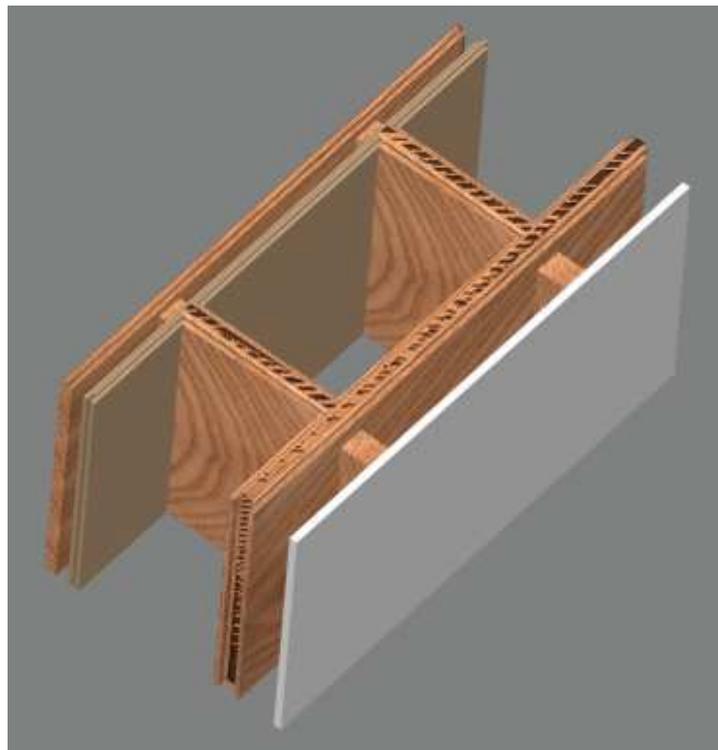


Fachschule für Holztechnik  
Heinrich-Hübsch-Schule  
Karlsruhe

## Technikerarbeit

# Entwicklung eines Baukastensystems mit tragenden, diffusionsoffenen Holzmodulen nach Passivhausstandard



Thomas Lorenz  
Rintheimer Str.2  
76131 Karlsruhe  
thomaslorenz@hotmail.com

Hiermit erkläre ich, die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine weiteren als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben.

.....

(Ort, Datum und Unterschrift)

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b> .....	<b>V</b>
<b>2</b>	<b>GRUNDGEDANKEN</b> .....	<b>VI</b>
2.1	GRÜNDE FÜR DEN BAU EINES HOLZHAUSES .....	VI
2.1.1	<i>Verschärfte EnEV – Richtlinien</i> .....	VI
2.1.2	<i>Holz als umweltfreundlicher Baustoff</i> .....	VII
2.2	MARKTANALYSE.....	VII
2.2.1	<i>Holzbauweise</i> .....	VII
2.2.2	<i>Selbst- und Ausbauweise</i> .....	VII
2.2.3	<i>Passivhausbauweise</i> .....	VIII
2.2.4	<i>Voraussichtliche Marktnachfrage</i> .....	VIII
<b>3</b>	<b>AUßENWÄNDE</b> .....	<b>IX</b>
3.1	GRUNDAUFBAU EINES AUßENWAND – MODULS .....	IX
3.2	MODULVARIANTEN .....	XI
3.3	ABSCHLÜSSE UND ABSPANNUNGEN DER GESAMTWAND .....	XIV
3.4	VERWENDETE MATERIALIEN.....	XVII
<b>4</b>	<b>INNENWÄNDE</b> .....	<b>XVIII</b>
4.1	GRUNDAUFBAU EINES INNENWAND – MODULS .....	XVIII
4.2	MODULVARIANTEN .....	XIX
4.3	SCHWELLEN .....	XIX
4.4	VERWENDETE MATERIALIEN.....	XIX
4.5	NICHTTRAGENDE INNENWÄNDE .....	XX
<b>5</b>	<b>VERARBEITUNG</b> .....	<b>XXI</b>
5.1	PRODUKTION .....	XXI
5.1.1	<i>Verschnittberechnung Elementzuschnitt</i> .....	XXI
5.2	MONTAGE .....	XXII
5.2.1	<i>Gewichtsberechnung</i> .....	XXIV
<b>6</b>	<b>BAUAUFSICHTLICHE ZULASSUNG</b> .....	<b>XXV</b>
6.1	ZULASSUNGSVERFAHREN .....	XXV
<b>7</b>	<b>STATIK</b> .....	<b>XXVII</b>
7.1	GESETZLICHE ANFORDERUNGEN.....	XXVIII
7.2	ÜBERSCHLAGSBERECHNUNG ZUR LASTABTRAGUNG AUF SCHWELLENPUNKT.....	XXIX
7.3	MERKMALE DES BAUKASTENSYSTEMS .....	XXXII
7.4	KÖNNEN DIE ANFORDERUNGEN ERFÜLLT WERDEN? .....	XXXV
<b>8</b>	<b>SCHALLSCHUTZ</b> .....	<b>XXXVI</b>
8.1	ANFORDERUNGEN.....	XXXVI
8.1.1	<i>Gesetzliche Anforderungen</i> .....	XXXVI
8.1.2	<i>Allgemeine Anforderungen</i> .....	XXXVII
8.2	NACHWEIS DER EIGNUNG DER BAUTEILE.....	XXXVII
<b>9</b>	<b>WÄRMESCHUTZ</b> .....	<b>XXXIX</b>
9.1	WAS IST EIN PASSIVHAUS? .....	XXXIX

9.2	U-WERT BERECHNUNG DES MODULS .....	XL I
9.3	WERDEN DIE ANFORDERUNGEN AN DEN WÄRMESCHUTZ ERFÜLLT? .....	XLVI
<b>10</b>	<b>FEUCHTESCHUTZ</b> .....	<b>XLVII</b>
10.1	BAUFEUCHTE .....	XLVII
10.2	NIEDERSCHLAGSWASSER .....	XLVII
10.3	TAUWASSERBILDUNG AUF BAUTEILOBERFLÄCHEN .....	XLVIII
10.4	DURCHFUCHTUNG EINES BAUTEIL MANGELS ABDICHTUNG .....	XLVIII
10.5	TAUWASSERBILDUNG IM INNEREN VON BAUTEILEN .....	L
10.5.1	<i>Verhinderung der Tauwasserbildung</i> .....	L
10.5.2	<i>Ermittlung des Tauwasserausfalls</i> .....	LII
10.6	MAßNAHMEN ZUM FEUCHTESCHUTZ.....	LV
<b>11</b>	<b>BRANDSCHUTZ</b> .....	<b>LVI</b>
11.1	GESETZLICHE ANFORDERUNGEN .....	LVI
11.2	KLASSIFIZIERUNG DER VERWENDETEN MATERIALIEN .....	LVI
11.3	PRÜFMETHODEN FÜR EINE HAUSWAND .....	LVII
11.4	KÖNNEN DIE ANFORDERUNGEN ERFÜLLT WERDEN? .....	LVII
<b>12</b>	<b>KOSTENBERECHUNGEN</b> .....	<b>LVIII</b>
12.1	KOSTEN PRO MODUL .....	LVIII
12.2	VERGLEICHE MIT HERKÖMMLICHER MASSIVBAUWEISE .....	LIX
<b>13</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG MIT AUSBLICK</b> .....	<b>LXI</b>
<b>14</b>	<b>QUELLENNACHWEISE</b> .....	<b>LXII</b>
<b>15</b>	<b>ZEICHNUNGEN</b> .....	<b>LXIII</b>
15.1	STANDARDMODUL AUßENWAND:.....	LXIII
15.2	STANDARDMODUL INNENWAND:.....	LXIII
15.3	SCHWELLEN .....	LXIV
15.4	VERTIKALSCHNITT DACHANSCHLUSS .....	LXV
15.5	VERTIKALSCHNITT DECKENANSCHLUSS.....	LXVI
15.6	VERTIKALSCHNITT BODENANSCHLUSS .....	LXVII
15.7	INNENWANDANSCHLUSS .....	LXVIII
15.8	FENSTERANSCHLUSS HORIZONTAL .....	LXIX
<b>16</b>	<b>ANLAGEN</b> .....	<b>A 1</b>

## Abbildungsverzeichnis

ABB. 1 ENTWICKLUNG DES WÄRMESCHUTZES VERSCHIEDENER BAUWEISEN .....	VI
ABB. 2 STANDARDMODUL EINER AUßENWAND.....	IX
ABB. 3 STANDARDMODUL, L x H 800 x 395.....	XII
ABB. 4 HALBMODUL, L x H 400 x 395.....	XII
ABB. 5 ECKMODUL BESTEHEND AUS ZWEI SONDER-MODULEN.....	XII
ABB. 6 KURZE ECKVARIANTE MIT FEDER-AUSBILDUNG AM LINKEN TEIL .....	XIII
ABB. 7 LANGE ECKVARIANTE MIT FEDER-AUSBILDUNG AM RECHTEN TEIL .....	XIII
ABB. 8 EINTEILUNG DER STEGE BEI SONDERMODULEN .....	XIV
ABB. 9 RICHTSCHWELLE ERD-/ OBERGESCHOSS .....	XV
ABB. 10 ECKVERBINDUNG VON SCHWELLEN .....	XVI
ABB. 11 ABSPANNUNGSPLATTE .....	XVI
ABB. 12 STANDARDMODUL EINER TRAGENDEN INNENWAND .....	XVIII
ABB. 13 VERSCHNITTPLAN EINER 3-SCHICHTPLATTE FÜR STANDARDELEMENTE .....	XXII
ABB. 14 MODELL DER ÜBERSCHLAGSBERECHNUNG .....	XXIX
ABB. 15 TRAGENDE EBENE EINES MODULS .....	XXXIII
ABB. 16 AUFLAGEFLÄCHE DER FEDER.....	XXXIII
ABB. 17 STATISCHE BEANSPRUCHUNG DES MODULVERBUNDS .....	XXXIV
ABB. 18 AUSSTEIFUNG DURCH SCHWELLEN UND RÄHME .....	XXXIV
ABB. 19 HÄLFTIGER VERSATZ VON SCHWELLEN UND RÄHMEN .....	XXXV
ABB. 20 SCHEMA EINES PRÜFSTANDES.....	XXXVIII
ABB. 21 DRAUFSICHT EINES MODULS .....	XLII
ABB. 22 LUFTSTRÖMUNG AUFGRUND VON KONVEKTION DURCH FUGEN .....	XLVIII
ABB. 23 FUGENDICHTBAND IN NUT .....	XLIX
ABB. 24 GLASER-VERFAHREN MIT DARSTELLUNG ENTSPRECHEND DER SCHICHTDICKE .....	LIII
ABB. 25 GLASER-VERFAHREN MIT DARSTELLUNG ENTSPRECHEND DER ÄQUIVALENTEN LUFTSCHICHTDICKE.....	LIV

## Tabellenverzeichnis

TAB. 1 BERECHNUNG DER EIGENLAST.....	<b>FEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT.</b>
TAB. 2 ENTWICKLUNG DES WÄRMESCHUTZES VOM ALTBAU ZUM PASSIVHAUS .....	XLI
TAB. 3 BERECHNUNG DES WÄRMEDURCHLASSWIDERSTANDES NACH DIN 4108.....	XLII
TAB. 4 EINTEILUNG, BENENNUNG UND KENNZEICHNUNG VON BAUSTOFFEN .....	LVI
TAB. 5 BAUSTOFFKLASSEN DER VERWENDETEN MATERIALIEN.....	LVI

## 1 Einleitung

"Schaffe, schaffe, **Häusle** baue ..."

"Mein **Haus**, mein Boot, mein Auto ..."

"Ein Mann pflanzt einen Baum, baut ein **Haus** und zeugt einen Sohn"

Drei Sprüche, drei Weisheiten über die Bedeutung eines Hauses im Leben eines Menschen. Ein Haus zu bauen oder bauen zu wollen, ist eine der wenigen Gemeinsamkeiten im Leben der meisten Menschen. Für viele bedeutet dies ein Lebenswerk und für Selbstbauer auch ein Stück weit Selbstverwirklichung abgesehen von den finanziellen Aspekten.

Gerade der **Selbstbau** eines Hauses oder Teile davon in Form eines **Ausbauhauses** wurden in den letzten Jahren und werden in der Zukunft immer öfter von Bauherren selbst realisiert werden. Viele Hersteller haben diesen Trend erkannt, aber nur einige Hersteller bieten hierzu entsprechende Systeme und Lösungen an. Die Angst um schrumpfende Marktanteile der Anbieter ist ganz einfach zu groß, aber andererseits lässt sich diese Entwicklung nicht mehr ausbremsen. Durch die Geiz-Ist-Geil-Mentalität und weniger finanzielle Ansparungen vieler Bauherren sind kostengünstige Lösungen gefragt. Sind diese nicht gegeben, wird notfalls auf Schwarzarbeit ausgewichen.

Somit sollte man sich als Hersteller nicht Gedanken um schrumpfende Marktanteile machen, sondern eher darum, wie der Anteil an Schwarzarbeit zu einem Anteil am produzierenden Markt werden kann.

Ein Hausbau ist aber nicht nur eine finanzielle Frage oder eine Frage des Erbauers, sondern heutzutage auch verstärkt eine Frage der Energie. Energie wird benötigt für die Herstellung und die Montage eines Hauses, aber vor allem auch bei der Nutzung eines Gebäudes. Gerade die Nutzungsenergie wird immer mehr durch gesetzliche Höchstsätze vermindert, um Energieressourcen und die Umwelt nachhaltig zu schonen. Energie kostet Geld, und über die langjährige Nutzungsdauer eines Hauses machen sich selbst kleinste Energieunterschiede leicht bemerkbar.

Ein sinnvoller und effizienter Einsatz von verschiedensten Energieformen bei einem Haus ist gefragt. Deshalb werden energiesparende Systeme immer wichtiger, wenn nicht sogar in naher Zukunft Stand der Technik sein. Der **Passivhausstandard** ist hierbei der Standard, der die Forderung nach energiesparendem Bauen schon heute erfüllt.

Neben dem energiesparenden Bauen wünschen Bauherren wieder verstärkt ökologische Bauweisen. Was zum Teil noch mit Vorurteilen belegt wird, aber in seinen Vorteilen immer mehr erkannt wird, ist der **Holzhausbau**. Wo früher Holz als Baustoff von vielen Menschen eher skeptisch beäugt wurde, wächst mittlerweile das Bewusstsein um den sinnvollen Einsatz dieses nachhaltigen Materials. Begünstigt wird dieses wachsende Bewusstsein durch die vermehrte Marktpräsenz technisch fortschrittlicher und günstiger Systeme basierend auf dem Einsatz von Holz oder Holzwerkstoffen. Auch das Wissen um den gesteigerten Wohnkomfort durch ein angenehmes Raumklima bringt viele Bauherren dazu, sich für ein Holzhaus zu entscheiden.

Bisher gibt es auf dem Hausbau-Markt noch kein System, welches alle diese Anforderungen beinhaltet. Ein Holzhaus nach Passivhausstandard, dessen Rohbau in Selbstbauweise errichtet werden kann, wäre die logische Konsequenz der heutigen marktgegebenen Forderungen. Aufgabe dieser Technikerarbeit wird es nun sein, solch ein System zu entwickeln.

## 2 Grundgedanken

### 2.1 Gründe für den Bau eines Holzhauses

#### 2.1.1 Verschärfte EnEV – Richtlinien

Wie eingehend erwähnt, wird auf eine beim Bau und der Nutzung energiesparende Bauweise immer mehr Wert gelegt. Gesetzlich ist dies durch die 2001 in Kraft getretene Energieeinsparverordnung, kurz EnEV, berücksichtigt. Diese Verordnung hat die zuvor bestehende Wärmeschutzverordnung von 1995 abgelöst und die Anforderungen an energiesparendes Bauen nochmals wesentlich verschärft.

Diesen gesetzlichen Forderungen kann nur Folge geleistet werden, wenn beim Bau eines Hauses eine entsprechende Wärmedämmung eingebaut wird. Bei Massivhäusern ergeben sich hohe Wärmedämmungen nur durch den Einbau einer Dämmung flächig auf der massiven Wand, was je nach gewünschter Wärmedämmung zu enormen Wandstärken führen kann. Bei Holzhäusern ist es jedoch möglich, eine Dämmung zwischen Sparren oder Stegen einzubauen, was deutlich geringere Wandstärken ermöglicht. Somit ist die Holzbauweise gegenüber den meisten herkömmlichen Bauweisen für die Erfüllung der EnEV prädestiniert.

Dies veranschaulicht auch Abb. 1, in dem die U-Wert-Entwicklung von Holzbauten mit herkömmlichen Bauweisen verglichen wird. Die bei Neubauten erreichten U-Werte (Erklärung siehe Kapitel 9.2) lagen beim Holzbau schon immer in einem wesentlich niedrigeren und damit günstigeren Bereich als bei anderen Bauweisen.

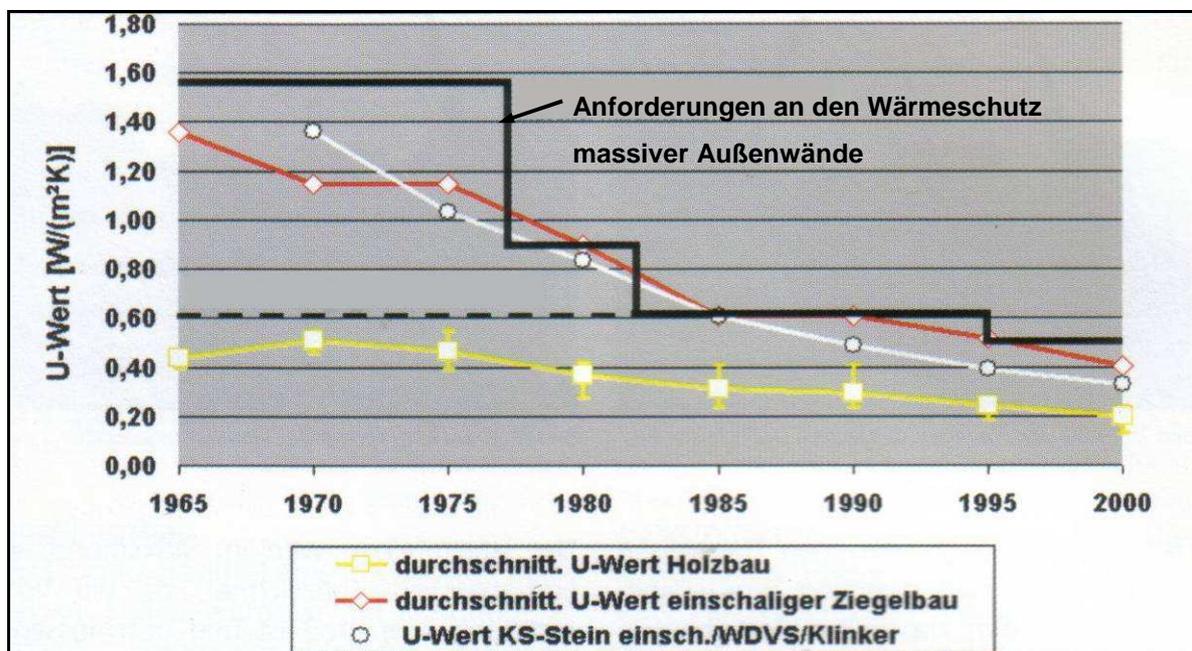


Abb. 1 Entwicklung des Wärmeschutzes verschiedener Bauweisen [1]

## **2.1.2 Holz als umweltfreundlicher Baustoff**

Weit verbreitete Vorurteile zu Holz als Baustoff sind, dass Holzkonstruktionen laut und zugig seien, schnell verwittern und leicht brennbar sind. Unsolide und wenig haltbar sollen Holzbauten sein, wenn es nach den Aussagen der Massivhausbauer geht [2].

Jedoch genügen oder übertreffen alle aktuellen Holzhäuser die Anforderungen des Wärme-, Feuchte-, Brand- und Schallschutzes. Holzhäuser sind heute ebenso hochwertig wie Massivbauten, wenn nicht sogar langlebiger als diese. Als Baustoff bietet Holz heute fast unbegrenzte konstruktive Möglichkeiten und bei konstruktiv richtigem Einsatz auch einen wirksamen Schutz gegen Witterungseinflüsse und Brände.

Auch lässt sich mit Holz wesentlich rationeller und schneller bauen. Ein Großteil der heute gebauten Fertighäuser wird z.B. im Holzrahmenbau errichtet mit wesentlich geringeren Montagezeiten wie bei Massivhäusern. Ein weiterer Vorteil der Fertigbauweise mit Holz ist der Einbau ausschließlich technisch vorgetrockneter Hölzer und damit eine Vermeidung langer Trocknungsphasen des Rohbaus. Dies bringt eine schnelle Bezugsfertigkeit des Hauses mit sich, was für Bauherren heutzutage ein entscheidendes Kriterium bei der Auswahl eines Hausbau-Systems sein kann.

Viele Bauherren legen auch immer mehr Wert auf schadstoffarmes Wohnen und setzen deshalb auf den Einsatz von ökologischen Baustoffen wie Holz in Verbindung mit ökologischen Dämmstoffen wie z.B. Zellulose.

Bei ab 1985 erstellten Holzhäusern kann eine Nutzungsdauer von 80-100 Jahren angenommen werden [3].

## **2.2 Marktanalyse**

### **2.2.1 Holzbauweise**

Seit 1995 ist der Anteil von Holzhäusern bei Ein- und Zweifamilienhäusern von 7,5 % im Jahr 2002 auf 13 % im Jahr 2004 gestiegen. In Baden-Württemberg liegt er mit 20 % sogar noch deutlich höher [4,5].

### **2.2.2 Selbst- und Ausbauweise**

Der Selbstbauanteil bei Ausbau und Modernisierungen lag im Jahr 2004 bei geschätzten über 50%.

Der Marktanteil des Selbst- und Ausbaus bei Einfamilienhäusern ist bis 2004 auf über 35% angewachsen [6].

Daraus wird ersichtlich dass bei Neubauten ein großes Interesse an Selbstbau- oder Ausbau- Häusern besteht. Dieses Interesse wird aufgrund der finanziellen Ansprüche der Bauherren weiter steigen.

### **2.2.3 Passivhausbauweise**

Die Technik der Passivhausbauweise ist noch jung. Bis zum Jahr 1997 wurden in Deutschland gerade einmal 31 Passivhäuser gebaut, 1998 waren es bereits 79 Gebäude [7]. Bis zum Jahr 2004 stieg die Zahl der gebauten Passivhäuser auf ca. 3000 an und wird in Zukunft weiter überproportional ansteigen aufgrund der EnEV, der Entwicklung neuer Techniken und dem gesteigerten Umweltbewusstsein der Bauherren.

### **2.2.4 Voraussichtliche Marktnachfrage**

Durch die aufgezeigten positiven Entwicklungen in Holz- / Selbst- und Passivhaus-Bauweise trotz insgesamt stagnierender Zahlen in der Bauwirtschaft ist eine große Marktnachfrage zu erwarten.

### 3 Außenwände

#### 3.1 Grundaufbau eines Außenwand – Moduls

Um ein Haus als Bauherr selbst bauen zu können, müssen handliche Formate entwickelt werden. Hierzu ist ein **Baukastensystem** am besten geeignet.

Ein Baukastensystem beschreibt eine Methode, Objekte aus vereinheitlichten, aufeinander abgestimmten kleineren Einzelteilen, bezeichnet als Elemente oder Module, herzustellen.

Ein **Modul** (modulus, lat.) ist hierbei eine sich aus mehreren Elementen zusammensetzende Einheit innerhalb eines Gesamtsystems, welche jederzeit ausgetauscht werden kann.

Ein **Element** ist der kleinste Teil eines Systems und im bautechnischen Sinn ein vorgefertigtes Produkt oder ein Werkstoff, der nochmals bearbeitet werden muss, bevor er zum Modul oder Bauteil zusammengefügt wird [8].

Nachfolgende Abbildung zeigt das nach vielfältigen Ansprüchen entwickelte Standardmodul für eine Außenwand auf.

