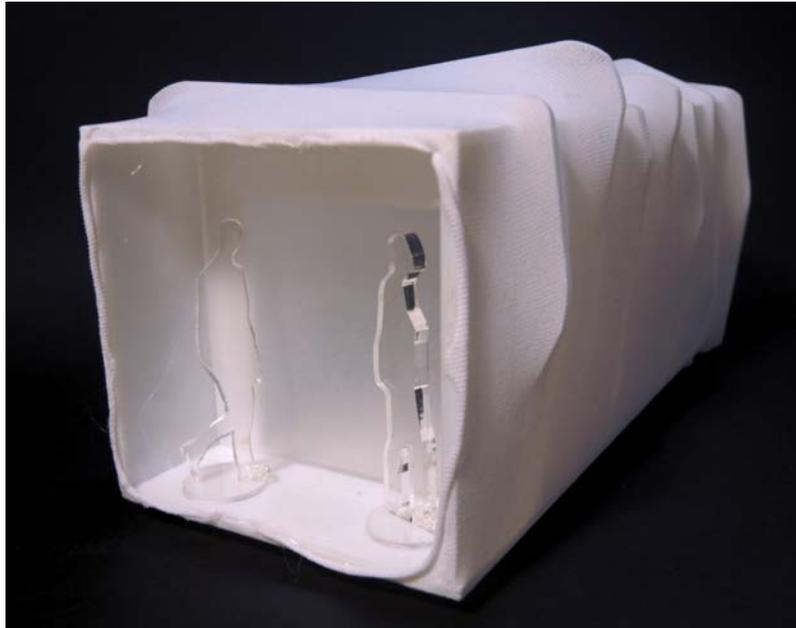


2 Personen
Wohnzimmer/
Küche/Ab-
stellkammer/
Schlafzimmer
und Bad



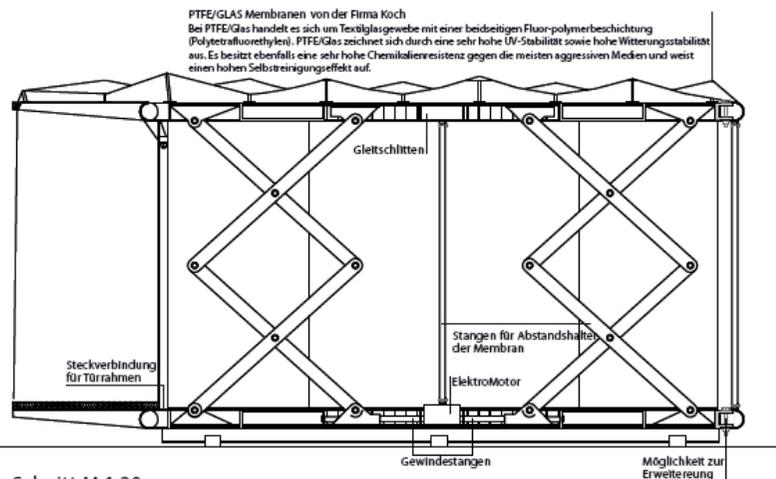
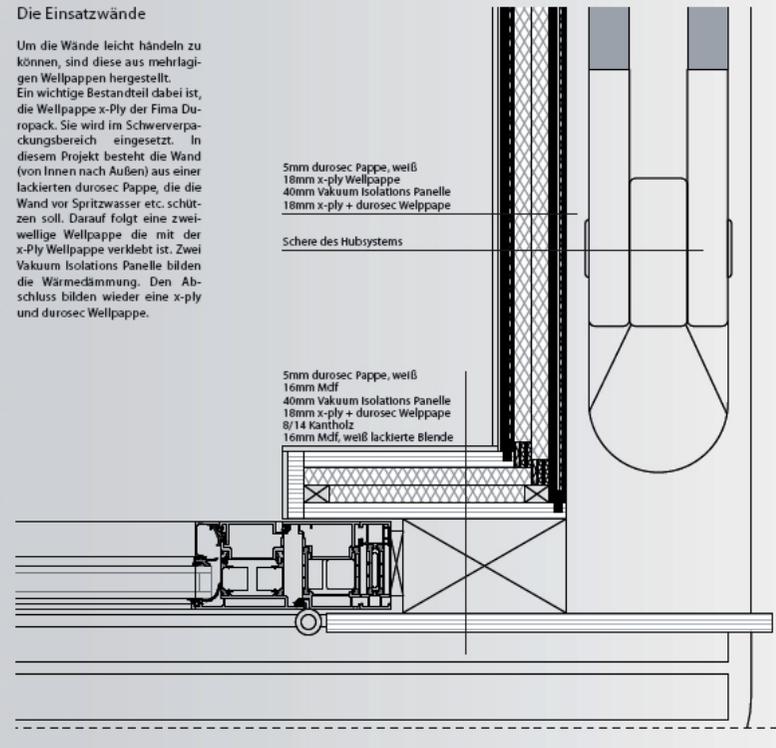
2 Personen
Wohnzimmer/
Küche/Ess-
zimmer
Abstell-
kammer/
Schlafzimmer
und Bad



