

DIPLOMARBEIT

ENTWICKLUNG EINES DIMENSIONS- DÄMMUNGS- UND FERTIGUNGSTECHNISCH OPTIMIERTEN WANDSYSTEMS ZUM EINSATZ IM PASSIVHAUSBAU.

Ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen
Grades eines Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Ao. Univ. Prof. Dipl. Ing. Dr. techn. Klaus Krec

Am Institut für Architektur und Entwerfen
Abteilung Hochbau und Entwerfen

**Eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Architektur und Raumplanung**

von

**Gassenbauer Wolfgang
0125530**

Dr. Ottokar Kernstock Straße 23
2560 Berndorf

Wien, am 14.05.2008

.....
Gassenbauer Wolfgang

DANKSAGUNG

Um sein Studium abschließen zu können gilt es den unstillbaren Durst nach Veränderung, den der Beruf des Architekten inne hat, zu stillen. Diese Arbeit ist mein Ausdruck des Handlungsbedarfs am langen und schwierigen Weg zur Bewältigung der weltweiten Energieverschwendung und gleichzeitig die Befriedigung einen Baustein im Gesamtsystem geschaffen zu haben.

Da eine solche Leistung nicht ohne Unterstützung zu bewältigen ist möchte ich an erster Stelle meinen Betreuern Ao. Univ. Prof. DI. Dr. techn. Klaus Krec , o. Prof. DDI Wolfgang Winter und Univ.-Prof. Arch. Dipl.-Ing. Christoph M. Achammer danken.

Für die Hilfsbereitschaft und die Bereitschaft zur Unterstützung mit Daten und wissenschaftlichen Unterlagen danke ich Herrn Christof Stölzl (Fa. Variotec), Herrn Steffen Knoll (Fa. Porextherm) und Herrn Marco Schmidt (BASF AG) sowie Herrn T. Kornicki für die Bereitstellung einer kostenlosen Programmversion von „AnTherm“ zur mehrdimensionalen thermischen Simulation.

Nicht zuletzt gilt mein Dank allen Menschen die mir den Weg zum Studium geebnet und selbiges ermöglicht haben. Besonders sind hier meine Lebensgefährtin Eidler Claudia, meine Mutter Gassenbauer Veronika und mein Vater Gassenbauer Reinhard zu nennen, denen ich diese Arbeit widme.

Inhaltsverzeichnis:

1. Einleitung	Seite 1
2. Zieldefinition und Arbeitsaufbau	Seite 3
3. Wandsysteme	Seite 5
a. Geschichte.....	Seite 5
b. Anforderungen.....	Seite 7
i. Architektonische Anforderungen	Seite 7
1. Allgemeines	Seite 7
2. Raumbildung	Seite 7
3. Visuelle Eigenschaften	Seite 7
4. Haptische Eigenschaften.....	Seite 7
5. Olfaktorische Eigenschaften.....	Seite 7
ii. Anforderungen durch psychische Auswirkungen	Seite 8
1. Allgemeines	Seite 8
2. Abgrenzung	Seite 8
3. Behaglichkeit	Seite 8
4. Tragsicherheit	Seite 9
iii. Schutzwirkung	Seite 10
1. Allgemeines	Seite 10
2. Sichtschutz	Seite 10
3. Witterungsschutz.....	Seite 10
4. Wärmedämmvermögen	Seite 10
5. Brandsicherheit.....	Seite 11
6. Schalldämmvermögen.....	Seite 11
7. Schutz vor höheren Gewalten und außergewöhnlichen Einflüssen.....	Seite 12
iv. Statische Eigenschaften.....	Seite 13
v. Ökologie / Recycling.....	Seite 14
1. Allgemeines.....	Seite 14
2. Baustoffe	Seite 14
3. Verarbeitung.....	Seite 14
4. Wiederverwendbarkeit.....	Seite 14
vi. Öffnungen.....	Seite 16
1. Allgemeines	Seite 16
2. Fenster	Seite 16
3. Türen	Seite 16
4. Durchdringungen.....	Seite 16

vii.	Gebrauchstauglichkeit	Seite 18
	1. Allgemeines	Seite 18
	2. Tauglichkeit für den Hersteller /Verarbeiter/ Monteur	Seite 18
	3. Tauglichkeit für den Benutzer.....	Seite 18
viii.	Dauerhaftigkeit, Wartung und Instandsetzung	Seite 19
ix.	Montage- und Demontage.....	Seite 21
	1. Grundsätze	Seite 21
	2. Transport	Seite 21
	3. Handhabung	Seite 22
	4. Montagezeit	Seite 23
	5. Fügetechnik.....	Seite 23
	6. Demontage	Seite 23
c.	Wandsysteme im Überblick.....	Seite 25
	i. Systemtypen.....	Seite 25
	1. Allgemeines	Seite 25
	2. Fertigteilfreie Bauweisen	Seite 25
	3. Einzelbauteile	Seite 25
	4. Fertigelemente.....	Seite 25
	5. Fertigmodule.....	Seite 26
	ii. Massivbau	Seite 27
	1. Allgemeines	Seite 27
	2. Natursteinbau	Seite 27
	3. Betonbau	Seite 28
	4. Gasbetonbau	Seite 28
	5. Ziegelbau.....	Seite 29
	6. Lehmbau.....	Seite 30
	7. Holzmassivbau	Seite 31
	iii. Holz - Leichtbau.....	Seite 33
	1. Allgemeines	Seite 33
	2. Fachwerksbau	Seite 33
	3. Rahmen und Skelettbauweise.....	Seite 33
	4. Tafelbauweise	Seite 33
	iv. Metallbau - Stahlbau	Seite 35
	1. Allgemeines	Seite 35
	2. Glasfassaden.....	Seite 35
	3. Metallfassaden	Seite 36
d.	Aufbau von wärmeverlustminimierten Außenwandsystemen	Seite 37
	i. Allgemeines	Seite 37

ii. Funktionsschichten.....	Seite 38
1. Allgemeines.....	Seite 38
2. Innerste Nutzschiicht.....	Seite 38
3. Tragebene.....	Seite 38
4. Installationsebene.....	Seite 39
5. Luftdichtigkeitsebene.....	Seite 40
6. Dämmebene.....	Seite 41
7. Winddichtheitsebene.....	Seite 43
8. Äußerste Nutzschiicht - Wetterschutz.....	Seite 43
iii. Funktionsmatrix (Ebenenzusammenführung).....	Seite 44
iv. Erprobte Wandsysteme für den Passivhausbau.....	Seite 45
4. Konzept zur Erstellung eines optimierten Wandsystems.....	Seite 51
a. Funktionsdefinition.....	Seite 51
i. Problemstellungen (Flächenverluste, Recycling, Verarbeitung).....	Seite 51
ii. Einsatzzweck.....	Seite 52
iii. Realisierungsgrenzen.....	Seite 53
1. Kosten.....	Seite 53
2. Arbeitsgenauigkeit.....	Seite 53
3. Materialeigenschaften.....	Seite 53
b. Material- und Konstruktionswahl.....	Seite 54
i. Grundsätze.....	Seite 54
ii. Konstruktionswahl.....	Seite 55
1. Allgemeine Beschreibung des Entwurfs, Aufbau und Konstruktionsprinzip.....	Seite 55
2. Statisches System.....	Seite 56
3. Variabilität.....	Seite 56
4. Anordnung der Funktionsebenen.....	Seite 57
5. Relevanz der Verwendung von VIP als Dämmstoff.....	Seite 57
6. Betrachtung der Vor- und Nachteile der Konstruktion.....	Seite 57
5. Dimensions- und Dämmungsoptimierung.....	Seite 58
a. Strategien.....	Seite 58
b. Tragebene.....	Seite 59
c. Dampfsperre, Luftdichtheitsebene.....	Seite 60
d. Dämmebene (Vakuumdämmung).....	Seite 61
i. Vakuum, Definition und geschichtlicher Abriss.....	Seite 61
ii. Physikalisches Prinzip, maßgebliche Grundbegriffe und Aufbau.....	Seite 62
iii. Langzeitstabilität.....	Seite 65
iv. Umweltverträglichkeit.....	Seite 67
v. Technische Daten.....	Seite 72

vi.	Anwendungsgrundsätze.....	Seite 73
vii.	Einbau und Füge­technik im entworfenen System.....	Seite 74
e.	Fassadenkonstruktion	Seite 76
6.	Produktions- und Montageoptimierung - Qualitätsbeurteilung.....	Seite 77
a.	Allgemeines	Seite 77
b.	Berechnungsgrundlagen – Rechenwerte für die thermische Simulation	Seite 78
c.	U-Wert Berechnung des ungestörten Bereichs.....	Seite 80
d.	Anschlussdetails	Seite 82
i.	Außenecke	Seite 82
ii.	Innenecke	Seite 84
iii.	Elementstoß (Dämmungsstoß)	Seite 86
iv.	Geschossdeckenanschluss.....	Seite 88
v.	Sockelanschluss Plattenfundament	Seite 90
vi.	Sockelanschluss Keller	Seite 92
vii.	Dachanschluss	Seite 94
e.	Einbaudetails	Seite 96
i.	Fensteranschluss	Seite 96
1.	Leibungsdetail	Seite 96
2.	Sturzdetai.....	Seite 97
3.	Parapetdetail	Seite 98
f.	Montageablauf.....	Seite 99
i.	Fertigung	Seite 99
1.	Allgemeines	Seite 99
2.	Konstruktion.....	Seite 99
3.	Dämmungseinbau	Seite 99
4.	Installationen und Öffnungen	Seite 100
5.	Oberflächengestaltung der innersten Ebene.....	Seite 100
6.	Oberflächengestaltung der Witterungsebene.....	Seite 101
ii.	Transport	Seite 102
iii.	Montage.....	Seite 103
iv.	Demontage	Seite 104
7.	Statische Nachweise	Seite 105
a.	Allgemein.....	Seite 105
b.	Lastannahme	Seite 105
c.	Statisches System	Seite 105
d.	Stabilitätsnachweis Stütze	Seite 106
e.	Spannungsnachweis Schwelle.....	Seite 106
8.	Zusammenfassung und Ausblick.....	Seite 107

9. Quellenangaben	Seite 109
a. Literaturverzeichnis	Seite 109
b. Weiterführende Literatur und Literaturtipps.....	Seite 112
c. Linkliste.....	Seite 113
d. Abbildungen.....	Seite 114
e. Tabellen.....	Seite 117
10. Anhang	Seite 118
a. Übersichtsplan 1	Plan Nr.: Ü1
b. Übersichtsplan 2.....	Plan Nr.: Ü2
c. Legende.....	Plan Nr.: 00
d. Außenecke	Plan Nr.: 01
e. Innenecke	Plan Nr.: 02
f. Elementstoß	Plan Nr.: 03
g. Deckenanschluss Geschossdecke.....	Plan Nr.: 04
h. Sockelanschluss Plattenfundament	Plan Nr.: 05
i. Sockelanschluss Keller.....	Plan Nr.: 06
j. Dachanschluss	Plan Nr.: 07
k. Fenster – Leibungsdetail	Plan Nr.: 08
l. Fenster – Sturz und Parapetdetail.....	Plan Nr.: 09
m. Fensteranschluss an Geschossdecke ohne Parapet.....	Plan Nr.: 10
n. Fensteranschluss an Dach ohne Sturz	Plan Nr.: 11

1. Einleitung

Bereits in den 80er Jahren entstanden erste Projekte zur Verminderung des Energieverbrauches im Bereich des Bauwesens. 1988 wurde in Deutschland ein Projekt namens „Passive House“ präsentiert, dessen Inhalte eine wahrhaftige Flut an Bemühungen zur Entwicklung neuer Standards hinsichtlich der Einsparung, aber auch der Gewinnung von Energie auslöste. Grundsätzliche Punkte wie Wärmeschutz, Vermeidung von Wärmebrücken, Wärmeschutzverglasung, kontrollierte Lüftung und Luftdichtheit wurden zu den Leitsätzen erkoren und folglich immer weiter verbessert.

In Fachkreisen (Wissenschaftler, Architekten, Fachpersonal der Bauwirtschaft und diverser Beratungsstellen, Energieträger usw.) ist das Energiesparpotential eines, nach oben genannten Regeln und derzeitigem Stand der Technologie errichteten Gebäudes durchaus bekannt, es fehlt jedoch an dieser Stelle an nötiger Akzeptanz, Fachwissen und dem Mut neue Technologien umzusetzen zu wollen. Dies v.a. in jenen Berufsgruppen, die für die Errichtung der Gebäude verantwortlich sind. Hier sind besonders private Bauherren gemeint, die Planungen meist eigenhändig und ohne Rücksichtnahme auf Lebenszykluskosten¹ unternehmen,

da in den meisten Fällen, so auch im Falle von öffentlichen Bauträgern, in erster Linie die Errichtungskosten zählen. Betrachtet man jedoch, dass die Errichtungskosten nur etwa 20% der Lebenszykluskosten betragen, wird klar, an welcher Stelle der sprichwörtliche „Rotstift“ angesetzt werden muss.

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich in ihrer Essenz ebenfalls mit der Senkung der laufenden Betriebskosten eines Gebäudes bzw. eines gesamten Projektes. Der Brennpunkt liegt hier vor allem bei der Einsparung von Wärmeverlusten im Bereich der Gebäudehülle, und hier in erster Linie beim Wärmeverlust durch raumbegrenzende, tragende Außenwände. Abb.1.1 zeigt den durchschnittlichen Energieverlust eines Gebäudes durch die einzelnen Bauteilgruppen. Eine entscheidende Rolle spielt hier die Außenwand, die aufgrund des Einbaues von Fenstern und Türen, der Anschlüsse an Dach, Decken und diverser Durchdringungen immer die größte Schwachstelle an einem Gebäude bildet. Es gilt eine Fassade so zu gestalten, dass die Verluste durch Konvektion, Wärmeleitung und Wärmestrahlung möglichst gering gehalten werden und die Gewinne durch Sonnenenergie auf ein Maß vergrößert werden, dass es in den Sommermonaten zu keiner Überhitzung

Transmissionswärmeverlust (freistehendes Einfamilienhaus)	
Dach	22 %
Wand	30 %
Fenster*	20 %
Keller	15 %

* Lüftungswärmeverlust 13 %

Abb. 1.1
Transmissionswärmeverluste einzelner Bauteilgruppen

(Maximaltemperatur =27°C) kommen kann, jedoch der Heizwärmebedarf² in den Wintermonaten durch die Gewinne möglichst gesenkt wird. Eine diesbezügliche Optimierung ist objektspezifisch anzuwenden, und nicht Gegenstand dieser Diplomarbeit. Einen entscheidenden Teil des Einfamilienhausbaus beeinflussen in den letzten Jahren immer stärker die Fertigteilverbauer und die Fertighausfirmen, die nicht nur das Fertigteile als rohes Bauteil anbieten, sondern den Markt mit Komplettlösungen versorgen. In diesem Sektor bemühen sich die einzelnen Hersteller mit unterschiedlichsten Konzepten und Aufbauten um die Gunst der Kunden. Die verbreitete Meinung, eine Fertigteillösung sei eine im Vergleich zu einem Massivbau, „billige“, kurzlebige Lösung, kann mit wenigen Argumenten entkräftet werden: Die Aufbauten werden durch den maschinellen Einsatz, durch die Optimierung der Effizienz der Tragstrukturen und Konstruktionslösungen, sowie hin-

sichtlich Verschnitt weitreichend optimiert; Durch die Fertigung unter idealen Bedingungen, und die großen Stückzahlen werden Einbaudetails optimiert und können unter Obhut der Qualitätssicherung hergestellt werden. Da auch in der Fertighausbranche der Bedarf an Niedrigenergiekonzepten und neuerdings auch schon Passivhauskonzepten vorhanden ist, gelten für die Herstellung von entsprechenden Gebäuden die Grundregeln wie Dichtigkeit der Gebäudehülle, hohe Dämmstandards, Vermeidung von Wärmebrücken etc. Nach Angaben des Österreichischen Fertighausverbandes heißt es, dass bereits 37,5 % aller Ein- und Zweifamilienhäuser in Fertigbauweise errichtet werden, was den bereits jahrelang herrschenden Trend unterstreicht. [Internetrecherche am 10.02.2007, www.fertighaus.org] Der trügerische Ausdruck „Fertigteilhaus“, beschränkt sich im allgemeinen Sprachgebrauch auf Ein- bzw. Zweifamilienhäuser. Es ist jedoch Fakt, dass die vorgefertigten Elemente für weitaus größere Bauaufgaben geeignet sind, hinsichtlich des Brandschutzes und Schallschutzes oft jedoch zu modifizieren sind. Ebenfalls als Prämisse im Bausektor sollte in Zeiten, wo der Österreichische Endenergieverbrauch³ über 1.000.000 Terajoule [TJ] (1 Exajoule [EJ]) beträgt, und davon beinahe ein Drittel auf

private Haushalte entfällt, das Einsparen von Energie durch geeignete Maßnahmen an den Gebäuden sein. Nimmt man an, dass etwa 25 bis 30 Prozent des Energieverlustes über die Außenwände erfolgen und mit guter Wärmedämmung, wärmebrückenfreier und luftdichter Konstruktion etwa 2/3 davon eingespart werden könnten, liegt das Einsparungspotenzial bei etwa 60.000 TJ pro Jahr⁴. Der Energieverbrauch liegt durch die Kopplung an Energieträger aus nicht erneuerbarer Energie natürlich dem CO₂ Ausstoß (aber auch anderen Treibhausgasen wie CH₄, N₂O, H-FKW/HFCs) zugrunde, der nach dem Kyoto - Protokoll in Österreich bis 2012 um 13% unter das Niveau von 1990 gesenkt werden sollte, 2004 aber um 15,7% angestiegen ist. Aus diesen Fakten ergibt sich die Forderung, den Mindeststandard bezüglich Wärmedurchgangskoeffizienten für erdanliegende Bauteile und Außenbauteile für Neubauten auf hohem Niveau zu halten, sowie einen Luftdichtheitsstandard einzuführen, der mit einer verpflichtenden Blowerdoor - Messung überprüft werden könnte. Durch die Einführung des Energieausweises wurde dieser Forderung ja indirekt bereits nachgegangen, da die nötigen Grenzwerte nicht ohne oben genannte Maßnahmen erreicht werden können. Eine weitere Forderung zur Umsetzung der

„neuen Standards“ wäre eine verpflichtende Auszubildungsvertiefung für Handwerksbetriebe, die durch die Umsetzung auf der Baustelle bzw. in den Fertigungshallen wesentlich an der Effizienz der Ökologemaßnahmen beteiligt sind. Falsch oder schlampig geplante respektive ausgeführte Details führen im Dämmungsbereich unweigerlich zu einer Verschlechterung der Dämmeigenschaften (Förderung von Wärmebrücken), in einigen Fällen auch zu Bauschäden in Form von Tauwasserausfall und Schimmelbildung. Als Beispiel für die kritische Situation auf den Baustellen lässt sich folgendes ausführen: Ein Gebäude mit Ziegelwänden wird mit einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS) mit EPS- Dämmstoff ausgestattet. Die Flächenausbildung wird gemäß den Herstellervorschriften mit Kleberauftrag auf der Dämmplatte hergestellt. Durch den Auftrag des Klebers an den Plattenrändern entsteht bei der Verklebung ein „luftdichter“ Polster, der eine Zirkulation hinter der Dämmstoffebene verhindert. Im Dachanschlussbereich sollte gemäß Herstellungsrichtlinien zur Sicherstellung der Luftdichtheit ein Kompriband angebracht werden. Durch einen etwaig vorhandenen Dachvorsprung ist das Anarbeiten der Dämmstoffplatte aus geometrischen Gründen jedoch nur schwer in der, für einen

brauchbar dichten Anschluss nötigen Genauigkeit möglich. Zusätzlich wird in diesem Bereich durch die Einbauschwierigkeiten oft kein dichtender Kleber-Randwulst angebracht und die oberste Dämmstoffplattenebene im Dachanschlussbereich verliert aufgrund der entstandenen Hinterlüftung drastisch an Wirkung. Da über einen solchen undichten Anschluss auch ein erhöhtes Maß an Feuchtigkeit in den Bereich der Wärmedämmung vordringen kann, werden die Wärmedämmeigenschaften von verwendeten Baustoffen zusätzlich erheblich verschlechtert (Dämmstoffe reagieren in Abhängigkeit der Temperatur und des Feuchtigkeitsgehaltes mit veränderter Wärmeleitfähigkeit).

Fazit:

Um ein brauchbares Außenwandsystem zu entwickeln, bedarf es vor allem sorgfältiger Überlegungen hinsichtlich Material und Konstruktionswahl, sowie einer exzellenten Detailausbildung, die Fehler bei der Montage oder der Verarbeitung leicht ersichtlich machen. Es ist unabdingbar marktfähige Systeme zu entwickeln, die den Ansprüchen aller am Bauprozess Beteiligten gerecht werden. Die folgende Diplomarbeit sei ein Versuch dessen gerecht zu werden!

Anmerkungen des Autors

¹ Auf ein Projekt übertragen bedeutet der Begriff Lebenszyklus die gesamte Dauer von der Planung, Herstellung, Betrieb, bis zur Entsorgung und Abschluss. Die während des Lebenszyklus entstehenden Kosten, die unmittelbar dem Projekt zuordenbar sind, werden Lebenszykluskosten genannt.

² Der Heizwärmebedarf ist jene Wärmemenge die dem Bezugsvolumen (Gebäude, Raum,...) zugeführt werden muss um eine bestimmte Temperatur über längere Zeit aufrecht zu erhalten. Es werden sämtliche baulichen Wärmeströme berücksichtigt, nicht jedoch der Wirkungsgrad der Heizungsanlage (Verluste bei Energieerzeugung, Speicherung, Verteilung und Übergabe).

³ Im Jahre 2004 lag der Österreichische Energetische Endverbrauch laut Statistik Austria bei 1.079.718 Terajoule. Mit dieser Energiemenge könnte man eine 100 Watt Glühbirne etwa 317 Millionen Jahre betreiben. Der Verbrauch in Privaten Haushalten lag bei 292.488 Terajoule. Diese Energiemengen wurden „nur“ in 11% durch erneuerbare Energieträger gedeckt.

⁴ Dies ergibt sich aus Abschätzungen, dass etwa 20% des Jahresverbrauches in privaten Haushalten: (~300.000 TJ) durch Außenwände verloren gehen (Lüftungswärmeverluste und Transmissionswärmeverluste)

2. Zieldefinition und Arbeitsaufbau

Diese Arbeit beschäftigt sich wie schon in der Einleitung beschrieben mit der Optimierung von tragenden Wandsystemen zum Einsatz im Passivhausbau, was eine hocheffiziente Lösung hinsichtlich Dämmstandard, Ökologie, Ressourcenverbrauch aber auch eine zielorientierte, gut handhabbare Montage meint. Um eine Optimierung durchführen zu können, ist es notwendig, die Randbedingungen unter denen es ein System zu konstruieren gilt, zu kennen und zu analysieren. Da es hier jedoch einen unmöglich zu erfassenden Einflussbereich zu beschreiben gäbe, wird nur auf wesentliche, die Konstruktion betreffende Bereiche genauer eingegangen und für weiterführende Erkenntnisse auf andere Fachwerke und Schriften verwiesen.

Im Weiteren werden Wandsysteme allgemein behandelt: Es wird auf Anforderungen hinsichtlich Architektur, Schutzwirkung, Statik, Bauphysik, Ökologie usw. eingegangen, wobei hier nur ein grober Überblick über die Bandbreite der Einflussfaktoren gegeben werden soll. Danach soll aus den in den letzten Jahrzehnten und heute verwendeten Bausystemen unter Bewertung der Vor- und Nachteile ein Begriff für die Gebrauchstaug-

lichkeit für heutige Bauaufgaben gegeben werden. Hier wird auch auf die einzelnen Möglichkeiten der Konstruktion, Aufbauten, Materialien und Auswirkungen näher eingegangen. Die danach folgenden Abschnitte 4-10 sind der eigentlichen Optimierung und dem Entwurf selbst gewidmet. Die Erfüllung der Dimensionsoptimierung, Dämmsungsoptimierung und fügetechnischen Optimierung wird Schritt für Schritt erörtert. Das daraus entstandene Wandsystem wird bezüglich Anschlüsse an Dach, Decken, Sockel sowie Eckausbildung und Öffnungsbildung bearbeitet. Weiters werden Punkte wie Montageablauf, Transport, Recycling und Oberflächengestaltung erörtert und wie die oben genannten Details mit Plänen und Grafiken versehen. Da durch die hohen Anforderungen auch kleine Konstruktionsfehler großen Einfluss haben können, werden wichtige Einbausituationen und Details mittels thermischer Simulation bewertet.

Motivation und Ziele:

Die Möglichkeiten, die durch heute vorhandenes Know-How, Materialien, Bauweisen und Forschungsanstrengungen vorhanden sind und „nur noch“ zusammengefasst werden müssen, um im Baubereich eingesetzt werden zu können, sind in keiner Weise ausgeschöpft.

Durch die Kombination von Hochleistungsbaustoffen und Bausystemen lässt sich ein absolut brauchbares Hochleistungsbauteil schaffen, welches einen Ankerpunkt für zukünftige Anstrengungen zur Etablierung einer neuen Generation des Baustandards setzt. Um ein möglichst effizientes und rasches Umschwenken der Auswirkungen der Energieverschwendung zu schaffen gilt es zuerst an den „großen Schrauben“ zu drehen. Hier ist unter anderem auch die Ausbildung und Entwicklung von Wandsystemen, die ein Energiesparpotential aufweisen und deren Anschluss an andere Bauteile anzuedeln. Die abgeschätzten Einflüsse auf den Energieverbrauch wurden bereits in der Einleitung beschrieben und beweisen die Sinnhaftigkeit eines solchen Vorhabens. Um ein neuartiges System am Markt festzusetzen, ist es notwendig die Anforderungen durch Planer, Nutzer, Hersteller, Lieferanten, Monteure, schlichtweg aller Beteiligten zu integrieren. Ist eine Komponente schlecht verarbeitbar, ist die Oberflächengestaltung eingeschränkt, sind die Bauteile zu groß, schwer handhabbar oder unwirtschaftlich, so wird ein Abwenden von den traditionellen Bausystemen nur schwer möglich sein. Die Schwierigkeit eine dermaßen universelle Lösung zu finden liegt auf der Hand. Deshalb muss mit einem

Mindestmaß an Kompromissen gerechnet werden, die durch die Vorteile jedoch überwogen werden müssen. Sollte es im Rahmen dieser Arbeit keine zufriedenstellende Lösung geben, so ist hier trotzdem ein Nutzen zu ziehen: Auf dem Weg zur Energieeinsparung müssen alle denkbaren Wege ausgelotet werden. Teilweise wird man am Ende jedoch auf Hindernisse stoßen, die durch den Fortschritt der Technologie oder anderer Faktoren bald als überwindbar gelten werden. Auch die Erkenntnis, das Ziel nicht erreicht zu haben ist ein wichtiger Beitrag um in späteren Entwicklungen die Erfahrung zu haben, welche Ansätze es nicht wert sind weiter betrachtet zu werden. Diese Arbeit setzt bei einem Entwicklungsstand an, führt die Erkenntnisse zu einer Lösung aus, und soll später die Grundlage für einen weiteren Gedanken sein, der in letzter Konsequenz dazu beitragen soll, dem Klimawandel Einhalt zu gebieten.

„Wir gehen mit der Welt um, als hätten wir noch eine zweite im Kofferraum“

Jane Fonda

Maximieren durch Minimieren:

In Zeiten, in denen das Passivhaus auf ein Niveau entwickelt ist, um sagen zu können, dass die Technologie beherrschbar, berechenbar und funktionsfähig ist, gilt es nun die Nachteile, die sich aus den konstruktiven Rahmenbedingungen ergeben möglichst gering zu halten oder zumindest einen Lösungsweg parat halten zu können. Hier ist als Musterbeispiel der Umstand anzuführen, dass durch die Strategie der Verlustminimierung (hohe Dämmstandards, Luftdichtigkeit der Gebäudehülle,...) Konstruktionen notwendig sind, deren Dicke oft über 50cm reicht. Der enorme Platzbedarf für Wärmedämmung geht also unweigerlich mit Raumverlust einher, der unter bestimmten Umständen dickenoptimierte Lösungen fordert. Möchte man beispielsweise in Kleingartensiedlungsgebieten für ganzjähriges Wohnen (EK LW) in Wien nach dem derzeitigen Gesetzesstand ein Gebäude errichten, so bildet die Grenze der maximalen verbaubaren Bruttogeschossfläche mit 50m² und der Wille ein Gebäude im Passivhausstandard errichten zu wollen ein schier unüberwindbares Hindernis: Wie in Abb. 2.1 dargestellt würde man bei einer Ausgangsfläche von 50m² und Einsatz einer 50cm dicken Wandkonstruk-

tion bereits 26,4% der gesamt zur Verfügung stehenden Nutzfläche verlieren. Durch eine Reduzierung auf nur etwa 20 cm würde der Verlust allerdings nur noch etwa 11% betragen. Berücksichtigt man, dass nach Abzug der Fläche, die die Außenwandkonstruktion einnimmt auch noch Flächen für Erschließung und Trennwände die effektiv nutzbare Fläche reduzieren, ist schnell erkennbar, dass durch derartige Konstruktionen eine sinnvolle Nutzbarkeit nicht mehr gegeben sein kann. Diese Platzproblematik reduziert sich mit zunehmender Grundfläche und sollte je nach Bauaufgabe separat untersucht werden. Ein weiterer Grund Flächen zu sparen, ist immer dann gegeben, wenn die bebaubare Fläche nicht durch baurechtliche Vorschriften begrenzt ist, die Grundstückspreise aber eine Maximierung des Verhältnisses zwischen Brutto- und Nettogeschossfläche notwendig machen. Durch die Multiplikation der einsparbaren Flächen mit der Anzahl der Geschosse wird der entstehende Vorteil noch deutlicher erkennbar!

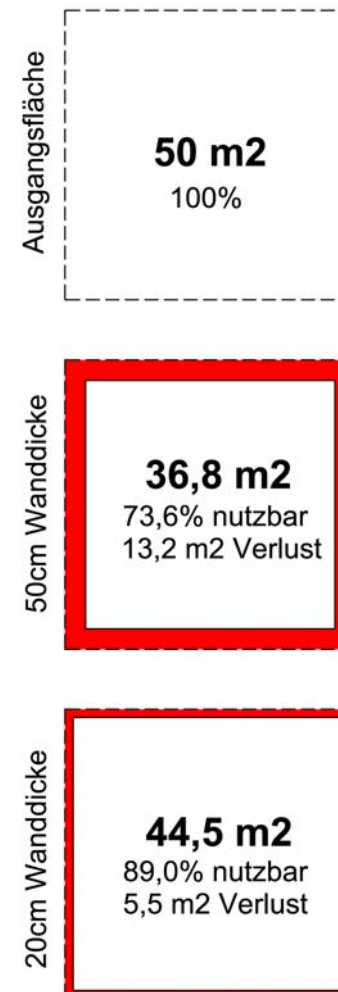


Abb. 2.1
Flächenverlust durch große
Wanddicken

Anmerkungen des Autors

Die gesetzliche Beschränkung der maximal bebaubaren Flächen, Bauwiche, Baufluchtlinien etc. bilden durch ihre derzeitige Definition eine Barriere für das energieoptimierte Bauen. Im Bereich der Kleingartensiedlung wäre eine sinnvolle Lösung darin zu sehen, die Wärmedämmung außerhalb der 50m² - Grenze anbringen zu können, und somit die „statisch notwendige“ Konstruktion als äußere Grenze zu sehen. Überdämmungen der Baufluchtlinien sind bereits zulässig, jedoch auf ein Maß beschränkt, welches Niedrigenergie bzw. Passivhausbauweise nicht zulässt. In Bereichen, in denen keine anderen Einschränkungen durch Aufbringung von Dämmstoff für andere Bauteile, Verkehrswege etc. entstehen, sollte die Dämmstoffdicke selbst wählbar sein!

3. Wandsysteme

a. Geschichte

Das Wort „Wand“ hat seinen Ursprung im althochdeutschen Wort „want“ [Internetrecherche am 03.01.2008, 13:30, <http://de.wikipedia.org>] bzw. „wintan“ Es bedeutet winden, wenden, drehen und flechten [15]. Die älteste Form einer Wand in diesem Sinne ist die jungsteinzeitliche Flechtwand, die aus einem mit Lehm beworfenen Geflecht aus Ästen und Zweigen bestand [15]. Diese Konstruktion war nicht selbsttragend und stellte lediglich einen Raumabschluss dar. Im heutigen Sprachgebrauch wird der Begriff „Wand“ als seitliche Begrenzungsfläche von Räumen und Baukörpern verstanden.

In der Geschichte der Wand lässt sich in den Anfängen der Bautätigkeit des Menschen keine eindeutige als Wand zu bezeichnende Bauform festlegen, Dach und Wand gingen meist in einem Kontinuum ineinander über, da es sich bei den frühesten Behausungen meist um hüttenartige Konstruktionen mit einfachen Dächern aus Ästen und Zweigen handelte. Als Baumaterial fungierte hauptsächlich Holz, das Vorteile gegenüber anderen Baustoffen in Bearbeitungsfähigkeit, Aufnahme von Zuglasten und Biegespannungen hat.

Da die Holzkonstruktionen jedoch meist nicht von langer Lebensdauer waren, und oft Feuern und Angriffen von Außen zum Opfer fielen und auch nur ein geringes Maß an Schutzwirkung vor Tieren bot, wurde immer mehr der Massivbau entwickelt. In den Anfängen bestanden hier „Wände“ in Form von Mauerwerk aus aufeinander gestapelten Findlingen, also Steinen, die in keiner Weise bearbeitet wurden. In Regionen in denen Holz Mangelware war, wurde schnell eine Bautradition mit den vorhandenen Baumaterialien entwickelt. Um 6000 vor Chr. Entwickelte sich im Zweistromland und Jericho der Stein und Lehm als Alternative zu den provisorischen Leichtbauten. [11] Aus Vorformen bildete sich am Ende der vorgeschichtlichen Zeit das Rechteckhaus mit senkrechten Wänden, da sich Vorteile in der Konstruktion und Erweiterbarkeit boten. Bald entwickelte sich auch eine primitive Form der Präfabrikation, was bedeutete, dass nicht nur ausschließlich Baumaterialien, die es auf der Baustelle gab verwendet wurden. Seit dieser Zeit entwickelte sich die Unabhängigkeit vom örtlich vorhandenen Baumaterial immer weiter bis zum heutigen „Baustandard“, der eine bauvorausgehende Planung vorsieht. Die benötigten Baustoffe werden dann je nach Bedarf zur Baustelle gebracht. Eine

Form der Vorfertigung ist der Lehmziegel, aus denen die Chaldäer um 3000 v. Chr. das „echte Gewölbe“ zusammensetzten [11]. Die verwendeten Massivbausysteme waren in den Anfängen stets einschichtig aufgebaut. Es erfolgte lediglich eine Differenzierung der verwendeten Materialien nach den statischen Anforderungen. So wurden die Druckbeanspruchten Wände aus Stein und Lehm gefertigt, die zug- bzw. biegebeanspruchten Deckenteile aus Holz konstruiert. Die mehrschichtige Bauweise kam im Bereich der Wände schon in Lehmbauten zur Anwendung, da als Schutz der in Stampflehm- oder Lehmziegelbauweise konstruierten Wände eine zusätzliche Lehmschicht aufgebracht wurde. Hier ist auch bereits die Zweckmäßigkeit des Putzes in moderner Form erkennbar. Mit den Erkenntnissen der Materialtechnologie wurde es schnell klar, dass ein Aufbau aus mehreren Schichten durch Ausnutzen der materialspezifischen Eigenschaften der einzelnen Layer eine Anpassung an den Nutzungszweck erlaubt.

Eine der ersten mehrschichtigen Konstruktionen wurde durch die Römer beim Bau des Pantheons eingeführt. Mit zunehmender Höhe der Kuppel wurden die Eigenschaften des verwendeten „Opus Caementitium“ (Eine Mischung aus

gebranntem Kalk, Ziegelmehl oder Puzzolanerde mit Steinen, Sand und Wasser) so angepasst, dass die Dichte verringert, und somit die Auflast auf das Tragwerk verkleinert wurde. Aus ästhetischen Gründen wurden die „Betonkonstruktionen“ dann mit Ziegelblenden verkleidet.

Eine echte Revolution in der Geschichte der mehrschichtigen Aufbauten entstand, als man die Notwendigkeit der Wärmedämmung von Außenwänden erkannte. 1951 entwickelten Mitarbeiter der Fa. BASF expandierten Polystyrol Hartschaum, der erstmals 1958 zur außenseitigen Dämmung von Gebäuden eingesetzt wurde. Das Haupteinsatzgebiet lag in der Dämmung von Betonsilos, in denen landwirtschaftliche Produkte wie Mehl und Zucker gelagert wurden. Hier sollte eine Kondensatbildung vermieden werden. Ende der 70er Jahre wurden die ersten Wärmedämmverbundsysteme mit nichtbrennbaren Dämmstoffen auf Calciumsilikat- und Mineralwollebasis auf den Markt gebracht. [2] Heute ist die Palette der Baustoffe und Bauprodukte so groß, dass es Möglichkeiten gibt Bauteile so auszubilden um sie dem jeweiligen Anforderungsprofil bezüglich Schall-, Brand-, Witterungs- und Wärmeschutz, uvm. anzupassen. Mehrschichtige Bauteile haben

natürlich auch Nachteile: Durch die unterschiedlichen Materialeigenschaften ist es notwendig die Auswirkungen des Einsatzes im System genau zu kennen und Bauschäden etwa durch Ausfall von Tauwasser zu vermeiden. Das Zusammenspiel der Eigenschaften aller einzelnen Schichten ist von größter Wichtigkeit für das Funktionieren des gesamten Bauteiles. Der Einsatz bestimmter Materialien wie z.B. Mineralwollendämmung in einer Holzriegelkonstruktion bedingt zusätzlich den Einbau einer wasserdampfbegrenzenden Schicht, die als solche wieder an der richtigen Stelle mit den passenden Materialeigenschaften und bestimmter Einbauweise eingesetzt werden muss, um den Gesamtaufbau in einwandfreier Funktion zu halten (siehe Abschnitt 3.d.ii.)

Ein weiteres Charakteristikum von modernen Wandsystemen ist die Elementierbarkeit und die Modularität, die sich, in jedem modernen Bau wieder findet. Bereits die Rendille (Hirtenfolk aus Kenia) entwickelten Techniken Bestandteile ihrer Hütten auf Eseln zu transportieren. Modulare Systeme sind ebenfalls aus der chinesischen und japanischen Bautradition bekannt, wo die Tatami-Strohmatte mit etwa 180cm x 90cm den Grundraster für die Gebäude bildet [16]. Viele Hersteller haben neben ihren Baupro-

dukten auch Strategien zu einer Rasterplanung entwickelt, die es ermöglicht viele gleiche Elemente zu verwenden und somit durch Vermeidung von Verschnitt ökonomische Konstruktionen zu erhalten. Ein historisches Beispiel für Modulmaße ist sicherlich die Geschichte des Ziegels, der seine Anfänge etwa 4000 v. Chr. im Zweistromland Mesopotamiens findet, wo erstmals gebrannte Ziegel eingesetzt wurden. Schon hier setzte sich ein, dem heutigen Normalformatstein ähnliches Maß durch. Die Länge eines Steines entsprach etwa der Länge eines Fußes, die Breite etwa der Spannweite der Hand [15]. Durch die Entwicklung von Mauerwerksverbänden wurden die Ziegel in Rom auf einem 30 cm Modul basierend aufgebaut. Die Länge eines Ziegels musste zur einwandfreien Herstellbarkeit eines Verbandes der doppelten Breite plus Fuge entsprechen. Bis heute hat sich das modulare Zusammensetzen von Bauteilen aus beinahe allen Baustoffen durchgesetzt. Aufgrund der Tatsache der dezentralen Fertigung und einer kontrollierbaren und einwandfreien Einbauweise der Bauprodukte ist es essentiell diese in bestimmten Baugrößen, also Modulen herzustellen. Dabei gelten gewisse Grundsätze, wie die zulässigen Abmessungen und Gewichte bei Transporten auf dem Land und

Luftweg (siehe Abschnitt 3.b.i.2). Eine Weiterentwicklung der Verwendung von Modulen ist die erwähnte Verarbeitung zu Elementen, die ihrerseits wieder als Modul verwendet werden können.

b. Anforderungen

i. Architektonische Anforderungen

1. Allgemeines

Seit Beginn der Zeit, in der die Menschen Bauen, spielt der architektonische Ausdruck, der zum größten Teil durch die Wände eines Bauwerkes gezeichnet wird, eine mächtige Rolle. Frühe Völker wie die Inka bauten zum Ausdruck ihrer Macht bereits steinerne Monumentalbauten, von denen noch heute Wände oder Wandteile erhalten geblieben sind, und die bis heute ihre Großartigkeit und Erhabenheit erahnen lassen. In jeder Epoche der Baugeschichte spielten Wände eine wesentliche Rolle und wurden zu Trägern von Stilelementen, Ornamenten, Bemalungen und Farbe.

Wände können Stärke, Macht, Zierde und Reichtum, Leichtigkeit, Transparenz, Unüberwindbarkeit und Monumentalität ausdrücken, können durch ihre Beschaffenheit warm, kühl, schlicht, opulent, glatt, rau, anziehend oder abschreckend wirken und durch runde, eckige, filigrane, massive, hohe oder weitläufige Bauweise ihre Wirkung auf den Mensch entfalten. Wände sind jene Elemente, die dem Planer die größtmögliche Einflussnahme geben. Sie sind die Verbindung zwi-

schen dem Boden und dem Dach, Träger von Öffnungen, Ausdruck von Handwerkskunst und oft tragendes Element.

2. Raumbildung

Durch den Einsatz von Wänden in jeglicher Form kommt es zu einer Raumbildung innerhalb der Umgrenzung dieser. Auch völlig transparente Bauteile schaffen eine Änderung des Eindrucks. Man könnte Zäune ebenfalls als Wände betrachten, die einen Garten, ein Stück Weideland oder ein ganzes Land als Fläche kennzeichnen. Durch die Wahl des Baustoffes, der Bauweise und Ausführungsart kann die Raumbildung in unterschiedlichem Maß gestaltet werden. Vom beherbergenden, schützenden Eindruck bis hin zum Gefühl der Gefangenheit ist jede Eigenschaft erzielbar.

3. Visuelle Eigenschaften

Visuelle Eigenschaften einer Oberfläche werden durch die von ihr ausgestrahlten, reflektierten oder gebeugten Lichtstrahlen erzeugt. In direktem Zusammenhang mit dem Sehen steht die für die Wahrnehmung von Architektur wichtige räumliche Wahrnehmung, Kontrastsehen etc. Egal in welchem Kontext Wände eingesetzt werden, hängt deren Wahrnehmung vor-

allem von Oberfläche und Gestaltung ab. Helle, glatte Wände haben andere Einflüsse als raue, dunkle Flächen. Oberflächen und deren Temperatur sind der Schlüssel zum Wohlbefinden, sind Zeichen des Zweckes und müssen auf unterschiedlichste Ansprüche angepasst werden. Diese können von Transparenz über leichte Reinigbarkeit und Sterilität bis hin zur Darstellung und Repräsentation des puren, unbearbeiteten Baustoffes reichen.

4. Haptische Eigenschaften

Das Wort „Haptik“ lässt sich aus dem griechischen Wort „haptikos“ herleiten, das im Deutschen den Tastsinn beschreibt. Die taktile Wahrnehmung schließt eine Reizübertragung an das Gehirn durch Druck, Temperatur und Berührungen ein, erlaubt es dem Menschen eine Situation zu bewerten und meint die taktile Exploration einer Oberfläche [Internetrecherche am 04.01.2007, <http://de.wikipedia.org>]. Jedes Material hat definierte, material-spezifische haptische Eigenschaften, die der Mensch entsprechend seiner Erfahrung gespeichert hat oder nicht, und so auch zugeordnet werden können. Ist es für einen Menschen nach einem optischen Reiz im ersten Moment nicht klar um welches Material es sich beim Anblick handelt, werden die optischen Wahrnehmungen durch tak-

tile ergänzt bzw. damit Assoziationen ausgelöst, was wieder zur Auslösung bestimmter Gefühlszustände führen kann.

5. Olfaktorische Eigenschaften

Mit der olfaktorischen (griech. „oz-ein“ = riechen) Wahrnehmung ist der Geruchssinn gemeint [Internetrecherche am 04.01.2007, <http://de.wikipedia.org>]. Auch dieser Sinn spielt eine Rolle bezüglich der korrekten Wahrnehmung seiner Umgebung und hat Einfluss auf das Wohlbefinden des Menschen, da Gerüche stark mit Emotionen assoziiert werden. Die Wahrnehmung eines Geruches kann oft im Unterbewusstsein stattfinden, da es für die Erkennung eines Geruches und der bloßen Wahrnehmung andere Grenzwerte der Riechstoffe in der Luft benötigt. Im Bezug auf Wandsystem spielt dies also besonders bei der Materialwahl eine Rolle, da dadurch die Wahrnehmung eines Raumes beeinflusst wird. Mit dem Geruch von Holz werden beispielsweise meist positive Wahrnehmungen verknüpft und Natürlichkeit und Wärme assoziiert.

ii. Anforderungen durch psychische Auswirkungen

1. Allgemeines

Die im letzten Abschnitt erörterten architektonischen Anforderungen überschneiden sich unweigerlich mit den Anforderungen und Auswirkungen, die ein Bauteil bzw. ein Bauwerk auf den Menschen ausübt. Bauen ist eine dem menschlichen Bedürfnis des „Wohnens“ folgende Entwicklung.

Wohnen als menschliche Tätigkeit ist mit historischen, sozialen und kulturellen Vorstellungen in Verbindung zu bringen und bedeutet lt. [Maderthaner, Mitschriften aus der Vorlesung Architekturpsychologie, TU Wien]:

- Schutz vor Kälte und Wärme (Witterung)
- Schutz vor wilden Tieren (In der heutigen Zeit auch vor anderen Menschen)
- Ruhe und Schlaf
- Reproduktion

Als der Mensch sich vom Jäger und Sammler zum Ackerbau betreibenden Menschen entwickelte, erkannte er die Vorteile der Gemeinschaft und des gemeinschaftlichen Wohnens in einer künstlich geschaffenen Behausung. [11] In dieser Zusammenarbeit

beim Bewässern und Pflügen des Landes liegt auch der Ursprung von Gesellschaft und der Stadt.

2. Abgrenzung

Das Grundbedürfnis der Regeneration fasst die Wahrung der Intimsphäre, Schutz vor Einsehbarkeit und Mithören, Sicherheit von Wegen und eine geringe Gefahr von Überfällen zusammen. Ist es nicht möglich diesem Bedürfnis durch architektonische Barrieren nachzukommen, kann dies Ärger, Angst, Stress, Depression, sozialen Rückzug auslösen, zu Streit mit Mitbewohnern führen und das Gefühl der Ortsverbundenheit zerstören. [Maderthaner, Mitschriften aus der Vorlesung Architekturpsychologie, TU Wien] Wände sind das Bauteil, das maßgeblich an der Abgrenzung bzw. Abschirmung von neugierigen Einblicken beteiligt ist, sie bieten die Möglichkeit des Rückzuges und der Schaffung von Intimräumen, die gezielt auf die Bedürfnisse des Nutzers abzustimmen sind.

3. Behaglichkeit

Behaglichkeit lässt sich im für den Baubereich relevanten Begriff „thermische Behaglichkeit“ erörtern:

Ein Raum wird nach [9] als behaglich empfunden, wenn die Temperaturdifferenz zwischen:

- Wandoberfläche und Raumluft weniger als 4 °C
- Fuß- bis Kopfhöhe weniger als 3 °C
- verschiedenen Wandoberflächen (Strahlungsasymmetrie) weniger als 5 °C beträgt

und wenn die Luftgeschwindigkeit und ihre Turbulenz klein ist (keine Zuglufterscheinungen).

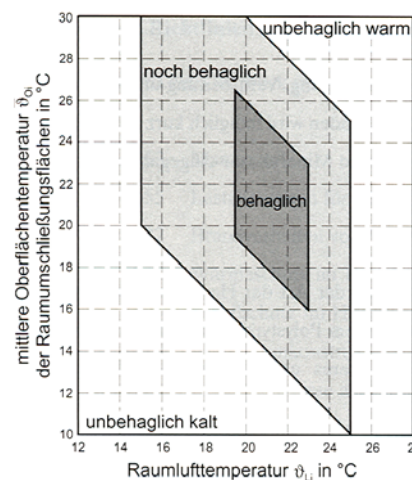


Abb. 3.1
Behaglichkeitsempfinden des Nutzers in Abhängigkeit von Raumlufttemperatur und der mittleren Oberflächentemperatur [7]

Dabei bedingt die unterschiedliche Raumnutzung individuelle Temperaturwünsche der Nutzer. Erfahrungsgemäß gelten als behaglich:

- Wohnraum: 20 bis 22 °C

- Schlafräum: 16 bis 18 °C
 - Bad: 24 bis 26 °C
- [http://de.wikipedia.org/wiki/Thermische_Behaglichkeit am 13.02.2007]

Aus den vorher genannten Grundsätzen geht hervor, dass vor allem die Oberflächentemperaturen der Wände eine Rolle spielen und es durch Minimierung der Differenz der Oberflächentemperaturen zu der Raumlufttemperatur sehr schnell Behaglichkeit im bauphysikalischen Sinn erzielen lässt. Zusätzlich zu den genannten Bedingungen lassen sich folgende Einflüsse auf die Behaglichkeit definieren:

- Relative Luftfeuchtigkeit
- Luftreinheit
- Tätigkeitsgrad
- Körperliche Verfassung
- Kleidung
- Aufenthaltsdauer
- Belegungsdichte im Raum

Durch annähernd wärmebrückenfreie Konstruktionen und hohe Dämmstandards lässt sich die Temperaturdifferenz zwischen dem kältesten Punkt im Wand bzw. Deckenbereich und der Raumlufttemperatur unter 1°C halten und somit der größte Einflussfaktor auf die thermische Behaglichkeit positiv gestalten. Durch den Einsatz von Lüftungsgeräten zur Herstellung von kontrollierter Lüftung und der Grundbedingung des hygienischen

Luftwechsels besteht die Gefahr der Zuglufterscheinungen durch zu niedrige Lufttemperaturen oder zu hohe Luftgeschwindigkeiten der eingeblassenen Luft.

4. Tragsicherheit

Das Einstürzen, Umfallen, Brechen, usw. eines Bauwerkes (Bauteiles) ist eine der Urängste des Menschen. Als es für die Dimensionierung von Bauteilen noch keine statischen Berechnungen gab, wurde der Bau aufgrund empirischer Daten errichtet. In Epochen, in denen das Streben nach größeren, höheren und gigantischeren Bauwerken im Vordergrund stand, kam es nicht selten zum Einsturz selbiger. Viele Tragwerke (Kuppeln, Türme, Bögen) der Gotik hielten den Anforderungen nicht Stand. Heute kommt der Einsturz eines Bauwerkes oder eines großen Teils davon einer Tragödie gleich. Doch wo liegt der Grenzwert der tolerierbaren Versagenswahrscheinlichkeit? Würde man jedes Bauteil so dimensionieren, dass es allen erdenklichen Beanspruchungen standhalten könnte, wäre dazu ein unverhältnismäßiger Aufwand an Materialeinsatz und Investition zu tätigen. Es wird daher versucht, in der Bautechnik einen Mittelweg zu gehen, und nur so viel Material einzusetzen, als wirklich für die Einhaltung der Grenzwerte not-

wendig ist. Würde beispielsweise eine Dachkonstruktion unter der Beanspruchung eine große Durchbiegung erfahren, wäre dies im Bewusstsein der Benutzer als Einsturzworankündigung verankert und das Gebäude würde nicht mehr betreten werden. Tragsicherheit ist also aufgrund des starken Einflusses auf das Benutzerverhalten, das Wohlbefinden und das Empfinden als Schutz ein psychologischer Einfluss.

Tragsicherheit ist jedoch ein meist falsch verstandener Begriff: Tragwerke werden in einer modernen Weise so berechnet, dass unter Berücksichtigung der vorgesehenen Nutzungsdauer und der Erstellungskosten mit annehmbarer Wahrscheinlichkeit die geforderten Gebrauchseigenschaften behält. Dabei werden Einwirkungen und Einflüsse während der Nutzungsdauer miteinbezogen. Das Versagen eines Bauteiles bedeutet nicht unbedingt, dass die Tragsicherheit gefährdet ist. Im Fall, dass der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit = Serviceability Limit State, SLS (Durchbiegung, Rissbreitenüberschreitung, Schwingungsercheinungen,...) überschritten wird, ist ebenfalls von einem Versagen des Bauteils zu sprechen. Ein Bauteil versagt erst dann seinen Dienst unter einer Last oder einer Beanspruchung, wenn der Grenzzustand der Tragfähigkeit = Ultimate

Limit State, ULS erreicht ist. [14] Bei einer Nachweisführung der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit gem. EUROCODE2 und der DIN 1045 wird durch Einführung von Teilsicherheitsbeiwerten die Versagenswahrscheinlichkeit im Bereich SLS auf etwa 10^{-3} gesetzt. Der ULS wird hingegen auf eine Versagenswahrscheinlichkeit von etwa 10^{-6} eingependelt, was bedeutet, dass es toleriert wird, dass ein Bauteil aus einer Million trotz korrekter Berechnung versagt.

iii. Schutzwirkung

1. Allgemeines

Im Durchschnitt verbringt ein Mensch etwa 90% seines Lebens in Bauwerken. Dies hat den Grund, dass es nicht möglich wäre, ohne die Schutzfunktion von Bauwerken lange zu überleben. Ein einfaches Zelt erfüllt schon die wichtigsten Schutzanforderungen, die man zum Überleben benötigt. Natürlich ist es den heutigen Bauaufgaben entsprechend nicht mehr das Ziel, das bloße Überleben sicherzustellen, sondern einen umfassenden Standard für das Wohnen und Leben in der Familien und Arbeitswelt zu geben. Neben den Grundanforderungen an Schutz vor Wind, Kälte, Niederschlag, Hitze, wilden Tieren sind viele andere Schutzfunktionen wie Sichtschutz, Brand-sicherheit, Schallschutz, Schutz vor höheren Gewalten usw. zu erfüllen. Im Folgenden werden diese Anforderungen Bezug nehmend auf den Bauteil „Wand“ konzentriert und erörtert, welche Grundsätze zur Einhaltung dieser Ansprüche gelten.

2. Sichtschutz

Sichtschutz lässt sich mit dem Begriff der Abgrenzung, der im letzten Abschnitt erläutert wurde, gleichsetzen. Dem Bedürfnis der Erholung und des Schlafes, sowie der Privatheit kann nur dann in ausreichendem Maß nachgekommen werden, wenn es den nötigen Rückzugsraum gibt, der Privatsphäre und Abschirmung vor Einblicken bietet.

3. Witterungsschutz

Wände müssen den Anforderungen an einen Schutz vor Wind, Niederschlag, Kälte aber auch Hitze entsprechen. Durch die richtige Wahl des Materials der äußersten Schicht wird dem Schutz vor Regen und Schnee meist genüge getan. Zum Schutz vor Wind ist es erforderlich eine Konstruktion zu finden, die der statischen Beanspruchung auch starker Winde standhalten kann und aufgrund des Wandaufbaues die Fähigkeit einer Winddichtung (3.d.ii.8.) bietet. Durch den Einsatz von Massivbau mit Putzsystemen ist dem meist genüge getan. Im Holzbau ist es notwendig eine Winddichtungsebene in den Aufbau zu integrieren. Witterungsschutz lässt sich über die herkömmliche Begrifflichkeit des „Schutzes vor dem Wetter“ erwei-

tern und mit folgenden Schutzfunktionen ergänzen:

- Widerstandsfähigkeit gegen aggressive Schadstoffemissionen der Luft.
- Schutz vor atomarer Strahlung
- Schutz vor UV - Strahlung
- Blendschutz

4. Wärmedämmvermögen

Wärmedämmung meint die Verringerung des Wärmetransportes in all seinen Formen und ist eine Möglichkeit die Einflüsse von großer Hitze oder Kälte auf einen Raum möglichst gering zu halten. Durch Wärmedämmung wird Heiz- und Kühlenergie eingespart.

Um einen Überblick über die physikalischen Vorgänge im Bereich des Wärmeschutzes zu geben, sei hier eine grobe Zusammenfassung der Grundsätze des Wärmetransportes gegeben:

In der Wärmelehre sind drei Arten des Wärmetransportes bekannt, wobei dieser immer vom Ort höherer Temperatur zum Ort niedriger Temperatur auftritt:

Wärmeleitung:

Tritt in festen Stoffen durch den Wärmeaustausch zwischen unmittelbar benachbarten Molekülen auf. [10] Durch Annahme von Homoge-

nität und Isotropie des Materials lässt sich die Wärmeleitung durch einfache Rechenmodelle nachvollziehen [24].

Konvektion:

Tritt in Gasen und Flüssigkeiten auf. Hier erfolgt der Wärmeübergang zusätzlich zur Wärmeleitung über die Fortbewegung der Moleküle innerhalb des zur Verfügung stehenden Raumes, wobei diese ihren Energiegehalt mit sich führen. Aufgrund von Einflüssen der Hydrodynamik und äußerst komplexen Vorgängen, lassen sich Berechnungen nur vereinfacht, und approximiert durchführen. [10] „Findet ein Wärmeaustausch zwischen Gas und Flüssigkeiten und einer angrenzenden, festen Oberfläche statt, bezeichnet man dies als Wärmeübergang.“ [10] Durch Einführung von genormten Wärmeübergangswiderständen wird dieser Vorgang in der Berechnung des U- Wertes von Bauteilen berücksichtigt (Der Wärmeübergangswiderstand berücksichtigt auch Einflüsse der Wärmestrahlung).

Wärmestrahlung:

Jeder Körper emittiert in Abhängigkeit seiner Temperatur und Oberflächenbeschaffenheit elektromagnetische Strahlung, wobei die Temperatur die entscheidende

Einflussgröße darstellt [10]. Die Ausbreitung der Strahlung ist nicht an Materie gebunden, und findet deshalb auch im Vakuum statt.

Durch den Einsatz von Wärmedämmstoffen (Man spricht von Dämmstoffen, wenn die Wärmeleitfähigkeit λ eines Stoffes unter 0,1 W/(mK) liegt) [10] wird das Wärmedämmvermögen eines Bauteiles entscheidend verändert. Durch die Verlangsamung des Wärmetransportes kommt es zu keiner schnellen Überhitzung oder Abkühlung der Raumtemperatur. Eine genauere Beschreibung zum Thema Wärmedämmung im Bauteil Wand wird im Abschnitt 3.d.ii.6 getätigt.

5. Brandsicherheit

Brandschutz kann vor allem an Wände besondere Anforderungen stellen. Unter Brandschutz versteht man die Gesamtheit aller Maßnahmen, die der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch vorbeugen und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten ermöglichen. Durch Wahl der Materialien und des Aufbaues einer Wand kann die Widerstandsdauer gegen ein Durchbrennen, den Durchtritt von Rauchgasen oder das Ansteigen der Oberflächentemperatur auf der brandabgewandten Seite auf ein

kritisches Niveau unterbunden werden. Grundsätzlich müssen nach [12] Bauwerke (gilt in diesem Zusammenhang auch für Wände) so konstruiert werden, dass bei einem Brand die

- Tragfähigkeit des Bauwerkes während einer bestimmten Zeit erhalten bleibt,
- Entstehung und Ausbreitung von Feuer und Rauch innerhalb eines Gebäudes begrenzt wird,
- Ausbreitung von Feuer auf benachbarte Bauwerke vermieden wird,
- Bewohner das Gebäude unverletzt verlassen oder durch andere Maßnahmen gerettet werden können,
- Sicherheit der Rettungsmannschaft berücksichtigt ist, und wirksame Löscharbeiten möglich sind.

In den letzten Jahren wurde hinsichtlich der Normungsgrundlagen in Europa versucht, ein einheitliches Regelwerk zu bilden. In Österreich vollzieht sich der Übergang von österreichischer Normung auf Europäische Normung [11]. Da jedoch die Basis der ÖNORM eine andere ist als die der EN-Normen ist eine direkte Übertragung der Bestimmungen meist nicht möglich. Die Bezeichnungen für Brennbarkeitsklassen, Brandwiderstands-

klassen und anderen Eigenschaften sind grundsätzlich nicht vereinbar. Die Klassifikationsnorm für Bauteile ist die Europeanorm EN 13501-5, in der folgende Leistungskriterien an Bauteile zugrunde gelegt werden (Auszug):

- R Tragfähigkeit
- E Raumabschluss
- I Wärmedämmung
- W Strahlungsbegrenzung
- M Mechanische Einwirkungen
- C Selbstschließende Eigenschaft
- S Rauchdichtheit

Die Brennbarkeitsklassen A (nicht brennbar) und B (brennbar) werden durch die EURO Klassen A₁, A₂, B, C, D, E, und F ersetzt. Eine direkte Übertragung ist nur begrenzt möglich.

Im Bereich der Regelung für die Brandschutzbestimmungen für Fassaden ist es nun gelungen in der ÖNORM B3800 Teil 5 einheitliche Kriterien für die Ausführung und Prüfung des Brandschutzes von Holzfassaden zu finden. Die Regelung der Umsetzung von brandschutztechnischen Ausführungen von Holzfassaden ist in der ÖNORM B3806 in Arbeit. Gleiches gilt für die neue Norm ÖNORM B 3807, die Regelungen für nichttragende Außenwände und Vorhangfassaden angibt.

6. Schalldämmvermögen und Raumakustik

Schallschutz und Raumakustik beeinflussen, wie die zuvor beschriebene Eigenschaft des Wärmedämmvermögens, die Wahrnehmung eines Raumes, und können je nach Situation Gründe für Behaglichkeit oder Unbehaglichkeit sein.

„Als Schall bezeichnet man ganz allgemein mechanische Schwingungen eines elastischen Mediums im Hörbereich des menschlichen Ohres (16 Hz bis 20000 Hz)“ [10]. Durch die Bewegung von Teilchen entsteht eine Schallwelle, die sich durch die elastische Kopplung auf benachbarte Teilchen fortpflanzt. Je nach Medium in dem sich diese Schallwelle fortpflanzt spricht man von Luftschall bzw. von Körperschall. Durch Körperschall angeregter Luftschall wird im Bauwesen als Trittschall bezeichnet [10]. Hörbar wird Schall durch die Druckunterschiede der als Luftschall an das Ohr tretenden Schallwelle.

Durch die konstruktive Verbindung von Wänden und Decken untereinander entsteht in jedem Fall eine Übertragung von Körperschall. Um dies zu unterbinden besteht die Möglichkeit der Entkoppelung (Trennung) in kritischen Bereichen. Dies passiert z.B. durch die zwei-

schalige Ausführung einer Wand und das Verfüllen des entstehenden Hohlraumes mit einem Dämmstoff.

Die Bewertung des Schalldämmmaßes von Wänden erfolgt auf einfache, aber ausreichend genaue (etwa ± 2 dB) Weise, durch folgendes Messverfahren:

In einem Senderaum wird über einen Lautsprecher „rosa Rauschen“⁵ abgestrahlt. Mit Mikrofonen wird im Sende und Empfangsraum der Gesamtschallpegel, zusätzlich im Empfangsraum die äquivalente Schallabsorptionsfläche ermittelt. Mittels einfacher Gleichung kann durch Einsetzen der mittleren Schallpegel im Sende und Empfangsraum, der äquivalenten Schallabsorptionsfläche und der Fläche des zu überprüfenden Bauteils das Schalldämmmaß R'_w [dB] errechnet werden. [10]. Für das Schalldämmmaß von Außenwänden muss zusätzlich der Einfluss von Fenstern und Türen miteinbezogen werden. Das bewertete Schalldämmmaß von Fenstern und Türen sollte nicht mehr als 5 dB unter dem ermittelten Gesamtschalldämmmaß liegen. Die Anforderungen an den Schallschutz sind in der ÖNORM B 8115 Teil 2 festgelegt und hängen von der Gebäudart, dem Außenlärmpegel $L_{A,eq}$ und der Bauteilart ab. Zusätzliche Anforderungen werden in den jeweiligen Landesbauordnungen

gestellt. Neben der österreichischen Normung existiert bereits die Europeanorm EN 12354, die sich mit Schallschutz befasst:

- Luftschallschutz in Gebäuden (EN 12354-1)
- Trittschallschutz (EN 12354-2)
- Schutz gegen Außenlärm (EN 12354-3)
- Schallübertragung nach Außen (EN 12354-4)

Schalltechnische Probleme entstehen meist durch unsachgemäße Ausführung. Vorsicht ist v.a. im Bereich der Installationen und Gebäudetechnik geboten. Durch fließendes Wasser in Wasserleitungen und Kanalsträngen, Vibrieren von Lüftungsanlagen, Anfahren und halten von Aufzugsanlagen etc. entsteht durch Reibung und Vibrationen Körperschall, dessen Ursachenbehebung nur schwierig möglich ist. Im Bereich von Außenwänden ist eine schalltechnisch optimale Lösung oftmals problematisch zu sehen: Durch Anforderungen an den Wärmeschutz werden zur Wärmedämmung leichte, porige Materialien verwendet, wodurch die flächenbezogene Masse der Wand reduziert wird und das Schalldämmmaß entsprechend verringert wird. Durch den Einsatz von Wärmedämmverkleidungen an der Außenseite des Bauteils kann es

vorkommen, dass bei Verwendung von Wärmedämmverbundsystemen mit Hartschäumen und Kunststoffputz eine Verschlechterung der Schalldämmung um bis zu 5dB resultiert.

Eine ausführliche Beschreibung zum Themengebiet Schall und Akustik ist in den diesbezüglich im Quellenverzeichnis angeführten Werken zu finden. [9], [10]

7. Schutz vor höheren Gewalten und außergewöhnlichen Einflüssen.

Der Vollständigkeit halber, ist der Einsatz von Wänden zum Schutz vor höheren Gewalten und besonderen Einflüssen zu nennen. In den meisten Fällen sind solche Wände jedoch speziell zum Schutz eines bestimmten Ereignisses gebaut und auf die jeweiligen Einflüsse abgestimmt. Als Beispiel sind folgende Wandarten zu nennen:

- Hochwasserschutzwände als dichte, massive Konstruktion oder in Leichtbauweise (z.B. aus ausgeschäumten Aluminiumprofilplatten, die als Vorsatzschale vor Türen, Toren und Fenstern bei Bedarf installiert werden können)

- Schutzwände vor Schneeverwehungen (meist gitterartige Systeme)
- Schutzwände als Lawinenschutz (dienen zur Ablenkung, Verringerung der Aufprallwucht und der Geschwindigkeit von Lawinen aller Art)
- Lärmschutzwände (meist zum Schutz vor Verkehrslärm)
- Schutz vor Radioaktivität und sonst. Strahlung (z.B. speziell gefertigte Strahlenschutzbetonwände)
- Wände zum Schutz vor Angriffen mit Waffen und Sprengkörpern (diese Anforderung wird oft auch an Fassaden von Gebäuden gestellt)
- Wände mit Schutz vor chemischen Einflüssen. (z.B. speziell ausgeführte Oberflächen die besondere Säurebeständigkeit aufweisen)
- Feuerschutzwände (auch Brandwände genannt)

iv. Statische Eigenschaften

Die auf ein Bauwerk einwirkenden Lasten (Eigengewichte und Nutzlasten) müssen in den Boden abgeleitet werden. Im Hochbau bedient man sich in den meisten Fällen der Tragwirkung von Wänden. Je nach Anordnung kann es ein System aus

- Tragenden Längswänden
- Tragenden Querwänden
- Längs- und Quertragenden Wänden
- Tragenden Säulen (nicht tragenden Wänden) - Skelettbau

bestehen. [8]

Wände können zusätzlich zur Lastableitung auch die Gewährleistung der Aussteifung in horizontaler Richtung übernehmen. Aufgrund der unterschiedlichen Lasteinflüsse wie

- Vertikallasten aus Eigengewichten und Nutzlasten darüber liegender Geschosse oder Bauteile.
- Horizontallasten durch Winddruck oder Windsog, Anfahrstoß, Erdbebenbelastungen etc.

und einer Gleichzeitigkeit dieser Einflüsse müssen Wände den Beanspruchungen den nötigen Wider-

stand leisten können. Dies geschieht durch den Platten- Scheiben- Mechanismus:

Wird eine Wand vertikal zu Ihrer größten Fläche belastet spricht man von einer Plattenwirkung, nimmt die Wand die Lasten über eine Schmalseite auf (Parallel zur Fläche) wird dies als Scheibenwirkung bezeichnet. [Abb. 3.1 und 3.2]

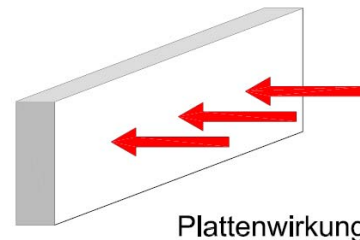


Abb. 3.2

Lastabtragung durch Plattenwirkung

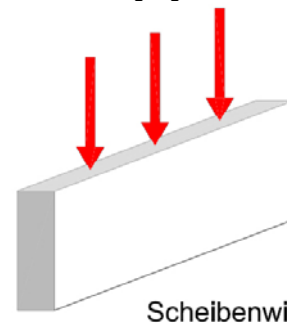


Abb. 3.3

Lastabtragung durch Scheibenwirkung

Aufgrund des höheren Widerstandes ist die Abtragung der Lasten durch Scheibentragwirkung wesentlich effektiver und zieht gerin-

gere Verformungen nach sich. Da die effektivste Weise des Wandaufbaues nicht immer ein Massivaufbau ist, kann die Tragwirkung auch durch andere Systeme übernommen werden. In der Skelettbauweise werden die Funktionen einzelnen meist Druckbeanspruchten stabförmigen Bauteilen zugewiesen. Durch die Lage im System können so gezielt horizontale und vertikale Lasten aufgenommen und das System ausgesteift werden.