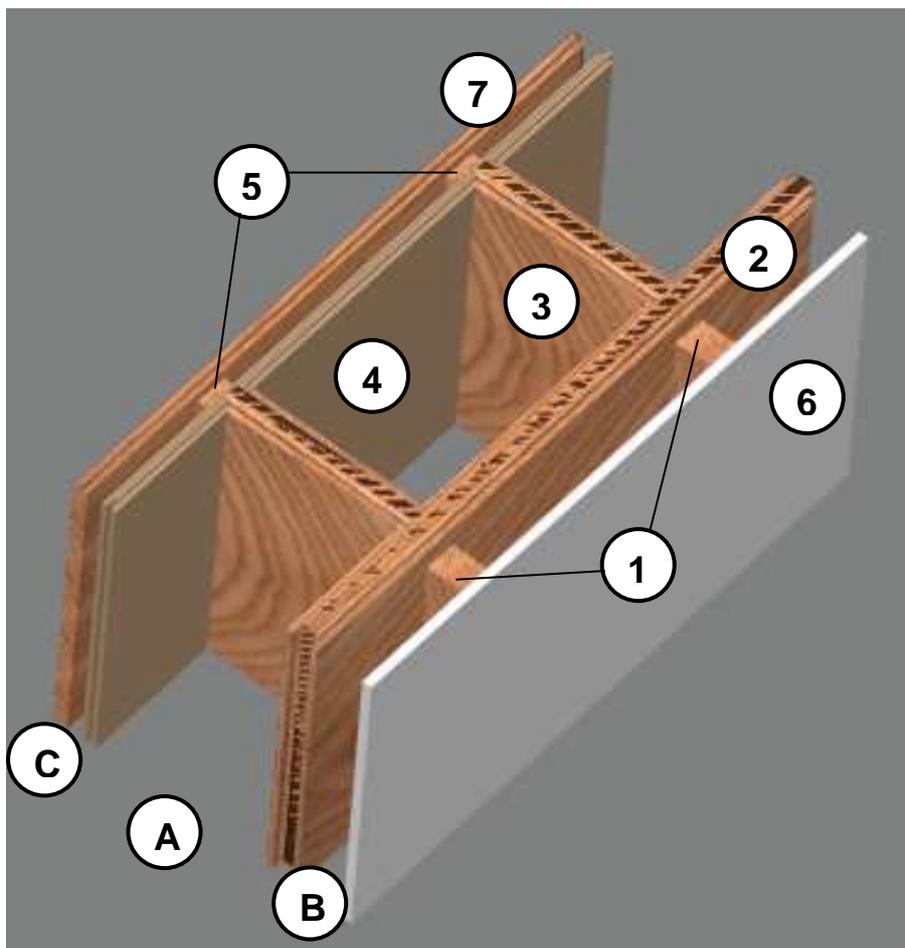


Abb. 2 Standardmodul einer Außenwand

Dieses Modul hat eine Standardgröße in den Außenmaßen von 810 x 405 mm. Es besteht aus folgenden Ebenen:

- A. Gefachbereich, zugleich auch Dämmebene, 229 mm tief
- B. Installationsebene, 40 mm tief
- C. Lüftungsebene, 19 mm tief

Die einzelnen Ebenen setzen sich hierbei zusammen aus folgenden Elementen:

1. 2 Kanthölzer aus Tanne/Fichte-Vollholz  
zwischenliegend Zellulose-Dämmmatten
2. 3-Schichtplatte mit vertikaler Mittellage
3. 2 Stege in Form von 3-Schichtplatten mit vertikaler Mittellage  
zwischenliegend Dämm-Material Isofloc, eingeblasen
4. Diffusionsoffene Holz-Faserplatte
5. Lattung bestehend aus 2 Latten aus Tanne/Fichte-Vollholz  
zwischenliegend hinterlüftet
6. Rigipsplatte, 12,5 mm
7. Außenfassade, hier eine waagrechte Verschalung aus Douglasie

Die unter den Punkten 6 und 7 genannten Materialien sind hier nur zur Veranschaulichung dargestellt, der produktionsanteilige Modulaufbau beinhaltet diese Materialien nicht. Die Rigipsplatte wird standardmäßig in Rohmaßen von 2500 x 625 mm auf der Baustelle mittels Rigipsschrauben an den Kanthölzern angebracht.

Auch ein Anbringen der Außenfassade bei der Produktion des Moduls wäre nicht sinnvoll, da sich das Montagegewicht zu Ungunsten der einfachen Handhabung erhöhen würde. Was die Winddichtigkeit und die Schlagregendichtheit angeht, ist es auch konstruktiv besser, die Fugen der Außenfassade horizontal und vertikal gegenüber den Stößen des Moduls zu versetzen. Würden die Fugen von Außenfassade und Modul direkt hintereinander angebracht, würde unter Umständen ein zu geringerer Schutz gegen einströmende Luft und mit ihr verbundene Feuchtigkeit vorhanden sein (näheres siehe Kapitel 10.4).

### **A. Gefachbereich**

Die einzelnen Module werden so gefertigt, dass sie bei der Montage ohne Verbindungsmittel zusammengesetzt werden können. Dies wird durch das Anbringen von Nut- und Federverbindungen realisiert.

Diese Verbindungen werden an den Stirnkanten der Elemente 2,3 und 4 (siehe Abb. 2) umlaufend angefräst. Es liegen hierbei an einem Element in der Regel jeweils eine Nutfräsung und eine überstehende Feder gegenüber. Diese Art der Verbindung dient zum einen der form- und teilweise kraftschlüssigen Verbindung der einzelnen Module, zum anderen aber auch dem Verbund der einzelnen Elemente zum Modul. Hierzu werden die senkrechten Stirnseiten der Stege (Abb. 2, 3.) als Feder ausgebildet, die in die jeweils 2 flächig eingefrästen Nuten der Elemente 2 und 4 (Abb. 2) eingefügt werden und durch Verschraubung von außen dauerhaft und exakt verbunden werden.

### **B. Installationsebene**

Die Befestigung der Kanthölzer der Installationsebene erfolgt durch Verschraubung mit dem Element 2. Hierbei werden die Kanthölzer in der Höhe unten bündig mit dem Modul

verschraubt. Dies ergibt zusammen mit einer Minderhöhe von 30 mm gegenüber der Höhe des Elements 2 (ohne Feder) eine horizontal über alle Module hinweglaufende Fuge, die für die Aufnahme von Installationsleitungen genutzt werden kann.

Die Installationsebene wurde 40 mm tief ausgebildet, um eine Montage von Strom-, Gas- und Wasserleitungen zu ermöglichen. Bis vor wenigen Jahren waren Installationsebenen von 60 mm Tiefe üblich, jedoch sind die Aufbauten speziell von Wanddosen für Elektro-Installationen auf bis zu 35 mm Tiefe reduziert worden durch neue Schalterprogramme. Somit ist bei Anbringung einer Hohlwanddose auf einer 12,5 mm starken Rigipsplatte ausreichender Spielraum von 17,5 mm für stärker auftragende Installationen gegeben. Die Installationsebene wurde in diesem Baukastensystem vorgesehen, um eine schnelle Montage aller erforderlichen Leitungen vornehmen zu können. Die Wandaufbauten mit ihren Modulen können ohne Rücksicht auf unterzubringende Installationen schnell montiert werden. Eine Montage der Wandaufbauten mit gleichzeitiger Einbringung von Installationen würde dem Konzept des Selbst- bzw. Ausbauhauses entgegenstehen, da bei der Montage gleichzeitig Installationen von Fachkräften durchzuführen wären. Einzig Abwasserleitungen mit großem Durchmesser müssen in den Wandaufbau eingeplant werden. Hierzu ist aber eine problemlose Anbringung zwischen den Stegen der Module möglich, lediglich die Schwellen bzw. Rähme (siehe Kapitel 3.3) müssen an den vertikalen Durchdringungen der Installation unterbrochen bzw. ausgefräst werden.

### **C. Lüftungsebene**

Die Befestigung der Lattung in der Lüftungsebene erfolgt wie bei den Kanthölzern durch Schrauben. Auch hier werden gegenüber dem Modul in der Höhe um 10 mm verkürzte Latten eingesetzt. Hier liegt der Sinn in der so entstehenden Querlüftung zusätzlich zur vertikalen Lüftung.

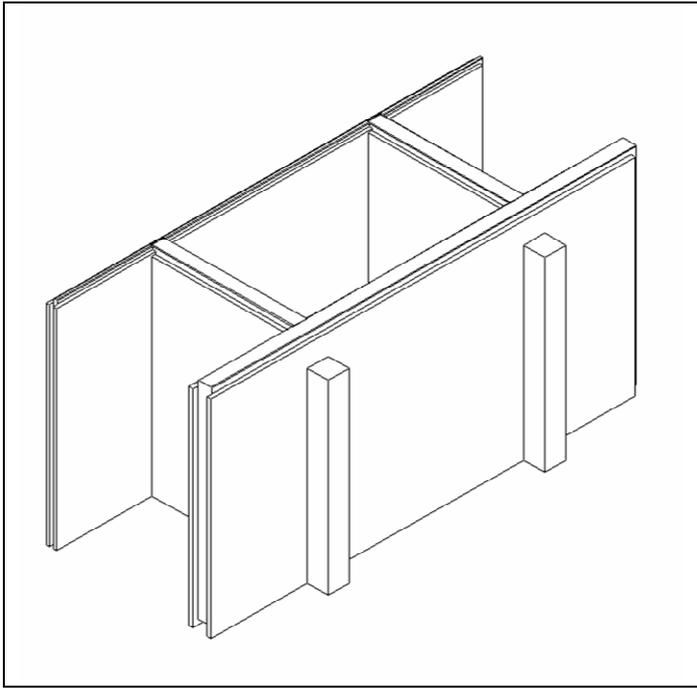
Um eine vertikale Lüftung sicherzustellen, müssen die obersten und untersten Module eines Hauses einen bestimmten Mindest-Lüftungsquerschnitt besitzen. Bei einer hier auftretenden vertikalen Luftschicht ist eine stark belüftete Lüftungsebene (der Gegensatz zu einer geschlossenen Lüftungsebene mit stehender Luftschicht) ab einem Öffnungsquerschnitt von 15 cm<sup>2</sup> je m Länge gegeben [9].

Die Rechnung  $((18 \times 1,9 \text{ cm} \times 2) + (36 \times 1,9 \text{ cm})) / 0,8 = 171 \text{ cm}^2$  ergibt eine sehr stark belüftete Luftschicht, was sich günstig auf den Feuchteabtransport auswirkt, jedoch nicht in die wärmeschutztechnischen Berechnungen eingeht.

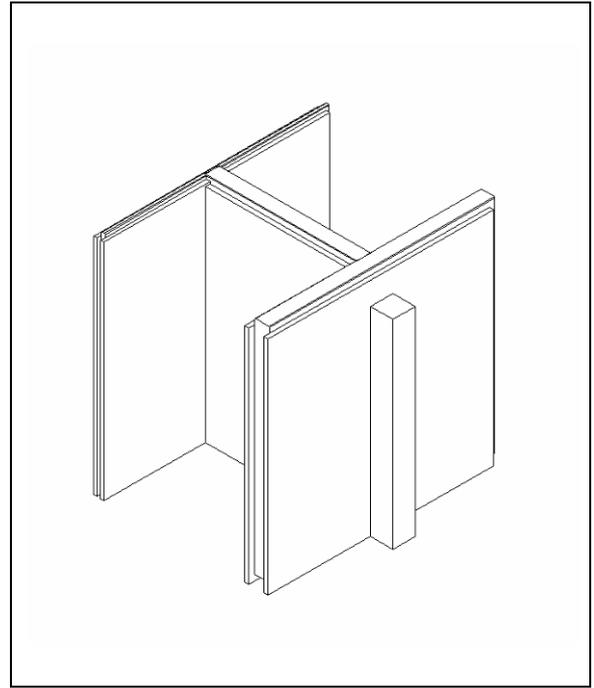
## **3.2 Modulvarianten**

Alle verwendeten Module sind auf einem 20er Raster aufgebaut. Der Achsabstand zweier Stege beträgt immer 2 Raster, also 40 cm.

Ähnlich dem Massivbau mit Steinen ist es notwendig, beim Ansatz einer neuen Modulreihe ein Halbmodul zu verwenden. Durch den hälftigen horizontalen Versatz entsteht ein statischer Verbund und es ist keine durchlaufende Fuge vorhanden.

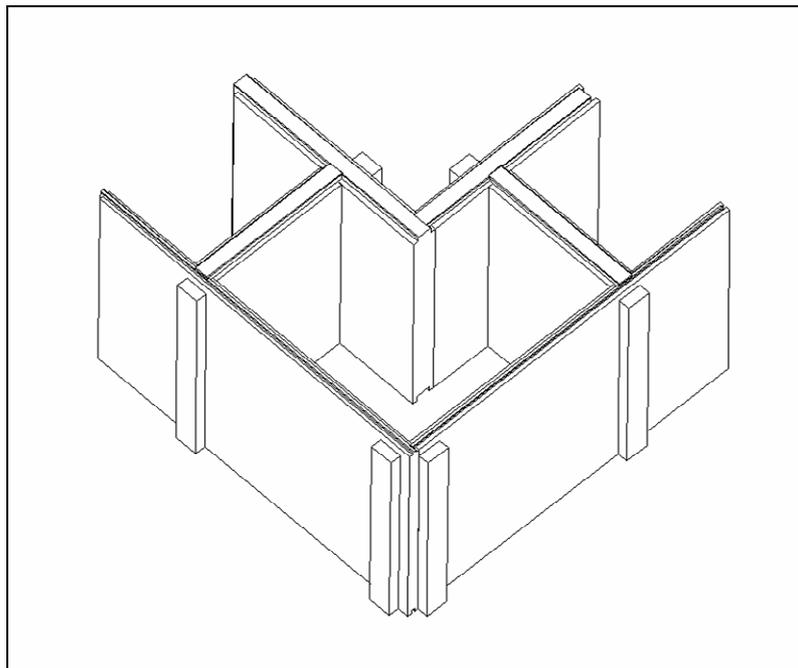


**Abb. 3 Standardmodul, L x H 800 x 395**



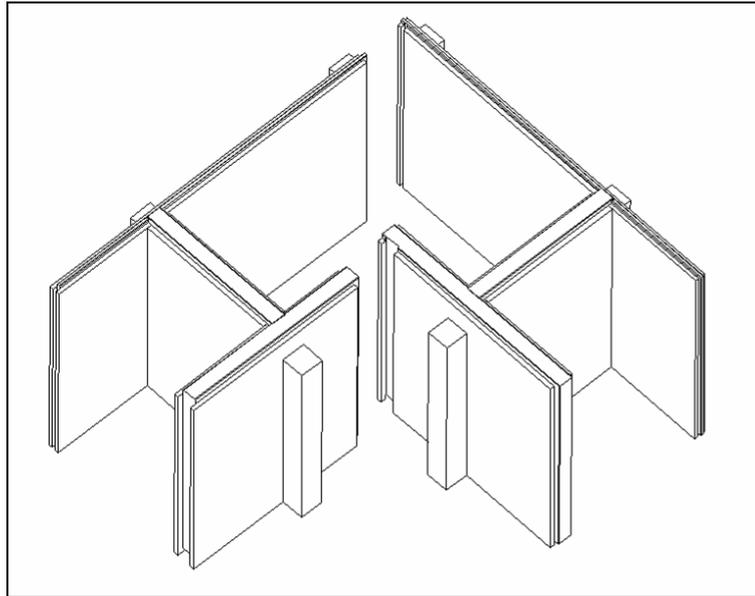
**Abb. 4 Halbmodul, L x H 400 x 395**

Ein detaillierter Aufbau mit einzelnen Maßen ist in Kapitel 15.1 dargestellt.

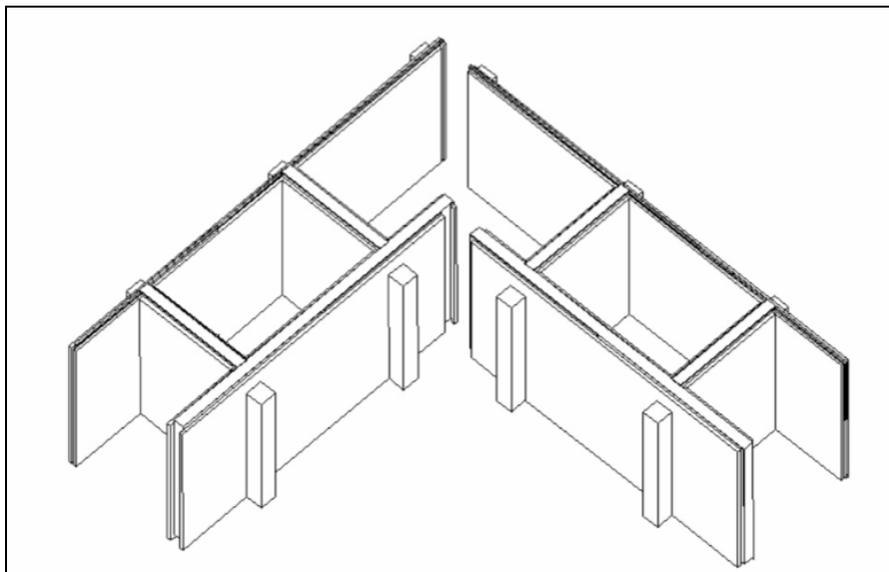


**Abb. 5 Eckmodul bestehend aus zwei Sonder-Modulen**

Die Eckmodule bestehen aus zwei Teilen, welche nicht wie die Standardmodule stirnseitig zusammengefügt werden, sondern im Winkel von 90°. Sie sind als zwei Varianten konzipiert, welche sich von Modul-Reihe zu Modul-Reihe abwechseln. Die erste Reihe wird z.B. mit dem Eckmodul aus Abb. 6 gelegt, anschließend die nächste Reihe mit Eckmodulen aus Abb. 7.



**Abb. 6 kurze Eckvariante mit Feder-Ausbildung am linken Teil**



**Abb. 7 lange Eckvariante mit Feder-Ausbildung am rechten Teil**

Durch die unterschiedliche und abwechselnde Nut- und Federausbildung entsteht schon ab einer Anzahl von zwei Modul-Reihen eine stabile Eckverzahnung ohne sonstige Verbindungsmittel. Lediglich im äußeren Eckbereich ist es notwendig, von innen ein Kantholz anzubringen, welches von außen verschraubt wird. Diese Maßnahme wird nötig da der Eckbereich eines Hauses trotz vorhandener Außenverschalung immer einen gefährdeten Bereich darstellt. Da eine Hausecke eine geometrische Wärmebrücke darstellt, ist es notwendig, in diesem Bereich besonders auf Fugendichtigkeit zu achten, damit hier nicht überproportional zu anderen Wandflächen Wärme abwandern oder Feuchtigkeit eindringen kann.

Die Anbringung des Kantholzes ist aus Kapitel 15.1 ersichtlich. Als Kantholz wird das Material Parallam mit einem Querschnitt von 80 x 80 mm eingesetzt. Zwischen Schwelle und Kantholz ist vertikal ein Abstand von 70 mm vorzusehen. Da das Kantholz keine tragende Funktion besitzt, ist es möglich diesen Abstand vorzusehen, um vertikale

Größenveränderungen der gesamten Wand durch Arbeiten der Holzkonstruktion aufzufangen. Der Abstand von 70 mm wurde so groß gewählt, um ein Luftloch beim Befüllen der Wandkonstruktion mit Isofloc-Dämmstoff zu vermeiden. Die Befestigung des Kantholzes erfolgt durch das Einbringen von rostfreien Schrauben von außen durch das DHF-Element. Hierbei ist eine vertikal zwei-fache Verschraubung pro Element notwendig, also vier Schrauben pro Eckmodul.

Zusätzlich zum Standardmodul und Halbmodul ist es in einigen Fällen nötig, Module individueller Länge in das Baukastensystem zu integrieren. Dies ist der Fall, wenn z.B. bei einem Anbau an ein bestehendes Gebäude nicht das 20er Raster vorhanden ist. Standardmäßig ist eine Abweichung von der Standardbreite beim Überbau von Türen notwendig. Da zum Teil für Haustüren und vor allem für Zimmertüren (dies betrifft Innenwände, siehe Kapitel 4) feste Normmaße (erforderliche Einbaumaße von 63,5/ 76,5/ 88,5/ 101 cm) bestehen, können hier keine Standardmodule verwendet werden. Es ist auch statisch vorteilhaft, mit einem kompletten Element eine Tür zu überspannen, um eine Durchbiegung durch evtl. auflagernde Deckenteile zu vermindern. So sind in diesen Fällen Module vorgesehen, die in ihrer Breite und Höhe immer gleich aber in ihrer Länge individuell gefertigt werden. Gerade beim Überbau von Türen ist bei der Festlegung der Modullänge darauf zu achten, dass mindestens die zwei äußeren Stege des Moduls im Raster gefertigt werden und somit in die links und rechts angrenzenden Module „greifen“ können. Somit wird dieses Modul zum aussteifenden Verbindungselement für die Wandteile links und rechts der Türöffnung. Neben den zwei äußeren Stegen ist eine weitere Einteilung der inneren Stege gleichmäßig verteilt vorgesehen, d.h. die Abstände  $x$  (siehe Abb. 8) sind gleich zu wählen. Die Abstände sind hier lediglich nach statischen Gesichtspunkten im Einzelfall festzulegen. Da es sich bei diesen Sondermodulen immer um Module der obersten Wandreihe handelt, muss auf keinen Anschluss zu anderen Stegen aufliegender Module geachtet werden.

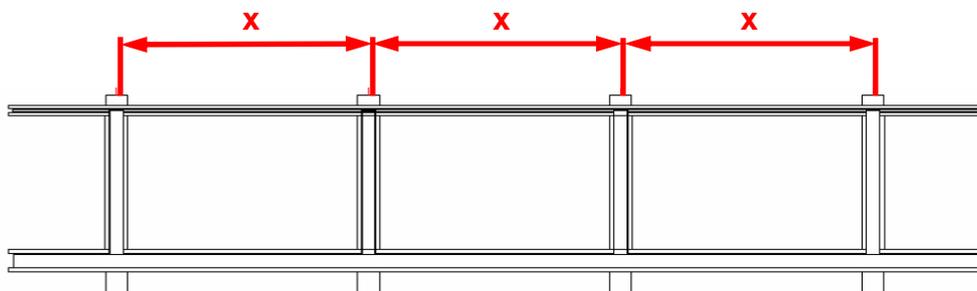


Abb. 8 Einteilung der Stege bei Sondermodulen

### 3.3 Abschlüsse und Abspannungen der Gesamtwand

Neben den Modulen beinhaltet dieses Baukastensystem Abschlüsse, die an die Modulreihen anschließen. Hierzu wird der Montage folgend zuerst eine Richtschwelle (siehe Abb. 9) benötigt, auf welcher später das gesamte Haus auflagert. Diese Richtschwelle besteht aus dem Material Parallam, welches die enormen Kräfte am so genannten Fußpunkt aufnimmt (siehe Kapitel 7.2). Durch dem Modul entsprechende Federfräsungen bildet die Richtschwelle eine exakte Aufnahme für die erste Modulreihe und ergibt zugleich die Abdichtung für das einzublasende Isofloc.

Eine **Schwelle** bezeichnet ein waagerechtes Holz als unterer Abschluss einer Wand oder einer Ständerreihe.

Ein **Rähm** ist ein waagerechtes oberes Abschlussholz einer Wand oder einer Ständerreihe. [10]

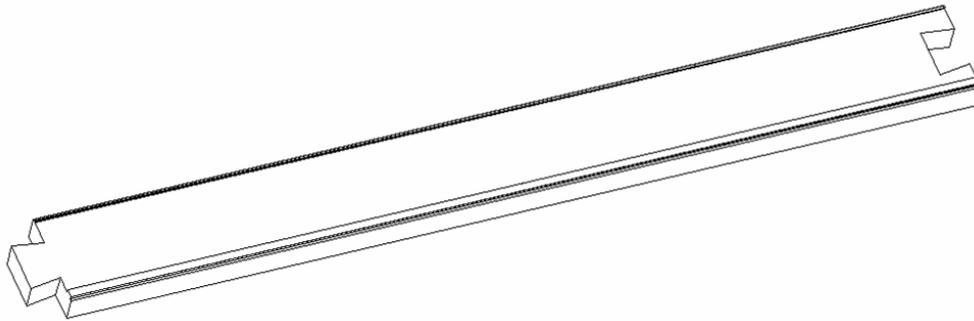


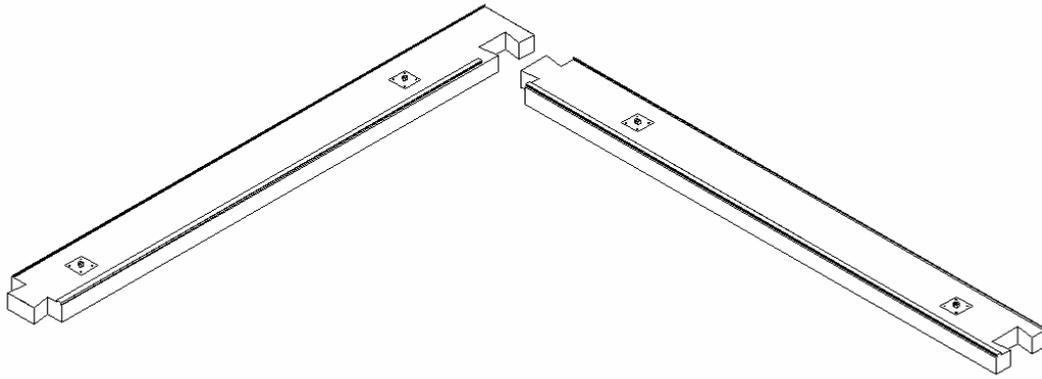
Abb. 9 Richtschwelle Erd-/ Obergeschoss

Als oberer Abschluss eines Geschosses werden Rähme benötigt. Diese Rähme besitzen im Gegensatz zu den Schwellen Nutfräsungen, um die Rähme passgenau auf den obersten Modulen einer Wand auflegen zu können. Sie steifen zum einen die Wand in Längsrichtung aus und andererseits bilden sie die Auflage für das nächst höhere Geschoss und zusammen mit der oberen Modulreihe die Aufnahme der Geschossdecke (siehe Kapitel 15.5).