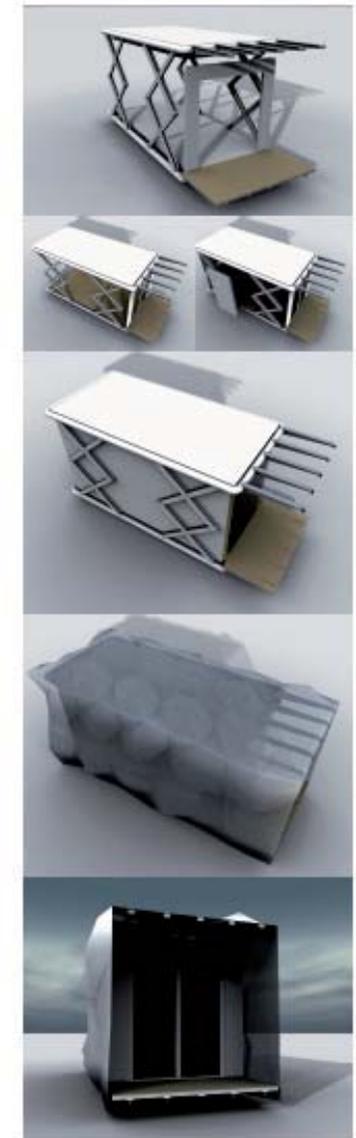


Die Einsatzwände

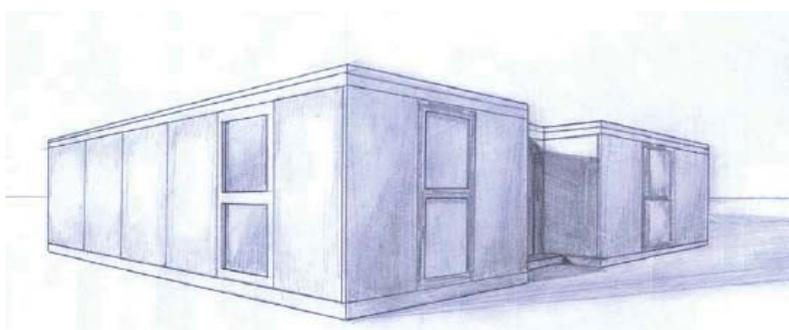
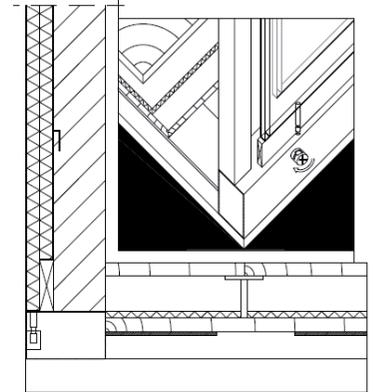
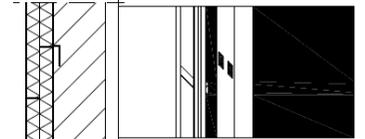
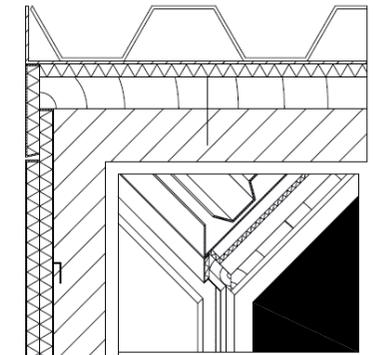
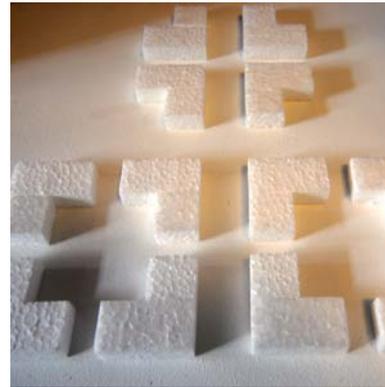
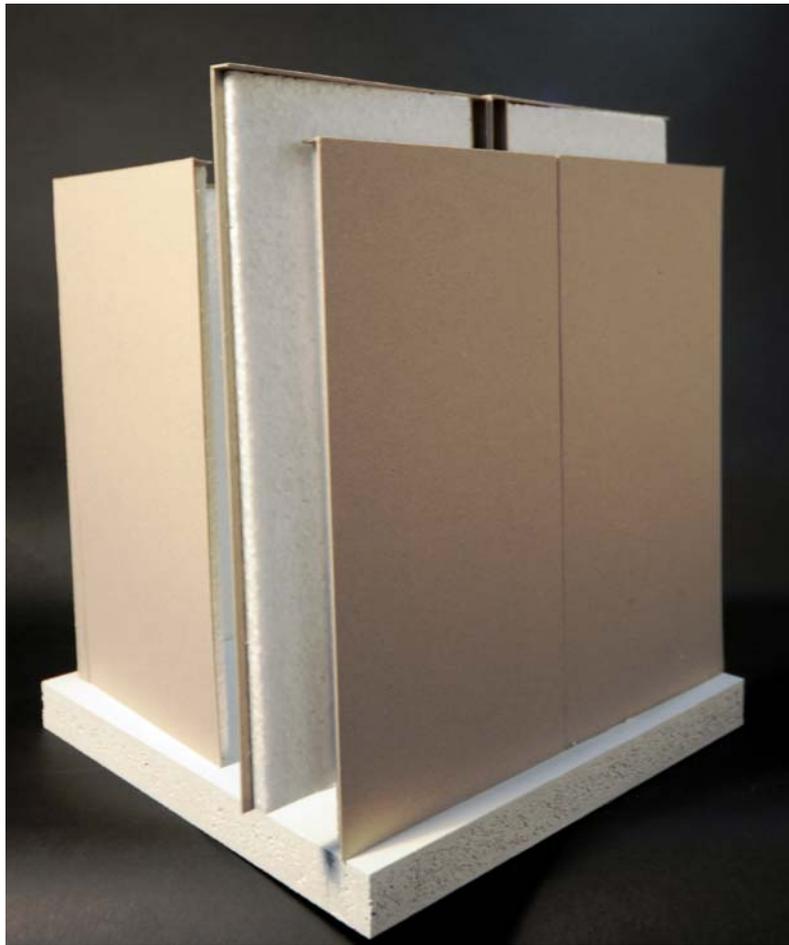
Um die Wände leicht händeln zu können, sind diese aus mehrlagigen Wellpappen hergestellt. Ein wichtiger Bestandteil dabei ist, die Wellpappe x-Ply der Firma Dupopak. Sie wird im Schwerverpackungsbereich eingesetzt. In diesem Projekt besteht die Wand (von Innen nach Außen) aus einer lackierten durosec Pappe, die die Wand vor Spritzwasser etc. schützen soll. Darauf folgt eine zweilagige Wellpappe die mit der x-Ply Wellpappe verklebt ist. Zwei Vakuum Isolations Paneele bilden die Wärmedämmung. Den Abschluss bilden wieder eine x-ply und durosec Wellpappe.



Schnitt M 1:20



Enno Garten Mobile Ausstellungsbox



Dominik Willgerod Temporäre Wohneinheiten

8. Entwicklung und Bau einer Modellfassade im Maßstab 1:1

Die grundlegende Konstruktionsidee für die Entwicklung der Modellfassade basierte auf dem studentischen Beitrag von Marcel Zervas und Peter Eberlei, die im Wintersemester im Rahmen der interdisziplinären Lehrveranstaltung „Einbindung von Vakuum - Isolationspaneelen in modulare Fassadensysteme“ erarbeitet wurde (vergl. Seite 50 bis 56).

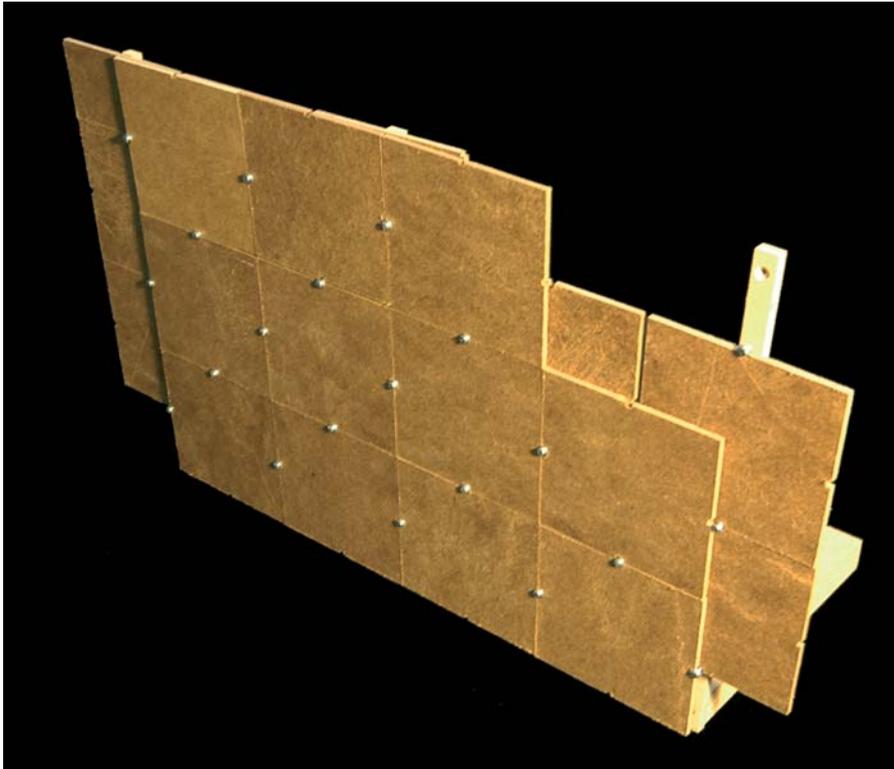
Das erarbeitete Konstruktionsprinzip, kastenförmige Elemente mit eingelegten Vakuum - Isolationspaneelen in zwei gegeneinander versetzten Lagen zu einer Außenwand zu fügen, sollte in Hinblick auf folgende Aspekte detailliert untersucht werden:

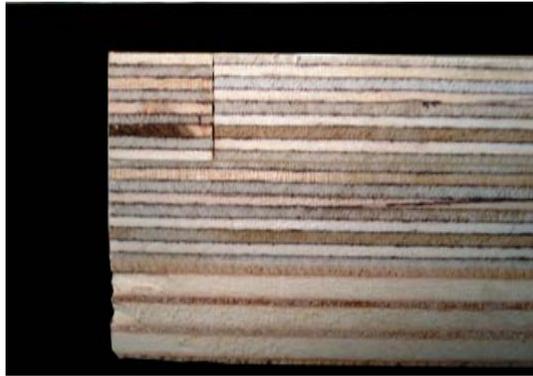
1. die Größe und Handhabbarkeit des Einzelelementes
2. das subjektive Gewicht eines Elementes
3. Formstabilität
4. indirekte, wärmebrückenfreie Befestigung
5. notwendige Fugenbreite an den Elementstößen
6. Demontierbarkeit

Prototyp eines Kastenelementes

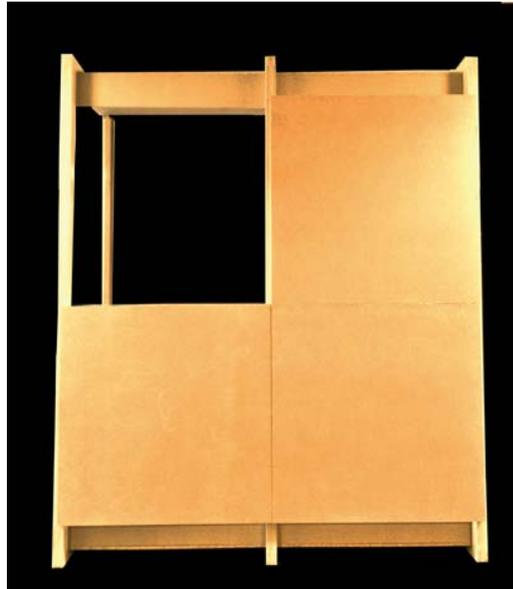
Zur ersten Überprüfung und Beurteilung der aufgeführten Kriterien wurde zunächst ein Kastenelement als Prototyp angefertigt.

Für die Modellfassade vorausgesetzt wurde ein Rastermaß von 125 x 125 cm und eine für die Montage notwendige Fugenbreite von 4 mm. Die hieraus resultierende Hauptabmessung des Einzelelementes betrug 124,6 cm x 124,6 cm (Länge x Breite).





Eckverbindung mit Multiplexleisten



Befestigung der 1. Lage an der Holzkonstruktion



Befestigung der 2. Lage an den Elementen der 1. Lage



8.1. Aufbau des ersten Prototyps

Als Material für die Grundplatte des Kastenelementes (124,6 cm x 124,6 cm) wurde Birke-Multiplex in der Stärke von 12 mm verwendet. Die vier Seitenwände des Kastens wurden aus zwei übereinander angeordneten Birke-Multiplexleisten mit dem Querschnitt 12 mm x 12 mm, die nacheinander und an den Ecken überlappend auf die Grundplatte aufgeleimt wurden, hergestellt. Die Quer- und Längsholzschichten wurden parallel zu dem Funierverlauf der Grundplatte angeordnet.

Um Wärmebrücken infolge durchgehender Metallanker zu vermeiden, sollte die Befestigung der elementierten Fassade an die Tragkonstruktion mit versetzt angeordneten Verschraubungen erfolgen.

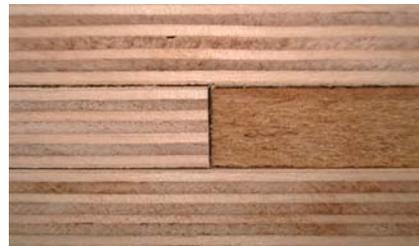
Die inneren Kasten-elemente sollten jeweils in den Ecken der Kastenseiten unmittelbar auf die senkrechte Unterkonstruktion aufgeschraubt werden.

Das Grundprinzip der hier vorgeschlagenen Konstruktion beruht auf dem 2-lagig gegeneinander versetztem Aufbau. Dadurch, dass die quadratischen Elemente jeweils um ein halbes Rastermaß nach oben und seitlich verschoben angebracht werden, entstehen lediglich punktuelle Überschneidungsflächen im Bereich der Kastenseitenwände in der Größenordnung von 0,07 %. Diese Überschneidungsflächen werden dazu genutzt, die äußeren Kasten-elemente an die bereits montierte innere Lage mittels Schrauben zu befestigen.

Detailoptimierung



Seitenwand aus Multiplexleisten



Seitenwand mit eingeleimtem Weichfasermaterial

Um den Wärmedurchgang an den Überschneidungsflächen der Seitenwände und der hier vorgesehenen Verschraubung zu minimieren, wurden die unteren Multiplexleisten im mittleren Bereich der Kastenseiten über eine Länge von ca. 60 cm durch Weichfaserplatten-Material ersetzt.

Als Schrauben zur Befestigung der 1. Lage wurden 6 cm lange Schrauben mit 4 mm Durchmesser verwendet.

Die Schrauben zur Verbindung der äußeren mit der inneren Lage sollten so bemessen werden, dass sie nur in die obere Multiplexleiste des Kastenseitenteils der inneren Kastenelemente eingreifen würden. Es wurden also 5 cm lange Schrauben für die 2. Lage verwendet.

Der durch den Einsatz der Weichfaserdämmstreifen verminderten Wärmebrückeneffekte konnte durch Isothermenberechnungen dargestellt werden.

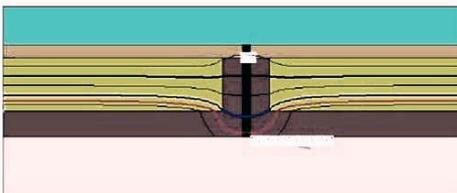
Der abnehmbare Deckel des Kastenelements wurde aus 4 mm starker Hartfaserplatte hergestellt und auf die Seitenwände aufgeschraubt.

Die Gesamthöhe des Kastenelements betrug 40 mm.

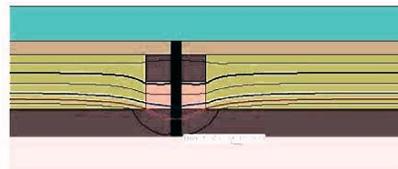
8.2. Beurteilung des ersten Prototyps

Gewicht

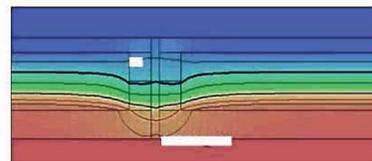
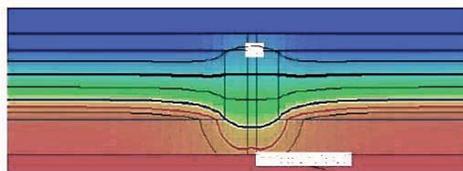
Nach Fertigstellung des ersten Kastenelements wurde sofort klar, dass das subjektiv empfundene Gewicht hinsichtlich einer einfachen und angestrebten „Ein-Mann-Montage“ zu groß war (25 kg). Maßgeblichen Anteil an dem Gesamtgewicht eines Kastenelementes hatte die Grundplatte aus Birke-Multiplex (53,28 %). Um Gewicht einzusparen, sollte bei einem zweiten Prototyp die Multiplex-Grundplatte durch eine Platte aus Pappelsperrholz mit der gleichen Stärke ersetzt werden. (4,68 kg weniger, also gut 20 kg Gesamtgewicht)