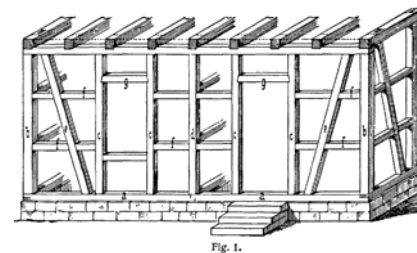


Abb. 3.4

Klassischer Fachwerksbau

Auf aussteifende Bauteile kann verzichtet werden, wenn eine Beplankung in Form einer ausreichend dimensionierten Platten oder Bretterlage vorgesehen ist. Diese Bauweise wird Tafelbauweise bezeichnet.

Zum Skelettbau sind ebenfalls die verschiedensten Rippenbauweisen zu zählen, die aus genormten Hölzern und engem Steherabstand bestehen. Für das meist im amerikanischen und skandinavischen

Raum verwendete Balloon- Frame-System [Abb. 3.4] werden Hölzer im Ausmaß von 2'' x 4'' (Zoll) also etwa 5cm x 10 cm im Abstand von etwa 60 cm verwendet. Die Steher werden dabei geschossübergreifend verwendet.

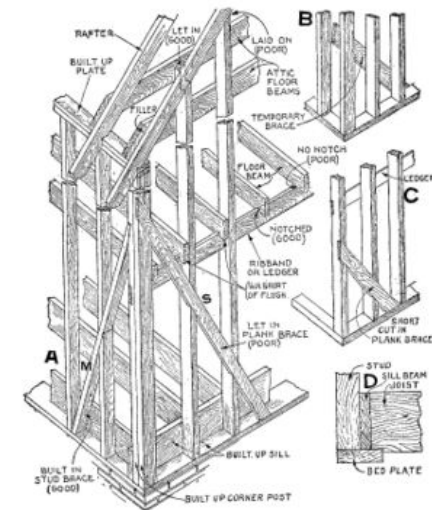


Abb. 3.5

Balloon Framing

Nähere Informationen zu den Möglichkeiten der Ausbildung der Tragenebene in Wandsystemen werden in Abschnitt 3.d.ii.5 erläutert.

v. Ökologie / Recycling

1. Allgemeines

Der Begriff Ökologie leitet sich aus den griechischen Worten *oikos* (Haus) und *logos* (Lehre) ab. Ökologie ist folglich als Wissenschaft vom Haus im Sinne vom „Haushalt der Natur“ zu sehen.

Unter Ökologie versteht man ursprünglich ein Teilgebiet der Biologie, welches sich mit den Wechselbeziehungen zwischen Organismen und ihrer natürlichen Umwelt beschäftigt.

[<http://de.wikipedia.org/wiki/Ökologie> am 20.02.2007]. Im heutigen Sprachgebrauch wird der Begriff Ökologie auch auf gesellschaftliche Verhältnisse, zur politischen Argumentation und als Begriff der Umweltfreundlichkeit verwendet.

2. Baustoffe

Auch im Zusammenhang mit Baustoffen ist es den Herstellern zusehends ein Anliegen, Bauprodukte und Baustoffe anbieten zu können, die nicht nur durch gute chemische, physikalische oder statische Eigenschaften, Handhabbarkeit oder ein ausgewogenes Preis-Leistungs-Verhältnis bestehen, sondern auch am Ende des Verwendungszeitraumes im eigentlichen Zweck nach einer Zuführung in einen

Wiederverwertungsprozess (Recycling) eingeführt werden können und mit möglichst hohem prozentuellen Materialanteil wieder verwendet werden können.

3. Verarbeitung

In direktem Zusammenhang mit der Wiederverwendbarkeit, also dem Potenzial der Reintegration in einem neuen Produkt oder die direkte Wiederverwendung, steht als Grundsatz und Vorbedingung eine Verarbeitung eines Baustoffes in einer Weise, die eine Trennung nach erfolgtem Einbau und nach Beendigung der Nutzungsdauer möglich macht. Als Gegenspieler zu einer Bauweise, die eine Trennung einfach und schnell erfolgen lässt, steht die Anforderung an stabile und langlebige Verbindungen, die oftmals Verbindungen erfordert, die nicht, oder nur mit so großem Aufwand lösbar sind, dass eine Wiederverwendung in ökonomischem Sinn nicht zielführend wäre. Als Grundsatz für ökologische Bausysteme ist folglich schon im Entwurfsstadium zu entscheiden, welche Verbindungsart (Schrauben, Nageln, Kleben, Klemmen, Schweißen, div. chemische Verbindungen, etc.) zu wählen ist, um später eine Trennung der Materialien sinnvoll durchführen zu können.

4. Wiederverwendbarkeit

In Abb. 3.6. ist der Lebenszyklus eines Baustoffes bzw. Bauproduktes inklusive der Möglichkeiten der Wiederverwendbarkeit schematisch dargestellt. Die ökologischste und wahrscheinlich auch ökonomischste Weise ein Bauprodukt wieder zu verwenden, ist die direkte Wiederverwendung, was bedeutet, dass ein Bauprodukt ohne weitere Aufbereitung an einem Ort ausgebaut, und an einem anderen wieder eingebaut werden kann. Die indirekte Wiederverwendbarkeit beschreibt eine Aufbereitung (Rekonfektionierung, Reinigung, Trennung, div. Behandlungen,...) eines Bauproduktes nach erfolgtem Ausbau und vor dem Wiedereinbau.

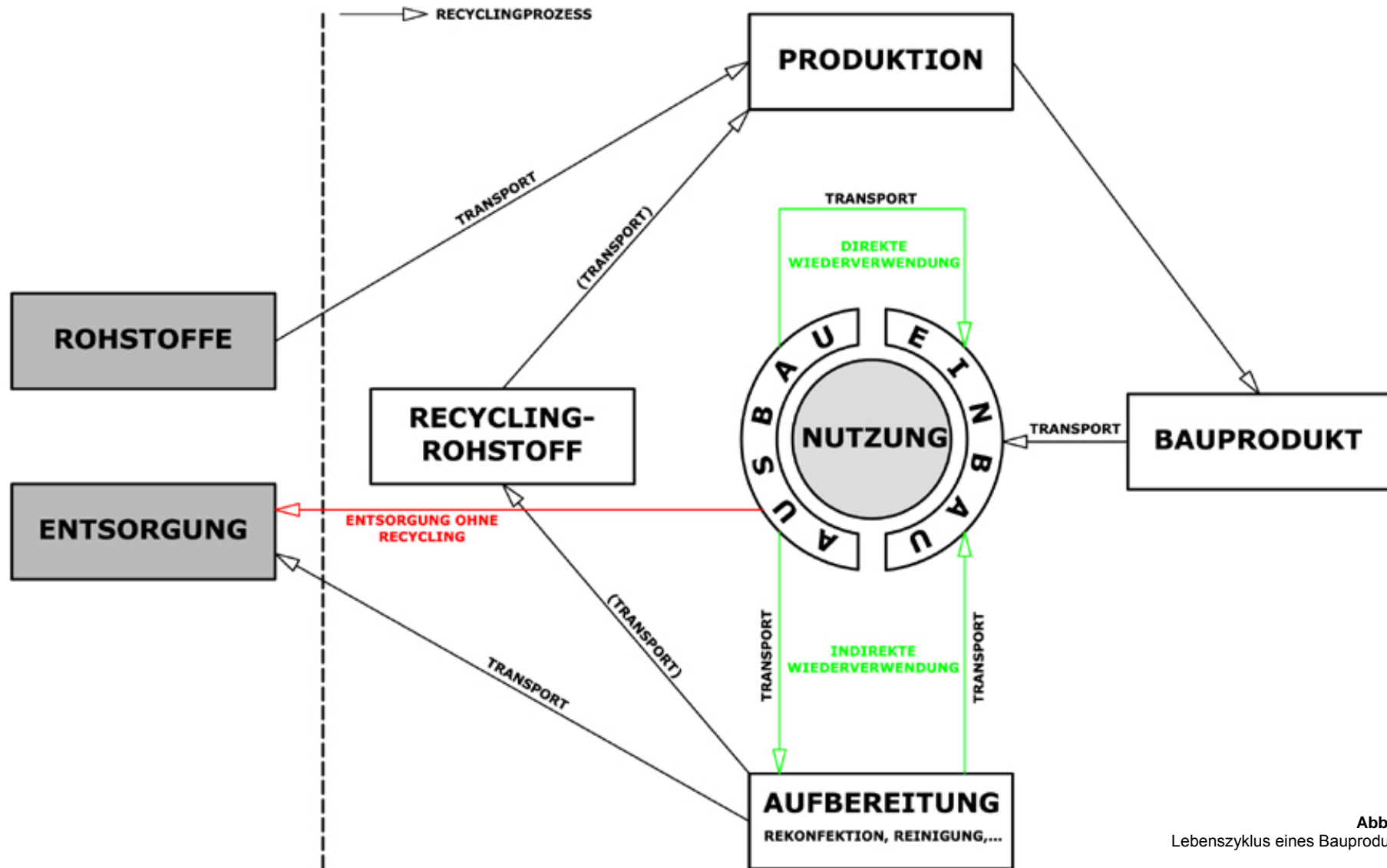


Abb. 3.6
Lebenszyklus eines Bauproduktes

vi. Öffnungen

1. Allgemeines

Fenster, Türen und Durchdringungen aller Art der Gebäudehülle, sind in jedem Fall als Eingriff in die Homogenität der Gebäudehülle, und in diesem Zusammenhang als potentielle Schwachstelle zu sehen. Die Einbindung eines Fensters, einer Tür oder das Durchdringen der Hülle mit Leitungen für das HKLS- System (Heizungs-, Lüftungs-, Klimatisierungs-, Sanitär-system) sowie mit statisch notwendigen Bauteilen erfordert in jedem Fall besondere Maßnahmen um den Einfluss auf Wärmedämmung, Luftdichtigkeit, Feuchtetransport, Winddichtigkeit und anderer bauphysikalischer Aspekte innerhalb der Gebäudehülle möglichst gering zu halten. Das Prinzip der Einführung von getrennten Funktionsschichten in Bauteilen lässt bei Schaffung einer Durchdringung schnell erkennen, welche Schicht durchdrungen wurde, und somit auf die möglichen Auswirkungen schließen. Wird beispielsweise die Wärmedämmschicht durchstoßen, ist eine Veränderung der Wärmedämmeigenschaften in diesem Bereich offensichtlich vorhanden. Besonders im Passivhausbau stellen Öffnungen in der Gebäudehülle immer besonders hohe Ansprüche

an die Ausführung der Konstruktionsdetails.

2. Fenster

Betrachtet man die Einflüsse eines Fensters auf die Gesamtperformance eines Bauwerkes, wird erkennbar, dass ein Fenster nicht nur als Lichtöffnung in einer opaken Wand zu sehen ist, sondern dass es als Steuerelement der Behaglichkeit, und Architektur, und des Wohnraumklimas dient. Ein Fenster besteht im Regelfall aus dem Rahmen und der Verglasung, wobei der Rahmen das Bindeglied zwischen dem Wandbildner und der Verglasung darstellt, meist mit mechanischen Funktionen zur Öffnung ausgestattet ist und deshalb im Regelfall die größte Störung mit sich bringt.

Mögliche Störungen:

- Verminderung der Gesamtwärmedämmung der Hülle - Schaffung von konstruktionsbedingten Wärmebrücken v.a. im Bereich des Bauteilanschlusses.
- Unkontrollierbare Lüftungswärmeverluste durch Fugenlüftung und Bedienerverhalten.
- Eingriff in das Tragsystem.
- Unbehaglichkeitsgefühl im Bereich großer Glasflächen durch die im Vergleich zu den opaken Bauteilen geringe O-

berflächentemperatur (Zuglufterscheinung).

- Einbringung solarer Gewinne in den Raum - Gefahr der sommerlichen Überhitzung bei unzureichender Planung der Öffnungen hinsichtlich Größe, Glasqualität, Verschattungssituation etc. .
- Glasoberflächen sind besonders schallhart und können bei großen Flächen zu unangenehm langen Nachhallzeiten in Räumen führen.

Bei der Planung ist also besonders darauf zu achten, dass durch die Schaffung von Öffnungen in der Gebäudehülle die Störeinflüsse auf ein geringes Maß reduziert werden, den Ansprüchen der Nutzer nach Belichtung, Belüftung, Bezug zur Umwelt, Blickbeziehungen, Benutzbarkeit, Zugang, Verbindung, Abschluss, Ausschluss von Unerwünschtem, Schutz, Kontrolle usw. trotzdem nachgekommen wird.

3. Türen

Bei Türen entstehen wie bei Fenstern ebenfalls Eingriffe in das Gefüge der Hülle und somit Unregelmäßigkeiten. Es gelten die gleichen Grundsätze wie bei Fenstern. Im Unterschied zu Fenstern werden Türen so konstruiert, dass der Rahmenteil im unteren Bereich nur maximal 3 cm aus dem Boden ragt,

die Möglichkeit der Abdichtung und konstruktiven Verbindung bildet, und trotzdem keine Barriere für die uneingeschränkte Benutzbarkeit entsteht (barrierefreies Bauen). Da Türen zur Erfüllung ihres Zweckes nicht unbedingt mit einer Verglasung ausgestattet sein müssen, können viele Störfaktoren verringert bzw. ausgeschlossen werden.

4. Durchdringungen

Kein Gebäude kommt ohne Durchdringung der Hülle aus. Leitungen für Strom, Kanalisation, Lüftung, Klimatisierung, Wasser usw. werden zu Versorgungs- bzw. Entsorgungszwecken zum oder vom Gebäude geführt. Die Industrie bietet für Durchdringungen aller Art vorgefertigte Manschetten bzw. andere Lösungen zur Abdichtung, die auch auf spezielle Ansprüche wie z.B. Brandsicherheit, Schallschutz, Wasserdichtheit, Winddichtigkeit, Dauerelastizität usw. ausgelegt sein können. Um die Anzahl der Durchführungen möglichst gering zu halten, wird vermehrt auf die Ausbildung einer Installationsebene gesetzt, die als bauteilunabhängige Vorsatzschale ausgeführt wird und somit freie Leitungsführung erlaubt. Eine andere Art der Durchdringung bilden jene Bereiche, die aufgrund statischer oder konstruktiver Anbindungen an das Gebäude entstehen. In diesen Bereich fallen

sowohl großflächige Anbindungen wie Fassadenkonstruktionen aber auch punktuelle Durchdringungen zur Befestigung von Vordächern, Geräten, Balkonen, Geländer, Stiegen etc. Um die Negativeinflüsse solcher Durchdringungen möglichst gering zu halten sind folgende Punkte abzuklären:

- Kann die Durchdringung sinnvoll durch eine unabhängige Konstruktion verhindert werden (Vorgestellte Balkonkonstruktionen statt Kragplatten)?
 - Ist die Konstruktion in dieser Form jene, die Störungen möglichst gering hält?
 - Sind andere Materialien verwendbar, durch die z.B. die Wärmeleitung eingeschränkt wird?
 - Ist eine Durchdringung wirklich notwendig, oder kann durch durchdringungsfreie Befestigungen wie Klemmen oder Kleben der gleiche Effekt erzielt werden?
 - Ist die Durchdringung so geplant oder ausgeführt, dass Folgeschäden aufgrund Konstruktionsfehler (Eindringen von Wasser oder Kondensat, Schädigung durch Witterungseinflüsse, Unverträglichkeit von Materialien untereinander usw. ausgeschlossen werden können?
- Ist es möglich großflächigen Durchdringungen durch punktuelle zu ersetzen?
 - Kann die Durchdringung nachträglich, ohne Einschränkung wieder verschlossen werden?

vii. Gebrauchstauglichkeit

1. Allgemeines

Gebrauchstauglichkeit ist ein vielseitig zu verstehender Begriff, der in Abhängigkeit des Zweckes, der Planungs-, Produktions-, Montage oder Demontagesituation jeweils unterschiedliche Kriterien umfasst. In der Statik wird die Gebrauchstauglichkeit als Grenzzustand gesehen, der es erlaubt das Bauteil unter der vorgesehenen Verwendung zu benutzen, d.h. dass ein Bauteil noch lange nicht den Grenzzustand der Tragfähigkeit erreicht haben muss, um nach den Kriterien der Gebrauchstauglichkeit, zu denen Durchbiegungen, Rissbildung, Verformungen usw. zählen, aber bereits zu Versagen. Die Gebrauchstauglichkeit wird also durch den Verwendungszweck bestimmt, zu dem auch Herstellungs- und Montageprozesse zählen. Bei der Planung ist abzuwägen welchem Zweck der Bauteil dem größten Abschnitt des Lebenszyklus dient, die Gebrauchstauglichkeit in allen anderen Phasen trotzdem ein bestimmtes Mindestmaß nicht unterschreitet. Ist es z.B. besonders wichtig ein Bauwerk schnell und temporär errichten zu können, (z.B. Messestände) wird der Nutzung eine geringere Bedeutung zugemessen und die Konstruktion

hinsichtlich Montageeffizienz konzipiert. Anders z.B. bei Wohnbauten: Hier kann es wesentlich wichtiger sein, die Gebrauchstauglichkeit für den Bewohner zu beachten und auf die in Abschnitt 3.b.vii.3. aufgelisteten Kriterien zu achten.

2. Tauglichkeit für den Hersteller / Verarbeiter / Monteur

Verständlicherweise sind die Bedingungen, die eine Konstruktion erfüllen muss um für jene Personengruppen die ein Bauteil bzw. Bauwerk herstellen, zur Gebrauchstauglichkeit zu führen, (Dienstleister) andere als jene für die Nutzergruppe. Folgende Kriterien führen zur Gebrauchstauglichkeit im Bereich der Dienstleister:

- Effiziente Gewinnung der Rohstoffe.
- Verfügbarkeit der Rohstoffe bzw. Bauelemente.
- Kurze Transportwege.
- Materialextensive Konstruktionen bzw. Nutzung von Recyclingmaterial.
- Abstimmung der Konstruktion hinsichtlich Größe, Gewicht, und Form auf die Einbau bzw. Transportsituation.
- Leichte Handhabbarkeit für den Monteur (Verbindung der Elemente bzw. Bauteile untereinander).

- Rentabilität.
- Wiederverwendbarkeit.
- Geringe Fehleranfälligkeit.
- Fehler bei Produktion bzw. mangelhafte Ausführung sind leicht erkennbar bzw. leicht zu korrigieren.

3. Tauglichkeit für den Benutzer

Folgende Kriterien führen zur Gebrauchstauglichkeit im Bereich der Nutzer:

- Nutzbarkeit im Sinne des vorgesehenen Gebrauches.
- Konstruktion erlaubt Flexibilität und Variabilität.
- Hygienische Ausgestaltung hinsichtlich Oberflächenbeschaffenheit und leichter Reinigbarkeit.
- Wartungsextensivität.
- Langlebigkeit und Robustheit.
- Erfüllung von Schutzzwecken.
- Erfüllung von optischen ästhetischen Ansprüchen.
- Einfache Korrektur bei Schäden.
- Positives Preis-, Leistungsverhältnis.

viii. Dauerhaftigkeit, Wartung und Instandsetzung

In verschiedensten Studien wurde die Lebensdauer der verschiedensten Wandkonstruktionen untersucht und die Instandsetzungszyklen dokumentiert. Da bei Umbauarbeiten, Entkernung, Zubauten etc. meist die tragenden Außenwände bzw. die Tragebene der Außenwände erhalten bleibt, muss die Dauerhaftigkeit dieser Ebene besonders groß sein. Der Lebenszyklus eines Bauwerks, in den auch die Außenwandbauteile integriert sind, besteht aus mehreren Phasen.

Lebenszyklus eines Gebäudes
Neubau (Projekt)
Leerstand bis Nutzungsbeginn
Nutzung
Modernisierung (Projekt)
Nutzung
Umbau, Erweiterung (Projekt)
Nutzung
Leerstand bis Abbruch
Abbruch und Beseitigung (Projekt)

Abb. 3.7 Lebenszyklus eines Bauwerks [38]

Die Gesamtlebensdauer setzt sich aus

- der wirtschaftlichen Nutzungsdauer und

- der technischen Lebensdauer⁶ der Bauteile

zusammen.

Tritt der Fall ein, dass eine dieser beiden Bedingungen nicht weiter erfüllt ist, so kann aufgrund der Wechselwirkung dieser Kriterien meist nur die Beendigung des Lebenszyklus des Bauwerkes folgen (Abbruch, Entsorgung, Recycling). Aus einer Studie, beauftragt durch das Englische National Audit Office [39], geht nach Untersuchung von fünf verschiedenen, traditionellen Bauweisen (Brick and Block, Thin Joint Blockwork, Timber Frame, Advanced Timber Frame (closed wall panels, floor cassettes), Hybrid Frame (closed wall panels, floor cassettes and bathroom pods), Volumetric House (light weight steel frame)), die etwa mit Ziegel-massivbauweise, Gasbeton-Leichtbauweise, Fachwerksbau, Tafelbauweise, Tafelbauweise mit Fertignasszellen und Stahlskelett - Leichtbauweise vergleichbar sind, hervor, dass für alle Tragsystem die gleiche technische Lebensdauer zu erwarten ist, welche im Bereich von 60 Jahren oder höher liegt. Innenbauteile und bewitterte Außenverkleidungen sind aufgrund der Nutzung und Witterungseinflüsse mit einer Lebensdauer zwischen sieben und 60 Jahren angeführt. Die technische Lebensdauer

wird durch folgende Faktoren bestimmt [38]:

- Eigenschaften der Baustoffe
- Fehler bei der Planung
- Mängel bei der Ausführung
- Verhalten der Nutzer
- Art und Umfang der Instandhaltung
- Umwelteinflüsse

Für die verschiedenen Außenwand-Bauelemente kann folgende technische Lebensdauer zur Kalkulation angesetzt werden:

Außenwände:

Material	Jahre
Beton, bewehrt, bewittert	60-80
Naturstein bewittert	60-250
Ziegel, Klinker bewittert	80-150
Beton, Betonstein, Ziegel, Kalksandstein, bekleidet	100-150
Leichtbeton, bekleidet	80-120
Verfugung Sichtmauerwerk	30-40
Stahl	60-100
Weichholz bewittert	40-50
Weichholz bekleidet, Harzholz bewittert	60-80
Hartholz bekleidet	80-100

Tab.: 3.1

Bekleidungen auf Unterkonstruktion:

Material	Jahre
Kupferblech	70-100
Aluminium	50-100
Glas	40-70
Naturstein-, Kunststeinplatten	60-100
Faserzementplatten, Bleiblech	40-60
Zinkblech, Stahlblech verzinkt	30-60
Kunststoff	30-50
Unterkonstruktion aus Edelstahl	80-120
Unterkonstruktion aus Stahl	30-60
Unterkonstruktion aus Holz	30-50

Tab.: 3.2

Außenputze:

Material	Jahre
Zementputz; Kalkzementputz	20-50
Kunststoffputz	25-35
WDVS	25-45

Tab.: 3.3

Fenster und Türen:

Material	Jahre
Hartholz, Aluminium	40-60
Weichholz	30-50
Stahl, verzinkt	40-50
Kunststoff	40-60

Tab.: 3.4

Die zu erwartende Lebensdauer kann laut BLP (Building LifePlans Ltd) Durability Assessment anhand einer Musterkurve (Abb. 3.7.) schematisiert („Badewannen-Kurve“) werden: Die Lebenserwartung folgt demnach der „bathtub - curve“ („Badewannen-Kurve“). Demnach besteht eine höhere Möglichkeit eines Fehlers im Bauteil in der Burn-in Phase (Fehler, die nach kurzer Zeit auftreten) als durch zufälliges Auftreten von Fehlern in der „Random“ - Phase. Die dritte Phase („Ageing“) beschreibt Fehlerhäufung durch Alterung.

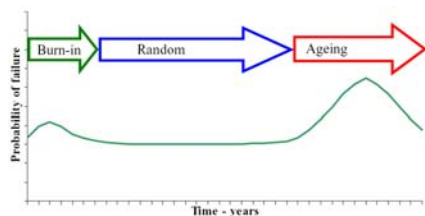


Abb. 3.8

Schematisierung des Lebenszyklus anhand der „Badewannenkurve“ [39]

Durch die Bewitterung der Wandkonstruktionen wird die äußerste Bauteilschicht von Wänden besonders durch eindringende Feuchtigkeit, Wind, Frost- und Tauwechsel beansprucht. Die innerste Schicht erfährt durch die Benutzung ebenfalls Abnutzung. Beide Oberflächen sind also in regelmäßigen Abständen zu sanieren. Für Wände gelten etwa folgende Sanierungszyklen

[Quelle - Internetrecherche am 25.04.2007, <http://www.eipos.de>]:

5-10 Jahre:

- Tapeten und Anstriche (innen).
- Außenanstriche an Fassade, Fenstern und Außentüren.

15-30 Jahre:

- Plattenbekleidungen außen.
- Abdichtung von Außenbauteilen mit Fugenmassen.
- Außenverglasungen.
- Die Bauteile der ersten Sanierungsphase zum 2. Mal.

30-50 Jahre:

- Fenster und Außentüren.
- Außenwandputz und Bekleidungen.
- Teile des Wandputzes innen.
- Die Bauteile der ersten Sanierungsphase zum 3. Mal und die Bauteile der zweiten Sanierungsphase zum 2. Mal.

Die Tragkonstruktion wird bei Einhaltung der Sanierungszyklen meist nicht in Mitleidenschaft gezogen und es kann von einer reinen Oberflächenanierung ausgegangen werden.

ix. Montage und Demontage

1. Grundsätze:

Unter Montage versteht man grundsätzlich den Zusammenbau von vorproduzierten Bauteilen. Hier wird zwischen Vormontage (bzw. Vorfertigung), was einen nicht am Ort der Bestimmung erfolgten Aufbau zu Fertigelementen oder Fertigmodulen meint, und der eigentlichen Montage am Bestimmungsort unterschieden. Für einen reibungslosen Montageablauf sind folgende grundlegenden Bedingungen erforderlich:

- Geschultes, fachkundiges Personal
- Eindeutige Zuordenbarkeit des Elements durch dessen Bauform oder spezielle Kennzeichnung durch Beschriftung oder Farbcodierung.
- Qualitätsanforderungen müssen für jedes Element erfüllt werden.
- Bei Vorfertigung muss die Frage des Transports zum Bestimmungsort geklärt sein.
- Die Elemente müssen je nach Typ (siehe Abschn. 3.c.i) in ihrer Bauform, Baugröße, Gewicht mit den vor Ort vorhandenen Mitteln an den Bestimmungsort gebracht werden können. So ist beispielsweise

nicht immer ein Kran oder ein ähnliches Hebezeug einsetzbar und die Montage muss händisch erfolgen, was für die Elementierung bedeutet, dass die optimal von Hand transportierbaren Größen eingehalten werden müssen.

- Montagefreundlichkeit. Die Elemente müssen in effizienter Weise verarbeitet bzw. aufgebaut werden können. Dabei ist besonders an den erforderlichen Einsatz von Werkzeugen zu denken.
- Geeignete Umweltbedingungen: Bei der Montage ist auf Temperatur, Luftfeuchte, Wind, Niederschlag, Licht- und Sichtverhältnisse, in besonderen Fällen Einwirkung von UV-Strahlung, Erschütterungen, usw. zu achten.
- Einhaltung der notwendigen Montagetoleranzen und Beschaffenheit von Bauteilen. Besonders bei Bauteilen, die zur Befestigung von Fertigelementen dienen, müssen gewisse Toleranzgrenzen eingehalten werden. Unebenheiten oder Schräglagen sind je nach System nur bedingt zulässig.
- Um die jeweiligen Problemfelder eines Systems analysieren zu können, ist eine Probemontage unter realen Bedingungen und Simulation be-

stimmter ungünstiger Randbedingungen wie abweichende Maßtoleranzen oder erschwerende Umweltbedingungen durchzuführen.

- Gute Kommunikation: Die Kommunikation zwischen allen in den Bauprozess integrierten Instanzen (Hersteller der Rohstoffe, Planer, Lieferanten, Monteure, Logistikpartner,...) muss funktionieren. Rückmeldungen nach Problemstellungen oder erfolgreichem Ablauf müssen an alle Beteiligten weitergegeben werden.
- Einschränkung der Fehleranfälligkeit: Fehler die bei der Montage entstehen, sollten leicht erkennbar und nachvollziehbar sein. Durch Maßgenauigkeit der Einzelbauteile ist es möglich eine fehlerhafte Verarbeitung auszuschließen (Ein Element passt nur dann zu dem anderen, wenn es korrekt angebracht wird). Geometrien, die einen falschen Einbau ausschließen vermeiden Montagefehler. Als einfaches Beispiel sind Steckverbindungen wie Nut und Feder und Schlitz und Zapfen zu nennen.

2. Transport:

Für den Transport von Bauteilen wird in erster Linie der Transport auf Straßen genutzt, da fast jeder Ort erreichbar ist, die Größen und Gewichte der Bauteile meist kein Problem für diese Art von Transport darstellen und da ein Transport meist zeitflexibel und unkompliziert abwickelbar ist. Trotzdem sind die Möglichkeiten des Transportes auf dem Wasserweg und der Schiene sowie der Lufttransport Möglichkeiten, die gegenüber dem LKW-Transport als Alternative verstanden werden können.

Um ein Bauteil transportieren zu können ist es notwendig über folgende Punkte Informationen bereitzustellen zu können:

- Gewicht inklusive notwendiger Verpackung und notwendiger Transportkonstruktion
- Lage des Schwerpunktes
- Maximale Höhe
- Maximale Länge
- Maximale Breite
- Angriffspunkte für Be- und Entladung (Ankerpunkte für Hebezeuge wie Kran, Winden oder Stapler)
- Spezielle Lagerungsart (z.B. nur horizontale Lagerung möglich, da Dämmstoffe oder Schüttungen in Bauteilen verrutschen könnten)

- Zufahrtsmöglichkeiten zum Bestimmungsort – Informationen über Gelände, Zufahrtsmöglichkeiten, Bahnanschluss

Nachfolgend sind für die gebräuchlichsten Transportarten die Grenzen angegeben, unter deren Umständen ein Transport ohne großen Kostenaufwand durchgeführt werden kann.

Straßentransport:

Laut Kraftfahrzeuggesetz 1967 (KFG 1967) darf:

- die größte Länge eines Fahrzeuges max. 12,00 m (Kraftwagenzug max. 18,75 m / Sattelzug max. 16,50 m)
- die größte Breite eines Fahrzeuges max. 2,55 m
- die größte Höhe eines Fahrzeuges max. 4,00 m
- das Gesamtgewicht eines Fahrzeuges mit 2 Achsen max. 18.000 kg (Fahrzeuge mit 3 Achsen: 26.000 kg / Fahrzeuge mit 4 Achsen: 32.000 kg / Anhänger: 24.000 kg / Kraftwagenzug / Sattelzug max. 40.000 kg) betragen.

Fahrten bei denen die oben angeführten Grenzwerte überschritten werden, dürfen nur mit Bewilligung des Landeshauptmannes durchge-

führt werden (§§ 39, 101 Abs. 5, 104 Abs.9 KFG 1967).

Eisenbahntransport:

Lt. Information des Bahnlogistikunternehmens der ÖBB – Rail Cargo Austria ist der Schienentransport vor allem hinsichtlich der Höhe und Breite eingeschränkt und kann nur jeweils anhand des Streckenprofils (Kurvenradien, Tunnel, Lastgrenzen...) für jeden Transportfall einzeln bestimmt werden. Als Grund ist das oben abgerundete Ladeprofil zu nennen, um eine sichere Fahrt gewährleisten zu können. Je nach Waggontyp liegen

- die größte Ladehöhe zwischen 3,04 m und 3,42m (auf eingeschränkter Breite)
- die größte Breite zwischen 2,60 m und 3,07 m (auf eingeschränkter Höhe)
- die größte Länge zwischen 18,5 und 21,0 m
- die maximalen Lasten zwischen 19 t und 66 t

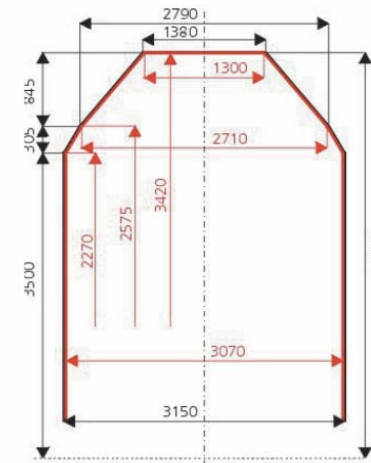


Abb. 3.9
Verladeprofil ÖBB (innerhalb Österreichs)

Schiffstransport:

Der Transport von Fracht auf Schiffen erfolgt meistens in Containern. Es ist auch üblich Teile des Straßentransportes mit LKW durch das Verladen der LKW auf Lastschiffe zu ersetzen. Für die maximalen Abmessungen und Gewichte sind beinahe keine Grenzen gesetzt. Es ist für den Bedarfsfall je nach Fahrtstrecke und Schiffstyp auf die durch die Brückenhöhen, Tiefgang, Schleusenbreiten usw. gegebenen Werte zu achten.

Ein genormter Überseecontainer weist folgende Maximalgrößen für dessen Beladung auf:

- Breite: 2,35 m

- Höhe 2,39 m
- Länge 5,89 m (Typ 20 ft) oder 12,32m (Typ 40 ft)
- Maximalgewicht inkl. Container 30 t (Eigengewicht des Containers je nach Typ und Größe ca. 2,2 t – 3,8 t)



Abb. 3.10
Seecontainer 20 ft

Für spezielle Transporte stehen auch sog. „open top container“ zur Verfügung, wodurch die Beladung mit höheren Elementen möglich ist.

3. Handhabung:

Fertigteile sollten speziell für deren vereinfachte, sichere Verarbeitung ausgelegt werden. Schon bei der Entwicklung ist auf die spätere Füge- bzw. Hebemethode zu achten und das Produkt dementsprechend intelligent anzupassen. An dieser Stelle besonders eng mit den ausführenden Kräften zusammengearbeitet werden. Mit Sicherheit ist die Montagefreund-

lichkeit eines Produktes auch ein wirtschaftlicher Faktor, der durch oft nur geringen Entwicklungsaufwand geschaffen werden kann. Beispielsweise kann durch Stapelbarkeit eine Senkung von Transport und Lagerkosten erreicht werden. Für das zur Montage verwendete Hebemittel müssen dementsprechende Vorkehrungen getroffen werden, die ein sicheres (für Mensch, Maschine und Bauteil) Versetzen erlauben. Folgende Punkte sind bei der Produktentwicklung besonders zu beachten.

- Angriffs- bzw. Anschlagpunkte für Verladung, Transportsicherung und Montage in Form von Griffmulden, Laschen, Ankern, Ösen, Rillungen o.ä.
- Geeignete Elementgrößen, Gewichte und Formen.
- Montageöffnungen bzw. Vorkehrungen zur einfachen Verbindung
- Wartungsmöglichkeiten, Revisionsöffnungen
- Einhaltung von Toleranzen (siehe Pkt. 3.b.ix.1)

4. Zeitliche Faktoren:

Bis zum Aufbau (Montage) eines Bauteiles am Bestimmungsort und dessen bestimmungsgemäßer Verwendung sind viele zeitliche Faktoren zu berücksichtigen:

- Rohstoffgewinnung und eventuell erforderliche Transporte sowie mögliche Aufbereitung der Rohstoffe
- Produktionszeit (inkl. bedingter Trocknungszeiten z.B. bei Betonfertigteilen)
- Ev. Entwicklungs- bzw. Planungszeiten
- Transportzeiten zu den Händlern, Zwischenhändlern bzw. direkt zum Bestimmungsort.
- Lagerzeiten
- Montagedauer bzw. Dauer der Vorbereitungsarbeiten für die Montage.
- Wetterbedingte Wartezeiten.
- Trocknungs- bzw. Aushärtezeiten.

5. Fügetechnik:

Unter Fügetechnik ist in diesem Zusammenhang ein kraftschlüssiges Verbinden einzelner Bauteile oder Bauteilgruppen gemeint, die den Einwirkungen von Beanspruchungen im Gebrauchszustand Widerstand leisten kann. Dies kann erfolgen durch:

- Nageln, Schrauben
- Schweißen
- Löten
- Nieten
- Kleben
- Klemmen
- Steckverbindungen

- Vergießen mit Kunstharzen, Beton, Mörtel oder Aluminiumschaum
- Befestigungshilfen wie Winkel, Schienen, Konsolen, Anker etc. in Verbindung mit anderer Fügetechnik
- Ausschäumen
- Haftverbindungen wie Kletttechnik
- Bünde oder Schnürungen (mittels Draht oder Seilen)
- Magnetverbindungen

An die Verbindungen können bei Bedarf zusätzliche Anforderungen gestellt werden. z. B.:

- Elastizität - Dehnbarkeit
- Witterungsbeständigkeit
- Korrosionsbeständigkeit
- Lösbarkeit
- Justierbarkeit
- Gleitfähigkeit – Aufnahme von Dehnungen, Drehungen
- Sollbruch bei Überbelastung
- Austauschbarkeit
- Wiederverwendbarkeit

6. Demontage:

Demontage ist Anhand des in Pkt. 3.b.v.4 gezeigten Diagramms ein zentraler Punkt im Lebenszyklus eines Bauproduktes. Je leichter ein Bauteil in dessen einzeln wiederverwertbare (recyclebare) Bestandteile zerlegt werden kann, desto

besser ist dies für den Ressourcenhaushalt.

Schon bei der Entwicklung, der Wahl der geeigneten Fügetechnik und der zu verbindenden Materialien wird entschieden, ob bei der Demontage nicht – oder nur unwirtschaftlich recyclebarer Sondermüll oder ein leicht und sauber trennbarer – infolge wiederverwertbarer - Baustoff entsteht. Eine Demontage wird aus ökonomischer Sicht nur dann erfolgen können, wenn die Gewinne bzw. Kostenersparnis durch Wiederverwendbarkeit den Abbruch und die Recyclingkosten mindesten aufwiegen.

Da zu den Demontageskosten natürlich zu großen Teilen der zeitliche Aufwand für Maschinen und Arbeitskräfte zählt ist bei der Planung auf, in späterer Folge, trotz Beanspruchung durch Witterung und Abnutzung, eine geringe Anzahl, leicht lösbarer Verbindungen zu achten. Je höher der Anteil an Bauteilen respektive Baustoffen, die nach der Demontage direkt, ohne Aufbereitung zur Folgeverwendung, geführt werden können ist, desto eher kann die Demontage zur wirtschaftlich- ökonomischen Variante zum Abbruch und zur Entsorgung gesehen werden. Deshalb ist beim Einbau darauf zu achten, dass die verwendeten Baustoffe vor schädlichen alterungsfördernden – und lebenszeit-

verkürzenden Einflüssen geschützt werden. (z.B. Verhinderung von Eindringen von Schädlingen, UV-Strahlung, Feuchtigkeit, etc.).

Es ist bei der Demontage zu hinterfragen, ob die Baustoffe aufgrund der vorangegangenen Einsatzzeit, die Lebensdauer und Materialeigenschaften in geeigneter Weise für den Folgeeinsatz aufweisen.

Vorgreifend auf die Ergebnisse der Untersuchungen zur Lebensdauer von Vakuumisulationspanellen in Wandsystemen ist anzumerken, dass diese nach dem durchschnittlichen Lebenszyklus eines Wandbauteils von 60 Jahren nur unter besonderen Umständen wieder verwendet werden können, da die Dämmleistung in diesem Zeitraum stark abnimmt bzw. eine vollständige Belüftung eintritt.

c. Wandsysteme im Überblick

i. Systemtypen

1. Allgemeines:

Die folgende Katalogisierung der Bausysteme betrifft immer den Zustand bei Einbau am Bestimmungsort. Es ist davon auszugehen, dass das System höherer Art aus mehreren Teilen des Systems in der nächst niedrigeren Art besteht. So entsteht durch Zusammenfügen von Rohstoffen (fertigteilfrei) ein Einzelbauteil, danach ein Fertigelement und daraus ein Fertigmodul. Der Bezeichnungsteil „fertig“ steht in diesem Zusammenhang für den jeweils gewünschten Verarbeitungszustand. Im Fertighausbau ist es üblich aus den Stufen bezugsfertig, belagsfertig, bzw. aus verschiedensten Ausbaustufen zu wählen.

2. Fertigteilfreie Bauweisen:

Genau genommen kommt es im Bauwesen kaum vor, dass Bauteile verbaut werden die nicht zuvor in einer Weise vorverarbeitet bzw. bearbeitet wurden.



Abb. 3.11
Stamflehmwand der Kapelle der Versöhnung / Berlin (D)

Im Ortbetonbau sind beispielsweise Zement und selbst die Zuschlagstoffe genau auf die spätere Verwendung abgestimmt. Man könnte den abgepackten Zement und die nach Sieblinien gemischten Korngrößen des Zuschlagsstoffes für Beton ebenfalls als Fertigteile bezeichnen, die in einem Montageprozess zusammen mit dem Anmachwasser und den Zusatzstoffen vermischt werden. Als Beispiel für eine fertigteilfreie Bauweise ist der Lehm aus der Grube direkt für

Stamflehmwände verwendet wird. Dem Lehmbau wird aufgrund steigender Popularität und der guten bauklimatischen Eigenschaften wieder steigendes Interesse gewidmet.

3. Einzelbauteile

Die klassischen Einzelbauteile sind der Stein, der Ziegel und das Holzbrett oder das Kantholz. Merkmale eines Einzelbauteiles im klassischen Sinn ist die Möglichkeit diese händisch ohne Hilfe schwerer Hebetchnik, flexibel einzusetzen. Bei der Verwendung von seriengefertigten Einzelbauteilen wie dem Ziegel ist bei der Produktion auf die universelle Einsetzbarkeit und die Austauschbarkeit im System zu achten.

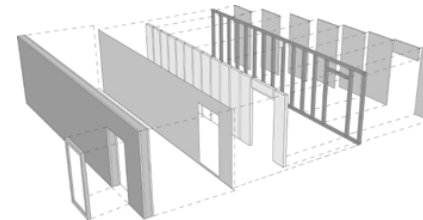


Abb. 3.12
Einzelbauteile werden zu einem Element zusammengefügt

4. Fertigelemente

Fertigelemente bestehen aus mehreren Einzelbauteilen und können als Gesamteinheit transportiert und versetzt werden. Der Vorteil dieser Baumethode liegt vor allem in der Qualität des Aufbaus, da dieser meist unter optimierten Bedingungen, von besonders geschultem Personal abläuft. Durch Verwendung von Fertigelementen entstehen kürzere Montagezeiten auf der Baustelle. Die Fehlerhäufung durch ortsbedingte Umstände wie Witterung wird vermieden.

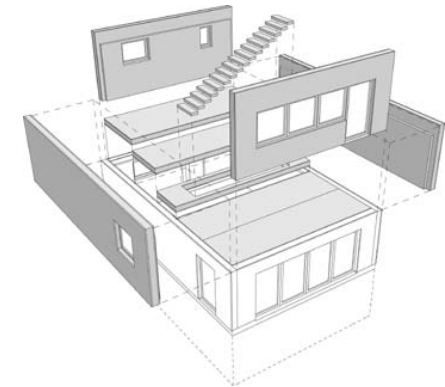


Abb. 3.13
Elementweise wird ein Geschoss errichtet

5. Fertigmodule

Das Modulsystem ist der Höhepunkt der Fertigteilproduktion und stellt das komplexeste Einzelteil eines Bauwerkes dar. Selbst Raumstationen werden aus Modulen errichtet. Im Bauwesen werden Module oft im Bereich von Nasszellen eingesetzt, die oberflächenfertig, inklusive kompletter Sanitär- und Elektroinstallation auf die Baustelle geliefert werden und nur noch an die vorbereiteten Verbindungspunkte angekoppelt werden.

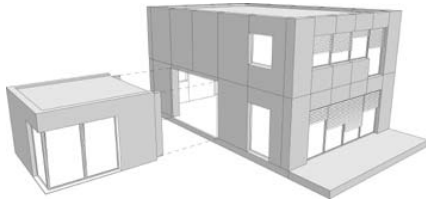


Abb. 3.14

Ein Gebäudeteil wird als Fertigmodul angebaut.

ii. Massivbau

1. Allgemeines

Von Massivbau im Bereich der tragfähigen Wandsysteme kann gesprochen werden, wenn zur Herstellung der tragfähigen Ebene oder Funktionsschicht keine Fremdmaterialien zur Ausfachung verwendet werden, die selbst keine Tragfunktion übernehmen können. Durch die Vielzahl an Baustoffen, die meist aufgrund wärmedämmender Eigenschaften mit anderen Materialien in einer Ebene zusammengeführt werden ist eine eindeutige Zuordnung mit dieser Definition trotzdem möglich, da auf diese Weise auch inhomogene Baustoffe dem Massivbau zugeordnet werden können, solange durch die Art der Materialverteilung keine Unterbrechung der Tragfunktion stattfindet. Auf den folgenden Seiten werden die wichtigsten Massivbau-Wandsysteme genannt. Aufgrund der großen Vielzahl an unterschiedlichen Systemen kann keinesfalls Wert auf Vollständigkeit gelegt werden.

2. Natursteinbau

Würde man das System nicht Natursteinbau benennen, sondern den üblichen Begriff Steinbau verwenden,

so würde dies auch Bauweisen mit künstlich hergestellten „Steinen“ wie Ziegel, oder Werksteinen einschließen. Genau genommen könnte man den Natursteinbau in einer weiteren Unterteilung hinsichtlich der Verwendung von reinen „Schichtsystemen“ oder der Bindung mittels Mörtel, Beton, Lehm oder Erde sowie nach dem Aspekt des Bearbeitungsgrades einteilen.

Bruchsteinmauerwerk:

Besteht aus unbearbeiteten, kantigen Natursteinen und wird aufgrund des hohen Gewichtes meist zur Hangsicherung als Stützmauer im Bereich der Gartengestaltung und des Wegebaus eingesetzt. Die einzelnen Steine werden so aufeinander geschichtet, dass jeder Stein stabil zu liegen kommt. Entstehende Spalten müssen mit kleineren Steinen ausgelegt werden. Die Mauer sollte an der Sohle breiter ausgeführt werden als an der Oberkante. Bei der Verwendung als Hangsicherung ist eine leichte Böschung in Hangrichtung einzuhalten.



Abb. 3.15

Bruchsteinmauerwerk (Trockenmauerwerk)

Je höher der Anteil an bearbeiteten Natursteinen und je geringer die Größenunterschiede der einzelnen Steine wird, desto regelmäßiger und tragfähiger wird ein Natursteinmauerwerk. Durch einführen von horizontalen Lagerfugen und das Vermörteln der einzelnen Steine wird eine wesentliche Verbesserung der statischen Eigenschaften bewirkt.



Abb. 3.16

regelmäßiges Schichtenmauerwerk

Diese Arten von Natursteinmauerwerk werden als Schichtenmauerwerk oder bei besonders hohem Gleichheitsgrad der Steine als Quadermauerwerk bezeichnet.



Abb. 3.17

Quadermauerwerk mit Bossierung

Findlingsmauerwerk:

Wird wie das Bruchsteinmauerwerk verarbeitet, besteht jedoch aus meist rund geschliffenen Natursteinen, die durch die oft nur geringen Lagerflächen einen schlechten Verband und somit nur geringe Festigkeit gegen horizontalen Schub aufweisen.

Mischmauerwerk:

Kann aus Natursteinen, Ziegel, Beton oder anderen tragfähigen Füllmaterialien hergestellt werden und dient zur Reduktion des teuren Natursteinanteils oder zur Verbesserung von bauphysikalischen Eigenschaften, sowie zur einfache-

ren Herstellung einer gleichmäßigen Mauerdicke.

3. Betonbau

Beton besteht aus dem Bindemittel Zement, Zuschlagstoffen (meist in Form von grob- und feinkörnigem Gestein), dem Anmachwasser. Bei Bedarf werden Zusatzmittel und Zusatzstoffe beigemischt.

Anhand der Rohdichte des Festbetons spricht man von

- Leichtbeton (0,8 - 2,0 kg/dm³)
- Normalbeton (2,0 - 2,6 kg/dm³)
- Schwerbeton (> 2,6 kg/dm³)

[34]

Weitere Begriffsunterscheidungen können unter anderem hinsichtlich des Herstellungsorts (Baustellenbeton, Lieferbeton), der Einbringungsart (Ortbeton, Fertigbetonteile), nach der Art des Förderns und des Einbringens (z.B. Spritzbeton, Pumpbeton,...), nach der Oberflächenbeschaffenheit des Festbetons (Sichtbeton, Waschbeton,...) und der Betongüte (Festigkeit) getroffen werden [34]

Da die Zugfestigkeit des Betons nur ca. 4-10% der Druckfestigkeit beträgt, wird zur Aufnahme der Zugspannungen in Betonbauteilen meist Stahl, in manchen Fällen Glasfasern, Polypropylenfasern,

Aramid- oder Kohlenstofffasern verwendet.

Leichtbeton:

Wird durch Ersetzen des herkömmlichen Zuschlagstoffes (Gestein) durch andere Materialien mit geringerem Wärmeleitvermögen und geringerer Massendichte hergestellt. Nachfolgende sind einige übliche Zuschlagstoffe mit zugehörigen Rohdichten für den Leichtbeton aufgelistet.

- | | |
|----------------|-----------------------------|
| ▪ Ziegelsplitt | 1,0-1,8 kg/dm ³ |
| ▪ Blähton | 0,6-1,4 kg/dm ³ |
| ▪ Holzspäne | 0,45-1,0 kg/dm ³ |
| ▪ Hüttenbims | 1,4-1,8 kg/dm ³ |
| ▪ Polystyrol | 0,6-1,2 kg/dm ³ |

Stahlbeton:

Beim Verbundwerkstoff Stahlbeton interagieren die beiden Komponenten Bewehrungsstahl und Beton in einer Weise, dass die durch Belastung im Bauteil entstehenden Druckkräfte vom Beton, die Zugkräfte vom Stahl aufgenommen werden. Die Betonüberdeckung (jener unbewehrte Bereich, der zwischen Bauteiloberfläche und Stahl liegt) kann bei entsprechender Betonqualität und Dimensionierung Aufgaben des Brandschutzes und Korrosionsschutzes übernehmen. Durch Vorspannen (Beaufschlagung mit Zugkraft) von spe-

ziellen hochfesten Bewehrungsstähen und gleichzeitigem einbetonieren, können bei gleichem Materialaufwand höhere Lasten aufgenommen werden. Diese sog. Spannbetontechnik wird vor allem für horizontal gespannte Elemente wie Träger oder Deckenbauteile verwendet.

Schwerbeton:

Wird hauptsächlich im Strahlenschutz-, Reaktor und Schutzraumbau verwendet. Zuschlagstoffe wie Schwespat, Magnetit, Ilmenit, Serpentin oder Stahlschrott, Stahlspäne und Schwermetallschlacke verwendet werden.

Mantelbeton:

Da Beton in jedem Fall an eine Schalung angewiesen ist, wurden besonders für den Mauerwerksbau sog. Mantelsteine (gem. ÖNORM B3208) aus Beton, Leichtbeton oder Holzwerkstoffen entwickelt, die gleichzeitig den Putzträger, die Schalung oder sogar fertige Oberfläche für das Mauerwerk bilden. Zur Herstellung einer Mantelbetonwand werden die Mantelsteine im Verband ohne Mörtel aufeinander geschichtet und in vertikalen Abschnitten <100cm mit Beton ausgegossen und bei Bedarf zusätzlich mit Bewehrungsstahl armiert. Wandecken, Stürze, Öffnun-

gen und Anschlüsse an die Decke werden mit Formsteinen errichtet.



Abb. 3.18

Mantelstein der Fa. Durisol aus Holzbeton

4. Gasbetonbau

Wird auch als Porenbeton (gem. ÖNORM B3209 und EN 771-4) bezeichnet. Aufgrund des aufwendigen Herstellungsverfahrens kann diese Art von Baustoff nur in Werken hergestellt werden. Zur Herstellung wird Zement und/oder Kalk sowie feingemahlener Quarzsand, ein Treibmittel (meist Aluminium) mit Wasser zu einem Mörtel verrührt. Durch die Reaktion des Treibmittels mit dem Calciumhydroxyd wird der Mörtel aufgebläht und durch die anschließende Druckerhärtung in Autoklaven⁷ bei einem Druck von ca. 10 bar und einer Temperatur von ca. 175 °C frühverfestigt. [33] Nach der Aushärtung wird das Material zuge-

schnitten und geätzt und erhält so seine Endform. Porenbeton wird in Form von Blöcken für tragende und nicht tragende Wände, für Decken- und Dachelemente verwendet. Das Material ist isotrop und zeichnet sich durch gute Wärmedämmeigenschaften ($\lambda=0,23-0,40 \text{ W/mK}$) und durch die einfache Ver- und Bearbeitbarkeit aus.



Abb. 3.19
Porenbetonstein der Fa. Ytong

5. Ziegelbau

Der Ziegelbau deckt heute einen großen Anteil der Wandsysteme im Profanbau ab. Die ersten gebrannten Tonsteine wurden bereits im 4. Jtd. v. Chr. Im Zweistromland verwendet, da durch die landschaftlichen Gegebenheiten dem Steinbau keine Bedeutung zugemessen wurde.

Ziegelsteine werden aus sandhaltigen Tonen, tonhaltigen Rohmassen oder Lehen mit geringen Verunreinigungen, eventuell durch Zugabe von Magerungsmitteln oder

porenbildenden Stoffen hergestellt. In einer Strangpresse oder durch Stempelpressen (für Falzziegel usw.) wird der Stein geformt und anschließend getrocknet. Danach wird der Rohling bei etwa 900-1100°C in Tunnelöfen gebrannt (Sinterung – Bildung keramischer Bindungen). Folgende Ziegelprodukte werden im Mauerwerksbau eingesetzt bzw. haben aufgrund deren häufigen Einsatzes in der Vergangenheit noch heute Bedeutung:

- Vollziegel – Mauerziegel (Altformat)
- Mauerziegel – Normalformat
- Vollziegel gelocht
- Hochlochziegel
- Versch. Klinkerprodukte

Mauerziegel Altformat:

Mauerziegel aus Vollmaterial mit altösterreichischem Format weisen die Abmessungen $b \times t \times h$ von 14 x 29 x 6,5 cm auf. Noch heute werden Ziegel in diesem Format produziert, um Ergänzungen an Altbauten vornehmen zu können.



Abb. 3.20
Mauerziegel der Fa. Wienerberger

Mauerziegel Normalformat:

Mauerziegel waren nach ÖNORM B 3200 genormt. Diese Norm gilt in der dzt. gültigen Fassung als Ergänzung zur neuen EN-Norm EN 771-1 sowie einiger Prüfnormen. Das Normalformat weist die Abmessungen $b \times t \times h$ von 12 x 25 x 6,5 cm auf. Durch diese Abmessungen und die sog. Verbandsregeln, nachdem die Stossfugen (vertikale Fugen) 1,0cm und die Lagerfugen 1,2cm aufweisen müssen, ergeben sich die genormten Mauerdicken von 12, 25, 38 und 50 cm. Zusätzlich sind Dicken von 17, 18, 30, 40 und 45 cm zulässig. Mauerziegel werden zur Anwendung der Verbandsregeln mit dem Hammer in $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ und Riemchen (längshalbierter Stein) geteilt. Die Vermauerung erfolgt mit Mörtel. Die Ziegel sind auch mit einer vertikalen Lochung (früher Elflochziegel genannt) erhältlich.

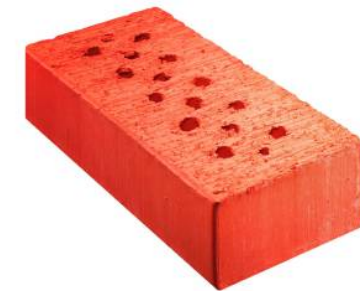


Abb. 3.21
Mauerziegel gelocht der Fa. Wienerberger

Hochlochziegel:

Fälschlicherweise werden die Hochlochziegel meist als Hohlblockziegel bezeichnet. Hohlblocksteine sind jedoch großformatige Mauersteine aus Beton mit meist fünfseitig geschlossenen, zur Lagerfläche offenen Kammern. Hochlochziegel werden aufgrund der einfachen, flächigen Verarbeitbarkeit, der Vielzahl an Variationen, die den unterschiedlichsten Anforderungen an Tragfähigkeit, Wärmeschutz, Brandschutz und Schallschutz entsprechend angepasst produziert werden, und nicht zuletzt aufgrund des „guten Rufs“ des Baustoffes hinsichtlich Behaglichkeit und Schutzwirkung als Mauerwerksbaustoff gewählt.



Abb. 3.22
Hochlochziegel der Fa. Wienerberger

Die guten wärmedämmenden Eigenschaften entstehen einerseits durch die ruhenden Luftschichten, die sich in den Kammern ausbilden, andererseits durch die Verlängerung des Weges des Wärme-flusses durch Wärmeleitung in den Ziegelstegen. Moderne Systeme kommen bei der Vermauerung ohne herkömmliche Mörtelfugen aus, die Wärmebrücken darstellen.

Klinker:

Klinker sind Ziegelprodukte mit ausreichendem Kaolingehalt, die durch einen weiteren Brennvor-gang bei einer Temperatur bis zu 1400°C vergütet werden. Dabei verschließen sich die Poren und es entsteht ein besonders druckfester, frostsicherer, säure- und laugenbe-ständiger Hartbackstein. Klinker werden in Form von Vollziegel, gelochten Vollziegel und als Sicht-

ziegel (Verblendplatten) für die Fassadengestaltung, Pflasterung hergestellt.

6. Lehm-bau

Lehm ist ein im Boden natürlich vorkommender Baustoff bestehend aus Sand und Ton, wobei Ton ein Verwitterungsprodukt von festem Gestein ist. Aufgrund der natürlichen Vermischung ist die Mischung oft zu mager (zu hoher Sand- oder Gesteinsanteil und geringe Feuch-tigkeit) oder zu plastisch (hoher Wassergehalt, wenig Sand und Gestein). Dieses Verhältnis kann durch Ausschlämmen von der magernden Substanzen oder durch Abmagern mit Sand verändert werden. Durch Beigabe von Kork, Blähton, Zement können Lehme mit unterschiedlichster Qualität, Dichte, Wärmedämmvermögen, Tragfähigkeit, usw. hergestellt werden. Lehm besitzt ein ausgezeich-netes Feuchte- Regulationspotenti-al und ist ab Konstruktionsstärken von 25cm als Brandschutzwand REI 90 einsetzbar. Aufgrund des vergleichsweise geringen Widerstandes gegen, die durch Regen oder hohe Feuchtigkeit im Sockel-bereich entstehende Durchfeuch-tung des Materiales sind besonde-re Baumassnahmen und Konstruk-tionsprinzipe wie ein Abheben des Bauwerkes vom Gelände oder die Ausbildung von Tropfkanten, die

Regenwasser von den Fassaden abhalten anzuwenden. Für den Mauerwerksbau aus Lehm sind folgende Bauweisen üblich:

- Stampflehm-bau
- Lehmziegelbau
- Mischbauweisen

Stampflehm-bau:

Bei dieser Bauweise wird Lehm in eine Schalung gefüllt, und lagenweise verdichtet. Zur Stabilisierung werden bei manchen Bauweisen horizontale Steinlagen in regelmä-ßigen Abständen eingearbeitet, die auch als Wasserabtropfkante verwendet werden können. Abb. 3.11 zeigt eine Stampflehmwand in moder-ner Bauweise.

Lehmziegelbau:

Lehmziegel (Lehmsteine) werden händisch oder maschinell herge-stellt und getrocknet. Sie können Zusätze aus Stroh oder anderen Fasermaterialien wie Jute enthal-ten. Die Vermauerung erfolgt mit Lehm. Um die Steine vor Schlagreg- gen zu schützen werden die Fas-saden meist mit einem Lehmputz überzogen, der bei Bedarf auch ausgebessert und ausgetauscht werden kann. Ebenfalls eingesetzt werden Lehmsteine in den nachfol-gend beschriebenen Mischbauwei-sen.



Abb. 3.23
Lehmsteine

Mischbauweisen:

Übliche Mischbauweisen sind der Holz- Lehm-bau und der Stahlbet-tonskelettbau mit Lehm- Ausfa-chung. Meist werden aus stati-schen Gründen Skelette aus Holz (Fachwerksbau) oder Stahlbeton errichtet und die Zwischenräume mit Lehmziegel ausgemauert und verputzt. Zum Innenausbau werden auch Lehm-bauplatten oder Lehm-putzsysteme, auf Wunsch auch mit integrierter Wandheizung angebo-ten.

7. Holzmassivbau

Auch zum Massivbau zu zählen sind die verschiedensten Bauweisen aus Massivholz, welche entweder aus Stammholz, verleimten oder keilgezinkten Vollhölzern oder aus kreuzlagig verleimten Pfosten oder Brettern bestehen. Durch die verschiedenen Anforderungen an Wärmeschutz und der Notwendigkeit der Installationsführung werden meist zusätzliche Dämmebenen benötigt. Grundsätzlich könnten aber alle nachfolgenden Bauweisen, bei ausreichender Dimensionierung und Abdichtung gegen zu hohe Lüftungswärmeverluste als einschalige Wandsysteme verwendet werden:

- Kanadische Holzblockbauweise
- Klassische Blockbauweise
- Kreuzlagenholz
- Brettstapelsysteme

Kanadische Holzblockbauweise:

Bei dieser Konstruktionsweise werden ganze Baumstämme als Wandbildner herangezogen. Fichtenholzstämme mit einem Durchmesser von ca. 30-40cm werden übereinander gelegt und an den darunter liegenden Stamm angepasst.



Abb. 3.24

Kanadische Holzblockbauweise [Quelle: Internetrecherche am 16.12.2007, 11:00, <http://www.kanadablockhaus.de/>]

Die Ausnehmungen werden mit Flachs oder Schafwolle ausgelegt. Zusätzlich werden Dichtbänder eingelegt. Die Eckverbindung erfolgt mittels spezieller Eckverkämmung (saddle notch). Auf diese Weise können lt. Hersteller U-Werte im Bereich von 0,3 W/m²K ohne zusätzlicher Dämmung erreicht werden.

Klassische Blockbauweise:

Für diese Bauweise werden so genannte Blockbohlen verwendet die aus vollen Stammquerschnitten gesägt werden. Bei größeren Wandlängen werden die Bohlen keilgezinkt. Die vertikale Verbindung der Bohlen untereinander erfolgt über eine mehrfache Nut-Feder Verbindung. Zur Abdichtung werden Fugendichtbänder eingelegt. Für größere Wanddicken werden keine Vollquerschnitte aus Einzelstämmen, sondern verleimte

Hölzer verwendet. Durch die Verleimung kann eine nachträgliche Verwindung des Holzes stark reduziert werden. Verwendet werden Holzlamellen und Bretterquerschnitte von 3-9 cm Dicke.

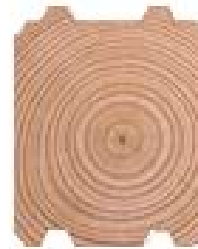


Abb. 3.25

Blockholzbohle [Quelle: Internetrecherche am 16.12.2007, 11:30, <http://www.oekologisch-bauen.info/>]

Kreuzlagenholz (KLH):

Kreuzlagenholz ist ein Produkt, welches aus verleimten Fichtenholzlagen mit ca. 2,5-5,0cm besteht. Je nach statischem Erfordernis werden 3 bis 7 Schichten unter hohem Druck verleimt. Die maximalen Abmessungen von Einzelplatten betragen 0,5 x 2,95 x 16,50m. Öffnungen können aufgrund der Tragwirkung in allen Richtungen einfach ausgeschnitten werden. KLH mit 3-5 Lagen (ab einer Dicke von 57mm erhältlich) wird vorwiegend zur Wandkonstruktion verwendet. Die Oberflächenqualität kann je nach den Erfordernissen gewählt werden.

Durch überspannen mit Putzträgern können alle Putzsysteme aufgebracht werden. Zur Verlegung wird ein Kran benötigt. Die Verbindung der Platten erfolgt durch Verschraubung.

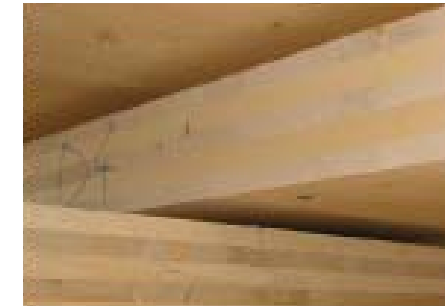


Abb. 3.26

Kreuzlagenholz [Quelle: Internetrecherche am 16.12.2007, 12:20, <http://www.klh.at/>]

Brettstapelsysteme:

Brettstapelsysteme funktionieren, wie der Name schon verrät, durch die Aneinanderreihung von Brettern an ihrer Breitseite. Die Verbindung untereinander erfolgt durch Verna gelung oder durch einfaches Verdübeln mittels Holzstäben. Durch die letztere Verarbeitungsvariante können die Elemente auch nachträglich einfach mit allen Holzbearbeitungsmaschinen bearbeitet werden. Die Brettstapelsysteme werden auch erfolgreich im Decken- und Dachbereich eingesetzt. Für Wandsysteme sind Brettthöhen von

8-12 cm üblich. Die Schmalseiten der Bretter werden, wenn Sichtqualität gefordert ist, gehobelt und die Kanten gefast, wodurch die Spalten zwischen den Brettern kaum auffallen.



Abb. 3.27
Brettstapelement

Die einzelnen Bretter verlaufen lotrecht. Zur besseren Einleitung der Deckenlasten wird meist ein Rähm oder eine Holzwerkstoffplatte als stirnseitiger Abschluss angeordnet. Um die Luftdichtheit zu gewährleisten bzw. zur Verbesserung des Knickverhaltens in der Wandebene (bei Verwendung als tragende oder aussteifende Wand) ist eine Beplankung mit einer entsprechenden Qualifikation vorzu-

nehmen. [18] Genaue Angaben zur Herstellung und Bemessung von Brettstapelsystemen sind in [18] zu finden.

iii. Holz - Leichtbau

1. Allgemeines

Der Holz – Leichtbau ist die älteste aller Bauformen, die, wie bereits beschrieben, in Form einer Flechtwand aus Zweigen schon in der Jungsteinzeit bestand. Der Baustoff Holz zeichnet sich durch die guten Bearbeitungs- und Verarbeitungseigenschaften, sein geringes Gewicht, lokale Verfügbarkeit, Umweltfreundlichkeit, die mit der großen Sortenvielfalt verbundenen Gestaltungsfreiheit und Abstimbarkeit auf den jeweiligen Einsatzzweck aus. Nachteilig, aber kontrollierbar sind Eigenschaften wie möglicher Schädlings- und Pilzbefall, Brennbarkeit (das Brandverhalten des Holzes, vor allem in großen Querschnitten ist äußerst positiv zu sehen, da beim Abbrand eine schützende, isolierende Kohleschicht entsteht), Dauerfeuchte- Empfindlichkeit, große Qualitätsunterschiede, Schwind und Quellverhalten (kann auch als Vorteil genutzt werden – im Bauwesen jedoch meist unerwünscht) und Anisotropie⁸. Holz kann nach der Gewinnung ohne weitere Bearbeitung als Baustoff eingesetzt werden, als Bauholz oder Konstruktionsholz durch Zuschnitt, und eventuell einfacher Oberflächenbehandlung, durch Verbindung mit Stahlteilen im Inge-

nieurholzbau, nach Weiterverarbeitung in zerspantem oder zerfasertem Zustand als Dämmstoff und Füllmaterial, oder als Holzwerkstoff in einer der vielen am Markt erhältlichen Varianten (Weichfaserplatten, OSB – Platten, Furnierschichtplatten usw.) Eine Auflistung der meisten Holzbauprodukte ist im Internet unter <http://www.dataholz.com> zu finden.