Für das folgende Geschoss oder Dachgeschoss ist als Fußpunkt wieder eine Schwelle vorgesehen und als Abschluss ein Rähm, welcher bei einem Dachgeschoss gleichzeitig als Fußpfette für das aufliegende Dach dient (siehe Kapitel 15.4).

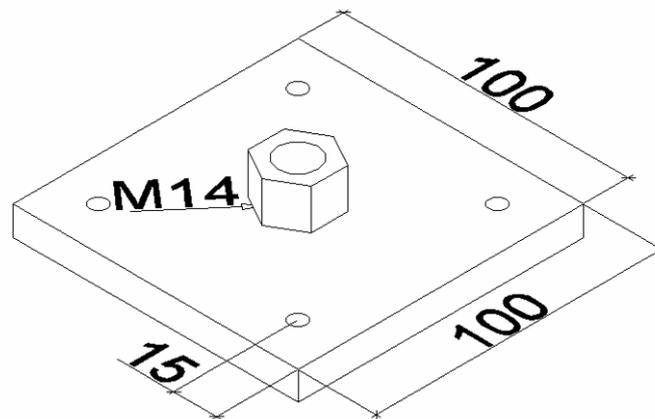
Alle Schwellen und Rähme besitzen eine Grundlänge von 3m. Diese Länge wurde zu Gunsten der Handlichkeit für den Selbstbauer zugrunde gelegt und wird durch kürzere Abschlussstücke entsprechend der Wandlänge ergänzt. Jedoch sollten hier im Einzelfall statische Überlegungen angestellt werden und die kürzeren Abschlussstücke nicht in statisch labileren Wandabschnitten eingesetzt werden.

Um eine größtmöglich form- und kraftschlüssige Verbindung zu erhalten, sind Rähme und Schwellen an ihren Enden mit so genannten Einzinkern (siehe Abb. 9/10) versehen. Abgesehen von der technisch relativ einfachen Herstellung der Verbindung auf einem CNC-Bearbeitungszentrum (siehe Kapitel 5.1) ist diese Art der Verbindung sehr passgenau und durch bloßes Zusammenstecken schnell auch von einem Laien durchzuführen. Was die Kraftschlüssigkeit angeht, so trägt diese Verbindung zu dem bereits angesprochenen statisch Längsverbund der Wand bei. Wie aus Abb. 9/10 ersichtlich ist, kann der Einzinker nicht nur zum Längsverbund der Schweller bzw. Rähme genutzt werden, sondern ist auch als Eckverbindung integriert.



**Abb. 10 Eckverbindung von Schwellen**

In Abb. 10 sind neben den Einzinkern auch Abspannungsplatten auf der Schwelle angedeutet. Diese Abspannungsplatten werden jeweils oberseitig der Rähme und unterseitig eingefräst an den Schwellen angebracht. Sie bestehen aus einer 10 mm starken Stahlplatte und einer Sicherheitsmutter, die nur bei der Anbringung an der Schwelle aufgeschweißt ist. Sie werden auf die Schwelle bzw. den Rähm aufgeschraubt und im Bereich der Mutter wird eine Bohrung durch das Parallam-Element angebracht (werkseitig).



**Abb. 11 Abspannungsplatte**

Bei der Montage einer Wand werden nun die Schwellen, die Module und die Rähme gesetzt. Um die Wand anschließend statisch abspannen zu können, sind nun die Abspannungsplatten nötig. Von oben wird durch die Wand eine Stahl-Gewindestange eingeführt und in die angeschweißte Mutter der Abspannungsplatte in der Schwelle eingedreht. Von oben wird eine Mutter auf die Abspannungsplatte des Rähms aufgedreht. Mit gleichzeitiger Einhaltung eines festgelegten Drehmomentes (Stärke des Anzugs) wird nun die gesamte Wand in der Höhe verspannt. Diese Art der Verspannung ist mindestens jeweils nach 2 Meter Wandlänge und bei Außenecken generell 85,4 cm von Außenkante der Schwelle vorgesehen. Optimal ist eine Anordnung der Abspannungen nach Möglichkeit an den Schwellen- bzw. Rähmenden, um eine zusätzliche Fixierung derer zu erreichen. Die Abspannung verfolgt den Zweck der Reduzierung des Quell- und Schwundverhaltens der einzelnen Modulelemente, der Vermeidung von Fugenbildung zwischen Modulen, der Verbindung der Schwellen und Rähme mit den Modulen, der Erreichung eines optimalen statischen Verbundes und einer hohen Knickfestigkeit der gesamten Wand.

### **3.4 Verwendete Materialien**

Als Material werden bei den Installationsebenen Kanthölzer aus Tanne-/ Fichte-Holz vorgesehen mit einem Querschnitt von 40/40 mm.

Für die tragenden 3-Schicht-Elemente (Elemente 2+3, Abb. 2) ist eine VHPstatic-Platte der Firma Haas Group vorgesehen. Ihre Stärke beträgt 42 mm bei einer Deckschichtdicke von 6,1 mm (siehe Anlage A1, A2).

Die Dämmung in der Gefachebene wird mit Isofloc-Dämmung der gleichnamigen Firma ausgeführt (siehe Anlage A6). Isofloc besteht aus reinem Tageszeitungspapier. Dieses wird im Schredder vorzerkleinert. Das Ergebnis der speziellen Behandlung in einer Feinmühle sind watteähnliche Zellulosefasern. Zur Brandhemmung und zum Schutz der Holzkonstruktionen vor Fäulnis und Ungeziefer werden nun so genannte Borate zugesetzt. Isofloc setzt sich insgesamt aus ca. 92% Zeitungspapier und 8% harmlosen und nicht verdunstenden Borsalzen zusammen.

## 4 Innenwände

### 4.1 Grundaufbau eines Innenwand – Moduls

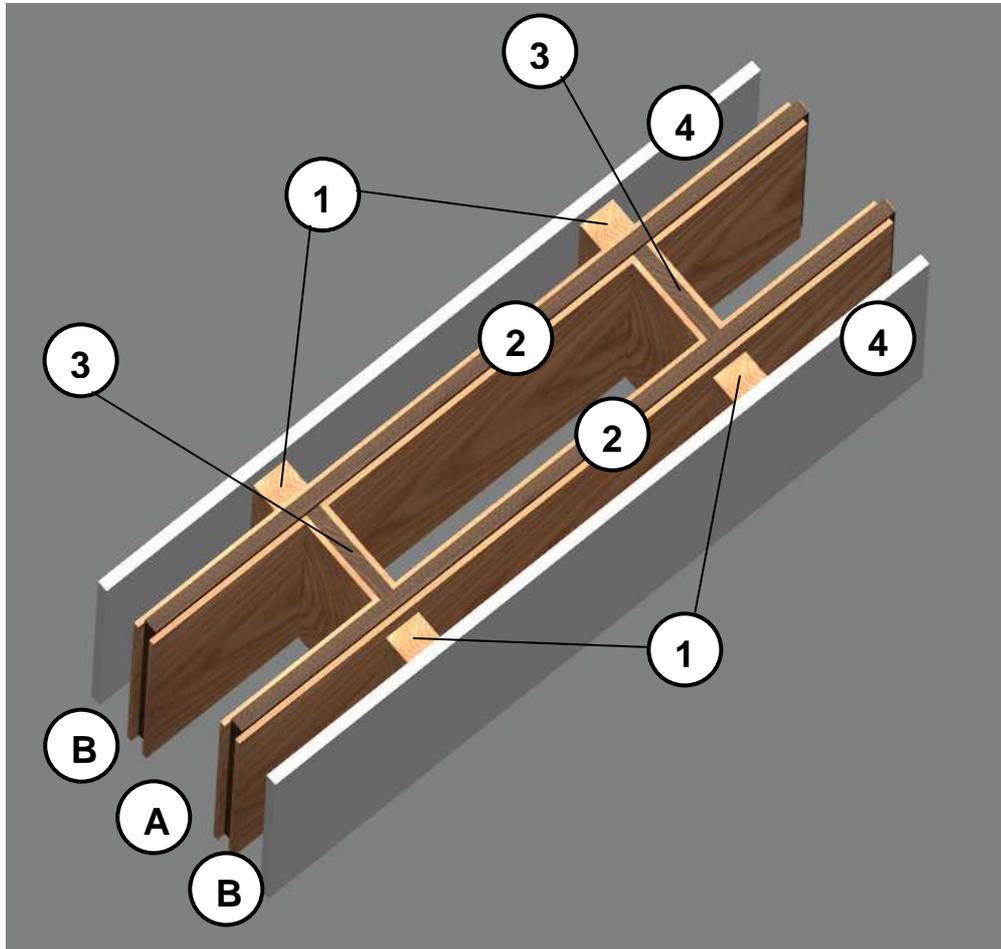


Abb. 12 Standardmodul einer tragenden Innenwand

Auch dieses Innenwand-Modul hat eine Standardgröße in den Außenmaßen von 810 x 405 mm. Es besteht aus folgenden Ebenen:

- A. Fachbereich, zugleich auch Dämmebene, 98 mm tief
- B. Installationsebene, 40 mm tief

Die einzelnen Ebenen setzen sich hierbei aus folgenden Elementen zusammen:

- 1. 2 Kanthölzer aus Tanne/Fichte-Vollholz  
zwischenliegend stehende Luft oder Dämm-Matten
- 2. 3-Schichtplatte mit vertikaler Mittellage
- 3. 2 Stege in Form von 3-Schichtplatten mit vertikaler Mittellage  
zwischenliegend Dämm-Material Isofloc, eingeblasen
- 4. Rigipsplatte, 12,5 mm

Die Beplankung aus Rigips dient lediglich zur Veranschaulichung, der produktionsanteilige Modulaufbau beinhaltet dieses Element nicht.

## **A. Gefachbereich**

Der Gefachbereich ist beim Innenwandmodul im Vergleich zur Außenwand nur 98 mm tief, um die Wanddicke möglichst klein zu halten. Das Gefach wird bei den Innenwandmodulen mit Dämmpellets ausgeschüttet, welche eine hohe Wärmespeicherfähigkeit besitzen und den Schallschutz zwischen den Räumen verbessern.

Ansonsten ist der Gefachbereich entsprechend dem Außenwandmodul ausgebildet.

## **B. Installationsebene**

Die tragenden Innenwandmodule besitzen im Gegensatz zu den Außenwandmodulen zwei Installationsebenen, um von beiden Seiten Installationen anbringen zu können. Diese zwei Installationsebenen sind auch notwendig, um Verletzungen der inneren Elemente (3-Schicht-Platten) zu vermeiden. Würden diese verletzt, könnten unter Umständen Dämmpellets austreten.

Auch hier werden die Kanthölzer an die 3-Schicht-Platten angeschraubt und sind wie beim Außenwandmodul ausgebildet. Allerdings ist es hier nicht zwingend nötig, die Zwischenräume zu dämmen, da auch durch Luftzwischenräume ein guter Schallschutz entstehen kann und der Wärmeschutz sich bei Innenwänden lediglich auf die Wärmespeicherfähigkeit beschränkt.

## **4.2 Modulvarianten**

Die Modulvarianten der Innenwände entsprechen komplett denen der Außenwände, um ein einheitliches Raster zu erreichen.

## **4.3 Schwellen**

Auch die Schwellen entsprechen denen der Außenwände mit den einzigen Unterschieden, dass die Breite sich entsprechend der Wandstärke auf 154 mm verringert und die Nut- und Federausbildung sich den Modulen anpasst.

## **4.4 Verwendete Materialien**

Als Material werden bei den Installationsebenen Kanthölzer aus Tanne-/ Fichte-Holz vorgesehen mit einem Querschnitt von 40/40 mm.

Für die tragenden 3-Schicht-Elemente (Elemente 2+3, Abb. 12) ist eine VHPstatic-Platte der Firma Haas Group vorgesehen. Ihre Stärke beträgt 28 mm bei einer Deckschichtdicke von 5,2 mm.

Die Schüttung in der Gefachebene wird mit Dämmpellets (Granulat) der Firma Thermofloc ausgeführt (siehe Anlage A13). Die Dämmpellets bestehen aus gemischtem Altpapier. Das Material wird im Schredder zerkleinert und anschließend wird ihm Wasser zugegeben. Das befeuchtete Rohmaterial wird zu ca. 5 mm langen Dämmpellets gepresst.

## **4.5 Nichttragende Innenwände**

Die zuvor beschriebenen Innenwandmodule sind nur für den Einsatz bei tragenden Wänden angedacht. Da es sich um ein Selbstbauhaus handelt, kann sich der Bauherr nach Rohbaufertigstellung die Art der zu installierenden Wand selbst aussuchen. Hierbei wird ist zu empfehlen, Wände einzubauen, die aus senkrechten C-Stahlblech-Profilen bestehen und beidseitig mit Rigips-Platten beplankt sind. Der Bauherr ist hier frei in der Wahl, es sollte lediglich darauf geachtet werden, ausreichend Wärmespeichervermögen und eine gute Schalldämmung zu erreichen.

## **5 Verarbeitung**

Um eine Wirtschaftlichkeit und Produzierbarkeit dieses Baukastensystems gewährleisten zu können wurden nachfolgend Grundüberlegungen zur Verarbeitung der einzelnen Module und sonstigen Teile angestellt.

### **5.1 Produktion**

Um die einzelnen Module exakt in der Größe und kostengünstig in großen Mengen produzieren zu können, ist eine der Grundlagen dieses Baukastensystems die Produktion mit CNC (computer-numerical-control) gesteuerten Bearbeitungszentren.

Ohne die Genauigkeit solcher Bearbeitungszentren wäre dieses Baukastensystem technisch nicht möglich. Bei der Formatierung und der Anbringung von Nut- und Feder- Profilen muss eine Genauigkeit von mindestens 0,1-0,2 mm erreicht werden, da sich Ungenauigkeiten ansonsten aufgrund der modularen Bauweise vervielfachen würden. Größere Ungenauigkeiten würden sich negativ auf die Statik des gesamten Wandaufbaus und die Fugendurchlässigkeit und mit ihr verbundene Wärmeverluste und Feuchteintritte auswirken.

Um die gesamten Module und Zusatzteile für ein Haus wirtschaftlich produzieren zu können, ist ein Gesamtsystem aus speziellen Computerprogrammen und CNC gesteuerten Bearbeitungszentren unerlässlich. Nur durch eine computer-unterstützte Planung lassen sich hunderte von Modulen fehlerfrei planen und durch Einbindung der bearbeitenden Maschinen schnell und mit geringen Durchlaufzeiten fertigen.

Ein weiterer Vorteil einer CNC-Anlage ist die Möglichkeit der automatischen Einbringung der Fugendichtbänder (siehe Kapitel 10.4) direkt nach dem Fräsvorgang. Die Fugendichtbänder können hierbei mit einem abgewandelten Kantenanleimaggregat exakt und schnell in die Nuten eingepresst werden, somit ist hier eine weitere Einsparung an Bearbeitungszeit und eine größtmögliche Fugendichtheit der Module gegeben.

#### **5.1.1 Verschnittberechnung Elementzuschnitt**

Bei der Entwicklung des Standard-Moduls der Außenwand musste nicht nur auf die Baurichtmaße, Fenster-, Türöffnungen, Raumhöhen, bauphysikalische Anforderungen, Gewicht und die statischen Anforderungen Rücksicht genommen werden, auch eine kostenmäßige Betrachtung war hier notwendig. Es erschien sinnvoll, bereits bei der Planung eine Verschnittberechnung aufzustellen, da die planmäßigen Verschnittmengen bei der Produktion große Kostenanteile ausmachen. Hierzu nachfolgend eine Verschnittberechnung für die 42 mm starke 3-Schichtplatte für den Zuschnitt der Elemente mit der Größe 810 x 405 mm. Dabei wird die Nutzung einer CNC-Maschine zu Grunde gelegt, weshalb ein Rohmaß von 815 x 410 mm notwendig wird.

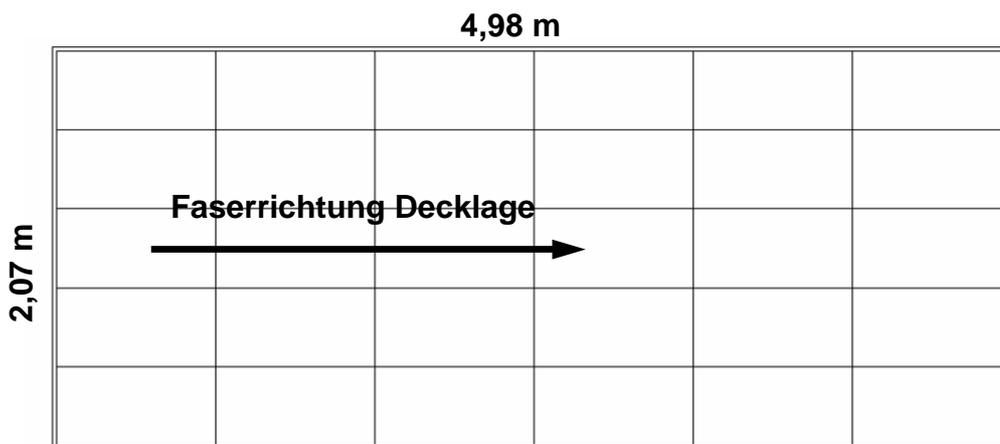


Abb. 13 Verschnittplan einer 3-Schichtplatte für Standardelemente

Das Standardmaß für die verwendeten 3-Schichtplatten beträgt 4980 x 2070 mm. Da die Faserrichtung der Elemente in der Decklage horizontal verlaufen muss, können aus dem Rohmaß in der Längsrichtung 6 Elemente und der Querrichtung 5 Elemente geschnitten werden.

Die Verschnittberechnung ergibt bei einem Sägeblatt mit 4 mm Schnittbreite somit:

Länge:  $4980 \text{ mm} - (815 \text{ mm} * 6 \text{ Stück} + 5 \text{ Fugen} \text{ à } 3 \text{ mm}) = 75 \text{ mm Verschnitt}$

Breite:  $2070 \text{ mm} - (410 \text{ mm} * 5 \text{ Stück} + 4 \text{ Fugen} \text{ à } 3 \text{ mm}) = 8 \text{ mm Verschnitt}$

Es ergibt sich folgender Verschnittabschlag:

$$U = \frac{4980 \text{ mm} * 2070 \text{ mm} - 810 \text{ mm} * 405 \text{ mm} * 5 * 6}{810 \text{ mm} * 405 \text{ mm} * 5 * 6} * 100 \% = 4,7 \%$$

Üblich sind Verschnittzuschläge von 15 %, deshalb ist hier für die Produktion bereits eine große Kosteneinsparung vorhanden.

## 5.2 Montage

Sind alle Module und zusätzlichen Elemente gefertigt, kann mit Montage des Baukastensystems begonnen werden. Hierzu ist es vorgesehen, schon bei der Produktion alle Module und Elemente automatisch zu nummerieren, um dem Selbstbauer eine einfache Basis für den Zusammenbau zu geben. Hierzu wird er einfach aufgebaute Pläne mit nummeriertem Aufbau der Wände erhalten, nach denen er die Module anzuordnen hat.

Der Aufbau des Hauses beginnt mit der Legung der Schwelle am Fußpunkt des Hauses auf einer Bodenplatte oder der Kellerdecke (beim Passivhaus sind Keller ungeeignet). Die Schwellen für die Außen- und Innenwände werden hierbei noch durch einen Fachmann in 25 mm Höhe ausgerichtet, mit Fixankern (siehe Anlage A11, A12) befestigt und mit Quellmörtel untergossen.

Je nach Trocknungszeit des Quellmörtels kann im Anschluss die Montage durch den Selbstbauer beginnen. Hierzu wird die erste Modulreihe beginnend mit einem Außeneck-Modul gelegt. Die Module werden hierzu der Länge nach aneinandergesetzt. Ist die

komplette erste Modulreihe gelegt, kann mit der zweiten in der Länge komplett hälftig versetzten Modulreihe begonnen werden. Bei jeder Modulreihe wechselt der hälftige Versatz.

Bei Wandöffnungen werden die Laibungen direkt nach Montage der Module an diese angeschraubt.

Ist die oberste Modulreihe des Erdgeschosses gelegt, können die Rähme einfach aufgelegt und durch die bereits erwähnte Einzinker-Verbindung in der Länge gestoßen werden. Der gleiche Ablauf der Außenwand ist auch bei der Montage der Innenwand vorgesehen. Hierbei ist vorher das Kantholz für den Anschluss der Innenwand an die Außenwand zu schrauben (siehe Kapitel 15.8). Die Montage der Innenwand-Module sollte von außen nach innen erfolgen, d.h. es sollte erst der Anschluss an die Außenwand zu deren Aussteifung erfolgen.

Anschließend hat die Montage der Decke zu erfolgen. Sie wird als Fertigelement (Deckenkonstruktion mit 3 Balken) angeliefert und im Beisein eines Fachmanns auf die an der Wand angebrachten Balkenschuhe aufgelegt. Es ist zu beachten, dass unter den Deckenelementen provisorische Tragstützen unterstellt werden, um die noch ungespannte Wand vor innerer einseitiger Belastung stabil zu halten. Nach Montage der Abspannungen können die Stützen wieder entfernt werden. Die Deckenelemente werden durch die Verschalung mit dem Rähm verschraubt (siehe Kapitel 15.5) und bilden so eine sehr gute Aussteifung für die Wände. Auf die Verschalung wird die Schwellenlage des folgenden Geschosses aufgesetzt und durch die anschließende Abspannung fixiert und befestigt. Der gleiche Wandaufbau wie im Erdgeschoss folgt nun und endet wieder mit dem Aufsetzen der Rähme. Die Rähme im Dachgeschoss bilden zugleich die Auflage für die Fertigelemente des Daches, die wieder durch den Fachmann aufgelegt und miteinander verschraubt werden.

Ist das Haus bis einschließlich Dach montiert, kann sofort mit dem Einbringen der Dämmung begonnen werden. Hierzu wird ein Fachbetrieb konsultiert, der die Isofloc-Dämmung mit Hilfe einer Einblasmaschine in die Außenwände einbläst. Die Innenwände werden mit den Dämm pellets verfüllt. Hierzu werden werkseitig an jedem obersten Modul einer Wand mittig zwischen den Stegen Löcher mit einem Radius von 68 mm ausgefräst. Der Fachbetrieb erhält bei Auftragserteilung vom Architekt die Angabe über das zu dämmende Volumen der gesamten Wandaufbauten. Dieses Volumen muss von dem Fachbetrieb unbedingt verfüllt werden, um eine gleichmäßige und ausreichende Verfüllung der Wände zu erreichen. Hiermit wird der errechnete Wärme- bzw. Schallschutz sichergestellt und eine Hohlraumbildung in der Dämmung vermieden. Sind die Wandaufbauten verfüllt, werden die Löcher mit speziellen Dichtstreifen abgeklebt.

Nach Abschluss der Dämmung des Hauses kann nun mit dem Innenausbau des Hauses begonnen werden. Die Installationsleitungen werden in der Installationsebene verlegt. Im Anschluss daran werden in die noch freien Räume der Installationsebene Dämmplatten angebracht. Die Art der Dämmplatten kann vom Bauherrn frei gewählt werden, sie sollte aber der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 040 angehören, um die erforderlichen Werte des Wärmeschutzes erreichen zu können (siehe Kapitel 9.2).