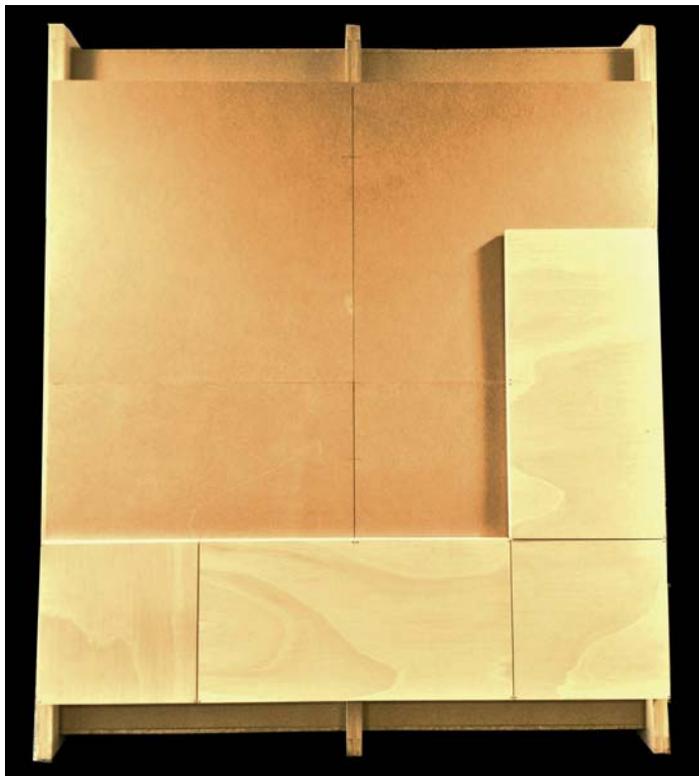


Wärmebrückeneffekt im Bereich der Seitenwände, dargestellt mit Hilfe des Programmes WIN ISO 2D



Verminderter Wärmebrückeneffekt im Bereich der eingeleimten Weichfaserstreifen





Kastenseiten

Der zweite kritische Punkt, der sich bei der Beurteilung des ersten Prototyps herausstellte, war der instabile Kastenrand. Grund hierfür war der mittig angeordnete Streifen aus Holzweichfaserplatte, der die zu erwartenden Zugkräfte aus der Verschraubung mit den äußeren Kastenelementen nicht aufnehmen und weiterleiten konnte.

Bei dem zweiten Prototyp sollte auf den eingeleimten Streifen aus Holzfasermaterial verzichtet und die Kastenseiten komplett aus Birke-Multiplex hergestellt werden.

Der vergrößerte Wärmedurchgang durch die massivere Kastenseitenausführung konnte beim zweiten Prototyp durch die leichter ausgeführte Grundplatte kompensiert werden.

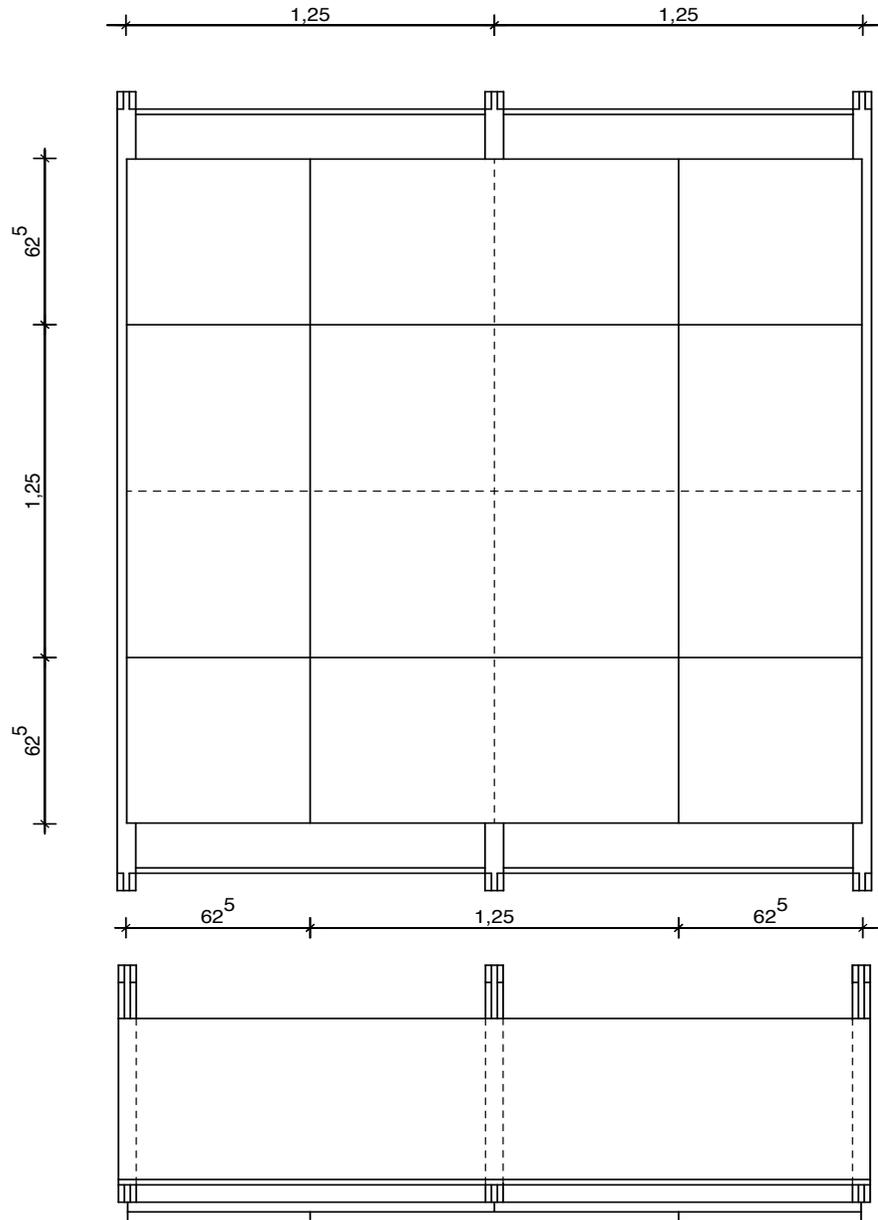
Der Wärmedurchgangskoeffizient des 2-lagig ausgeführten Kastensystems verbesserte sich durch den Einsatz der Weichfaserplatten um 3 %, der Einsatz des Pappelsperholzes als Grundplatte führte dagegen sogar zu einer 6 - prozentigen Verbesserung.