2. Fachwerksbau

Das Fachwerk trägt seinen Namen aufgrund der durch die Konstruktionshölzer entstehenden Gefache [Quelle – Internetrecherche am 16.12.2007, 16:50, <http://www.fachwerk.de>].

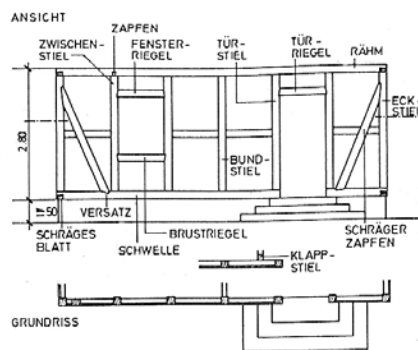


Abb. 3.28
Klassischer Fachwerksbau [8]

Diese Gefache werden nach der Fertigstellung des Holzgrundgerütes durch ausmauern mit Lehmsteinen, Ziegel (und anschließendes Verputzen) oder mit Geflechten

geschlossen. Die Holzkonstruktion selbst wird nach genauen Regeln mit den auf den Konstruktionsteil abgestimmten zimmermannsmäßigen Holzverbindungen ausgeführt. Die Ausfachungen werden durch Dreiecksleisten und entsprechende Ausnehmungen in den Steinen, durch Nägel oder Eisenbänder, die in die Lagerfugen eingearbeitet wurden gehalten. Nach Errichtung eines Geschosses wurden die Deckenbalken auf den Rähm aufgelegt und das nächste Geschoss wieder mit der Schwelle begonnen. Aufgrund des hohen Aufwandes an Zimmermannskunst und hoher Herstellungskosten wird diese Bauweise in klassischer Art nur noch selten ausgeführt.

3. Rahmen- und Skelettbauweise

Beim Holzskelettbau übernehmen die Konstruktionshölzer alle statischen Funktionen. Durch Ausbildung von Knoten und / oder zusätzlichen Aussteifungen erfolgt der Kräftefluss. Oft werden Stahlfertigteile wie Nagelplatten, Winkel, Schuhe in Verbindung mit Vernagelung oder Verschraubung verwendet. Nach der Fertigstellung können ein- oder beidseitig Platten oder Bretterschalungen aufgebracht werden. Die Zwischenräume werden üblicherweise mit Dämmstoff verfüllt. Die Konstruktion kann

durch versetzten der Beplankung in die Konstruktionsebene sichtbar bleiben. Im Gegensatz zur Tafelbauweise ist auch die Herstellung von mehrgeschossigen Konstruktionsystemen mit durchlaufenden Stützen üblich. Durch die Unabhängigkeit von „Produktionsstraßen“ und industrieller Vorfertigung des Gesamtsystems können besonders individuelle Lösungen auch mit großen Spannweiten realisiert werden. Da primär alle Kräfte durch das Stützen, Haupt- und Nebenträgersystem aufgenommen werden müssen, ist der Materialverbrauch meist höher als beim Tafelbau.

4. Tafelbauweise

Als Tafelbauweise wird die Holzfertigbauweise bezeichnet, bei der die Fertigelemente die tragende Funktion übernehmen. Die meisten Fertighäuser sind auf dem Prinzip der Tafelbauweise aufgebaut. Die Herstellung erfolgt meist wie folgt:

- Herstellung eines Holzskeletts aus horizontalen und vertikalen Hölzern, die maschinell mit Klammern oder Metall-Wellenplättchen verbunden werden.
- Einseitige Beplankung mit einer Platte aus Holzwerkstoff und ausschneiden oder aus-

sparen der Fenster und Türöffnungen.

- Einlegen von Dämmstoff und Anbringen der Dampfbremse

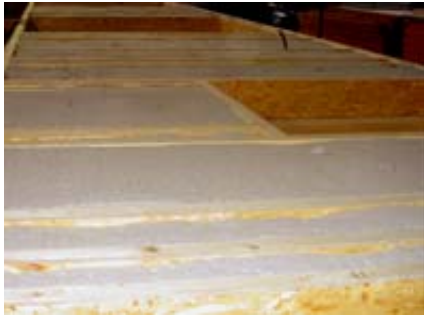


Abb. 3.29

Tafelbauelement bei der Produktion. Hier nach Einlegen der Zellulosedämmung [Foto: Gassenbauer Wolfgang]

- Beplankung der offenen Seite (je nach Anforderung auch 2-lagig)
- Einbau von Fenstern und Türen
- Bei Bedarf Herstellung einer Installationsebene inkl. Einbau der Rohinstallation, Leerverrohrung und Ausfüllen mit Dämmstoff
- Schließen der Installationsebene mit Gipskartonplatten, Lehmbauplatten oder anderen Beplankungen.
- Herstellung des Fassadenaufbaus (WDVS, hinterlüftete Holzfassaden, Plattenfassaden aus Faserzement usw.) inkl. Endbeschichtung.

Eine Übersicht der am Markt erhältlichen Holzbausysteme, sowie weitere Informationen sind in [23] und im Abschnitt 3.d.iv. zu finden.

iv. Metallbau - Stahlbau

1. Allgemeines

Der Einsatz von Metallen als primären, konstruktionsbildenden Baustoff spielt besonders im Industriebau, Hochhausbau, Hallenbau und beim Bau von Gebäuden, deren Nutzung große, stützenfreie Grundrisse verlangt eine Rolle. Durch die hohe Lastaufnahme bei geringem Querschnitt finden Metallbauteile in fast allen Konstruktionen Verwendung. Als Primärtragkonstruktion zur Herstellung von Wänden oder Wandbildnern wird Stahl meist nur in Verbindung mit Glas – oder Metall- Fassadenflächen verwendet.

2. Glasfassaden

Glas ist der Baustoff, der die moderne Architektur besonders geprägt hat. Trotz intensivster Entwicklungstätigkeit und Forschung stehen Gläser hinsichtlich des Wärmeschutzes auch einfachen Wandkonstruktionen nach. Besonders die Verbindung zwischen Glas und Rahmen (nicht bei allen Konstruktionen vorhanden) stellt eine Schwachstelle dar. Um die Nachteile von Glasfassaden auszugleichen, werden oft so genannte Doppelfassaden errichtet, bei denen die Glasfassade als Fixverglasung (nicht offenbar) mit einem

Abstand, der meist das Begehen durch Personen erlaubt vor einem inneren Wandsystem errichtet. Hier übernimmt die äußere Fassade vor allem gestalterische Anforderungen, Verbesserung des Schallschutzes, Ermöglichung der natürlichen Lüftung bei Hochhäusern und eine Verbesserung des Wärmeschutzes. Meist wird beim Glasfassadenbau versucht, die Hülle möglichst transparent zu halten und den Anteil an sichtbarer Tragkonstruktion zu verringern. Nachfolgend werden gebräuchliche Glasfassadensysteme angeführt und beschrieben:

Pfosten Riegel – Konstruktion:

Die tragende Struktur besteht hier meist aus zweiteiligen Hohlkastenprofilen aus Metall, zwischen denen die Glaselemente eingeklemmt werden. Für kleinere Anwendungen sind auch Profile aus Holz oder Kunststoff erhältlich. Die horizontalen Profile werden als Pfosten, die vertikalen als Riegel bezeichnet. Mit diesem System können große Einbauhöhen und Feldbreiten realisiert werden. [Quelle: Internetrecherche am 17.12.2007 um 09:40, <http://www.baunetz.de>]



Abb. 3.30

Detail einer Pfosten Riegelkonstruktion.

Structural Glazing:

„Als „Structural Glazing“ werden Fassaden definiert, deren Glaselemente nicht über ein Klemmprofil oder Klemmschrauben mit der tragenden Unterkonstruktion verbunden sind sondern mit bestimmten Silikon-Klebern auf die Profile geklebt werden. Die Kleber besitzen ein hohes Haftvermögen, große Materialfestigkeit und Elastizität, d.h. sie dürfen unter Witterungseinflüssen wie Feuchtigkeit, Temperatur und UV-Einstrahlung nicht al-

tern und verspröden. Die meisten Kleber sind nur in Verbindung mit Aluminiumoberflächen zugelassen. Wichtig ist auch, dass das Eigengewicht der Scheiben nicht von der Verklebung auf die Unterkonstruktion übertragen werden darf. Es sind geeignete Maßnahmen zur mechanischen Unterstützung jeder Scheibe zu treffen.“ [Fachhochschule München, Skriptum Tragwerkslehre – Glasbau, S. 7] Als Tragkonstruktion dient meist eine Pfosten oder Pfosten-Riegelkonstruktion.

Punktgehaltene Glasfassaden:

Punktgehaltene Glashaltesysteme stellen den Höhepunkt der Minimalisierung der Tragkonstruktionen im Bereich Glasfassadenbau dar.



Abb. 3.31

Glas - Punkthalter.

Als statisch wirksame Bauteile werden z.B. Fachwerksträger, Glasschwerte aus VSG oder vorgespannte Stahlseile eingesetzt.

Darauf werden etwa durch Klemmung, Verschweißung oder Verschraubung die Punkthalter befestigt. Die Scheiben werden untereinander nur durch dauerelastische Verfugung oder Profilen abgedichtet.

3. Metallfassaden

Metallfassaden kommen in den unterschiedlichsten Formen, meist jedoch als Zweckfassaden (große, robuste, schnell montierbare Fassadensysteme ohne großen Anspruch auf bauphysikalische Eigenschaften) im Hallenbau vor. Die einfachste Form der Hüllenbildung besteht durch Montage eines, aufgrund der Flächenstabilität gekanteten Bleches (Trapezbleche, Blechkassetten, Lamellen,...) als einschalige Bauweise ohne Wärmeschutz. Im Tafelbau werden meist mit Polyurethanschaum geschäumte Sandwichpaneele verwendet, die als Fertigteil auf eine Unterkonstruktion verlegt werden. Diese sind in Dicken von 30 bis 240 mm verfügbar und erreichen einen U-Wert bis etwa $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Für Wände mit Anforderungen an Brandschutz sind Paneele mit nicht brennbarer Mineralwollefüllung erhältlich.



Abb. 3.32
Sandwichpaneel mit PU – Schaum-Kern.

Anmerkungen des Autors

Die Auflistung der Wandsysteme im Abschnitt 3.c. ist auf die gängigsten und wichtigsten Systeme beschränkt. Systeme, deren Einsatz nur für den temporären Bau in Frage kommt, bzw. welche nicht für den längeren Aufenthalt von Menschen gedacht sind, wurden nicht beschrieben. Hierzu wären Zelte, Tragluftsysteme und Pneukonstruktionen zu zählen. Ebenfalls wurde auf eine Bewertung bzw. in den meisten Fällen auf genaue Wertangaben über Wärmeschutz, Brandschutz, Schallschutz usw. verzichtet, da solche Wertangaben nur im Gesamtsystem des Wandsystems bzw. des gesamten Bauwerkes seriös angegeben werden können. Im Abschnitt 3.d.iv wird ein Leistungsvergleich ausgewählter Wandsysteme, die dem Thema dieser Arbeit entsprechen durchgeführt.

d. Aufbau von wärmeverlustr minimierten Außenwandsystemen

i. Allgemeines

Neben den in den Bauordnungen und Landesgesetzen geforderten Anforderungen an Wärmeschutz, Schallschutz, Brandschutz und Feuchteschutz gelten bei der Planung von wärmeverlustr minimierten Wandsystemen zusätzliche Kriterien. Vor allem die Ausführung der Konstruktion in luftdichter und winddichter Ausführung ist Grundsatz für das „Funktionieren“ der Gebäudehülle. Dabei ist in jedem Fall auf die Unterscheidung zwischen Winddichtung und Luftdichtung zu achten. Die Winddichtung hat im Gegensatz zur Luftdichtung die Aufgabe eine Durchströmung der Dämmebene mit Außenluft zu verhindern. Die Luftdichtheitsebene verhindert das Durchströmen des Bauteils durch Luft, welche aufgrund der Druckdifferenzen, die durch [25], [28]

- Kräfte an der Umfassungsfläche infolge von Windkräften
- Temperaturdifferenzen zwischen innen und außen
- den Betrieb raumluftechnischer Anlagen [28] entstehen.

Grundsätzlich ist allen Anforderungen an Wandsysteme, die im Abschnitt 3.b. (Seite 7-22) behandelt wurden Bedeutung zuzumessen! Eine Gewichtung kann nur hinsichtlich Nutzung und Entwurfsziel erfolgen.

Da es unwirtschaftlich wäre einen Wandaufbau aus einer einzigen Schicht und einem einzigen Material herzustellen, welches allen Anforderung gerecht wird, ist es sinnvoll materialspezifische Eigenschaften in Zusammenhang mit Konstruktionsgrundsätzen auszunutzen. Hier gilt es vor allem eine ökonomische, ökologische und nachhaltige Lösung zu finden, die die Eigenschaften der Baustoffe optimal ausnutzt. Durch diese Überlegungen erscheint es, auch aus fertigungstechnischer Sicht, günstig den einzelnen Erfordernissen eine geeignete Funktionsschicht im Bauteil zuzuordnen. Nicht ausgeschlossen, und mitunter ein Ziel dieser Arbeit ist es, dass es möglich ist, mehrere Funktionen einer einzigen Schicht zuzuordnen und somit Konstruktionsstärke zu sparen – den Bauteil also dimensionsoptimiert auszubilden. In diesem Kapitel werden die Konstruktionsprinzipie für den Aufbau von Wandsystemen angeführt, die für die Verwendung im Passivhausbau notwendig sind.

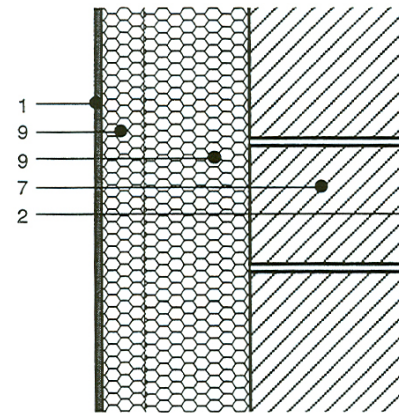


Abb. 3.33 (links)
Beispielwandaufbau eines Wandsystems in Ziegel- Massivbauweise und Wärmedämmverbundsystem (WDVS) [28]

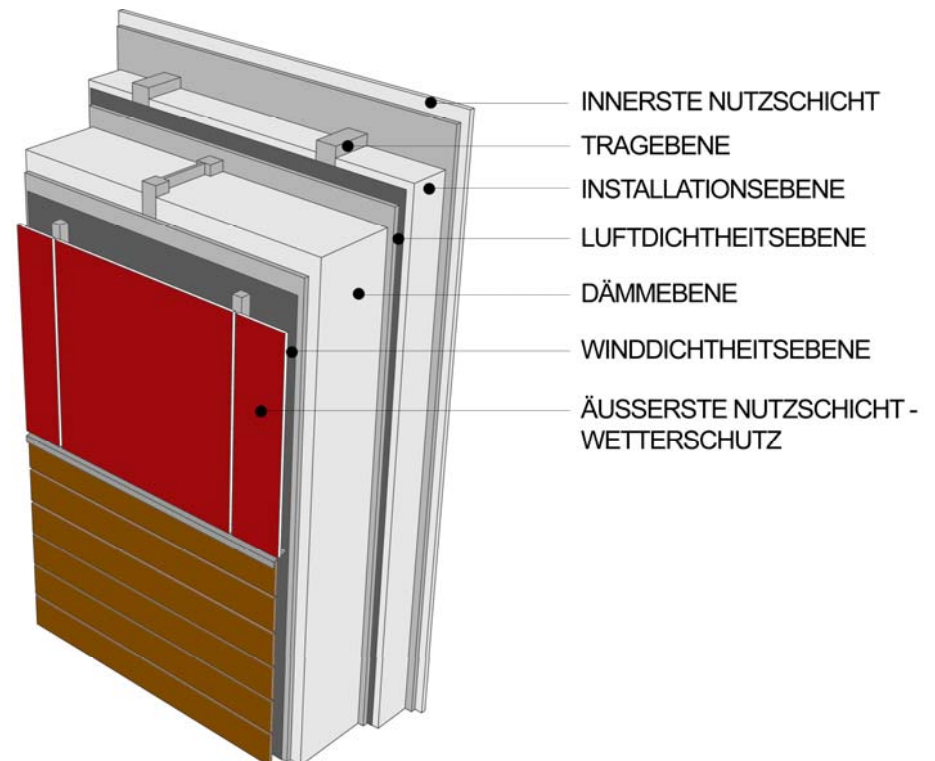


Abb. 3.34 (unten)
Beispielwandaufbau eines Wandsystems in Holz- Tafelbauweise mit Angabe der Funktionsschichten

ii. Funktionsschichten

1. Allgemeines

Die nachfolgende Einteilung der Nutzsichten ist auf Grundlage der Überlegungen entstanden, ein Wandbauteil für den vorwiegend oberirdischen Einsatz in gemäßigtem Klima, mit tragender Wirkung, welches der Umhüllung, hauptsächlich zu Wohn- und Arbeitszwecken dienenden Lebensräumen dient, so zu gliedern, dass alle Anforderungen für die Funktionalität, des gesamten Bauteiles erfüllt werden. Funktionen, die durch das Zusammenwirken der gelisteten Schichten deren mögliche Wechselwirkungen und Anordnung erfüllt werden, oder nicht primär für die Zweckmäßigkeit des Bauteils notwendig sind, wurden nicht als Funktionsebene angeführt. Besonders sind hier Brandschutz und Schallschutz zu nennen.

Nachfolgend sind alle Anforderungen aus dem Abschnitt 3.b. nochmals aufgelistet. Ein Entwurf eines gebrauchstauglichen Wandsystems entsteht durch Anforderung an:

- Raumbildung
- Optische Eigenschaften
- Haptische Eigenschaften
- Olfaktorische Eigenschaften

- Abgrenzung
- Behaglichkeit
- Tragsicherheit
- Sichtschutz
- Witterungsschutz
- Wärmedämmvermögen
- Brandsicherheit
- Schalldämmvermögen
- Statische Eigenschaften
- Ökologie / Recycling
- Baustoffe
- Verarbeitung
- Wiederverwendbarkeit
- Türen
- Fenster
- Durchdringungen
- Tauglichkeit für den Hersteller /Verarbeiter/ Monteur
- Tauglichkeit für den Benutzer
- Dauerhaftigkeit, Wartung und Instandsetzung
- Transport
- Handhabung
- Montagezeit
- Fügetechnik
- Demontage

Es ist, wie bereits beschrieben durchaus möglich mehrere Funktionsschichten zusammenzulegen. Dies erfolgt im nächsten Abschnitt (3.d.iii.)

Folgende Funktionsschichten werden eingeführt:

- Innerste Nutzsicht (3.d.ii.2.)
- Tragebene (3.d.ii.3.)
- Installationsebene (3.d.ii.4.)

- Luftdichtheitsebene (3.d.ii.5.)
- Dämmebene (3.d.ii.6.)
- Winddichtheitsebene (3.d.ii.7.)
- Äußerste Nutzsicht (Witterschutz) (3.d.ii.8.)

2. Innerste Nutzsicht

Die Innerste Nutzsicht übernimmt besonders Anforderungen an mechanische Beanspruchbarkeit, erzeugt das Erscheinungsbild, dient begrenzt als Träger für Lasten, die durch Einrichtungsgegenstände verursacht werden, bildet die Grenze zwischen Raumlufte und Wandbauteil und beeinflusst somit die Feuchteregulation, die Wärmespeicherung und das Raumschallverhalten (Nachhallzeiten).

Sie sollte aufgrund der notwendigen Sanierungszyklen austauschbar, sanierbar oder besonders langlebig sein.

Die innerste Nutzsicht dient auch als Träger von Wandheizsystemen.

Der Materialwahl sind für diese Funktionsschicht grundsätzlich keine Grenzen gesetzt. Üblich ist die Verwendung folgender Materialien und Systeme:

- Putze auf Gips-, Kalk- oder Lehmabasis, die als Nassputz aufgebracht werden, sowie

dazugehörige Putzträgersysteme.

- Platten aus Holz oder Holzwerkstoffen mit oder ohne Kunstharz oder Kunststoffbeschichtungen.
- Gipskartonplatten
- Lehmabplatten
- Glas
- Keramische Erzeugnisse
- Stein oder Kunststeinerzeugnisse

3. Tragebene

Die für die Lastabtragung erforderliche Konstruktion bildet die Tragebene. Wandsysteme werden folgenden grundlegenden Belastungen ausgesetzt:

- Vertikallasten infolge des Eigengewichtes und der Nutzlasten von Decken und Dachkonstruktion.
- Horizontallasten durch Einwirkung von Winddruck und Windsog.
- Zusätzlich muss die Aussteifung des Gebäudes übernommen werden.

Infolge der Individualität jedes Bauwerkes ist in jedem Fall ein gesonderter Nachweis zur Standsicherheit zu führen.

Je nach Richtung der Lasteinwirkung werden die Bauteile als Platte

oder als Scheibe beansprucht. (siehe Abschnitt 3.b.iv)

Lastabtragungsmechanismen im Holz - Leichtbau:

Die Einzelbauteile (Beplankung (vert.), Stiel (vert.), Rähm (hor.), Schwelle (hor.), Riegel (hor.) werden zur Abtragung der oben genannten Lasten herangezogen und durch die vielfältigen Lastfälle unterschiedlich beansprucht und müssen für die Summe der Beanspruchungen nachgewiesen werden. [25]

Der Lastfluss der Horizontallasten verläuft über die Lasteinbringung durch z.B. Wind in die Beplankung (Plattenwirkung) und weiters in den aus Stielen und äußerer Beplankung zusammengesetzten Bauteil, der als Biegeträger mit Normalkraft (durch Vertikallasten aus Deckenauflagerungen, darüber liegende Geschossen und Dach) wirkt, und schließlich über die scheibenwirksamen Bauteile und deren Verankerung und Fundamentierung in den Boden.

Der Lastfluss aus Vertikallasten wird ebenfalls durch das Zusammenspiel von Riegel, Stielen, Schwelle und Beplankung abgeführt.

Wichtig ist der kraftschlüssige Verbund der einzelnen Komponenten, da sonst das oben beschriebene Zusammenspiel nicht funktioniert. Die in [25] beschriebene Problematik der Beeinflussung anderer Funktionsschichten durch die Tragwerksplanung lässt sich mit dem dort genannten Beispiel wie folgt beschreiben: Im Bereich der Elementstöße (Ecken, Deckenanschluss, Dachanschluss usw.) kommt es durch die geometrische Störung oft zu Konflikten zwischen den einzelnen Funktionsschichten, die ohne Unterbrechung durchlaufen müssen. Es gilt beispielsweise im Bereich des Geschossdeckenauflegers die Luftdichtheitsebene (Beschreibung siehe Abschnitt 3.d.ii.5.) rund um die Deckenkonstruktion zu führen, ohne diese zu unterbrechen. Dabei muss auch die technische und handwerkliche Lösbarkeit beachtet werden. Würde man der Luftdichtheitsebene die Priorität zusprechen und diese gerade durchlaufen lassen, müssten die Deckenlasten ausmittig in die Wand eingeleitet werden, was eine Biegebeanspruchung zur Folge hätte.

Die Bemessung von Holztragwerken erfolgt gem. Eurocode 5, die in der Nationalen Norm ÖNORM EN 1995 umgesetzt wurde.

4. Installationsebene

Kein Gebäude mit dem unter Pkt. 1 genannten Nutzungsprofil kommt ohne Installationen aus. Besonders im Passivhausbau ist man auf zusätzliche technische Ausstattung wie Lüftungsanlagen oder Solarthermie angewiesen. Trotz der Einplanung von Installationsschächten und der Leitungsverteilung in den horizontalen Bauteilen ist ein vollkommenes Freihalten der Wandbauteile durch die benötigten Versorgungsinstallationen wie Strom, Wasser, Heizung, Abwasser und Lüftung angewiesen. Zusätzlich kann es Anspruch auf Integration von Leitungsführung für Zentralstaubsauganlagen, Telefonanlagen, Computernetzwerkverbindungen, Beschallungsanlagen usw. geben.

Die Installationsebene hat speziellen Status, da sie zur bauphysikalischen Funktionalität des Systems nicht beiträgt. Die Ausführung bzw. Planung einer separaten Installationsebene stellt eine Vereinfachung im Bauablauf dar, Installationen gebündelt und ohne Gefahr der Erzeugung von Leckstellen, einbauen zu können.

Besonders durch die Anforderung an eine luftdichte Hülle, bedeutet jede Durchdringung eine Schwachstelle und einen zusätzlichen Kostenaufwand durch die benötigte Zeit für Abdichtungsmaßnahmen

und das Abdichtungsmaterial. Nachteil eines solchen zusätzlichen Layers ist der entstehende Raumverlust. Ein möglicher Lösungsansatz ist

- die konzentrierte Anordnung der Installationsführung auf einzelne Wände oder Wandabschnitte oder
- die Implikation in eine andere Funktionsebene (Inkaufnahme von Durchdringungen der Luftdichtheitsebene)
- die Anordnung der luftdichten Ebene an eine Stelle im Bauphysiksystem, die z.B. die Verwendung der Tragebene als Installationsebene ermöglicht.

5. Luftdichtheitsebene

Eine sorgfältig geplante und ausgeführte Luftdichtheitsebene stellt einen möglichst geringen Lüftungswärmeverlust durch die Gebäudehülle sicher. Durch Messverfahren (Blower Door- Test gem. EN-13829) können Leckagen in Gebäuden durch Erzeugung einer genormten Druckdifferenz, und dem somit erzwungenen Nachströmen von Luft zur Aufrechterhaltung der Druckdifferenz, die mit 50 Pascal (Pa) genormt ist, nachgewiesen werden. Es wird jeweils eine Überdruck und eine Unterdruckmessung durchgeführt und der Mittelwert der beiden Messungen als Messergebnis angenommen. Man erhält aus der Messung einen Volumenstrom in [m³/h]. Um die Luftwechselrate n_{50} [1/h] zu bestimmen, wird der ermittelte Volumenstrom durch das Raumvolumen (Gebäudevolumen) des Messraumes dividiert.

Zur Erreichung einer luftdichten Ebene können folgende Materialien verwendet werden. [29]

- Holzwerkstoffplatten (Stöße verklebt)
- Gipskartonplatten (Stöße verspachtelt)
- Gipsfaserplatten (Stöße verspachtelt)

- Folien (Stöße verklebt)
- Baupappen (Stöße verklebt)
- Putze (nass aufgebracht)

Baustoff	Luftdurchlässigkeit $Q_{50, Baustoff}$ [m³/(m² h)]
Gipskarton-Bauplatte	0,002–0,03
Sperrholz	0,004–0,02
Spanplatte, MDF	0,05 –0,22
Hartfaserplatten	0,001–0,003
Holzweichfaserplatten	2,0 –3,5
diverse Holzarten als geschlossene Flächen	bis 0,0003
Unterspannbahn	1,0
PE-Folie 0,1 mm	0,0015
Bitumenpappe	0,008–0,02
Baupappe	0,01 –3,0
Mineralwolle	13–150
Hartschaumplatten	0,003–1,1
Holzwoolleichtbauplatten	950–6600
Bituminierte Holzfaserdämmplatten	1,1–2,3

Abb. 3.35
Luftdurchlässigkeit verschiedener Materialien in der Fläche bei einer Druckdifferenz von 50 Pa [25]

Die Abdichtung der Elemente (Folienstöße, Plattenstöße, Fugen,...) kann durch unterschiedlichste Maßnahmen erfolgen:

- Durch Verkleben mit einseitigem Klebeband (Bei Folien und Pappen auf Überlappung achten)
- Durch Verkleben mit doppelseitigem Klebeband und Überlappen der Bahnenstöße.
- Mittels zusätzlicher mechanischer Sicherung (bei Punkt 1

und 2 sind zusätzliche mechanische Sicherungen von Vorteil)

- Durch Ausfugen mit Baudichtmassen
- Durch Verspachteln (auf ausreichende Rissfestigkeit der Spachtelmassen achten – Einlegen von Bewehrungsstreifen oder faserverstärkte Massen verwenden)
- Mittels vorgefertigter Manschetten im Bereich von Installationsdurchführungen (v.a. bei Rundquerschnitten sinnvoll)
- Durch Ausbilden einer Einrollung und zusätzlicher mechanischer Befestigung (hauptsächlich bei Folien durch mindestens 4-5-faches rollen)

Für Passivhäuser liegt die zu erreichende Luftwechselrate n_{50} bei 0,6 [1/h], [27] was bedeutet, dass das Raumvolumen bei einer Druckdifferenz von 50 Pa 0,6 Mal je Stunde ausgetauscht wird.

Quelle	Grenzwerte der Luftdichtheit	
	Gebäude ohne Lüftungsanlage	Gebäude mit Lüftungsanlage
ÖNORM EN 13829:2001 Verfahren A	$n_{50} \leq 3,0 \text{ h}^{-1}$	$n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$
Kriterien des PHI Darmstadt für PH	–	$n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$

Abb. 3.36
Grenzwerte der Luftdichtheit [31]

	Gebäude ohne Lüftungsanlage	Gebäude mit Lüftungsanlage
Niederösterreich		
NÖ Wohnbauförderung NEH	$n_{50} \leq 3,0 \text{ h}^{-1}$	$n_{50} \leq 1,0 \text{ h}^{-1}$
NÖ Wohnbauförderung PH	–	$n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$
Wien		
Niedrigenergiehaus-Förderung		
	$n_{50} \leq 3,0 \text{ h}^{-1}$	$n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$
Passivhaus-Förderung	–	$n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$
Oberösterreich		
OÖ Bautechnikverordnung erhöhte Wohnbauförderung für Passivhäuser		
	$n_{50} \leq 3,0 \text{ h}^{-1}$	$n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$
	–	$n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$

Abb. 3.37
Grenzwerte der Luftdichtheit für die Wohnbauförderungen der einzelnen Bundesländer [31]

Mit den heutigen Baumethoden können Luftwechselraten von <0,3 [1/h] erreicht werden. [27]

In einer Studie der Universität Kassel [30] wurden 51 Gebäude in Holzbauweise mittels unterschiedlicher Messverfahren untersucht, um eine Quantifizierung der einzelnen Leckagen zu erreichen. Am häufigsten werden demnach Leckagen durch Türen zu unbeheizten Räumen und im Bereich der Installationen vernachlässigt.

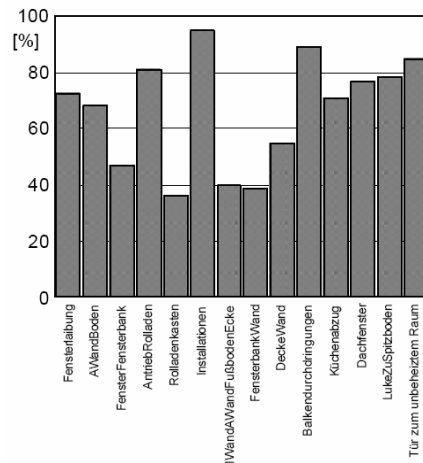


Abb. 3.38

Häufigkeit bestimmter Leckagen [29]

Auf folgende Konstruktionsprinzipien ist bei der Planung von Luftdichtheitsebenen zu achten: [25]

- „Der Verlauf der Luftdichtheitsebene in den Bauteilen der Gebäudehülle muss von einem Stift, ohne ein einziges Mal abzusetzen, abgefahren werden können!“
- „Einer Ebene muss die abdichtende Funktion zugeordnet werden. Mehrere, nicht ausreichend dichte Ebenen hintereinander ergeben keine ausreichende Luftdichtheit!“

6. Dämmebene

Die Dämmebene ist für den Wärmeschutz des Wandbauteils ver-

antwortlich. Die Qualität des Widerstandes gegen die Wärmetransportmechanismen (siehe 3.b.iii.4.) stellt den Wärmeschutz des Bauteils dar.

Durch die Verminderung des Wärmetransportes können die Oberflächentemperaturen der Rauminnen-seite nahe der Raumlufttemperatur gehalten werden. Dadurch steigt das Behaglichkeitsgefühl durch die verringerte Temperaturdifferenz zwischen Oberflächentemperaturen der umgebenden Bauteile und Raumlufttemperatur (siehe 3.b.ii.3.).

Durch ein Absinken dieser Oberflächentemperatur aufgrund schlechter Wärmedämmung oder punktueller oder linearer Wärmebrücken kann es zum Tauwasser-ausfall kommen. Wärmedämmung bedeutet deshalb nicht nur Schutz vor unkontrolliertem Wärmetransport, sondern auch Schutz vor Bauschäden durch Feuchtigkeit und Bildung gesundheitsschädlicher Schimmelansammlungen.

Zur Erzielung von wärmedämmender Wirkung werden Wärmedämmstoffe eingesetzt. (Man spricht von Dämmstoffen, wenn die Wärmeleitfähigkeit λ eines Stoffes unter $0,1 \text{ W}/(\text{mK})$ liegt) [10]. Die Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen ist abhängig:

- Von der Struktur der festen Bestandteile (faserig oder geschäumt)

- Der Art, der Größe und Anordnung von Poren bzw. Fasern
- Vom Porengas (Luft oder Gas)
- Von der Wärmeleitfähigkeit des Basismaterials [10]

Für den Wärmeschutz sind folgende Kennwerte maßgeblich:

λ (Lambda) = Wärmeleitfähigkeit $[\text{W}/\text{mK}]$

Er gibt an welche Wärmemenge $[\text{W}]$ durch 1m^2 eines 1m dicken Stoffes hindurchgeht, wenn der Temperaturunterschied der beiden Oberflächen 1 K (Kelvin) beträgt [9]. Er ist zusätzlich abhängig vom Feuchtegehalt der Baustoffe. Mit zunehmender Feuchtigkeit steigt die Leitfähigkeit.

Baustoff	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ $[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$
Konstruktionsvollholz $500 \text{ kg}/\text{m}^3$	0,13
Konstruktionsvollholz $700 \text{ kg}/\text{m}^3$	0,18
Flachpressspanplatte ($300 \text{ kg}/\text{m}^3 \leq \rho \leq 900 \text{ kg}/\text{m}^3$)	0,10–0,18
Holzfaserverplatte ($250 \text{ kg}/\text{m}^3 \leq \rho \leq 800 \text{ kg}/\text{m}^3$)	0,07–0,18
OSB-Platten	0,13
Furnierschichtholz (Sperrholz) ($300 \text{ kg}/\text{m}^3 \leq \rho \leq 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$)	0,09–0,24
Kunstharzputz	0,71
Gipskarton-Bauplatte	0,51
Beton, armiert mit 1% Stahl	2,30
Beton, armiert mit 2% Stahl	2,50
Zement-Estrich	1,40
Mineralwolle	0,030–0,060
Expandierter Polystyrolschaum	0,030–0,060
Extrudierter Polystyrolschaum	0,026–0,048
Polyurethan-Hartschaum	0,020–0,048
Holzfaserdämmstoffe	0,032–0,085

Abb. 3.39

Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit verschiedenster Baustoffe [25]

Weitere Bemessungswerte sind in [9], [10] und [47] zu finden.

L = Leitwert $[\text{W}/\text{K}]$

Der Leitwert ist der Wärmestrom, der durch ein Bauteil bei einer Temperaturdifferenz von 1 K hindurchgeht. [9]

α (alpha) = Wärmeübergangskoeffizient. [W/m²K]

Er bezeichnet jene Wärmemenge die pro Sekunde von 1m² Oberfläche eines Stoffes auf die berührende Luft übergeht, wenn die Temperaturdifferenz 1K beträgt [9]. Gem. EN ISO 6946 ist in Abhängigkeit der Richtung des Wärmeüberganges (horizontal, aufwärts, abwärts) und der räumlichen Lage (außen, innen) zu unterscheiden. [10]

U = Wärmedurchgangskoeffizient [W/m²K]

Der U-Wert zählt zu den wichtigsten Kennwerten für Bauteile und bezeichnet unter Berücksichtigung des Wärmeüberganges, jene Wärmemenge, die durch 1m² eines Bauteiles hindurchgeht, wenn der Temperaturunterschied 1 K beträgt.

Die Österreichischen Bauordnungen (eine je Bundesland) legen, je nach Bauteilart und Lage im Gebäude unterschiedliche Mindestwärmedurchgangskoeffizienten fest. Für Außenwände sind diese wie folgt verankert [Quelle: Internetrecherche am 20.12.2007, 16:00, <http://www.ziegel.at/>]:

Wien:	0,5 W/m ² K
Niederösterreich:	0,4 W/m ² K
Burgenland:	0,45 W/m ² K
Kärnten:	0,4 W/m ² K
Oberösterreich:	0,5 W/m ² K

Steiermark:	0,4 W/m ² K
Salzburg:	0,35 W/m ² K
Tirol:	0,35 W/m ² K
Vorarlberg:	0,35 W/m ² K

Die Berechnung der U-Werte von inhomogenen Bauteilen hat grundsätzlich gemäß ÖNORM EN ISO 6946 zu erfolgen.

Arten der Wärmedämmung von Wandsystemen:

- Wärmedämmputze
- Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) oder ETICS – External Thermal Insulation Composite Systems an der Außenseite der Gebäudehülle
- Dämmsysteme mit hinterlüfteten Fassaden als Witterungsschutz
- Dämmsysteme in der Wandkonstruktion als Diffusionsdichte oder diffusionsoffene Systeme. (mehrschalige Aufbauten)
- Dämmung an der Rauminnen-seite.
- Transparente Wärmedämmung

Informationen zu den verschiedenen Wärmedämmsystemen inkl. Herstellerverzeichnis, Details und Produktbeschreibungen sind in [7] zu finden.

Wärmebrücken:

Wärmebrücken sind örtlich begrenzte Stellen, die im Vergleich zu den Bauteilbereichen eine höhere Wärmestromdichte aufweisen. Dadurch entsteht zusätzlicher Wärmeverlust und eine Verringerung der Oberflächentemperatur. Der Wärmestrom durch ein Bauteil wird durch die sog. Wärmestromlinien dargestellt, die im ungestörten Bereich (ebene Platte aus homogenen Materialien) parallel verlaufen. Verlaufen die Wärmestromlinien nicht parallel, so zeigt dies eine Wärmebrücke an. Es gibt 2 unterschiedliche Ursachen für Wärmebrücken:

- Stoffbedingte Wärmebrücken durch unterschiedliche Leitfähigkeit der Baustoffe
- Geometriebedingte Wärmebrücken (z.B. in Ecken aufgrund der Veränderung des Verhältnisses der wärmeabgebenden Seite zur wärmeaufnehmenden Seite)

Aufgrund der Veränderung der Oberflächentemperaturen der Bauteile können Wärmebrücken mittels Infrarot Thermografie einfach nachgewiesen werden. Dies kann natürlich nur bei Bauteilen erfolgen, die bereits errichtet sind.

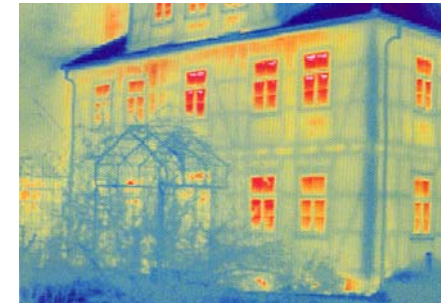


Abb. 3.40

Infrarotthermografie eines Fachwerkhäuses. Deutlich erkennbar die Wärmebrücken durch die Ausfachung der Holzkonstruktion. [25]

Für die Wärmebrückensimulation stehen Methoden der Berechnung mittels computergestützten Verfahren zur Verfügung. Die Farbverläufe entsprechen dem Temperaturverlauf im Bauteil.

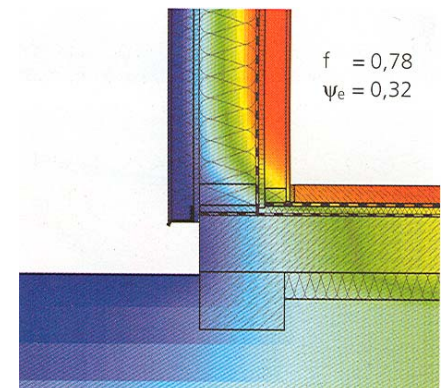


Abb. 3.41

Simulation der Auswirkung eines schlecht ausgeführten Sockelanschlusses einer Außenwand. [25]

Zur Quantifizierung einzelner Wärmebrücken und der groben Einschätzung wurden sog. Wärmebrückenkataloge ausgearbeitet und stehen in Buchform oder in digitaler Form zur Verfügung.

7. Winddichtheitsebene

Die Winddichtheitsebene hat die Aufgabe eine Durchströmung der Dämmung mit Außenluft zu vermeiden. Durch Druckunterschiede und An- bzw. Überströmung verändern sich die U-Werte der Dämmebene, wobei letzteres der maßgebende Faktor ist. In [32] werden die Effekte von Druckdifferenzen und Windgeschwindigkeiten auf verschiedene Dämmstoffe in einer Versuchsreihe getestet (Abb. 3.42).

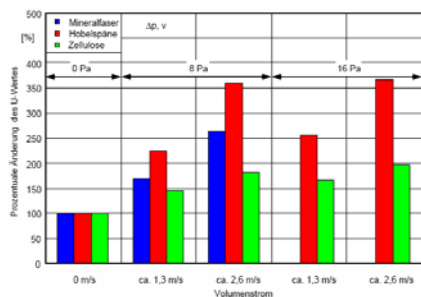


Abb. 3.42

U-Wert-Verlauf in Abhängigkeit von aufgetragenen Druckdifferenzen und An- bzw. Überströmung (Wind) [32]

Bei Wärmedämmverbundsystemen übernimmt die äußere Beschichtung die Aufgabe der Winddicht-

heit. Die gleiche Wirkung haben Wärmedämmputze. Im Holzbau kann eine winddichte Ebene durch folgende Baustoffe hergestellt werden:

- Holzweichfaserplatten
- Bitumenpappe auf Holzschalung
- Unterspannbahnen
- Winddichtfolien aus Kunststoff

Durchführungen sind wie bei der Luftdichtheitsebene sorgfältig auszuführen.

8. Äußerste Nutzschiicht – Wetterschutz

Die äußerste Nutzschiicht eines Bauteiles kann als Verschleißschicht gesehen werden und ist meist mit einer technischen Lebensdauer⁶ von etwa 20-100 Jahren begrenzt (siehe Abschnitt 3.b.viii.) und einer Vielzahl an Belastungen durch Witterungsverhältnisse und Umwelteinflüsse ausgesetzt. Sie dient grundsätzlich folgenden Zwecken:

- Architektonisches Erscheinungsbild und Ausdrucksmittel der Gebäudegestaltung.
- Schutz vor Feuchtigkeit
- Schutz vor Treibregen und Flugschnee
- Schutz vor schädlicher UV-Strahlung

- Schutz vor schädlichen mechanischen Einflüssen darunter liegender, empfindlicher Ebenen.
- Beitrag zum Schutz vor Überhitzung und Wärmeverlust
- Blendschutz
- Schutz vor schädlichen Schadstoffemissionen in der Luft

Obwohl die Vielfalt der Fassadensysteme kaum beschreibbar ist, wird der Vollständigkeit halber eine Aufzählung unterschiedlichster, häufig angewandter Konstruktionen in kategorischer Form an dieser Stelle durchgeführt:

- Wärmedämmverbundsysteme (WDVS)
- Vorhangfassaden mit Bekleidungen aus Holz, Holzwerkstoffen oder metallischen Produkten (Bleche) auf Unterkonstruktionen aus Holz oder Metall, mit oder ohne Hinterlüftung.
- Glasfassaden (Abschnitt 3.c.iv.2.)
- Putzsysteme, ein- bzw. mehrlagig.
- Metallfassaden aus Sandwichpaneelen (Abschnitt 3.c.iv.3.)
- Fassadenverkleidungen aus Natur bzw. Kunststein
- Keramische Verkleidungen

- Massivbausysteme, die keiner weiteren Fassadenbekleidungen bedürfen.

Fassadensysteme müssen den äußeren Einflüssen ausreichenden Widerstand bieten können:

- Widerstand und Tragfähigkeit gegen Belastungen durch Wind, und Schnee
- Brandwiderstand, wenn gefordert
- Schallschutz, wenn gefordert
- Aufnahme von Längenänderung infolge der Temperaturschwankungen, die einen Bereich von etwa 50 K abdecken. Die Oberflächentemperaturen können noch weit höher steigen.

iii. Funktionsmatrix (Ebenenzusammenführung)⁹

	Innerste Nutzschicht	Tragebene	Installationsebene	Luftdichtheits-ebene	Dämmebene	Widdichtheits-ebene	Äußerste Nutzsschicht
Innerste Nutzschicht	siehe Abschnitt 3.d.ii.2	+	-	+	* ₁ -	-	~
Tragebene	+	siehe Abschnitt 3.d.ii.3	+	+	* ₂ +	+	+
Installationsebene	-	+	siehe Abschnitt 3.d.ii.4	~	* ₂ +	-	-
Luftdichtheits-ebene	+	+	~	siehe Abschnitt 3.d.ii.5	~	-	+
Dämmebene	* ₁ -	* ₂ +	* ₂ +	~	siehe Abschnitt 3.d.ii.6	~	+
Widdichtheits-ebene	-	+	-	-	~	siehe Abschnitt 3.d.ii.7	+
Äußerste Nutzsschicht	~	+	-	+	+	+	siehe Abschnitt 3.d.ii.8

Tab.: 3.5

*₁ Ausgenommen Massivbauweise ohne zusätzlicher Dämmebene (z.B. Holzblockbauweise)

*₂ Entstehung stofflicher Wärmebrücken

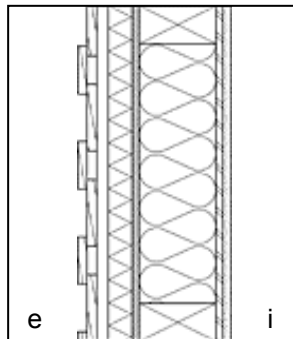
+ ...leicht vereinbar

~ ...bedingt vereinbar

- ...nicht vereinbar

iv. Erprobte Wandsysteme für den Passivhausbau¹⁰

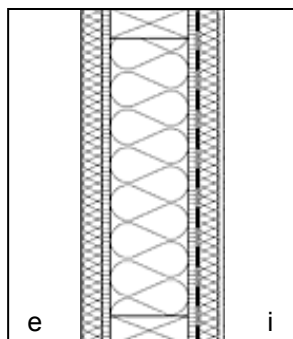
	<p>exterior</p> <table border="0"> <tr><td>Putz</td><td>1,0</td><td>cm</td></tr> <tr><td>Holzwole-Leichtbauplatte</td><td>3,5</td><td>cm</td></tr> <tr><td>Lattung als Luftschicht</td><td>2,4</td><td>cm</td></tr> <tr><td>DWD Holzwerkstoffplatte</td><td>1,6</td><td>cm</td></tr> <tr><td>Zellulosedämmung</td><td>35,6</td><td>cm</td></tr> <tr><td>Holz-Stegträger</td><td>35,6</td><td>cm</td></tr> <tr><td>OSB Holzwerkstoffplatte</td><td>1,5</td><td>cm</td></tr> <tr><td>Gipsfaserplatte</td><td>1,0</td><td>cm</td></tr> </table> <p>interior</p>	Putz	1,0	cm	Holzwole-Leichtbauplatte	3,5	cm	Lattung als Luftschicht	2,4	cm	DWD Holzwerkstoffplatte	1,6	cm	Zellulosedämmung	35,6	cm	Holz-Stegträger	35,6	cm	OSB Holzwerkstoffplatte	1,5	cm	Gipsfaserplatte	1,0	cm	<p>Bausystem: Tafelbauweise</p> <p>Äußerste Nutzschrift: Putz</p> <p>Tragebene: Holzstegträger und Bepankung</p> <p>Installationsebene: nicht vorhanden (in Dämmebene)</p> <p>Luftdichtheitsebene: OSB Werkstoffplatte</p> <p>Dämmebene: Zellulosedämmung</p> <p>Winddichtheitsebene: DWD Holz-Werkstoffplatte</p> <p>Innerste Nutzschrift: Gipsfaserplatte</p>	<p>System Nr.: 1</p> <p>U- Wert: 0,1041 W/m²K</p> <p>Dicke: 46,6 cm</p> <p>Quelle: [35]</p> <p>Schnittbild: Abb. 3.43</p>			
Putz	1,0	cm																												
Holzwole-Leichtbauplatte	3,5	cm																												
Lattung als Luftschicht	2,4	cm																												
DWD Holzwerkstoffplatte	1,6	cm																												
Zellulosedämmung	35,6	cm																												
Holz-Stegträger	35,6	cm																												
OSB Holzwerkstoffplatte	1,5	cm																												
Gipsfaserplatte	1,0	cm																												
	<p>exterior</p> <table border="0"> <tr><td>Außenputz armiert</td><td>1,0</td><td>cm</td></tr> <tr><td>Wärmedämmstoff EPS</td><td>6,0</td><td>cm</td></tr> <tr><td>Wärmedämmstoff EPS</td><td>16,0</td><td>cm</td></tr> <tr><td>Mauerwerk($\lambda=0,56$ [W/(mK)])</td><td>17,5</td><td>cm</td></tr> <tr><td>Gipsputz</td><td>1,0</td><td>cm</td></tr> </table> <p>interior</p>	Außenputz armiert	1,0	cm	Wärmedämmstoff EPS	6,0	cm	Wärmedämmstoff EPS	16,0	cm	Mauerwerk($\lambda=0,56$ [W/(mK)])	17,5	cm	Gipsputz	1,0	cm	<p>Bausystem: Massivbauweise</p> <p>Äußerste Nutzschrift: Außenputz armiert</p> <p>Tragebene: Mauerwerk</p> <p>Installationsebene: nicht vorhanden (in Tragebene)</p> <p>Luftdichtheitsebene: Gipsputz</p> <p>Dämmebene: Wärmedämmstoff EPS – 2-lagig</p> <p>Winddichtheitsebene: Außenputz armiert</p> <p>Innerste Nutzschrift: Gipsputz</p>	<p>System Nr.: 2</p> <p>U- Wert: 0,15 W/m²K</p> <p>Dicke: 41,5 cm</p> <p>Quelle: [28]</p> <p>Schnittbild: Abb. 3.44</p>												
Außenputz armiert	1,0	cm																												
Wärmedämmstoff EPS	6,0	cm																												
Wärmedämmstoff EPS	16,0	cm																												
Mauerwerk($\lambda=0,56$ [W/(mK)])	17,5	cm																												
Gipsputz	1,0	cm																												
	<p>exterior</p> <table border="0"> <tr><td>Holzverkleidung (Lärche)</td><td>2,0</td><td>cm</td></tr> <tr><td>Lattung 30/60</td><td>3,0</td><td>cm</td></tr> <tr><td>Diffusionsoffene Folie $sd < 0,3m$</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Steinwolle zw. Lattung 80/60</td><td>8,0</td><td>cm</td></tr> <tr><td>Steinwolle</td><td>8,0</td><td>cm</td></tr> <tr><td>Massivholz (z.B. KLH)</td><td>9,5</td><td>cm</td></tr> <tr><td>Lattung auf Schwingbügel</td><td>5,0</td><td>cm</td></tr> <tr><td>Glaswolle</td><td>5,0</td><td>cm</td></tr> <tr><td>Gipsfaserplatte</td><td>1,0</td><td>cm</td></tr> </table> <p>interior</p>	Holzverkleidung (Lärche)	2,0	cm	Lattung 30/60	3,0	cm	Diffusionsoffene Folie $sd < 0,3m$			Steinwolle zw. Lattung 80/60	8,0	cm	Steinwolle	8,0	cm	Massivholz (z.B. KLH)	9,5	cm	Lattung auf Schwingbügel	5,0	cm	Glaswolle	5,0	cm	Gipsfaserplatte	1,0	cm	<p>Bausystem: Holzmassivbau</p> <p>Äußerste Nutzschrift: Holzverkleidung</p> <p>Tragebene: Massivholz (z.B. KLH)</p> <p>Installationsebene: Lattung auf Schwingbügel</p> <p>Luftdichtheitsebene: Massivholz</p> <p>Dämmebene: Steinwolle, mehrlagig</p> <p>Winddichtheitsebene: diffusionsoffene Folie</p> <p>Innerste Nutzschrift: Gipsfaserplatte</p>	<p>System Nr.: 3</p> <p>U- Wert: 0,16 W/m²K</p> <p>Dicke: 41,5 cm</p> <p>Quelle: [36]</p> <p>Schnittbild: Abb. 3.45</p>
Holzverkleidung (Lärche)	2,0	cm																												
Lattung 30/60	3,0	cm																												
Diffusionsoffene Folie $sd < 0,3m$																														
Steinwolle zw. Lattung 80/60	8,0	cm																												
Steinwolle	8,0	cm																												
Massivholz (z.B. KLH)	9,5	cm																												
Lattung auf Schwingbügel	5,0	cm																												
Glaswolle	5,0	cm																												
Gipsfaserplatte	1,0	cm																												



exterior		
Holzverkleidung	2,4	cm
Lattung	2,4	cm
Holzwoleleichtbauplatte	5,0	cm
MDF- Platte	1,5	cm
Mineralwolle zwischen	24,0	cm
Konstruktionsholz 60/240	24,0	cm
Holz-Stegträger	35,6	cm
OSB luftdicht verklebt	1,5	cm
Gipsfaserplatte bzw. GKF	1,5	cm
interior		

Bausystem:	Holzrahmenbauweise - Tafelbauweise
Äußerste Nutzschiicht:	Holzverkleidung
Trageebene:	Konstruktionshölzer und Beplankung
Installationsebene:	nicht vorhanden (in Dämmebene)
Luftdichtheitsebene:	OSB Werkstoffplatte
Dämmebene:	Mineralwolle
Winddichtheitsebene:	MDF- Platte
Innerste Nutzschiicht:	Gipsfaserplatte

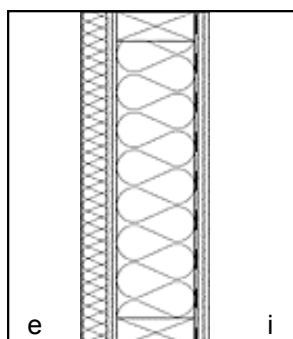
System Nr.:	4
U- Wert:	0,15 W/m²K
Dicke:	38,3 cm
Quelle:	[36]
Schnittbild:	Abb. 3.46



exterior		
Putz	0,7	cm
Holzfaserdämmplatte	6,0	cm
Spanplatte P5	1,2	cm
Mineralwolle zwischen	24,0	cm
Konstruktionsholz 60/240	24,0	cm
Spanplatte P4	1,6	cm
Dampfbremse sd>7,0 m		
Mineralwolle zwischen	8,0	cm
Lattung 80/60	35,6	cm
Gipsfaserplatte bzw. GKF	1,0	cm
interior		

Bausystem:	Tafelbauweise
Äußerste Nutzschiicht:	Putz
Trageebene:	Konstruktionshölzer und Beplankung
Installationsebene:	Lattung 80/60
Luftdichtheitsebene:	Dampfbremse
Dämmebene:	Mineralwolle
Winddichtheitsebene:	Spanplatte P5
Innerste Nutzschiicht:	Gipsfaserplatte

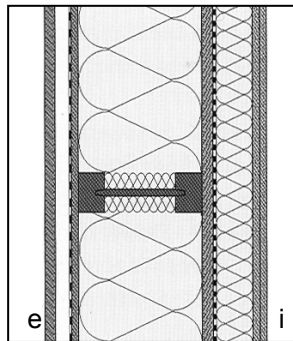
System Nr.:	5
U- Wert:	0,12 W/m²K
Dicke:	42,5 cm
Quelle:	[36]
Schnittbild:	Abb. 3.47



exterior		
Putz	0,4	cm
Polystyrol EPS-F	5,0	cm
Gipsfaserplatte	2,0	cm
Mineralwolle zwischen	24,0	cm
Konstruktionsholz 60/240	24,0	cm
Dampfbremse sd>13,0 m		
Gipsfaserplatte	2,0	cm
interior		

Bausystem:	Tafelbauweise
Äußerste Nutzschiicht:	Putz
Trageebene:	Konstruktionshölzer
Installationsebene:	nicht vorhanden (in Dämmebene)
Luftdichtheitsebene:	Dampfbremse
Dämmebene:	Mineralwolle
Winddichtheitsebene:	Putz
Innerste Nutzschiicht:	Gipsfaserplatte

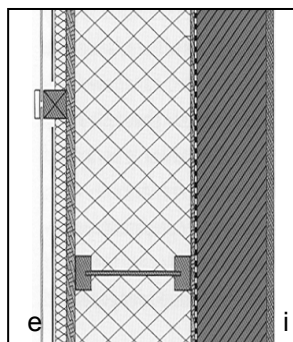
System Nr.:	6
U- Wert:	0,15 W/m²K
Dicke:	31,4 cm
Quelle:	[36]
Schnittbild:	Abb. 3.48



exterior		
Holzverkleidung (Schalung)	2,0	cm
Lattung (Hinterlüftung)	3,0	cm
TYVEK - Folie		
Gipsfaserplatte	1,25	cm
Mineralwolle zwischen	22,0	cm
TJI – Träger	22,0	cm
OSP Platte	1,9	cm
PE-Folie		
Mineralwolle	7,0	cm
Gipsfaserplatten (2x 1,25)	2,5	cm
interior		

Bausystem:	Holzrahmenbauweise - Tafelbauweise
Äußerste Nutzschiicht:	Holzverkleidung
Trageebene:	TJI- Träger und Beplankung
Installationsebene:	vorhanden
Luftdichtheitsebene:	PE-Folie
Dämmebene:	Mineralwolle
Winddichtheitsebene:	TYVEK - Folie
Innerste Nutzschiicht:	Gipsfaserplatten

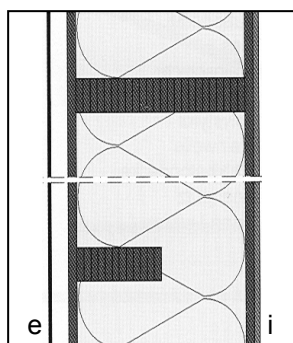
System Nr.:	7
U- Wert:	0,11 W/m²K
Dicke:	40,0 cm
Quelle:	[4]
Schnittbild:	Abb. 3.49



exterior		
Glasabdeckung + Luftschicht		
Absorber		
Steinwolle	3,0	cm
OSB – Platte	1,6	cm
Zellulosedämmung zwischen	30,2	cm
TJI – Träger	30,2	cm
OSB- Platte	1,1	cm
Folie		
Ziegelmauerwerk	18,0	cm
Innenputz	2,0	cm
interior		

Bausystem:	Tafelbauweise
Äußerste Nutzschiicht:	Glasabdeckung
Trageebene:	Ziegelmauerwerk
Installationsebene:	nicht vorhanden (im Mauerwerk)
Luftdichtheitsebene:	Innenputz
Dämmebene:	Zellulosedämmung
Winddichtheitsebene:	OSB- Platte
Innerste Nutzschiicht:	Innenputz

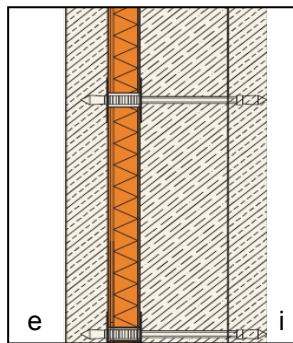
System Nr.:	8
U- Wert:	0,10 W/m²K
Dicke:	60,0 cm
Quelle:	[4]
Schnittbild:	Abb. 3.50



exterior		
Max - Kompaktplatten geklebt	0,6	cm
Konterlattung (3,7/6)	6,0	cm
OSB- Platte	1,8	cm
Steinwolle zwischen	36,0	cm
Konstruktionsholz BSH 6/36 (6/18)	24,0	cm
OSB luftdicht verklebt	1,8	cm
Gipskartonplatte	1,25	cm
interior		

Bausystem:	Tafelbauweise
Äußerste Nutzschiicht:	Putz
Trageebene:	Konstruktionshölzer
Installationsebene:	nicht vorhanden (in Dämmebene)
Luftdichtheitsebene:	Dampfbremse
Dämmebene:	Mineralwolle
Winddichtheitsebene:	Putz
Innerste Nutzschiicht:	Gipsfaserplatte

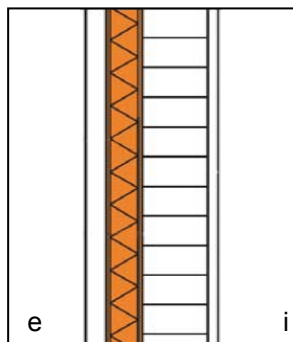
System Nr.:	9
U- Wert:	0,12 W/m²K
Dicke:	47,5 cm
Quelle:	[4]
Schnittbild:	Abb. 3.51



exterior		
Beton Außenschale	6,0	cm
Qasa VIP Dämmelement	5,0	cm
Ortbetonschicht	15,0	cm
Beton Innenschale	7,0	cm
interior		

Bausystem:	Holzrahmenbauweise - Tafelbauweise
Äußerste Nutzschiicht:	Beton Außenschale
Tragebene:	Ortbeton
Installationsebene:	nicht vorhanden (in Innenschale)
Luftdichtheitsebene:	Innenschale
Dämmebene:	VIP ¹¹
Winddichtheitsebene:	Außenschale
Innerste Nutzschiicht:	Innenschale

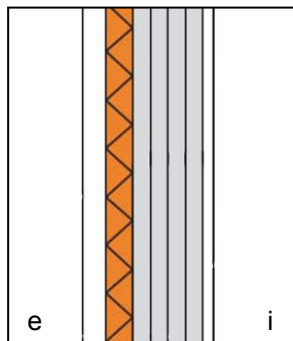
System Nr.:	10
U- Wert:	0,12 W/m ² K
Dicke:	33,0 cm
Wärmespeicherfähigkeit:	728 kJ/m ² K
Quelle:	[37]
Schnittbild:	Abb. 3.52



exterior		
Kerto - Holzwerkstoffplatte	3,3	cm
Qasa VIP ¹¹ Dämmelement	5,0	cm
KLH	9,4	cm
Micronal PCM ¹² - Platte	1,5	cm
interior		

Bausystem:	Tafelbauweise
Äußerste Nutzschiicht:	Kerto - Holzwerkstoffplatte
Tragebene:	KLH
Installationsebene:	nicht vorhanden (in KLH)
Luftdichtheitsebene:	KLH
Dämmebene:	VIP ¹¹
Winddichtheitsebene:	VIP ¹¹
Innerste Nutzschiicht:	PCM ¹² Platte

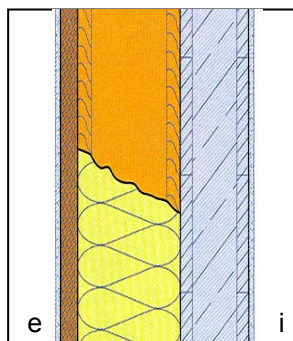
System Nr.:	11
U- Wert:	0,12 W/m ² K
Dicke:	19,2 cm
Quelle:	[37]
Schnittbild:	Abb. 3.53



exterior		
Kerto - Holzwerkstoffplatte	3,3	cm
Qasa VIP ¹¹ Dämmelement	5,0	cm
Magnum Board (4 x OSB 25mm)	10,0	cm
Micronal PCM ¹² - Platte	1,5	cm
interior		

Bausystem:	Tafelbauweise
Äußerste Nutzschiicht:	Kerto - Holzwerkstoffplatte
Tragebene:	Magnum Board
Installationsebene:	nicht vorhanden (in Magnum Board)
Luftdichtheitsebene:	Magnum Board
Dämmebene:	VIP ¹¹
Winddichtheitsebene:	VIP ¹¹
Innerste Nutzschiicht:	PCM ¹² Platte

System Nr.:	12
U- Wert:	0,12 W/m ² K
Dicke:	19,8 cm
Quelle:	[37]
Schnittbild:	Abb. 3.54



exterior		
Silikatputz auf Dickbett	2,5	cm
Holzwolleleichtbauplatte, magnesitgeb.	5,0	cm
Mineralwolle zw. Holz C-Stehern	30,0	cm
Holzspanbeton – Mauerwerk mit Kernbeton verfüllt	20,0	cm
Kalkzementputz	1,5	cm
interior		

Bausystem: Mischbauweise

Äußerste Nutzschiicht:	Silikatputz
Tragebene:	Holzspanbeton mit Kernbeton
Installationsebene:	nicht vorh. (in Holzspanbeton)
Luftdichtheitsebene:	Innenputz
Dämmebene:	Mineralwolle
Winddichtheitsebene:	Silikatputz
Innerste Nutzschiicht:	Kalkzementputz

System Nr.: 13

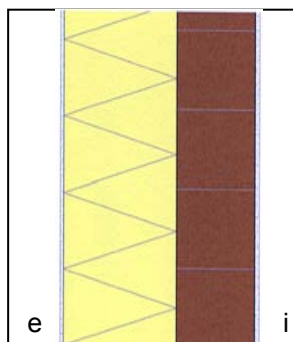
U- Wert: 0,12 W/m²K

Dicke: 59,0 cm

Wärmespeicherfähigkeit:
72 kJ/m²K

Quelle: [47]

Schnittbild: Abb. 3.55



exterior		
Silikatputz	1,0	cm
Mineralwolle	32,0	cm
Lehmziegel	25,0	cm
Lehmputz	1,5	cm
interior		

Bausystem: Massivbauweise

Äußerste Nutzschiicht:	Silikatputz
Tragebene:	Lehmziegel
Installationsebene:	nicht vorhanden
Luftdichtheitsebene:	Lehmputz
Dämmebene:	Mineralwolle
Winddichtheitsebene:	Silikatputz
Innerste Nutzschiicht:	Lehmputz

System Nr.: 14

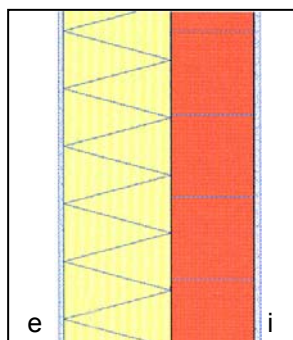
U- Wert: 0,12 W/m²K

Dicke: 59 cm

Wärmespeicherfähigkeit:
135 kJ/m²K

Quelle: [47]

Schnittbild: Abb. 3.56



exterior		
Silikatputz	0,5	cm
EPS Plus	26,0	cm
Hochlochziegel, schwer	20,0	cm
Kalkzementputz	1,5	cm
interior		

Bausystem: Massivbauweise

Äußerste Nutzschiicht:	Silikatputz
Tragebene:	Hochlochziegel
Installationsebene:	nicht vorhanden (in Ziegel)
Luftdichtheitsebene:	Kalkzementputz
Dämmebene:	EPS Plus
Winddichtheitsebene:	Silikatputz
Innerste Nutzschiicht:	Kalkzementputz

System Nr.: 15

U- Wert: 0,12 W/m²K

Dicke: 48 cm

Quelle: [47]

Schnittbild: Abb. 3.57

Anmerkungen des Autors

⁵ Als „**rosa Rauschen**“ bezeichnet man ein Geräusch, dessen Sendeschallpegel im Frequenzbereich zw. 100 und 3150 Hz in jeder Terz gleich groß ist.