Als Fassade für das Haus kommen verschiedenste Fassadensysteme wie z.B. eine Heraklith-Platte mit Außenputz zur Auswahl. Aufgrund der Lattung (Lüftungsebene) ist hier eine Befestigungsmöglichkeit für beliebige vom Selbstbauer auszuwählende Fassaden gegeben. Es sollte aber in jedem Falle auf die Winddichtigkeit der Fassade geachtet werden.

Während der gesamten Montage eines Hauses sollte ein Feuchteeintrag in die Konstruktion vermieden werden. Dazu sollte bei ungünstigen Witterungen die Konstruktion durch geeignete Maßnahmen geschützt werden. Eine Schutz der äußeren Hülle vor der

Montage der Außenfassade ist allerdings nicht nötig, da das äußere Element der Module eine wasserabweisende Schicht darstellt und so eine begrenzte Zeit der der Witterung ausgesetzt werden kann.

## 5.2.1 Gewichtsrechnung

Abschließend zur Montage wird nun eine Gewichtsrechnung eines Standard-Außenmoduls durchgeführt, um die Handlichkeit für den Selbstbauer zu prüfen.

Element	Material	Volumenberechnung	Volumen in m <sup>3</sup>	Rohdichte kg / m <sup>3</sup>	Gewicht (kg)
Lattung	TA/FI	2 * 0,040 * 0,019 * 0,380	0,0006	470	0,27
Holzfaserverplatte	DHF	1 * 0,800 * 0,019 * 0,395	0,0060	620	3,72
Stege	3-S-VHP	2 * 0,042 * 0,249 * 0,395	0,0082	500	4,13
Innenplatte	3-S-VHP	1 * 0,800 * 0,042 * 0,395	0,0130	500	6,64
Lattung	TA/FI	2 * 0,040 * 0,040 * 0,355	0,0011	470	0,53
					<b>15,29</b>

Ein Außenwandmodul besitzt mit Einrechnung eines Feuchtigkeits-Zuschlags von 10 % ein Gewicht von 16,8 kg. Wenn man zugrunde legt, dass ein Gewicht bis 25 kg als handliches Gewicht (Zementsackgewicht) bezeichnet wird, ist das Gewicht mit 16,8 kg sehr handlich für den Selbstbauer.

## 6 Bauaufsichtliche Zulassung

Da es sich bei diesem Bausatzsystem um eine Neuentwicklung handelt, muss geprüft werden, ob es den Allgemein anerkannten Regeln der Technik entspricht.

Allgemein anerkannte Regeln der Technik sind die Regeln, die in Wissenschaft und Praxis - d.h. bei den vorgebildeten Praktikern, die sich mit der Anwendung der Regel befassen müssen-, bekannt und als richtig und notwendig anerkannt sind. Dabei muss es sich nicht um schriftliche Regeln handeln, auch wenn es zumeist solche sind.

In der Regel basieren die nach dem besonderen Verfahren des Deutschen Instituts für Normung zustande gekommenen Baubestimmungen auf den Allgemein anerkannten Regeln der Technik. Sind bei einem Produkt oder einem Bausystem Abweichungen von diesen Regeln vorhanden, muss eine bauaufsichtliche Zulassung erworben werden. Da bei diesem Bausatzsystem lediglich die einzelnen Elemente eine bauaufsichtliche Zulassung besitzen, ist es notwendig, das System als Ganzes dem Verfahren einer Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung zu unterziehen.

### 6.1 Zulassungsverfahren

Die Erteilung von Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen ist von den obersten Bauaufsichtsbehörden der Länder dem DIBT (Deutsches Institut für Bautechnik) übertragen worden. Die Vorgehensweise dafür ist wiederum in der Bauordnung vorgeschrieben. Die Zulassungserteilung erfolgt nur auf Antrag, welcher formlos bei DIBT zu stellen ist. Hierzu ist es nötig, dem DIBT eine genaue technische Beschreibung des Gegenstands und alle sonstigen, dem Antragsteller bereits bekannte technische Informationen zu geben. Zuerst wird beim DIBT geprüft, ob eine Zulassung überhaupt erforderlich ist oder der Gegenstand bereits durch die technischen Baubestimmungen geregelt ist. Wenn die Notwendigkeit einer Zulassung festgestellt wird, werden vom DIBT die für die Entscheidung über die Brauchbarkeit des Gegenstandes erforderlichen Untersuchungen (in der Regel Prüfungen) festgelegt, wofür eventuell zuerst der Rat eines **Sachverständigenausschusses** eingeholt wird. Für den Holzbau ist dies der Sachverständigenausschuss „Holzbau und Holzwerkstoffe“.

Für die Durchführung der Untersuchungen werden dem Antragsteller, orientiert an der jeweiligen Problemstellung, die dafür vom DIBT bestimmten so genannten **Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstellen**, kurz PÜZ-Stellen oder Sachverständigen genannt. Die Untersuchungen werden dann zwischen der PÜZ-Stelle, die der Antragsteller ausgewählt hat, und dem DIBT (wenn erforderlich unter Einschaltung des vorgenannten Sachverständigenausschusses) abgesprochen.

Von den oder der PÜZ-Stelle(n) wird die Erfüllung der bauaufsichtlichen Bestimmungen geprüft, welche sich insbesondere auf die Fachgrundnorm DIN 1052 Teil 1 bis 3 beziehen. Der zuzulassende Gegenstand wird hierbei vor allem auf die **Standicherheit und die Dauerhaftigkeit** der Holzbauwerke geprüft und anhand weiterer Normen (diese werden in den folgenden Kapiteln genannt) auch auf Bestimmungen bezüglich des **Brand-, Wärme-, Schall-, Feuchte-** oder auch **Erschütterungsschutzes** geprüft.

Nach dem Abschluss der Untersuchungen wird auf der Grundlage des Gutachtens des Sachverständigenausschusses die Zulassung mit einem Zulassungsbescheid erteilt (oder abgelehnt).

Der Zulassungsbescheid gilt für max. fünf Jahre, seine Geltungsdauer kann nur auf Antrag verlängert werden. Die Verlängerung ist kein formaler Akt, sondern erfolgt nur, wenn keine technischen Gründe (z.B. neue technische Erkenntnisse) oder solche formaler Art (z.B. zwischenzeitliche Normung) dem entgegenstehen. Änderungs- oder Ergänzungswünsche während der Geltungsdauer bedürfen einer neuen Untersuchung und Beurteilung, die mit einem Änderungs- bzw. Ergänzungsbescheid abschließt.

Alle erteilten Zulassungen werden regelmäßig von verschiedenen Einrichtungen veröffentlicht. Die Zulassung wird unter Anordnungen erteilt, die sich vor allem auf die Herstellung, die Baustoffeigenschaften, die Verwendung und Anwendung, die Kennzeichnung, die Überwachung, die Weitergabe von Zulassungsabschriften und die Unterrichtung der Abnehmer beziehen können. Diese Anordnungen sind die so genannten Allgemeinen Bestimmungen und Besonderen Bestimmungen des Zulassungsbescheides. Die **Allgemeinen Bestimmungen** sagen z.B. aus, dass mit einer Zulassung der Nachweis der Brauchbarkeit, wie er in den Landesbauordnungen gefordert ist, erbracht ist. Des Weiteren ist darin enthalten, dass das DIBT berechtigt ist, im Herstellwerk, im Händlerlager, oder auf der Baustelle zu prüfen oder prüfen zu lassen, ob die Auflagen eines Zulassungsbescheides eingehalten werden. Die **Besonderen Bestimmungen** sind dabei der Teil, der inhaltlich im Grundsatz den technischen Normen entspricht.

In den technischen Bestimmungen der Bescheide wird, soweit möglich, auf genormte Regelungen bezogen. Der Umfang der Bescheide richtet sich nach dem Umfang dessen, was abweichend von den Normen im Zulassungsgegenstand begründet anders oder zusätzlich zu regeln ist. Der Umfang des Bescheides ist also eine Funktion des Grades der Abweichung des zuzulassenden Gegenstandes vom Genormten bis hin zum völlig Neuen [11].

In den folgenden Kapiteln sollen nun die Anforderungen der bauaufsichtlichen Zulassung in Bezug auf Statik (Standicherheit und die Dauerhaftigkeit), Brand-, Wärme-, Schall- und Feuchteschutz überprüft werden. Es soll festgestellt werden, ob eine bauaufsichtliche Zulassung erteilt werden könnte.

## 7 Statik

Der Begriff **Statik** (altgriechisch statike = (Kunst des) Wägens, statikos = zum Stillstand bringend) bezeichnet ein Teilgebiet der Mechanik, das sich mit ruhenden Kräften beschäftigt. Sie wird für Berechnungen im Bauwesen bzw. für die Gesamtheit der Berechnungen zu einem Bauwerk verwendet. [12]

**Baustatik** ist die Statik der Baukonstruktionen; anders gesagt die Lehre der Modellbildung zur Berechnung des Tragverhaltens von Tragwerken im Bauwesen. Das beinhaltet die Berechnung der Auflagergrößen, Schnittgrößen und Verschiebungen infolge von Lasten für das vorgegebene Tragsystem eines Bauwerks. Neben ruhenden Lasten gibt es weitere Einwirkungen: Temperaturänderungen, Schwinden, Kriechen, Auflagerverschiebungen. Auch die Festigkeitslehre (Elastizitätstheorie) zählt zur Baustatik. Die Baustatik liefert die Voraussetzungen für die Bemessung von Tragwerken (Standicherheit) und zur Begrenzung von Verformungen (Gebrauchstauglichkeit).

### Abgrenzung zur Statik

Die Statik selbst behandelt mehr die theoretisch-mathematisch-physikalische Seite, während die Baustatik die Anwendung der Statik im Bauwesen zum Ziel hat. Deshalb steht die Bemessung von Bauwerken und Bauteilen im Vordergrund, also die Ermittlung der notwendigen Dimensionen, der Abmessungen, der Querschnitte, der Bewehrung usw.. Ein wesentlicher Teil der Kunst ist es, aus einem komplexem Bauwerk ein klar definiertes Tragsystem zu modellieren, das man mit vernünftigen Aufwand berechnen kann, und die Lasten zu ermitteln, die darauf wirken.

### Gleichgewicht der Kräfte

Die wichtigste Grundforderung der Baustatik wie der Statik ist, dass das Tragsystem im stabilen Gleichgewicht ist. Andernfalls versagt es.

### Tragwerke

Die Baustatik kennt zwei große Gruppen von Tragwerken:

- Stabwerke und Fachwerke (Stäbe, Träger, Stützen, Rahmen)
- Flächentragwerke, bestehend aus Platten, Scheiben, Schalen oder Membrane (Flächenstatik)

### Lasten

Die Lasten, für die ein Tragwerk mittels der Baustatik bemessen werden muss, sind:

- Eigengewicht
- Verkehrslast
- Winddruck
- Wasserdruck
- Erddruck
- Erdbeben
- Eisdruck
- Dynamische Lasten (Stöße, Vibrationen, Schwingungen, Erdbeben) werden üblicherweise in statische Ersatzlasten umgerechnet, bevor sie auf ein Bauwerk angesetzt werden.

## **Statische Berechnung**

Eine Statische Berechnung (umgangssprachlich auch Statik) ist die Berechnung der Kräfte, Spannungen und Verformungen einer Konstruktion. Ziel einer solchen Berechnung kann sein zu untersuchen, ob die Konstruktion unter der angenommenen Belastung versagen (brechen, knicken usw.) wird oder zu untersuchen, welche Belastungen die Konstruktion aushält, ohne zu versagen. Zu den Belastungen und Materialkennwerten werden so genannten Teilsicherheitsfaktoren addiert, um das jeweilige Berechnungsverfahren zu vereinfachen und um Streuungen der Annahmen auszugleichen.

## **Berechnungsverfahren**

Die Berechnungsverfahren in der Baustatik lassen sich unterteilen in:

- Zeichnerische Verfahren (Grafische Statik)
- Rechnerische Verfahren (Starrkörperstatik, Elastizitätslehre)
- Experimentelle Statik
- Elektronische Berechnungen
- Statische Berechnungen werden heute fast nur noch mit Computerprogrammen erstellt, weil es für jeden Zweck Bemessungsprogramme gibt. Die untersuchten statischen Systeme werden immer komplexer und anspruchsvoller.

## **Baustoffe**

Die Berechnungsergebnisse der Baustatik dienen der Bemessung der Tragwerke. Diese unterscheiden sich auch nach den Baustoffen, die je nach Art unterschiedliche Bemessungsverfahren bedingen:

- Beton, Stahlbeton, Spannbeton, Mauerwerk (Massivbau)
- Stahl und andere Metalle, speziell Aluminium (Stahlbau und allgemeiner Metallbau)
- Beton mit Stahl (Verbundbau)
- **Holz (Holzbau)**
- Kunststoff (Kunststoffbau)
- Boden und Erdstoffe (Grundbau)

## **7.1 Gesetzliche Anforderungen**

In Deutschland muss ein Bauvorhaben von der zuständigen Behörde genehmigt werden. Dazu stellt man einen Bauantrag und reicht schriftlich die Ergebnisse aller schriftlich Berechnungen zur Statik des Bauwerks mit dem Nachweis der Tragfähigkeit (Standicherheit), der Gebrauchstauglichkeit und der Dauerhaftigkeit ein. In Deutschland muss je nach Bauwerksgröße die statische Berechnung von einem zweiten Statiker überprüft werden.

Zur Erlangung einer bauaufsichtlichen Zulassung und Erfüllung der Anforderungen nach der Landesbauordnung müssen folgende Normen eingehalten werden:

DIN 1055 1-5 Lastannahmen für Bauten

DIN 1052 1-3 Berechnung, Ausführung, Material von Holzbauwerken

## 7.2 Überschlagsberechnung zur Lastabtragung auf Schwellenpunkt

Die Berechnung der Baustatik wäre an dieser Stelle zu komplex, es soll daher lediglich eine überschlägige Berechnung der abzutragenden Lasten erfolgen. Hierzu wird berechnet, welche Last am Fußpunkt des Gebäudes, also auf der Bodenschwelle aufliegt. Zur Berechnung wird das Haus in der Giebelansicht aufgeteilt und aus dieser Hälfte wird die Last des Hauses von Fußpunkt bis Firstpunkt auf einem Meter Breite berechnet (siehe Abb. 14).

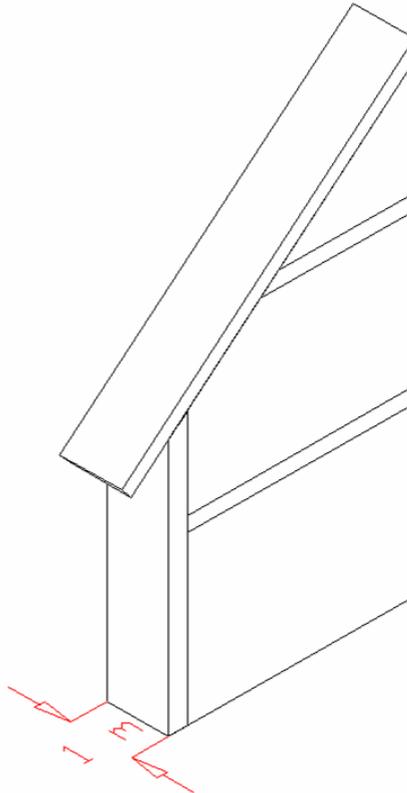


Abb. 14 Modell der Überschlagsberechnung

Es wird ein Haus mit den Außenmaßen 8m (Giebelseite) \* 9m und einer Dachneigung von 40° zugrunde gelegt.

Bei der Berechnung wird die Schneelast eingerechnet. Die Schneelast wird ermittelt durch Einteilung in so genannte Schneelastzonen nach DIN 1055.5; Deutschland ist dabei in 4 Schneelastzonen eingeteilt. Mit Hilfe der Schneelastzone und der Einteilung in Geländehöhen lässt sich anhand der DIN 1055-5 eine Regelschneelast ermitteln [13]. Diese Regelschneelast wird hier mit **0,75 kN/m<sup>2</sup>** ausgewählt.

Regelschneelast	0,75 kN/m <sup>2</sup>
Dachfläche /m	6,26 m <sup>2</sup>
<b>Schneelast /m Wandlänge</b>	<b>4,69 kN</b>

Bauteil	Element	Material	Volumenberechnung	Volumen in m³	Rohdichte kg / m³	Gewicht (kg)	
Außenwand	Außenschalung Lattung	Douglasie	0,019 * 1 * 3,99 m	0,076	510	38,66	
		TA/Fl	2 * 1,25 (1000/800) * 0,04 * 0,019 * 3,55 m	0,007	470		
	Holzfaserplatte	DHF	0,019 * 1 * 3,55 m	0,007	620	4,18	
	Dämmung	Isofloc	0,72 * 1,25 * 0,249 * 3,55 m	0,800	55	43,75	
	Stege	3-S VHPstatic	0,084 * 1,25 * 0,249 * 3,55 m	0,093	500	46,41	
	Innenplatte	3-S VHPstatic	0,042 * 1 * 3,55 m	0,149	500	74,55	
	Dämmung	Isofloc-Platte	0,72 * 1,25 * 0,04 * 3,55 m	0,128	170	21,73	
	Lattung	TA/Fl	2 * 1,25 * 0,04 * 0,04 * 3,28 m	0,013	470	6,16	
	Ausbauplatte	Rigips	1 * 0,0125 * 3,55 m	0,040	1200	53,25	
							<b>288,69</b>
Rähme		Parallam	2 * 0,09 * 1 * 0,310 m	0,056	650	36,27	
Schwellen		Parallam	2 * 0,09 * 1 * 0,310 m	0,056	650	36,27	
						<b>72,54</b>	
Deckenaufbau	Bodenbelag Estrich	Laminat	3,7 * 1 * 0,01 m	0,037	1050	38,85	
		Fermacell-Estrich-Element	3,7 * 1 * 0,06 m	0,222	1200	266,4	
	Beplankung oben	OSB 4	3,7 * 1 * 0,019 m	0,070	620	43,59	
	Dämmung	Isofloc	3,7 * 0,545 * 1,6 * 0,24 m	0,774	55	42,59	
	Balken	TA/Fl	3,7 * 0,08 * 1,6 * 0,24 m	0,114	470	53,42	
	Bekleidung	OSB 4	3,7 * 1 * 0,019 m	0,070	620	43,59	
	Lattung	TA/Fl	3,7 * 0,04 * 1,6 * 0,19 m	0,045	470	21,15	
	Bekleidung	Rigips	3,7 * 1 * 0,0125 m	0,046	1200	55,50	
	pauschaler Zuschlag 10 %						56,50
							<b>621,60</b>

Bauteil	Element	Material	Volumenberechnung	Volumen in m³	Rohdichte kg / m³	Gewicht (kg)	
Dachaufbau	Ziegel	Tonziegel	$6,26 * 1 * 0,034$	0,213	1800	383,11	
	Lattung	TA/Fl	$18 * 1 * 0,019 * 0,04$	0,014	470	6,43	
	Konterlattung	TA/Fl	$6,26 * 0,04 * 1,6 * 0,080$	0,032	470	15,06	
	Dämmung	Pavatherm-Plus	$6,26 * 0,585 * 1,6 * 0,08$	0,468	240	112,50	
	Aussteifung	DHF-Platte	$6,26 * 1 * 0,019$	0,119	620	73,74	
	Sparren	Finjoist I	$6,26 * 0,04 * 2,38 * 0,3$	0,179	650	116,21	
	Dämmung	Isofloc	$6,26 * 0,38 * 2,38 * 0,3$	1,698	55	93,41	
	Bekleidung	OSB 4-Platte	$6,26 * 1 * 0,019$	0,119	620	73,74	
	Lattung	TA/Fl	$6,26 * 0,04 * 1,6 * 0,019$	0,007	470	3,57	
	Bekleidung	Rigips	$6,26 * 1 * 0,0125$	0,078	1200	93,9	
	pauschaler Zuschlag 30 %						291,50
	<b>Gesamt</b>						<b>1263,17</b>
	<b>Gesamt</b>						<b>2246 kg</b>

Tab. 1 Berechnung der Eigenlast

angenommene Verkehrslast nach DIN 1055-3, Decke EG	2,00 kN/m <sup>2</sup>
Deckenfläche	3,69 m <sup>2</sup>

---

**Verkehrslast /m Wandlänge 7,38 kN**

angenommene Verkehrslast nach DIN 1055-3, Spitzboden	1,00 kN/m <sup>2</sup>
Deckenfläche	2,21 m <sup>2</sup>

---

**Verkehrslast /m Wandlänge 2,21 kN**

Eigenlast	22,46 kN/m
Schneelast	4,69 kN/m
Verkehrslast Decke EG	7,38 kN/m
Verkehrslast Spitzboden	2,21 kN/m

---

**überschlägige Gesamtlast 36,74 kN/m**

Nach Berechnung der Auflagelast wird nun geprüft, ob die Bodenschwelle die Auflagelast aufnehmen kann.

Laut Parallam-Datenblatt kann dieser Werkstoff Lasten bis 11 MN/m<sup>2</sup> aufnehmen.

Um diese maximale Lastaufnahme in Metern der Wandlänge ausdrücken zu können, muss die Auflagefläche der Wand bei einem Meter Wandlänge ermittelt werden. Da die Stege und die innere 3-Schicht-Platte statisch tragend sind, dürfen nur sie als Auflagefläche berechnet werden (siehe Kapitel 7.3).

Stege:	$2 * 0,249 * 0,026 \text{ m} = 0,0129 \text{ m}^2$
Platte:	$1 * 1,000 * 0,026 \text{ m} = 0,0260 \text{ m}^2$

---

**Auflagefläche auf Schwelle = 0,0389 m<sup>2</sup>**

$$11 \text{ MN/m}^2 = 11.000 \text{ kN/m}^2$$

$$11.000 \text{ kN/m}^2 * 0,0389 \text{ m}^2 = \mathbf{427,90 \text{ kN}}$$

Die Bodenschwelle kann somit pro Meter Wandlänge eine Last von 427,90 kN aufnehmen. Abzüglich der überschlägigen Gesamtlast von 36,74 kN ergibt dies eine Sicherheitsreserve von 391,16 kN die die Bodenschwelle zusätzlich aufnehmen könnte.

### 7.3 Merkmale des Baukastensystems

Bei der Planung dieses Bausatzsystems wurden folgende statische Überlegungen angestellt:

- Die tragende Ebene des Steines stellen die Elemente Stege und innere Beplankung dar. Das äußere Element DHF-Platte stellt lediglich den äußeren Abschluss eines Moduls, die diffusionsoffenste Schicht des Moduls und eine zusätzlich aussteifende Ebene dar.

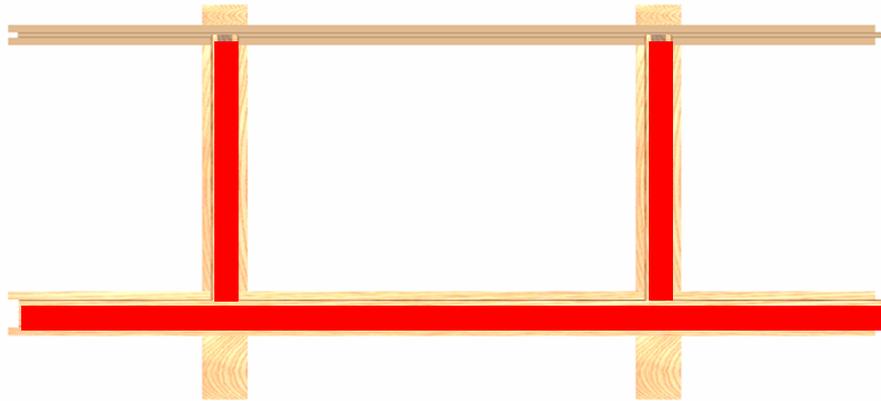


Abb. 15 Tragende Ebene eines Moduls

Bei den tragenden Elementen kann aber die horizontale Stirnfläche nicht komplett als Auflagefläche angenommen werden.