Mit der Fertigstellung des zweiten Prototyps konnten folgende Eigenschaften nachgewiesen werden:

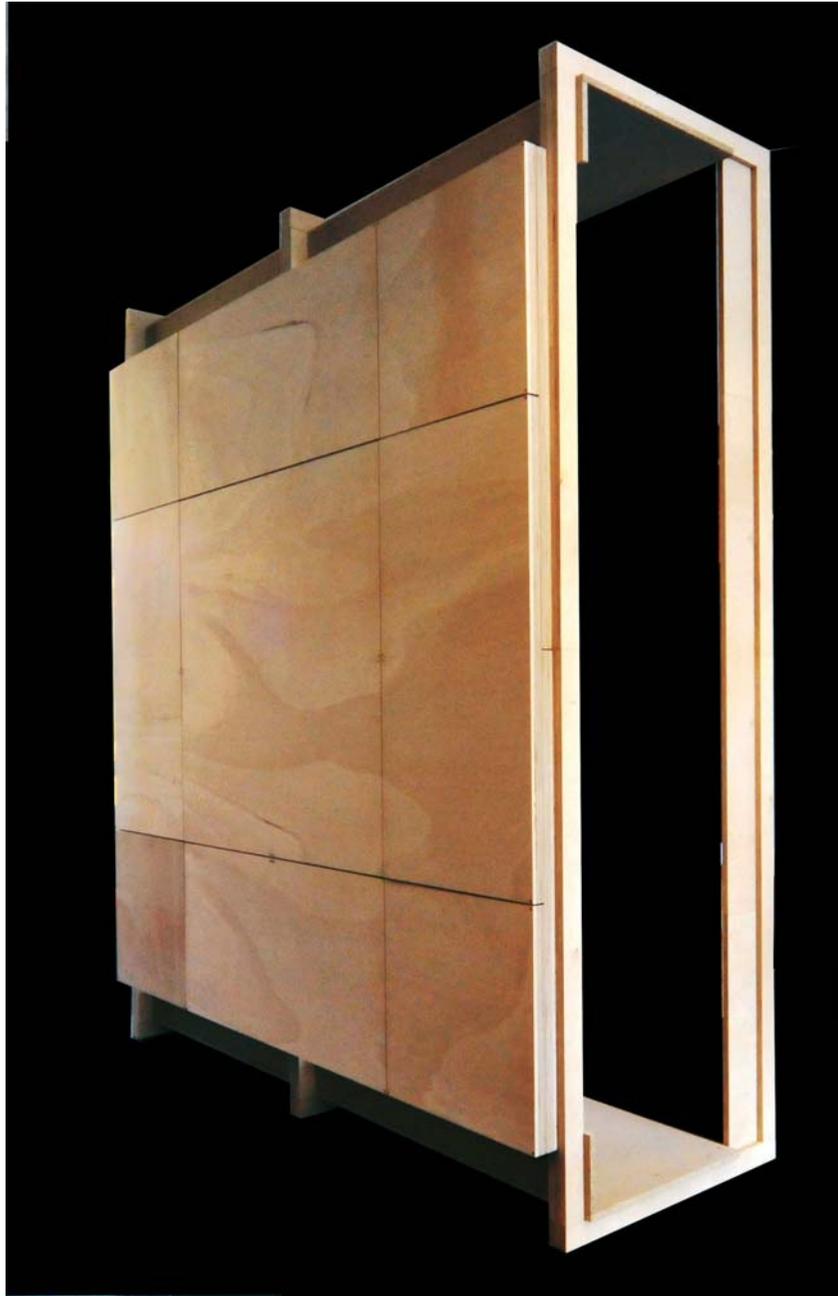
1. Die Reduktion des Gesamtgewichts um 4,68 kg unterstützt wesentlich die einfache Handhabung des Elements bei der Montage.
2. Der Kastenrand zeigte sich wesentlich stabiler. Die Verschraubung der inneren und äußeren Lage im Bereich der Kastenseiten erschien möglich.
3. Die Kastenelemente zeigten sich nach dem Verleimen von Kastenrand und Grundplatte sehr formstabil. Leichte Verformungen durch das Verziehen des Holzes waren nahezu spannungsfrei und ließen sich durch leichtes Andrücken egalisieren.
4. Die Stärke der Randeinfassung (12 mm) ließ eine einfache Verschraubung des Deckels zu.

Modellfassade

Auf der Grundlage des positiv beurteilten, zweiten Kastenelement - Prototyps wurde nun ein Fassadenausschnitt mit der Fläche von 2,5 x 2,5 m hergestellt.



VIP-Modell, Ansicht und Grundriss



8.3. Ergebnisse

Bei der Montage zeigte sich, dass die Kastenelemente sehr gut zu handhaben waren und die Befestigung an der Unterkonstruktion aufgrund des minimalen Gewichts problemlos von einer Person ausgeführt werden konnte. Leicht windschiefe Elemente legten sich durch die Verschraubung gut an die Unterkonstruktion an und es entstand eine planebene Fläche. Die Fugenbreite von ca. 4 mm reichte zur Aufnahme von Maßtoleranzen und zum Ausrichten der Elemente aus.

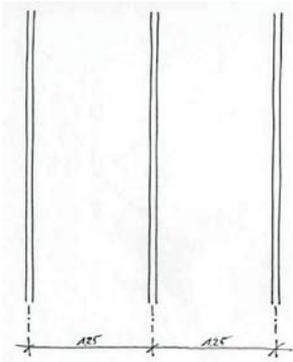
Auch die Montage der zweiten Schicht war im Modellversuch problemlos. Die Anpresskraft der Verschraubung zwischen den Elementen der ersten und zweiten Schicht war zur Arretierung der sehr leichten Kastenelemente ausreichend.

Durch den 1:1 - Versuch wurde jedoch auch deutlich, dass die relativ dünnen Schrauben zur Befestigung der 2. Schicht weitere Vertikallasten, z.B. aus der noch nicht berücksichtigten äußeren Wetterschutzverkleidung, wahrscheinlich nicht mehr hätten aufnehmen können.

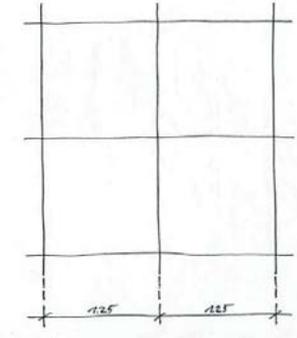
In Bezug auf die angestrebte Abnehmbarkeit und Wiedermontage der äußeren Elemente war festzustellen, dass die relativ dünnen Schraubenlöcher in den Kastenseiten der inneren Lage durch Überdrehen der Schrauben sehr schnell zerstört werden würden.

Darüberhinaus zeigte sich, dass sich an einigen Elementen die ein oder andere Ecke der äußeren Kastenelemente um ca. 1 - 2 mm von der inneren Lage abhob. Als Grund hierfür konnte das Verziehen der Holzwerkstoffe und/oder kleinste Störungen in der Auflagefläche, wie z.B. durch Verunreinigungen oder Holzsplitter, ausgemacht werden.

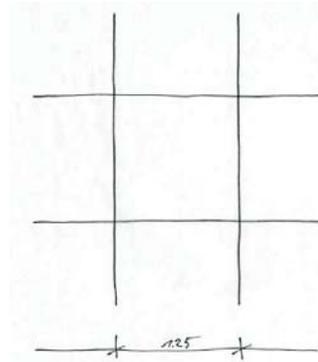
Die vorspringenden Ecken konnten durch geringen Druck wieder auf die Unterlage gedrückt werden.