⁶ Als **technische Lebensdauer** wird der Zeitraum angesprochen in dem ein Bauteil oder Bauwerk physisch zur Verfügung steht und den geforderten Eigenschaften ohne Einschränkungen entspricht. [Univ. Prof. Dr. Ing. Wolfdieter Kalusche, Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr. H.-R. Schaller, Technische Lebensdauer von Bauteilen und wirtschaftliche Nutzungsdauer von Gebäuden, S. 2]

⁷ Als **Autoklav** bezeichnet man einen gasdicht verschließbaren Druckbehälter. Anwendung finden Sie in der Lebensmittelherstellung, in der Medizin zur Sterilisation und in der Technik bei der Herstellung von Kalksandstein und Porenbeton. [Internetrecherche am 15.12.2007 um 15:00, <http://de.wikipedia.org/wiki/autoklav>]

⁸ **Anisotropie** bezeichnet die Richtungsabhängigkeit eines Vorganges oder einer Eigenschaft. [Quelle: <http://de.wikipedia.org> am 16.12.2007 um 15:29] Ein klassischer anisotroper Baustoff ist Holz, da sich dieser in Abhängigkeit der Faserrichtung unterschiedlich verhält (Belastbarkeit, Schwinden etc.).

⁹ Die Tabelle zeigt, ob es durch gezielten Aufbau bzw. Materialeinsatz möglich ist, dass eine Funktionsschicht gem. Abschnitt 3.d.ii. die Aufgaben einer anderen übernehmen kann. Die mit „+“ gekennzeichnete Verknüpfung zeigt eine Vereinbarkeit ohne besondere Maßnahmen. Hier ist lediglich auf die Ausführung zu achten. Die mit „~“ klassifizierte Kombination ist nur mit höhe-

rem Aufwand und unter besonderem Materialeinsatz lösbar, aber möglich. „-“ kennzeichnet eine nicht vereinbare Funktionszusammenführung. Ausgenommen sind in manchen Fällen Bauweisen, die ohnehin nur aus einer Funktionsschicht bestehen – hier müssen alle Funktionen übernommen werden.

¹⁰ Die Auflistung der erprobten Wandsysteme für den Passivhausbau soll einen Überblick über verschiedene Konstruktionsarten, Ebenenanordnung und Auswirkungen auf die Konstruktionsdicke bei vergleichbarer Wärmedämmleistung liefern. Es ist nur eine kleine Auswahl an möglichen Systemen behandelt. Weitere Systeme sind in [47] und in den Publikationen des IBO (<http://www.ibo.at>) zu finden.

¹¹ **VIP** steht für Vacuum Insulation Panel. Es handelt sich hierbei um einen Sandwichbaustoff, der meist aus einer hochgasdichten metallisierten Umhüllungsfolie mit einem Füllstoff aus pyrogener Kieselsäure besteht. Der Folienzwischenraum wird evakuiert. Genaue Informationen zum Baustoff VIP sind in [24] sowie in Abschnitt 5 und 6 zu finden. Die in den im Abschnitt 3.d.iv. angeführten Beispielaufbauten 10 -12 sind mit einem, unter dem Markennamen „Qasa“ [37] verfügbaren Dämmelement bestehend aus einem VIP mit beidseitiger Verklebung mit Deckschichten aus MDF oder PUR-Platten versehen. Die VIP Elemente haben inkl. Alterungszuschlag eine Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,008$ [W/(mK)]. Im belüfteten Zustand (z.B. durch Beschädigung der Umhüllungsfolie beim Einbau) ist aufgrund der schlechten Leitfähigkeit des Füllstoffes eine Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,020$ [W/(mK)] in Rechnung zu stellen [37]. VIP sind meist in Plattendicken von 1,0 - 5,0cm verfügbar.

¹² **PCM** steht für Phase Change Material. Dabei handelt es sich um Stoffe, die durch

den Schmelz – und Erstarrungsvorgang in der Lage sind, bei nahezu konstanter Stofftemperatur große Wärmemengen aufzunehmen und wieder abzugeben. [Internetrecherche am 02.01.2008 um 11:30, <http://www.rubitherm.com>] Man nennt diese Art der Wärmespeicherung Latentwärmespeicherung. Meist werden Stoffe auf Paraffin- bzw. Salzhydratbasis verwendet, die dann durch die Integration in Plattenbaustoffen als Beplankungsmaterial verwendet werden können.

4. Konzept zur Erstellung eines optimierten Wandsystems

a. Funktionsdefinition

i. Problemstellungen

Flächenverluste:

Wie bereits in den einleitenden Ausführungen in Abschnitt 1 und 2 beschrieben, und anhand der gezeigten Wandsysteme in Abschnitt 3.iv., geht mit der Verwendung eines herkömmlichen Wandaufbaues mit einem, für den Einsatz im Passivhausbau, geeigneten Wärmedurchgangswiderstand von $U < 0,15 \text{ [W/m}^2\text{K]}$ ein Flächenverlust der nutzbaren Wohnnutzfläche aufgrund der großen Konstruktionsdicken einher. Baudicken im Bereich von 35-60 cm sind üblich. Den größten Einfluss auf die Konstruktionsdicke hat die Tragebene und die Dämmebene. Deshalb wird in vielen Systemen eine Verbindung bzw. Kombination in einer Ebene dieser beiden Funktionen unternommen. Dadurch entsteht jedoch unweigerlich, je nach Konstruktion, eine lineare bzw. punktuelle Schwächung der Dämmebene. Tragsysteme wie die der Wandsysteme 1, 7 und 8 (nach Abschnitt 3.iv.), stellen schon eine Optimie-

rung der Konstruktion und eine Reduktion der Wärmebrücken dar.

Anwendungen und zielführender Einsatz einer reduzierten Wanddicke kann in vielen Fällen Sinn machen. Neben den Eingangs erwähnten Nutzungen für Kleingartenhäuser ist eine Umsetzung

- im Bereich des mehrgeschossigen verdichteten Wohnbaus
- bei hohen Grundstückspreisen
- bei Einschränkung durch die höchstzulässigen Bebauungsdichte
- bei Wänden zu Grundgrenzen oder
- Wänden zur Straßenfluchtlinie bzw. Baufluchtlinie
- Trennwände zu unbeheizten Gebäudeteilen

möglich bzw. denkbar.

Trennbarkeit der Bauteile:

Konstruiert man ein Wandsystem nach den Anforderungen aus Abschnitt 3.b., so ergibt sich aus mehreren Gründen die Forderung nach der möglichen Aufgliederung der Funktionsschichten bzw. Bauteile in deren Einzelkomponenten. Wird beispielsweise ein Wärmedämmverbundsystem aus EPS und einem armierten Kunstharzputz verwendet, ist eine Wiederverwertung des Dämmstoffes nur mit großem

energetischen und maschinellen Aufwand möglich.

Ist ein Wandsystem so aufgebaut, dass eine Zerlegung in die einzelnen Bauteile bzw. Baustoffe mit geringem Aufwand möglich ist, können folgende Vorteile entstehen:

- Auswechselbarkeit bei Beschädigung, Erreichen der maximalen Lebensdauer einzelner Bauteile (Fassadenbauteile, Dämmelemente etc.)
- Leichtere Wartung von verdeckten Installationen, Konstruktionen, Stosstellen etc.
- Wiederverwendbarkeit
- Bessere Einbindung in den Recyclingprozess, da alle Bauteile bzw. Baustoffe dem entsprechenden Verwertungsverfahren zugeführt werden können.
- Leichtere Abänderbarkeit (z.B. der Oberflächengestaltung)

Verarbeitung:

Je größer die Ansprüche im handwerklichen Sinn an eine korrekte Ausführung der Konstruktionselemente werden, desto wichtiger ist es eine Konstruktionsweise zu finden die:

- Fehler einfach erkennen lässt.
- es ermöglicht Fehler auf einfache Weise auszubessern

- falsche oder fehlerhafte Montage aufgrund der Bauweise minimiert
- durch klare Anschlussdetails und Bauprinzipien Sicherheit für den Verarbeiter schafft.

Verbindungen müssen daher dauerhaft zuverlässig und beständig gegen die einwirkenden Einflüsse ausgeführt sein.

Ein gewisses Maß an Bautoleranz im Bereich der Anschlüsse bietet dem Verarbeiter die Möglichkeit, notwendige Korrekturen durchführen zu können.

ii. Einsatzzweck

Im Folgenden wird der Einsatzzweck des Wandsystems definiert, welcher als Grundlage aller Annahmen, Berechnungen und Analysen dient. Die Verwendung unter anderen Bedingungen bedarf möglicherweise abgeänderter Konstruktionen oder zusätzlicher Maßnahmen.

Entworfen wird ein Außenwandsystem für Bauteile gegen Außenluft (nicht erdberührt) zum Einsatz im Passivhausbau, welches infolge allen daraus entstehenden Anforderungen wie z.B. Luftdichtheit, Winddichtheit und Wärmeschutz genügen muss.

Das Wandsystem soll als Fertigteil oder Halbfertigteil ausgelegt werden und zum größten Teil unter kontrollierten Bedingungen in Werkshallen vorgefertigt und auf gleich bleibende Qualität kontrolliert werden können.

Der Einsatzzweck entspricht vorwiegend der Herstellung von Bauwerken mit der Nutzung zu Wohnzwecken, nicht gewerblicher Nutzung und einer maximalen Anzahl von zwei Geschossen.

Für den Einsatz in öffentlichen Bauwerken bzw. Bauwerken für größere Menschenansammlungen

oder größeren Bauhöhen sind zusätzliche Massnahmen hinsichtlich der statischen Auslegung der Konstruktion, Brandschutz und Schallschutz zu treffen.

Als Errichtungsstandort für die Berechnungen wird Wien (Österreich) gewählt. Aufgrund geänderter klimatischer Verhältnisse bzw. anderer Anforderungen an die Bauweise durch Baugesetze, Normen und Richtlinien ist die Eignung für jeden abweichenden Standort separat zu überprüfen.

Angaben zu Kosten und Materialkennwerte beziehen sich auf den Zeitraum der Erstellung dieser Arbeit.

Ziele für den Entwurf sind:

- Möglichst schlanke Konstruktion zur Minimierung des Flächenverlustes durch die benötigte Konstruktionsdicke inklusive aller Fassadenkonstruktionen und allenfalls vorhandenen Innenbekleidungen. (Dimensionsoptimierung)
- Wärmeschutz, Luftdichtheit, Winddichtheit entsprechend der Anforderungen an die Bauweise von Passivhäusern. (Dämmungsoptimierung)
- Konstruktionen und Anschlüsse, die bei korrekter Ausführung und zweckmäßiger Verwendung

keine Schäden durch Kondensat hervorrufen.

- Bereitstellung von standardisierten Anschlussdetails, Durchdringungen und Konstruktionsweisen. (fertigungstechnische Optimierung)
- Schaffung einer dauerhaften Konstruktion (Die Lebensdauer für die Tragkonstruktion wird mit 60 Jahren angenommen) und der Möglichkeit entstandene Schäden bzw. notwendige Sanierungszyklen mit einem geringem Maß an Aufwand realisieren zu können.

iii. Realisierungsgrenzen

1. Kosten

In diesem Abschnitt werden die durchschnittlichen Herstellungskosten für ein tragendes Außenwandsystem mit herkömmlichen Konstruktionen unter Angabe der einzelnen berücksichtigten Aufbauten nach [48-50] ermittelt.

Die Herstellungskosten in Euro [€] inkl. Mehrwertsteuer (19%) je m² Wandsystem sowie einem Regionalfaktor von 1,110 (Wien) für folgende Wandsysteme nach Abschnitt 3.iv. werden ermittelt:

Wandsystem Nr.:	2
WDVS (22 cm)	€ 64,00 ¹³
Mauerwerk aus Hochlochziegel (17,5 cm)	€ 64,40
Innenputz Gips	€ 24,40
Innenanstrich Dispersion	€ 7,70
SUMME	€ 160,50

Wandsystem Nr.:	4
Nadelholzbekleidung auf Lattung hinterlüftet, Fensterlaibungen, Tierenschutzgitter.	€ 96,60
Holzwoleleichtbauplatten	€ 22,00
Holzrahmenkonstruktion, Konstruktionsvollholz, Dämmung, Beplankung mit Holzwerkstoffplatten	€ 111,00
Einseitige Bekleidung mit Gipskarton d = 12,5mm, Oberfläche malerfertig	€ 48,80

Innenanstrich Dispersion inkl. Vorbehandlung	€ 8,80
SUMME	€ 287,20

Wandsystem Nr.:	5
Außenputz 2-lagig	€ 44,00
Holzwoleleichtbauplatten	€ 22,00
Holzrahmenkonstruktion, Konstruktionsvollholz, Dämmung, Beplankung mit Holzwerkstoffplatten	€ 111,00
Gipskarton Vorsatzschale feuchtraumgeeignet	€ 56,60
Innenanstrich Dispersion inkl. Vorbehandlung	€ 8,80
SUMME	€ 242,40

Tab. 4.1

Kostenabschätzung für Beispielwandsysteme aus Abschnitt 3.iv.

Die Kosten für das entworfene Wandsystem können aufgrund der fehlenden Montage- und Herstellungserfahrung der Sonderbauteile nur auf die Materialkosten beschränkt werden. Für die Herstellung der Tragkonstruktion und der standardisierten Elemente wie Fassadenbekleidung und Montage von Gipskartonplatten werden vergleichbare Werte aus [48-50] verwendet.

Wandsystem	Entwurf
Plattenfassade aus Faserzementplatten geschraubt auf Unterkonstruktion.	€ 71,70
Vakuumdämmpaneel Fabr. „Variotec“ Typ „Quasa“ (VIP d=4 cm) [37]	€ 119,00 ¹⁴
Materialkosten für	€ 15,30

Sandwichkonstruktion mit integriertem VIP (2x OSB 3 18mm)	
Aufbringen Dampfsperre	€ 4,40
Tragkonstruktion	€ 35,40
Einseitige Bekleidung mit Gipskarton d = 12,5mm, Oberfläche malerfertig	€ 48,80
Innenanstrich Dispersion inkl. Vorbehandlung	€ 7,70
Kleinteile Eisen (Befestigungsmittel inkl. Bohr und Stemmarbeiten). Annahme: 1kg /m ² Wandfläche	€ 4,90
SUMME	€ 307,20
SUMME ALTERNATIV Ohne Beplankung Gipskarton und Anstrich	€ 250,70

Tab. 4.2

Kostenabschätzung für den gegenständlichen Entwurf eines Wandsystems

2. Arbeitsgenauigkeit

Aufgrund der Entscheidung der zumindest teilweisen Vorfertigung der Wandelemente, sowie als Grundlage für die Berechnungen und der thermischen Simulation der Bauteile ist es notwendig, gewisse Annahmen für die Arbeitsgenauigkeit bzw. dadurch entstehende Spaltmasse respektive Fugen zu treffen. Nach Angaben aus [51] entsteht bei der Fertigung der „Quasa“ (siehe Abschnitt 5, 6) Elemente aufgrund des hohen Vorfertigungsgrades keine Fuge. Im Verbund der Wandelemente ist mit einer Fugenbildung von 3-5 mm zu rechnen. Diese Fuge wird mittels Kompri-

band unterlegt. Für Simulationszwecke wird ein Spaltmaß von 5 mm angenommen.

3. Materialeigenschaften

Alle verwendeten Baustoffe müssen hinsichtlich folgender Punkte auf das System abgestimmt werden. Einige Anforderungen können nur durch Versuche bzw. aufgrund empirischer Werte nachgewiesen werden (z.B. Verträglichkeit der Klebstoffe zur Verbindung der Dämmelemente mit Holzwerkstoffplatten):

- Verträglichkeit der Produkte untereinander (Vermeidung von unerwünschten Veränderungen der Materialeigenschaften durch Korrosion, Verlust von produktspezifischen Eigenschaften wie Elastizität, Tragkraft, etc.)
- Beständigkeit (Auswahl der Produkte anhand der Beanspruchung durch Witterung, Lasteinflüsse, etc., um die angestrebte Lebensdauer gewährleisten zu können (Alterungseigenschaften).
- Eignung hinsichtlich der Beanspruchbarkeit durch die Nutzer
- Eignung hinsichtlich der in Abschnitt 3.b.vii erarbeiteten Anforderungen, welche auf die Materialeigenschaften zurückzuführen sind.

b. Material- und Konstruktionswahl

i. Grundsätze

Im folgenden Abschnitt wird der, aufgrund der bisher erörterten Anforderungen und Grundsätze aufgebaute Wandaufbau und dessen Funktionsweise beschrieben. Während der Entwurfsarbeit entstanden mehrere Varianten, die aus den verschiedensten Gründen nicht allen Anforderungen entsprachen. Diese Varianten werden nicht behandelt.

Es wird im folgenden Abschnitt nur ein Überblick über die gewählten Baustoffe und Konstruktionsweisen gegeben. In den Abschnitten 5 - 6 wird schrittweise die Optimierung des Systems hinsichtlich Dimension (Wanddicke), Dämmstandard und Fertigungs- und Fügetechnik dokumentiert. Im Abschnitt 7 werden diverse Angaben gegeben, und Nachweise zum statischen System sowie mehrdimensionale Simulationen zu bauphysikalischen Fragen geführt.

Aufgrund der rein theoretischen Abhandlung, können im Fall einer praktischen Umsetzung weitere Optimierungsschritte und Weiterentwicklungen notwendig sein.

Bei der Material bzw. Baustoffwahl wurde besonders darauf geachtet, dass das Wandsystem aus Komponenten besteht, die bereits am Markt erhältlich sind, und durch die spezialisierten Hersteller entwickelt wurden.

In einigen Fällen wird ein Ausblick auf mögliche zukünftige Lösungsmöglichkeiten gegeben.

Die nachfolgend beschriebene Konstruktion wurde anhand der in Abschnitt 4.a. zusammengestellten Anforderungen entworfen.

Die Annahmen zu den maximalen Konstruktionsgrößen (Wandhöhe, Deckenspannweite, Konstruktionsraster) sind in Abschnitt 7 aufgelistet. Die gezeigte Konstruktion entspricht den maximalen Anforderungen. Bei Wahl von geringeren Größen, sollte aufgrund der Wirtschaftlichkeit und der Ökonomie eine Neubewertung der Dimensionierung des Tragsystems erfolgen.

Legende

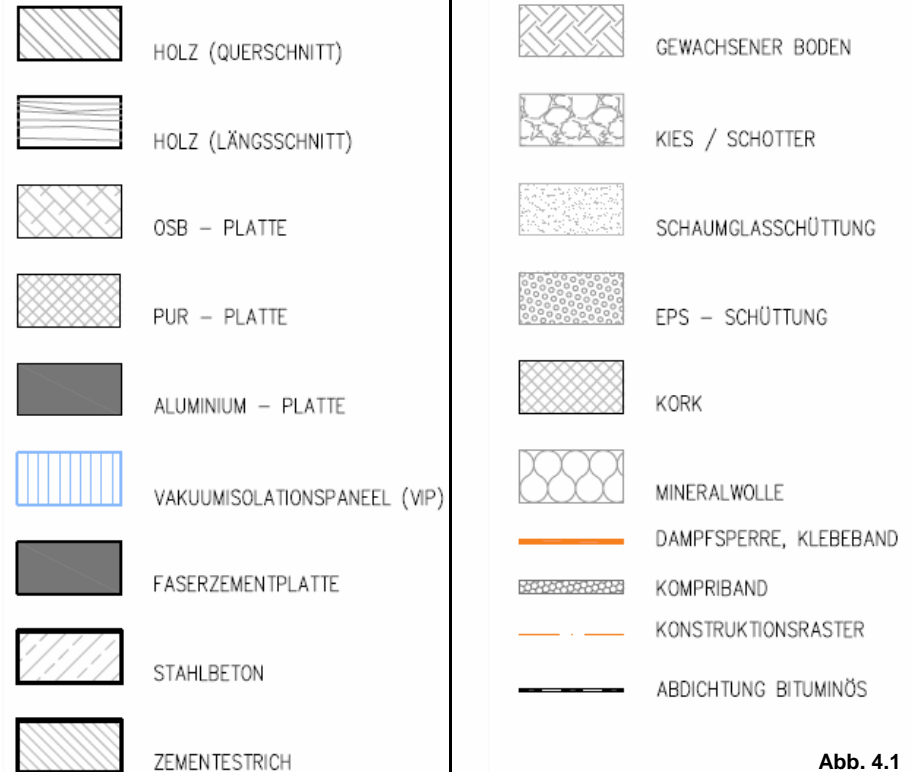


Abb. 4.1
Zeichungslegende

ii. Konstruktionswahl

1. Allgemeine Beschreibung des Entwurfs, Aufbau und Konstruktionsprinzip

Das Wandsystem besteht aus folgenden vier Grundelementen:

- Skelettkonstruktion, bestehend aus Vollholzstehern, Schwellholz und Riegel zur Einleitung der Deckenlasten. Dimensionierung siehe Abschnitt 7
- Aussteifungs- und Füllelement, bestehend aus einer 5 cm dicken Vollholzlage (Pfosten mit Nut – Feder Verbindung, Mehrschichtplatten, etc. - Oberfläche als Sichtfläche möglich) und einer OSB /3 Platte 18 mm mit der die notwendige Aussteifung und Scheibenwirkung erzielt werden soll. im Zwischenraum wird die Dampfbremse eingearbeitet, und ist vor Beschädigungen geschützt.
- Dämmelement Fabr. Variotec, Typ „Quasa“ [37], bestehend aus jeweils einer 4,0mm PUR - Massivplatte und einer 0,6mm Aluminiumplatte mit dazwischen liegendem Vakuumisolationspaneel (VIP) mit einer Dicke von 4,0 cm sowie einer aufgeklebten OSB Platte mit 18 mm Dicke als Schutzebene und zur Aufnahme

der Kräfte durch die Befestigung.

- Fassadenbekleidung, bestehend aus einer vertikalen Lattung welche zur Klemmung der Dämmelemente und zur Befestigung der Fassadentafeln verwendet wird und der Fassadenbekleidung aus Faserzementtafeln, Fassadensperrholz oder anderen Bekleidungen.

Basierend auf einem Konstruktionsraster von 625 mm ergibt sich für alle Elemente eine optimale Ausnutzung und möglichst verschnittfreie Bauweise. Da beinahe alle Werkstoffe auf diese Masse abgestimmt sind (Holzwerkstoffplatten, Gipskartonplatten oder Gipsfaserplatten (für ev. Innenverkleidung) und Fassadenplatten ist lediglich für die Dämmelemente ein „Sonderformat“ anzufertigen, was aufgrund der industriellen Vorfertigung, der Größe innerhalb der maximal fertigmöglichen Abmessungen und der Stückzahlen kein Problem darstellt.

Die Wände können vollständig im Werk vorgefertigt werden. Aufgrund der Befestigungsweise der VIP-Dämmelemente können diese im Fall einer Beschädigung bzw. bei Abänderungen oder Umbauarbeiten einzeln ausgetauscht werden.

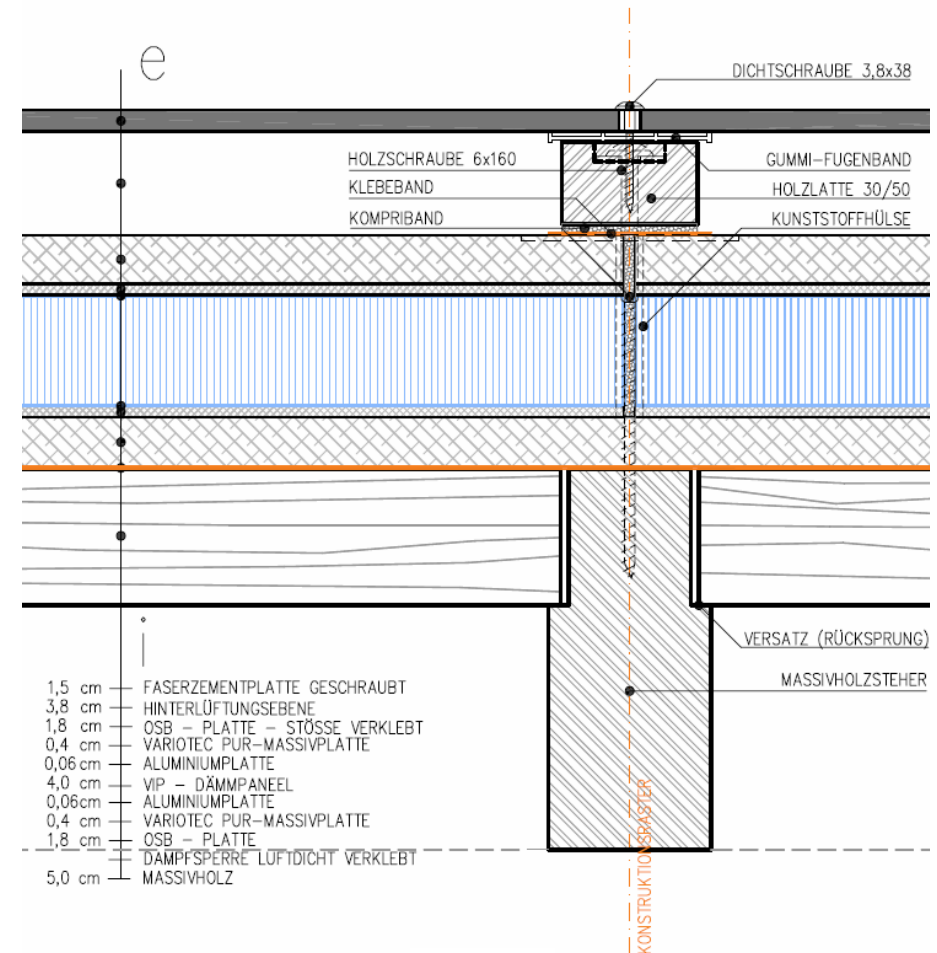


Abb. 4.2
Wandaufbau mit Dämmungsstoß und Befestigungssystem

2. Statisches System

Das Wandsystem ist auf einem Konstruktionsraster von 62,5 cm aufgebaut. Die für die beschriebene, und in Abschnitt 7 auch rechnerisch nachgewiesene maximale lichte Raumhöhe beträgt 3,00 m.

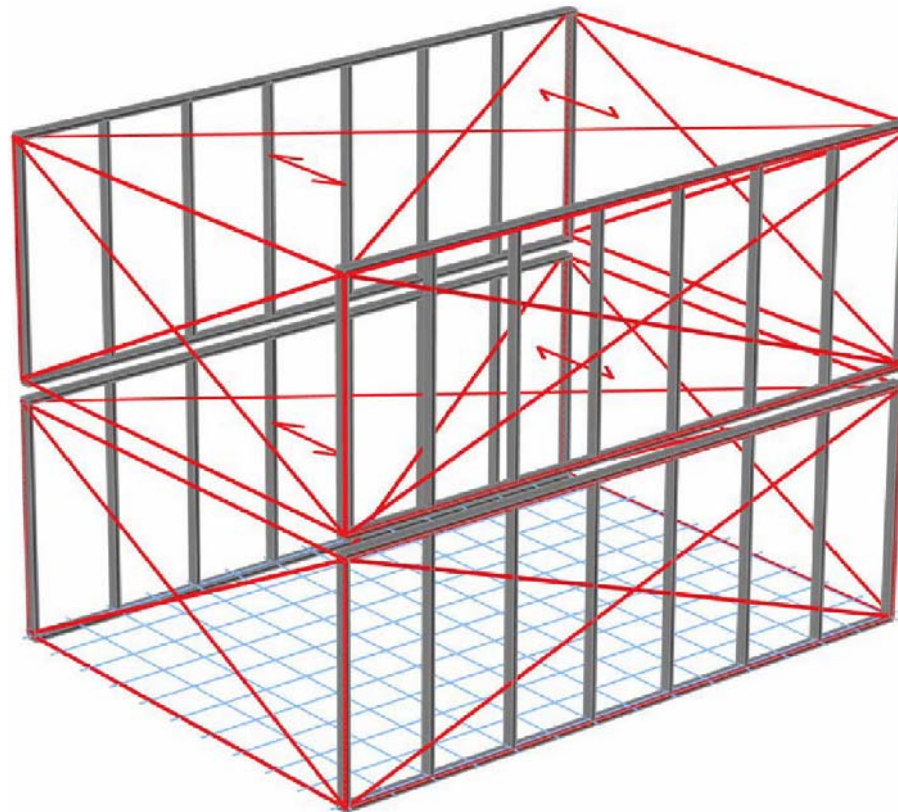
Aussteifung:

Es wird von der Ausführung der Decke als statisch wirksame Scheibe ausgegangen. Durch die verwendeten Plattenbaustoffe und deren großflächige Anordnung wirken die Wände ebenfalls als Scheiben.

Lastabtragung:

Die Dach- und Deckenlasten werden über einen Riegel gleichmäßig in die Steher eingeleitet, welche im Abstand von 125 cm (= 2x 62,5cm) angeordnet sind. Die maximale freie Knicklänge für die berechneten Steher beträgt 3,10 m. Die Vertikallasten aus den Stehern werden in weiterer Folge über das Schwellholz aufgenommen.

In Deckenspannrichtung beträgt die maximale lichte Raumweite 6,31 m, was sich aus der Anordnung von max. 10 x 62,5 cm Rastermass ergibt. Für größere Spannweiten ist



das System entsprechend anzupassen. Wände, die keine Deckenlasten aufnehmen müssen, werden ohne Steher ausgeführt.

Abb. 4.3
Darstellung des aussteifenden Systems und der Anordnung der lastabtragenden Elemente

3. Variabilität

Im Bereich der inneren und äußeren Oberflächengestaltung stehen viele unterschiedliche Varianten zur Auswahl.

Wahl des Aussteifungs- und Fülllements mit:

- fertiger Oberfläche (Holz gehobelt, gebürstet, etc.)
- Beplankung mit Gipskarton oder Gipsfaserplatte
- Ausfachung mittels Sandwichelement. (z.B. bestehend aus Dreischichtplatte und furnierten Platten)

Zu beachten ist, dass die Konstruktionsweise der Fassade auf die Möglichkeit des Austausches von defekten Platten ausgelegt sein sollte. Geklebte Plattensysteme oder Wärmedämmverbundsysteme wären zwar denkbar, ein Plattentausch würde dadurch jedoch nicht zerstörungsfrei und nur unter größerem Kostenaufwand möglich sein.

4. Anordnung der Funktionsebenen

Bausystem:	Skelettbauweise - Tafelbauweise
Äußerste Nutzschiicht:	Faserzementplatten / Fassadenbekleidung
Trageebene:	Holzsteher bzw. Massivholz + OSB (Querwände)
Installationsebene:	Elektroinstallationen in Massivholz, bzw. Vorsatzschale
Luftdichtheitsebene:	Dampfsperre
Dämmebene:	VIP – Quasa - Dämmelement
Winddichtheitsebene:	OSB Platte verklebt
Innerste Nutzschiicht:	Massivholz

5. Relevanz der Verwendung von VIP als Dämmstoff

Durch die Verwendung von Vakuumdämmpaneelen und der Anforderung eines vorgefertigten Produktes entstehen einige grundlegende, die Konstruktionsweise betreffende Problemstellungen:

- Wie können die VIPs befestigt werden, ohne diese bei der Montage unbeabsichtigt zu beschädigen?
- Wie müssen die Paneele angebracht werden, um dabei möglichst wärmebrückenfrei konstruieren zu können?
- Wie müssen die Anschlüsse ausgeführt sein, um möglichst viele gleichartige Elemente verbauen zu können?

- Wie kann ein belüftetes Paneel jederzeit ausgetauscht werden, ohne dabei Schäden an der Konstruktion oder der Fassade zu verursachen?
- Wie erfolgt die Verbindung der vorgefertigten Module, und die Montage auf der Baustelle?
- Welche Verarbeitungsbedingungen gelten für diese Konstruktionsweise?
- Kann bei Zerstörung eines Paneels in der Konstruktion schädliches Tauwasser anfallen?
- Welche Dicke des VIP ist wirklich erforderlich?

6. Betrachtung der Vor- und Nachteile der Konstruktion:

Vorteile:

- + geringe Konstruktionsdicke - dadurch Flächensparnis
- + schnelle Bauweise durch hohen Vorfertigungsgrad
- + geringes Eigengewicht des Wandsystems
- + geringe Verschattung der Fensterflächen durch geringe Leibungstiefe
- + freie Wahl der innersten Nutzschiicht.
- + Klare Detailausbildung durch die vorhandenen Anschlussdetails
- + Mögliche Erweiterbarkeit des Gebäudes durch die Schaffung von klaren Schnittstellen.
- + Hohe Qualität der Bauteile durch Vorfertigung unter kontrollierten Bedingungen

Nachteile:

- Hohe Anforderung an die Ausführungsqualität.
- Die Vakuumisolationspaneele sind besonders anfällig auf Beschädigung und benötigen besonders sorgfältige Verarbeitung.
- Schulung der mit der Verarbeitung betrauten Personen.
- Abweichungen vom Konstruktionsraster bedeuten Mehrkosten.
- Befestigung von Lasten an der Fassade nur bedingt möglich.
- Genaue Planung von Durchdringungen notwendig.
- Geringer Raum für Installationen.
- Zuschnitt der Bauelemente auf der Baustelle nicht möglich. Daher Forderung geringer Toleranzen.

Anmerkungen des Autors:

¹³ Der Preisangabe aus [50] wurde € 8,40 für die Mehrmenge von acht auf 22cm Dämmungsdicke hinzugefügt. (Ausgangspreis € 50,00/m³)

¹⁴ Diese Summe ergibt sich aus der interpolierten Preisangabe für die Sandwichelemente „Qasa“ der Fa. Variotec [37] (Dämmpaneel mit 3cm VIP Kern € 98,00, 5cm VIP Kern € 140,00) Preisangabe am 16.01.2008. Angabe ohne Montage und Herstellung des Klebeverbundes mit den Holzwerkstoffplatten.

5. Dimensions- und Dämmungsoptimierung

a. Strategien

Auf dem Weg zur Flächensparnis haben wesentliche Faktoren das gewählte Konstruktionsprinzip geprägt. Besonders wichtig erschien der schichtweise Aufbau anhand der Funktionsschichten und deren strikter Trennung. Dies alleine ermöglicht eine saubere und einfache Verarbeitbarkeit im Bereich der Anschlüsse, sowie die Möglichkeit im Produktionsablauf entscheidende Vereinfachungen herzustellen. Würde beispielsweise die Dampfsperre (Luftdichtheitsebene) nicht in einer Ebene verlaufen, ist ein Anschluss an ein anderes Bauteil respektive Element nur mit Mehraufwand und nicht ohne notwendige Einschnitte oder Passschnitte möglich.

Um eine Unabhängigkeit des Wandsystems für den jeweiligen Einsatzbereich zu schaffen, wurde zur Lastabtragung eine Holzskelettbauweise gewählt, die auf den speziellen Fall angepasst werden kann. Hier spielt auch die Ökonomie eine große Rolle, da bei geringen Anforderungen an das System, kleinere Querschnitte gewählt werden können. Durch diesen Schritt wäre auch die Aufbringung auf ein

Tragsystem aus anderen Baustoffen möglich.

Durch die klare Orientierung der Deckenspannrichtung ist auf einfache Weise jederzeit eine Erweiterung in Querrichtung möglich.

Flächensparnis:

Das beschriebene Wandsystem weist ohne Berücksichtigung der vorspringenden Tragkonstruktion (Achsabstand 125 cm) und mit dem gewählten Fassadensystem eine Baudicke von 182 mm auf. Die errechnete Stütze ragt jeweils weitere 90 mm in den Raum. Es ergibt sich also ein maximaler Flächenbedarf von 272 mm, was eine Halbierung des Flächenbedarfs eines herkömmlichen Passivhauswandsystems ermöglicht.

Um für den Bereich der Flächenbezeichnungen klare Aussagen treffen ist folgende Nomenklatur zu verwenden:

Gem. ÖNORM B 1800 (Ermittlung von Flächen und Rauminhalten von Bauwerken) [53] und der in Anlehnung an die DIN 277 erstellte Richtlinie zur Berechnung der Mietfläche für gewerblichen Raum (MF-G) [54] der GIF (Gesellschaft für Immobilienwirtschaftliche Forschung E.V.), können folgende Begrifflichkeiten verwendet werden:

▪ **Bruttoflächen und Brutto-rauminhalte**

Diese setzen sich jeweils aus den Nettoflächen und Netto-rauminhalten und den Konstruktionsflächen und Konstruktions-rauminhalten zusammen

▪ **Nettoflächen und Nettorauminhalte**

Entstehen durch die Differenz der Bruttoflächen und Brutto-rauminhalte abzüglich der umschließenden Flächen oder Rauminhalte. Dabei zählen demontierbare Teile, freistehende Rohre und Leitungen und Ausstattungsgegenstände nicht als Abzug für diese Größen. Nischenartige Vertiefungen, Flächen innerhalb von aufgehendem Mauerwerk etc. zählen grundsätzlich nicht hinzu, können nach [53] jedoch in projektspezifischen Fällen als diese ausgewiesen werden.

▪ **Konstruktionsflächen und Konstruktionsrauminhalte**

Ist die Differenz aus Brutto- und Nettoflächen bzw. Rauminhalten

▪ **Nutzfläche**

Nach der [54] zählt bei vorgehängten Fassaden (wozu dieses System gezählt werden kann, da die Skelettkonstruktion an sich tragfähig ist, und die Ausfachung durch andere Füll-elemente wie Glas oder andere Sandwichkonstruktionen ersetzt

werden kann) die Innenkante der Abschlussflächen (Holz, Glas etc.) als Begrenzung für die Nutzfläche. Die Steher (Pfosten) werden von der Fläche ebenfalls nicht abgezogen.

▪ **Mietfläche**

Die Richtlinie MF-G beschreibt ausführlich welche Flächen der Mietfläche hinzuzuzählen sind. Nicht zur Mietfläche zählen jedoch die Konstruktionsgrundflächen tragender Stützen, tragender oder statisch notwendiger Bauteile.

Für den gegenständlichen Entwurf bedeutet diese Erkenntnis, dass von der Bruttogrundrissfläche (entspricht der umschriebenen Fläche durch die Außenkante der Fassadenbekleidung) je Laufmeter Wandsystem mit tragender Funktion eine Fläche von ~0,186 m² abgezogen werden muss. Die äquivalente Wanddicke entspricht also 186 mm. Für das im Abschnitt 2 gezeigte Beispiel (Abb. 2.1) würde dies folgende Flächensparnis bedeuten:

Bruttogrundrissfläche:	50m ²
Konstruktionsgrundfläche:	5,07m ²
Nettogrundfläche:	44,93 m ²
Flächenverlust:	~10,1%

b. Tragebene

Die Tragebene besteht aus fünf verschiedenen Bauteilen, die jeweils unterschiedliche Aufgaben erfüllen:

- Steher
- Riegel
- Schwelle
- Ausfachung (Massivholzplatte bzw. Mehrschichtplatte)
- OSB – Platte

Steher:

Der Steher besteht aus Massivholz der Sortierungsklasse MS 13. In Abschnitt 7 ist der Stabilitätsnachweis für die Stütze geführt. Unter den gewählten Bedingungen betragen die Abmessungen 6/14 cm.

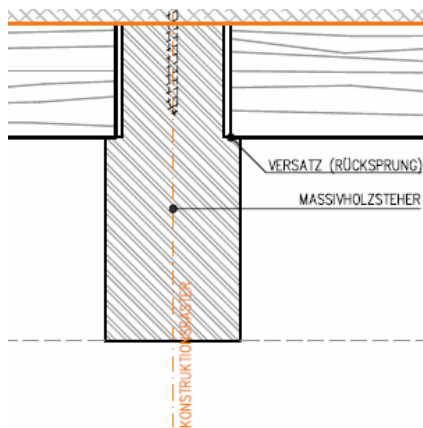


Abb. 5.1

Steher der Skelettkonstruktion Unter geringeren Lasteinflüssen bzw. bei geringeren Bauhöhen (Knicklängen) kann der Querschnitt reduziert werden. Die Breite von 6,0 cm sollte erhalten bleiben In einer Breite von 5 cm ist dieser mit einem Versatz (Rücksprung) von ca. 7mm versehen. Dieser Rücksprung bietet mehrere fertigungstechnische Vorteile:

- Bei der Produktion der Wandelemente können die Ausfachungsbauteile in die Konstruktion eingelegt werden, ohne zusätzlich befestigt werden zu müssen.
- Auftretende Spannungen durch Temperaturänderungen (Längenänderung), Verformungen durch Schwinden und Quellen sowie Maßtoleranzen von $\pm 2,0$ mm können so aufgenommen werden.
- Im Bereich der Fenster und Türanschlüsse ist eine Abdichtung der Anschlussfuge möglich, die später ohne Vorsprung überdeckt werden kann.
- Bei der Vergrößerung des Bauwerkes in Deckenspannrichtung bzw. bei der Ausbildung eines Auflagers für einen Deckenträger können 2 Steher mittels verdeckter Verbindung zusammengefügt werden. Bei der Ausarbeitung der Anschlussdetails (siehe Abschnitt 6 bzw.

Anhang) wurde darauf geachtet, alle Details mit dem gleichen Steher konstruieren zu können.

Riegel:

Der Riegel dient zur Einleitung der Decken und Dachlasten in die Stützen. Aufgrund der lastverteilenden Wirkung werden die Vertikalkräfte gleichmäßig in das System eingetragen.

Schwelle:

Die Schwelle besteht aus Brett-schichtholz mit einem hohen Anteil an parallel zur Faser gedrücktem Holz. (siehe Abb. 7.2) Dadurch werden Setzungen in vertikaler Richtung verringert bzw. vermieden. Aufgrund der Anforderung der Vermeidung von Fugenbildung in der Dämmebene (VIP) und der hohen Flächenbeanspruchung durch die schmalen Stützenquerschnitte, ist diese Ausbildung notwendig.

Ausfachung:

Der Steherzwischenraum wird in der Standardausführung mit einer Pfostenlage mit Nut – Feder Verbindung mit einseitig gehobelter Oberfläche (Sichtseite innen) in einer Dicke von 50 mm ausgeführt. Die Verbindung zur Lagefixierung kann mittels punktueller, einge-

schlagener Stahlwellblechklammern erfolgen. Auf vollständige Versenkung ist zu achten.

OSB - Platte:

Eine 18mm OSB/3 Platte dient:

- zum Schutz der darunter liegenden Luftdichtheitsebene und Dampfsperre
- zur genauen Positionierung der Steher und der Ausfachungselemente.
- zur Herstellung der Aussteifung quer zur Stützenachse.

Die Platten werden mit den darunter liegenden Bauteilen verschraubt und stumpf gestoßen. Alle Verbindungselemente sollten vollständig versenkt werden.

c. Dampfsperre, Luftdichtheitsebene

Die Luftdichtheitsebene und Dampfsperre werden durch eine Dampfsperrfolie, welche meist aus Verbundstoffen aus PE und Aluminium bestehen, mit einem s_d - Wert $> 1500m$ gebildet. Stöße müssen luftdicht verklebt werden. Grundsätzlich sind diese Folien jedoch mit einer Breite von bis zu 4,0 m und einer Länge von bis zu 50 m erhältlich, können also in einem Stück verlegt werden.

Aufgrund der dampfdichten Einhüllung der Vakuumdämmpaneele und des dadurch entstehenden diffusionsdichten Aufbaus, ist es notwendig, den anfallenden Wasserdampf nicht in das Bauteil eindringen zu lassen. Die an der Innenseite der Dampfsperre angeordnete Massivholzausfachung kann weiterhin als feuchteregulierender Baustoff eingesetzt werden. Umlaufend sollte die Dampfsperre ca. 20 cm über den Bauteilrand ragen, um alle Anschlüsse fachgerecht ausführen zu können. An den Elementstößen ist eine Überlappung und luftdichte Verklebung der Folienränder notwendig. Zusätzliches Klemmen (mechanisches Befestigen) der Stoßstellen ist anzustreben. Die vorgesehenen Regeldetails sehen in den meisten

Fällen eine diesbezügliche Detailausbildung vor.

Im Bereich der Fensteranschlüsse ist der Einbau gem. ÖNORM B5320 mit geeigneten Dichtbändern unbedingt erforderlich.

d. Dämmebene (Vakuumdämmung)

Aufgrund der Besonderheit des Einsatzes von Vakuumisulationspaneelen (VIP) in Wandsystemen wird in diesem Abschnitt der Baustoff detailliert beschrieben. Im vorliegenden Wandsystem werden die Vakuumisulationspaneele als Kernstück einer Verbundkonstruktion verwendet, welches unter Pkt. 5.d.viii beschrieben wird.

i. Vakuum, Definition und geschichtlicher Abriss

Vakuum (lat. vacuum = „leerer Raum“) ist, vereinfacht ausgedrückt, ein thermodynamischer Zustand in einem Raumbereich, in welchem ein Druck herrscht, der unter dem der Atmosphäre liegt [24]. Reduziert man durch Abpumpen aus einem Behältnis die Anzahl der Gasmoleküle, spricht man von „evakuieren“.

Je nach Grad der Verringerung der Gasmoleküle und dem im Behältnis (Raum) herrschenden Innendruck werden die technischen Vakua in unterschiedliche Größenordnungen eingeteilt (siehe Tab. 5.1). Als praktisch nicht herstellbar gilt die völlige Evakuierung eines Raumes.

Die Geschichte des Vakuums beginnt in der griechischen Antike im 5. Jh. V. Chr. Anhänger der „Atomischen Schule“ um die griechischen Philosophen Plato, Demokrit, Leukipp und später Epikur vertraten die These, dass sich Atome im Vakuum bewegen, und selbst bei engster Packung immer noch Zwischenräume mit dem „Nichts“ entstünden. [24, Internetrecherche am 09.05.2008, <http://de.wikipedia.org>]

Entgegengesetzter Meinung waren die Anhänger der „Kontinuumstheorie“ um den Philosophen Aristoteles, die den „horror vacui“ postulierten, der die Abneigung der Natur gegen das „Leere“ darstellte. [Internetrecherche am 09.05.2008, <http://de.wikipedia.org>]. Nach deren Vorstellung war die Welt als durchgehender, lückenloser Raum bestehend aus den Elementen Wasser, Erde, Feuer und Luft zu verstehen [24].

Die ersten Versuche mit dem Vakuum unternahm der Schüler Galileo Gallileis, Evangelista Torricelli, der 1643 einseitig verschlossene, randvoll mit Quecksilber gefüllte Rohre mit der offenen Seite unten in ein Quecksilberbad stellte, und herausfand, dass sich, unabhängig von der Länge des Rohres, der Flüssigkeitsspiegel nach dem Absacken immer auf die gleiche Höhe einpendelt. Oberhalb des Queck-

silberspiegels musste sich also Vakuum befinden.

1663 wurde das berühmteste Experiment zum Nachweis des luftleeren Raumes unter der Leitung von Otto von Guericke durchgeführt. Der Erfinder der Luftpumpe pumpte im Versuch mit den „Magdeburger Halbkugeln“ (Abb. 5.2) Luft aus zwei mit einem Lederriemen abgedichteten Kupferhalbkugeln, und lies zwei Pferdegespanne mit je acht Pferden an den beiden Halbkugeln ziehen. [24].

Durch den auf die Halbkugeln wirkenden Luftdruck vermochten die Gespanne die Halbkugeln nicht zu trennen.

Nach Erkenntnissen der modernen Physik ist der absolut leere Raum tatsächlich nicht vorhanden.



Abb. 5.2.

Versuch mit den „Magdeburger Halbkugeln“

ii. Physikalisches Prinzip, maßgebliche Grundbegriffe und Aufbau

Vakuumisolationspaneele funktionieren durch die Unterbindung bzw. Verringerung der Größenordnung der Wärmetransportmechanismen Wärmeleitung, Konvektion, Strahlung (siehe Abschnitt 3.b.ii.4. und 3.d.ii.6).

Durch die äußerst geringe Partikelgröße des Kernmaterials und der dadurch minimalisierten Berührungspunkte wird die Feststoffleitung erheblich reduziert.

Durch Senken des Luftdruckes im Porenzwischenraum des Kernmaterials wird auch der Wärmetransport durch Konvektion weit reichend unterbunden. Schließlich wird auch der Effekt der Strahlung durch den Einsatz von Trübungsmitteln im Kernmaterial verringert.

Nachfolgend soll die Funktionsweise und wichtige Grundbegriffe der VIP – Technik erklärt werden:

Vakuum:

Die Größe des Vakuums wird anhand des im betreffenden Raum herrschenden Druckes definiert. Daher gilt die SI-Einheit 1 Pascal [Pa] = 1 N/mm². Ebenfalls verwen-

det werden die Einheiten bar und mbar (1 Pa = 0,00001 bar = 0,01 mbar). Anhand der Größenordnung des Vakuums sind die in Tab. 5.1 gezeigten Begriffe mit den abgedeckten Bereichen dargestellt:

Vakuum-Bereich	Druck [Pa]	Teilchen-zahldichte [cm ⁻³]
Großvakuum	100-10 ⁵	10 ¹⁶ -10 ¹⁹
Feinvakuum	0,1-100	10 ¹³ -10 ¹⁶
Hochvakuum	10 ⁻⁵ -0,1	10 ⁹ -10 ¹³
Ultrahochvakuum	< 10 ⁻⁵	< 10 ⁹

Tab. 5.1
Druckbereiche [24]

Aufgrund der Verringerung der Teilchenzahl stehen den einzelnen Teilchen immer größere Zwischenräume entgegen. Dies wird durch die sog. mittlere freie Weglänge gemessen (MFP- mean free path). Bei der Herstellung von Vakuumisolationspaneelen (VIP) werden Drücke aus den Bereichen des Groß- bzw. Feinvakuums in der Größenordnung von 1 - 5 mbar = 100 – 500 Pa herangezogen.

Durch den Druckunterschied zwischen dem Atmosphärendruck und dem Innendruck von ca. 100 Pa in einem evakuierten VIP lastet ein Gewicht von ~ 10t/m² auf dem Paneel. Würde durch diese Last eine

Komprimierung (Zusammendrückung) erfolgen, würde dies zu einem Anstieg des Innendruckes führen, und der gewünschte Effekt könnte nicht entstehen.

Vakuumdämmpaneele funktionieren durch das Zusammenspiel von Hüllmaterial, Kernmaterial und dem im Porenraum des Kernmaterials befindlichen Gas und dessen niedrigen Gasdruck.

Gas

Im Regelfall wird Luft (eine Mischung aus N₂, O₂, Ar, CO₂, H₂ und anderen Edelgasen) das Zellgas im Porenraum des Kernmaterials darstellen.

Durch die Verringerung des Gasdruckes auf 1 mbar liegt die mittlere freie Weglänge für Luft (gemessen bei 20°C) bei 0,068 mm¹⁵. Bei Atmosphärendruck ist dieser Wert um drei Zehnerpotenzen geringer. Das bedeutet, dass die Zeit, zwischen den Zusammenstößen der Teilchen (Molekularbewegung) länger wird, und somit weniger Energie übertragen werden kann.

Kernmaterial

Verringert man die Porengröße des Kernmaterials auf ein Maß, welches geringer ist als jenes der druckabhängigen mittleren freien

Weglänge, wird der Wärmetransport über Konvektion nahezu unterbunden.¹⁸ [24]

Dies geschieht, neben den seltenen Zusammenstößen der Gasmoleküle mit den Porenwänden, durch den „Smoluchowski-Effekt“, der die Bewegungseinschränkung von Gasmolekülen in nächster Nähe der Wände und der dadurch unvollkommenen Energieübertragung beschreibt [24].

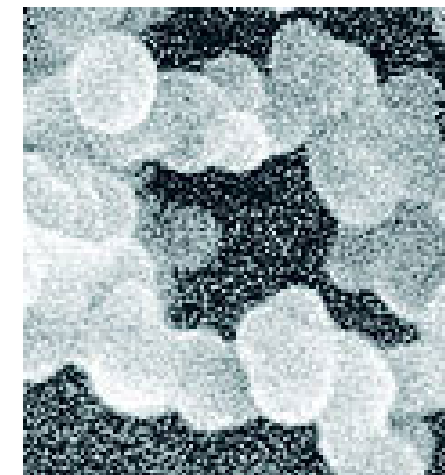


Abb. 5.3.
Struktur pyrogener Kieselsäure unter dem Elektronenmikroskop

In den meisten Fällen wird als Kernmaterial pyrogene Kieselsäure verwendet. Charakteristisch für diesen Füllstoff ist die besonders geringe Porengröße und die offene zellige Struktur. Daraus ergeben

sich folgende Vorteile gegenüber anderen Materialien:

- Durch den geringen Abstand der Porenwände in der Struktur wird die eben angesprochene freie Weglänge der Luftmoleküle bereits unter Atmosphärendruck so weit begrenzt, dass die Wärmeleitfähigkeit bei ca. 0,2 W/mK liegt.
- Weiters besitzt pyrogene Kieselsäure die Eigenschaft, andere Moleküle (z.B. Wasser) an der Oberfläche zu binden, was für die Anwendung in VIP von besonders großem Vorteil ist. (Bei anderen Kernmaterialien müssen sog. Getterstoffe eingesetzt werden, die die anfallende Feuchtigkeit chemisch binden). Nach [24] liegt das Adsorptionsvolumen im Bereich von 50g/kg Kernmaterial bei 75% rel. Luftf.
- Die offenzellige Struktur garantiert eine rasche und nahezu vollständige Evakuierbarkeit. Im Bereich geschlossener Hohlräume bestünde die Gefahr, dass die Zellwände dem Druck nicht dauerhaft standhalten können, und der Innendruck des VIP langsam ansteigt.

Der Stützkörper in den VIP besteht jedoch nicht zu 100% aus Kieselsäure, da diese mit Siliziumkarbid als Trübungsmittel und Zellulosefa-

sern vermischt werden [37]. Nach [56 und 24] gilt folgende Zusammensetzung:

Siliziumdioxid (SiO ₂)	80%
Siliziumkarbid (SiC)	15%
andere	5%

Das Kernmaterial weist eine ascheartige, opake Konsistenz mit folgenden Eigenschaften auf [24]:

- toxikologisch unbedenklich
- emissionsfrei
- gut rezyklierbar
- nicht brennbar

Die Herstellung des Stützkörpers erfolgt nach der Herstellung der Rohkomponenten durch Vermischen der Bestandteile (pyrogene Kieselsäure, Zellulosefasern, Siliziumkarbid), Pressen zu einer kompakten Platte und der Konfektionierung (Zuschnitt).

Durch den Einsatz eines Trübungsmittels wird der Emissionsgrad ϵ des Kernmaterials hinaufgesetzt und die Wärmeübertragung im evakuierten Raum durch Strahlung reduziert. Nachteilig wirkt sich die große Wärmeleitfähigkeit der eingesetzten Trübungsmittel aus (Siliziumkarbid besitzt eine Wärmeleitfähigkeit von ca. 0,45 W/mK).

Das Kernmaterial besitzt also, neben der Aufnahme der Kräfte durch

den Druckunterschied im Innenraum zum Umgebungsdruck und der Bindung von Restfeuchte, die Aufgabe die Strahlung innerhalb des Paneels zu minimieren [24].

Druck [mbar]	λ [W/(mK)]
0,1	0,004
40	0,005
100	0,008
1000	0,018

Tab.: 5.2

Wärmeleitfähigkeit pyrogener Kieselsäure mit einer Rohdichte von 160kg/m³ in Abhängigkeit des Gasdruckes. [24]

Für die Herstellung von pyrogener Kieselsäure wird Siliziumtetrachlorid benötigt, welches aus metallurgischem Silizium durch Auflösung in Salzsäure, anschließender Reinigung durch Destillation und Weiterverarbeitung im Siemens-Verfahren gewonnen wird. Durch Verbrennen in der Sauerstoffflamme entsteht pyrogene Kieselsäure.

Als Staubschutz werden die passfertig geschnittenen Blöcke des Kernmaterials meist in eine Vlies-schicht gehüllt.

Hüllmaterial

In den meisten Fällen kommen sog. metallisierte Hochbarrierefolien als Hüllmaterial zum Einsatz. Wichtige Kennwerte für die Qualität der Hüllfolie sind die Kennwerte für

die Sauerstoffdurchlässigkeit (OTR¹⁶ [cm³]) und Wasserdampfdurchlässigkeit (MVTR³ [g]), wobei sich für den Einsatz in VIP folgende Grenzwerte stellen lassen [24] und dabei die MVTR meist um den Faktor 10³ bis 10⁶ größer sein kann als die OTR, und somit den wesentlichen Einfluss trägt. [55]:

- OTR¹⁶ ≤ 0,01 cm³/(m² d bar) bei 23° C
- MVTR¹⁷ ≤ 0,01 -0,05 g/(m² d bar) bei 38°C und ~90% rel. Luftfeuchtigkeit

Für metallisierte Hochbarrierefolien liegt die OTR¹⁶ bei < 0,01 cm³/(m² d bar) und die MVTR¹⁷ bei weniger als 0,1 g/(m² d bar). [24]

Layer #	Material	Funktion	Dicke [µm]
1	PET	Schutzschicht, Trägerschicht (2)	12
2	Al	Barrierschicht	0,03
3	PUR	Klebstoff	2
4	Al	Barrierschicht	0,03
5	PP	Trägerschicht (4)	18
6	PUR	Klebstoff	2
7	Al	Barrierschicht	0,03
8	PET	Trägerschicht (7)	12
9	PUR	Klebstoff	2
10	PE-LD	Siegelschicht	60

Tab.: 5.3

Aufbau einer metallisierten Hochbarrierefolie. [55]

Ebenfalls wichtig für die Eignung der Hüllfolie sind folgende Eigenschaften, die je nach Einsatzzweck und Anforderungen unterschiedliche Gewichtung aufweisen [24]:

- Schweißbarkeit (zur Herstellung eines geeigneten Randverbundes)
- geringe Wärmeleitfähigkeit
- Verarbeitbarkeit
- Langzeitstabilität
- Dehnbarkeit
- Mikroriss- Anfälligkeit
- gute Formbarkeit
- Eignung für einen möglichst großen Temperaturbereich
- Lieferqualität (keine „Mikrolöcher“ in der Metallbedampfung)

Eine große Rolle für die langfristige Dichtheit und die Wärmeleitfähigkeit des VIP stellt der Randverbund dar. Je nach Hüllmaterial trägt der Randverbund mehr oder weniger zur Ausbildung von Wärmebrücken im Randbereich der Paneele bei. Kunststoff- Metall- Verbundfolien weisen durch die ca. 5-12 μ m dicke Metallfolie (meist Aluminium - $\lambda=273$ W/(mK)) eine große Wärmeleitfähigkeit auf. Nachteilig bei dieser Folienart ist auch die Anfälligkeit für Korrosion und die Bruchgefahr bei Verformungen [24].



Abb.: 5.4
VIP der Fa. VaQtec.

VIP weisen nach derzeitigem Stand der Technik hohe Passgenauigkeiten (geringe Toleranzen in Abmessung und Dicke), keinen den Einbau beeinträchtigenden Randverbund, scharfkantige Ecken und Kanten auf.

iii. Langzeitstabilität

Wie bereits in Abschnitt 3.b.viii beschrieben kann für die zu erwartende Lebensdauer von Baustoffen und Bauteilen eine „Badewannenkurve“ erstellt werden, die die drei Phasen „Burn –in“, „Random“ und „Aging“ zeigt. Abb. 5.5 zeigt die Kurve für VIPs. In der Burn-in Phase sind also alle Versagensfälle enthalten, die nach der Produktion beim Transport und bei der Lagerung, durch Material-, Konstruktions- und Einbaufehler entstehen. Ist diese Phase überwunden, treten Fehler mit höchster Wahrscheinlichkeit erst wieder in der Aging Phase auf, die Alterungsbedingte („wear-out“) Defekte berücksichtigt.

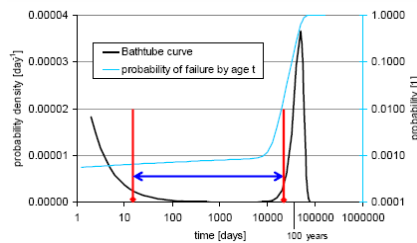


Abb.: 5.5
Badewannenkurve zur Beschreibung der Lebensdauer von VIP [57]

Die Hersteller der Vakuumdämmpaneele geben in den Datenblättern eine Lebensdauer von 30-50 Jahren an. Diese Dauer lässt sich durch den maximal tolerierbaren

Druckanstieg und der damit einhergehenden Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit errechnen, wenn von einem bestimmten Produktions- - Innendruck ausgegangen wird.

In [37] wird eine Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit nach 50 Jahren auf 0,008 W/(mK) bei einem Innendruck von 50mbar ausgewiesen. Bei einem Produktionsdruck von 1 mbar und einer maximalen Drucksteigerung von 1 mbar/Jahr liegen diese Wertangaben auch im Bereich anderer Anbieter von VIPs.

Der Druckanstieg in den Paneelen wird durch:

- Undichtigkeiten im Bereich des Randverbundes (Verunreinigungen, Falten, Verletzungen im Folienaufbau)
- Eindringen von Gasen durch das Hüllmaterial infolge der nicht vollständigen Dichtheit (OTR, NTR – nitrogen transmission rate)
- Vorhandensein sog. „Pinholes“ (Mikroperforationen) in den Metallschichten der Hochbarrierefolien.
- Austreten von Gasanteilen, die während der Evakuierung des Paneels innerhalb der Zellwände eingeschlossen waren, und durch Aufbrechen der Zellwände in den Zwischenraum strö-

- men. (dieser Effekt tritt bei pyrogener Kieselsäure kaum auf)
- Korrosion der Metallschichten (und der damit einhergehenden höheren OTR, NTR und WVTR) hervorgerufen

Der maximale jährliche Druckanstieg in den Paneelen sollte lt. [56] bei max. 2 mbar liegen. Ohne Berücksichtigung des Effektes der Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit durch den Feuchteanstieg im VIP, wäre ein Druckanstieg also bis 100 mbar vertretbar, wodurch sich wieder eine maximale Lebensdauer von 50 Jahren ergeben würde. Die Wärmeleitfähigkeit des Paneels würde zu diesem Zeitpunkt bei ca. 0,008 W/(mK) liegen. Als Qualitätskriterium sollte jedoch nach [57] nicht der maximale Innendruck angegeben werden, sondern die maximale Wärmeleitfähigkeit des Einsatzzweckes.

Im Fall der vollständigen Belüftung des Paneels muss der Mindestwärmeschutz nach den geltenden Bauvorschriften jedenfalls gegeben sein (Nachweis für das entworfene Wandsystem siehe Abschnitt 6.c., Tab. 6.1). Abb. 5.6. zeigt die Veränderung der Wärmeleitfähigkeit λ für pyrogene Kieselsäure in Abhängigkeit des Paneel- Innendrucks. Dabei ist zu erkennen, dass im Bereich 0,5-10 mbar nur

kaum merkbare Erhöhungen eintreten.

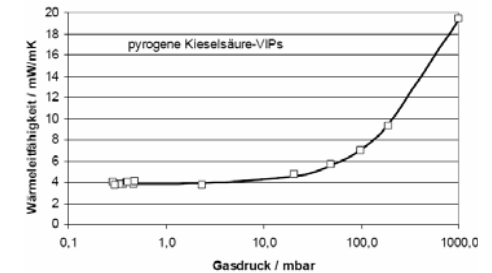


Abb.: 5.6
Gasdruckabhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit. [56]

Nach dem beschriebenen Einfluss des Druckanstieges im Paneel, hat der Feuchteanstieg eine noch größere Bedeutung für die Wärmeleitfähigkeit. Wie bereits beschrieben ist pyrogene Kieselsäure in der Lage eine gewisse Menge an Feuchte zu binden.

Aus Untersuchungen [57] geht hervor, dass durch den Anstieg um 0,15 Masse%/Jahr ein Anstieg der Wärmeleitfähigkeit um $0,075 \text{ mW}/(\text{mK}) = 0,000075 \text{ W}/(\text{mK})$ einhergeht.

Dies bestätigt auch die Angaben, wonach bei einem Feuchtegehalt des Dämmkerns von 4 Masse% die Wärmeleitfähigkeit auf $0,006 \text{ W}/(\text{mK})$ steigt [55].

Abb. 5.7 zeigt den Einfluss der Feuchtezunahme der Wärmeleitfä-

higkeit für pyrogene Kieselsäure bei einer Temperatur von 10°C.

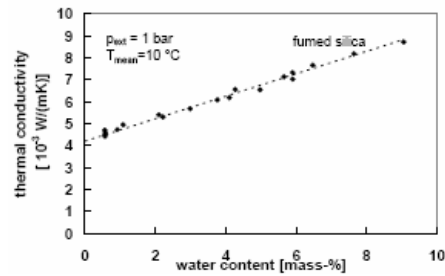


Abb.: 5.7
Feuchteabhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit. [57]

Stark vereinfacht kann der Einfluss der Veränderung der Wärmeleitfähigkeit λ unter Berücksichtigung beider relevanter Effekte (Druckanstieg und Feuchteanstieg) durch die folgende Formel beschrieben werden, wobei mit einem Druckanstieg von 2 mbar/Jahr und einem Anstieg der Feuchte um 0,15 Masse%/Jahr, sowie einer Lebensdauer von 50 Jahren gerechnet wird:

$$\lambda \approx (4,0 + 0,035 \cdot 50 + 0,5 \cdot 0,15 \cdot 50) \cdot 10^{-3} \text{ W/(mK)}$$

$$= 0,0095 \text{ W/(mK)} \text{ [vgl. 57]}$$

iv. Umweltverträglichkeit

Herstellung:

Die Herstellung von VIP und deren Hauptbestandteilen ist momentan ein äußerst komplexer, produktionstechnisch weitverzweigter und energieaufwendiger Prozess. Der Hauptbestandteil, pyrogene Kieselsäure (PK), wird zur Zeit nicht speziell für die Produktion von VIPs erzeugt.

Etwa 60% der gesamt benötigten Energie werden zur Gewinnung von besonders reinem Siliziumtetrachlorid (STC), welches den Ausgangsstoff für pyrogene Kieselsäure darstellt, benötigt. In dieser reinen Form wird STC in der Lebensmittel – und Pharmaindustrie benötigt. [61]

Aufgrund der meist dezentralen Produktion der benötigten Bestandteile für VIP (pyrogene Kieselsäure, Siliziumkarbid (SiC) als Trübungsmittel, Zellulosefasern zur Stabilisierung des Kerns, Glasfaservlies, Hüllfolie) und der dadurch erforderlichen Transportwege steckt ein Verbesserungspotential im Produktionsablauf.

Eine weitere Verbesserung der Ökobilanz für VIP könnte durch die Substitution von Siliziumkarbid

durch andere Stoffe (welche nur ca. 10% der Herstellungsenergie bedürfen), und durch die Verwendung von weniger reinem STC, das in dieser Form speziell für den Einsatz in VIP hergestellt werden könnte, (Einsparungspotential in diesem Bereich ca. 50%) erzielt werden. [61]

Die aus Kernmaterial (pyrogene Kieselsäure) und der Hüllfolie bestehenden VIPs können mit kleinem Aufwand in die separaten Bestandteile getrennt werden. Auch eventuell beigelegte Glasfaservliese sind verbundfrei. Es lässt sich also eine einfache Trennung, und somit eine gezielte Eingliederung in einen Wiederverwertungsprozess realisieren. [24]

Nach Angaben aus [60] ist es möglich das Kernmaterial alter Paneele weitgehendst wieder in den Prozess zu integrieren. Auch der im Werk produzierte Ausschuss an VIP kann durch Trennung von der Hüllfolie und anschließendem Aufmahlen zu gewissen Anteilen wieder verwendet werden. Für größere Mengen ist sogar eine Rückvergütung für das Kernmaterial denkbar.

Die nachfolgenden Bewertungsversuche wurden anhand von unterschiedlichen Basisdaten aus [61] und [47] erstellt. Folgende Faktoren haben Einfluss auf die Ökoperfor-

mance eines VIP (nicht vollständig):

- Energieaufwand und Emissionspotential für die Herstellung von STC (Rohstoffgewinnung, Aufbereitung, Hydrochlorierung, Fraktionierte Destillation, Siemens-Prozess) (Abb. 5.8).
- Energieaufwand und Emissionspotential für die Herstellung von SiC (Herstellung im Elektrowiderstandsofen) (Abb. 5.9).
- Energieaufwand und Emissionspotential für die Herstellung von PK in der Flamm-Hydrolyse und das dafür benötigte H₂ aus Methanolyse (Abb. 5.10).
- Energieaufwand und Emissionspotential zur Herstellung der Hüllfolie und ev. des Glasfaservlieses.
- Energieaufwand und Emissionspotential zur Montage der VIP (Mischen der Bestandteile, Pressen, Konfektionieren, Evakuieren) (Abb. 5.11).
- Herkunft der Energie für die oben genannten Prozesse (Energienmix der beteiligten Kraftwerke).
- Aufwand für die Aufbereitung und/oder Entsorgung von anfallenden Nebenprodukten und Abgasen aus den oben genannten Prozessen.
- Energieaufwand sowie Emissionen durch Transporte zwischen den beteiligten Prozess-

standorten sowie zum Bestimmungsort.