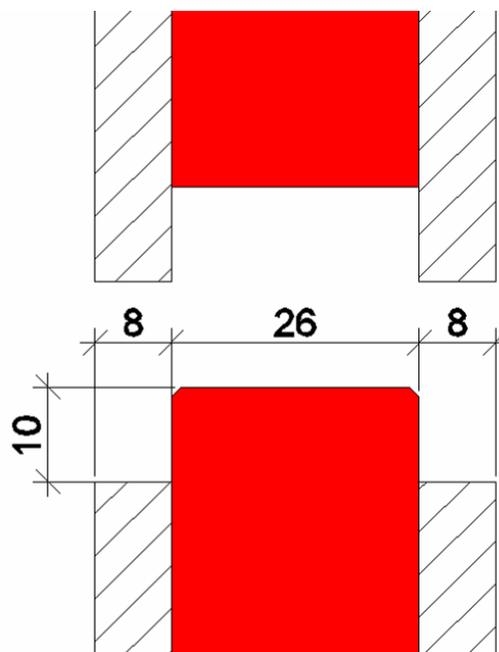
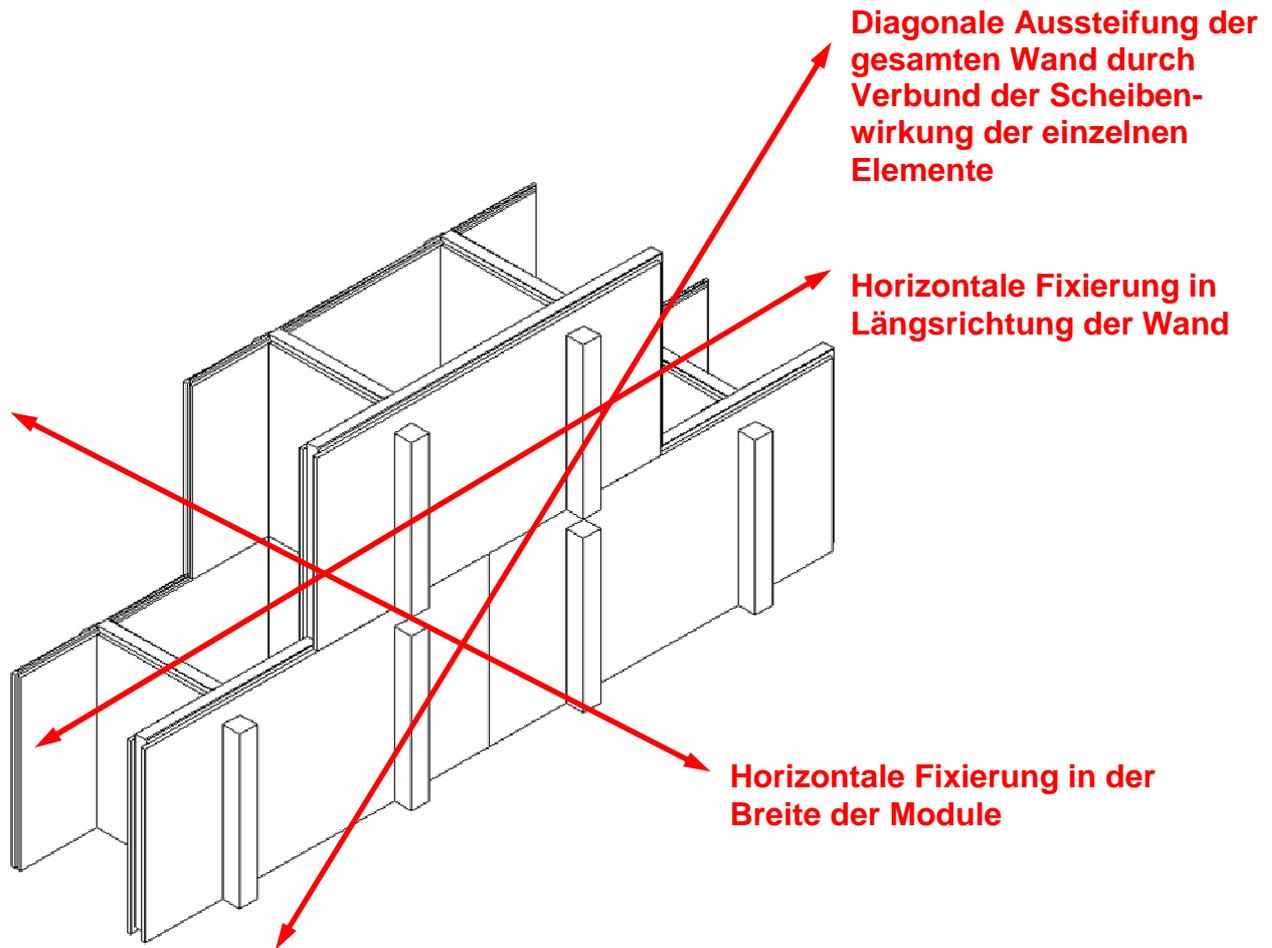


Abb. 16 Auflagefläche der Feder

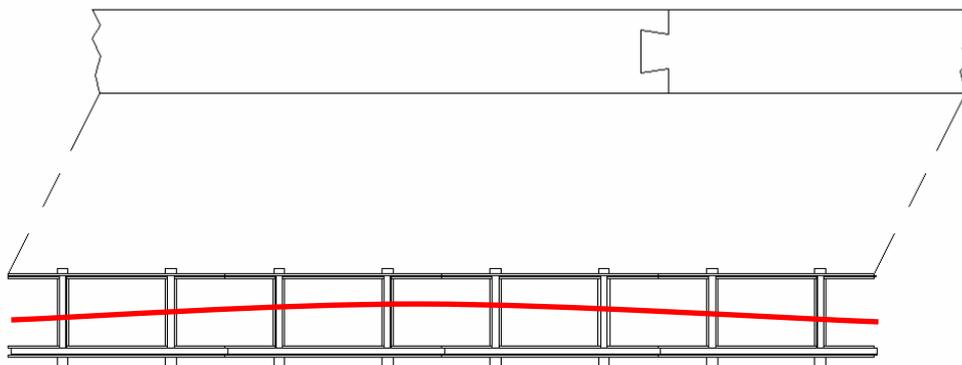
Nur die Ebene der Nut- und Federverbindung (siehe Abb. 15, Abb. 16) kann als tragende Ebene angenommen werden. Diese Ebene besitzt durch die Verwendung einer 3-Schicht-Platte eine Mittellage, die bei diesem Modul vertikal angeordnet ist. Holz in Längsrichtung ist druckfester als Holz quer zur Faser. Somit kann die Mittellage wesentlich mehr Last aufnehmen als die äußeren, schmälere Schichten der Platte.

- Die Nut- und Federausbildung an den Modulen ermöglicht einen hohen statischen Verbund. Ohne weitere Verbindungsmittel wird durch das hälftige Versetzen der Module und das Ineinandergreifen der Nut- und Federverbindungen zweier Module eine stabile Verbindung geschaffen, die sowohl die Knicksteifigkeit, die Aussteifung, die Standsicherheit und die Begrenzung von Verformungen (Gebrauchstauglichkeit) erhöht.



**Abb. 17 Statische Beanspruchung des Modulverbunds**

- Die diagonale Aussteifung der gesamten Wand wird durch die Abspannungen der Wand unterstützt (siehe Kapitel 3.3). Nur durch diese Abspannungen und deren außermittigem Versatz im Wandquerschnitt ist es möglich, in der Wand die fehlende Symmetrie auszugleichen. Symmetrie in einem Wandquerschnitt ist nötig, um ein statisches Gleichgewicht herzustellen.
- Die Schwellen und Rähme sind durch Einzinker verbunden, welche eine höhere Aussteifung der Wand der Länge nach bewirken (siehe Abb. 18)



**Abb. 18 Aussteifung durch Schwellen und Rähme**

- Zusätzliche aussteifende Wirkung der Schwellen und Rähme wird erzielt durch hälftigen Versatz, wenn diese übereinander liegen (siehe Abb. 19).

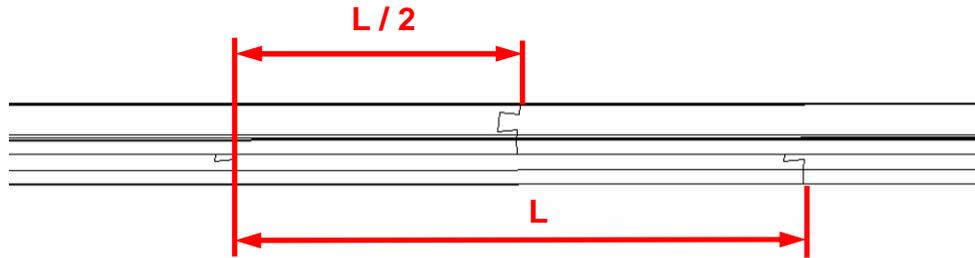


Abb. 19 Hälftiger Versatz von Schwellen und Rähmen

- Die Verbindung der einzelnen Elemente eines Moduls erfolgt nicht ausschließlich durch die Nut- und Federverbindung, es werden die einzelnen Elemente mit Schrauben der Fa. Heco verbunden (siehe Anlage A8, A9)

#### 7.4 Können die Anforderungen erfüllt werden?

Durch das positive Ergebnis der Überschlagsberechnung als Anhaltspunkt und der beschriebenen grundlegenden Überlegungen ist es wahrscheinlich, dass die gesetzlichen Anforderungen und der nach der Landesbauordnung erfüllt werden könnten. Jedoch sind hier statische Berechnungen unerlässlich. Auch wird es nötig sein, die Module und eine gesamte Wand praktischen Belastungsprüfungen zu unterziehen, um eine bauaufsichtliche Zulassung erlangen zu können.

## 8 Schallschutz

Der Schallschutz in Gebäuden hat große Bedeutung für die Gesundheit und das Wohlbefinden des Menschen. Besonders wichtig ist der Schallschutz im Wohnungsbau, weil die Wohnung dem Menschen zur Entspannung dient und der häusliche Bereich gegenüber Nachbarn abgeschirmt werden soll.

Lärm kann als Wohnlärm aus benachbarten Räumen innerhalb eines Wohnhauses und als Außenlärm wie Verkehrs-, Gewerbe- und Industrielärm auftreten.

### 8.1 Anforderungen

#### 8.1.1 Gesetzliche Anforderungen

In der DIN 4109, Schallschutz im Hochbau, sind Mindestanforderungen an die **Luft- und Trittschalldämmung** von Bauteilen vorgeschrieben.

Unter Schalldämmung versteht man den Widerstand eines Bauteils (Wand, Decke, Tür, Fenster) gegen den Durchgang von Schallenergie. Die Einheit für die Schalldämmung ist 1 Dezibel (=1 dB). Man unterscheidet je nach Schwingungsanregung der Bauteile zwischen Luftschalldämmung und Körperschalldämmung.

Die **Luftschalldämmung** entspricht dem Widerstand eines Bauteils gegen den Durchgang von Luftschallwellen, **Trittschalldämmung** dem gegen Trittschallwellen.

Diese Anforderungen haben die Aufgabe, Menschen in Aufenthaltsräumen vor unzumutbaren Belästigungen durch Schallübertragung zu schützen. Außerdem ist in der DIN 4109 das Verfahren zum Nachweis des geforderten Schallschutzes geregelt.

Für den Schallschutz gegen Schallübertragung aus einem fremden Wohn- und Arbeitsbereich innerhalb eines Gebäudes bestehen folgende Mindestanforderungen:

Außenwände	$R'_w \geq 35 \text{ dB}$	
Wohnungstrennwände und Wände zwischen fremden Arbeitsräumen	$R'_w \geq 53 \text{ dB}$	
Decken in Einfamilienhäusern mit nicht mehr als 2 Wohnungen	$R'_w \geq 52 \text{ dB}$	$L'_{n,W} \leq 63 \text{ dB}$
Wohnungstrenndecken und Decken zwischen fremden Arbeitsräumen	$R'_w \geq 54 \text{ dB}$	$L'_{n,W} \leq 53 \text{ dB}$

[14]

$R'_{w}$ :	bewertetes Schalldämm-Maß in dB mit Schallübertragung über flankierende Bauteile
$R_w$ :	bewertetes Schalldämm-Maß in dB ohne Schallübertragung über flankierende Bauteile
$L'_{n,W}$ :	bewerteter Norm-Trittschallpegel in dB

Die Anforderungen an die Trittschalldämmung gelten nur für die Trittschallübertragung in fremde Aufenthaltsräume.

### 8.1.2 Allgemeine Anforderungen

Zusätzlich zu den gesetzlichen Anforderungen durch die DIN 4109 können Allgemeine Anforderungen an Bauteile sinnvoll sein:

- Eine Dämmung sollte auf hohe Schallanforderungen bei hohen Frequenzen ausgelegt sein, da höhere Frequenzen (höhere Töne) eher vom Menschen wahrgenommen werden.
- Je höher das Gewicht pro m<sup>2</sup> Fläche (Flächengewicht) bei einem Bauteil ist, desto besser ist seine Luftschalldämmung
- Mit aus mehreren Schichten (wie bei diesem Baukastensystem) bestehenden Bauteilen lassen sich bedeutend höhere Schalldämmungen erzielen als bei einschichtigen Bauteilen. Bei mehrschichtigen Bauteilen kann schon durch einen hohen Schalenabstand eine gute Schalldämmung erreicht werden. Dies ist z.B. bei abgehängten Decken der Fall.
- Starre Verbindungen zwischen zwei Schalen eines Wandsystems in Form von Rohrdurchführungen, Nägeln, Schrauben oder Wandanschlüssen stellen Schallbrücken dar und sind zum besseren Schallschutz nur in notwendigen Fällen anzuwenden.
- Zur Unterbindung von Außenlärm eintrag sind Fugen in den Außenwänden zu vermeiden.

### 8.2 Nachweis der Eignung der Bauteile

Rechnerische Nachweisverfahren eignen sich für die Berechnung des zu erreichenden Schallschutzes. Sie sind jedoch nur bei Bauteilen mit einfachem Aufbau anwendbar, d.h. bei Bauteilen, die in der Sammlung des Beiblattes 1 zu DIN 4109 enthalten sind [15]. Da dieses Baukastensystem eine vollständig neue Entwicklung darstellt und nicht in der genannten Sammlung enthalten ist, kann kein rechnerisches Nachweisverfahren angewandt werden.

Die Eignung eines Bauteils muss grundsätzlich im Voraus durch einen Eignungsnachweis im Prüfstand erbracht werden. Nur Sonderbauteile, die nicht in genormten Prüfständen gemessen werden können, dürfen am Bau gemessen werden.

Um eine Eignungsprüfung durchzuführen, wird eine Wand als Trennelement in einen Prüfstand eingebaut, so dass zwei Prüfkammern entstehen. In einer davon wird durch eine oder mehrere Quellen Schall unterschiedlicher Frequenz erzeugt. In der zweiten Kammer wird mit verschiedenen positionierten Mikrofonen der Schalldruckpegel gemessen. Aus der

Differenz der erzeugten und der gemessenen Werte ergibt sich der Schalldämmwert  $R_w$ . Da die Messungen unter optimalen Bedingungen durchgeführt werden, liegen die tatsächlich am Bau erreichbaren Schalldämm- Maße um ca. 5 dB niedriger.

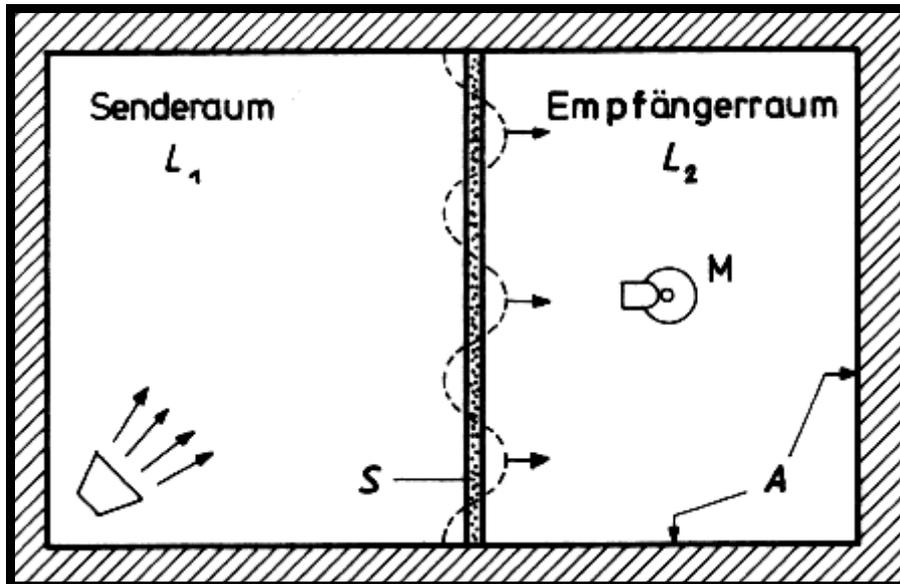


Abb. 20 Schema eines Prüfstandes

## 9 Wärmeschutz

### 9.1 Was ist ein Passivhaus?

Wer neu baut, wird darauf achten, dass sein Haus möglichst wenig Energie verbraucht. Besonders energiesparend sind Passivhäuser, denn sie kommen ohne eine herkömmliche Heizanlage aus. Stattdessen nutzen sie passiv vorhandene Wärme, die beispielsweise durch Sonneneinstrahlung, Lampen, Geräte oder Körperwärme erzeugt wird.

In den vergangenen zehn Jahren wurden in Deutschland mehr als 3.000 Wohnhäuser in Passivhaus-Bauweise errichtet. Sie sind eine Weiterentwicklung der Niedrigenergiehäuser, die seit dem Inkrafttreten der Energieeinsparverordnung (EnEV) im Jahr 2002 Standard sind. Während Niedrigenergiehäuser pro Jahr 50 bis 70 Kilowattstunden Heizenergie pro Quadratmeter Wohnfläche verbrauchen, ist bei Passivhäusern ein Jahresheizwärmebedarf von unter  $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  zu erreichen.

Um den Passivhausstandard zu erfüllen, sind folgende auszugsweise **Voraussetzungen** notwendig:

#### Erstellung einer Wärmebilanz:

<b>Solare Gewinne</b>	Dies sind die durch die verglasten Flächen ins Gebäude eintretenden Gewinne der Sonnenwärme. Um diese Gewinne zu optimieren, sollte die Hauptfassade eines Passivhauses möglichst nach Süden ( $\pm 25^\circ$ ) orientiert und möglichst wenig verschattet sein).
<b>Interne Gewinne</b>	Sie ergeben sich aus der Summe von Wärmeabgaben durch Personen und der Abwärme elektrischer Geräte. Bei Passivhäusern werden in der Regel pauschalierte interne Gewinne von $2,1 \text{ W}/\text{m}^2$ angenommen.
<b>Transmissions-Wärmeverluste</b>	Zu jedem Bauteil wird der U-Wert berechnet. Hierbei wird zwischen transparenten und nicht transparenten Bauteilen unterschieden. Transparente Bauteile sind z.B. Fenster. Diese Bauteile sollten einen $U_w$ -Wert (Fenster-U-Wert nach DIN EN 10077, W wie Window) von unter $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ besitzen. Aktuell am Markt erhältlich sind bereits Fenster mit $0,5$ bis $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Fenster haben einen durchschnittlichen Flächenanteil von 12 %, sind aber für 50 % der Transmissions-Wärmeverluste verantwortlich. Sie sind deshalb auf ein Minimum zu reduzieren (ausgenommen Südseite des Gebäudes). Nichttransparente Bauteile sind Wände, Decken, Dächer. Bei ihnen sollte ein U-Wert kleiner $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ vorhanden sein, anzustreben sind Werte von $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Der Holzanteil von Rähm und Schwelle einer Wand wird hierbei nicht explizit berücksichtigt [16].
<b>Lüftungswärmeverluste</b>	Sie entstehen durch Fensterlüftung oder durch geringe Verluste beim Lüftungssystem.

Diese Gewinne bzw. Verluste sind nach EN 822 zu berechnen. Es sind nun die Transmissions- und die Lüftungswärmeverluste zu addieren und von diesen die solaren und internen Gewinne abzuziehen. Dadurch erhält man den restlichen **Heizwärmebedarf** des Gebäudes.

## Vermeidung von Wärmebrücken

Wärmebrücken sind örtlich begrenzte Bauteilbereiche, in denen ein höherer Wärmefluss stattfindet als in den angrenzenden Bereichen. Die Wärme strömt dabei in Richtung fallender Temperatur.

Durch den erhöhten Wärmefluss entstehen eine verminderte Wärmedämmung, die es zu optimieren gilt. Es ist sinnvoll, Wärmebrücken bereits bei der Planung zu umgehen oder diese zusätzlich zu dämmen. Der statisch notwendige Holzanteil bei einer Bauteilkonstruktion ist zu minimieren, da schon der Einsatz von Holz gegenüber Dämmstoffen eine Wärmebrücke darstellt.

## Luftdichtheit

Der  $n_{50}$ -Grenzwert beim Passivhaus liegt bei 0,6 pro Stunde, jedoch sind bei Passivhäusern  $n_{50}$ -Werte von 0,3 1/h anzustreben (näheres zum  $n_{50}$ -Wert und dessen Ermittlung siehe Kapitel 10.4). Durchdringungen der luftdichten Ebene sollten unbedingt vermieden werden. Falls solche doch erforderlich werden, sind diese sorgfältig zu planen und zu kontrollieren.

Die **Lufterneuerung** hat ausschließlich über eine Lüftungsanlage zu erfolgen. Die Fenster sollten nur zur Abkühlung im Sommer in Form einer nächtlichen Querlüftung des Gebäudes geöffnet werden.

Die bei Passivhäusern vorzusehende **Lüftungsanlage** beinhaltet eine **Wärmerückgewinnung**. Hierbei wird warme Abluft an der kalten Frischluft vorbeigeleitet und durch einen Wärmetauscher wird die Wärme der Abluft zu 90 bis 95 % auf die Frischluft übertragen.

Die Ansaugung von Frischluft erfolgt in der Regel durch einen Erdwärmetauscher. Ein Erdwärmetauscher hat den Vorteil, dass im Winter bereits durch das Erdreich gering vorgewärmte und frostfreie Luft angesaugt wird.

Die **Kompaktheit eines Gebäudes** ist für ein Passivhaus von Bedeutung da durch eine möglichst kleine Oberfläche weniger Wärme an die Umgebung abgegeben wird. Durch das **A/V-Verhältnis** der einhüllenden Gebäudeoberfläche  $A$  [ $m^2$ ] zu dem umbauten Volumen  $V$  [ $m^3$ ] wird die Kompaktheit eines Gebäudes definiert. Dieses A/V-Verhältnis sollte möglichst gering gehalten werden.

## Heizung

Um in einem Passivhaus konstant angenehme Temperaturen erhalten zu können, ist eine Nacherwärmung der Zuluft in der Regel völlig ausreichend, da bei Passivhäusern eine maximale Heizlast von  $10 \text{ W} / \text{m}^2$  entsteht. Die Nacherwärmung der Zuluft erfolgt durch ein Luftheizregister, das an die Lüftungsanlage angeschlossen ist. Alternativ kann eine Heizung durch Kompaktaggregate mit integrierter Wärmepumpe vorgesehen werden, die gleichzeitig Zuluft und Warmwasser erwärmt.

## Qualitätssicherung und Zertifizierung

Zur Einhaltung des Passivhausstandards müssen eine genaue und umfassende Planung und eine einwandfreie handwerkliche Ausführung erfolgen. Eine Qualitätssicherung setzt sich aus der Entwurfsplanung mit der Passivhaus Vorprojektierung PHPP, der Detailplanung mit dem Passivhaus Projektierungspaket PHPP und der Qualitätssicherung an der Baustelle zusammen. Das PHPP beschreibt hier die Heizenergiebilanz nach EN 832 [17].