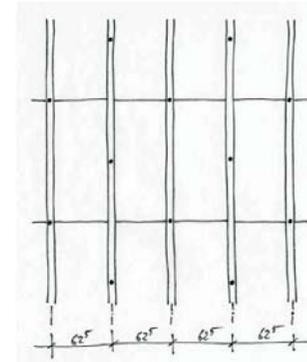
Unterkonstruktionsraster



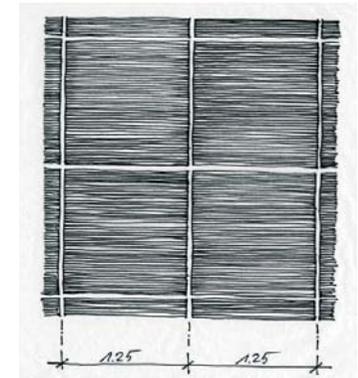
Innere Schicht



Äußere Schicht



Unterkonstruktion der
Fassadenbekleidung



Fassadenbekleidung

8.4. Ausblick

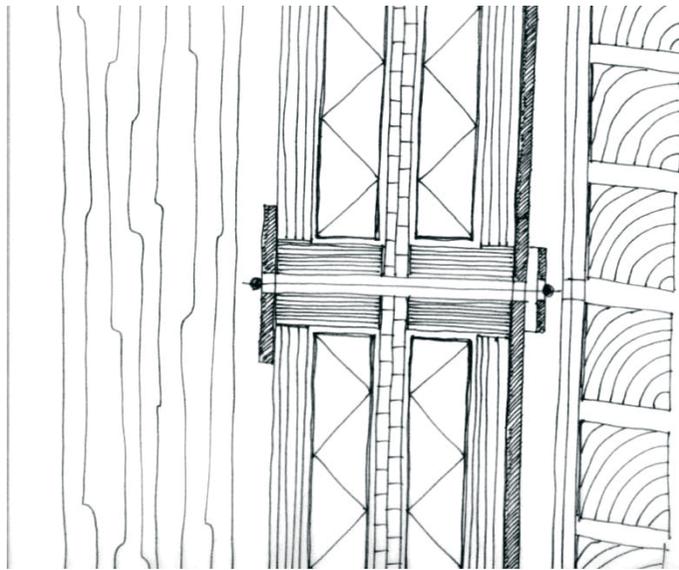
Um die Modellfassade für den Einsatz in der Praxis weiterzuentwickeln, sind zwei Aspekte zu berücksichtigen:

1. Analog der modular aufgebauten Fassade ist ein vorelementierter und leichter Wetterschutz zu entwickeln.
2. Die Befestigung der äußeren Kastenelemente sollte verstärkt und im Zusammenhang mit der Befestigung der Wetterschutzschicht entwickelt werden. Die Unterkonstruktion für die Aufnahme der Wetterschutzschicht sollte auch genutzt werden, die vorspringenden Ecken der äußeren Kastenelemente auf die Oberfläche der inneren Kastenelementlage zurückzudrücken.

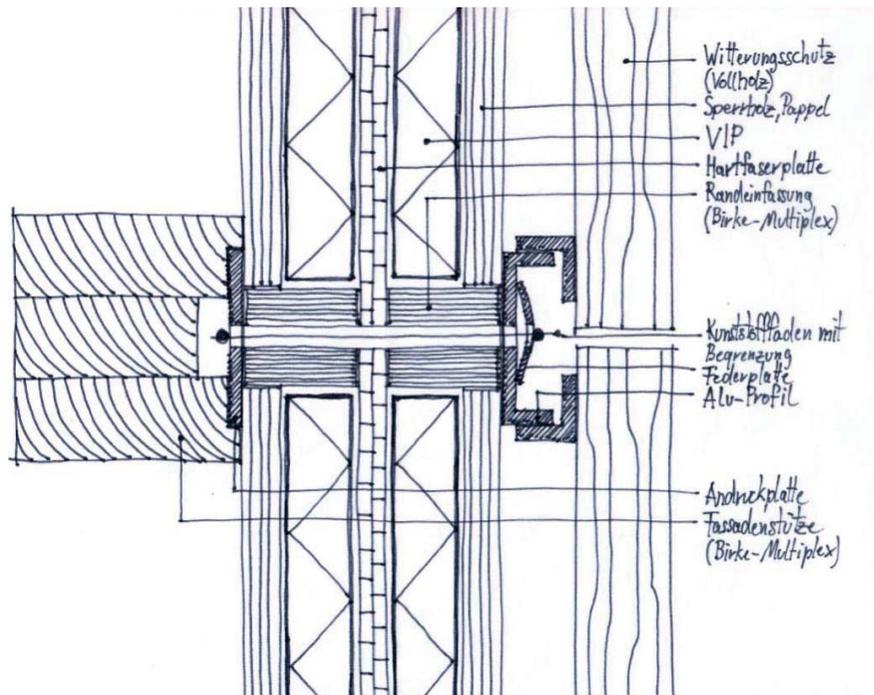
Auf der Grundlage der durch den Bau der Modellfassade gesammelten Erfahrungen kann hier skizzenhaft eine Lösung vorgeschlagen werden.

Die wichtigste Änderung gegenüber der im 1:1 - Modell gebauten Fassadenlösung betrifft die Befestigung der äußeren Kastenelemente. Die Relevanz dieses Details betrifft zum einen die Standsicherheit und zum anderen aber auch die Wärmedämmfähigkeit, da Befestigungsmittel aus Metall im Vergleich zu dem Hochleistungsdämmstoff „Vip“ sofort eine Wärmebrücke darstellen.

Die ehemalige Schraubverbindung zwischen innerer und äußerer Schicht soll durch Verbindung mittels „Kite - Schnur“ ersetzt werden. Kite-Schnüre werden im Drachensport verwendet und verfügen auf Grund ihrer Materialeigenschaften über geringe Ausdehnungen (auch Reck genannt). Sie sind zwischen 40 Kp und 220 Kp auf Zug zu belasten. Die Schnüre sollen mittels Andruckplatten mit Federmechanismus die beiden Kastenelementschichten zusammenpressen.



Klemmverbindung Vertikalschnitt



Klemmverbindung Horizontalschnitt

Nylonleinen eignen sich nur bedingt zum Lenkdrachenfliegen. Sie sind zwar relativ unempfindlich gegen Feuchtigkeit, besitzen aber einen niedrigen Schmelzpunkt und eine raue Oberfläche. Dies ist von Nachteil, denn um die Lenkdrachen auch mit mehrfach verdrehter Schnur einwandfrei fliegen zu können, muß die Oberfläche der Steuerleinen möglichst glatt sein. Wird Nylon verknotet, so sollten grundsätzlich Seemannsknoten verwendet werden. Die Schnurenden werden mit dem Feuerzeug angeschmolzen.



Draconleinen bestehen aus fein gezogenen Polyesterfasern. Durch eine engere Verflechtung sind diese Leinen stärker belastbar als Leinen aus Nylon. Außerdem ist ihre Oberfläche glatter. Allerdings sind Draconleinen in der Regel teurer als Nylonleinen.



Kevlarleinen werden aus Aramidfasern hergestellt. Dieses Material besitzt eine hohe Reißfestigkeit. Kevlarleinen fallen deshalb bei gleicher Zuglast dünner aus als Leinen aus Polyester. Ihr Vorteil liegt in der Gewichtsersparnis und in dem geringeren Luftwiderstand. Ein weiterer Vorteil besteht in der geringen Dehnung (Reckarmut) der Leine. Dadurch werden die Lenkbewegungen der Handeils oder Lenkstangen unmittelbar auf den Drachen übertragen. Kevlarleinen sind mit Silikon beschichtet, um das Gleiten der Schnüre aufeinander zu erleichtern. Der geringe Querschnitt und relativ niedrige Reibungskoeffizient machen aus der Kevlarleine ein High-Tech-Instrument zur perfekten Steuerung des Lenkdrachens. Aber Vorsicht! Die Leine besitzt einen hohen Schmelzpunkt und kann bei Kontakt mit herkömmlichen Leinen diese Leinen durchschneiden. Um Schnittverletzungen der Hände zu vermeiden, sollte unter Zug stehende Kevlarleinen deshalb immer nur mit Handschuhen angefaßt werden. Zu beachten ist weiterhin, daß Kevlarleinen auf jeden Fall vor Nässe und Feuchtigkeit geschützt werden müssen.