In die Berechnung fließen nur jene Energieaufwände ein, die aus nicht erneuerbaren Quellen stammen. Die Angaben in [61] werden auf die Basiseinheit der Angaben aus [47] umgerechnet, wobei in [61] eine Rohdichte von 190 kg/m², und eine Wärmeleitfähigkeit von $\lambda=0,0048$ W/(mK) zugrunde liegen, und in [47] $\rho=190\text{kg/m}^3$ und $\lambda=0,006$ W/(mK) als Ausgangsdaten dienen. Zu der Annahme der Wärmeleitfähigkeit aus [61] mit $\lambda=0,0048$ lässt sich nach den derzeitigen Erkenntnissen aus den Ergebnissen dieser Arbeit feststellen, dass dieser Wert das Alterungsverhalten der VIP nicht ausreichend erfasst, und somit eine Verringerung der gewichteten Dämmleistung erfolgen muss.

Die Gewichtsanteile, berechnet für ein VIP mit den Abmessungen 1 x 1 m, einer Dicke von 4cm, einer Siegelnahtbreite von 15mm, Foliengewicht 100g/m² und einer Rohdichte des Kernmaterials von 190kg/m³ gliedern sich wie folgt:

Gesamtgewicht 7,624 kg
 Folie: 214g = 2,8%
 Kern: 7600g =97,2%

Pyrogene Kieselsäure (PK):

PK Fällt nach [24] in den bisher benötigten Mengen als Nebenprodukt in der Silikat - Chemie an. Kieselsäuren können zu 100% wiederverwertet, jedoch aufgrund der notwendigen Anforderungen an Dichte und Gefüge nur noch in gewissen Mengen für VIP erneut verarbeitet werden.

Als alternative Füllstoffe für die VIPs wären zwar viele unterschiedliche Materialien verfügbar, sie sind jedoch aufgrund der Eigenschaften im Bereich der Struktur, Porengröße, fehlende „Gettereigenschaft“ usw., nur mit erhöhten Anforderungen an das Vakuum (geringerer Innendruck, längere Evakuierungsdauer) bzw. nur mit Getter zur Bindung von Feuchtigkeit einsetzbar.

Hüllfolien:

Es ist nur eine teilweise Rezyklierung möglich [60]. Der Gewichtsanteil ist jedoch sehr gering. Grundsätzlich werden diese Folien einer thermischen Verwertung zugeführt.

Versuch einer ökologischen Bewertung:

Um die Ökobilanzen verschiedener Dämmstoffe vergleichen zu können, ist es notwendig eine festgelegte "Leistung" in Form des Wär-

medurchgangskoeffizienten U [W/m²K] anzunehmen. Aufgrund der notwendigen Eignung für den Passivhausbau sei, zur Abstimmung mit den Annahmen in [61], mit $U_{soll} = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ angenommen. Als Wärmeübergangskoeffizienten wird $R_{se} = 0,04 \text{ [m}^2\text{K/W]}$, $R_{si} = 0,13 \text{ [m}^2\text{K/W]}$ festgelegt. Weiters ist zur Beurteilung die notwendige Masse in kg/m² zu errechnen, die aufgrund des spezifischen Gewichts der jeweiligen Dämmstoffe zur Erreichung des geforderten Wärmedurchgangswiderstandes nötig ist, um die Angaben für den Primärenergieinhalt umlegen zu können. Alle diesbezüglichen Kennwerte sind aus Tab. 5.4 ersichtlich.

Zur Umlegung der Ergebnisse aus [61] ($814 \text{ MJ}_{eq}/\text{m}^2$ bei $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$) auf die Bezugsdaten aus [47] ($62,10 \text{ MJ/kg}$ bei $\rho = 190 \text{ kg/m}^3$), sowie zur Angleichung der Wärmeleitfähigkeit auf $\lambda = 0,006 \text{ W/(mK)}$ wird angenommen, dass sich der Bezug der Ergebnisse aus [61] direkt proportional zur Wärmeleitfähigkeit des VIP verhält.

Korrekturfaktor für die Werte aus [61] = $1,25 (0,006/0,0048)$

Für die Erreichung des Vergleichswertes gilt also:

$$\frac{814 \text{ MJ}_{eq}/\text{m}^2 \cdot 1,25}{7,624 \text{ kg/m}^2} = 133,46 \text{ MJ/kg}$$

Dämmstoff	λ [W/(mK)]	ρ [kg/m³]	GWP [kgCO ₂ eq/kg]	PEI nicht erneuerbar [MJ/kg]	d [mm] für $U=0,15\text{W/m}^2\text{K}$	kg/m ² für $U=0,15\text{W/m}^2\text{K}$
VIP 1	0,006 ¹⁹	190	3,43 [47]	133,46 [vgl. 61]	39	7,624
VIP 2	0,006 ¹⁹	190	3,43 [47]	73,403	39	7,624
VIP 3	0,006 ¹⁹	190	3,43 [47]	62,10 [47]	39	7,624
EPS-F	0,04	18	3,35 [47]	98,50 [47]	260	4,68
XPS (CO ₂ geschäumt)	0,04	38	3,44 [47]	102,00 [47]	260	9,88
Kork	0,04	120	-1,23 [47]	7,10 [47]	260	31,20

Dieses Ergebnis zeigt, dass die in [61] und in [47] angegebenen Werte extrem divergieren, wobei die Grundalgen für die Ermittlung der Werte aus [47] nicht genau bekannt sind. Es wird daher ein Vergleich der unterschiedlichen Annahmen angestrebt.

Vorteilhaft für die VIP stellt sich der Umstand dar, dass das Kernmaterial, wie bereits erwähnt in den benötigten Mengen derzeit als Nebenprodukt in der Chemieindustrie anfällt, und aufgrund dieses Umstandes noch keine Optimierung des Herstellungsprozesses für den speziellen Einsatz in VIP stattgefunden hat. [24], [61]. Weiters sei nochmals das nach [61] aufgezeigte Potential der Herstellungsoptimierung erwähnt, welches je nach Untersuchungsvariante bei 44-46% liegt!

Tab.: 5.4
GWP und PEI verschiedener Dämmstoffe im Vergleich. [47]

Aus diesen Annahmen ergeben sich die in Tab. 5.4 und Tab. 5.5 gezeigten Kennwerte, die eine Einstufung der jeweiligen Dämmstoffe ermöglichen sollen, wobei **VIP 1** die Ergebnisse der Bezugsdaten aus [61], **VIP 2** selbiges unter Berücksichtigung des Einsparungspotentials von 45% und **VIP 3** die Angaben aus [47] berücksichtigt.

Dabei zeigt sich, dass der Primärenergieinhalt aus nicht erneuerbaren Energien (PEI) in VIP je nach Festlegung der Parameter stark variiert. Im besten Fall ließe sich eine mit EPS-F vergleichbare Bilanz erzielen.

An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass für die Verwendung der jewei-

ligen Dämmstoffe weitere Materialien wie Klebstoffe und Beschichtungen notwendig sind, die in die Bewertung der Gesamtkonstruktion einfließen müssten und in den vorliegenden Berechnungen nicht berücksichtigt wurden.

Material	Kg/m ² für U=0,1 W/m ² K	GWP [kgCO ₂ eq/m ²] für U=0,15 W/m ² K	PEI [MJ/m ²] für U=0,15 W/m ² K
VIP 1	7,624	26,15	1017,50
VIP 2	7,624	26,15	559,63
VIP 3	7,624	26,15	473,45
EPS-F	4,68	15,68	460,98
XPS	9,88	33,98	107,76
Kork	31,20	-38,37	221,52

Tab.: 5.5

PEI und GWP gewichtet nach der benötigten Menge je m² Wandfläche für U = 0,15 W/m²K

Die genauesten Ergebnisse könnten durch Neuberechnung der Ökobilanz aus [61] mit den korrigierten Alterungsannahmen erzielt werden.

Weiters lässt sich anmerken, dass die behandelten Dämmstoffe wie EPS-F, XPS und Kork in den meisten Fällen in Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) verarbeitet werden, und dadurch eine Recyklierung und Trennung der Bestandteile nur mit erhöhtem Aufwand möglich ist.

Ein weiterer großer Unsicherheitsfaktor entsteht durch die Angaben aus [47], für die Vergleichsdämmstoffe. Es ist durchaus möglich, dass bei einer genauen Betrachtung der Dämmstoffe und deren Ökobilanzen ebenfalls Korrekturen vorgenommen werden müssten.

Abschließend und zusammenfassend lässt sich aufzeigen, dass für eine korrekte Bilanzierung ganze Wandsysteme im Vergleich herangezogen werden müssten. Die Ökobilanzen für die jeweiligen Konstruktionen und Baustoffe unterscheiden sich jedoch auch dann aufgrund des Umstandes, dass sich je nach Bestimmungsort und Produkt die Herstellungsbedingungen ändern. Unterschiede entstehen besonders durch die Art des Stromes bzw. der Energieträger und der Transportwege zwischen den einzelnen Produktionsstandorten.

Eine wichtige Anforderung jedoch erfüllt das in dieser Arbeit entworfene Wandsystem: Das Kernmaterial der VIP kann ohne großen Aufwand in den Rezyklierungsprozess geführt werden, was bei WDVS nicht der Fall ist.

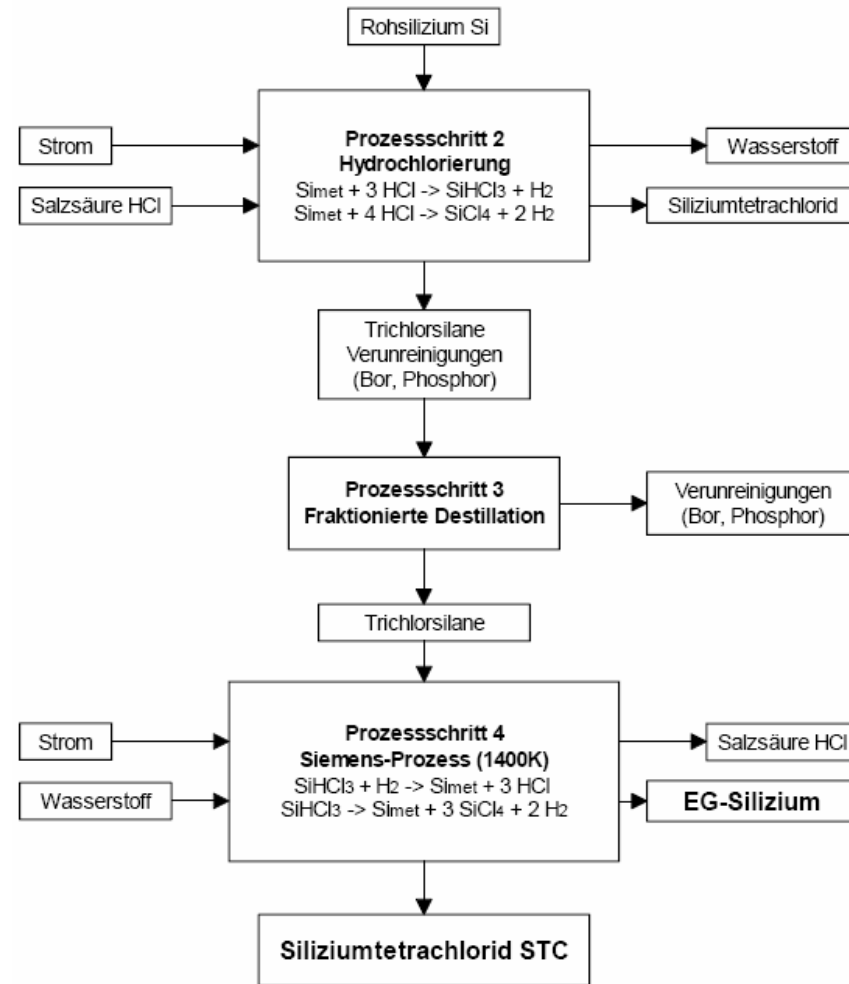


Abb.: 5.8

Herstellungsprozess von STC [61]

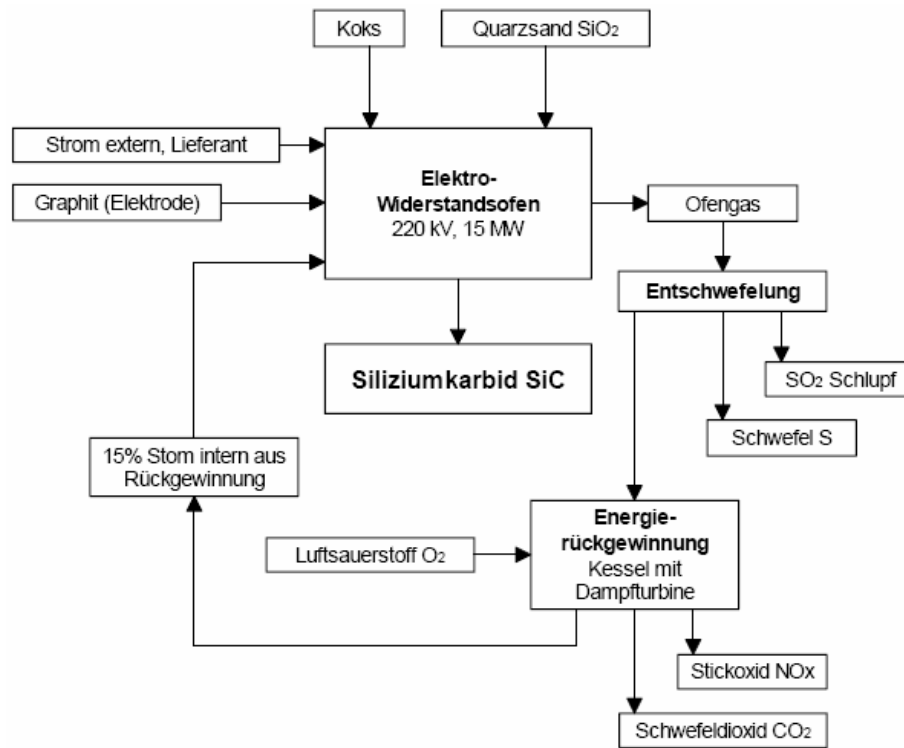


Abb.: 5.9
Herstellungsprozess von SiC [61]

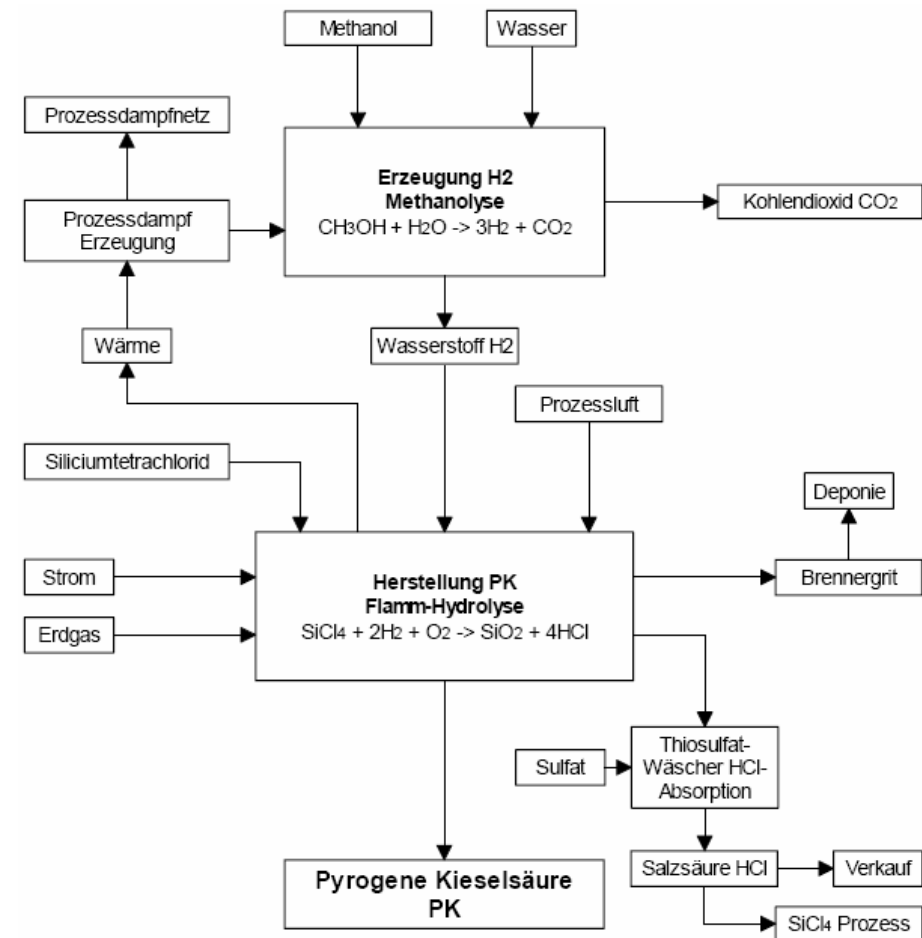


Abb.: 5.10
Herstellungsprozess von PK [61]

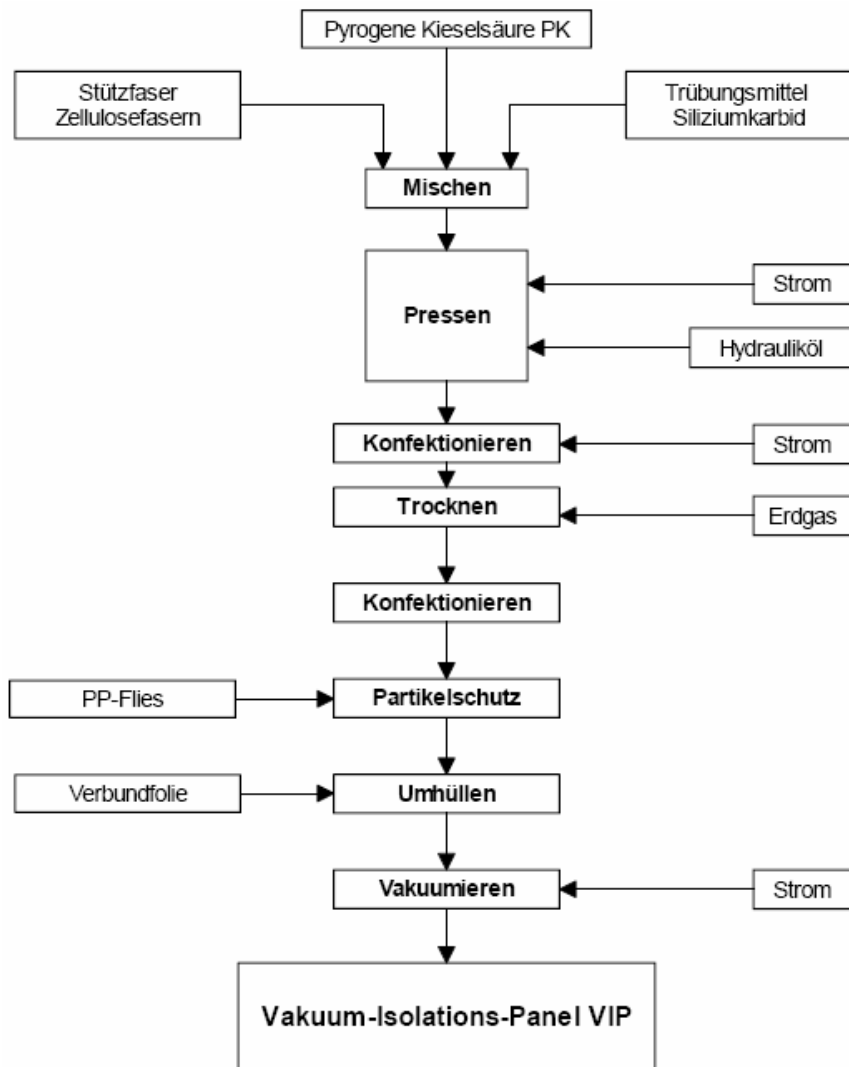


Abb.: 5.11
Montageprozess von VIP [61]

v. Technische Daten

Die angegebenen Daten in Tabelle 5.6 stehen für Vakuumisoliationspaneele, die derzeit im Baubereich eingesetzt werden. Es handelt sich hauptsächlich um VIPs mit einem Kern aus pyrogener Kieselsäure und einer Hülle aus metallisierter Hochbarrierefolie.

Eigenschaft	Wert	Quelle
Erscheinungsbild / Formgebung	plattenförmig, Formteile bedingt möglich	
Dichte der Rohplatte	100-400 kg/m ³	[56], [37], [24]
Wärmeleitfähigkeit λ des Paneels im Auslieferungszustand	0,004 - 0,0053 W/(mK)	[56], [37]
Innendruckanstieg	ca. 1-2 mbar/Jahr	[55], [37]
Bemessungswert λ inkl. Alterungszuschlag	0,007 - 0,008 W/(mK)	[55], [37]
Bemessungswert λ belüftetes VIP	0,018 - 0,025 W/(mK)	[24]
Plattendicken	10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 mm	[37], [56]
Dickentoleranz	± 1 mm	[56]
Längentoleranz max.	+ 2 mm, - 5 mm	[56]
Druckbelastbarkeit je nach Dichte des Kernmaterials (10% Stauchung)	150 kPa bei 200 kg/m ³	[56]
Maximale Plattemaße	1250 x	[37]

	3000 mm	
Spezifische Wärmekapazität c	0,8-1,05 kJ/kg·K	[37], [56]
Innendruck bei Auslieferung	0,5 - 5 mbar	[37], [56]
Innendruck nach 50 Jahren (simuliert)	50 mbar	[37]
Temperaturbereich für den Dauereinsatz	-70 - +80°C	[56]
Temperaturbereich kurzfristig (max. 30 min.)	100 - 120°C	[37]
Feuchtebeständigkeit für Dauereinsatz	0 - 60% rel. Luftfeuchte	[56]
Kälteschockempfindlichkeit	Nein	[56], [37]
Gesamtdicke met. Hochbarrierefolie	Ca. 100 μ m	[56]
OTR bei 23°C	$\leq 0,01$ cm ³ /(m ² ·d·bar)	[24]
WVTR bei 38°C, 90% rel. Luftfeuchte	$\leq 0,01$ - 0,05 g/(m ² ·d·bar)	[24]
Brennbarkeit Stützkörper	A1	[37]
Brennbarkeit VIP (bedingt durch Hüllfolie)	B2	[24]
bauaufsichtliche Zulassungen	tw. vorhanden	

Tab.: 5.6

Technische Daten VIP

Auf dem Markt sind unterschiedliche „Sandwichkonstruktionen“ mit VIP Kern als Fertigprodukte erhältlich. Als Deckschichten werden ein- bzw. beidseitig PUR, EPS oder Gummigranulat (Fa. Bitbau) verwendet.

Für das entworfene Wandsystem wird ein Multilayersystem der Fa.

Variotec GmbH & CO KG, D-92318 Neumarkt/Oberpfalz mit der Bezeichnung „Qasa“ verwendet.

Folgender Aufbau wird verwendet: Bei Bedarf sind Zwischenlagen aus PE- Schaum bzw. der Lagetausch der Schichten 1 und 2 sowie 4 und 5 möglich (z.B. in Betonfertigteilen aufgrund des anfallenden Anmachwassers bei Ort betonverfüllung) von Vorteil.

Die Dämmstärke von 40 mm wurde aufgrund der Notwendigkeit der Erfüllung des Mindestwärmeschutzes lt. Bauordnung im Fall der Belüftung des Paneels gewählt.

Schicht #	Material	Dicke [mm]
1	PUR MASSIV	4,0
2	Aluminium	0,6
3	VIP (pyrogene Kieselsäure mit metallisierter Hochbarrierefolie)	40
4	Aluminium	0,6
5	PUR MASSIV	4,0

Tab.: 5.7

Aufbau Variotec „Qasa“

Eigenschaft	Wert	Quelle
Erscheinungsbild / Formgebung	plattenförmig	
Gewicht des Elements mit 40mm Dämmstärke (50 mm Gesamt)	13,8 kg/m ²	[37]
Wärmeleitfähigkeit λ des VIP im Auslieferungszustand	0,004 - W/(mK)	[37]

Innendruckanstieg durch doppelt diffusionsdichte Umhüllung	ca. 1 mbar/Jahr	[37]
Bemessungswert λ inkl. Alterungszuschlag	0,008 W/(mK)	[37]
Bemessungswert λ belüftetes VIP	0,020 W/(mK)	[37]
Plattendicken inkl. PUR - Schutzplatten	50 mm (40 mm VIP)	[37]
Verklebung der VIP mit andern Materialien	PUR - Klebstoff 1K, 2K, Hotmelt	[51]
Maximale Plattemaße	1250 x 3000 mm	[37]
Spezifische Wärmekapazität c bei 400°C	1,05 kJ/kg·K	[37]
Innendruck bei Auslieferung	1 - 5 mbar	[37]
Innendruck nach 50 Jahren (simuliert)	50 mbar	[37]
Temperaturbereich für den Dauereinsatz der Hüllfolie des VIP	-70 - +80°C	[37]
Temperaturbereich kurzfristig	Max. +100°C	[37]
Feuchtebeständigkeit für Dauereinsatz	0 - 60% rel. Luftfeuchte	[37]
Kälteschockempfindlichkeit	Nein	[37]
Brennbarkeit Stützkörper	A1	[37]
Brennbarkeit Qasa Bauelement	B2 bzw. A2	[37]
bauaufsichtliche Zulassungen	nicht vorhanden	

Tab.: 5.8

Technische Daten „Qasa“

vi. Anwendungsgrundsätze

Der wichtigste Grundsatz für die Verarbeitung und den Umgang mit VIP ist die Schulung und Ausbildung der Verarbeiter und Anwender. Durch eine einfache Sichtprüfung ist grundsätzlich leicht feststellbar, ob ein VIP nicht belüftet ist. Eine Feststellung des notwendigen, und vom Hersteller garantierten maximalen Innendruck ist jedoch auf diese Weise nicht möglich. Daher ist für diese Zwecke eine Qualitätssicherung durch geeignete Innendruckmessverfahren vorzunehmen:

Ein gängiges Messverfahren, welches jedoch nicht zur Messung auf der Baustelle geeignet ist, stellt das Messverfahren mittels Unterkammer dar. Der Kammerdruck wird soweit abgesenkt, dass sich die Folie des horizontal gelagerten Paneels durch den höheren Innendruck abzuheben beginnt. Mittels Laserabstandsmessung und mehrerer Durchläufe kann dadurch der Innendruck mit einer Abweichung von 0,2% des Messwertes angegeben werden.

Die Firma Va-Q-tec AG hat für Messungen von gebrauchsfertigen VIPs ohne Beschädigungsgefahr

und zum (bedingten) Einsatz bei bereits verbauten Paneelen das Va-Q-check[®] Verfahren (Abb. 5.12) entwickelt und im Jahr 2003 zum Patent angemeldet [24].

In das VIP wird bei der Produktion ein durch ein Vlies zur Hüllfolie getrennter Messchip eingearbeitet. Mittels Handmessgerät kann durch aufbringen einer Wärmeenergie für 5-30s der innendruckabhängige Wärmestrom ermittelt werden. Es ist zu beachten, dass die Umgebungstemperatur beim Messverfahren berücksichtigt werden muss. [24]



Abb.: 5.12
Messung mittels Va-Q-check[®]-Verfahren

Meist werden die Paneele mit einem Barcode versehen, der eine Rückverfolgung eines möglichen Fehlers bzw. einer Fehlerhäufung bei der Produktion ermöglicht.

Bei der Verwendung auf der Baustelle ist nach Angaben aller Hersteller die Verarbeitung ungeschützter VIPs äußerst gefährlich,

da bereits ein Verkratzen der Oberfläche zu Qualitätsverlusten und Verringerung der Langzeitstabilität führen kann. Die Platten werden daher meist in druckstabilen Boxen mit Trennlagen geliefert. Anhand des großen Schädigungspotentials haben die Herstellerfirmen der VIPs in den meisten Fällen für den Baustelleinsatz vorgefertigte Sandwichelemente mit schützenden Deckschichten in die Lieferprogramme aufgenommen. Für die Verarbeitung im Fassadenbereich stehen EPS – verkleidete Platten, für den Flachdachbereich mit Gummigranulat beschichtete Platten zur Verfügung.

Die Lagerbedingungen sind an die Gebrauchsbedingungen anzupassen. Die maximalen Anwendungstemperaturen für den Dauereinsatz liegen lt. [55] bei 60°C, lt. [37] bei 50 – 80 °C. Kurzfristige Erwärmungen bis 100 bzw. 120°C bei Verklebungen oder Einschäumung für die Zeitdauer von max. 30 Sekunden sind tolerierbar (Testversuche durchführen)

Der pH-Wert von Stoffen, die mit der Hülle in Kontakt kommen, sollte zwischen 3 und 8,5 liegen [55]



Abb.: 5.13
Aufkleber zur Kennzeichnung für Bauteile mit VIP [58]

Eine Möglichkeit, unbeabsichtigter Beschädigung vorzubeugen, ist die Anbringung von Warnschildern oder Aufklebern während der Bauzeit. Abb. 5.13. zeigt einen Entwurf aus [58].

Bei größeren Plattenformaten wäre es möglich einen Evakuierungsanschluss vorzusehen, der es ermöglicht auch nach dem Einbau und einer Belüftung, die nicht durch Beschädigung des Hüllmaterials hervorgerufen wurde (Langzeitbelüftung) das Paneel erneut an Ort und Stelle zu evakuieren.

Prüfmöglichkeit des eingebauten Paneels (z.B. hinter demontierbaren Vorsatzschalen) wären von Vorteil.

vii. Einbau und Füge-technik im entworfenen System

Das entworfene Wandsystem wurde auf einem Konstruktionsraster aufgebaut, welches den Möglichkeiten und Standardabmessungen der verwendeten Bauprodukte zugrunde liegt, und beträgt 625 mm.

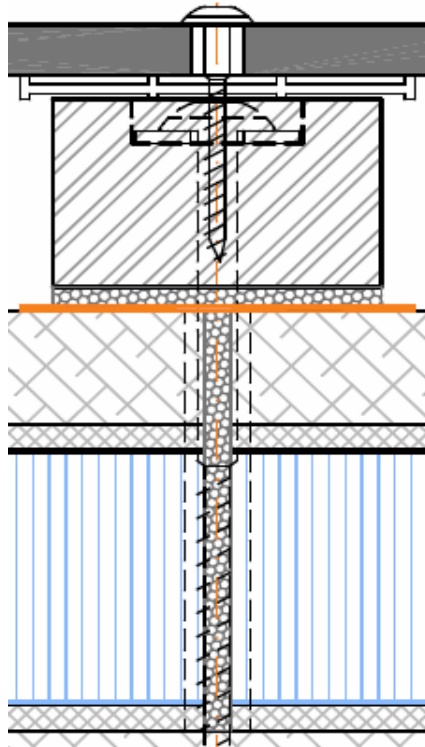


Abb.: 5.14
Stoßbereich und Befestigung
(siehe Anhang – Plan Nr.: 03)

Die Befestigung der vorgefertigten Dämmelemente „Qasa“ (Abb. 5.15) erfolgt, indem eine Vertikallatte auf der später die Fassadenbekleidung angebracht werden kann, mittels Schrauben im Fugenbereich der Platten auf die Tragkonstruktion montiert wird. Zum Schutz der Plattenränder gegen Verletzung durch die Schrauben werden Kunststoffhülsen eingesetzt.

Um eine gleichmäßige Pressung zweier nebeneinander liegender Platten zu gewährleisten, besteht die Möglichkeit der Einlage einer Metallscheibe. Die Lastabtragung erfolgt je nach Bedarf durch die oben beschriebene Befestigungsweise oder zusätzlich durch punktuelle Verklebung mit den beiden OSB-Platten an der Vorder- und Rückseite der „Qasa“ Elemente (im Randbereich, aufgrund der endgültigen Befestigung erst nach dem Zusammenfügen mit anderen Wandelementen, jedenfalls erforderlich). Der genaue Produktionsablauf wird in Abschnitt 6.f.i.2 dargestellt.

Im Bereich der Befestigungspunkte ist durch den Platzbedarf der Schrauben und des Schutzrohres ein minimaler Einzug der Platte erforderlich (vgl. Abb. 5.18). Dieser Einzug kann durch Vergrößerung der Stoßfuge, die im Bereich der Vertikalfuge bei 5mm

liegt, auf 8 mm entfallen. Dadurch entsteht jedoch eine Vergrößerung der Wärmebrücke im Stoßbereich.



Abb.: 5.15
Variotec „Qasa“ Fertigdämmelement mit
VIP-Kern [37]

Die Besonderheit der Fertigelemente „Qasa“ liegt in der doppelt diffusionsdichten Umhüllung der VIP durch die zusätzliche Aluminiumlage, sowie in der guten Schutzwirkung durch die aufgetragenen PUR Schichten an beiden Seiten.

Die Vertikalfugen werden zur Abdichtung und Dämmung mit einem Kompriband unterlegt. Horizontalfugen können aufgrund des passgenauen Zuschnittes mit kleinen Toleranzen ohne jegliche Zwischenlage stumpf gestoßen werden.

„Qasa“ – Elemente könnten grundsätzlich auf zwei Arten entsprechend des Konstruktionsrasters elementiert werden:

- Elementbreite 1245 mm (Achismaß 1250 mm), Elementhöhe je nach Anforderung bis zu 3000 mm. Vertikalfuge: 5mm (mit Kompriband unterlegt)

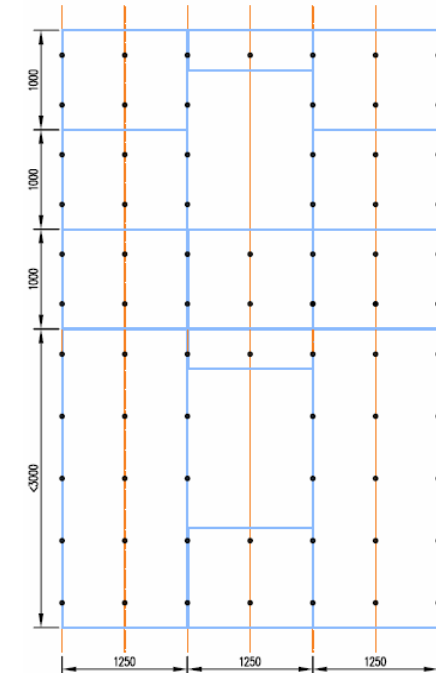


Abb.: 5.16
Elementierung mit einer Fertigungsbreite
von 1245 mm

Aufgrund der notwendigen Herstellung der Unterkonstruktion für die Fassadenverkleidung ist eine Vertikallatte im Achsabstand von 625 mm nötig. Dadurch würde sich bei dieser Variante die Notwendigkeit vorgefertigter Durchdringungen in

den Panellen ergeben, was eine zusätzliche Schwachstelle in der Platte bedeuten würde. Grundsätzlich können jedoch Ausschnitte in einer Platte angefertigt werden. Vorteil dieser Befestigungsvariante ist die Verringerung des Fugenan-teils in der Wandfläche und somit eine Verringerung der linearen Wärmebrücken.



Abb.: 5.17

Vorgefertigte Durchdringung in der Plattenebene [37]



Abb.: 5.18

Vorgefertigte Randeinzieg zur Befestigung mittels Anker oder Schraubverbindungen. [37]

- Elementbreite 620 mm (Achismaß 625 mm), Elementhöhe je nach Anforderung bis zu 3000 mm, Vertikalfuge: 5mm (mit Kompriband unterlegt)

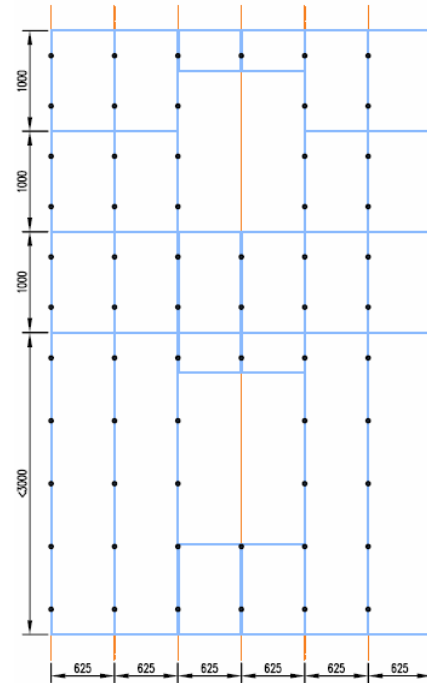


Abb.: 5.19

Elementierung mit einer Fertigungsbreite von 620 mm

In der Praxis hat auch die Variante der Elementbreite mit 600 mm und einer in der Dämmebene liegenden PUR oder Holzlage mit einer Breite von 50 mm Bedeutung. (siehe Abb. 5.20) Die dadurch entstehenden

Wärmebrücken sind jedoch besonders groß.

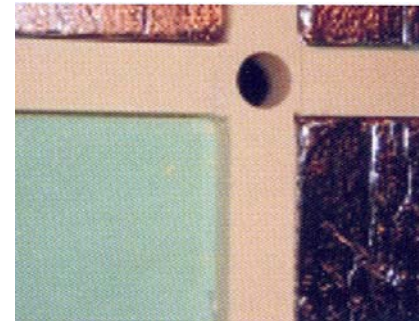


Abb.: 5.20

VIP zwischen PUR - Stegen eingelegt. [37]

e. Fassadenkonstruktion

In Abschnitt 5.d wurden Eigenschaften, Prinzip und Handhabung der Vakuumisolationspanelle erklärt. Dabei ist festzustellen, dass es aufgrund der hohen Anforderungen an das Gesamtsystem des VIP, welches nur dann seine Wirkung erfüllen kann, wenn alle Randbedingungen erfüllt sind, trotz der mittlerweile verbreiteten Technologie und intensiver Forschungs- und Entwicklungsarbeit, keine ausreichende Garantie für eine langfristige Funktionserfüllung (Wärmeleitfähigkeiten $\lambda < 0,008 - 0,01$ W/(mK)) gibt.

Es erscheint daher nur dort ein Einbau sinnvoll, wenn:

- die Möglichkeit des Austausches bzw. der Überwachung der Funktionsfähigkeit einzelner VIPs gegeben ist, und
- wenn ein Versagen einzelner Panelle zu keinen Schädigungen anderer Bauteile führt bzw. der Mindestwärmeschutz erhalten bleibt, oder
- die Anforderungen an den Wärmeschutz nur für kurze Zeit erfüllt werden müssen und ein Versagen aufgrund ausreichender Vorprüfung und unter kon-

trolliertem Einbau unwahrscheinlich ist (z.B. Einweg-Transportbehälter für medizinische Güter etc.)

Für das entworfene Wandsystem gilt der Grundsatz, dass alle Elemente austauschbar sein müssen. Dies wird durch die Art der Befestigung an der Tragebene und nicht zuletzt durch die Ausführungsart der Fassadenkonstruktion erfüllt.

Grundsätzlich sind alle Fassadenarten denkbar, deren Befestigung auf vertikaler Unterkonstruktion erfolgen kann. Sinnvoll ist hier eine möglichst unabhängige Befestigung der einzelnen Elemente, da dadurch der Aufwand im Austauschfall reduziert wird.

In den in Abschnitt 6 bzw. im Anhang dargestellten Details wird eine Plattenfassade aus Großtafel-elementen der Fa. Eternit verwendet. Durch die Wahl der Schraubung auf die Unterkonstruktion als Befestigungsart ist die Demontage jeder einzelnen Platte unabhängig möglich. Die Dimensionierung der Unterkonstruktion, Fugenausbildung und Detailausbildung ist auf dieses System ausgelegt.

Trotz Vorfertigung, geringer Arbeitstoleranzen und der Möglichkeit der Komplettvorfertigung der Wandelemente ist die Montage der

Fassadenplatten auf der Baustelle zu empfehlen, da dadurch ungewollte Beschädigungen bei der Montage vermieden werden, die verschiedenen Wände leichter miteinander verbunden werden können, und ein exaktes Fugenbild herstellbar ist.

Die Unterkonstruktion besteht aus Holzlatten mit den Abmessungen 30 x 50mm. Diese werden bereits Werkseitig vormontiert und dienen zur Fixierung der Dämmelemente an der Tragkonstruktion. Die dazu notwendigen Schrauben werden unter Verwendung einer Unterlagsscheibe versenkt angebracht.

Nach Montage aller notwendigen Bleche (Insektenschutzgitter, Saumbleche, Hochzüge etc.) werden Dichtstreifen auf die Unterkonstruktion aufgebracht, die die Holzlatten vor Durchfeuchtung schützen. Eine Ausführung der Konstruktionsteile in Lärchenholz oder mit Holzschutz durch Druckimprägnierung ist möglich. Danach werden die Fassadentafeln mittels Dichtschrauben befestigt.

Auf ausreichende Funktion der Hinterlüftungsebene ist zu achten (freier Lüftungsquerschnitt $>200\text{cm}^2/\text{m}$).

Anmerkungen des Autors:

¹⁵ **MFP** [cm] für Luft bei 20° C berechnet sich wie folgt: [24]

$$\text{MFP} = \frac{6,8 \cdot 10^{-3} [\text{mbar}] [\text{cm}]}{P [\text{mbar}]}$$

P = herrschender Gasdruck

¹⁶ **OTR** = oxygen transmission rate.

¹⁷ **MVTR** = moisture vapor transmission rate. Es ist zu berücksichtigen, dass ein Gramm Wasserdampf ein Normalvolumen von 1240 cm³ hat

¹⁸ Würde man ein Material verwenden, dessen Porengröße kleiner als die mittlere freie Weglänge der Luft bei Atmosphärendruck (ca. 1013 mbar) ist ($6,7 \cdot 10^{-6}$ cm = 0,0067 nm), wäre eine Evakuierung des Stoffes nicht notwendig. Leider ist ein derartiges Material nicht verfügbar (Annahme: 20°C Lufttemperatur).

¹⁹ $\lambda = 0,006$ W/(mK) stellt einen Durchschnittswert des Wärmeleitwertes eines Vakuumisolationspaneels zwischen den Zeitpunkt der Herstellung und dem Grenz-zustand der Gebrauchstauglichkeit infolge von Alterung nach 30-50 Jahren dar.

6. Produktions- und Montageoptimierung - Qualitätsbeurteilung

a. Allgemeines

Aufgrund der hohen qualitativen Anforderungen an den Einbau, die die einzelnen Bauteile (im speziellen VIP und Dampfsperre) zu einer einwandfreien Konstruktion benötigen, ist ein möglichst hoher Vorfertigungsgrad der Wandelemente unter kontrollierten Bedingungen erforderlich. Die Anforderungen an Luftfeuchte, Temperaturen, UV-Schutz, Schutz vor alkalischen Einwirkungen usw. können nur in Produktionshallen erfüllt werden.

Weiters ist eine Lückenlose Qualitätskontrolle, sowie Überprüfung der Funktionstüchtigkeit der VIP notwendig.

Schulungen der Verarbeiter im Umgang mit den Bauteilen sind erforderlich.

Je geringer die Abweichungen von den Sollmaßen der Bauteile ist, desto geringer können Spalt und Fugenmaße gehalten werden. Dadurch werden Wärmebrückeneffekte verringert. Dies bedeutet die Einhaltung vorab festgelegter Toleranzen, die in Abstimmung mit den

Montageanforderungen getroffen werden müssen.

Die nachfolgende Detail- und Produktionsbeschreibung stellt einen theoretischen Ablauf dar, der im Fall einer Umsetzung in die praktische Fertigung, auf Effizienz und Umsetzbarkeit im Detail zu prüfen ist. Anhand der Erfahrungssammlung bei Besuchen in mehreren Fertigungswerken namhafter österreichischer Fertighaushersteller sind technische Fertigungsmethoden und Produktionsabläufe bekannt, und wurden als Basis für die Vorfertigungsabläufe der Elemente herangezogen. Grundsätzlich wird händische Fertigung mit maschineller Unterstützung bevorzugt. Das „4-Augen-prinzip“ sollte in jedem Fall umgesetzt werden.

Es muss davon ausgegangen werden, dass nicht alle Einzelbauteile am gleichen Ort produziert werden. Lagerkapazitäten und Lagerhaltungskosten sind somit unvermeidlich.

Das vorliegende Wandsystem ist in einem wesentlichen Teil auf die Verwendung von bereits erprobten und empirisch geprüften Produkten ausgelegt, die als Fertigungskomponenten im Gesamtsystem verbaut, und eventuell geringfügig adaptiert werden.

Die Details wurden so aufgebaut, dass möglichst viele gleiche Teile verwendet werden können. Verbindungsmittel sind ebenfalls handelsüblich. Dadurch entsteht vor allem im Bereich der VIP eine wesentliche Kostenersparnis durch mögliche Serienfertigung.

Durchdringungen im Bereich des Wandsystems müssen sorgfältig geplant werden, und bereits im Zuge der Vorproduktion ausgeführt werden. VIP können ohne diese zu beschädigen nicht nachträglich bearbeitet werden!

Installationen sollten womöglich im Bereich der Fußbodenaufbauten geführt werden. Notwendige Durchdringungen für Verbindungen nach Außen (Steckdosen, Wasserleitung, Zuluft- und Abluftöffnungen, etc.) sollten nicht im Wandbereich erfolgen, sondern im Bereich des Sockels bzw. der Kellerwände. In diesem Bereich lässt sich eine Durchdringung wesentlich unkomplizierter und günstiger herstellen.

Der Grundrissentwurf sollte jeweils auf dem Raster von 62,5 bzw. 125 cm aufgebaut sein. Abweichungen erfordern Sonderanfertigung für Dämmelemente und bedingen dadurch höhere Kosten. Wird dieser Konstruktionsraster eingehalten kann der gesamte Aufbau unter Verwendung von vorproduzierten

Einheitsbauteilen erfolgen. Für Eckausbildungen sind ebenfalls Fertigteile mit identischen Kantenlängen zum universellen Einbau vorhanden.

Die Lage der Dampfsperre erlaubt einfache Anbindung an andere Elemente und ist in fast allen Details so ausgeführt, dass eine Kontrolle und Wartung der Anschlussstellen möglich ist. Hier sei auch erwähnt, dass ein zusätzlicher Blower Door- Test vor dem Einbau des Fußbodenaufbaus durchgeführt werden sollte.

Die Konstruktion bietet den Vorteil der Wahlmöglichkeit einer beliebigen Wand bzw. Dachkonstruktion, und kann auf die dadurch gegebenen Anforderungen angepasst werden (Stützenquerschnitte, Auflager etc.)

Aufgrund der Vielzahl der möglichen Einbausituationen wird in dieser Arbeit nur eine Auswahl repräsentativer Details behandelt.

b. Berechnungsgrundlagen für die thermische Simulation

(und erweiterte Angaben)

Hersteller	Produkt	Dicke d [cm]	Wärmeleitfähigkeit λ [W/(m * K)]	Dichte ρ [kg/m ³]	Diffusions- widerstandszahl μ [-]	Spezifische Wärmekapazität c [kJ/kg * K]	Schmelzwärme [kJ/m ²]	äquivalente Luftschichtdicke sd [m]	Quellen
Micronal	PCM - Smart Board	1,50	0,196	767	8	1,20	330	0,12	[42], [41]
	Fichtenholz		0,13	600	50	2,10			[9], [43]
	Aluminium		127	2800	1500000	0,90			[47], [59]
Variotec	PUR-Massivplatte	0,40	0,07	300	65	1,87		0,26	[59], [37]
Variotec	VIP Dämmelement	4,00	0,004-0,008 (0,02)	190	* ₁ 37500	1,05		1500	[37]
Egger	Eurostrand OSB/3 - Platte	1,80	0,13	650	200	1,70		3,6	[44], [45]
Hanno	Polyurethanschaumstoff-Dichtband BG1	0,50	0,04	* ₂ 40	500	0,90		2,5	[47], [59]
	Kork		0,04	120	18	1,67			[47]
	Lärchenholz		0,15	630	50	2,00			[47]
	Silikon bzw. EPDM		0,25	1200	31000	1,00			[47]
	Hanf (Flachs)		0,04	30	1	1,55			[47]
	Bitumenbahn	0,40	0,17	* ₃ 1075	40500	1,26		162	[47]
Austrotherm	EPS W25	30,00	0,037	25	30	1,45		9	[47]
	Steinwolle	10,00	0,039	104	1	1,03		0,1	[47]
	Estrichbeton	6,00	1,4	2000	50	1,08		3	[47]
	Stahlbeton	30,00	2,3	2335	100	1,13		30	[47]
	Schotter / Kies		0,7	1800	2	1,00			[47]
	Schaumglasgranulat	50,00	0,1	105	5	1,00			[47]
	Fertigparkett	0,60	0,17	740	50	2,00		0,3	[47]
	PE-Folie	0,02	0,23	2000	100000	0,79		20	[47]
Eternit	Faserzementplatte	0,80	0,5	* ₃ 1550	400	1,05		3,2	[62], [47]
	PUR Dämmplatte	14,00	0,025	30	50	1,87		7	[59]
	Edelstahl (V2A)		* ₂ 15	* ₂ 7800	* ₂ 1500000	0,46			[47]
	Kalkgipsputz	1,50	0,7	1300	10	0,96		0,15	[47]
	Glas	0,40	0,81	2500	1500000	0,80		6000	[47], [59]
	Dampfsperre	* ₄ 0,10	0,23	2000	1500000	0,79		1500	[47], [59]

*₁ Rechenwert zur Errechnung von sd=1500 m (Dampfsperre)

*₂ Wert aus Angaben in Quelle(n) gemittelt

*₃ Wert aus Flächengewicht errechnet

*₄ Wert entspricht der gezeichneten Größe im Simulationsmodell

Tab.: 6.1
Rechenwerte für die thermische Simulation

Allgemeine Annahmen:

Für die computergestützte Simulation wurde folgendes Programm verwendet:

ANTHERM V3.53 (T. Kornicki)

Es gelten alle materialspezifischen Kennwerte aus Tab 6.1

Aufgrund der Programmvoraussetzung der Achsenparallelität der einzelnen Bauteile wurden Schrägflächen durch Abtreppungen approximiert.

Annahmen zur Simulation des Wärmestroms und des Temperaturverlaufes :

Die Wärmeleitfähigkeit der VIP wird mit $\lambda = 0,006 \text{ W/(mK)}$ angenommen.

Die Temperatur für den Außenraum wird mit -12°C angenommen. Die Rauminnentemperatur für Aufenthaltsräume mit 20°C . Die Rauminnentemperatur für Kellerräume unbeheizt: 10°C .

Der Wärmefluss im Bereich erdaufliegender Bauteile wird durch die Einführung einer Baustoffschicht mit einer Dicke und Breite von $15,85 \text{ m}$ ($2,5 \times$ Gebäudebreite) und einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 2 \text{ W/(mK)}$ dargestellt.

Die Wärmeübergangswiderstände werden wie folgt angenommen:

$$R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W } (\alpha = 25 \text{ W/m}^2\text{K})$$

$$R_{si} = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W } (\alpha = 25 \text{ W/m}^2\text{K})$$

Abeichend: Für die Berechnungen im Bereich der Fenster:

$$R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W } (\alpha = 7,69 \text{ W/m}^2\text{K})$$

Annahmen zur Simulation und Auswertung der Dampfdruckdifferenz:

Die Damfdiffusionswiderstände nach Tab. 6.1 werden verwendet. Diese sind für Bauteilschichten mit dampfsperrender Wirkung so errechnet, dass sich bei Berücksichtigung der Schichtdicke im Simulationsmodell eine äquivalente Luftschichtdicke von $s_d = 1500 \text{ m}$ ergibt.

Im schlechtesten Fall ist hier ein völliges Versagen der Hinterlüftungsebene der Fassade, also eine ruhende Luftschicht zu sehen. Dieser Fall wird angenommen.

Rel. Luftfeuchte Außen: 80%
Rel. Luftfeuchte Innen: 53%

Die Wärmeübergangswiderstände werden wie folgt angenommen:

$$R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W } (\alpha = 25 \text{ W/m}^2\text{K})$$

$$R_{si} = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W } (\alpha = 25 \text{ W/m}^2\text{K})$$

Für die Berechnung der ψ -Werte gilt:

$$R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W } (\alpha = 7,69 \text{ W/m}^2\text{K})$$

Angaben zum verwendeten Fenstertyp:

Bei den Fensterdetails handelt es sich um geringfügig geometrisch vereinfachte Querschnitte des Fensters Fabr. „Optiwin“, Typ „Drei3Holz“



Abb.: 6.1

Bild eines Schnittmodells des verwendeten Fensters [Internetrecherche am 10.05.2008, <http://www.optiwin.net>]

Eigenschaft	Angabe	Einheit
Rahmenmaterial	Holz (Fichte, Lärche)	
Flügelrahmen-dämmung	Kork	
Dicke der Verglasung	44	mm
U_g (U-Wert Glas)	0,7	$\text{W/m}^2\text{K}$
Glasaufbau (3 S)	4/16/4/16/4	mm
U_f (U-Wert Rahmen)	0,73	$\text{W/m}^2\text{K}$
Randverbund ψ_g	0,035	W/(mK)
Glaseinstand	31	mm
U_w (U-Wert Fenster) (1,23 x 1,48m)	0,79	$\text{W/m}^2\text{K}$

Tab.: 6.2

Angaben zum in der Simulation verwendeten Fenstertyp. [63]

c. U-Wert Berechnung des ungestörten Bereichs

Die Berechnungen wurden mit dem U-Wert Kalkulator von T. Kornicki durchgeführt. Wärmeübergangswiderstände für Außenwände mit Hinterlüftung.

U-Wert Berechnung mit belüftetem VIP

Baustoff	d [mm]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	α [W/m ² K]
EN ISO 6946:1996 Außenwand mit Hinterlüftung R _{se}			0,13	7,692308
OSB Platte	18	0,13	0,138461538	
PUR Massivplatte	4	0,07	0,057142857	
VIP	40	0,02	2	
PUR Massivplatte	4	0,07	0,057142857	
OSB Platte	18	0,13	0,138461538	
Massivholz Fichte	50	0,13	0,384615385	
EN ISO 6946:1996 Außenwand mit Hinterlüftung R _{si}			0,13	7,692308

U-Wert 0,329399842 W/m²K
 ~ **0,329** W/m²K
 Tab.: 6.3

U-Wert des ungestörten Wandbereichs für den Fall der Belüftung der VIP- Ebene (λ nach [24])

U-Wert Berechnung mit Alterungszuschlag VIP

Baustoff	d [mm]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	α [W/m ² K]
EN ISO 6946:1996 Außenwand mit Hinterlüftung R _{se}			0,13	7,692308
OSB Platte	18	0,13	0,138461538	
PUR Massivplatte	4	0,07	0,057142857	
VIP	40	0,008	5	
PUR Massivplatte	4	0,07	0,057142857	
OSB Platte	18	0,13	0,138461538	
Massivholz Fichte	50	0,13	0,384615385	
EN ISO 6946:1996 Außenwand mit Hinterlüftung R _{si}			0,13	7,692308

U-Wert 0,165677457 W/m²K
 ~ **0,166** W/m²K
 Tab.: 6.4

U-Wert des ungestörten Wandbereichs unter Annahme eines durchschnittlichen Alterungszuschlages nach 50 Jahren aus [37], [56]

Anmerkung:

Die Berechnung zeigt, dass selbst nach vollständiger Belüftung der VIP- Dämmebene ($\lambda = 0,02$) die Anforderungen aller österreichischen Landesbauordnungen erfüllt werden können. (siehe 3.ii.6)

$U_{\max} = 0,035$ W/m²K
 (Vorarlberg, Tirol, Salzburg)

Anmerkung:

$\lambda = 0,008$ ergibt sich nach [37] durch Alterungszuschläge aufgrund simulierter Auswirkungen der Permeation²⁰ durch die Hüllfolie, Anstieg des Feuchtegehaltes im VIP sowie Undichtheiten im Bereich des Randverbundes.

U-Wert Berechnung gemittelter U-Wert für VIP

Baustoff	d [mm]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	α [W/m ² K]
EN ISO 6946:1996 Außenwand mit Hinterlüftung Rse			0,13	7,692308
OSB Platte	18	0,13	0,138461538	
PUR Massivplatte	4	0,07	0,057142857	
VIP	40	0,006	6,666666667	
PUR Massivplatte	4	0,07	0,057142857	
OSB Platte	18	0,13	0,138461538	
Massivholz Fichte	50	0,13	0,384615385	
EN ISO 6946:1996 Außenwand mit Hinterlüftung Rsi			0,13	7,692308

U-Wert 0,129827973 W/m²K
 ~ **0,130** W/m²K
 Tab.: 6.5

U-Wert des ungestörten Wandbereichs unter Annahme der Wärmeleitfähigkeit als Mittelwert des Auslieferungswertes und der Annahmen nach. Tab. 6.4

Anmerkung:

$\lambda = 0,006$ stellt den Leitwert im Bereich der halben Nutzungsdauer des Paneels dar, wenn $\lambda = 0,008$ als Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit angesetzt wird. Der resultierende U-Wert zeigt, dass unter zusätzlicher Berücksichtigung der Wärmebrückenzuschläge, der maximal empfohlene U-Wert für Passivhauswandsysteme erreicht werden könnte (0,15 W/m²K).

U-Wert Berechnung ohne Alterungszuschlag VIP

Baustoff	d [mm]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	α [W/m ² K]
EN ISO 6946:1996 Außenwand mit Hinterlüftung Rse			0,13	7,692308
OSB Platte	18	0,13	0,138461538	
PUR Massivplatte	4	0,07	0,057142857	
VIP	40	0,004	10	
PUR Massivplatte	4	0,07	0,057142857	
OSB Platte	18	0,13	0,138461538	
Massivholz Fichte	50	0,13	0,384615385	
EN ISO 6946:1996 Außenwand mit Hinterlüftung Rsi			0,13	7,692308

U-Wert 0,090613985 W/m²K
 ~ **0,091** W/m²K
 Tab.: 6.6

U-Wert des ungestörten Wandbereichs im Herstellungszustand (λ nach [37])

Anmerkung:

$\lambda = 0,004$ stellt einen Idealzustand des Leitwertes eines VIP direkt nach dem Einbau dar, und berücksichtigt keine Effekte der Wärmebrücken im Fugenbereich zweier Paneele bzw. des Randverbundes.

d. Anschlussdetails

i. Außenecke

01

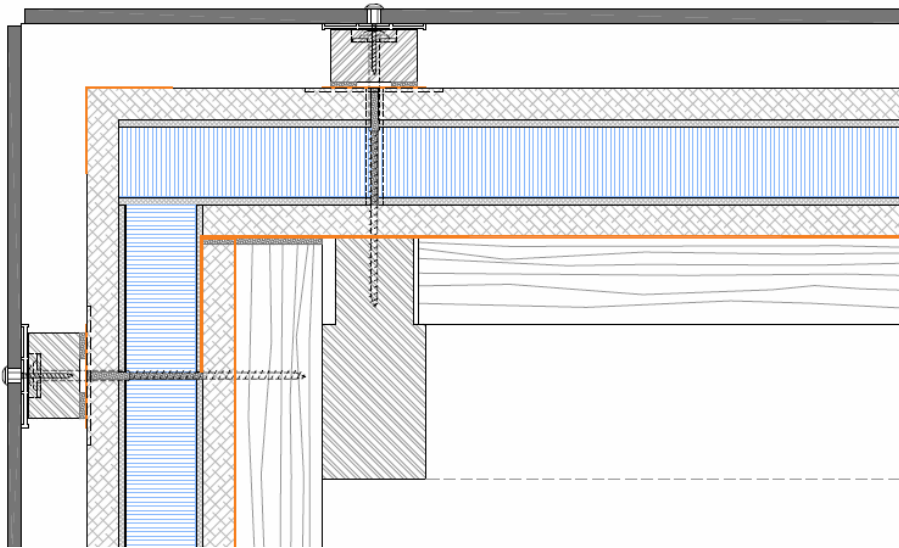


Abb.: 6.2
Detailausbildung Außenecke, maßstäblicher Plan siehe Anhang (Plan Nr.: 01)

Die Außenecke kann unter Verwendung von Normbauteilen, die anhand des Rastermaßes konstruiert wurden, in einem Winkel von 90° hergestellt werden. Um einen möglichst wärmebrückenfreien Anschluss zu erhalten, wird die Dämmebene im Eckbereich als Fertigelement ausgebildet. Dadurch kann die kraftschlüssige Verbindung der Wandelemente einfach erfolgen. Die Konstruktion ermöglicht symmetrische Eckansichten, aufgrund der Anordnung des Konstruktionsrasters. Alle Außeneckanschlüsse können ident hergestellt werden.

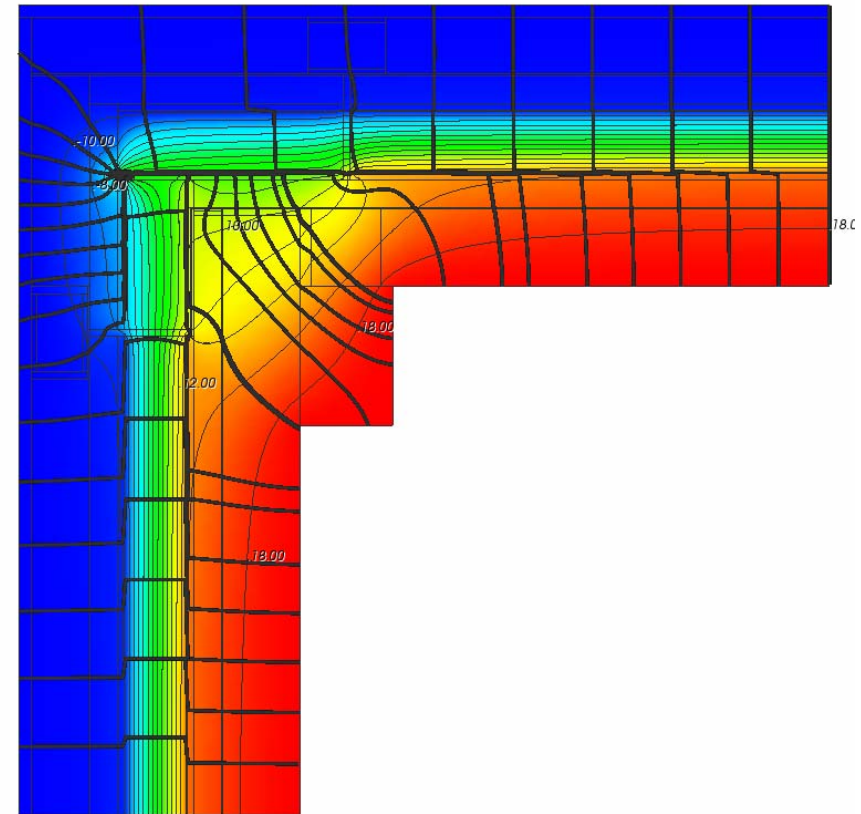
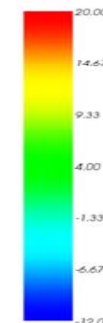


Abb.: 6.3
Temperaturverlauf (Isothermendarstellung) und Wärmestromlinien Außenecke
Grafik: Erstellt mit ANTHERM, T. Kornicki

Randbedingungen:

Innentemperatur: +20°C
 Außentemperatur: -12°C
 Außenabwicklung: 1,494m
 $\lambda_{\text{VjP}} = 0,006 \text{ W/(mK)}$
 $\theta_{\text{i,min}} = 18,93 \text{ °C}$



Charakteristik:

Leitwert ungestörter Bereich: 0,129427 W/K
 Leitwert Außenecke: 0,152455 W/K
 Wärmestrom zwischen 2 Stromlinien: 0,2 W

$\psi = -0,041 \text{ W/(mK)}$
 $f_{\text{Rsi}}^* = 0,97 (>0,71)$

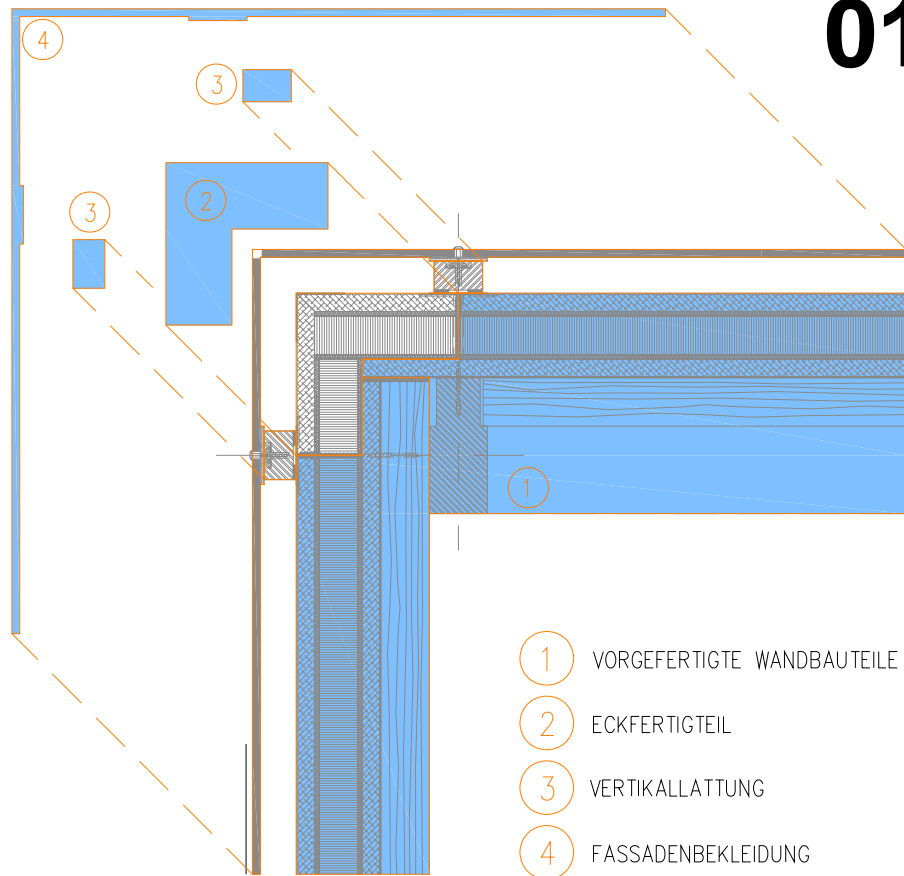


Abb.: 6.4
 Darstellung des Montageablaufs der Außenecke

Der genaue Montageablauf wird in Abschnitt 6.f beschrieben.