Abschließend wird in folgender Tabelle die Wärmeschutzentwicklung zum Passivhaus hin dargestellt:

Vergleichskriterien	Altbauten nach der Wärmeschutz-VO 1977	Bauweise nach der Wärmeschutz-VO 1995	Niedrigenergiehaus nach der Energieeinspar-VO 2002	Passivhaus
U-Werte für Außenwände	1,4 W/(m <sup>2</sup> * K)	0,8 bis 0,6 W/(m <sup>2</sup> * K)	0,4 bis 0,2 W/(m <sup>2</sup> * K)	< 0,15 W/(m <sup>2</sup> * K)
Dach und oberste Geschossdecke	0,9 W/(m <sup>2</sup> * K)	0,5 bis 0,3 W/(m <sup>2</sup> * K)	0,2 bis 0,15 W/(m <sup>2</sup> * K)	< 0,10 W/(m <sup>2</sup> * K)
Kellerdecke	0,8 W/(m <sup>2</sup> * K)	0,7 bis 0,55 W/(m <sup>2</sup> * K)	0,4 bis 0,3 W/(m <sup>2</sup> * K)	< 0,25 W/(m <sup>2</sup> * K)
Fenster	Einfach- und Doppelfenster 5,2 W/(m <sup>2</sup> * K)	Isolierverglasung 1,8 bis 3,1 W/(m <sup>2</sup> * K)	2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung 1,3 W/(m <sup>2</sup> * K)	3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung < 0,7 W/(m <sup>2</sup> * K)
Lüftung	geringe Anforderungen	Fensterfugenlüftung	Mech. Abluft-Lüftungsanlage	Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
Solare und interne Wärmegewinne	nicht wirksam	teilweise wirksam	wirksam, reicht noch nicht aus	sehr wirksam
Heizung	groß	kleiner	klein, leicht regelbar	keine
Maximaler Jahres-Heizwärmeverbrauch	280 bis 180 kWh/m <sup>2</sup> * a	100 bis 54 kWh/m <sup>2</sup> * a	70 bis 50 kWh/m <sup>2</sup> * a	< 15 kWh/m <sup>2</sup> * a
Geforderter Nachweis	Maximaler mittlerer k-Wert (k <sub>m</sub> )	Maximaler Jahres-Heizwärmebedarf Q <sub>h</sub>	Maximaler Jahres-Primärenergie-Bedarf Q <sub>p</sub>	-
Heizölverbrauch	18 - 13 l/m <sup>2</sup> * a	9 l/m <sup>2</sup> * a	5 - 4 l/m <sup>2</sup> * a	Energieverbrauch 1,5 l/m <sup>2</sup> * a

Tab. 1 Entwicklung des Wärmeschutzes vom Altbau zum Passivhaus [18]

## 9.2 U-Wert Berechnung des Moduls

Wie bereits im Kapitel 9.1 erwähnt, darf der U-Wert eines Passivhauses 0,15 W/(m<sup>2</sup> / \* K) nicht überschreiten und sollte eher unter diesem Wert liegen. In diesem Kapitel wird der U-Wert der Außenwand berechnet und damit untersucht, ob eine Einstufung zum Passivhaus in Bezug auf die Außenwand erreicht ist.

Der **Wärmedurchgangskoeffizient U**, auch U-Wert genannt, gibt die Wärmemenge in J/s (=W) an, die durch 1 m<sup>2</sup> eines Bauteils bei 1 Kelvin Temperaturunterschied von der warmen Raumluft zur kalten Außenluft oder im Sommer von der warmen Außenluft zur kühlen zur kühlen Raumluft hindurchgeht [20].

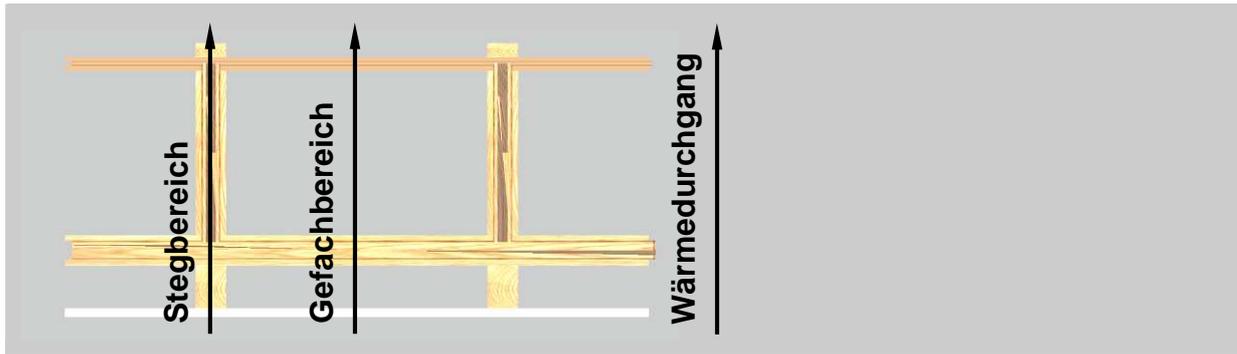


Abb. 21 Draufsicht eines Moduls

**Wärmeberechnung des oberen Grenzwertes des U-Wertes**

Um den U-Wert eines Bauteiles berechnen zu können, sind verschiedene Teilrechnungen über verschiedene Kennzahlen nötig. Diese Teilrechnungen sind in folgender Tabelle zur besseren Übersicht zusammengefasst und werden anschließend genauer erklärt.

Aufbau	Dicke	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$	Wärmedurchlasswiderstand R der Schichten	
	m		$W / (m \cdot K)$	$m^2 \cdot K / W$
			Gefache	2 Stege
Holzschalung	0,019	0,130		
Luftschicht (belüftet)	0,019			
Holzfaserverplatte	0,019	0,050	0,38	0,38
Holzstege Mitte	0,249	0,130		1,91
Zellulose-Flocken	0,249	0,040	6,21	
Holz-Dreischiehtplatte	0,042	0,130	0,32	0,32
Holzstege innen	0,040	0,130		0,31
Zellulose-Matten	0,040	0,035	1,14	
Gipsfaserverplatte	0,013	0,210	0,06	0,06
Gesamtdicke	0,400			
<b>Wärmedurchlasswiderstand</b>	R	$m^2 \cdot K / W$	8,12	2,98
<b>Wärmeübergangswiderstand</b>	$R_s$			
innen	$R_{si}$	$m^2 \cdot K / W$	0,13	0,13
außen	$R_{se}$	$m^2 \cdot K / W$	0,08	0,08
<b>Wärmedurchgangswiderstand</b>	$R_t$	$m^2 \cdot K / W$	8,33	3,19
<b>Wärmedurchgangskoeffizient</b>	U	$W / (m^2 \cdot K)$	0,12	0,31
Flächenanteile		%	89,50	10,50
<b>Wärmedurchgangskoeffizient</b>	U	$W / (m^2 \cdot K)$	0,140	
<b>Wärmedurchlasswiderstand</b>	$R_T'$	$m^2 \cdot K / W$	7,579	

Tab. 2 Berechnung des Wärmedurchlasswiderstandes nach DIN 4108

Der **Wärmedurchlasswiderstand R** von mehrschichtigen Bauteilen setzt sich aus der Summe der einzelnen Widerstände von Bauteilen gegen den Durchgang von Wärme zusammen. Je größer der Wärmedurchlasswiderstand ist, desto mehr Wärme kann durch ein Bauteil abwandern. Rechnerisch wird eine Bauteilschicht ermittelt, indem man die Dicke  $d$  durch die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  eines Bauteilstoffes dividiert. Indem man die einzelnen Bauteilschichten addiert, erhält man den Wärmedurchlasswiderstand.

$$\text{Wärmedurchlasswiderstand } R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_n}{\lambda_n} \left[ \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right]$$

Berechnung der Wärmedurchlasswiderstände des Außenwand-Moduls:

$$\text{Wärmedurchlasswiderstand } R_{\text{TGefach}} = \frac{0,019}{0,050} + \frac{0,249}{0,040} + \frac{0,042}{0,130} + \frac{0,040}{0,035} + \frac{0,0125}{0,210} = 8,12$$

$$\text{Wärmedurchlasswiderstand } R_{\text{TStege}} = \frac{0,019}{0,050} + \frac{0,249}{0,130} + \frac{0,042}{0,130} + \frac{0,040}{0,130} + \frac{0,013}{0,210} = 2,98$$

Die **Wärmeübergangswiderstände**  $R_{\text{si}}$  und  $R_{\text{se}}$  drücken die Temperaturunterschiede zwischen Bauteiloberfläche und angrenzender Luft aus.  $R_{\text{si}}$  kennzeichnet dabei den Wärmeübergang an der Bauteilinnenseite,  $R_{\text{se}}$  bezeichnet den an der Außenseite des Bauteils.

Da in unserem Fall eine Außenwand mit hinterlüfteter Außenhaut vorhanden ist, wird aufgrund der DIN V 4108-4 mit einem  $R_{\text{si}}$  von 0,13 und einem  $R_{\text{se}}$  von 0,08 gerechnet [19].

Den **Wärmedurchgangswiderstand**  $R_{\text{T}}$  erhält man, indem man die Wärmeübergangswiderstände  $R_{\text{si}}$  und  $R_{\text{se}}$  zum Wärmedurchlasswiderstand  $R$  (von Oberfläche zu Oberfläche eines Bauteils) addiert. Er berechnet sich wie folgt:

$$R_{\text{T}} = R + R_{\text{si}} + R_{\text{se}} \left[ \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right]$$

$$R_{\text{TGefach}} = 8,12 + 0,13 + 0,08 = 8,33$$

$$R_{\text{TStege}} = 2,98 + 0,13 + 0,08 = 3,19$$

Der **Wärmedurchgangskoeffizient**  $U$  (U-Wert) ist der Kehrwert des Wärmedurchgangswiderstandes  $R_{\text{T}}$ .

$$\text{Wärmedurchgangskoeffizient } U = \frac{1}{R + R_{\text{si}} + R_{\text{se}}} = \frac{1}{R_{\text{T}}} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$$

$$U_{\text{Gefach}} = \frac{1}{R_{\text{T}}} = \frac{1}{8,33} = 0,12 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$$

$$U_{\text{Stege}} = \frac{1}{R_{\text{T}}} = \frac{1}{3,19} = 0,31 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$$

Da das Modul aus mehreren nebeneinander liegenden Bereichen mit verschiedenen Wärmedurchgangskoeffizienten  $U_1, U_2, U_n$  besteht, wird entsprechend ihren Flächenanteilen der **gemittelte Wärmedurchgangskoeffizient  $U$**  nach folgender Gleichung errechnet:

$$U = \frac{U_1 \cdot A_1 + U_2 \cdot A_2 + U_n \cdot A_n}{A}$$

Die Maße des Standardmoduls betragen 800 mm \* 395 mm. Die 2 Stege mit einem Stirnmaß von 42 mm \* 395 mm sind als Flächenanteil der Stege zu berücksichtigen.

$$U = \frac{0,12 \cdot 716 \text{ mm} \cdot 395 \text{ mm} + 0,31 \cdot 2\text{Stege} \cdot 42 \text{ mm} \cdot 395 \text{ mm}}{800 \text{ mm} \cdot 395 \text{ mm}} = 0,140 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$$

Der gemittelte Wärmedurchlasswiderstand ergibt sich durch die Gleichung:

$$R = \frac{1}{U} \left[ \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right]$$

$$R = \frac{1}{0,140} = \underline{\underline{7,579}} \left[ \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right]$$

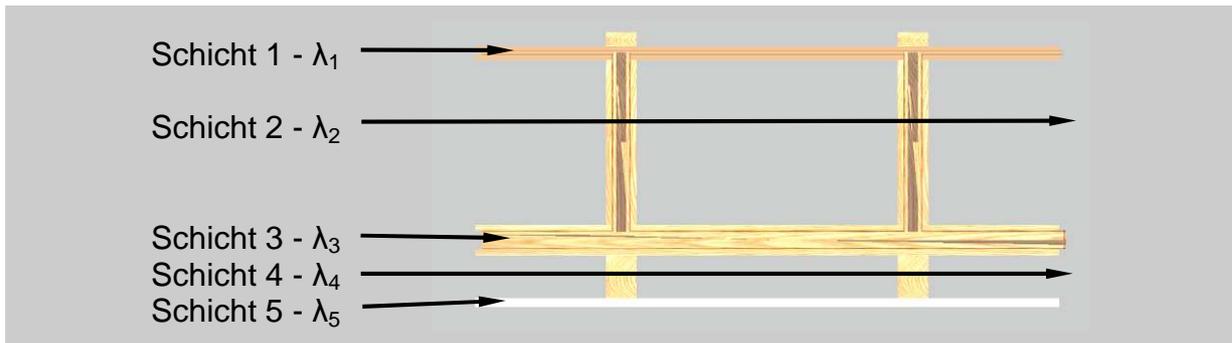
Dieser Wärmedurchlasswiderstand ist das Ergebnis der Berechnung nach DIN 4108. Diese Berechnung ist aber seit Einführung der EnEV im Jahre 2002 nur noch bei Gebäuden mit einem Volumen kleiner 100 m<sup>3</sup> anwendbar. Die Berechnung von inhomogenen Bauteilen (z.B. Module) hat sich mit der Einführung der DIN EN ISO 6946 geändert. Während nach DIN 4108 Teil 5 der Wärmedurchgangskoeffizient für Bauteile mit inhomogenen Bereichen als flächengewichteter Mittelwert (wie zuvor berechnet) berechnet wurde, sind jetzt oberer und unterer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes  $R_T'$  und  $R_T''$  zu berechnen und aus deren Mittelung ergibt sich der U-Wert.

Der zuvor errechnete Wärmedurchlasswiderstand  $R$  entspricht dem **oberen Grenzwert**, es ist also  **$R_T' = 7,579$** .

Die Berechnung des **unteren Grenzwertes  $R_T''$**  entspricht grob der Berechnung des Wärmedurchgangswiderstandes  $R_T$  bei der vorangegangenen Berechnung des oberen Grenzwertes.

$$\text{Unterer Grenzwert } R_T'' = R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_n}{\lambda_n} + R_{se} \left[ \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right]$$

Jedoch muss hier die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  bereits mit den Flächenanteilen der einzelnen Schichten verrechnet werden.



$$\lambda_1 = 0,045$$

$$\lambda_2 = \frac{0,040 * 718 \text{ mm} * 395 \text{ mm} + 0,130 * 42 \text{ mm} * 2 \text{ Stege} * 395 \text{ mm}}{800 \text{ mm} * 395 \text{ mm}} = 0,050$$

$$\lambda_3 = 0,130$$

$$\lambda_4 = \frac{0,040 * 718 \text{ mm} * 395 \text{ mm} + 0,130 * 42 \text{ mm} * 2 \text{ Stege} * 395 \text{ mm}}{800 \text{ mm} * 395 \text{ mm}} = 0,050$$

$$\lambda_5 = 0,210$$

$$\Lambda_n \text{ in } \frac{\text{W}}{\text{m} * \text{K}}$$

$$R_{T''} = 0,13 + \frac{0,019}{0,045} + \frac{0,249}{0,050} + \frac{0,042}{0,130} + \frac{0,04}{0,05} + \frac{0,0125}{0,210} + 0,08 \left[ \frac{\text{m}^2 * \text{K}}{\text{W}} \right]$$

$$R_{T''} = \mathbf{6,794} \left[ \frac{\text{m}^2 * \text{K}}{\text{W}} \right]$$

Die Mittelung des oberen Grenzwertes  $R_{T'}$  und des unteren Grenzwertes  $R_{T''}$  erfolgt nun mit folgender Gleichung:

$$\text{Wärmedurchlasswiderstand } R_{T_{\text{ges}}} = \frac{R_{T'} + R_{T''}}{2} \left[ \frac{\text{m}^2 * \text{K}}{\text{W}} \right]$$

$$R_{T_{\text{ges}}} = \frac{7,579 + 6,794}{2} \left[ \frac{\text{m}^2 * \text{K}}{\text{W}} \right]$$

$$R_{T_{\text{ges}}} = \mathbf{7,1865} \left[ \frac{\text{m}^2 * \text{K}}{\text{W}} \right]$$

Man erhält nun den **gesamten U-Wert** durch:

$$U_{\text{ges}} = \frac{1}{R_{T_{\text{ges}}}} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$$

$$U_{\text{ges}} = \frac{1}{7,1865} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$$

$$U_{\text{ges}} = 0,139 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$$

### 9.3 Werden die Anforderungen an den Wärmeschutz erfüllt?

Ein U-Wert von  $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  war zu erreichen, um eine Einstufung zum Passivhaus was die Außenwand angeht, vornehmen zu können. Durch den  $U_{\text{ges}}$ -Wert von  $0,139 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  ist diese Anforderung an den Wärmeschutz erreicht.

## **10 Feuchteschutz**

Feuchteschutz im Hochbau ist notwendig, um einen ausreichenden Wärmeschutz gewährleisten zu können. Wasser leitet Wärme 25-mal besser als Luft und so wird durch Feuchteinwirkung der Wärmeschutz erheblich beeinträchtigt.

Die tragende Konstruktion eines Gebäudes kann nur dauerhaft tragend bleiben, wenn sie nicht übermäßig durch Feuchtigkeit geschädigt wird. Durch Feuchtigkeit, die über Jahre in einer Wandkonstruktion bleibt, kann Stahl rosten, Holz faulen und Steine verwittern. Durch fehlenden Feuchteschutz können auch Verluste an Wohnqualität eintreten wenn feuchte Dämmungen mit Schimmel befallen werden und so unangenehme Gerüche und Krankheitsrisiken mit sich bringen.

Es gibt verschiedene Arten wie Feuchtigkeit in eine Konstruktion gelangen kann:

- Baufeuchte
- Niederschlagswasser und Undichtheiten
- Tauwasserbildung auf Bauteiloberflächen
- Durchfeuchtung eines Bauteil mangels Abdichtung
- Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen

Diese verschiedenen Arten sollen nun in den folgenden Kapiteln näher erläutert und dieses Baukastensystems auf die Erfüllung der jeweiligen Anforderungen überprüft werden.

### **10.1 Baufeuchte**

Baufeuchte ist die bei der Herstellung eines Bauwerkes notwendige Menge an Wasser, die in den eingebauten Bauteilen vorhanden ist. Bei Holzhäusern ist im Gegensatz zu Massivhäusern die Menge an Feuchtigkeit, die durch diesen Vorgang eingebracht wird, meistens zu vernachlässigen, wenn vorgetrocknetes Holz verwendet wird.

Bei diesem System werden ausschließlich Plattenwerkstoffe und vorgetrocknete Hölzer verwendet. Außerdem sind „trockene“ Fußbodenaufbauten vorgesehen. Somit sind in Bezug auf Baufeuchte keine Probleme zu erwarten.

### **10.2 Niederschlagswasser**

Der Feuchteintrag durch Niederschlagswasser in die Konstruktion muss durch geeignete Abdichtungselemente verhindert werden. Bei ungewolltem Eindringen von Niederschlagswasser in die Konstruktion muss sichergestellt werden, dass die Feuchtigkeit aus der Konstruktion entweichen kann. Das Eindringen von Feuchtigkeit durch Undichtheiten in den Installationsleitungen oder sonstigen Einrichtungsgegenständen kann nie ganz ausgeschlossen werden. Die gewählten Konstruktionen sollen eine Entdeckung der Leckstellen schnell ermöglichen und andererseits das Entweichen der Feuchtigkeit nicht zu stark behindern.

Bei dieser Konstruktion wird ein Eindringen von Niederschlagswasser durch die vorgehängte Außenschalung je nach Art ihrer Ausführung fast vollständig verhindert. Sollte trotzdem Wasser durch die Außenschalung dringen, besitzt das äußere Element durch die Ausführung als DHF-Platte trotz der Diffusionsoffenheit der Platte eine wasserabweisende Oberfläche.

### 10.3 Tauwasserbildung auf Bauteiloberflächen

Auf Oberflächen von Bauteilen kann eine Oberflächenkondensation, d.h. Bildung von Tau- oder Schwitzwasser stattfinden. Dabei unterschreitet die innere Oberflächentemperatur der Außen-Bauteile die Grenztemperatur der Raumluft und Kondenswasser fällt an der Oberfläche aus.

Zur Verhinderung von Oberflächenkondensat genügt eine entsprechend gute Wärmedämmung der Außenbauteile. Wenn der Mindestwärmeschutz nach DIN 4108 eingehalten wird, tritt eine Oberflächenkondensation in der Regel nicht auf.

Durch die sehr gute Wärmedämmung bei dieser Konstruktion, die den Mindestwärmeschutz nach DIN 4108 bei weitem übertrifft, ist die Gefahr einer Oberflächenkondensation daher fast auszuschließen.

### 10.4 Durchfeuchtung eines Bauteil mangels Abdichtung

Luft transportiert Feuchtigkeit. Warme Raumluft bei 20°C und 50 % rel. Luftfeuchte enthält etwa 7,3 g Wasserdampf pro kg Luft. Der Luftstrom durch eine 1 mm breite Fuge (bei einer Druckdifferenz von nur 2 Pa) transportiert rund 360 g Wasser pro Tag und Meter Fugenlänge nach außen durch das Bauteil (siehe Abb. 22). Die Menge Wasserdampf, die über Diffusion durch das Bauteil transportiert wird, ist dagegen 10-mal geringer.

Der Feuchtetransport mittels einer Luftströmung wird als **Konvektion** bezeichnet.

**Diffusion** bezeichnet den Feuchtetransport durch geschlossene Bauteilflächen infolge unterschiedlicher Dampfteildrücke auf beiden Wandseiten. Es erfolgt ein langsamer Feuchteintrag mit geringen Feuchtigkeitsmengen. [21]

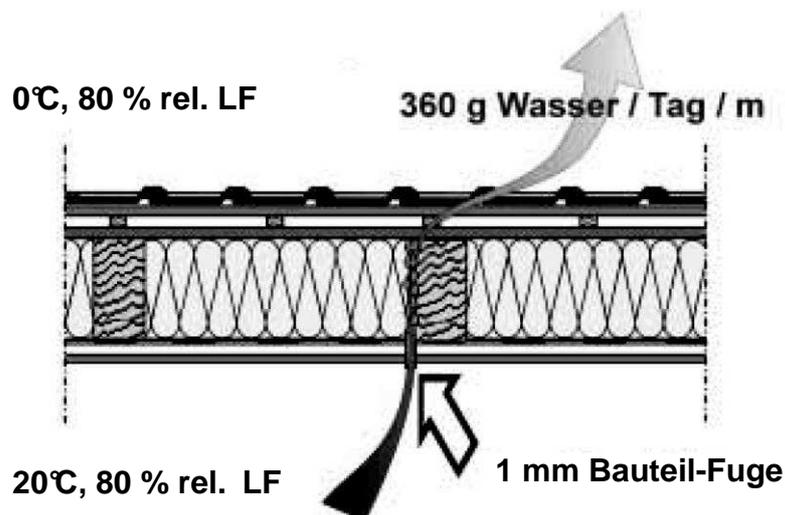


Abb. 22 Luftströmung aufgrund von Konvektion durch Fugen

Die Luftdichtheit eines Gebäudes oder einer Wohnung wird bei einem so genannten **Blower-Door-Test** ermittelt. Dazu wird ein Gebläse in eine Öffnung, z.B. eine Tür oder ein Fenster eingebaut und alle anderen Öffnungen geschlossen. Mit dem Gebläse wird in der Wohnung ein kleiner Über- oder Unterdruck von 50 Pa erzeugt. Gleichzeitig wird der Luftvolumenstrom [ $\text{m}^3 / \text{h}$ ] gemessen, der bei dieser Druckdifferenz vom Gebläse gefördert wird. So entsteht auf Grundlage von DIN 13829 der so genannte **n<sub>50</sub>-Wert [ $1 / \text{n}$ ]**, der den Luftwechsel einer Wohnung bei 50 Pa Druckdifferenz angibt.

Bei Passivhäusern darf ein n<sub>50</sub>-Grenzwert von 0,6 1/h nicht überschritten werden. Mangelhafte Luftdichtung kann als verdeckter Mangel beurteilt werden, für den im Fall von Organisationsverschulden bis zu 30 Jahre gehaftet werden muss.

Die Luftdichtung der Außenwand muss bei diesem System dem beschriebenen Blower-Door-Test unterzogen werden, um eine Einhaltung des n<sub>50</sub>-Grenzwertes für Passivhäuser zu überprüfen.

Es kann aber angenommen werden, dass eine ausreichende Luftdichtung vorhanden ist. Bei diesem System ist eine Fugenbildung durch die Verwendung der Nut- und Federverbindungen gegenüber einer stumpfen Verbindung stark erschwert. Zusätzlich ist in die Nut- und Federverbindung des äußeren Elements des Außenwand-Moduls eine Dichtung eingebracht, welche aus dauerelastischem Material besteht und daher eine dauerhafte Dichtung darstellt. Als Dichtung wird das komprimiertes Fugendichtband BG 1 der Firma Haefele verwendet (siehe Anlage A7).