Spektraleinen bestehen aus Polyethylenmolekülen und verfügen über eine noch geringere Dehnung als Kevlarleinen. Ihre Oberfläche ist sehr glatt und eignet sich deshalb sehr gut zum Lenkdrachenfliegen im Team. Nachteil der Spektraleinen: Sie besitzen einen niedrigen Schmelzpunkt als Kevlarleinen und können bei Berührungen mit diesen reißen.



Quelle: <http://www.kite-sport.net/>

Die im Drachensport und beim Kite-Surfen verwendeten Kunststoffschnüre sind besonders leicht und dehnen sich nur geringfügig. Kite-Schnüre aus Spektraleinen bestehen aus Polyethylenmolekülen und verfügen über eine noch geringere Dehnung als die sog. Kevlarleinen. Ihre Oberfläche ist sehr glatt. Sie eignet sich sehr gut für die vorgeschlagene Verbindung.

Da diese Verbindung nur Zugkräfte aufnehmen kann, können die vertikalen Lasten, die aus den äußeren Kastenelementen und der Wetterschutzschicht resultieren, nicht an die innenliegenden, tragenden Stützen weitergeleitet werden.

Analog zu einer Vorsatzschale im Mauerwerksbau sind für die äußeren Kastenelemente und die Wetterschutzschicht geeignete Auflager vorzusehen.

Aufgrund des geringen Gewichtes der äußeren Kastenelemente können diese zunächst durch die Zugverbindung auf die innere Lage gepresst, ausgerichtet und fixiert werden. In einem zweiten Arbeitsgang könnte zwischen den Kastenelementen eine Verklotung angebracht werden, über die das Eigengewicht der Elemente direkt auf das Auflager (Fundament) weitergeleitet werden würde.

Für die Aufnahme der vorelementierten Fassadenbekleidung könnten über die gesamte Höhe senkrechte Profile eingesetzt werden. Diese Profile sollten auch dazu benutzt werden, die vertikalen Lasten der Fassadenbekleidung direkt auf das Auflager(Fundament) abzuleiten.

Durch die Befestigung der Unterkonstruktion der Fassadenbekleidung mit den Zugverbindungen der Kastenelemente im Abstand von 125 cm vertikal und 67,5 cm horizontal könnten auch die nach außen vorspringenden Ecken der äußeren Schicht wieder angedrückt werden.

Durch das Schwinden und Quellen der Holzwerkstoffe ist mit geringfügigen Maßänderungen der Kastenelemente zu rechnen. Um diese Längenänderung quer zu der Dämmschicht aufnehmen zu können, sollten an den Zugseilen der neuen Klemmverbindungen Federplatten angeordnet werden. Die senkrechten Unterkonstruktionsprofile würden dann zusätzlich auch als Widerlager für den beabsichtigten Federmechanismus dienen.

Um die Längenausdehnung quer zur Dämmebene zu minimieren, sollten auch die Kastenelemente überarbeitet werden.

Die Schichtung der Randeinfassung aus Birke-Multiplex der im 1:1 - Modell eingebauten Kastenelemente war liegend, also parallel zu der Grundplatte aus Pappelsperholz, angeordnet.

Dadurch bestanden die Kastenelemente senkrecht zur Fassadenebene aus Querholz.

Um Längenänderungen weitgehend auszuschließen, sollte die Schichtung des Randes um 90° gedreht angeordnet und die Absperwirkung der kreuzweise ausgeführten Schichtung des Multiplex-Materials ausgenutzt werden.

8.5. Fazit

Bei dem durchgeführten Forschungsprojekt ging es um die Entwicklung einer Fassade, bei der Vakuum - Isolationspaneele zur Gebäudedämmung zum Einsatz kommen sollten. Eine grundlegende Idee dabei war, dass die eingebauten Vakuum- Isolationspaneele zu einem späteren Zeitpunkt austauschbar sein sollten.

Aufgrund der beschränkten Größe und der Verletzbarkeit der Vakuum-Isolationspaneele wurde zu Beginn der Untersuchungen ein Grundelement (Kastenelement) entwickelt, aus dem sich die modular strukturierte Fassadenfläche in zwei Lagen zusammensetzen sollte.

Das erarbeitete Kastenelement zeichnet sich durch minimales Gewicht bei maximalen Schutz des eingehausten Vakuumpaneels aus. Es ist sehr gut handhabbar (von einer Person zu montieren), stapelbar und aufgrund der verwendeten Holzmaterialien dezentral vorzufertigen. Die Steifigkeit des Kastenelementes ist so eingestellt, dass durchschnittliche Belastungen bei Lagerung, beim Transport und bei der Montage aufgenommen werden können. Auf der anderen Seite ist das Element so „weich“, dass es sich bei der Befestigung spannungsfrei auf die Unterkonstruktion anlegt.

Das durch das Forschungsprojekt entwickelte Befestigungssystem der Kastenelemente ist auf das geringe Gewicht und die nachträgliche Austauschbarkeit der Vakuum - Isolationspaneele abgestimmt.

Die innere Lage der Kastenelemente wird kraftschlüssig per Schraubverbindung mit der Unterkonstruktion verbunden, so dass das Eigengewicht und die Windlasten über die Unterkonstruktion an den Rohbau weitergeleitet werden.

Die Lastabtragung des Eigengewichts aus den äußeren, demontierbaren Kastenelementen sowie der ebenfalls abnehmbaren Wetterschutzschicht (Fassade) kann grundsätzlich auf zwei Wegen erfolgen:

1. Das Eigengewicht der äußeren Kastenelemente wird durch Verklotzung von Element zu Element nach unten weitergeleitet und an ein Auflager bzw. Fundament abgegeben. Das Gewicht der Wetterschutzschicht wird in diesem Fall über die Fassadenprofile und das gleiche Auflager parallel abgetragen.
2. Die äußeren Kastenelemente werden untereinander nicht verklotzt, son-



den zusätzlich auch an den Fassadenprofilen befestigt. Durch diese Verbindung wäre es möglich, die äußeren Kastenelemente und die Fassadenbekleidung über die Fassadenprofile von der Geschossdecke oder dem Dachrand abzuhängen. (wie eine Vorhangfassade)

Die infolge von Windbelastungen verbleibenden horizontalen Zug- und Druckkräfte werden direkt an die Unterkonstruktion abgegeben und an den Rohbau weitergeleitet.

Da die punktuellen Verbindungen (zwischen Unterkonstruktion und Fassadenprofilen) keine Momente aufnehmen müssen und die Druckkräfte durch Aufeinanderlegen abgeleitet werden, können für die aufzunehmenden Zugkräfte Seile (Kiteschnüre) eingesetzt werden.

Aufbauend auf den Erfahrungen der konzeptionellen und praktischen Forschungsarbeit wird als nächster Schritt die Realisation eines Demonstrations- und Versuchsgebäudes mit einer hochgedämmten Fassade aus Vakuum - Isolationspaneelen angestrebt.