Abb.: 6.5
 Bereiche negativer Dampfdruckdifferenz im Detail Außenecke
 Grafik: Erstellt mit ANTHERM, T. Kornicki

<p>Randbedingungen:</p> <p>Innentemperatur: +20°C Außentemperatur: -12°C Rel. Luftfeuchte Außen: 80% Rel. Luftfeuchte Innen: 53%</p>		<p>Einschätzung:</p> <p>Die Bereiche neg. Dampfdruckdifferenz bedeuten die Möglichkeit des Ausfalls von Kondensat. Aufgrund der Lage <u>im</u> VIP und der jedoch hochdampfdichten Hüllfolie ist daraus zu schließen, dass $s_d=1500m$ für ein VIP als Rechenwert zu gering gewählt ist. Der Effekt ist zu vernachlässigen. Die Bereiche in der Ecke stellen aufgrund der geringen Größenordnung und der Austrocknungsmöglichkeit keine Problemstellen dar.</p>
<p>Charakteristik:</p> <p>Max. negative Dampfdruckdifferenz: -1,06 hPa</p>		

ii. Innenecke

02

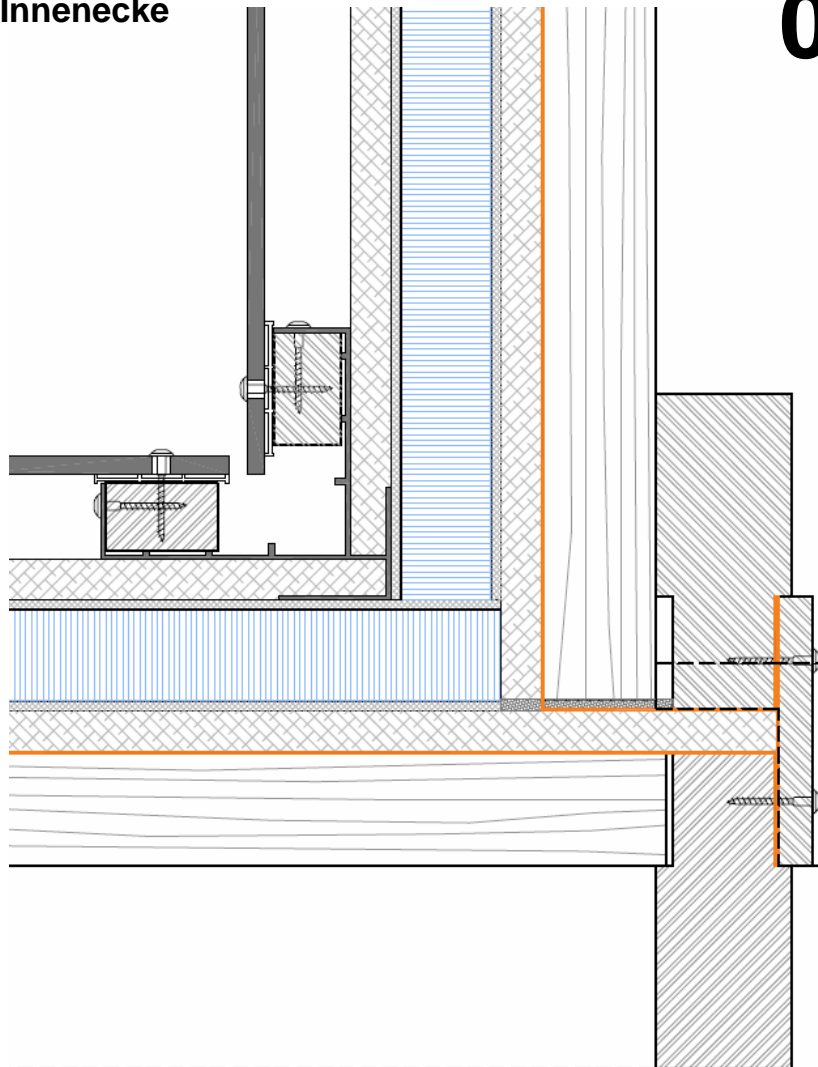


Abb.: 6.6
 Detailausbildung Innenecke,
 maßstäblicher Plan und genaue Aufbauten siehe Anhang (Plan Nr.: 02)

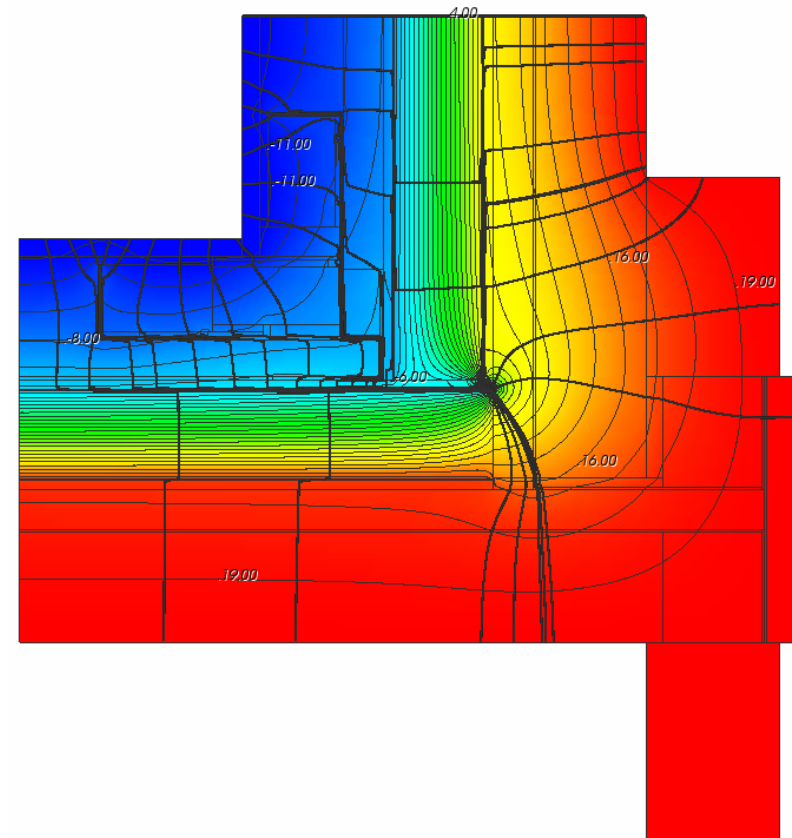
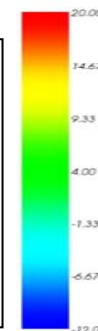


Abb.: 6.7
 Temperaturverlauf (Isothermendarstellung) und Wärmestromlinien Innenecke
 Grafik: Erstellt mit ANTHERM, T. Kornicki

Randbedingungen:

Innentemperatur: +20°C
 Außentemperatur: -12°C
 Außenabwicklung: 0,20 m
 $\lambda_{v,IP} = 0,006 \text{ W/(mK)}$
 $\theta_{i,min} = 19,02 \text{ °C}$



Charakteristik:

Leitwert ungestörter Bereich: 0,129427 W/K
 Leitwert Innenecke: 0,109852 W/K
 Wärmestrom zwischen 2 Stromlinien: 0,2 W

$\psi = 0,07 \text{ W/(mK)}$
 $f_{Rsi}^* = 0,97 (>0,71)$

02

Zur Herstellung einer Innenecke wird ebenfalls ein Dämmungsfertigteil eingesetzt. Die Dampfsperreanbindung ist jederzeit zerstörungsfrei wartungsfähig. Auf diese Weise werden Innenecken im Winkel von 90° hergestellt. Der genaue Montageablauf wird in Abschnitt 6.f beschrieben.

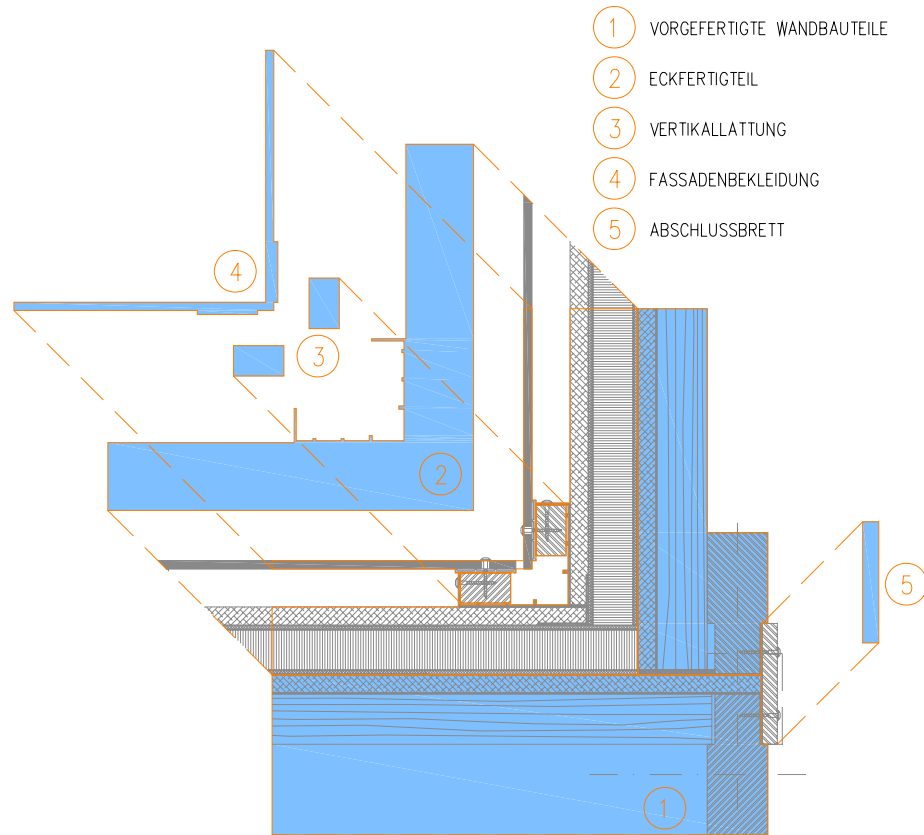


Abb.: 6.8
Darstellung des Montageablaufs der Innenecke



Abb.: 6.9

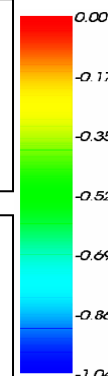
Bereiche negativer Dampfdruckdifferenz im Detail Innenecke
Grafik: Erstellt mit ANTHERM, T. Kornicki

Randbedingungen:

Innentemperatur: +20°C
 Außentemperatur: -12°C
 Rel. Luftfeuchte Außen: 80%
 Rel. Luftfeuchte Innen: 53%

Charakteristik:

Max. negative Dampfdruckdifferenz: -1,04 hPa



Einschätzung:

Die Bereiche neg. Dampfdruckdifferenz bedeuten die Möglichkeit des Ausfalls von Kondensat. Große Teile dieser Bereiche befinden sich im VIP. Die hochdampfdichte Hüllfolie verhindert jedoch das Eindringen von Wasserdampf. Die Bereiche in der Ecke stellen aufgrund der geringen Größenordnung der Dampfdruckdifferenz und der Austrocknungsmöglichkeit keine Problemstellen dar. Die kritischen Stellen entstehen durch die hohe Leitfähigkeit der Aluminiumschichten und dadurch starker, punktueller Abkühlung

iii. Elementstoß (Dämmungsstoß)

03

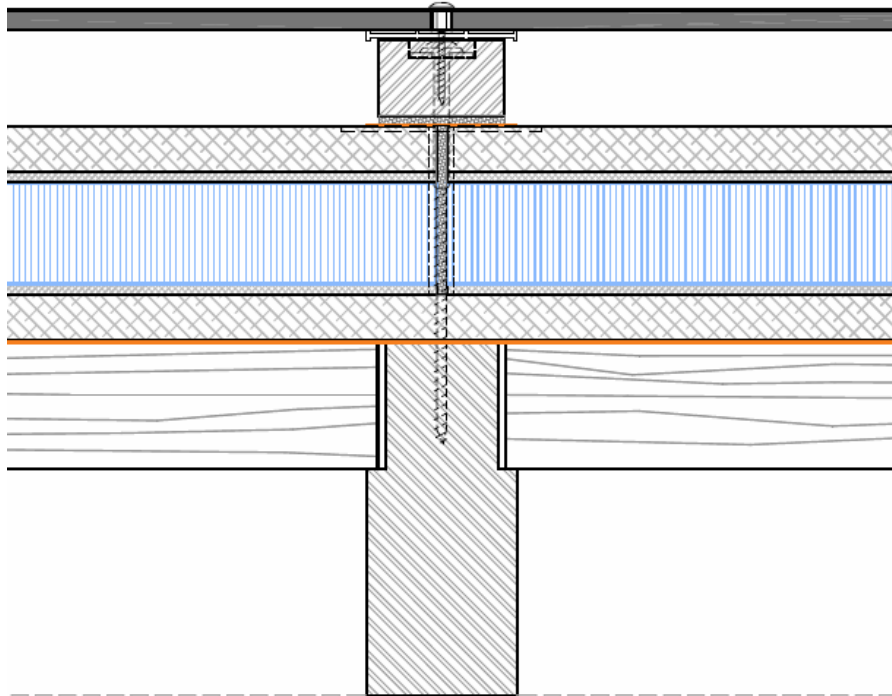


Abb.: 6.10

Detailausbildung Elementstoß, maßstäblicher Plan siehe Anhang (Plan Nr.: 03)

Dieses Detail stellt die Lösung für den Dämmungsstoß und die Fixierung der VIPs dar. Es ist eine Spaltmaß von 5 mm zwischen den Dämmelementen geplant, was mit den derzeit üblichen Fertigungsgenauigkeiten vereinbar erscheint.

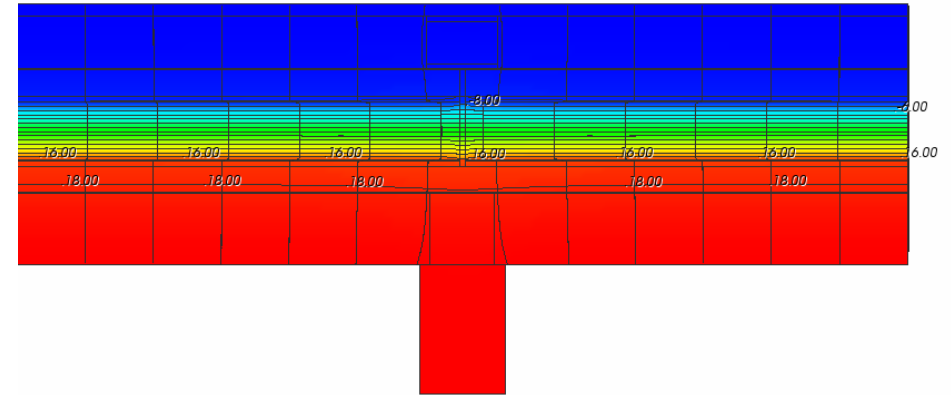
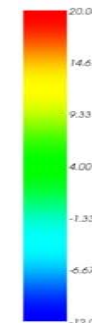


Abb.: 6.11

Temperaturverlauf (Isothermendarstellung) und Wärmestromlinien Elementstoß
Grafik: Erstellt mit ANTHERM, T. Kornicki

Randbedingungen:

Innentemperatur: +20°C
 Außentemperatur: -12°C
 Außenabwicklung: 1,0m
 $\lambda_{VIP} = 0,006 \text{ W/(mK)}$
 $\theta_{i,min} = 19,73 \text{ °C}$

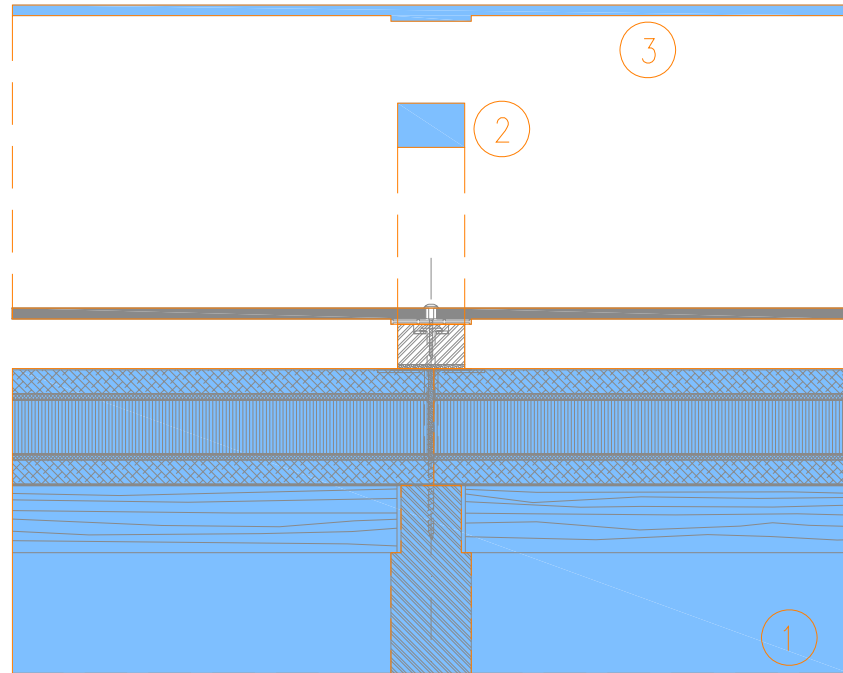


Charakteristik:

Leitwert ungestörter Bereich: 0,129427 W/K
 Leitwert Elementstoß: 0,081602 W/K
 Wärmestrom zwischen 2 Stromlinien: 0,2 W

$\psi = 0,048 \text{ W/(mK)}$
 $f_{Rsi}^* = 0,99 (>0,71)$

03



- ① VORGEFERTIGTE WANDBAUTEILE
- ② VERTIKALLATTUNG
- ③ FASSADENBEKLEIDUNG

Abb.: 6.12
Darstellung des Montageablaufs des Elementstoßes (Dämmungsstoß)

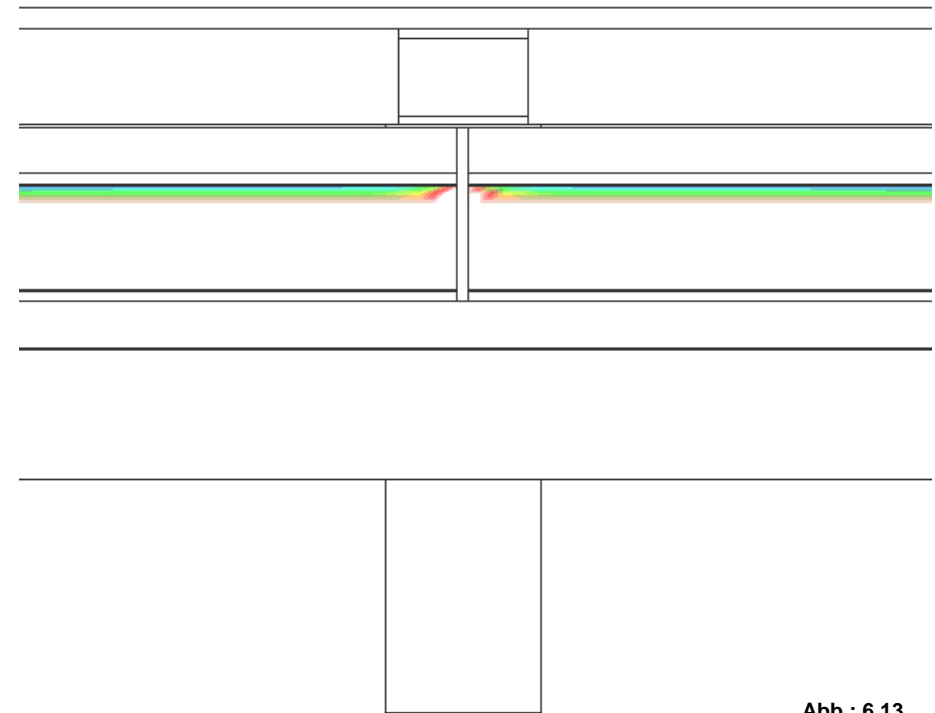
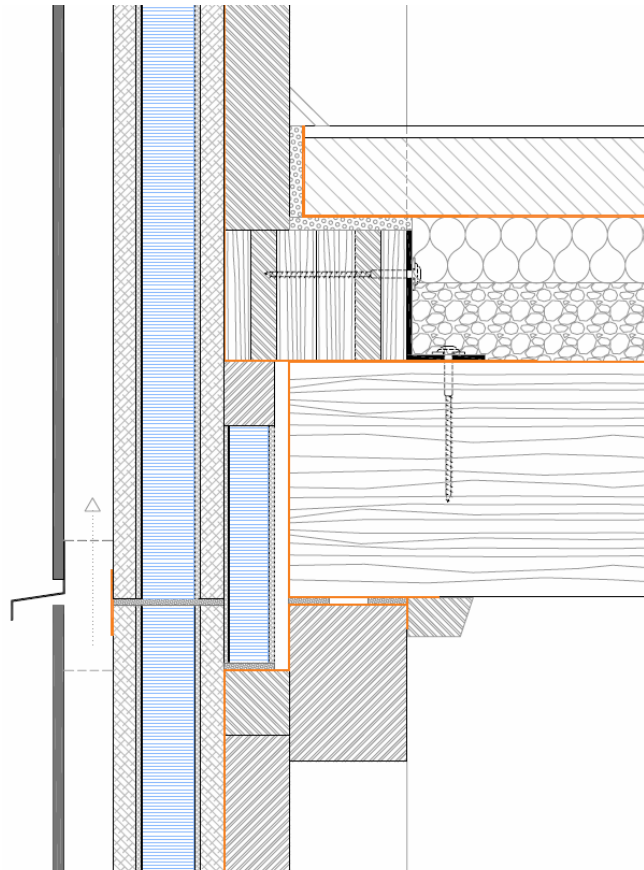


Abb.: 6.13
Bereiche negativer Dampfdruckdifferenz im Elementstoß
Grafik: Erstellt mit ANTHERM, T. Kornicki

<p>Randbedingungen:</p> <p>Innentemperatur: +20°C Außentemperatur: -12°C Rel. Luftfeuchte Außen: 80% Rel. Luftfeuchte Innen: 53%</p>		<p>Einschätzung:</p> <p>Die Bereiche neg. Dampfdruckdifferenz bedeuten die Möglichkeit des Ausfalls von Kondensat. In diesem Detail befinden sich alle betroffenen Stellen <u>im</u> VIP. Die hochdampfdichte Hüllfolie verhindert jedoch das Eindringen von Wasserdampf. Es besteht keine Kondensationsgefahr.</p>
<p>Charakteristik:</p> <p>Max. negative Dampfdruckdifferenz: -0,76 hPa</p>		

iv. Geschossdeckenanschluss

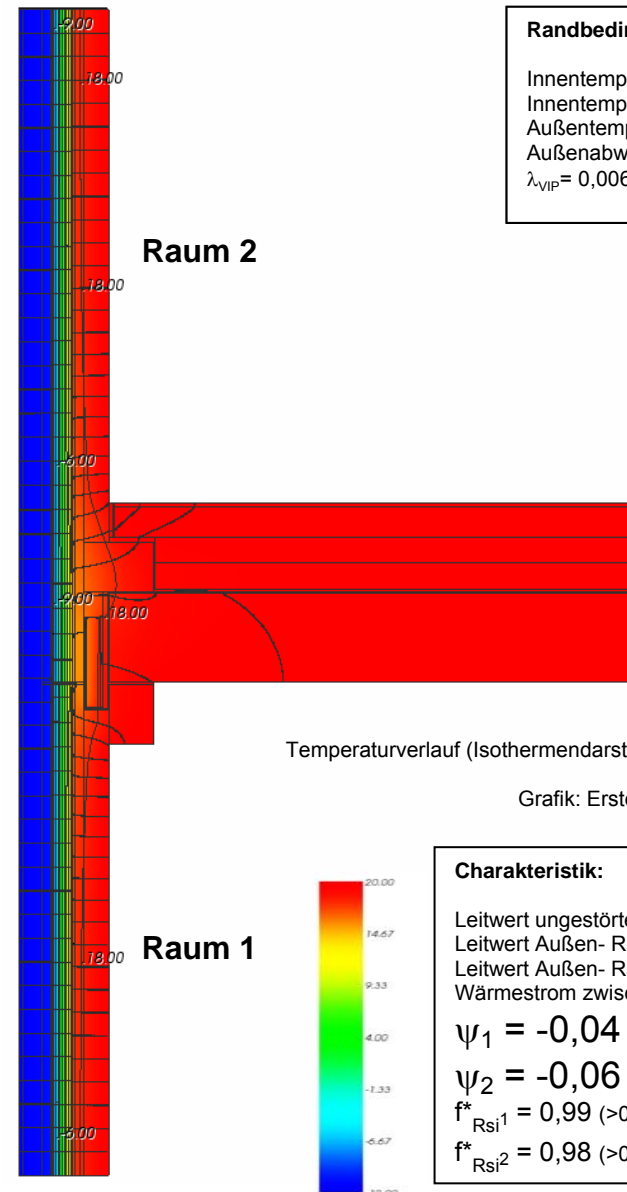


04

Abb.: 6.14

Detailausbildung Deckenanschluss, maßstäblicher Plan siehe Anhang (Plan Nr.: 04)

Der Geschosdeckenanlass wurde durch den Einsatz einer zweiten VIP Dämmlage im Stossbereich optimiert. Oberhalb des VIP befindet sich ein Holzstafel, der eine Beschädigung des VIP bei der Kranmontage verhindern soll.



Randbedingungen:
 Innentemperatur Raum 1: +20°C
 Innentemperatur Raum 2: +20°C
 Außentemperatur: -12°C
 Außenabwicklung: 2,36m
 $\lambda_{VIP} = 0,006 \text{ W/(mK)}$

Abb.: 6.15
 Temperaturverlauf (Isothermendarstellung) und Wärmestromlinien im Detail Deckenanschluss
 Grafik: Erstellt mit ANTHERM, T. Kornicki

Charakteristik:
 Leitwert ungestörter Bereich: 0,129427 W/K
 Leitwert Außen- Raum 1: 0,143578 W/K
 Leitwert Außen- Raum 2: 0,160027 W/K
 Wärmestrom zwischen 2 Stromlinien: 0,2 W
 $\psi_1 = -0,04 \text{ W/(mK)}$
 $\psi_2 = -0,06 \text{ W/(mK)}$
 $f_{Rsi1}^* = 0,99 (>0,71)$
 $f_{Rsi2}^* = 0,98 (>0,71)$

04

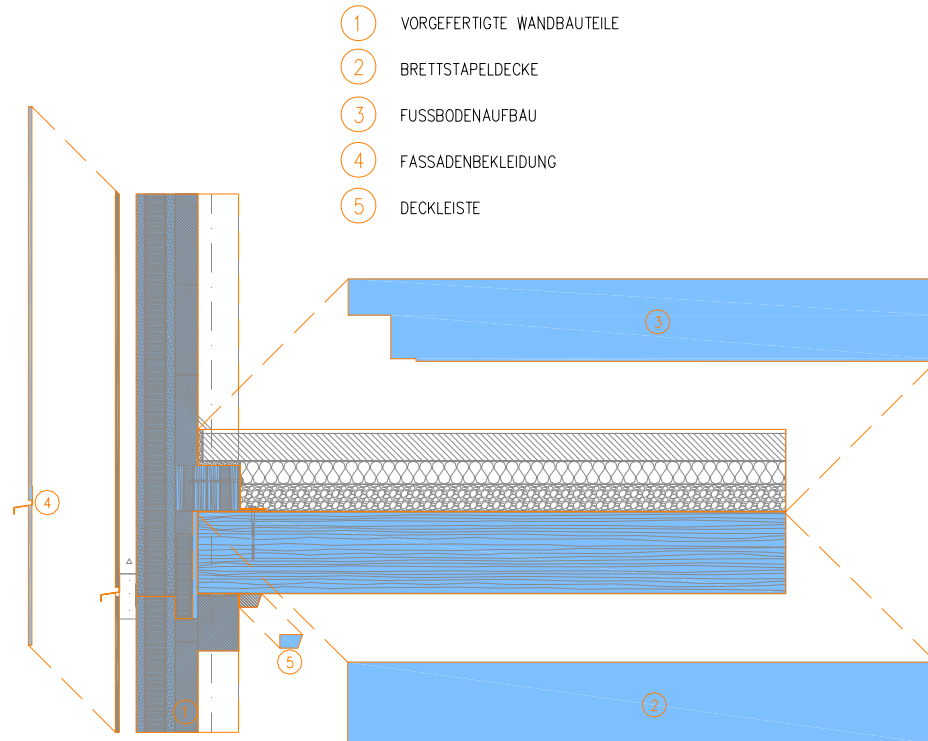
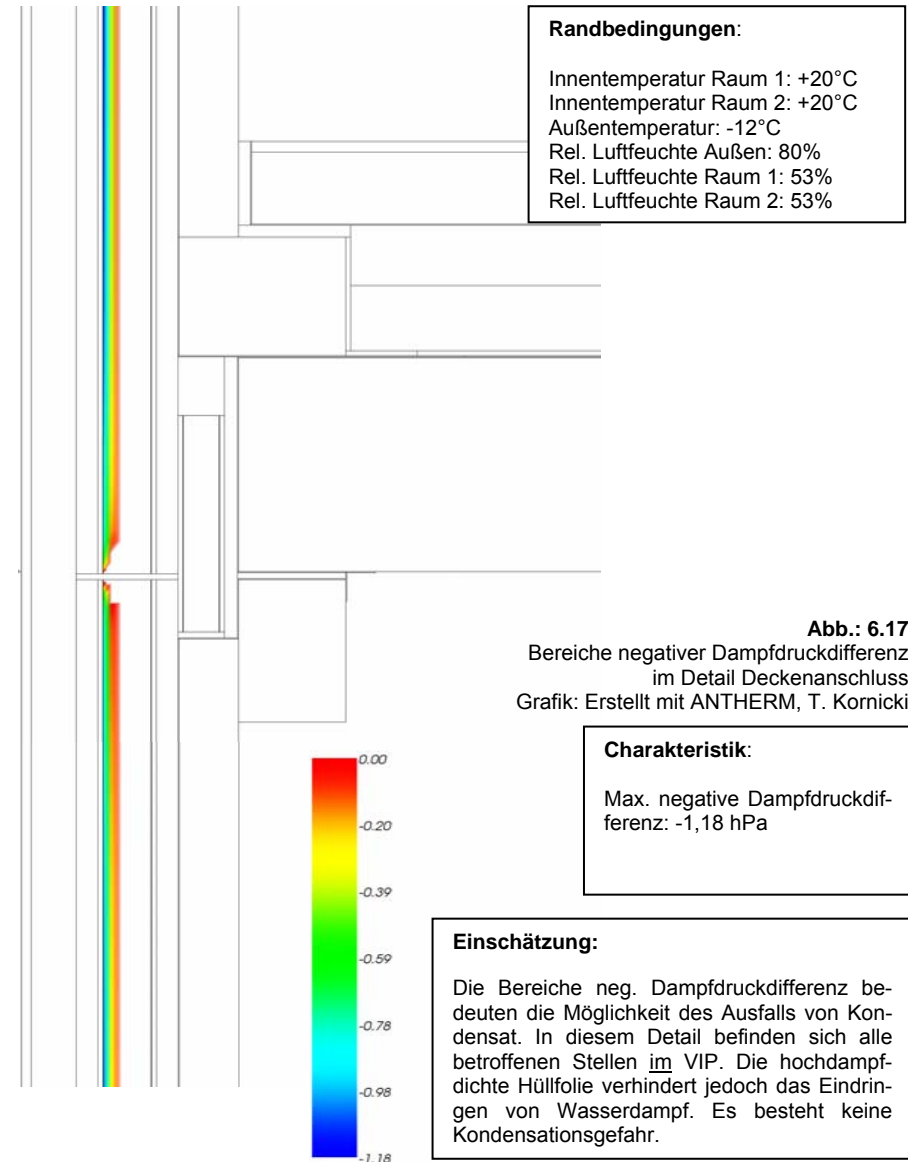


Abb.: 6.16
Darstellung des Montageablaufs des Geschosßdeckenanschlusses



v. Sockelanschluss Plattenfundament

05

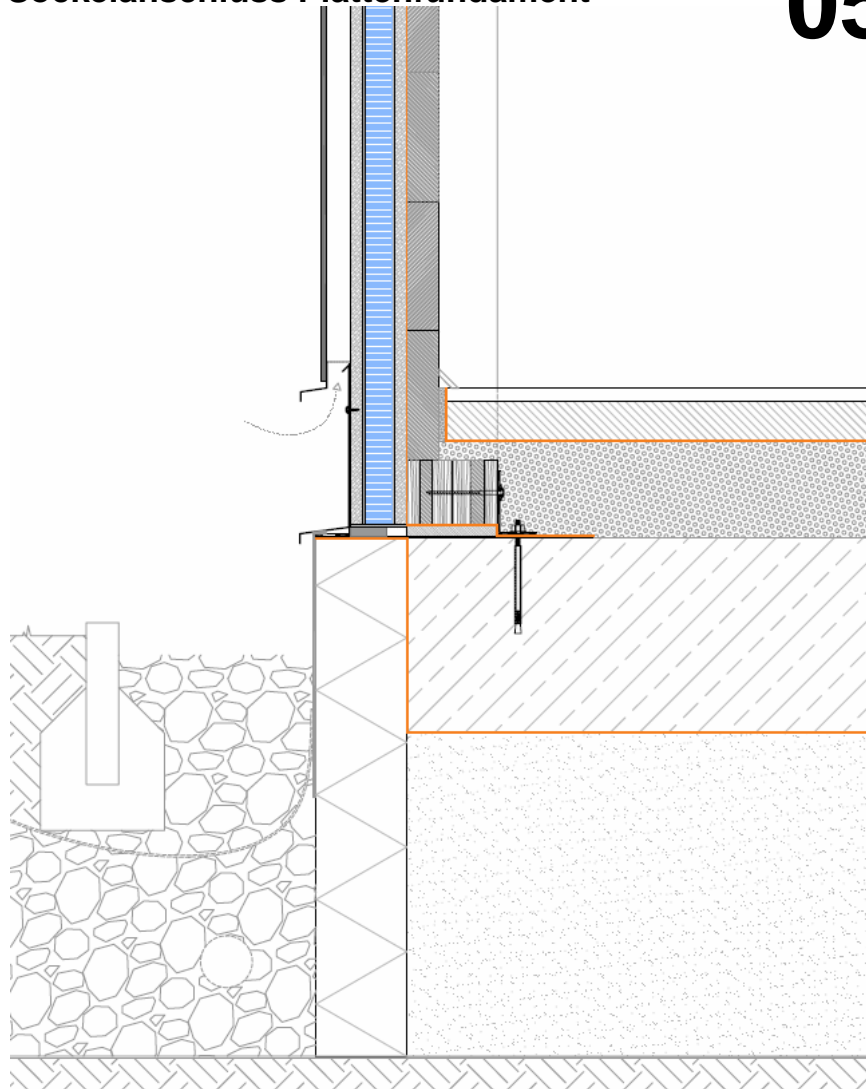


Abb.: 6.18

Sockelanschluss Plattenfundament, maßstäblicher Plan siehe Anhang (Plan Nr.: 05)

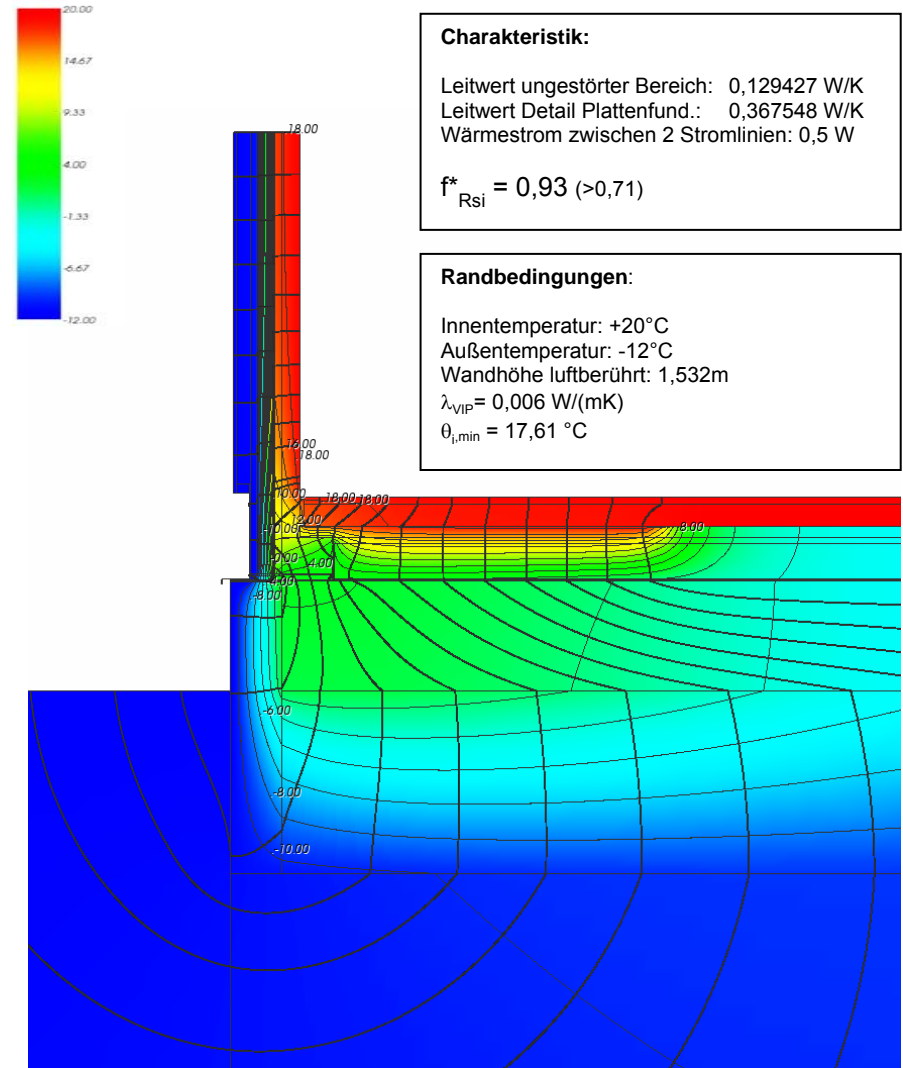


Abb.: 6.19

Temperaturverlauf (Isothermendarstellung) und Wärmestromlinien Plattenfundament
 Grafik: Erstellt mit ANTHERM, T. Kornicki

Zur Verbesserung kann die Dämmstoffdicke des Sockels erhöht werden!

05

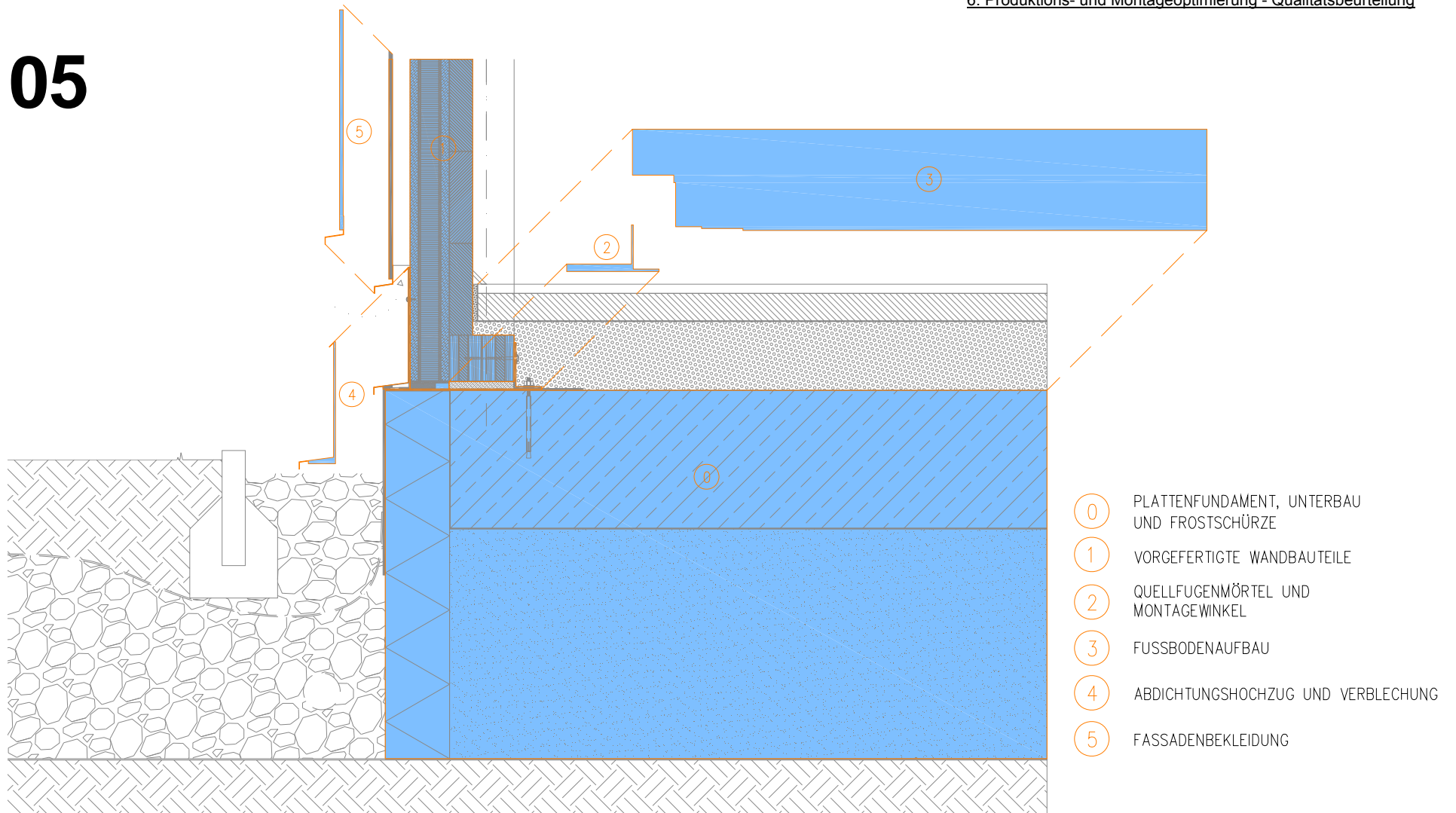


Abb.: 6.20
 Darstellung des Montageablaufs des Sockelanschlusses mit Plattenfundament

vi. Sockelanschluss Keller

06

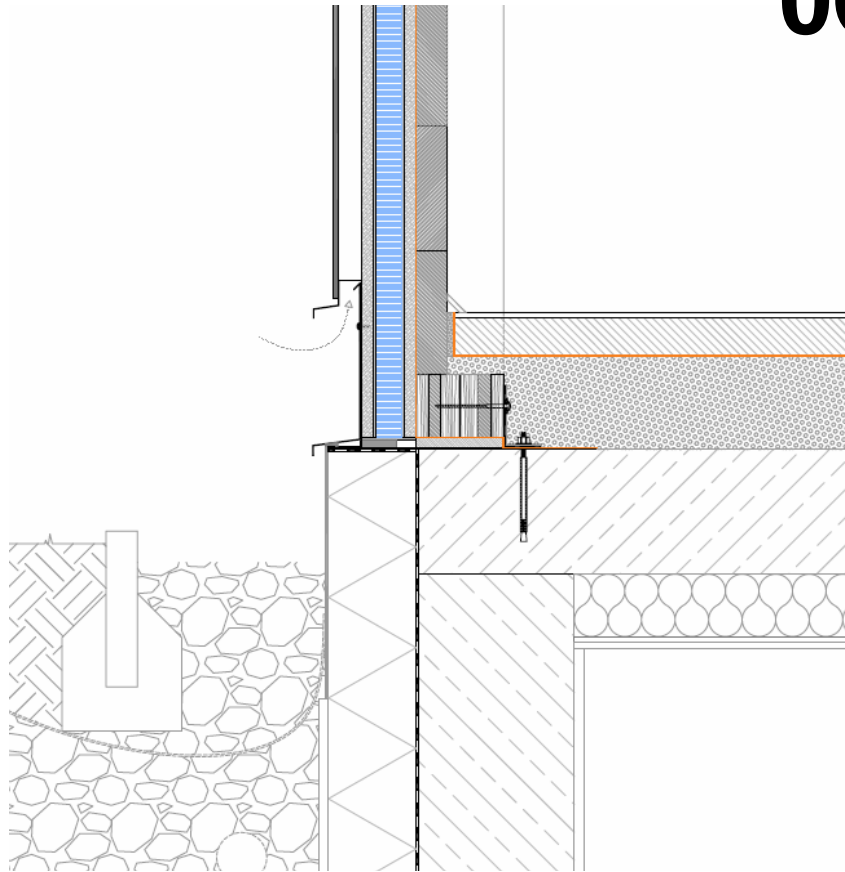


Abb.: 6.21

Detailausbildung Sockelanschluss Keller, maßstäblicher Plan siehe Anhang (Plan Nr.: 06)

Der Einfachheit halber wurde bei diesem Detail angenommen, dass der Keller 1m über das angrenzende Gelände ragt. Ziel der Simulation war die Quantifizierung des Wärmeflusses im Anschlussbereich der Wand an die Kellerdecke. Von der Angabe von ψ -Werten wurde ebenfalls abgesehen, da diese nur in der simulierten Temperaturzusammenstellung gelten würden!

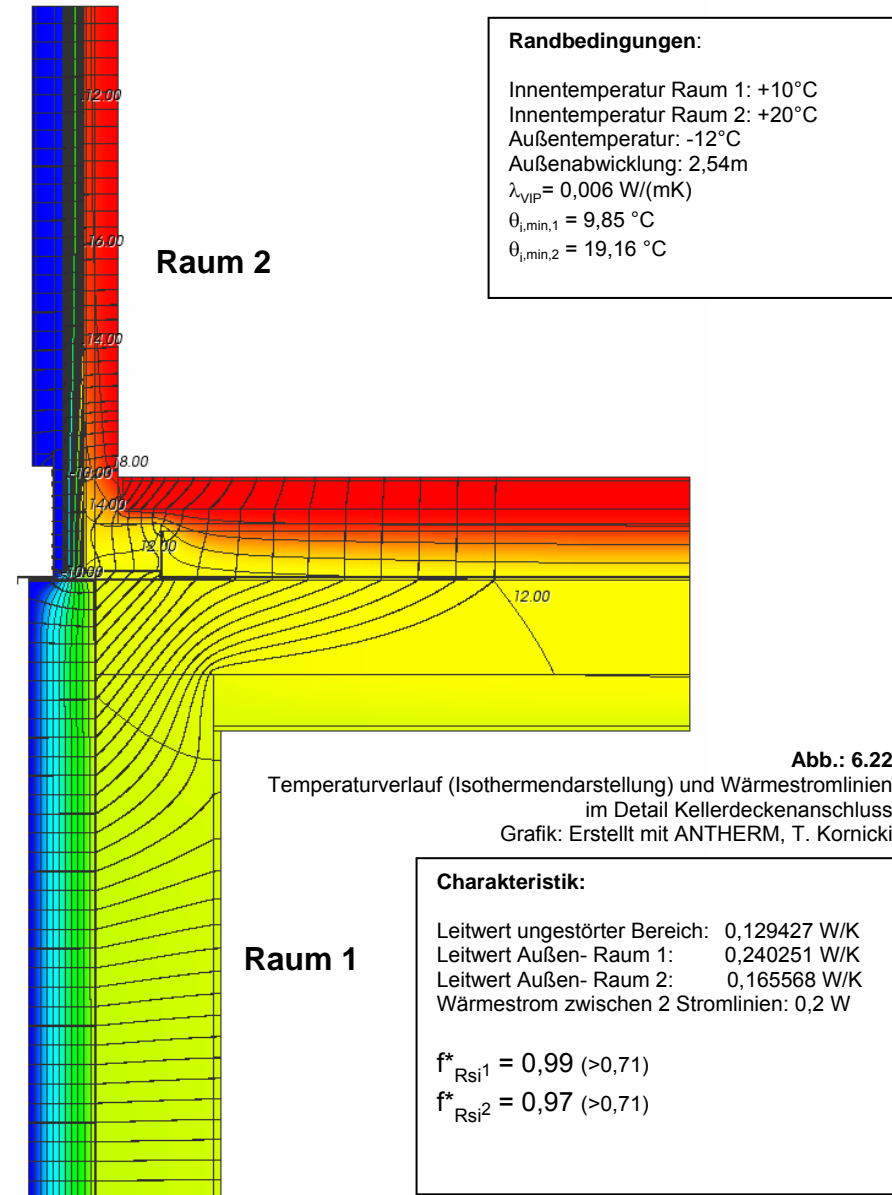


Abb.: 6.22

Temperaturverlauf (Isothermendarstellung) und Wärmestromlinien im Detail Kellerdeckenanschluss
 Grafik: Erstellt mit ANTHERM, T. Kornicki

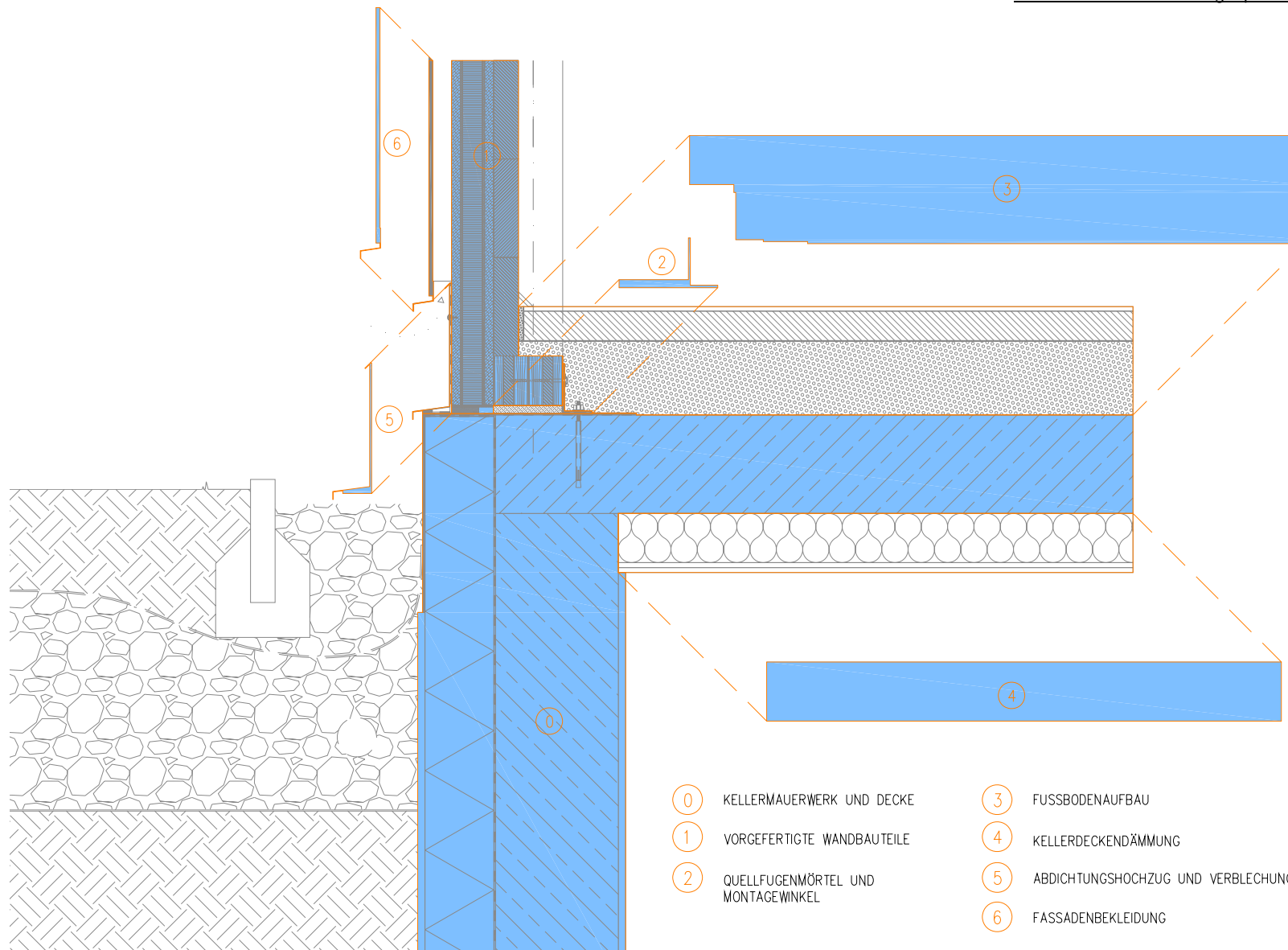
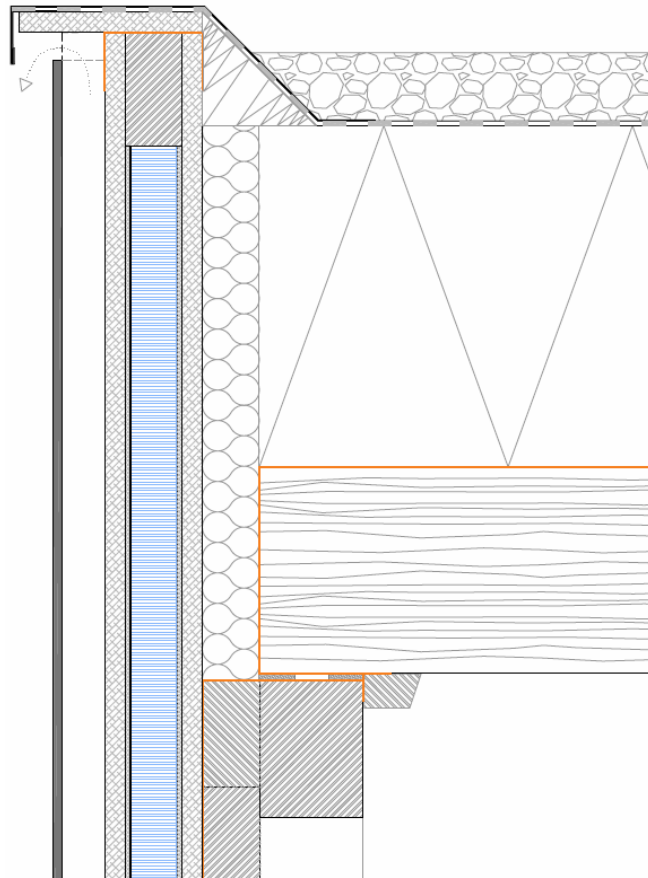


Abb.: 6.23
Darstellung des Montageablaufs des Sockelanschlusses mit Keller

vii. Dachanschluss

07



Das Wandsystem erlaubt die Wahl unterschiedlichster Dachaufbauten. Für die Simulation wurde ein herkömmlicher Flachdachaufbau als Warmdach mit einer Brettstapeldecke und EPS- Dämmlage gewählt. Den oberen Abschluss des Wandelements bildet ein eingelegter Holzstapel, der die Befestigung der Attikakonstruktion erlaubt. Dampfsperrenstöße sind jederzeit wartbar!

Abb.: 6.24

Detailausbildung Dachanschluss Flachdach, maßstäblicher Plan siehe Anhang (Plan Nr.: 07)

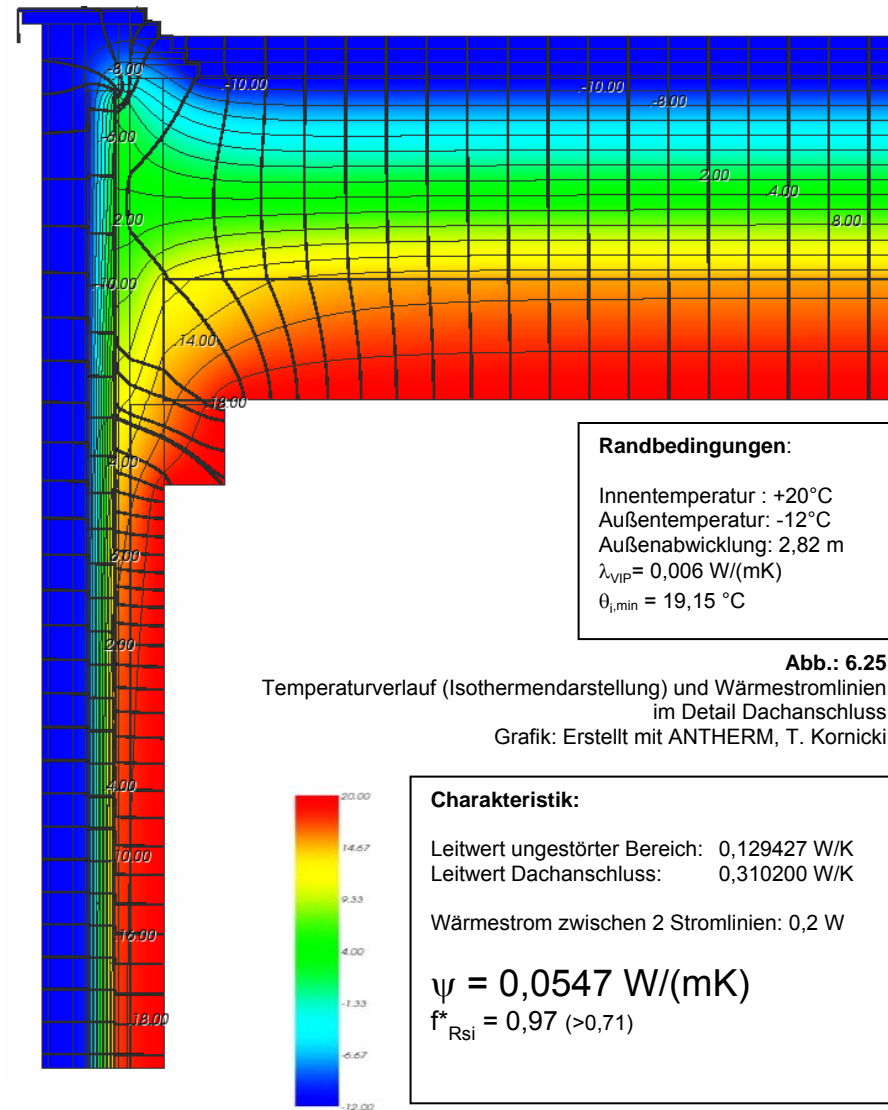
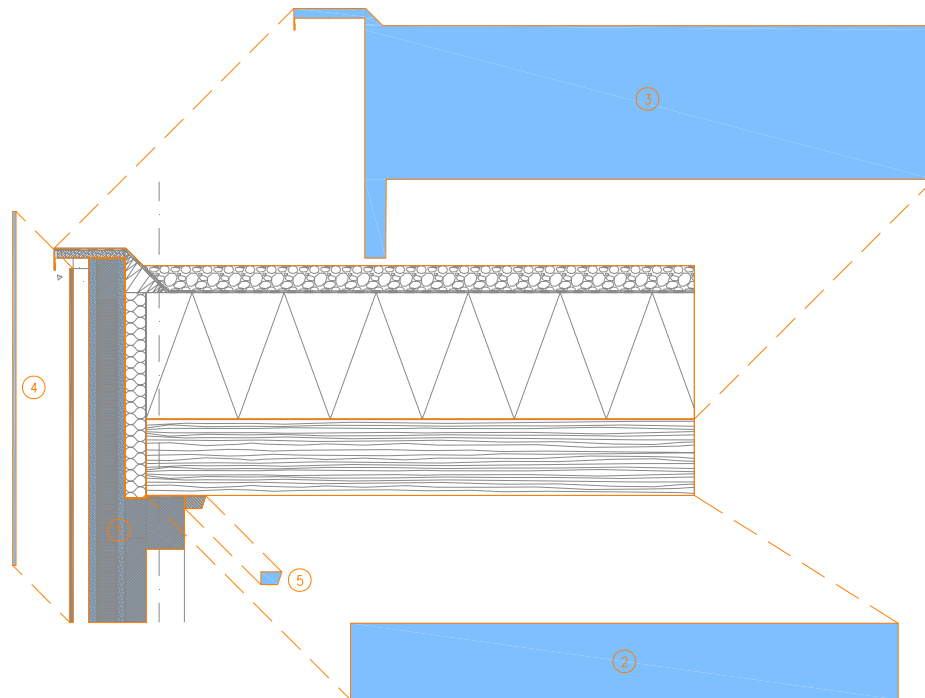


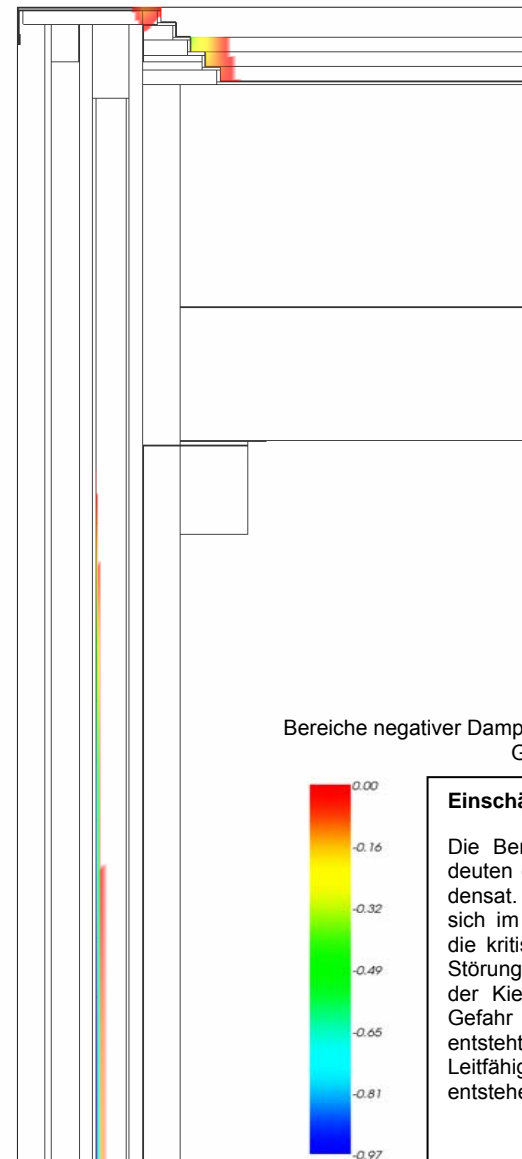
Abb.: 6.25
 Temperaturverlauf (Isothermendarstellung) und Wärmestromlinien im Detail Dachanschluss
 Grafik: Erstellt mit ANTHERM, T. Kornicki

07



- | | |
|------------------------------|-------------------------|
| ① VORGEFERTIGTE WANDBAUTEILE | ③ DACHAUFBAU UND ATTIKA |
| ② BRETTSTAPELDECKE | ④ FASSADENBEKLEIDUNG |
| | ⑤ ABDECKLEISTE |

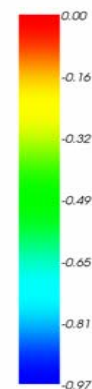
Abb.: 6.26
Darstellung des Montageablaufs des Dachanschlusses.



Charakteristik:
Max. negative Dampfdruckdifferenz: -0,97 hPa

Randbedingungen:
Innentemperatur: +20°C
Außentemperatur: -12°C
Rel. Luftfeuchte Außen: 80%
Rel. Luftfeuchte Innen: 53%

Abb.: 6.27
Bereiche negativer Dampfdruckdifferenz im Detail Dachanschluss
Grafik: Erstellt mit ANTHERM, T. Kornicki



Einschätzung:
Die Bereiche neg. Dampfdruckdifferenz bedeuten die Möglichkeit des Ausfalls von Kondensat. Wie auch in den anderen Details zeigt sich im Bereich des Dachanschlusses, dass die kritischen Stellen im VIP liegen, und die Störung im Attikabereich zum größten Teil in der Kiesschüttung auftritt, und daher keine Gefahr für das Bauteil besteht. Der Effekt entsteht auch hier durch die stark erhöhte Leitfähigkeit des Aluminiums und dadurch entstehende örtliche Abkühlungen.

e. Einbaudetails

i. Fensteranschluss

1. Leibungsdetail

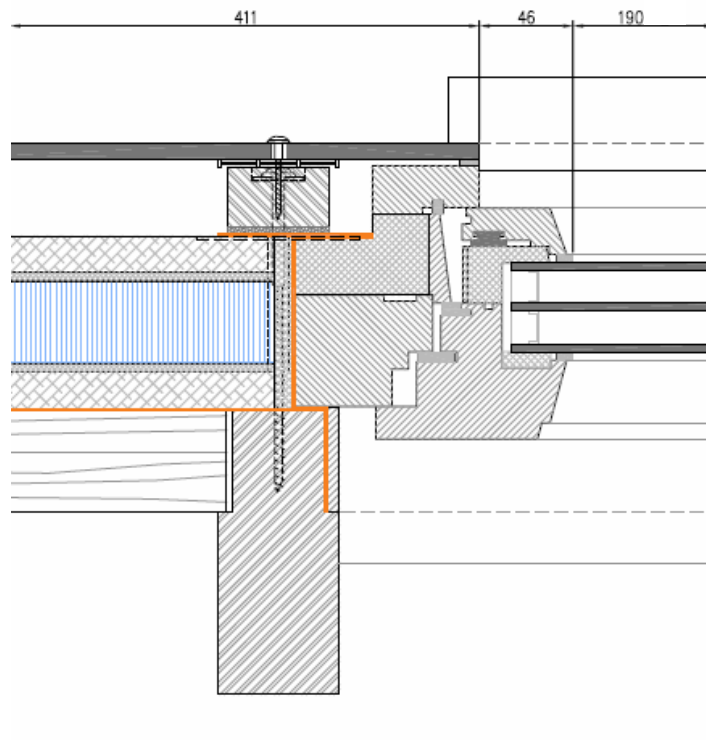


Abb.: 6.28

Detailausbildung Fensteranschluss im Leibungsbereich. Detailplan siehe Anhang (Plan Nr.: 08)

Durch die schlanke Wandkonstruktion sitzt das Fenster an der Außenkante der Wand. Dadurch wird die Verschattung durch den Sturz und die Leibung minimiert. Der Einbau erfolgt nach ÖNORM B 5320. Die berücksichtigte Breite des Glases beträgt 190 mm²¹

08

Hilfsmodellierung:

Um die Beeinflussung des Leitwertes durch das Glas ermitteln zu können, wurde ein Dämmstoffblock anstelle des Glases eingesetzt. Durch den bekannten U-Wert dieses Dämmstoffes und des U-Wertes des Rahmens lässt sich der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient für die Einbausituation ermitteln. Die Flächenermittlung für die Wärmebedarfsberechnungen kann dann vereinfacht anhand der Architekturlichte der Fenster erfolgen.

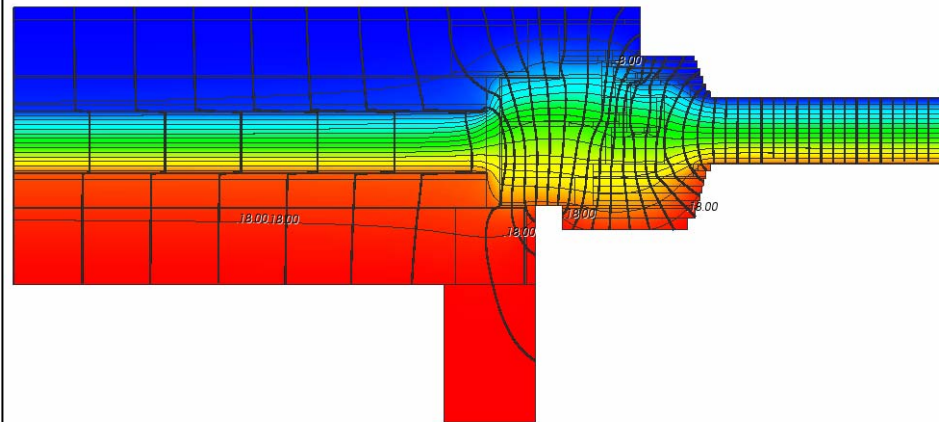
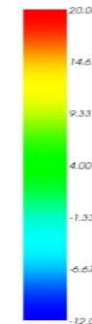


Abb.: 6.29

Temperaturverlauf (Isothermendarstellung) und Wärmestromlinien im Detail Leibungsanschluss
Grafik: Erstellt mit ANTHERM, T. Kornicki

Randbedingungen:

Innentemperatur : +20°C
 Außentemperatur: -12°C
 Außenabwicklung: 0,647m
 $\lambda_{VIP} = 0,006 \text{ W/(mK)}$
 $\lambda_{\text{Glaserersatz}} = 0,04 \text{ W/(mK)}$



Charakteristik:

Leitwert ungestörter Bereich: 0,129427 W/K
 Leitwert Leibungsanschluss: 0,240251 W/K

Wärmestrom zwischen 2 Stromlinien: 0,2 W

$\psi = 0,06 \text{ W/(mK)}$

$f_{Rsi}^* = 0,89 (>0,71)$

2. Sturzdetail

09 11

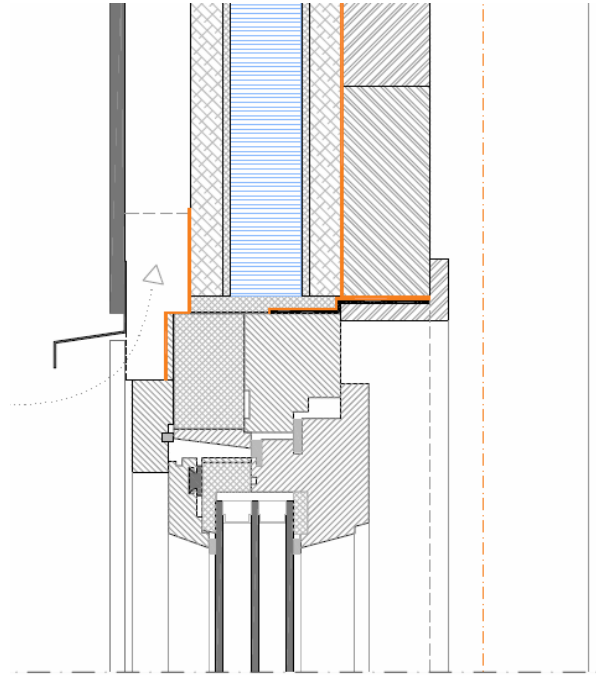


Abb.: 6.30
Detailausbildung Fensteranschluss im Sturzbereich. Detailplan siehe Anhang (Plan Nr.: 09)

Der Fenstereinbau erfolgt durch das Anbringen von Montagewinkeln im Parapet- und Sturzbereich. Die Abdichtung wird im 3 – Ebenen System ausgeführt: Abdichtungsband Innen (z.B. Hanno Stretch FI), PU-Schaum 2K, (Abdichtungsband Außen (z.B. Hanno Stretch FA).