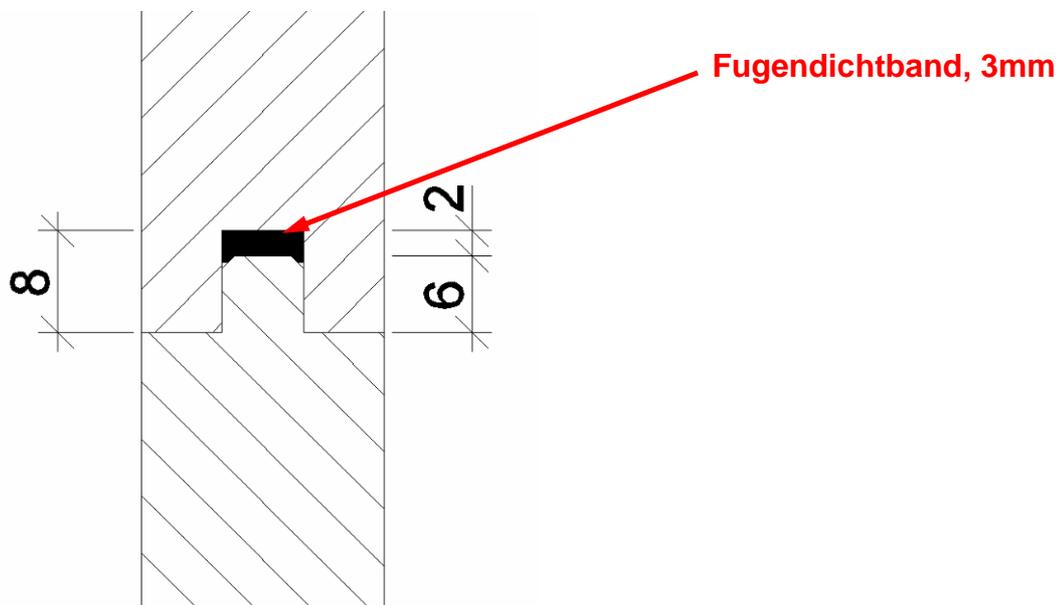


Abb. 23 Fugendichtband in Nut

Durch diese Dichtung ergibt sich eine luftdichte Ebene an der Außenseite der Wand. Somit ist die Wand gegen Feuchtigkeitseintritt von außen in Form von Konvektion geschützt.

## 10.5 Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen

Die DIN 4108 ermöglicht den Nachweis auf Eignung der Konstruktion hinsichtlich des Feuchteschutzes auf zwei Arten. Sie gibt Bauteile an für die **kein rechnerischer Nachweis** erforderlich ist. Hierbei ist zu beachten, dass es gegenwärtig wenig Holzkonstruktionen gibt, die als nachweisfrei gelten. Es erfolgt aber momentan eine Überarbeitung des Teils der DIN, der den klimabedingten Feuchtschutz behandelt, da in den vergangenen Jahren viele Neuentwicklungen im Holzbau zu verzeichnen sind.

Für alle anderen, nicht nachweisfreien Konstruktionen, ist ein **rechnerischer Nachweis** der Tauwassermasse nach DIN 4108-5 durchzuführen. Die rechnerische Tauwassermasse muss dann folgende Anforderungen erfüllen:

### Anforderungen nach DIN 4108-3:

- Das während der Tauperiode im Inneren des Bauteils anfallende Wasser muss während der Verdunstungsperiode wieder an die Umgebung abgegeben werden können.
- Die Baustoffe, die mit Tauwasser in Berührung kommen, dürfen nicht geschädigt werden (z.B. durch Korrosion, Pilzbefall).
- Bei Dach und Wandkonstruktionen darf eine Tauwassermasse von insgesamt  $1,0 \text{ kg/m}^2$  nicht überschritten werden
- Tritt Tauwasser an Berührungsflächen kapillar nicht wasseraufnahmefähiger Schichten (z.B. Glas an Holz) auf, so darf zur Begrenzung des Ablaufens und des Abtropfens des Wassers eine Tauwassermasse von  $0,5 \text{ kg/m}^2$  nicht überschritten werden.
- Bei Holz ist eine Erhöhung des massebezogenen Feuchtegehaltes um mehr als 5%, bei Holzwerkstoffen um mehr als 3% unzulässig.

### 10.5.1 Verhinderung der Tauwasserbildung

Die Kondensation von Wasserdampf im Innern eines Bauteils hängt vor allem ab von:

- dem Wärmeleitvermögen und von der Wasserdampfdurchlässigkeit der verwendeten Werkstoffe
- vom Temperaturunterschied zwischen Raumluft und Außenluft
- von der Reihenfolge der Schichtung der Elemente innerhalb eines Bauteils.

Um einen sinnvollen und richtigen Schichtaufbau zu erreichen müssen die dampfdichteren Baustoffe auf der warmen Seite des Bauteils, also auf der Seite mit dem höheren Dampfdruck und die dampfdurchlässigeren Baustoffe auf der kalten Seite des Bauteils mit dem niedrigeren Dampfdruck angeordnet werden.

Dadurch wird erreicht, dass auf der wärmeren Seite nicht mehr Wasserdampf in das Bauteil kommen kann als auf der anderen Seite entweichen kann.

Um nun zu prüfen, welche Schichten die dampfdichteren Schichten sind, müssen die  $s_d$  - Werte der einzelnen Schichten ermittelt werden.

Der  $s_d$  - Wert beschreibt die diffusionsäquivalente Luftschichtdicke. Diese wird aus der Dicke  $d$  der Baustoffschicht und seiner Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl  $\mu$  errechnet.

$$s_d = \mu * d \text{ [m]}$$

### Werte der verwendeten Elemente:

Gipskartonplatte	$d = 12,5 \text{ mm}$	$\mu = 8 \text{ m}$
Isofloc-Dämmmatte	$d = 40 \text{ mm}$	$\mu = 1 \text{ m}$
3S - Platte	$d = 42 \text{ mm}$	$\mu = 100 \text{ m}$
Isofloc	$d = 249 \text{ mm}$	$\mu = 1 \text{ m}$
DHF - Platte	$d = 19 \text{ mm}$	$\mu = 11 \text{ m}$

### Berechnung:

Gipskartonplatte	$s_d = \mu * d = 8 * 0,0125 \text{ m} = 0,10 \text{ m}$
Isofloc-Dämmmatte	$= 1 * 0,040 \text{ m} = 0,04 \text{ m}$
3S - Platte	$= 100 * 0,042 \text{ m} = 4,20 \text{ m}$
Isofloc	$= 1 * 0,249 \text{ m} = 0,25 \text{ m}$
DHF - Platte	$= 11 * 0,019 \text{ m} = 0,21 \text{ m}$

Wenn man nun nur die Schichten des Moduls betrachtet, wird ersichtlich, dass die Anordnung richtig erfolgt ist. Das dampfdichteste Element, also das mit dem größten  $s_d$  - Wert, befindet sich auf der warmen Seite des Schichtaufbaus. Nach außen bis zur DHF - Platte nimmt die Dampfdichte der Schichten ab, wodurch eingedrungener Wasserdampf schnell wieder entweichen kann.

Nun wird noch untersucht, in welchem Maße dieses System diffusionsoffen ist.

Bei einer Bauteilschicht spricht man von einer

- diffusionsoffenen Schicht	bei	$s_d \leq 0,5 \text{ m}$
- diffusionshemmenden Schicht	bei $0,5 \text{ m} <$	$s_d < 1500 \text{ m}$
- diffusionsdichten Schicht	bei	$s_d \geq 1500 \text{ m}$

Hierzu addiert man alle berechneten  $s_d$  - Werte des gesamten Wandaufbaus und erhält:

$$0,10 \text{ m} + 0,04 \text{ m} + 4,20 \text{ m} + 0,25 \text{ m} + 0,21 \text{ m} = 4,80 \text{ m}$$

Da dieser ermittelte  $s_d$ -Wert mit 4,80 m über 0,5 m liegt, ist die Außenwand dieses Baukastensystems als diffusionshemmend einzustufen.

Wie aus den einzelnen Werten ersichtlich ist, wäre eine diffusionsoffene Bauweise mit diesen Dämmdicken bei Passivhäusern überhaupt nicht möglich. Somit stellt der nahe an der Diffusionsoffenheit liegende Wert einen zufrieden stellenden Wert dar.

## 10.5.2 Ermittlung des Tauwasserausfalls

Nun soll untersucht werden, ob ein Tauwasserausfall in der Wand dieses Systems möglich ist. Ein Tauwasserausfall könnte eine Gefahr für die Konstruktion bedeuten, da der Wärmeschutz herabgesetzt würde und die Standsicherheit auf Dauer beeinträchtigt werden könnte. Tauwasserausfall in geringen Mengen ist allerdings unbedenklich, solange in der Konstruktion keine Schäden entstehen können und das eindiffundierte Wasser während der warmen Jahreszeit wieder verdunsten und nach außen abwandern kann. Dies ist nach DIN 4108 geregelt, die eine Berechnung des anfallenden Kondenswassers vorschreibt, wenn ein Tauwasserausfall vorhanden ist.

Mit dem so genannten Glaser-Verfahren kann untersucht werden, ob und in welchem Bauteilbereich ein Tauwasserausfall stattfinden wird. DIN 4108 gibt hierzu Randbedingungen für eine Berechnung nach diesem Verfahren vor. Es handelt sich hierbei um Klimabedingungen, welche Anhaltswerte für das Verfahren geben. Bei dem Glaser-Verfahren handelt es sich um ein graphisches Verfahren welches hier mit einem Glaser-Programm berechnet wurde.

In nachfolgenden Abbildungen ist dieses grafische Verfahren dargestellt. Hierbei sind auf der linken Seite die Dampfdruckskala und auf der rechten Seite die Temperaturskala aufgezeigt. Die obere Kurve der Abbildungen stellt den Temperaturverlauf in den einzelnen Schichten dar. Während in Abb. 24 der Temperaturverlauf in den Schichten gemäß ihrer einzelnen Dicke dargestellt wird, wird in Abb. 25 der Temperaturverlauf gemäß der äquivalenten Luftschichtdicke dargestellt.

Die mittlere Kurve beschreibt die maximalen Dampfteildrücke bei unterschiedlichen Temperaturen. Sinkt die Temperatur, so sinkt auch der maximale Dampfdruck. Er wird auch als Wasserdampfsättigungsdruck bezeichnet. Die untere Kurve beschreibt den tatsächlich vorhandenen Dampfteildruck an der jeweiligen Stelle des Bauteils. Sollte der tatsächliche Dampfteildruck an den Wasserdampfsättigungsdruck heranreichen, würde Tauwasser ausfallen. Dies würde an der Stelle geschehen, an der sich untere und mittlere Kurve berühren. Es ist hierbei möglich, dass es ein Taupunkt, zwei Taupunkte oder eine Tauwasserbildung in einem Bauteilbereich gibt.

Wie aus beiden Abbildungen ersichtlich wird, berühren sich die mittlere und untere Kurve nicht und somit findet kein Tauwasserausfall statt.

Somit ist, wie eingehend beschrieben, keine Berechnung der Tauwassermenge im Winter und der Verdunstungsmenge im Sommer nötig.

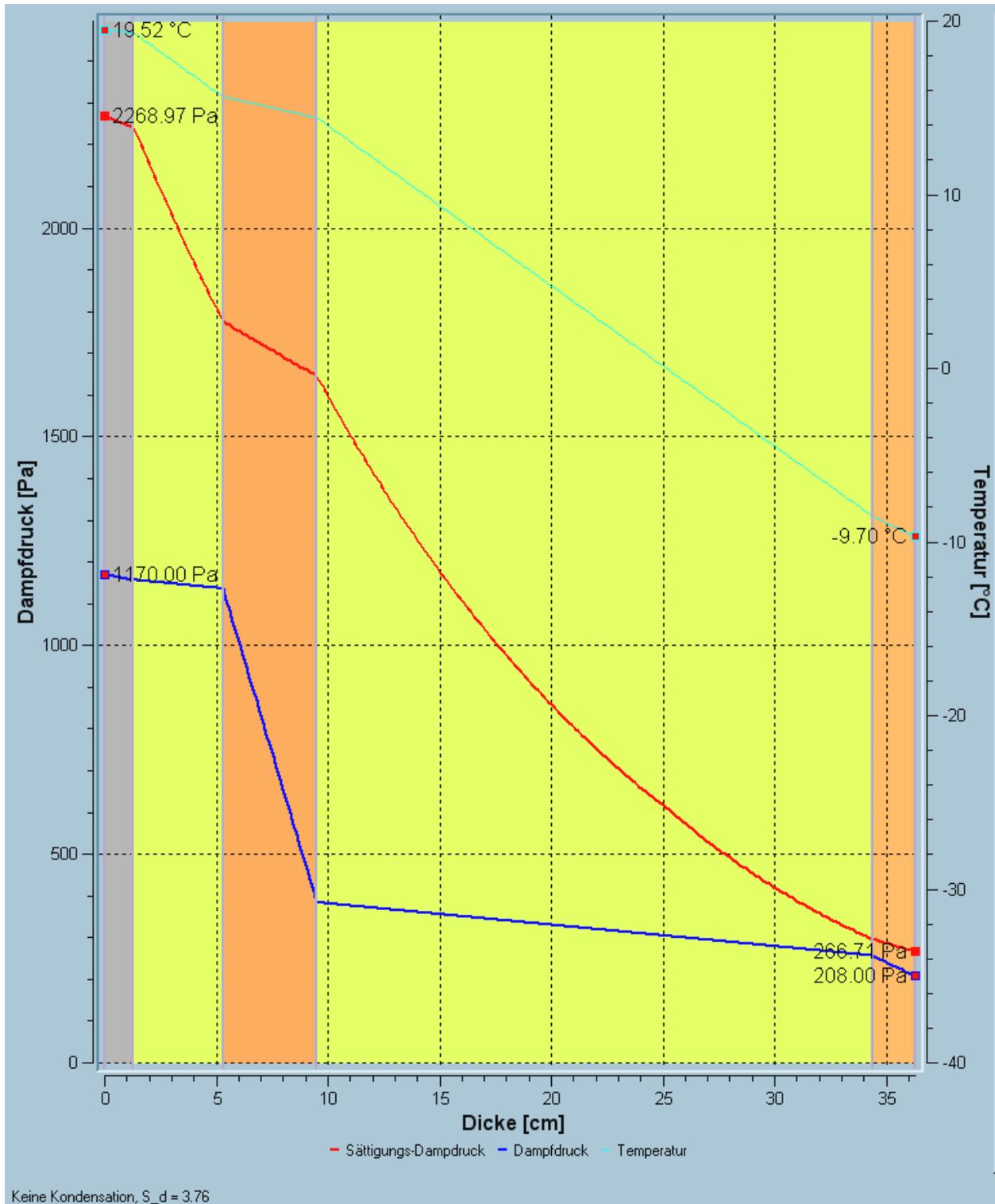


Abb. 24 Glaser-Verfahren mit Darstellung entsprechend der Schichtdicke

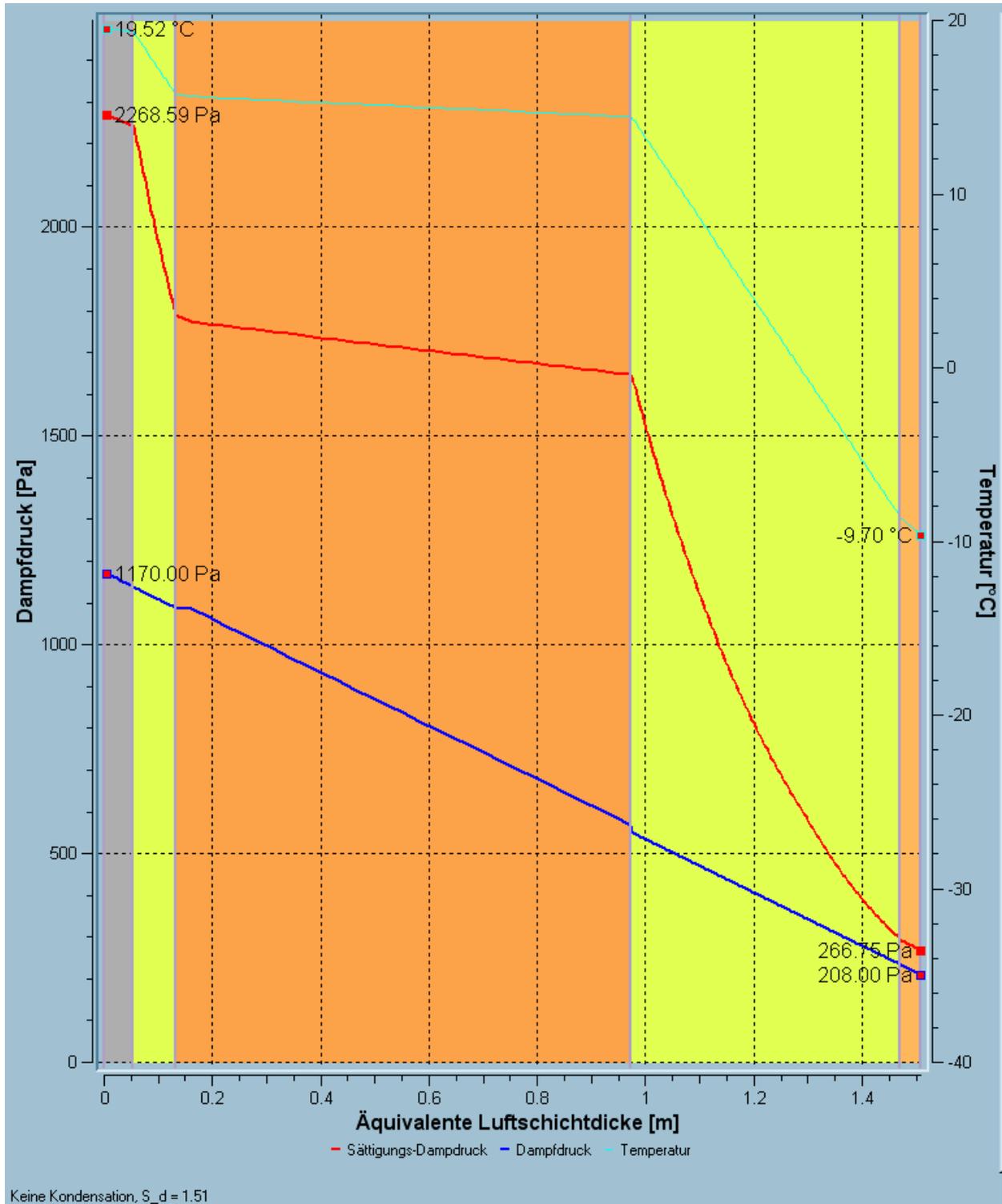


Abb. 25 Glaser-Verfahren mit Darstellung entsprechend der äquivalenten Luftschichtdicke

## 10.6 Maßnahmen zum Feuchteschutz

Um den Feuchteschutz bei diesem Baukastensystem zu gewährleisten, sind bereits bei der Planung dieses Systems folgende Maßnahmen getroffen worden:

- Bei diesem System werden ausschließlich Holzprodukte verwendet. Holz kann sehr viel Feuchtigkeit aufnehmen und speichern ohne durch diese Feuchtigkeitzunahme gefährdet zu werden. Diese Eigenschaft von Holz wird auch als Sorptionsfähigkeit bezeichnet. Holz kann bei einer Steigerung der Raumluftfeuchte von 50% auf 60% 5kg Wasser aufnehmen und auch wieder abgeben. Dadurch wirkt Holz ausgleichend auf den Feuchtehaushalt einer Konstruktion und wirkt den Feuchtigkeitsspitzen entgegen.
- Durch den Einsatz von Isofloc auf Zellulose-, also Holzbasis erhöht sich das Feuchtespeicherfähigkeitspotential nochmals. Dieses Potential kann aber nur dann genutzt werden, wenn die raumseitigen Oberflächen nicht zu dicht, also diffusionsoffen sind. Feuchtigkeit in zu großen Mengen in einer Konstruktion kann natürlich auch ein gut feuchtespeichernder Baustoff nicht ausgleichen. So ist eine dauernde Durchfeuchtung der Konstruktion auf jeden Fall zu vermeiden.
- Durch die Konstruktion der Außenwand mit einer Installationsschicht wird gewährleistet, dass das Element 3-S-Platte und somit die dampfbremsende Ebene nicht verletzt wird. Sollten doch Durchdringungen nötig sein, sind diese sorgfältig zu planen und auszuführen.

## 11 Brandschutz

Das Bausatzsystem soll nun auf seinen Brandschutz hin überprüft werden. Bei Brandschutz ist zwischen vorbeugendem und abwehrendem Brandschutz zu unterscheiden. Hier soll der vorbeugende Brandschutz behandelt werden, der bauliche Maßnahmen für eine erhöhte Brandsicherheit behandelt.

### 11.1 Gesetzliche Anforderungen

Brandschutztechnische Anforderungen sowohl an tragende als auch raumabschließende Bauteile werden in verschiedenen Sicherheitsvorschriften geregelt. Hierzu zählen die Landesbauordnung, die DIN 4102 -Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen- und die DIN 18230 -Baulicher Brandschutz im Industriebau.

Nach DIN 4102 unterscheidet man allgemein das Brandverhalten von Baustoffen und das Feuerwiderstandsverhalten von Bauteilen, die in der Regel aus mehreren Baustoffen zusammengesetzt sind. Weiter teilt die DIN 4102 Baustoffe bezüglich ihrer Brennbarkeit in bestimmte Baustoffklassen ein.

Baustoffklasse		Bauaufsichtliche Benennung	Kennzeichnung geprüfter Baustoffe
A		nichtbrennbare Stoffe	
	A1		DIN 4102 - A1
	A2		DIN 4102 - A2
B		brennbare Baustoffe	
	B1	schwer entflammbare Baustoffe	DIN 4102 - B1
	B2	normal entflammbare Baustoffe	DIN 4102 - B2
	B3	leicht entflammbare Baustoffe	DIN 4102 - B3 leicht entflammbar

Tab. 3 Einteilung, Benennung und Kennzeichnung von Baustoffen

### 11.2 Klassifizierung der verwendeten Materialien

Die Materialien des Systems werden nun auf ihre Baustoffklasse hin geprüft. Hierzu wurden die Daten aus den Datenblättern in der Anlage übernommen.

Bauteil	Verwendetes Material	Baustoffklasse
Außenwand	Rigipsplatte allgemein	DIN 4102 - A2
	Zellulose-Matten Isofloc	DIN 4102 - B2
	3-Schichtplatte VHP static	DIN 4102 - B2
	Zellulose-Flocken Isofloc	DIN 4102 - B2
	DHF-Platte Egger	DIN 4102 - B2
	TA/FI-Lattung innen/außen	DIN 4102 - B2
Schwellen, Rähme	Parallam Trus Joist	DIN 4102 - B2

Tab. 4 Baustoffklassen der verwendeten Materialien

Nach den Richtlinien für die Verwendung brennbarer Baustoffe im Hochbau müssen Wände die Mindestbaustoffklasse B2 aufweisen. Dies gilt auch für Außenwände, jedoch

nur bei Gebäuden bis 7m Höhe und bei nicht direkt angrenzenden Nachbargebäuden. Die Mindestbaustoffklasse ist nach Tab. 4 bei allen verwendeten Baustoffen erreicht.

Gemäß der Landesbauordnung bestehen weitere Brandschutzanforderungen an Wände und Decken. Im Allgemeinen werden nach der LBO bei Gebäuden bis 7m Höhe Wände und Decken mit F30 vorgeschrieben. F30 bezeichnet hierbei eine Feuerwiderstandsdauer von 30 Minuten, während der ein Bauteil bei der Brandprüfung die vorgegebenen Anforderungen erfüllt.

### **11.3 Prüfmethoden für eine Hauswand**

Um das System auf seine Brandbeständigkeit hin zu prüfen, wird es nötig sein, Brandversuche in einem Brandraum nach den Vorschriften der DIN 4102 durchzuführen. Für die Prüfung sind die Abmessungen der zu prüfenden Bauteile, die Luft- und Bauteilefeuchtigkeit, die Beanspruchung der Bauteile durch Lasten und der Temperaturverlauf im Brandraum vorgeschrieben. Der Brand wird hier künstlich nach einer bestimmten Temperaturkurve dem zu prüfenden Wandaufbau ausgesetzt. Der Brand wird ventilatorgesteuert überwacht und beeinflusst. Er wird hierbei so beeinflusst, dass der künstliche Brand möglichst realistisch zu einem echten Brand ist. Während des Brandes werden Beobachtungen -soweit möglich- durchgeführt und protokolliert. Außerdem werden durch Messeinrichtungen wie z.B. Temperaturfühler oder Gassensoren entsprechende Werte aufgezeichnet und nach dem Brandversuch ausgewertet. Zusätzlich zu diesen Werten werden noch Festigkeitsversuche an den brandgeprüften Bauteilen vorgenommen.