Dieses Gebäude könnte auf dem Campus der Jade Hochschule in Oldenburg errichtet und für studentische Arbeitsräume genutzt werden.

Um nachhaltige Ergebnisse hinsichtlich bauphysikalischer und baupraktischer Aspekte ermitteln zu können, müssen höchste Qualitätsansprüche an die Planung und Umsetzung gestellt werden.

Die durch den Bau eines Beispielgebäudes zu erwartenden Ergebnisse könnten für die zukünftige Fassadentechnologie und für den vermehrten Einsatz von Holzwerkstoffen im Bauwesen von großer Bedeutung sein.

Die Konzeption der voran skizzenhaft dargestellten Weiterentwicklung der „VIP-Fassade“ wird als marktfähig eingestuft und sollte unbedingt durch die Realisation eines Versuchsgebäudes unter realen Witterungseinflüssen perfektioniert werden. Im Zusammenhang mit der Entwicklung des Versuchsgebäudes könnten die Bauwerksabschlüsse an den Gebäudeaußenecken, an der Traufe und an Öffnungen wie Fenster oder Türen konzipiert werden.

8.6. Literaturangaben

1. Brunner, Samuel; Simmler, Hans: 2003. Vacuum insulation panels for building application, Basic properties, aging mechanisms and service life; Energy an Building Vol.11 (November 2005); p. 1122-131
2. Bundi, R./Ghazi Wakili, K./ Frank, Th. Vacuum insulated panels in building applications. In: Int. conference on innovation in building envelopes and environmental systems (CISBAT 2003), Lausanne, Switzerland, October 8, 2003, p. 323–328
3. Bundi, Reto: Vakuumisolierte Paneele, Zeitschrift Fassade (CH) 3/2003, S. 19-22
4. Cremers, Jan: „Außenwandsysteme mit integrierter Vakuumdämmung“ in DBZ, Deutsche Bauzeitschrift, Ausgabe 9/2006; S.79-81
5. Cremers, Jan: Einsatzmöglichkeiten von Vakuum-Dämmsystemen im Bereich der Gebäudehülle – Technologische Bauphysikalische und architektonische Aspekte. Martin Meidenbauer Verlagsbuchhandlung, München/ New York, 2007-04-12
6. Cremers, Jan: Systematisierung architektonischer Anwendungsmöglichkeiten von Vakuum-Dämmsystemen im Bereich der Gebäudehülle; Konferenz VIP-Bau: 2. Fachtagung „Erfahrungen aus der Praxis“ am 16./17.06.2005 in Wismar, Tagungsband; S. P1-P11
7. Cremers, Jan: Vakuum-Dämmsysteme - Einsatzmöglichkeiten in Fassadenelementen; in Deutsches Architektenblatt; 11/2006; S. 65 - 68
8. Cremers, Jan: Vakuum-Dämmsysteme - Einsatzmöglichkeiten und planerische Hinweise; in DETAIL 5/2005; S. 522-525
9. Ebert, Dr. H.-P. Weinländer, H.; Schwab, Hubert: Smarte Fassadentechnik; in Energieeffizientes Bauen 4/2003; S. 22-23
10. Eicher, Hanspeter; Erb, Markus; Binz, Armin; Moosmann, André: Hochleistungs-Wärmedämmsysteme; Schlussbericht Dezember 2000 Bundesamt für Energie, 2000
11. Energieoptimiertes Bauen, Teilkonzept 1: Entwicklung von vakuumgedämmten Betonfertigteilen, (Folienpräsentation), Matthias Hangleiter
12. Erb, Markus: Vakuum Dämmung im Baubereich – Leitung IEA-ECBCS Annex 39, Jahresbericht 2004, Dr. Eicher+Pauli AG im Auftrag des Bundesamt für Energie (BFE), Liestal, Schweiz, 2004 (www.eicher-pauli.ch)
13. Erb, Markus; Eicher, Hanspeter: 1997: Vakuum Dämmung, Dr Eicher + Pauli AG, Liestal, Schweiz, in: Energieeffizientes Bauen 3/2001, S. 39f.

- 14 Erb, Markus; Eicher, Hanspeter; Binz, Armin: High Performance Thermalinsulation in Buildings (IEA-ECBCS Annex 39 – Vorphase), Jahresbericht 2001, Dr. Eicher+Pauli AG im Auftrag des Bundesamt für Energie (BFE), Liestal, Schweiz, 2001
15. Institut für FHBB (Binz, Armin; Steinke, Gregor; Moosmann, André; Schonhardt; Fregnan, Franco); EMPA (Simmler, Hans; Ghazi, Karim; Bundi, Reto); ZAE-Bayern (Heinemann, Ulrich; Schwab, Hubert); TU-Delft (Cauberg, Hans; Tempierik, Martin); Dr Eicher + Pauli AG (Erb, Markus; Nussbaumer, Beat): Vakuum-Isolationspaneele im Gebäudesektor, Systeme und Anwendungen; Bundesamt für Energie BFE, Bern, Dezember 2005
16. Institut für FHBB (Moosmann, André; Binz, Armin; Fregnan, Franco); Dr Eicher + Pauli AG (Eicher, Hanspeter; Nussbaumer, Beat): Vakuumdämmung im Praxiseinsatz; Statusseminar 2004; 9/2004 (www.vip-bau.ch)
17. Martin Tenpierik (TU Delft): VACUUM INSULATION PANELS APPLIED IN BUILDING COMPONENTS (VIP A B C) Research into the building scientific integration of vacuum insulation panels in architectural climate-separating constructions; Part of research program Designing Indoor Environments; PhD progress report year 1; January – September 2005; TU Delft; 2005
18. Mühlebach, Andreas; Pfäffinger, Jörg: Bürogebäude mit Vakuum-Isolations-Paneelen (Praxisbericht aus der Schweiz), Zeitschrift: Energieeffizientes Bauen 2/2002
19. Randel, Dr. Peter (WACKER Silicones): Vakuumisoliationspaneele (VIP) - die superschlanke Wärmedämmung, Zeitschrift: Energieeffizientes Bauen Heft 3/2004, S. 8 ff
20. Schwab, Hubert, Heinemann, Ulrich; Fricke, Jochen: Vakuumisoliationspaneele – ein hocheffizientes Dämmsystem der Zukunft; in DETAIL 7/2001 S. 1301-1304
21. Schwab, Hubert; Caps, R.: Vakuumdämmungen für Gebäude; in Energieeffizientes Bauen; 3/2001; S. 35-38
22. Schwab, Hubert; et al: Entwicklung und Anwendung von evakuierten höchsteffizienten Dämmungen für Gebäude (Vakuumdämmung für Gebäude), Abschlussbericht, Report ZAE 2 – 1203 – 21; Würzburg: ZAE Bayern 2003
23. Simmler, Hans; Brunner, Samuel: Kann die Lebensdauer von Vakuumisoliationspaneelen vorausgesagt werden?; Status Seminar EMPA, Dübendorf (CH): Eidgenössische Materialprüfungsanstalt [EMPA], 2004
24. Tenpierik, Martin J.; Cauberg, Johannes J.M.: Vacuum Insulation Panels in Building Facades: Moisture and Temperature Conditions during Insulation; in:

Proceedings of 7th symposium on building Physics in Nordic Countries IBRI, Reykjavik, June 13-15; p. 937-944

25. Zimmermann, Marc; Bertschinger, Hans (Ed.): Konferenzbericht „High Performance Thermal Insulation - Vacuum Insulated Products“, EMPA, Dübendorf (CH); January 22th – 24th, 2001