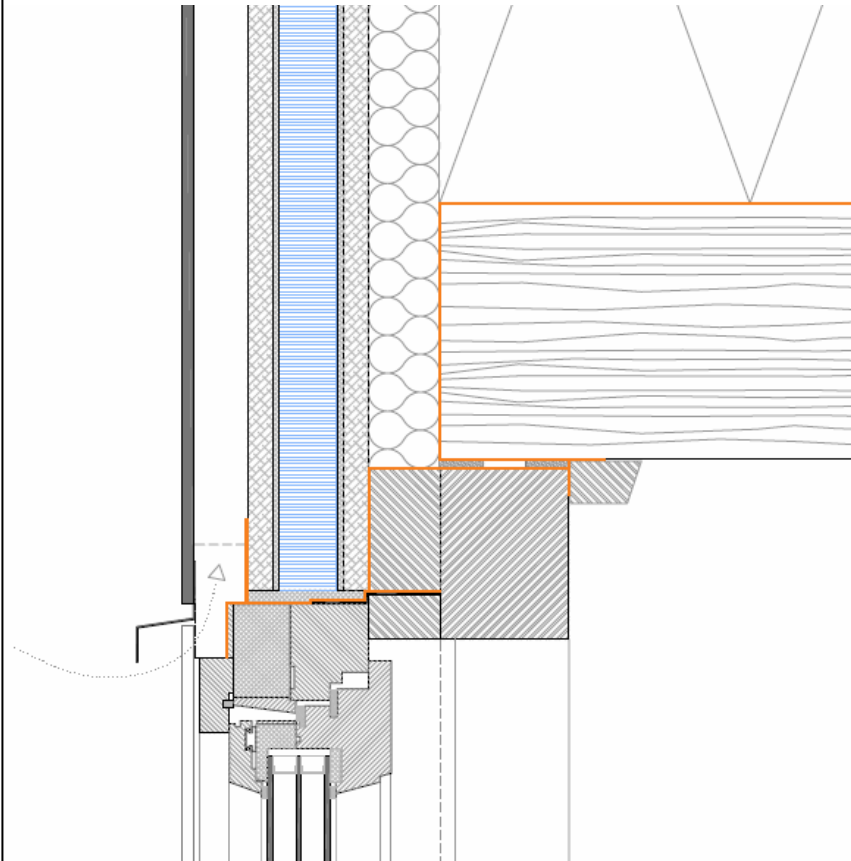


Abb.: 6.31
Detailausbildung Fensteranschluss ohne Sturz im Bereich Dachanschluss. Detailplan siehe Anhang (Plan Nr.: 11)

3. Parapetdetail

09 10

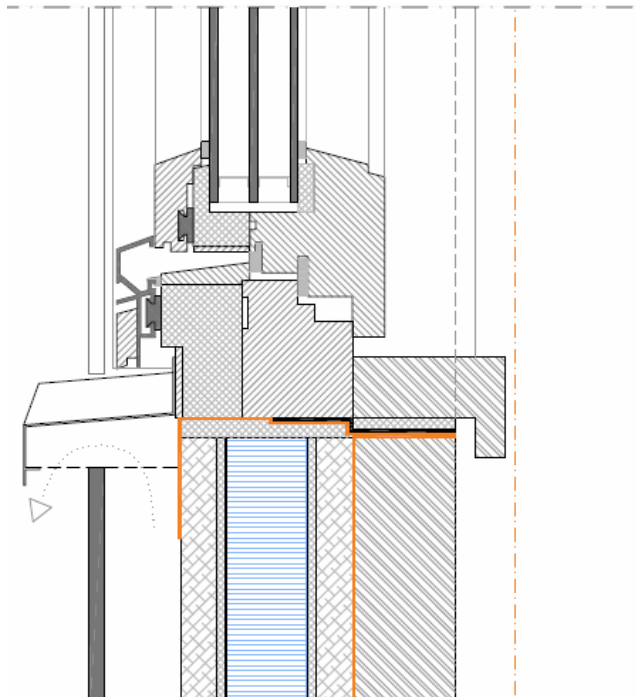


Abb.: 6.32

Detailausbildung Fensteranschluss im Parapetbereich. Detailplan siehe Anhang (Plan Nr.: 09)

Der Fenstereinbau erfolgt durch das Anbringen von Montagewinkeln im Parapet- und Sturzbereich. Die Abdichtung wird im 3-Ebenensystem ausgeführt: Abdichtungsband Innen (z.B. Hanno Stretch FI), PU-Schaum 2K, (Abdichtungsband Außen (z.B. Hanno Stretch FA).

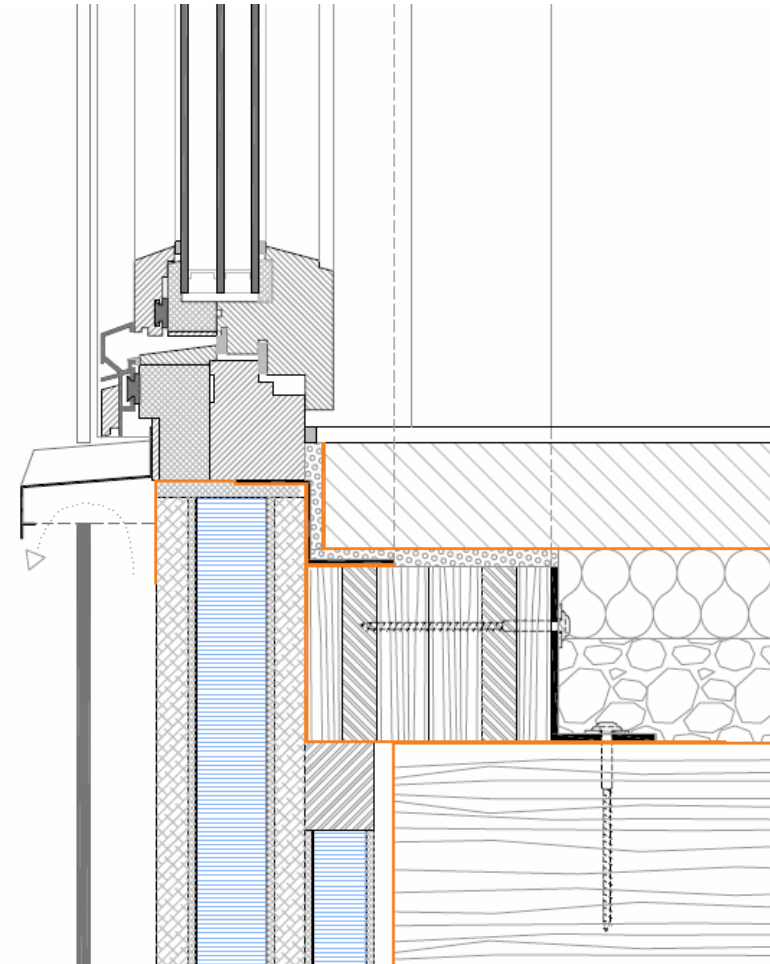


Abb.: 6.33

Detailausbildung Fensteranschluss ohne Parapet im Bereich Geschossdeckenanschluss. Detailplan siehe Anhang (Plan Nr.: 09)

f. Montageablauf

i. Fertigung

1. Allgemein

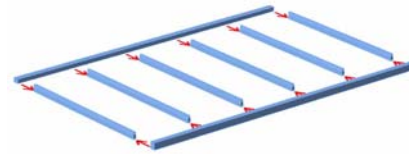
Es gelten alle Hinweise und Grundsätze, die in Abschnitt 3.c.i, 3.d, 5, sowie in 6.a behandelt wurden.

2. Konstruktion

Die Tragkonstruktion wird in horizontaler Lage gefertigt. Die maximal fertigbare Länge je Element beträgt in Abhängigkeit der maschinellen Einrichtung der Produktionsstätte bis zu 22m.

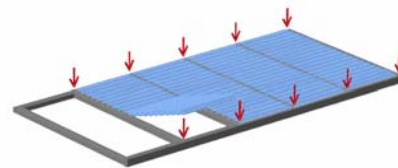
Bereist in dieser Phase müssen alle Aussparungen für späteren Fenster und Türeinbau getroffen werden.

Die Verbindung der Vertikalsteher mit der Schwelle und dem Riegel erfolgt durch maschinelles Einschlagen von Wellblechklammern oder durch Verschraubung. Auf vollständig versenkte Verschraubung ist zu achten. (Abb. 6.34)



Tab.: 6.34
Montage der Steher, Schwelle und Riegel

Die Füllung der Steherzwischenräume wird durch Mehrschichtplatten bzw. durch Massivholzpfeiler mit Nut – Feder Verbindung gefüllt. Zur Montageerleichterung ist der Steher leicht ausgenommen. Dadurch wird die korrekte Positionierung sichergestellt, und das Ausfachungselement kann nicht „durchfallen“. Nach genauer Kontrolle des Winkels zwischen Schwelle, Steher und Riegel sollte eine punktuelle Verbindung der Ausfachung mit den Stehern zur Fixierung erfolgen. (Abb. 6.35)

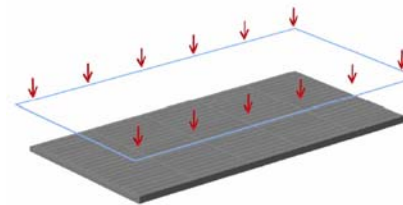


Tab.: 6.35
Montage der Ausfachung aus Massivholz

Für die Leerverrohrung der Elektroinstallation, Messleitungen etc. können an dieser Stelle die Fräsungen in der Konstruktion und der Einbau von Hohlwand Dosen vorgenommen werden. Die Dicke

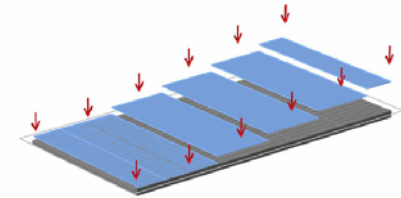
der Ausfachungselemente von 50mm erlaubt den Einbau einer solchen Dose ohne dabei die Dampfsperre durchdringen zu müssen.

Zur Herstellung der Dampfsperre und Luftdichtheitsebene wird an dieser Stelle die Dampfsperrfolie aufgelegt. Notwendige Stöße und Durchdringungen müssen mit geeignetem Klebeband abgedichtet werden. (Abb. 6.36)



Tab.: 6.36
Montage der Dampfsperre

Im nächsten Arbeitsschritt werden die OSB- Platten aufgelegt, wobei der Plattenstoß stumpf und achsenversetzt zu der Steherlage erfolgt. Dadurch kann eine sichere Verbindung mit der schmalen Stütze und der Platte erfolgen. Die Oberfläche der Platte sollte auf absteigende Teile kontrolliert werden, die beim folgenden Dämmungseinbau eine Beschädigung der Dämmplatten hervorrufen könnten. (Abb. 6.37)



Tab.: 6.37
Montage der 1. Lage OSB- Platten

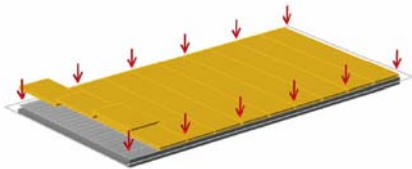
Als Produktionsvorteil zu herkömmlichen Pfosten- Riegelkonstruktionen ist anzumerken, dass das Wandelement niemals gewendet werden muss, was bei o.g. System zur Beplankung und zum Dämmungseinbau notwendig ist.

3. Dämmungseinbau

Alle Anschlussdetails wurden so ausgearbeitet, dass ein glatter Stoß zwischen den Elementen entsteht, und möglichst viele gleiche Teile verwendet werden können.

Als Dämmelement werden, wie in Abschnitt 5.d. beschrieben, Fertigelemente „Qasa“ verwendet. Diese können anhand eines Verlegeplans auf die Wandelemente aufgelegt werden. An den vorgesehenen Befestigungspunkten sind bereits Aussparungen für die Schraubendurchdringungen (spätere Befestigung) vorgesehen, in welche eine Schutzhülse aus Kunststoff eingelegt wird, die eine Verhinderung einer Beschädigung des VIP durch

die Schraube und gleichzeitig deren Führung bewirken soll.



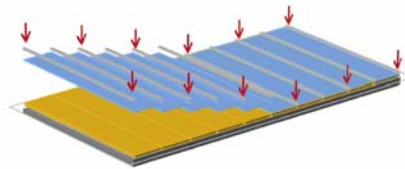
Tab.: 6.38

Montage der Steher, Schwelle und Riegel

Die Vertikalfugen der Paneele sind mit Kompriband zu unterlegen. Der Fugenabstand sollte max. 5mm betragen. Horizontalfugen können stumpf gestoßen werden. (Abb. 6.38)

Um ein Verrutschen zu verhindern kann eine punktuelle Verklebung mittels PUR- 1K, oder 2K Klebstoff erfolgen. Es ist dabei darauf zu achten, dass eine einzelne Ablösung des Paneels in eingebautem Zustand möglich sein muss. Den untersten Abschluss des Wandelementes bildet eine Schutzplatte aus PUR bzw. ein Brett, welches zum Schutz der Stirnseite des „Qasa“ - Dämmelementes dient, und Beschädigungen des VIP verhindern soll. Eine punktuelle Montage von Stützwinkel zur Verhinderung des Abrutschens der Dämmungsfertigteile ist möglich und im Bedarfsfall anzubringen.

Danach erfolgt die Verlegung einer weiteren OSB- Platten- Schicht, die als mechanischer Schutz der Dämmung dient, und deren Elementierung jener der Dämmpaneele im Bereich der Vertikalfuge angepasst sein sollte, da sonst im Tauschfall eines VIP die Demontage einer größeren Fläche notwendig wäre. Die Platten werden stumpf gestoßen. Stöße werden mittels Klebeband abgedichtet. (Abb. 6.39)



Tab.: 6.39

Montage der Steher, Schwelle und Riegel

Als letzter Schritt wird die vertikale Holzlattung (30/50 bzw. 120/50 mm), mit rückseitig aufgeklebtem Kompriband zur Abdichtung ev. entstehender Lücken im Bereich der Schraubverbindung, durch Verschraubung mit Edelstahlschrauben (Dimension nach Anforderung) angebracht. Die Verschraubung erfolgt versenkt im Holzquerschnitt. Im Bereich der Lattung 30/50 kann eine zusätzlich unterhalb der Lattung beigelegte Metallscheibe zur besseren Fixierung beitragen.

4. Installationen und Öffnungen

Installationen:

Wie bereits unter Punkt 6.f.i.2 beschrieben, können Elektroinstallationen im Bereich der Tragkonstruktion durch einfräsen in die Ausfachungselemente ausgeführt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass keine zu große Schwächung der Querschnitte erfolgt.

Leistungswege in den Wänden sollten möglichst kurz gehalten werden. Häufigere Anspeisung, statt langer horizontaler Verbindungen über Fußboden bzw. Decke ist anzustreben.

Sanitärinstallationen sind aufgrund des notwendigen Platzbedarfs im Raum zwischen den Stehern bzw. als Vorwandinstallation anzuordnen.

Eine Beplankung durch Gipskartonplatten ist mittels Schwingbügelkonstruktion direkt auf die Tragkonstruktion möglich.

Installationen sollten womöglich im Bereich der Fußbodenaufbauten geführt werden. Notwendige Durchdringungen für Verbindungen nach Außen (Steckdosen, Wasserleitung, Zuluft- und Abluftöffnungen, etc.) sollten nicht im Wandbe-

reich erfolgen, sondern im Bereich des Sockels bzw. der Kellerwände. In diesem Bereich lässt sich eine Durchdringung wesentlich unkomplizierter und günstiger herstellen.

Öffnungen:

Durch das Konstruktionsprinzip ist der Einbau von Fenstern und Türen besonders einfach. Alle Verbindungsstellen in der Abdichtungsebene können nachträglich korrigiert bzw. kontrolliert und ausgetauscht werden, falls die Klebebänder aufgrund von Alterung keine ausreichende Dichtheit herstellen.. Auch ein Fenstertausch, der im Lebenszyklus des Wandsystems mehrmals notwendig wird, ist zerstörungsfrei und einfach möglich.

5. Oberflächengestaltung der innersten Ebene

Als standardisierte Oberflächengestaltung und Basis für alle vorangegangenen Beschreibungen ist die Verwendung von Massivholz in gehobelter, geschliffener oder gebürsteter Form bzw. Mehrschichtplatten in roher oder behandelter Form zu Grunde gelegen.

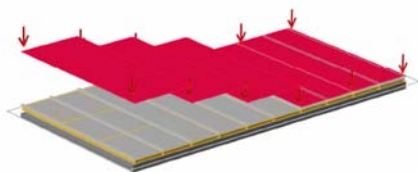
Anforderungen gem. Abschnitt 3.b.vii sind zu erfüllen.

6. Oberflächengestaltung der Witterungsebene

Auf die vorhandene Unterkonstruktion in Form der vertikalen Holzlatung können Fassadenbekleidungen aller Art montiert werden. Unter Berücksichtigung der Anforderung an die Austauschbarkeit der Einzelplatten ist eine geschraubte oder genietete Variante zu empfehlen.

Die Fassadenbekleidung muss ausreichenden Witterungsschutz für die dahinter liegende Konstruktion bieten.

Gegen das Eindringen von Insekten in die Hinterlüftungsebene sollten entsprechende Gitter oder Lochbleche angebracht werden. Auf ausreichende Lüftungsquerschnitte und die jeweiligen Angaben des Herstellers der Fassadenbekleidung muss geachtet werden. (Abb. 6.40)



Tab.: 6.40

Montage der Steher, Schwelle und Riegel

ii. Transport

Die gesetzlichen Grundlagen und maximalen Größen für den Transport von Bauteilen wurden in Abschnitt 3.b.ix.2 erläutert. Aufgrund der flexibelsten Transportweise für Wandelemente mit LKW, sind nachfolgende Ausführungen auf den Straßentransport ausgelegt:

Um ein Transportkonzept entwickeln zu können, sind in Tab. 6.7 die Kennwerte für das entworfene Wandsystem zusammengestellt.

Eigenschaft	Größe
Max. Wandlänge (Produktionstechnisch)	21,25 m (17 x 1,25m)
Max. Wandhöhe (aufgrund der errechneten Querschnitte)	3,20 m
Wandgewicht ohne Fenster und Türen	~ 240 kg/m ²

Tab. 6.7
Größen und Gewichtsangaben für das Wandsystem

Verladung und Ladungssicherung:

Aufgrund der geringen Breite der Elemente können mehrere Wände gleichzeitig transportiert werden. Grenzen betreffend Transport werden in erster Linie durch das höchste zulässige Gesamtgewicht erreicht. (Eine Wand mit 3,0 m Höhe und 10m Länge hat ohne

Berücksichtigung der Fenster und Türen ein Gewicht von 7,2 t). Das Gewicht der Fassadenbekleidung bleibt für diesen Fall ebenfalls unkalkuliert

Insbesondere bei der Ver- und Entladung ist darauf zu achten, dass die Dämmstoffebene nicht belastet wird (nicht ungeschützt über die Kanten zurren).

Die über die Kanten der Elemente ragende Dampfsperffolie darf beim Transport und bei der Verladung nicht beschädigt werden.

Anschlagpunkte:

Als Anschlagpunkte für das Hebezeug zum Versetzen der Elemente dienen am Riegel befestigte Gewebegurt - Schlaufen, die nach der endgültigen Positionierung abgeschnitten werden bzw. an den Stirnseiten der Endsteher befestigte Anker (auf Schwerpunkt achten).

iii. Montage

Die Montage der Fertigelemente erfolgt technisch wie die eines herkömmlichen Fertighauswandsystems.

Versetzten:

Zum Versetzen der Elemente auf der Baustelle ist aufgrund des hohen Eigengewichtes ein Mobilkran erforderlich. An Orten an denen der Einsatz von schweren Hebezeugen nicht möglich ist, kann das Wandsystem nicht eingesetzt werden.

Montageablauf:

Da in den meisten Fällen nicht von einer exakten Basiskonstruktion (Fundamentplatte, Kellerdecke) ausgegangen werden kann, ist in einem vorab festgelegten Toleranzbereich eine horizontale Korrektur mit Hartholz- bzw. Kunststoffunterlagen möglich. Zur Herstellung eines „satten“ Auflagers wird in den Bereichen zwischen den Hartholzunterlagen Quellfugenmörtel eingebracht. Die Dampfsperffolie hat dabei oberhalb der Mörtelschicht zu liegen. Während das Wandelement mittels Stehern gegen Kippen gesichert wird, kann die Befestigung durch Stahlwinkel im Schwellenbereich erfolgen.

Eine Besonderheit des Wandsystems ist es, dass sowohl für die Ausbildung der Innenecke und der Außenecke vorgefertigte Dämmelemente verwendet werden, die abschließend montiert werden können, und eine kraftschlüssige und saubere Ausbildung der Dampfbremsenstöße und der Eckverbindungen erlauben (siehe Anhang- Plan Nr.: 01, 02 bzw. Füge-schemata in Abschnitt 6.d).

Bei der Montage ist die Einhaltung sehr geringer Toleranzen notwendig (empfohlen: $\leq \pm 3,0$ mm), da sonst im Bereich der Elementstöße zu große Spaltmaße entstehen würden, und die Kompribänder keine ausreichende Ausgleichmöglichkeit zum Verschließen der Fugen hätten.

Im Bereich des Horizontalstoßes zwischen den Stockwerken ist aufgrund der zweilagig ausgeführten VIP-Dämmung eine größere Toleranz vorhanden.

iv. Demontage

Die Demontage erfolgt in umgekehrter Reihenfolge wie die Montage. Ein wichtiger Aspekt ist hier die Trennbarkeit der einzelnen Baustoffe. Durch die verwendeten Befestigungssysteme ist, bis auf die Verbindung zwischen den Komponenten des „Qasa“ Dämmelementes, eine Separierung möglich.

Die „Qasa“ Dämmelemente können durch Aufschneiden der VIP Hüllfolie in jedem Fall gewährleisten, dass der wertvolle Plattenkern aus pyrogener Kieselsäure zu 100% wiederverwertet werden kann.

Der häufigste Vorgang, bei dem eine Demontage notwendig sein wird, ist der Fall der Auswechslung eines defekten Paneels. Hierzu werden entsprechend der Lage die angrenzenden Fassadentafeln abgeschraubt bzw. die Nietverbindungen aufgebohrt und die vertikale Lattung abgenommen. Die nicht betroffenen Elemente sollten durch geeignete Maßnahmen in ihrer Position fixiert werden. Danach kann das defekte Paneel samt OSB- Decklage abgenommen und ausgetauscht werden.

Feststellbar ist ein Defekt durch den Einsatz einer Wärmebildkamera.

Klebeverbindungen zwischen OSB – Platte und „Qasa“ sind ebenfalls schwer zu trennen, können aber bei nicht vollflächiger Anwendung durch „Heißdrahtschneiden“ getrennt werden. Daher ist eine Verklebung möglichst sparsam anzuwenden bzw. wenn möglich zu vermeiden.

Anmerkungen des Autors:

²⁰ Unter Permeation versteht man den Vorgang, bei dem ein Stoff einen Festkörper durchwandert [Internetrecherche am 11.05.2008, <http://de.wikipedia.org>]. Im Bereich der Vakuumdämmung ist dies der treibende Vorgang für die „Alterung“, da dadurch der Innendruck des Paneels ansteigt und somit die Dämmwirkung verringert wird.

²¹ Nach ÖNORM EN 10077-2 ist die maßgebliche Breite der Verglasung 190 mm

7. Statische Nachweise

a. Allgemein

Um die Querschnitte der Stützen (Druckstäbe) abschätzen zu können, wurde unter Annahme der maximalen Systemgrößen und Lasten ein Spannungsnachweis für den kritischen Lastfall (Knicken), sowie der Nachweis der zulässigen Schwellenpressung durchgeführt.

Folgende Annahmen wurden getroffen:

Geschosshöhe max.	3,31 m
Wandhöhe	3,10 m
Lichte Raumhöhe	3,00 m
Anzahl der Geschosse	2 Stk.
Stützweite Decke	6,35m
Lichte Raumweite max. in Deckenspannrichtung	6,31
Stützenabstand	1,25 m
Konstruktionsraster	0,625m
Sortierklasse Vollholz	MS 13

Tab. 7.1
Annahmen für statische Berechnung

Angaben zum statischen System und zur Herstellung der Aussteifung sind in Abschnitt 4.b.ii.2 getroffen.

b. Lastannahmen:

Wandsystem:

Lasten je m bei einer Wandhöhe von 3,10m

d [cm]	Bauteil	Last [KN/m]
14,0	Stütze Holz 6/14 e= 1,25 m	0,15
5,0	Massivholz Fichte	0,93
1,8	OSB/3- Platte	0,35
5,0	Dämmelement komplett (PUR/ALU/VIP/ALU/PUR)	0,41
1,8	OSB- Platte	0,35
0,8	Faserzementplatte	0,12
	g_{WAND}	2,31

Tab. 7.2
Lastannahmen Wandsystem

Lasteinflussbereich Wand:

Achsabstand Stütze = 1,25 m

Decke über EG:

Lasten je m² Deckenfläche

d [cm]	Bauteil	Last [KN/m]
6,0	Zementestrich	1,20
3,0	TDP Mineralwolle	0,05
6,0	Splittschüttung zementgebunden	1,08
18,0	Brettstapeldecke	1,08
	g_{DECKE}	3,41
	Nutzlast	2,0
	Zwischenwandzuschlag	1,0
	p_{DECKE}	3,0

q_{DECKE}	6,41
-------------	------

Tab. 7.3
Lastannahmen Decke über EG (Geschossdecke)

Lasteinflussbereich Decke:

Achsabstand Stütze x Stützweite

$$1,25 \text{ m} \times 3,18 \text{ m} = 3,975 \text{ m}^2$$

Decke über OG - Dach:

Lasten je m² Dachfläche

d [cm]	Bauteil	Last [KN/m]
6,0	Kiesschüttung	1,08
1,0	Abdichtung	0,12
30,0	EPS W 25	0,09
0,5	Dampfsperre GV-AL	0,06
18	Brettstapeldecke	1,08
	g_{DACH}	2,43
	Nutzlast (Schnee und Eis)	1,35
	p_{DACH}	1,35

q_{DACH}	3,78
------------	------

Tab. 7.4
Lastannahmen Dach (Flachdach)

Lasteinflussbereich Dach:

Achsabstand Stütze x Stützweite

$$1,25 \text{ m} \times 3,18 \text{ m} = 3,975 \text{ m}^2$$

c. Statisches System

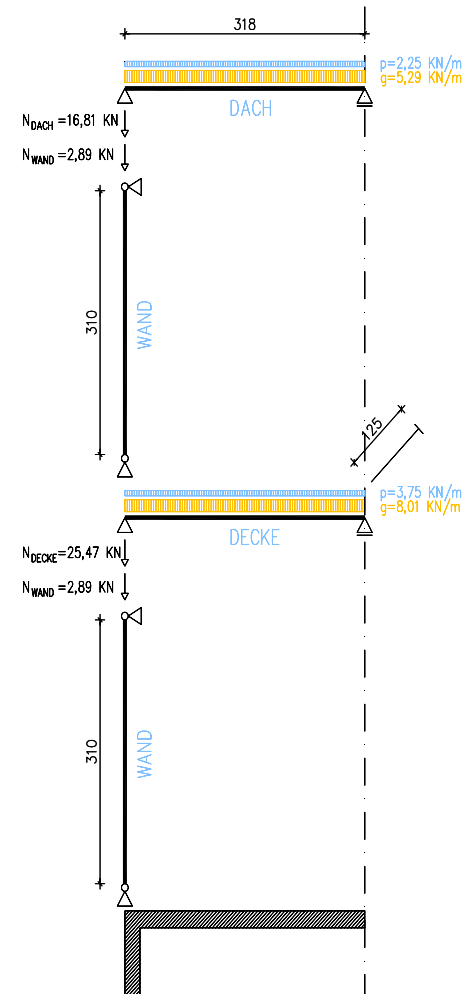


Abb. 7.1
Statisches System

d. Stabilitätsnachweis Stütze

Die Bemessungskraft für die Holzstütze im EG ergibt sich aus:

$$N_{\text{STÜTZE}} = 2 \cdot N_{\text{WAND}} + N_{\text{DACH}} + N_{\text{DECKE}}$$

$$N_{\text{STÜTZE}} = 2 \cdot g_{\text{WAND}} + 3,975 \cdot q_{\text{DECKE}} + 3,975 \cdot q_{\text{DACH}} = \mathbf{45,13 \text{ KN}}$$

Durch die Art der Konstruktion des Deckenauflegers wird angenommen, dass die Stütze durch reine Druckkräfte beansprucht wird (zentrische Druckkraft). Die Kräfteinleitung erfolgt durch einen druckverteilenden Riegel. Die Lasteinleitung im Auflagerbereich erfolgt über ein Schwellholz.

Annahme: Holzstütze MS 13, 6/14 cm

$$N = 45,13 \text{ KN}; A = 84 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{\text{zul}} = \frac{N}{A} \leq \sigma_{\text{k, zul}}$$

$$\sigma_{\text{k, zul}} = \frac{\sigma_{\text{D||zul}}}{\omega}$$

$$i_{\text{min}} = 0,289 \cdot a = 0,289 \cdot 14,0 =$$

$$= 4,046 \text{ cm}$$

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{s_{\text{k}}}{i_{\text{min}}} = \frac{310}{4,046} = 76,62$$

→ ÖNORM B4100, Tab.6 →

$$\omega = 2,092 \rightarrow \sigma_{\text{k, zul}} = \frac{1,1}{2,092} =$$

$$= 0,526 \text{ KN/cm}^2$$

$$\frac{N}{A} \leq 1,1 \text{ KN/cm}^2 = \frac{45,13}{84,00} = \sigma_{\text{k, zul}} = 0,526$$

$$= 1,021 \text{ KN/cm}^2 < 1,1 \text{ KN/cm}^2$$

e. Spannungsnachweis Schwelle

$$N_{\text{SCHWELLE}} = N_{\text{STÜTZE}} = \mathbf{45,13 \text{ KN}}$$

Aufgrund der kraftschlüssigen Verbindung der Stützenausfachung wird angenommen, dass die Lasteinleitungsfläche auf das Schwellholz 763 cm² beträgt

$$\sigma_{\text{zul}} = \frac{N}{A} \leq \sigma_{\text{D||zul}}$$

$$\frac{45,13}{84,00} = 0,537 \text{ KN/cm}^2 > 0,2 \text{ KN/cm}^2$$

→ Wahl eines setzungssicheren Schwellholzes aus BSH. Anordnung in einer Weise, in der ein möglichst großer Anteil an Holz mit vertikaler Faserrichtung verwendet wird.

Die Firma Lignotrend Produktions GmbH führt eine Produktlösung für diesen Bereich unter dem Namen Se*si® Schwelle.

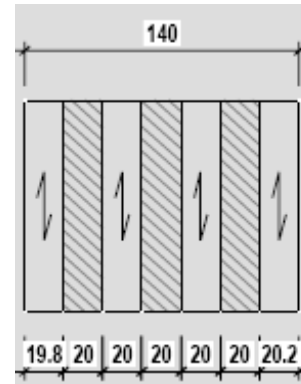


Abb. 7.2
Lignotrend Se*si® Schwelle [52]

Basierend auf diesem System wird folgende BSH – Schwelle für den Einsatz als setzungssicheres Schwellholz eingesetzt:

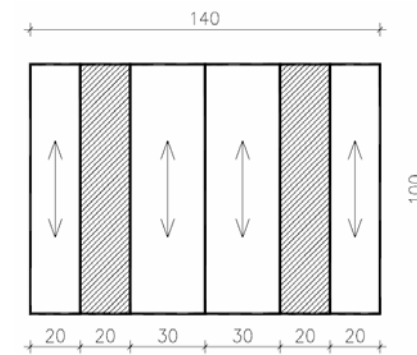


Abb. 7.3
BSH- Schwelle

Der Anteil an parallel zur Faser gedrücktem Holz beträgt 71%. Somit ergibt sich folgende zulässige Spannung:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{ZUL, GES}} &= 0,71 \cdot \sigma_{\text{D||ZUL}} + \\ &+ 0,29 \cdot \sigma_{\text{D||zul}} = \\ &= 0,71 \cdot 1,1 + 0,29 \cdot 0,2 = \\ &= \mathbf{0,839 \text{ KN/cm}^2} > 0,537 \text{ KN/cm}^2 \end{aligned}$$

Durch den Einsatz dieser Art des Schwellholzes wird die Gefahr von Setzungen in diesem Bereich verringert, und der korrekte Sitz der Dämmpaneele langfristig gesichert.

8. Zusammenfassung und Ausblick

Um die große Menge an Informationen, Anforderungen, Bedingungen, Kenngrößen und Eigenschaften von VIP und deren Einsatz in Wandsystemen zum Passivhausbau (be)greifbar zu machen, soll in diesem Abschnitt eine persönliche Abschätzung und Bewertung des entstandenen Produktes erfolgen.

Schon in der Einleitung wurde der eigentliche Wert der Arbeit nicht am qualitativen Wert des entworfenen Wandsystems, sondern vielmehr an den gewonnenen Erkenntnissen und dem Aufzeigen von Möglichkeiten gesehen. Dies soll jedoch keinesfalls eine Abwertung bedeuten oder Zweifel an der Funktionsfähigkeit des Wandsystems ausdrücken, sondern bekunden, dass es auch andere Lösungen, respektive Verbesserungsmöglichkeiten geben kann.

VIP sind trotz der immer größeren Vielfalt, verbesserter Produktionsmöglichkeiten, beginnenden Bekanntwerdens und zunehmender Bewerbung Bauprodukte, die gewisse abschreckende Eigenschaften für Verarbeiter und Konsumenten mit sich bringen. Einige dieser Eigenschaften konnten durch Aufzeigen der Verhältnisse weitgehend entkräftet werden: Die Kosten

für ein Wandsystem mit VIP können mit vergleichbaren, herkömmlich konstruierten Elementen durchaus mithalten. Hier ist anzumerken, dass bei steigender Nachfrage und größeren Produktionskapazitäten auch der Preis von VIP sinken wird.

Weiters wurde durch Aufzeigen der Auswirkungen des Defekts eines Paneels gezeigt, dass der Wärmeschutz auch in diesem Zustand die Anforderungen an die österreichischen Bauordnungen nach derzeitigem Stand übersteigt.

Argumente, wonach die Herstellung nicht ökologisch erfolgen kann, konnten durch die in Abschnitt 5.d.iv bewerteten Daten zumindest relativiert werden. Durch zunehmende Nachfrage und Weiterentwicklung der Vakuumisulationspaneele wird die Industrie eine Optimierung des Herstellungsprozesses durchführen (müssen) und somit VIP zu einer annehmbaren Performance führen.

Großes Potential steckt aufgrund der ausgezeichneten Rezyklierbarkeit und des in beinahe unendlicher Menge vorhandenen Rohstoffes in dieser Dämmstoffart. Wie bereits in dieser Arbeit angemerkt, wäre die Entwicklung eines Dämmstoffes mit so geringer Porengröße, dass die mittlere freie Weglänge der Luftmo-

leküle bei Normaldruck bereits größer wäre, der Durchbruch in der Dämmungstechnologie. In diesem Fall würde weder die Herstellung eines Vakuums, noch die Einhüllung in Spezialfolien notwendig sein.

Nachdem es nach derzeitigem Stand einen solchen Stoff nicht gibt, wird die Entwicklung der Vakuumdämmung vorangetrieben werden müssen.

Bereits in Ansätzen vorhanden, jedoch noch nicht serienreif, ist die Möglichkeit der Ausbildung von 3D Formteilen. Derzeit sind bereits Rohrisolierungen mit der Vakuumtechnik möglich. Für den Einsatz in Wandsystemen würden Formteile für Ecken und Fensteranschlüsse eine Verbesserung bedeuten. Dies soll auch gleich als Stichwort für eine weitere Verwendungsmöglichkeit gelten: Rahmenkonstruktionen von Fenstern und Türen könnten durch den Einsatz der Vakuumtechnik wesentlich verbessert werden.

Weitere Entwicklungsarbeit wird und muss auch in der Messung und Überwachung der Paneele in eingebautem Zustand geleistet werden. Denkbar wäre eine zentrale Überwachungsmöglichkeit und eventuell sogar ein Wartungsanschluss in jedem Paneel, bei dem

das notwendige Vakuum in situ wiederhergestellt werden kann.

Dazu müsste jedoch zuerst ein gegen mechanische Beanspruchungen unempfindlicheres Hüllmaterial gefunden werden. Denkbar wären, ohne Nachforschungen angestellt zu haben, robuste Werkstoffe wie CFK, GFK oder Aramid mit entsprechender Beschichtung zur Erfüllung der notwendigen Eigenschaften im Bereich der Permeation und Herstellbarkeit eines dichten Randverbundes.

Auch im Bereich der maximalen Produktionsgrößen ist Verbesserungspotential zu sehen. Vor allem bei der Dämmung von großen Flächen wie in Sporthallen oder auf Dächern sind Paneelgrößen von 2,0 x 3,0 m denkbar und sinnvoll. Je größer ein Paneel, desto geringer ist statistisch die Wahrscheinlichkeit eines Defektes, da sich das Verhältnis der ungestörten Fläche zur Länge des Randverbundes verbessert.

Sollte eine Umsetzung des entworfenen Wandsystems 1:1 in Form eines kleinen Gebäudes möglich sein, könnte die Praxistauglichkeit geprüft werden, und eventuelle notwendige Korrekturen bzw. Ergänzungen vorgenommen werden.

Im Zuge der Entwurfsarbeiten und der Konzepterstellung war die Verwendung von latentwärmespeichernden Materialien im Wandsystem vorgesehen. Da zu einer konkreten Aussage der Wirksamkeit jedoch umfangreiche Untersuchungen notwendig wären, hätte dies den Rahmen gesprengt. In geringem Umfang sind technische Daten und Angaben zu den am Markt vorhandenen Systemen und technischen Möglichkeiten behandelt. Grundlegend wäre der Einsatz von PCM zur Abdämpfung von Temperaturspitzen im Rauminnen vorgesehen, um die Behaglichkeit weiter steigern, und den Kühlbedarf minimieren zu können. Mit den derzeitigen Möglichkeiten ist die technische Verwendung solcher Systeme ohne große Kenntnisse möglich, da Putze und Gipskartonplatten mit entsprechendem PCM Inhalt wie herkömmliche Baustoffe verarbeitet werden können. Die rechnerische Abschätzung der Auswirkungen für das Innenraumklima bedarf eines völlig neuen Ansatzes für thermische Simulationsmethoden.

Abschließend sei das enorme Potential, aber auch der große Bedarf an Forschungs- und Entwicklungsarbeit für Dämmsysteme mit Hochleistungsdämmstoffen betont. Sinnvoll kann ein vermehrter Einsatz jedoch nur dann erfolgen, wenn dadurch keine erhöhte Belastung für die Umwelt entsteht.

Gassenbauer Wolfgang

9. Quellenangaben

a. Literaturverzeichnis

- [1] BAUS, Ursula / SIEGELE Klaus, db das Buch, Baus Ursula und Dechau Wilfried (Hrsg.), **Holzfassaden, Konstruktion, Gestaltung, Beispiele**, Deutsche Verlags-Anstalt GmbH, Stuttgart München, 2000, ISBN 3-421-03268-8
- [2] BUECHER, Bodo, **Wärmedämm-Verbundsysteme**, Deutsche Verlags-Anstalt GmbH, München, 2005, ISBN 3-421-03478-8
- [3] GERKEN, Doris, Institut für Bauforschung e.V. (Hrsg.), Bauforschung für die Praxis, Band 32, **Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) im Wohnungsbau, Bestandsanalyse zur längerfristigen Lebensdauer und Kostendämpfung**, Frauenhofer IRB Verlag, Stuttgart, 1997, ISBN 3-8167-4231-9
- [4] KRAPMEIER, Helmut / DRÖSSLER, Eckart, **Cepheus, Wohnkomfort ohne Heizung**, Springer Verlag, Wien, 2001, ISBN 3-211-83721-3
- [5] REIß, Johann / WENNING, Martin / ERHORN, Hans / ROUVEL, Lothar, **Solare Fassadensysteme, Energetische Effizienz-Kosten-Wirtschaftlichkeit**, Frauenhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2005, ISBN 3-8167-6433-9
- [6] REINERS, Holger, Energie effektiv nutzen - **die besten Einfamilienhäuser, Niedrigenergie-Häuser, Passiv-Häuser, EnergiePlus-Häuser**, Deutsche Verlags-Anstalt GmbH, Stuttgart München, 2002, ISBN 3-421-03378-1
- [7] SCHILD, Kai/ WEYERS, Michael, **Handbuch Fassadendämmsysteme, Grundlagen-Produkte-Details**, Frauenhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2003, ISBN 3-8167-6333-2
- [8] RICCABONA, Christof, **Baukonstruktionslehre 1, Keller, Wände, Decken, Böden**, Manz Verlag, Wien 1994, ISBN 3-214-91133-3
- [9] RICCABONA, Christof, **Baukonstruktionslehre 4, Bauphysik**, Manz Verlag, Wien 1996, ISBN 3-7068-0380-1
- [10] LUTZ u.a. , **Lehrbuch der Bauphysik, Schall, Wärme, Feuchte, Licht, Brand, Klima**, 5. Auflage, B. G. Teubner GmbH, 2002, ISBN 3-519-45014-3
- [11] NUTTGENS, Patrick, **Die Geschichte der Architektur**, Deutsche Erstausgabe 2002, Phaidon Verlag, Berlin 2002, ISBN 0-7148-9312-9
- [12] PÖHN, Christian, **Brandverhalten von Fassaden**, in Österreichischer Brandschutzkatalog, Sammelband 2006, S. 48f, Hrsg. DI Michael Sanytr, 2102 Bisamberg
- [13] PÖHN, Christian, **Brandschutznormung - Europa und Österreich - Ein Überblick**, in Österreichischer Brandschutzkatalog , Sammelband 2003, S. 54 - 58, Hrsg. DI Michael Sanytr, 2102 Bisamberg
- [14] INSTITUT FÜR STAHLBETON-UND MASSIVBAU, TU Wien, **Bausysteme - Beton und Mauerwerksbau**, Skriptum zur Vorlesung, 1. Auflage, Wien 2002
- [15] BERTHOLD Manfred, Institut für Hochbau für Architekten und Entwerfen 2701, TU Wien, **Skriptum zur Vorlesung Hochbau Einführung Teil 1**, 5. Auflage, Wien 2001
- [16] BERTHOLD Manfred, Institut für Hochbau für Architekten und Entwerfen 2701, TU Wien, **Skriptum zur Vorlesung Hochbau Einführung Teil 2**, 5. Auflage, Wien 2001
- [17] WINTER Stefan, KEHL, Daniel, Absatzförderungsfonds der deutschen Forst-und Holzwirtschaft (Hrsg.), 2. Auflage 04/2005, Informationsdienst Holz, **Holzbauhandbuch, Reihe 0, Teil 1, Folge 2 Wertermittlung von Holzhäusern**, ISSN 0466-2114
- [18] WERNER, Hartmut, Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., u.a. (Hrsg.), Bruderverlag, Karlsruhe, Informationsdienst Holz, **Holzbauhandbuch, Reihe 1, Teil 17, Folge 1 Brettstapelbauweise**
- [19] HAUSER, Gerd u.a., DGfH Innovations- und Service GmbH und Absatzförderungsfonds der deutschen Forst-und Holzwirtschaft (Hrsg.), Informationsdienst Holz, **Holzbauhandbuch, Reihe 3, Teil 2, Folge 2 Holzbau und die Energieeinsparverordnung**, 12/2002, ISSN 0466-2114
- [20] SCHMIDT, H., Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., Absatzförderungsfonds der deutschen Forst-und Holzwirtschaft (Hrsg.), Informationsdienst Holz, **Holzbauhandbuch, Reihe 1, Teil 18, Folge 2, Holz im Außenbereich**, 12/2000, ISSN 0466-2114
- [21] SCHMIDT, Josef u.a. Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., (Hrsg.), Informationsdienst Holz, **Holzbauhandbuch, Reihe 1, Teil 10, Folge 3 Holz-Glas-Fassaden**, 12/1999, ISSN 0466-2114
- [22] LEWITZKI, W., SCHULZE, H., Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., (Hrsg.), Informationsdienst Holz, **Holzbauhandbuch, Reihe 3, Teil 5, Folge 1 Holzschutz - Bauliche Empfehlungen**, 2. inhaltl. unveränderte Auflage 06/2005, ISSN 0466-2114
- [23] CHERET; Peter u.a., Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., (Hrsg.), Informationsdienst Holz, **Holzbauhandbuch, Reihe 1, Teil 1, Folge 4 Holzbausysteme**, 12/2000, ISSN 0466-2114
- [24] CREMERS Jan, **Einsatzmöglichkeiten von Vakuum-Dämmsystemen im Bereich der Gebäudehülle, Technologisch, bauphysikalische und architektonische Aspekte**, Lehrstuhl für Gebäudetechnologie, TU München, Dissertation, 2005
- [25] OTTO Frank, RINGELER, Michael, Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH, Absatzförderungsfonds der deutschen Forst-und Holzwirtschaft (Hrsg.), 10/2004, Informationsdienst Holz, **Holzbauhandbuch, Reihe 1, Teil 1, Folge 8 Funktions-schichten und Anschlüsse für den Holzhausbau**, ISSN 0466-2114
- [26] MÜLLER Andreas u.a., Arbeitsgemeinschaft Holz e.V. (Hrsg.), 12/2001, Informationsdienst Holz, **Holzbauhandbuch, Reihe 1, Teil 10, Folge 4 Außenbekleidungen mit Holzwerkstoffplatten**, ISSN 0466-2114
- [27] KAUFMANN, Berthold u.a., DGfH Innovations und Service GmbH und Absatzförderungsfonds der deutschen Forst-und Holzwirtschaft (Hrsg.), Informationsdienst Holz, **Holzbauhandbuch, Reihe 1, Teil 3, Folge 10 Passivhaus - Energie- Effizientes Bauen**, 10/2002, ISSN 0466-2114
- [28] POHL Wolf-Hagen u.a., Bauforschung für die Praxis Band 31, **Niedrigenergiehäuser unter Verwendung des Dämmstoffes Styropor, Konstruktionsempfehlungen und optimierte Anschlusssituationen (Details), Quantitative Darstellung der Wirkung von Wärmebrücken**, 1997, Frauenhofer IRB Verlag, ISBN 3-8167-4230-0
- [29] HALL M., KÖHNKE E.U., HAUSER G., Universität, Gesamthochschule Kassel, Fachgebiet Bauphysik, **Konstruktionskatalog und Empfehlungen zur Verbesserung der Luftdichtheit im Holzbau (E99/11) – Abschlussbericht März 2001**
- [30] HALL M., HAUSER G., Universität Kassel, Fachgebiet Bauphysik, **In situ Quantifizierung von Leckagen bei Gebäuden in Holzbauart**, Abschlussbericht Mai 2003

[31] VÖZ- Verband der österreichischen Ziegelwerke, **Empfehlung für luftdichtes Bauen im Ziegel Massivbau**, Internetrecherche am 20.12.2007, 19:00, <http://www.zeigel.at>,

[32] HALL M., GEIßLER A., HAUSER G., Universität, Gesamthochschule Kassel, Fachgebiet Bauphysik, **Konstruktive Maßnahmen zur Vermeidung erhöhter Transmissionswärmeverluste in Dachabschnitten**, Abschlussbericht April 2001

[33] Schneider U. u.a. – **Wiener Baustofflehre Blätter – Keramik, Steine und Glas**, 11. Auflage, Technische Universität Wien 2002

[34] Schneider U. u.a. – **Wiener Baustofflehre Blätter – Frischbeton**, 10. Auflage, Technische Universität Wien 2001

[35] TRUS JOIST SPRL, **Energieeffizientes Bauen mit dem FrameWorks™ Bau-system**, Internetrecherche am 21.12.2001, 16:00, <http://www.trusjoist.com>

[36] FACHVERBAND DER HOLZINDUSTRIE, HOLZFORSCHUNG AUSTRIA, **Katalog bauphysikalisch und ökologisch geprüfter Holzbauteile**, Internetrecherche am 29.12.2007, 13:00, <http://www.dataholz.com>

[37] VARIOTEC, **veni – vici – vip**. Planen, bauen, sanieren mit VIP + Qasa, den hoch-effizienten und raumsparenden Wärmebrückenkillern, Internetrecherche am 01.01.2008, 10:00, <http://www.variotec.de>

[38] KALUSCHE Wolfdietrich, Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr. H.-R. Schalcher, **Technische Lebensdauer von Bauteilen und wirtschaftliche Nutzungsdauer von Gebäuden**, Internetrecherche am 25.4.2007, 14:00, <http://www.tu-cottbus.de>

[39] MAYER Peter, Building Life Plans Ltd., **BLP Durability Assessment**, Final Report for National Audit Office, July 2005, Internetrecherche am 25.04.2007, <http://www.buildinglifeplans.com>

[40] RUNGE Thomas, Europäisches Institut für postgraduale Bildung, **Baupreisbildung und Kostensätze**, Internetrecherche am 25.04.2007, http://www.eipos.de/eipos/pages/fachfortbildung/bauwesen/bauschaeden/dload/s_runge.pdf

[41] BASF AG, **Intelligentes Temperaturmanagement in seiner leichtesten Form**, Internetrecherche am 07.01.2008, <http://www.micronal.de>

[42] SCHMIDT Marco, BASF AG, **Persönliche Mitteilung** via e-mail am 07.01.2008, 12:01

[43] STEINBRECHER D., Dr.-Ing. Doz., **Holzbau – Grundlagen**, BTU Cottbus, Skriptum, Fachgebiet Holzbau Internetrecherche am 26.03.2008, 08:10, <http://www.tu-cottbus.de>

[44] HOLZFORSCHUNG AUSTRIA, **OSB**, Datenblatt für OSB Holzwerkstoff, Internetrecherche am 12.01.2008, 09:25, <http://www.dataholz.com>

[45] EGGER Fritz GmbH & Co., Holzwerkstoffe, **Technisches Datenblatt Egger Eurostrand OSB**, Internetrecherche am 12.01.2008, 10:00, <http://www.egger.at>

[46] FINNFOREST DEUTSCHLAND GMBH Louis-Krages-Straße 30, 28237 Bremen, **Kerto_Materialinfo_0308**, Internetrecherche am 26.03.2008, 08:30, <http://www.finnforest.com>

[47] WALTJEN Tobias, IBO – Österreichisches Institut für Baubiologie und –ökologie (Hrsg.), **Passivhaus Bauteilkatalog**, Öko-

logisch bewertete Konstruktionen, zweite und erweiterte Auflage 2008, Springer Wien New York, ISBN 978-3-211-29763-6

[48] BKI Baukosteninformationszentrum deutscher Architektenkammern (Hrsg.), **BKI Baukosten 2007, Teil 1, Statistische Kostenkennwerte für Gebäude**, Stuttgart, 2007, <http://www.baukosten.de>

[49] BKI Baukosteninformationszentrum deutscher Architektenkammern (Hrsg.), **BKI Baukosten 2007, Teil 2, Statistische Kostenkennwerte für Bauelemente**, Stuttgart, 2007, <http://www.baukosten.de>

[50] BKI Baukosteninformationszentrum deutscher Architektenkammern (Hrsg.), **BKI Baukosten 2007, Teil 3, Statistische Kostenkennwerte für Positionen**, Stuttgart, 2007, <http://www.baukosten.de>

[51] STÖLZEL Christof, VARIOTEC GmbH & CO KG, D-92318 Neumarkt/Opf., **Persönliche Mitteilung** via Postsendung am 16.01.2008

[52] LIGNOTREND PRODUKTIONS GMBH, **Technische Daten U*psi@ Stegträger, Se*si@ Schwelle**, V1.26, Stand 17.05.2006, Internetrecherche am 27.04.2008, 16:00, <http://www.artbois.be/images/LignoTrend/LignoDocuTec/031.pdf>

[53] ÖSTERREICHISCHES NORMUNGS-INSTITUT, Fachnormenausschuss 011, **ÖNORM B 1800 (Ermittlung von Flächen und Rauminhalten von Bauwerken)**, Ausgabe 2001-01-01, ICS 91.010.30

[54] GIF (Gesellschaft für Immobilienwirtschaftliche Forschung E.V.), Arbeitskreis Flächendefinition, **Richtlinie zur Berechnung der Mietfläche für gewerblichen Raum (MF-G)**, Ausgabe 2004-11-01

[55] SIMMLER H., BRUNNER S., **Vacuum insulation panels for building applica-**

tion, Basic Properties, aging mechanism and service life, Energy and Buildings 37 (2005), Elsevier B.V.

[56] va-Q-tec AG, **Vakuumisolationspaneele va-Q-vip B**, Technisches Datenblatt, Stand 07/2007, Internetrecherche am 09.05.2008, <http://www.va-q-tec.com>

[57] IEA/ECBCS, **Annex 39, High performance thermal insulation in building**, Internetrecherche am 10.01.2007, <http://www.ecbcs.org>

[58] MOOSMANN André et al.; Institut für Energie / FHBB Muttentz, **Vakuumdämmung im Praxiseinsatz**, Internetrecherche am 10.01.2007, <http://www.vip-bau.ch>

[59] WEBER Johann, **Baustoffdatenbank der Fakultät für Architektur der TU München**, Gebäude N1 Theresienstraße 92, Internetrecherche am 10.05.2008, <http://wdb.ebb1.arch.tu-muenchen.de/>

[60] KNOLL Steffen, Porextherm Dämmstoffe GmbH, **Persönliche Mitteilung** via e-mail Nachricht am 13.05.2008, 15:01

[61] SCHONARDT Uwe et al, Ausgearbeitet durch Institut für Energie, FHBB, Muttentz, ESU-services, Uster, **Ökobilanz eines Vakuum-Isolations-Paneels (VIP)**, Dezember 2003, Bundesamt für Energie BFE

[62] ETERNIT-WERKE LUDWIG HATSCHEK AG, Postfach 50, A 4880 Vöcklabruck, **Planungsblätter Fassade**, Jänner 2007, <http://www.eternit.at>

[63] OPTIWIN GMBH, Wildbichlerstraße 1, A 6431 Ebbs, **Drei3Holz – Datenblatt – PHI Darmstadt**, Internetrecherche am 10.05.2008 <http://www.optiwin.net>

b. Weiterführende Literatur und Literaturtipps

Diese Literaturtipps stammen aus der Recherche zu dieser Arbeit, wurden jedoch nicht als Quellen herangezogen, sondern zur Information und Spezialwissensbildung genutzt.

- OCHS F., u.a., **Bestimmung der feuchte- und temperaturabhängigen Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen**, 14. Symposium Thermische Solarenergie, Kloster Banz, 2004
- STECKBAUER Gottfried, **Das Bauteil Fenster aus den Rahmenmaterialien Aluminium – Holz – PVC und der Versuch eines ökologischen Vergleichs**, Technische Universität Wien, Diplomarbeit, 2001
- SCHOOF S., u.a., **Bestimmung der feuchte- und temperaturabhängigen Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen**, 14. Symposium Thermische Solarenergie, Kloster Banz, 2004
- SCHOOF S., u.a., **Bestimmung der feuchte- und temperaturabhängigen Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen**, 14. Symposium Thermische Solarenergie, Kloster Banz, 2004
- CAPS Roland, va-Q-tec AG, **Vacuum Insulations for Buildings and Technical Applications**, EPIC, Lyon, 2006, <http://www.va-Q-tec.com>
- SIMMLER H., BRUNNER S., EMPA Abteilung Bauphysik, **Kann die Lebensdauer von Vakuuminisations-systemen vorausgesagt werden?**
- Ahmad M. et al, Energy and Buildings 38 (2006) **Thermal testing and numerical simulation of a prototype cell using light wallboards coupling vacuum insulation panels and phase change material**, Elsevier 2005, <http://www.sciencedirect.com>
- MOOSMANN André, u.a., **Vakuumdämmung im Praxiseinsatz**, <http://www.vip-bau.ch>
- NUSSBAUMER T., et al., Applied Energy 83 (2006), **Experimental and numerical investigation of the thermal performance of a protected vacuum – insulation system applied to a concrete wall**, Elsevier 2005, <http://www.sciencedirect.com>
- NUSSBAUMER T., Energy and Buildings 37 (2005), **Thermal analysis of a wooden door system with integrated vacuum insulation panels** Elsevier 2004, <http://www.sciencedirect.com>
- SIMMLER H., BRUNNER S., Energy and Buildings 37 (2005), **Vacuum insulation panels for building application. Basic properties, aging mechanisms and service life**, Elsevier 2005, <http://www.sciencedirect.com>
- BRUNNER S., et al, Surface and Coating Technology 200 (2006), **Investigation of multilayered aluminium – coated polymer laminates by focused ion beam etching**, Elsevier 2005, <http://www.sciencedirect.com>
- KORJENIC Azra, **Vakuumdämmung**, Technische Universität Wien, 2003
- SCHUCK Judith, **Passivhäuser**, Bewährte Konzepte und Konstruktionen, 2007, W. Kohlhammer GmbH Stuttgart, ISBN 978-3-17-018055-X
- HECK, Friedrich, **Energiekosten senken**, Kosten und Nutzen von Wärmedämmmaßnahmen, 2007, Fraunhofer IRB Verlag, ISBN 978-3-8167-7372-6
- MINKE Gernot, **Das neue Lehm-Handbuch**, 6. verbesserte und erweiterte Auflage, 2004 Ökobuch Verlag, ISBN 3-922964-86-9
- NIEMEYER Richard, **Der Lehm-Handbuch und seine praktische Anwendung**, 1946, Ökobuch Verlag, ISBN 3-922964-10-9
- GRUBER Herbert, GRUBER Astrid, **Bauen mit Stroh**, 2. Auflage, 2003, Ökobuch Verlag, ISBN 3-922964-97-4
- ANTONY Falk, DÜRSCHNER Christian, REMMERS Karl-Heinz, Solarpraxis AG (Hrsg.) **Photovoltaik für Profis**, Verkauf, Planung und Montage von Solarstromanlagen, 2005, VWEV Verlag, Verlag Solare Zukunft, ISBN 3-934595-38-3

c. Linkliste

Die Linkliste dient zusätzlich zu den in den im Literaturnachweis angeführten Online-Quellen zur Aufzeigung weiterer Informationseinhalte. Da sich Webinhalte häufig ändern, sind die Inhalte nach dem Datum des Zugriffs geordnet und können sich seither geändert haben.

10.01.2007

- Informationen zu Vakuumdämmung
<http://www.va-q-tec.com>
<http://www.vip-bau.ch>
<http://www.porextherm.com>
<http://www.variotec.de>

25.04.2007

- Informationen zur Lebensdauer von Bauwerken und Bauteilen
<http://www.buildinglifeplans.com>
<http://www.tu-cottbus.de>
<http://www.eipos.de>

20.12.2007

- Informationen zu den gesetzlichen Wärmeschutzanforderungen an Wände und Decken:
<http://www.ziegel.at/main.asp?content=technik/waerme/anfsbg.htm>

29.12.2007

- Informationen zu bauphysikalisch und ökologisch geprüften Konstruktionen in Holzbauweise:
<http://www.dataholz.com>
- Informationen bzw. Herausgeber von Fachschriften zur Ökologie und Baubiologie sind auf der Homepage des IBO - Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie zu finden
<http://www.ibo.at>

01.01.2008

- Informationen zu Wandsystemen mit VIP- Dämmung
<http://www.variotec.de>
- Informationen zu Phase Change Materials (PCM)
<http://www.rubitherm.de>
<http://www.doerken.de>
<http://www.sglcarbon.com>
<http://www.micronal.de>

26.03.2008

- Informationen zu Holzwerkstoffen
<http://www.finnforest.com>
<http://www.egger.at>

24.04.2008

- Informationen zu Baukosten
<http://www.baukosten.de>

10.05.2008

- Informationen zu Baustoffkennwerten
<http://wdb.ebb1.arch.tu-muenchen.de/>

d. Abbildungen

1. Einleitung

Abb. 1.1

Transmissionswärmeverluste einzelner Bauteilgruppen [vgl. <http://www.zukunft-haus.info>]

2. Zieldefinition und Arbeitsaufbau

Abb. 2.1

Flächenverlust durch große Wanddicken

3. Wandsysteme

Abb. 3.1

Behaglichkeitsempfinden des Nutzers in Abhängigkeit von Raumlufttemperatur und der mittleren Oberflächentemperatur [7]

Abb. 3.2

Lastabtragung durch Plattenwirkung

Abb. 3.3

Lastabtragung durch Scheibenwirkung

Abb. 3.4

Klassischer Fachwerksbau [<http://de.wikipedia.org/wiki/Fachwerkhaus> am 17.02.2007]

Abb. 3.5

Balloon Framing [http://en.wikipedia.org/wiki/Balloon_framing am 20.02.2007]

Abb. 3.6

Lebenszyklus eines Bauproduktes

Abb. 3.7

Lebenszyklus eines Bauwerks, aus [38] S.2

Abb. 3.8

Schematisierung des Lebenszyklus anhand der „Badewannenkurve“ aus [39] S. 5

Abb. 3.9

Verladeprofil ÖBB (innerhalb Österreichs) [Internetrecherche am 14.12.2007, 14:00, <http://www.railcargo.at>]

Abb. 3.10

Seecontainer 20 ft [Quelle: Internetrecherche am 14.12.2007, 13:43, <http://www.conzept.at>]

Abb. 3.11

Stampflehmwand der Kapelle der Versöhnung / Berlin (D) [Quelle: Internetrecherche am 12.12.2007, 16:12, <http://www.kapelle-versoehnung.de>]

Abb. 3.12

Einzelbauteile werden zu einem Element zusammengefügt [Quelle: Gassenbauer Wolfgang und Christoph Österreicher, Entwerfen WS 05/06, Technische Universität Wien, Institut für Architektur und Entwerfen, Fertig(teil)häuser: Passive now!. Auch erschienen in: STIELDORF Karin, KREC Klaus, GHA-RAKHANZADEH Fera, TU Wien, Institut für Architektur und Entwerfen, Arbeitsgruppe Nachhaltiges Bauen, in Fertig(teil)häuser: Passive now!, Neues Bauen am Stadtrand, Trends und Visionen, S 63, 2006, ISBN 3-9501061-5-4]

Abb. 3.13

Elementweise wird ein Geschoss errichtet [Quelle siehe Abb. 3.11]

Abb. 3.14

Ein Gebäudeteil wird als Fertigmodul angebaut. [Quelle siehe Abb. 3.11]

Abb. 3.15

Bruchsteinmauerwerk (Trockenmauerwerk) [Quelle: Internetrecherche am 15.12.2007, 09:30, <http://www.umwelt.sachsen.de>]

Abb. 3.16

regelmäßiges Schichtenmauerwerk

[Quelle: Internetrecherche am 15.12.2007, 09:30, <http://www.umwelt.sachsen.de>]

Abb. 3.17

Quadermauerwerk mit Bossierung [Quelle: Internetrecherche am 15.12.2007, 10:00, <http://de.geocities.com>]

Abb. 3.18

Mantelstein der Fa. Durisol aus Holzbeton [Quelle: Internetrecherche am 15.12.2007, 15:12, <http://www.durisol.at>]

Abb. 3.19

Porenbetonstein der Fa. Ytong [Quelle: Internetrecherche am 15.12.2007, 15:20, <http://www.xella.at>]

Abb. 3.20

Mauerziegel der Fa. Wienerberger [Quelle: Internetrecherche am 15.12.2007, 19:25, <http://www.wienerberger.at>]

Abb. 3.21

Mauerziegel gelocht der Fa. Wienerberger [Quelle: Internetrecherche am 15.12.2007, 19:45, <http://www.wienerberger.at>]

Abb. 3.22

Hochlochziegel der Fa. Wienerberger [Quelle: Internetrecherche am 15.12.2007, 20:20, <http://www.wienerberger.at>]

Abb. 3.23

Lehmsteine [Quelle: Internetrecherche am 16.12.2007, 10:25, <http://www.made-in-clay.de>]

Abb. 3.24

Kanadische Holzblockbauweise [Quelle: Internetrecherche am 16.12.2007, 11:00, <http://www.kanadablockhaus.de>]

Abb. 3.25

Blockholzbohle [Quelle: Internetrecherche am 16.12.2007, 11:30, <http://www.oekologisch-bauen.info>]

Abb. 3.26

Kreuzlagenholz [Quelle: Internetrecherche am 16.12.2007, 12:20, <http://www.klh.at>]

Abb. 3.27

Brettstapelelement [Quelle: Internetrecherche am 16.12.2007, 12:00, <http://www.longin.at>]

Abb. 3.28

Klassischer Fachwerksbau [Quelle: Riccabona, Christof, Baukonstruktionslehre 1, 5. Auflage, Wien 1994, Manz Verlag, S.196, ISBN 3-214-91133-3]

Abb. 3.29

Tafelbauelement bei der Produktion. Hier nach Einlegen der Zellulosedämmung [Foto: Gassenbauer Wolfgang]

Abb. 3.30

Detail einer Pfosten Riegelkonstruktion. [Quelle: Internetrecherche am 17.12.2007, 09:55, <http://www.sapa-austria.at>]

Abb. 3.31

Glas - Punkthalter. [Quelle: Internetrecherche am 17.12.2007, 10:35, <http://www.bauko.bau.tu-dresden.de>]

Abb. 3.32

Sandwichpaneel mit PU – Schaum-Kern. [Quelle: Internetrecherche am 17.12.2007, 11:30, <http://www.uittenbogert.nl>]

Abb. 3.33 (links)

Beispielwandaufbau eines Wandsystems in Ziegel- Massivbauweise und Wärmedämmverbundsystem (WDVS) [28]

Abb. 3.34 (unten)

Beispielwandaufbau eines Wandsystems in Holz- Tafelbauweise mit Angabe der Funktionsschichten [Quelle: Gassenbauer Wolfgang und Christoph Österreicher, Entwerfen WS 05/06, Technische Universität Wien, Institut für Architektur und Entwerfen, Fer-

tig(teil)häuser: Passive now! Grafik: Christoph Österreicher]

Abb. 3.35

Luftdurchlässigkeit verschiedener Materialien in der Fläche bei einer Druckdifferenz von 50 Pa [25]

Abb. 3.36

Grenzwerte der Luftdichtheit [31]

Abb. 3.37

Grenzwerte der Luftdichtheit für die Wohnbauförderungen der einzelnen Bundesländer [31]

Abb. 3.38

Häufigkeit bestimmter Leckagen [29]

Abb. 3.39

Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit verschiedenster Baustoffe [25]

Abb. 3.40

Infrarotthermografie eines Fachwerkhauses. Deutlich erkennbar die Wärmebrücken durch die Ausfachung der Holzkonstruktion. [25]

Abb. 3.41

Simulation der Auswirkung eines schlecht ausgeführten Sockelanschlusses einer Außenwand. [25]

Abb. 3.42

U-Wert-Verlauf in Abhängigkeit von aufgetragenen Druckdifferenzen und An- bzw. Überströmung (Wind) [32]

Abb. 3.43

Wandsystem Nr.:1, Lotschnitt durch den ungestörten Wandbereich [35]

Abb. 3.44

Wandsystem Nr.:2, Lotschnitt durch den ungestörten Wandbereich [28]

Abb. 3.45

Wandsystem Nr.:3, Horizontalschnitt durch den ungestörten Wandbereich [36]

Abb. 3.46

Wandsystem Nr.:4, Horizontalschnitt durch den ungestörten Wandbereich [36]

Abb. 3.47

Wandsystem Nr.:5, Horizontalschnitt durch den ungestörten Wandbereich [36]

Abb. 3.48

Wandsystem Nr.:6, Horizontalschnitt durch den ungestörten Wandbereich [36]

Abb. 3.49

Wandsystem Nr.:7, Horizontalschnitt durch den ungestörten Wandbereich [4]

Abb. 3.50

Wandsystem Nr.:8, Horizontalschnitt durch den ungestörten Wandbereich [4]

Abb. 3.51

Wandsystem Nr.:9, Horizontalschnitt durch den ungestörten Wandbereich [4]

Abb. 3.52

Wandsystem Nr.:10, Horizontalschnitt durch den ungestörten Wandbereich [37]

Abb. 3.53

Wandsystem Nr.:11, Horizontalschnitt durch den ungestörten Wandbereich [37]

Abb. 3.54

Wandsystem Nr.:12, Horizontalschnitt durch den ungestörten Wandbereich [37]

Abb. 3.55

Wandsystem Nr.:13, Lotschnitt durch den ungestörten Wandbereich [47]

Abb. 3.56

Wandsystem Nr.:14, Lotschnitt durch den ungestörten Wandbereich [47]

Abb. 3.57

Wandsystem Nr.:15, Lotschnitt durch den ungestörten Wandbereich [47]

4. Konzept zur Erstellung eines optimierten Wandsystems

Abb. 4.1

Zeichnungslegende

Abb. 4.2

Wandaufbau mit Dämmungsstoß und Befestigungssystem

Abb. 4.3

Darstellung des aussteifenden Systems und der Anordnung der lastabtragenden Elemente

5. Dimensions- und Dämmungsoptimierung

Abb. 5.1

Steher der Skelettkonstruktion

Abb. 5.2.

Versuch mit den „Magdeburger Halbkugeln“ [Internetrecherche am 09.05.2008, <http://de.wikipedia.org>]

Abb. 5.3.

Struktur pyrogener Kieselsäure unter dem Elektronenmikroskop [Internetrecherche am 11.05.2008, <http://www.porextherm.com>]

Abb.: 5.4

VIP der Fa. VaQtec. [Internetrecherche am 09.05.2008, <http://www.va-q-tec.com>]

Abb.: 5.5

Badewannenkurve zur Beschreibung der Lebensdauer von VIP [57]

Abb.: 5.6

Gasdruckabhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit. [56]

Abb.: 5.7

Feuchteabhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit. [57]

Abb.: 5.8

Herstellungsprozess von STC [61]

Abb.: 5.9

Herstellungsprozess von SiC [61]

Abb.: 5.10

Herstellungsprozess von PK [61]

Abb.: 5.11

Montageprozess von VIP [61]

Abb.: 5.12

Messung mittels Va-Q-check[®]-Verfahren [Internetrecherche am 10.05.2008, www.va-q-tec.com]

Abb.: 5.13

Aufkleber zur Kennzeichnung für Bauteile mit VIP [58]

Abb.: 5.14

Stoßbereich und Befestigung (siehe Anhang – Plan Nr.: 03)

Abb.: 5.15

Variotec „Qasa“ Fertigdämmelement mit VIP-Kern [37]

Abb.: 5.16

Elementierung mit einer Fertigungsbreite von 1245 mm

Abb.: 5.17

Vorgefertigte Durchdringung in der Plattenebene [37]

Abb.: 5.18

Vorgefertigte Randeinzug zur Befestigung mittels Anker oder Schraubverbindungen. [37]

Abb.: 5.19

Elementierung mit einer Fertigungsbreite von 620 mm

Abb.: 5.20

VIP zwischen PUR - Stegen eingelegt. [37]

6. Produktions- und Montageoptimierung - Qualitätsbeurteilung

Abb.: 6.1

Bild eines Schnittmodells des verwendeten Fensters [Internetrecherche am 10.05.2008, <http://www.optiwin.net>]

Abb.: 6.2

Detailausbildung Außenecke, maßstäblicher Plan siehe Anhang (Plan Nr.: 01)

Abb.: 6.3

Temperaturverlauf (Isothermendarstellung) und Wärmestromlinien Außenecke
Grafik: Erstellt mit ANTHERM, T. Kornicki

Abb.: 6.4

Darstellung des Montageablaufs der Außenecke

Abb.: 6.5

Bereiche negativer Dampfdruckdifferenz im Detail Außenecke, Grafik: Erstellt mit ANTHERM, T. Kornicki

Abb.: 6.6

Detailausbildung Innenecke, maßstäblicher Plan und genaue Aufbauten siehe Anhang (Plan Nr.: 02)

Abb.: 6.7

Temperaturverlauf (Isothermendarstellung) und Wärmestromlinien Innenecke, Grafik: Erstellt mit ANTHERM, T. Kornicki

Abb.: 6.8

Darstellung des Montageablaufs der Innenecke

Abb.: 6.9

Bereiche negativer Dampfdruckdifferenz im Detail Innenecke, Grafik: Erstellt mit ANTHERM, T. Kornicki

Abb.: 6.10

Detailausbildung Elementstoß, maßstäblicher Plan siehe Anhang (Plan Nr.: 03)

Abb.: 6.11

Temperaturverlauf (Isothermendarstellung) und Wärmestromlinien Elementstoß, Grafik: Erstellt mit ANTHERM, T. Kornicki

Abb.: 6.12

Darstellung des Montageablaufs des Elementstoßes (Dämmungsstoß)

Abb.: 6.13

Bereiche negativer Dampfdruckdifferenz im Elementstoß, Grafik: Erstellt mit ANTHERM, T. Kornicki

Abb.: 6.14

Detailausbildung Deckenanschluss, maßstäblicher Plan siehe Anhang (Plan Nr.: 04)

Abb.: 6.15

Temperaturverlauf (Isothermendarstellung) und Wärmestromlinien im Detail Deckenanschluss, Grafik: Erstellt mit ANTHERM, T. Kornicki

Abb.: 6.16

Darstellung des Montageablaufs des Geschoßdeckenanschlusses

Abb.: 6.17

Bereiche negativer Dampfdruckdifferenz im Detail Deckenanschluss, Grafik: Erstellt mit ANTHERM, T. Kornicki

Abb.: 6.18

Sockelanschluss Plattenfundament, maßstäblicher Plan siehe Anhang (Plan Nr.: 05)

Abb.: 6.19

Temperaturverlauf (Isothermendarstellung) und Wärmestromlinien Plattenfundament
Grafik: Erstellt mit ANTHERM, T. Kornicki

Abb.: 6.20

Darstellung des Montageablaufs des Sockelanschlusses mit Plattenfundament

Abb.: 6.21

Detailausbildung Sockelanschluss Keller, maßstäblicher Plan siehe Anhang (Plan Nr.: 06)

Abb.: 6.22

Temperaturverlauf (Isothermendarstellung) und Wärmestromlinien im Detail Kellerdeckenanschluss, Grafik: Erstellt mit ANTHERM, T. Kornicki

Abb.: 6.23

Darstellung des Montageablaufs des Sockelanschlusses mit Keller

Abb.: 6.24

Detailausbildung Dachanschluss Flachdach, maßstäblicher Plan siehe Anhang (Plan Nr.: 07)

Abb.: 6.25

Temperaturverlauf (Isothermendarstellung) und Wärmestromlinien im Detail Dachanschluss
Grafik: Erstellt mit ANTHERM, T. Kornicki

Abb.: 6.26

Darstellung des Montageablaufs des Dachanschlusses

Abb.: 6.27

Bereiche negativer Dampfdruckdifferenz im Detail Dachanschluss
Grafik: Erstellt mit ANTHERM, T. Kornicki

Abb.: 6.28

Detailausbildung Fensteranschluss im Leibungsbereich. Detailplan siehe Anhang (Plan Nr.: 08)

Abb.: 6.29

Temperaturverlauf (Isothermendarstellung) und Wärmestromlinien im Detail Leibungsanschluss
Grafik: Erstellt mit ANTHERM, T. Kornicki

Abb.: 6.30

Detailausbildung Fensteranschluss im Sturzbereich. Detailplan siehe Anhang (Plan Nr.: 09)

Abb.: 6.31

Detailausbildung Fensteranschluss ohne Sturz im Bereich Dachanschluss. Detailplan siehe Anhang (Plan Nr.: 11)

Abb.: 6.32

Detailausbildung Fensteranschluss im Parapetbereich. Detailplan siehe Anhang (Plan Nr.: 09)

Abb.: 6.33

Detailausbildung Fensteranschluss ohne Parapet im Bereich Geschossdeckenanschluss. Detailplan siehe Anhang (Plan Nr.: 09)

Tab.: 6.34

Montage der Steher, Schwelle und Riegel

Tab.: 6.35

Montage der Ausfachung aus Massivholz

Tab.: 6.36

Montage der Dampfsperre

Tab.: 6.37

Montage der 1. Lage OSB-Platten

Tab.: 6.38

Montage der Steher, Schwelle und Riegel

Tab.: 6.39

Montage der Steher, Schwelle und Riegel

Tab.: 6.40

Montage der Steher, Schwelle und Riegel

7. Statische Nachweise

Abb. 7.5

Statisches System

Abb. 7.6

Lignotrend Se*si® Schwelle [52]

Abb. 7.7

BSH- Schwelle

e. Tabellen

3. Wandsysteme

Tab.: 3.1

Lebensdauer unterschiedlicher Außenwände vgl. [38], [39], [40]

Tab.: 3.2

Lebensdauer unterschiedlicher Bekleidungen auf Unterkonstruktion vgl. [38], [39], [40]

Tab.: 3.3

Lebensdauer unterschiedlicher Außenputze vgl. [38], [39], [40]

Tab.: 3.4

Lebensdauer unterschiedlicher Fenster und Türen vgl. [38], [39], [40]

Tab.: 3.5

Ebenenzusammenführung der Funktionsschichten

4. Konzept zur Erstellung eines optimierten Wandsystems

Tab. 4.1

Kostenabschätzung für Beispielwandsysteme aus Abschnitt 3.iv.
Verwendete Quellen: [48-50]

Tab. 4.2

Kostenabschätzung für den gegenständlichen Entwurf eines Wandsystems
Verwendete Quellen: [48, 49, 50, 51]

5. Dimensions- und Dämmungsoptimierung

Tab. 5.1

Druckbereiche [24]

Tab.: 5.2

Wärmeleitfähigkeit pyrogener Kieselsäure mit einer Rohdichte von 160kg/m³ in Abhängigkeit des Gasdruckes. [24]

Tab.: 5.3

Aufbau einer metallisierten Hochbarrierefolie. [55]

Tab.: 5.4

GWP und PEI verschiedener Dämmstoffe im Vergleich. [47]

Tab.: 5.5

PEI und GWP gewichtet nach der benötigten Menge je m² Wandfläche für U = 0,1 W/m²K

Tab.: 5.6

Technische Daten VIP [24, 37, 55, 56]

Tab.: 5.7

Aufbau Variotec „Qasa“ [37]

Tab.: 5.8

Technische Daten „Qasa“ [37]

6. Produktions- und Montageoptimierung - Qualitätsbeurteilung

Tab.: 6.1

Rechenwerte für die thermische Simulation [9, 37, 41, 42, 43, 44, 47, 59]

Tab.: 6.2

Angaben zum in der Simulation verwendeten Fenstertyp. [63]

Tab.: 6.3

U-Wert des ungestörten Wandbereichs für den Fall der Belüftung der VIP- Ebene (λ nach [24]) Berechnung mit U-Wert Kalkulator, (T. Kornicki)

Tab.: 6.4

U-Wert des ungestörten Wandbereichs unter Annahme eines durchschnittlichen Alterungszuschlages nach 50 Jahren aus [37], [56], Berechnung mit U-Wert Kalkulator, (T. Kornicki)

Tab.: 6.5

U-Wert des ungestörten Wandbereichs unter Annahme der Wärmeleitfähigkeit als Mittelwert des Auslieferungswertes und der Annahmen nach. Tab. 6.2, Berechnung mit U-Wert Kalkulator, (T. Kornicki)

Tab.: 6.6

U-Wert des ungestörten Wandbereichs im Herstellungszustand (λ nach [37]), Berechnung mit U-Wert Kalkulator, (T. Kornicki)

Tab. 6.7

Größen und Gewichtsangaben für das Wandsystem

7. Statische Nachweise

Tab. 7.1

Annahmen für statische Berechnung

Tab. 7.2

Lastannahmen Wandsystem

Tab. 7.3

Lastannahmen Decke über EG (Geschossdecke)

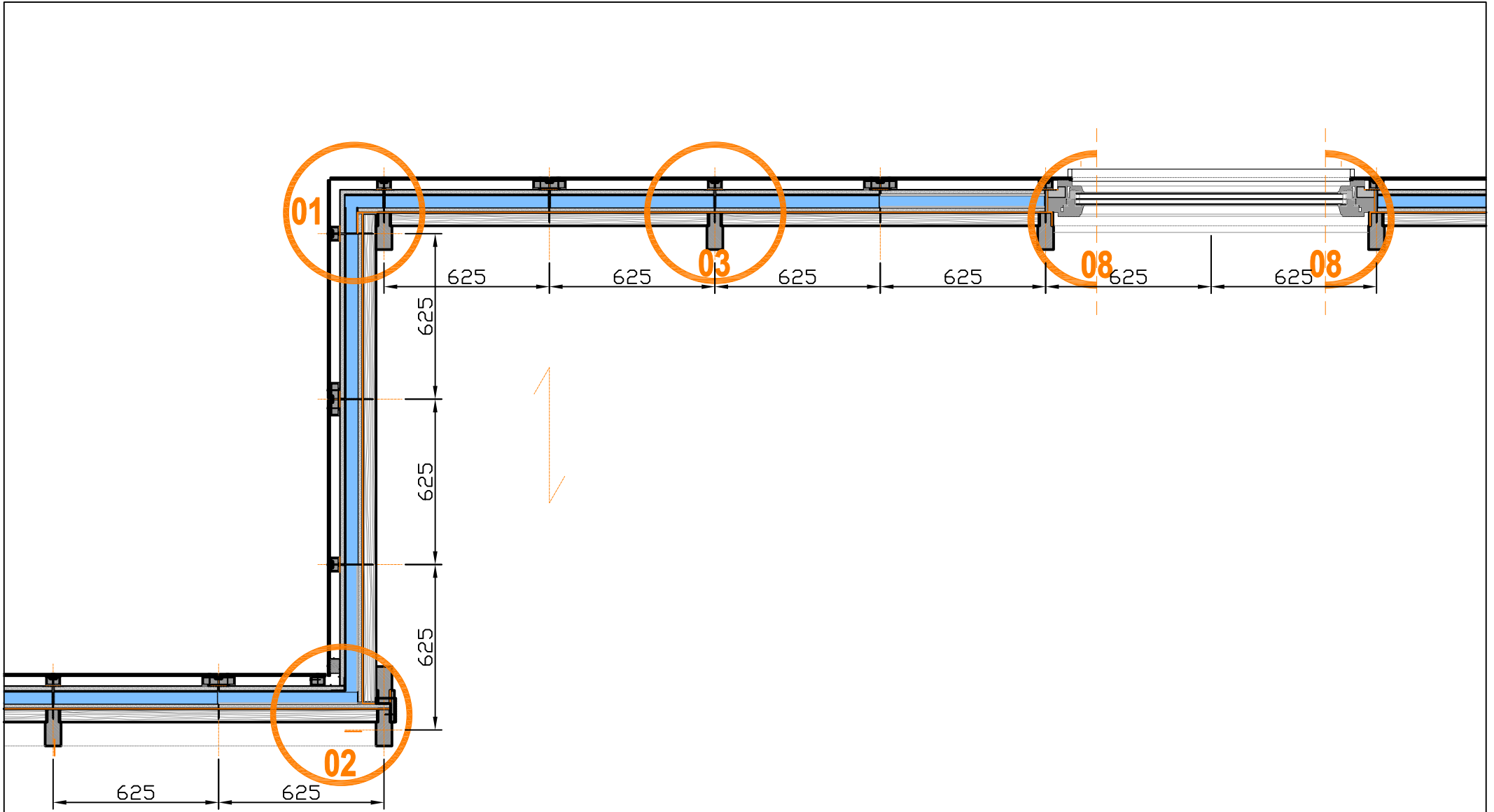
Tab. 7.4

Lastannahmen Dach (Flachdach)

10. Anhang

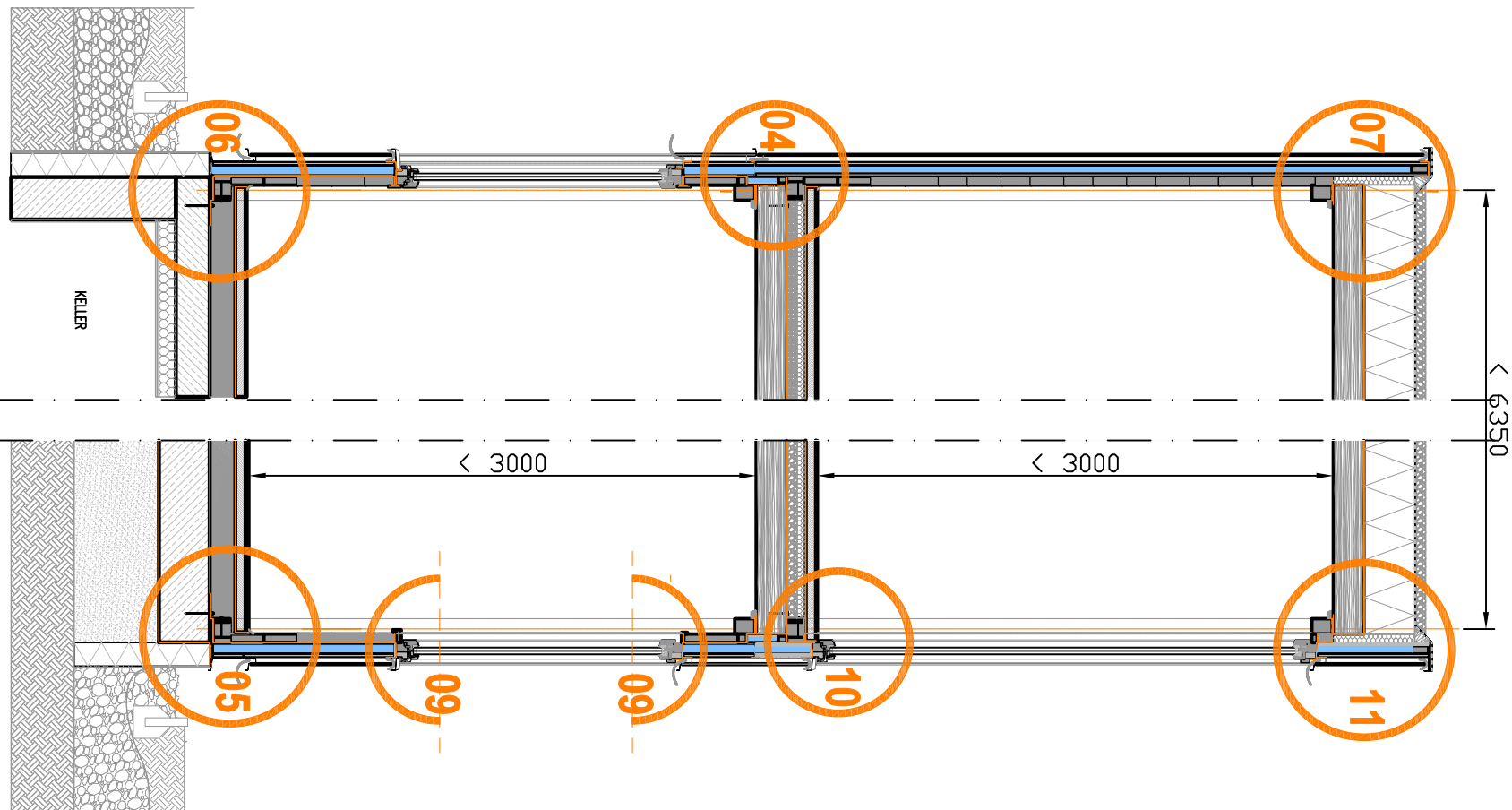
Inhalt:

a. Übersichtsplan 1 (Horizontalschnitte)	Ü1
b. Übersichtsplan 2 (Vertikalschnitte)	Ü2
c. Legende	Plan Nr.: 00
d. Außenecke	Plan Nr.: 01
e. Innenecke.....	Plan Nr.: 02
f. Elementstoß	Plan Nr.: 03
g. Deckenanschluss Geschossdecke	Plan Nr.: 04
h. Sockelanschluss Plattenfundament.....	Plan Nr.: 05
i. Sockelanschluss Keller	Plan Nr.: 06
j. Dachanschluss.....	Plan Nr.: 07
k. Fenster – Leibungsdetail.....	Plan Nr.: 08
l. Fenster – Sturz und Parapetdetail	Plan Nr.: 09
m. Fensteranschluss an Geschossdecke ohne Parapet	Plan Nr.: 10
n. Fensteranschluss an Dach ohne Sturz.....	Plan Nr.: 11



MASSE IN MM

<p>ARBEITSTITEL GASSENBAUER WOLFGANG – DIPLOMARBEIT ENTWICKLUNG EINES DIMENSIONS- DÄMMUNGS- UND FERTIGUNGSTECHNISCH OPTIMIERTEN WANDSYSTEMS ZUM EINSATZ IM PASSIVHAUSBAU</p>	<p>MASSTAB: 1:20</p>	<p>PLANNHALT: ÜBERSICHTSPLAN 1 HORIZONTALSCHNITT</p>	<p>PLANNUMMER Ü1</p>
--	----------------------------------	---	----------------------------------



MASSE IN MM

ARBEITSTITEL
 GASSENBAUER WOLFGANG – DIPLOMARBEIT
 ENTWICKLUNG EINES DIMENSIONS- DÄMMUNGS- UND
 FERTIGUNGSTECHNISCH OPTIMERTEN WANDSYSTEMS
 ZUM EINSATZ IM PASSIVHAUSBAU

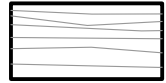
MASSTAB:
1:40

PLANINHALT:
ÜBERSICHTSPLAN 2
 VERTIKALSCHNITT

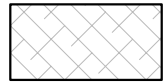
PLANNUMMER
Ü2



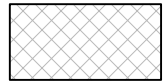
HOLZ (QUERSCHNITT)



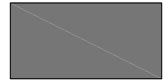
HOLZ (LÄNGSSCHNITT)



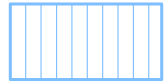
OSB – PLATTE



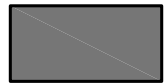
PUR – PLATTE



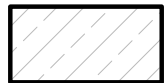
ALUMINIUM – PLATTE



VAKUUMISOLATIONSPANEEL (VIP)



FASERZEMENTPLATTE



STAHLBETON



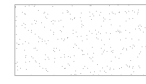
ZEMENTESTRICH



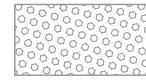
GEWACHSENER BODEN



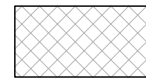
KIES / SCHOTTER



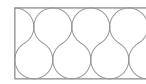
SCHAUMGLASSCHÜTTUNG



EPS – SCHÜTTUNG



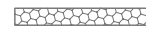
KORK



MINERALWOLLE



DAMPFSPERRE, KLEBEBAND



KOMPRIBAND



KONSTRUKTIONSRASTER



ABDICHTUNG BITUMINÖS

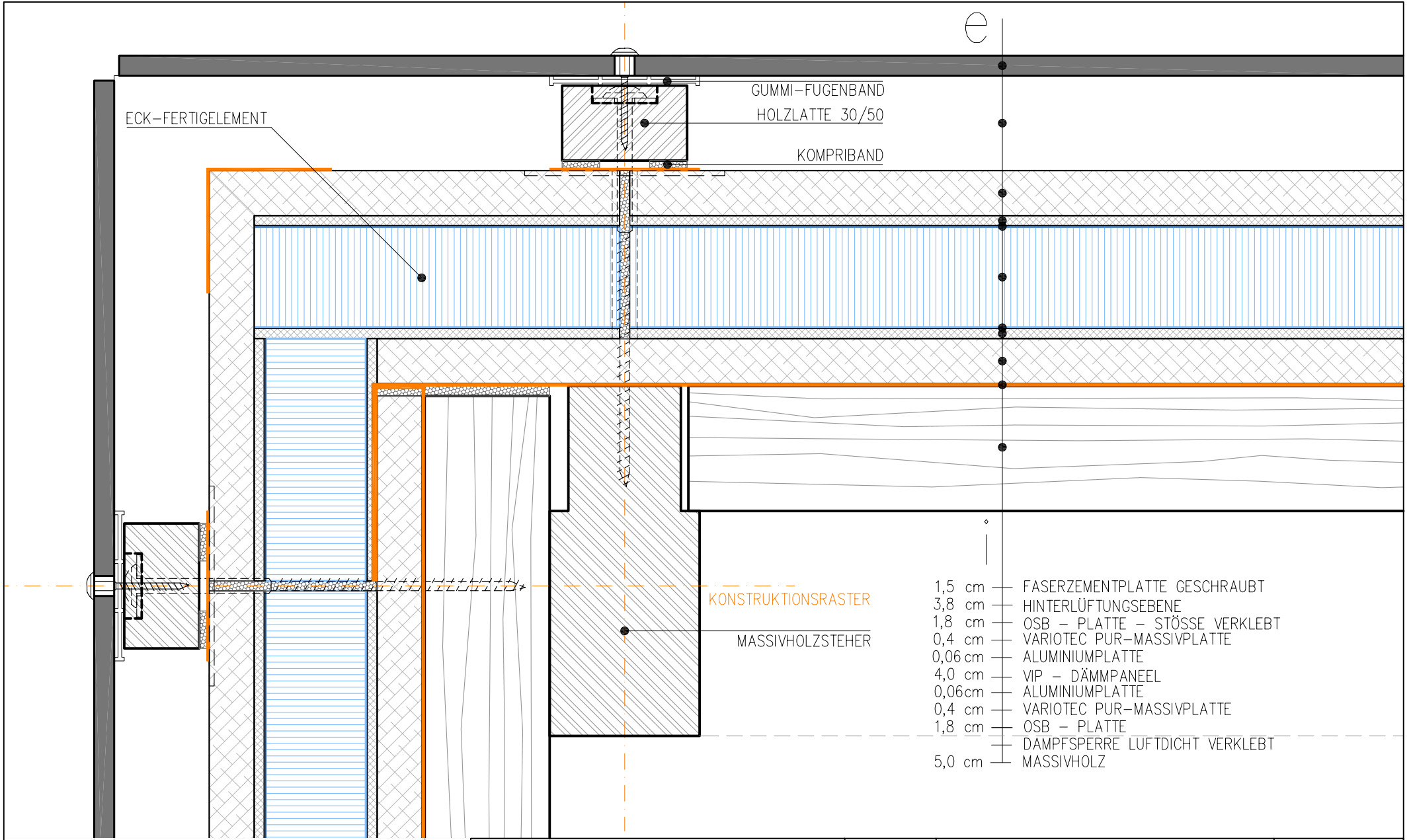
ARBEITSTITEL
GASSENBAUER WOLFGANG – DIPLOMARBEIT
ENTWICKLUNG EINES DIMENSIONS- DÄMMUNGS- UND
FERTIGUNGSTECHNISCH OPTIMIERTEN WANDSYSTEMS
ZUM EINSATZ IM PASSIVHAUSBAU

PLANINHALT:

LEGENDE

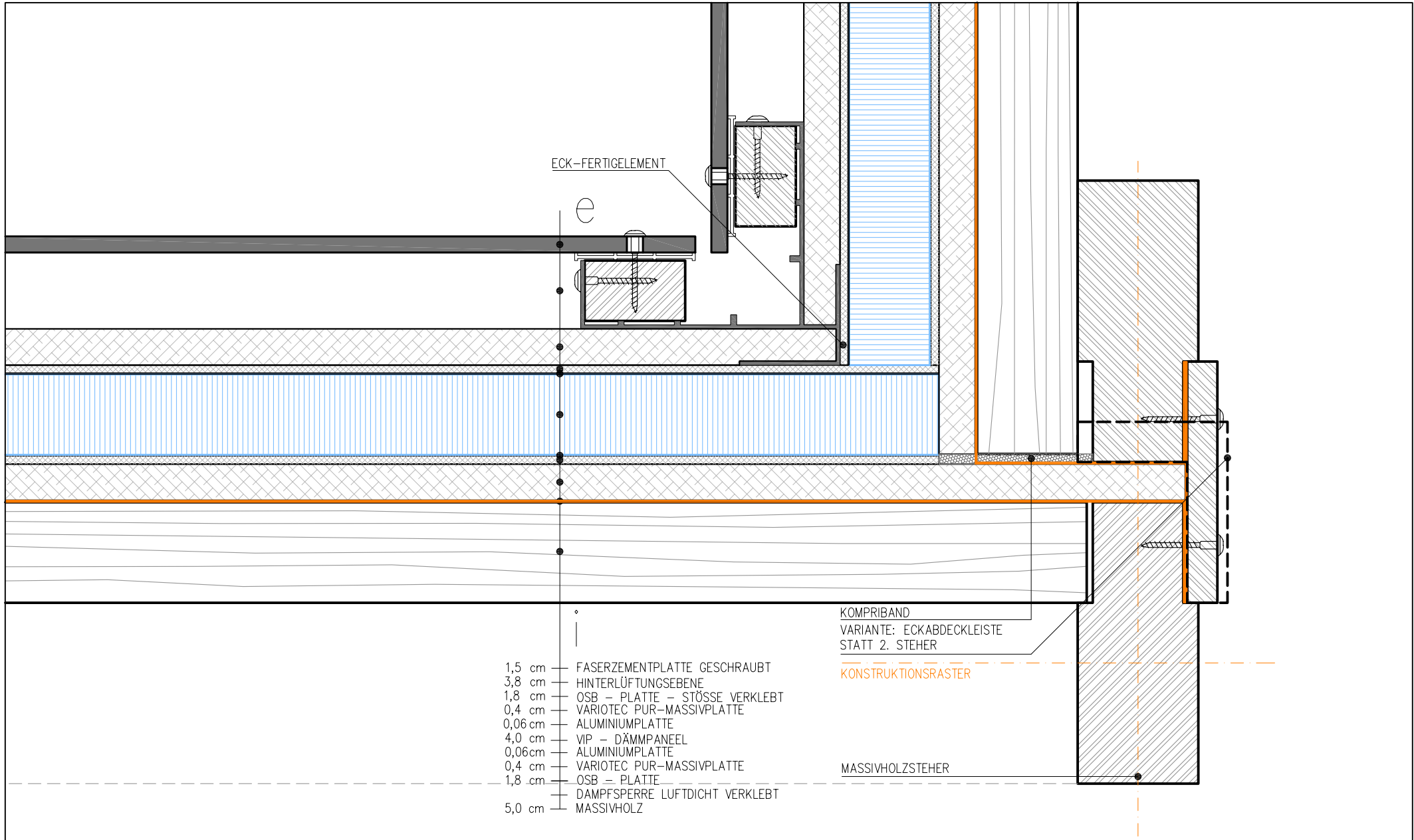
PLANNUMMER

00



- 1,5 cm FASERZEMENTPLATTE GESCHRAUBT
- 3,8 cm HINTERLÜFTUNGSEBENE
- 1,8 cm OSB - PLATTE - STÖSSE VERKLEBT
- 0,4 cm VARIOTEC PUR-MASSIVPLATTE
- 0,06 cm ALUMINIUMPLATTE
- 4,0 cm VIP - DÄMMPANEEL
- 0,06cm ALUMINIUMPLATTE
- 0,4 cm VARIOTEC PUR-MASSIVPLATTE
- 1,8 cm OSB - PLATTE
- DAMPFSPERRE LUFTDICHT VERKLEBT
- 5,0 cm MASSIVHOLZ

<p>ARBEITSTITEL GASSENBAUER WOLFGANG – DIPLOMARBEIT ENTWICKLUNG EINES DIMENSIONS- DÄMMUNGS- UND FERTIGUNGSTECHNISCH OPTIMERTEN WANDSYSTEMS ZUM EINSATZ IM PASSIVHAUSBAU</p>	<p>MASSTAB: 1:2</p>	<p>PLANNHALT: AUSSENECKE HORIZONTALSCHNITT</p>	<p>PLANNUMMER 01</p>
--	---	---	--



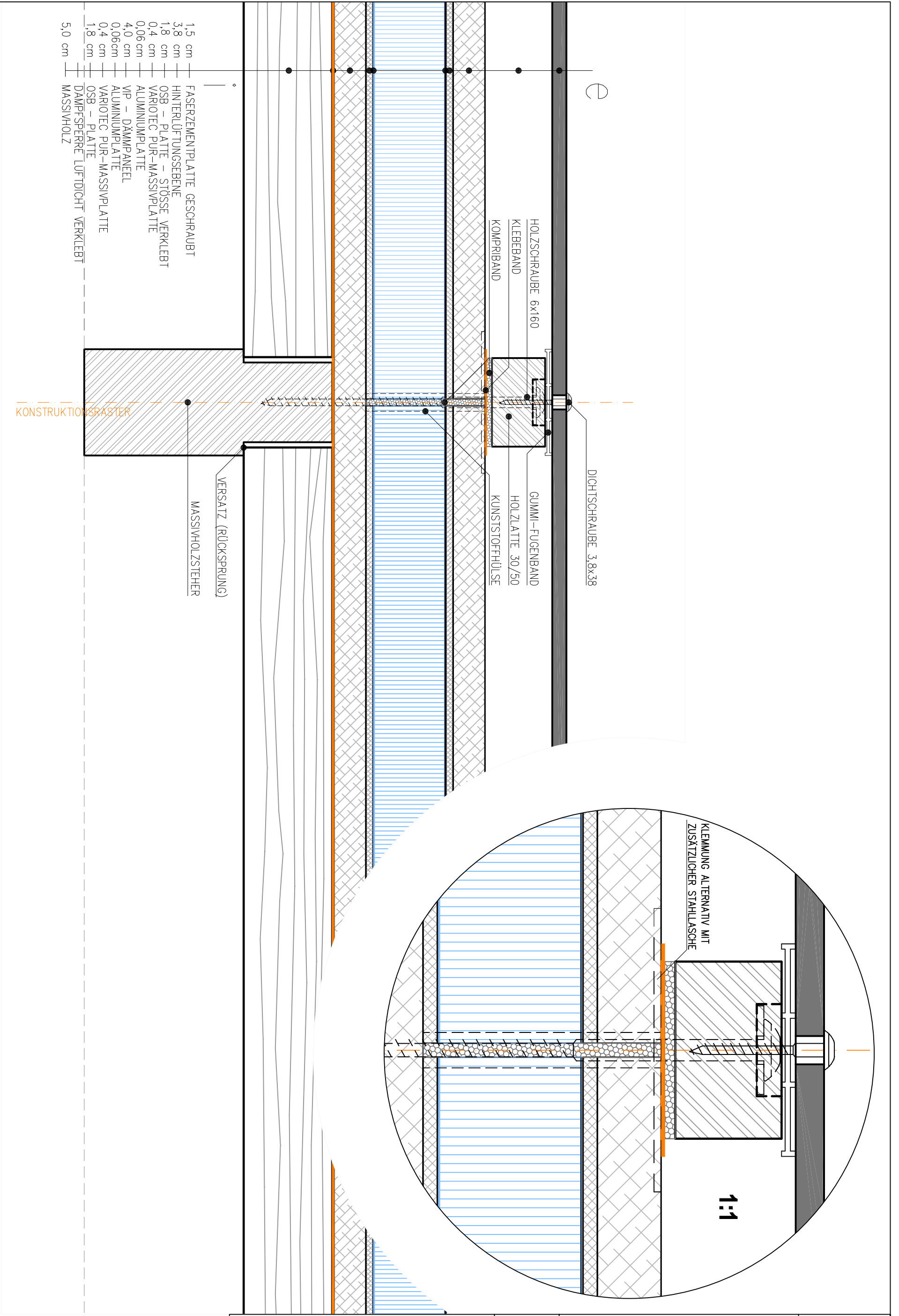
- 1,5 cm — FASERZEMENTPLATTE GESCHRAUBT
- 3,8 cm — HINTERLÜFTUNGSEBENE
- 1,8 cm — OSB – PLATTE – STÖSSE VERKLEBT
- 0,4 cm — VARIOTEC PUR–MASSIVPLATTE
- 0,06 cm — ALUMINIUMPLATTE
- 4,0 cm — VIP – DÄMMPANEEL
- 0,06 cm — ALUMINIUMPLATTE
- 0,4 cm — VARIOTEC PUR–MASSIVPLATTE
- 1,8 cm — OSB – PLATTE
- DAMPFSPERRE LUFTDICHT VERKLEBT
- 5,0 cm — MASSIVHOLZ

KOMPRIBAND
 VARIANTE: ECKABDECKLEISTE
 STATT 2. STEHER

KONSTRUKTIONSRASTER

MASSIVHOLZSTEHER

ARBEITSTITEL GASSENBAUER WOLFGANG – DIPLOMARBEIT ENTWICKLUNG EINES DIMENSIONS- DÄMMUNGS- UND FERTIGUNGSTECHNISCH OPTIMIERTEN WANDSYSTEMS ZUM EINSATZ IM PASSIVHAUSBAU	MASSTAB: 1:2,5	PLANINHALT: INNENECKE HORIZONTALSCHNITT	PLANNUMMER 02
--	--	--	---

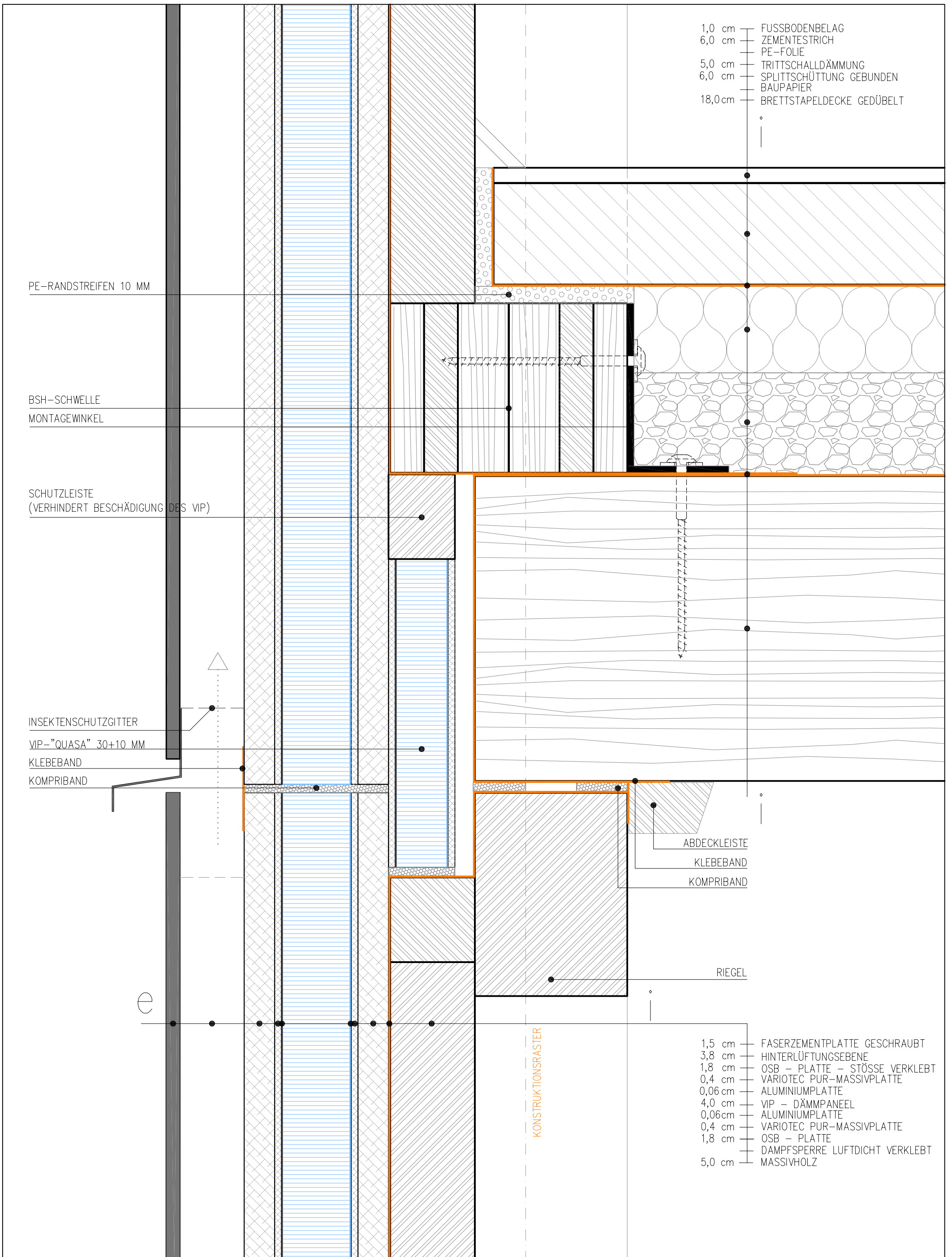


ARBEITSTITEL
 GASSENBAUER WOLFGANG – DIPLOMARBEIT
 ENTWICKLUNG EINES DIMENSIONS- DÄMMUNGS- UND
 FERTIGUNGSTECHNISCH OPTIMIERTEN WANDSYSTEMS
 ZUM EINSATZ IM PASSIVHAUSBAU

MASSSTAB:
1:2

PLANINHALT:
ELEMENTSTOSS
 HORIZONTALSCHNITT

PLANNUMMER
03



- 1,0 cm FUSSBODENBELAG
- 6,0 cm ZEMENTESTRICH
- PE-FOLIE
- 5,0 cm TRITTSCHALLDÄMMUNG
- 6,0 cm SPLITTSCHÜTTUNG GEBUNDEN
- BAUPAPIER
- 18,0 cm BRETTSTAPELDECKE GEDÜBELT

PE-RANDSTREIFEN 10 MM

BSH-SCHWELLE
MONTAGEWINKEL

SCHUTZLEISTE
(VERHINDERT BESCHÄDIGUNG DES VIP)

INSEKTENSCHUTZGITTER
VIP-"QUASA" 30+10 MM
KLEBEBAND
KOMPRIBAND

ABDECKLEISTE
KLEBEBAND
KOMPRIBAND

RIEHEL

- 1,5 cm FASERZEMENTPLATTE GESCHRAUBT
- 3,8 cm HINTERLÜFTUNGSEBENE
- 1,8 cm OSB - PLATTE - STÖSSE VERKLEBT
- 0,4 cm VARIOTEC PUR-MASSIVPLATTE
- 0,06 cm ALUMINIUMPLATTE
- 4,0 cm VIP - DÄMMPANEEL
- 0,06 cm ALUMINIUMPLATTE
- 0,4 cm VARIOTEC PUR-MASSIVPLATTE
- 1,8 cm OSB - PLATTE
- DAMPFSPERRE LUFTDICHT VERKLEBT
- 5,0 cm MASSIVHOLZ

KONSTRUKTIONSRASTER

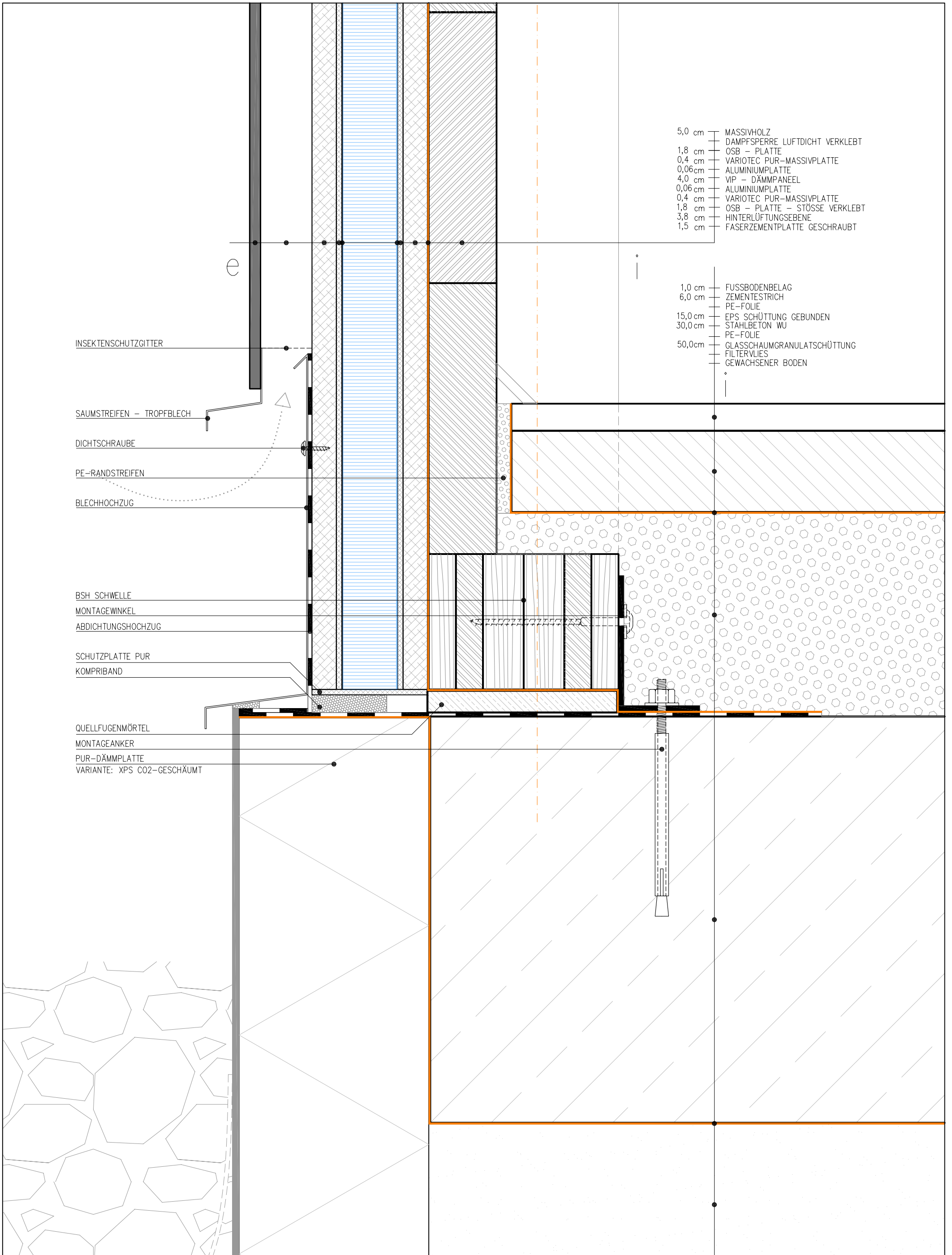
e

ARBEITSTITEL
GASSENBAUER WOLFGANG – DIPLOMARBEIT
ENTWICKLUNG EINES DIMENSIONS- DÄMMUNGS- UND
FERTIGUNGSTECHNISCH OPTIMIERTEN WANDSYSTEMS
ZUM EINSATZ IM PASSIVHAUSBAU

MASSSTAB:
1:2

PLANINHALT:
DECKENANSCHLUSS
VERTIKALSCHNITT

PLANNUMMER
04



- 5,0 cm MASSIVHOLZ
- DAMPFSPERRE LUFTDICHT VERKLEBT
- 1,8 cm OSB - PLATTE
- 0,4 cm VARIOTEC PUR-MASSIVPLATTE
- 0,06cm ALUMINIUMPLATTE
- 4,0 cm VIP - DÄMMPANEEL
- 0,06cm ALUMINIUMPLATTE
- 0,4 cm VARIOTEC PUR-MASSIVPLATTE
- 1,8 cm OSB - PLATTE - STÖSSE VERKLEBT
- 3,8 cm HINTERLÜFTUNGSEBENE
- 1,5 cm FASERZEMENTPLATTE GESCHRAUBT

- 1,0 cm FUSSBODENBELAG
- 6,0 cm ZEMENTESTRICH
- PE-FOLIE
- 15,0cm EPS SCHÜTTUNG GEBUNDEN
- 30,0cm STAHLBETON WU
- PE-FOLIE
- 50,0cm GLASSCHAUMGRANULATSCHÜTTUNG
- FILTERVLIES
- GEWACHSENER BODEN

INSEKTENSCHUTZGITTER

SAUMSTREIFEN - TROPFBLECH

DICHTSCHRAUBE

PE-RANDSTREIFEN

BLECHHOCHZUG

BSH SCHWELLE

MONTAGEWINKEL

ABDICHTUNGSHOCHZUG

SCHUTZPLATTE PUR

KOMPRIBAND

QUELLEFUGENMÖRTEL

MONTAGEANKER

PUR-DÄMMPLATTE

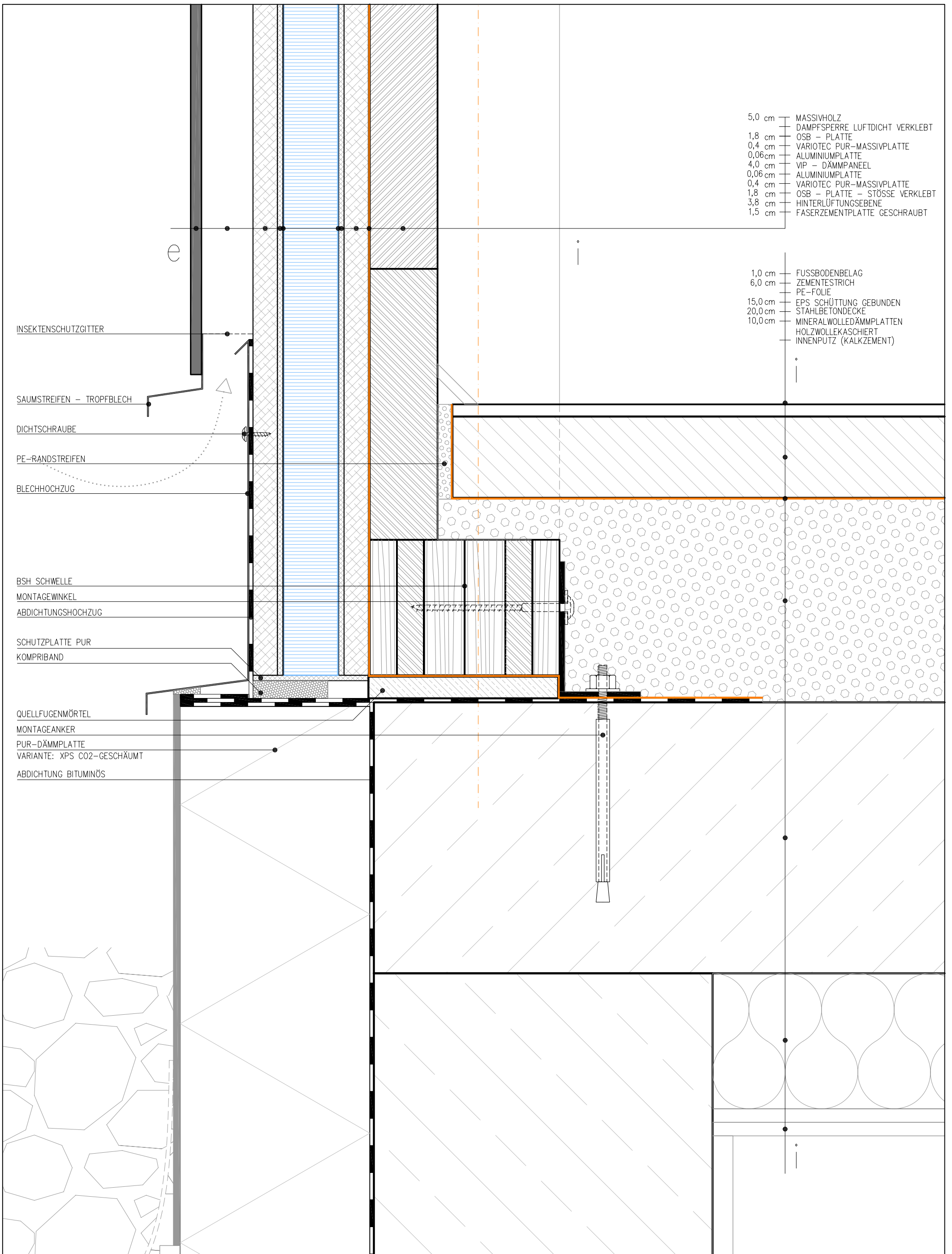
VARIANTE: XPS CO2-GESCHÄUMT

ARBEITSTITEL
GASSENBAUER WOLFGANG – DIPLOMARBEIT
 ENTWICKLUNG EINES DIMENSIONS- DÄMMUNGS- UND
 FERTIGUNGSTECHNISCHE OPTIMIERTEN WANDSYSTEMS
 ZUM EINSATZ IM PASSIVHAUSBAU

MASSSTAB:
1:2,5

PLANINHALT:
**SOCKELANSCHLUSS
 PLATTENFUNDAMENT**
 VERTIKALSCHNITT

PLANNUMMER
05



ARBEITSTITEL
GASSENBAUER WOLFGANG – DIPLOMARBEIT
 ENTWICKLUNG EINES DIMENSIONS- DÄMMUNGS- UND
 FERTIGUNGSTECHNISCH OPTIMIERTEN WANDSYSTEMS
 ZUM EINSATZ IM PASSIVHAUSBAU

MASSSTAB:
1:2,5

PLANINHALT:
**SOCKELANSCHLUSS
 KELLER**
 VERTIKALSCHNITT

PLANNUMMER
06

ATTIKABLECH
 SAUMSTREIFEN
 OSB PLATTE 18 MM

INSEKTENSCHUTZGITTER

DÄMMSTOFFKEIL
 MASSIVHOLZ

MINERALWOLLE
 ALTERNATIV: EPS GRANULAT

KONSTRUKTIONSRÄSTER

e

- 5,0 cm MASSIVHOLZ
- DAMPFSPERRE LUFTDICHT VERKLEBT
- 1,8 cm OSB - PLATTE
- 0,4 cm VARIOTEC PUR-MASSIVPLATTE
- 0,06cm ALUMINIUMPLATTE
- 4,0 cm VIP - DÄMMPANEEL
- 0,06cm ALUMINIUMPLATTE
- 0,4 cm VARIOTEC PUR-MASSIVPLATTE
- 1,8 cm OSB - PLATTE - STÖSSE VERKLEBT
- 3,8 cm HINTERLÜFTUNGSEBENE
- 1,5 cm FASERZEMENTPLATTE GESCHRAUBT

e

ABDECKLEISTE
 KLEBEBAND
 KOMPRIEBAND
 RIEGEL

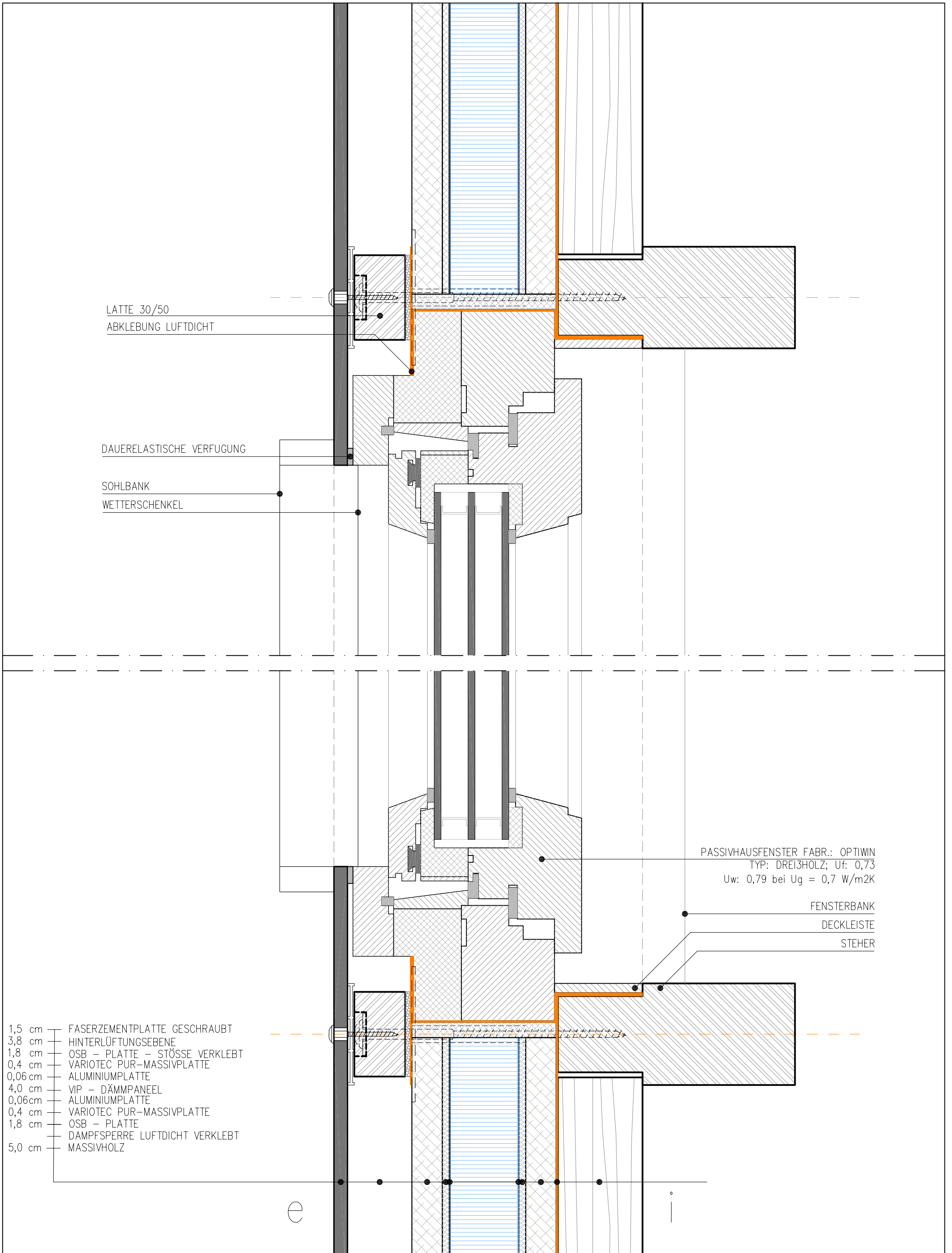
- 6,0 cm KIES
- 0,5 cm PE-ABDICHTUNGSBAHN
- 30,0 cm EPS W20(25)
- DAMPFSPERRE
- 18,0 cm BRETTSTAPELDECKE

ARBEITSTITEL
 GASSENBAUER WOLFGANG – DIPLOMARBEIT
 ENTWICKLUNG EINES DIMENSIONS- DÄMMUNGS- UND
 FERTIGUNGSTECHNISCHE OPTIMIERTEN WANDSYSTEMS
 ZUM EINSATZ IM PASSIVHAUSBAU

MASSSTAB:
1:2,5

PLANINHALT:
DACHANSCHLUSS
 VERTIKALSCHNITT

PLANNUMMER
07



LATTE 30/50
 ABKLEBUNG LUFTDICHT

DAUERELASTISCHE VERFUGUNG

SOHLBANK
 WETTERSCHENKEL

PASSIVHAUSFENSTER FABR.: OPTIWIN
 TYP: DREI3HOLZ; Uf: 0,73
 Uw: 0,79 bei Ug = 0,7 W/m2K

FENSTERBANK
 DECKLEISTE
 STEHER

- 1,5 cm FASERZEMENTPLATTE GESCHRAUBT
- 3,8 cm HINTERLÜFTUNGSEBENE
- 1,8 cm OSB - PLATTE - STÖSSE VERKLEBT
- 0,4 cm VARIOTEC PUR-MASSIVPLATTE
- 0,06 cm ALUMINIUMPLATTE
- 4,0 cm VIP - DÄMMPANEEL
- 0,06 cm ALUMINIUMPLATTE
- 0,4 cm VARIOTEC PUR-MASSIVPLATTE
- 1,8 cm OSB - PLATTE
- DAMPFSPERRE LUFTDICHT VERKLEBT
- 5,0 cm MASSIVHOLZ

ARBEITSTITEL
GASSENBAUER WOLFGANG – DIPLOMARBEIT
 ENTWICKLUNG EINES DIMENSIONS- DÄMMUNGS- UND
 FERTIGUNGSTECHNISCH OPTIMIERTEN WANDSYSTEMS
 ZUM EINSATZ IM PASSIVHAUSBAU

MASSSTAB:
1:2

PLANINHALT:
LEIBUNGSDetail
 HORIZONTALSCHNITT

PLANNUMMER
08

LATTE 30/50
ABKLEBUNG LUFTDICHT

INSEKTENSCHUTZGITTER

KORKDÄMMUNG

BIOFASERDÄMMUNG

PASSIVHAUSFENSTER FABR.: OPTIWIN
TYP: DREI3HOLZ; Uf: 0,73
Uw: 0,79 bei Ug = 0,7 W/m2K

WETTERSCHENKEL

KORK

DECKLEISTE LÄRCH

SOHLBANK MIT HOCHZUG

PU-SCHAUM

FENSTERBANK

PU-KLEBER

MONTAGEWINKEL
LUFTDICHT ABKLEBUNG

1,5 cm FASERZEMENTPLATTE GESCHRAUBT
3,8 cm HINTERLÜFTUNGSEBENE
1,8 cm OSB - PLATTE - STÖSSE VERKLEBT
0,4 cm VARIOTEC PUR-MASSIVPLATTE
0,06 cm ALUMINIUMPLATTE
4,0 cm VIP - DÄMMPANEEL
0,06 cm ALUMINIUMPLATTE
0,4 cm VARIOTEC PUR-MASSIVPLATTE
1,8 cm OSB - PLATTE
DAMPFSPERRE LUFTDICHT VERKLEBT
5,0 cm MASSIVHOLZ

e

i

ARBEITSTITEL
GASSENBAUER WOLFGANG - DIPLOMARBEIT
ENTWICKLUNG EINES DIMENSIONS- DÄMMUNGS- UND
FERTIGUNGSTECHNISCH OPTIMIERTEN WANDSYSTEMS
ZUM EINSATZ IM PASSIVHAUSBAU

MASSSTAB:

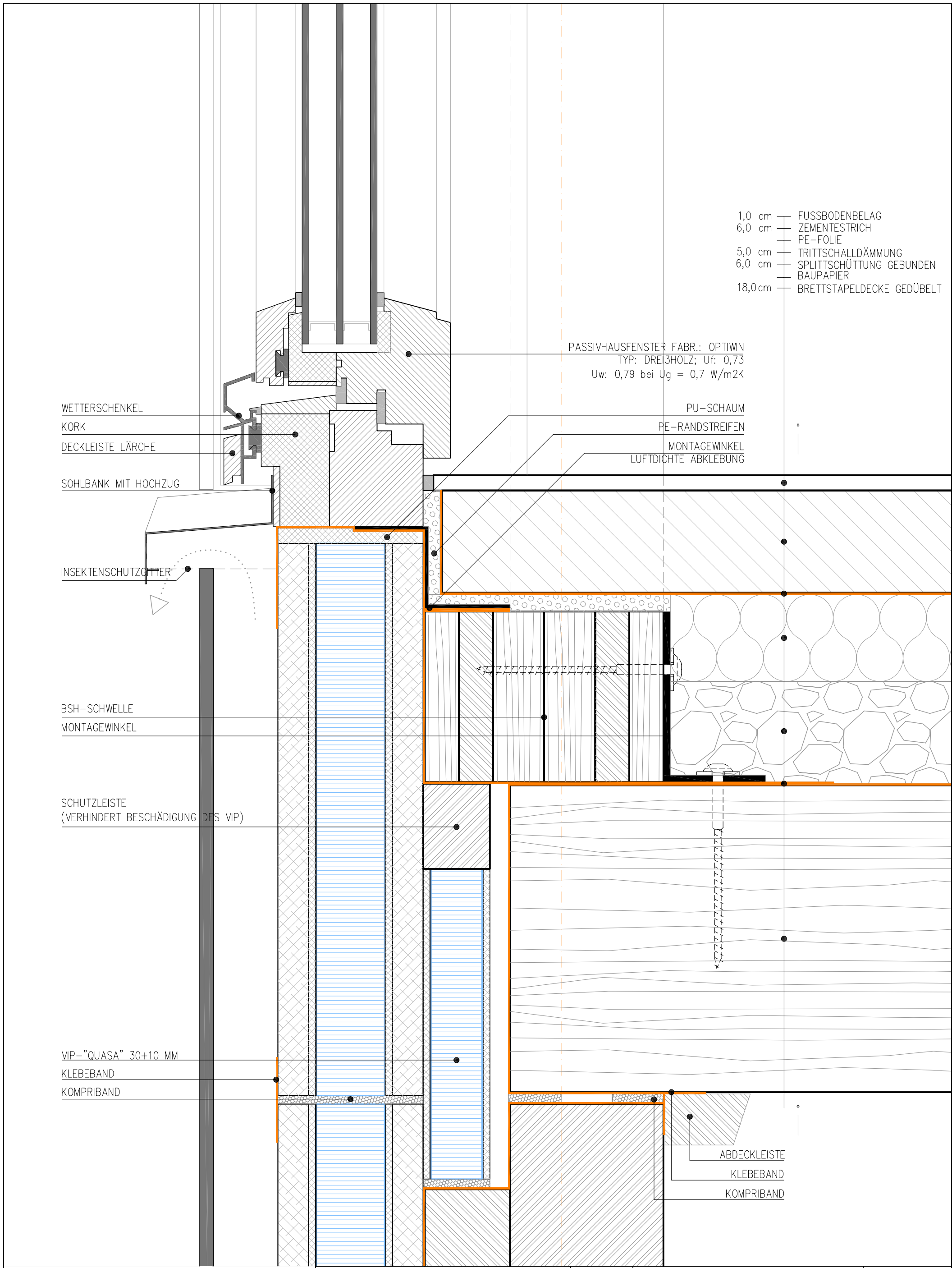
1:2

PLANINHALT:

STURZ - PARAPET
VERTIKALSCHNITT

PLANNUMMER

09



- 1,0 cm — FUSSBODENBELAG
- 6,0 cm — ZEMENTESTRICH
- PE-FOLIE
- 5,0 cm — TRITTSCHALLDÄMMUNG
- 6,0 cm — SPLITTSCHÜTTUNG GEBUNDEN
- BAUPAPIER
- 18,0 cm — BRETTSTAPELDECKE GEDÜBELT

PASSIVHAUSFENSTER FABR.: OPTIWIN
 TYP: DREI3HOLZ; Uf: 0,73
 Uw: 0,79 bei Ug = 0,7 W/m2K

WETTERSCHENKEL
 KORK
 DECKLEISTE LÄRCH
 SOHLBANK MIT HOCHZUG

PU-SCHAUM
 PE-RANDSTREIFEN
 MONTAGEWINKEL
 LUFTDICHT ABKLEBUNG

INSEKTENSCHUTZGITTER

BSH-SCHWELLE
 MONTAGEWINKEL

SCHUTZLEISTE
 (VERHINDERT BESCHÄDIGUNG DES VIP)

VIP-"QUASA" 30+10 MM
 KLEBEBAND
 KOMPRIBAND

ABDECKLEISTE
 KLEBEBAND
 KOMPRIBAND

ARBEITSTITEL
 GASSENBAUER WOLFGANG – DIPLOMARBEIT
 ENTWICKLUNG EINES DIMENSIONS- DÄMMUNGS- UND
 FERTIGUNGSTECHNISCH OPTIMIERTEN WANDSYSTEMS
 ZUM EINSATZ IM PASSIVHAUSBAU

MASSSTAB:
1:2

PLANNHALT:
**FENSTERANSCHLUSS
 OHNE PARAPET**
 VERTIKALSCHNITT

PLANNUMMER
10

ATTIKABLECH
 SAUMSTREIFEN
 OSB PLATTE 18 MM

INSEKTENSCHUTZGITTER

DÄMMSTOFFKEIL
 MASSIVHOLZ

MINERALWOLLE
 ALTERNATIV: EPS GRANULAT

KONSTRUKTIONSRASTER

e

- 5,0 cm MASSIVHOLZ
- DAMPFSPERRE LUFTDICHT VERKLEBT
- 1,8 cm OSB - PLATTE
- 0,4 cm VARIOTEC PUR-MASSIVPLATTE
- 0,06 cm ALUMINIUMPLATTE
- 4,0 cm VIP - DÄMPANEEL
- 0,06 cm ALUMINIUMPLATTE
- 0,4 cm VARIOTEC PUR-MASSIVPLATTE
- 1,8 cm OSB - PLATTE - STÖSSE VERKLEBT
- 3,8 cm HINTERLÜFTUNGSEBENE
- 1,5 cm FASERZEMENTPLATTE GESCHRAUBT

ABKLEBUNG LUFTDICHT
 SAUMBLECH

INSEKTENSCHUTZGITTER
 MONTAGEWINKEL

ABDECKLEISTE
 KLEBEBAND
 KOMPRIBAND
 RIEGEL
 DECKLEISTE
 (MECH. SICHERUNG DER
 DAMPFSPERRE)

- 6,0 cm KIES
- 0,5 cm PE-ABDICHTUNGSBAHN
- 30,0 cm EPS W20(25)
- DAMPFSPERRE
- 18,0 cm BRETTSTAPELDECKE

PASSIVHAUSFENSTER FABR.: OPTIWIN
 TYP: DREIHOlz; Uf: 0,73
 Uw: 0,79 bei Ug = 0,7 W/m2K

ARBEITSTITEL
 GASSENBAUER WOLFGANG – DIPLOMARBEIT
 ENTWICKLUNG EINES DIMENSIONS- DÄMMUNGS- UND
 FERTIGUNGSTECHNISCH OPTIMIERTEN WANDSYSTEMS
 ZUM EINSATZ IM PASSIVHAUSBAU

MASSTAB:
1:2,5

PLANINHALT:
**FENSTERANSCHLUSS
 OHNE STURZ**
 VERTIKALSCHNITT

PLANNUMMER
11