Je nach Auswertung ist es häufig nötig, mehrere Brandversuche durchzuführen, um sichere Daten für den Abbrand einer Wand zu erhalten.

Nach Auswertung der Daten wird ein Prüfzeugnis ausgestellt, in welchem das geprüfte Bauteil in eine Feuerwiderstandsklasse eingeteilt wird.

### **11.4 Können die Anforderungen erfüllt werden?**

Nach der Erreichung der erforderlichen Baustoffklassen ist eine Erreichung der Feuerwiderstandsklasse F30 wahrscheinlich. Die Feuerwiderstandsklasse kann aber erst nach der beschriebenen Prüfung festgestellt werden.

Es ist noch zu bemerken, dass bei diesem System ein guter Brandschutz aufgrund der zusätzlichen Installationsebene bestehen dürfte. Die Installationsebene verhindert Durchbrüche der tragenden Ebene und somit ein schnelles Übergreifen der Flammen im Brandfall.

## 12 Kostenberechnungen

Eine Neuentwicklung muss zusätzlich zu bauphysikalischen Anforderungen Ansprüche an die Wirtschaftlichkeit eines Systems stellen. Dazu werden im Folgenden die Kosten für ein Modul und für ein gesamtes Bausatzhaus berechnet.

### 12.1 Kosten pro Modul

#### Außenwand:

Element	Material	Fläche/ Volumen in m, m <sup>2</sup> , m <sup>3</sup>		Kosten in € / m, m <sup>2</sup> , m <sup>3</sup>	Kosten in €
Lattung 19/40	TA/FI	2 * 0,380	0,760	0,51	0,38
Holzfaserverplatte, 19mm	DHF,	1 * 0,810 * 0,405	0,328	3,40	1,11
Stege	3-S-VHP, Qualität C-C	2 * 0,269 * 0,405	0,217	31,45	6,85
Innenplatte	3-S-VHP, Qualität C-C	1 * 0,810 * 0,405	0,328	31,45	10,32
Lattung 40/40	TA/FI	2 * 0,355	0,710	0,60	0,43
					<b>19,09</b>

Alle Kosten sind excl. MwSt. und wurden auf telefonischem Weg ermittelt.  
Die Umrechnung der Kosten pro Modul auf Kosten pro m<sup>2</sup> ergibt:

$$19,09 \text{ €} / (0,800 \text{ m} * 0,395 \text{ m}) = \mathbf{60,41 \text{ €} / m^2}$$

#### Innenwand:

Element	Material	Fläche/ Volumen in m, m <sup>2</sup> , m <sup>3</sup>		Kosten in € / m, m <sup>2</sup> , m <sup>3</sup>	Kosten in €
Stege	3-S-VHP, Qualität C-C	2 * 0,114 * 0,403	0,091	31,45	2,88
Innenplatte, 28mm	3-S-VHP, Qualität C-C	2 * 0,808 * 0,403	0,651	22,45	14,61
Lattung 40/40	TA/FI	4 * 0,355	1,42	0,60	0,85
					<b>18,34</b>

Die Umrechnung der Kosten pro Modul auf Kosten pro m<sup>2</sup> ergibt:

$$18,34 \text{ €} / (0,800 \text{ m} * 0,395 \text{ m}) = \mathbf{58,04 \text{ €} / m^2}$$

Bei der Errechnung dieser Preise ist allerdings von Preisen für Einzelaufträge von Privatabnehmern auszugehen. Um den Preis für einen gewerblichen Großabnehmer zu erhalten, können vorsichtig angenommen pauschal 20 % des Preises abgezogen werden.

Somit ergeben sich bei der:

- Außenwand:  $60,41 \text{ €} / m^2 * 0,8 = \mathbf{48,32 \text{ €} / m^2}$

- Innenwand:  $58,04 \text{ €} / m^2 * 0,8 = \mathbf{46,43 \text{ €} / m^2}$

## 12.2 Vergleiche mit herkömmlicher Massivbauweise

Um einen Vergleich mit marktüblichen Preisen anderer, herkömmlicher Bauweisen zu erhalten, wird nun der Vergleich mit einem Haus in Massivbauweise herbeigeführt.

Dazu wird die Außenwand dieses Systems mit der eines Hauses in Ytong-Bauweise verglichen. Der Preis für Ytong Planblockmauerwerk G2 liegt bei 250 € / m<sup>3</sup>. Auf 1 m<sup>2</sup> bei einer Steinstärke von 36,5 cm umgerechnet, ergibt dies mit 250 € \* 0,365 m einen Preis von **91,25 €/m<sup>2</sup>** (excl. MwSt.).

Allerdings müssen, um vergleichbare Preise zu erhalten, beide Systeme mit ähnlichen Voraussetzungen gerechnet werden:

- Da mit bei der Ytong-Bauweise mit 0,22 W/m<sup>2</sup> \* K ein schlechterer Wärmeschutz als mit dieser Bauweise erreicht wird, muss bei der Ytong-Bauweise ebenfalls ein U-Wert von 0,14 W/m<sup>2</sup> \* K erreicht werden. Um diesen U-Wert in Verbindung mit dem 36,5er Mauerwerk zu erhalten, wird ein 12cm starkes Wärmedämmverbundsystem angedacht. Dieses Wärmedämmverbundsystem besteht aus Styropor der Wärmleitfähigkeitsgruppe 045 und wird zusammen mit speziellen Dübeln, Gewebe und Kleber montiert. Kleber und Gewebe dienen hierbei bereits als Grundlage für den später erfolgenden Kunstharzputz. Bei solch einem Wärmedämmverbundsystem in gewählter Stärke ist von einem Preis incl. Montage von **34,00 €** (excl. MwSt.) auszugehen. Der Außenputz wird bei beiden Systemen vernachlässigt.
- Um eine tapezierfähige Ebene zu erhalten, muss beim Ytong-Mauerwerk ein Innenputz angebracht werden. Dieser Putz wird mit **12 € / m<sup>2</sup>** (excl. MwSt.) veranschlagt.

Somit ergibt sich für die Ytong-Bauweise von tapezierfähiger Innenseite bis zu endputzfähiger Außenseite ein Gesamtpreis von:

91,25 € + 34,00 € + 12,00 € = **137,25 € / m<sup>2</sup> ohne MwSt.**

Nun erfolgt eine Angleichung dieses Systems an die gewählten Gegebenheiten der Ytong-Bauweise:

- Hierzu ist eine Zurechnung der Dämmung nötig. Die Isofloc-Dämmung kostet laut beigefügtem Angebot pro m<sup>2</sup> (4602,88 € / 200 m<sup>2</sup>) = **23,01 € / m<sup>2</sup>**
- Um eine putzfähige Ebene zu erhalten, muss eine Außenschalung angebracht werden. Hierzu wird eine magnesitgebundene Putzträgerplatte verwendet (11,25 € / m<sup>2</sup>), auf welcher ein Grundputz in Form eines Kalkzementputzes aufgebracht wird (12,00 € / m<sup>2</sup>). Dieser ist nötig, um später einen mineralischen Edelputz aufbringen zu können. Somit ist dieses System bis zur endputzfähigen Außenseite dem Ytong-System angeglichen. Für diese Ebene ergibt sich ein Preis von 11,25 € + 12,00 € = **23,25 € / m<sup>2</sup>**.
- Die Installationsebene muss mit Dämmstoff versehen werden, um den errechneten U-Wert zu erreichen. Hierzu wird die Zellulose-Dämmplatte flexCL<sup>®</sup> 040 der Firma Homatherm zu einem Preis von **7,35 / m<sup>2</sup>** verwendet.

- Um eine tapezierfähige Ebene bei diesem System zu erhalten, muss eine Rigipsplatte angebracht werden. Hierzu wird eine 12,5 mm starke Platte mit einem Preis von **2,50 € / m<sup>2</sup>** benutzt.
- Die Produktion dieses Elements wird pro Element mit einer Bearbeitungszeit von 6 min veranschlagt, multipliziert mit einem durchschnittlichen Stundensatz auf Handarbeit und Maschinenarbeit von 37,00 € ergibt dies Kosten von 4,00 € pro Element. Auf die Größe eines Quadratmeters umgerechnet ergibt dies:  
 $4,00 \text{ €} / (0,800 \text{ m} * 0,395 \text{ m}) = \mathbf{12,65 \text{ €} / m^2}$ .
- Da bei dem Ytong-System incl. der Montage gerechnet wurde, ist es nun notwendig, auch bei diesem System eine Montage zu berechnen wenngleich eine solche aufgrund der Selbstbauweise nicht angedacht ist.  
So wird eine Montage mit 2 Fachkräften (30 € / h) von 1 Tag (à 10 Arbeitsstunden) pro Stockwerk angenommen. Dies ergibt Montagekosten von  $30 \text{ €} * 10 \text{ h} * 2 \text{ Tage} * 2 \text{ Fachkräfte} = 1200 \text{ €}$  für ein Haus mit 120 m<sup>2</sup> Wohnfläche. Dies entspricht in etwa einer Wandfläche von 150 m<sup>2</sup> (= 474 Standardmodule) und so ergeben sich daraus Montagekosten von  $1200 \text{ €} / 150 \text{ m}^2 = \mathbf{8 \text{ €} / m^2}$ .

Somit ergibt sich bei diesem System unter vergleichbaren Bedingungen zum Ytong-System ein Preis von:

$48,32 \text{ €} + 23,01 \text{ €} + 23,25 \text{ €} + 7,35 \text{ €} + 2,50 \text{ €} + 12,65 \text{ €} + 12,00 \text{ €} = \mathbf{129,08 \text{ € ohne MwSt.}}$

Wenn man die Preise beider Systeme nun vergleicht, stellt man fest, dass dieses System einen Kostenvorteil gegenüber dem System in Ytong-Bauweise von  $137,25 \text{ €} / m^2 - 129,08 \text{ €} / m^2 = \mathbf{8,17 \text{ €} / m^2}$  mit sich bringt.

Der Kostenvorteil würde noch höher ausfallen wenn man bedenkt dass durch die Installationsebene nochmals enorme Kosteneinsparungen verursacht werden. Das aufwendige Erstellen und Wiederverschließen von Leitungsschlitzen wird durch die Installationsebene komplett vermieden und so sind Einsparungen in der Bauzeit und somit Kosteneinsparungen gegeben.

Ein weiterer Kostenvorteil ist bei der Einbringung der Zellulose-Dämmung möglich. Das beiliegende Angebot stellt mit 23,01 € / m<sup>2</sup> einen relativ hohen Preis dar, eine Zellulose-Dämmung incl. Montage wird bereits für 12,50 € / m<sup>2</sup> im bekannten Auktionshandel angeboten.

Bei Einbeziehung dieses Preises würde dieses System fertig montiert **118,57 € / m<sup>2</sup>** kosten.

## 13 Zusammenfassung mit Ausblick

Sinn und Zweck dieser Technikerarbeit war es, ein modernes Holzbausystem zu entwickeln, das höchsten Anforderungen an bauphysikalische Eigenschaften und einfacher und kostengünstiger Bauweise entspricht. Auch sollte ein möglichst diffusionsoffener Wandaufbau erfolgen, um höchsten Ansprüchen an die Behaglichkeit der Bewohner gerecht zu werden.

Durch das Erreichen sehr guter Wärmedämmwerte von **0,139 W/m<sup>2</sup>\*K** wurde ein Wärmeschutz erreicht, der eine Einstufung des Systems zum Passivhausstandard erreicht.

Durch die sinnvolle Anordnung der einzelnen Bauteilschichten wurde eine Konstruktion geschaffen, die **nicht tauwasseranfällig** ist und somit eine lange Lebensdauer eines Hauses mit dieser Bauweise ermöglichen würde.

Hinsichtlich der Diffusionsoffenheit der Wandaufbauten wurde mit einem **s<sub>d</sub>-Wert von 4,80 m** eine beinahe diffusionsoffene Bauweise erzielt, was beim Passivhausstandard einen optimalen Wert darstellt.

Es wurde mit einem Modulgewicht von **16,8 kg** ein handliches Modul entwickelt, welches durch den hohen Vorfertigungsgrad und die modulare Bauweise einer einfachsten Montage durch einen Selbstbauer als Laie gerecht wird.

Mit einem Preis von **118,57 € / m<sup>2</sup>** wurde trotz des im Vergleich zu konventioneller Bauweise wesentlich erhöhten Baustandards ein niedrigerer Preis als bei einer konventionellen Bauweise ermittelt.

Insgesamt ist daher zu sagen, dass die Anforderungen an dieses Baukastensystem in optimaler Weise erfüllt wurden. Nun wird es nötig sein, dieses System auf die nicht abschließend behandelten Anforderungen zu überprüfen. Dies würde dann durch die Beantragung der bauaufsichtlichen Zulassung mit den zugehörigen Prüfungen erfolgen.

Sollten diese Zulassung erfolgen, würde einer Umsetzung dieses Baukastensystems lediglich noch die große finanzielle Anfangsinvestition für eine industrielle Produktion im Wege stehen.

Andererseits wäre auch eine Patentanmeldung und ein lizenzierter Vertrieb dieses Systems möglich.

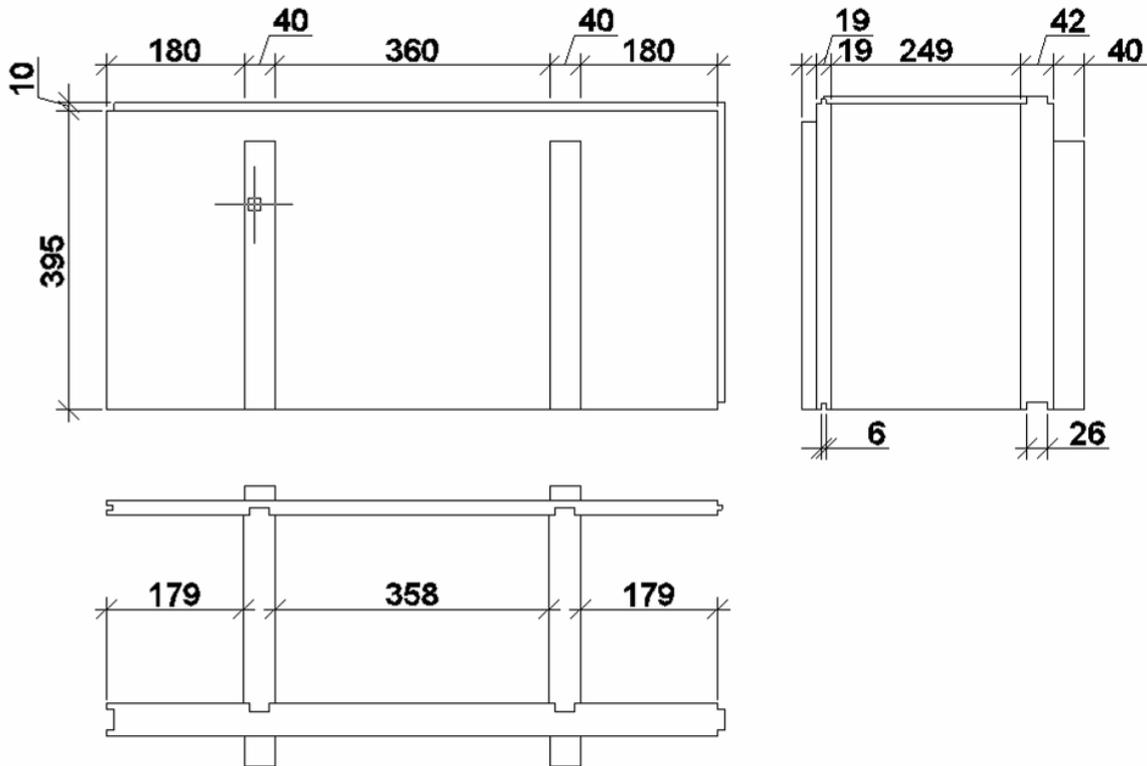
In diesem Sinne, "Schaffe, schaffe, Häusle baue ..."

## 14 Quellennachweise

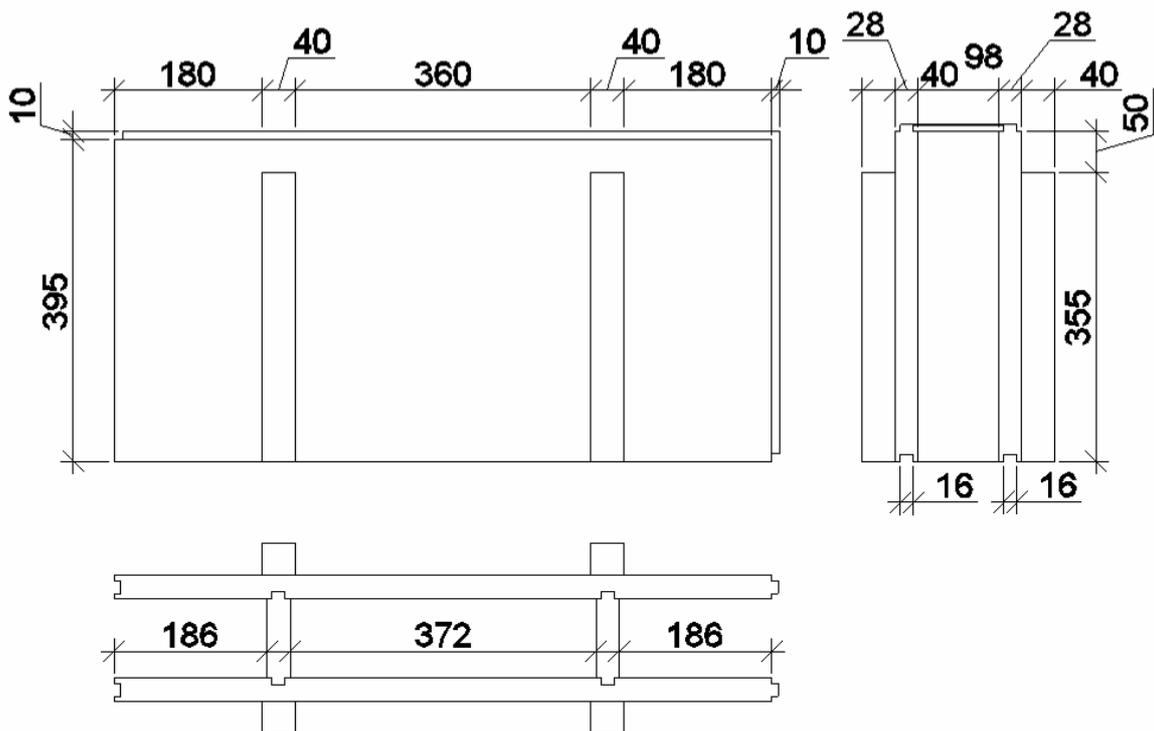
- [1] Informationsdienst Holz, Holzbau Handbuch, Reihe 3, Teil 1, Folge 2, Seite 6
- [2] Geschäftsführer des Bundesverbands Deutscher Fertigbau, Dirk-Uwe Klaas
- [3] Informationsdienst Holz, Holzbau Handbuch, Reihe 3, Teil 1, Folge 2, Seite 13
- [4] Informationsdienst Holz, Holzbau Handbuch, Reihe 3, Teil 1, Folge 4, Seite 3
- [5] Messe Holzbau und Ausbau 2004, Pressebericht 05.05.2004 - Zahlen aus der Holzbaubranche, Internetbericht
- [6] Selbstbau-Messe, Pressemitteilung 15.04.2005, [www.selbstbauverband.de](http://www.selbstbauverband.de)
- [7] Zeitungsartikel TAZ 19.03.2005, Aktiv Passivhäuser bauen
- [8] Informationsdienst Holz, Holzbau Handbuch, Reihe 1, Teil 1, Folge 4, Seite 5
- [9] Peter Schulz, Handbuch für den Innenausbau, Feuchteschutz, S. 232
- [10] Fachwerkbau, Großmann, Landschaftsverband Westfalen-Lippe, 1987
- [11] Holzbau-Taschenbuch, Robert von Halász, Band 2, DIN 1052 und Erläuterungen, Formeln, Tabellen, Nomogramme, Seite 22
- [12] Internet, [www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de), 02.04.2005
- [13] Holzbau Kalender 2003, Bruderverlag, Seite 112
- [14] Holzbau Kalender 2003, Bruderverlag, Seite 318-325
- [15] Holzbau Kalender 2003, Bruderverlag, Seite 35
- [16] Informationsdienst Holz, Holzbau Handbuch, Reihe 1, Teil 3, Folge 10, Seite 8
- [17] Informationsdienst Holz, Holzbau Handbuch, Reihe 1, Teil 3, Folge 10, Seite 24
- [18] Peter Schulz, Handbuch für den Innenausbau, Wärmeschutz, Seite 316
- [19] Peter Schulz, Handbuch für den Innenausbau, Feuchteschutz, S. 234
- [20] Peter Schulz, Handbuch für den Innenausbau, Feuchteschutz, S. 236
- [21] Informationsdienst Holz, Holzbau Handbuch, Reihe 1, Teil 3, Folge 10, Holzhäuser - Werthaltigkeit und Lebensdauer, Seite 24

## 15 Zeichnungen

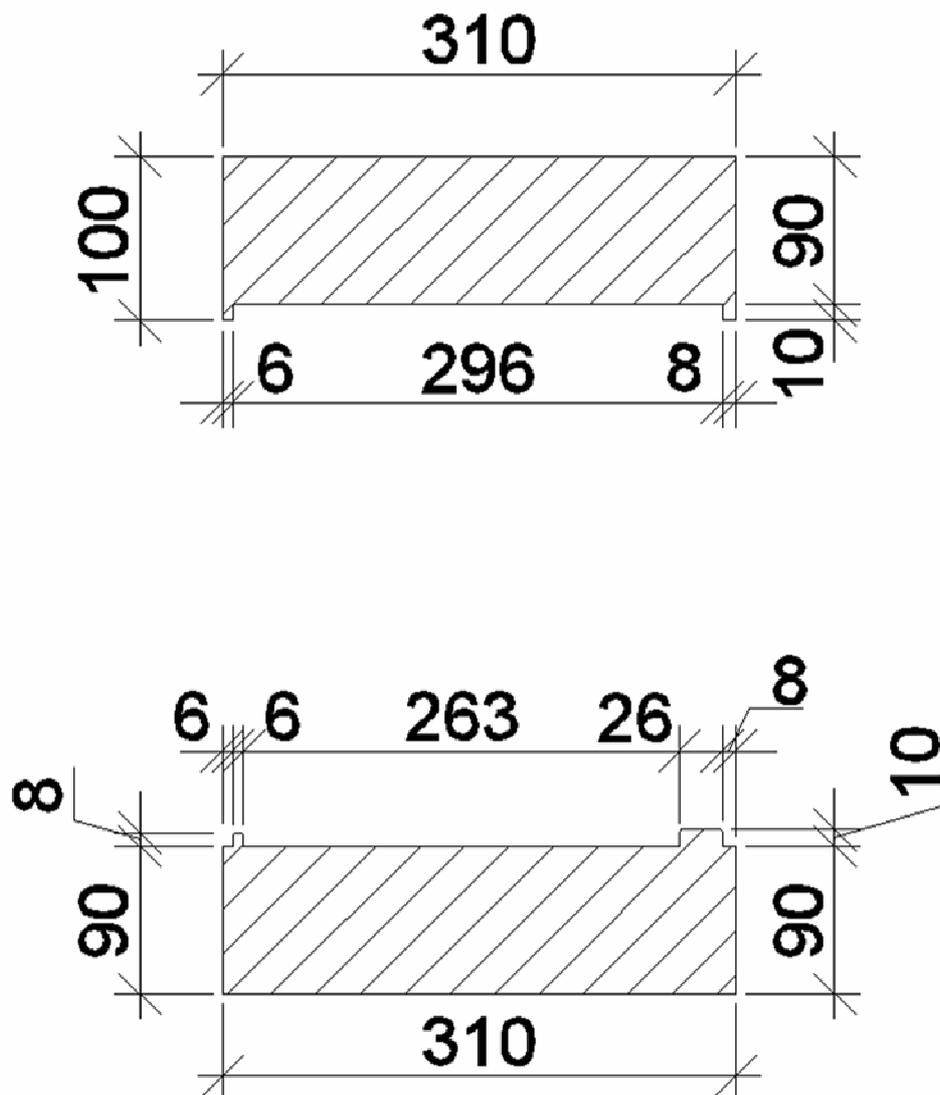
### 15.1 Standardmodul Außenwand:



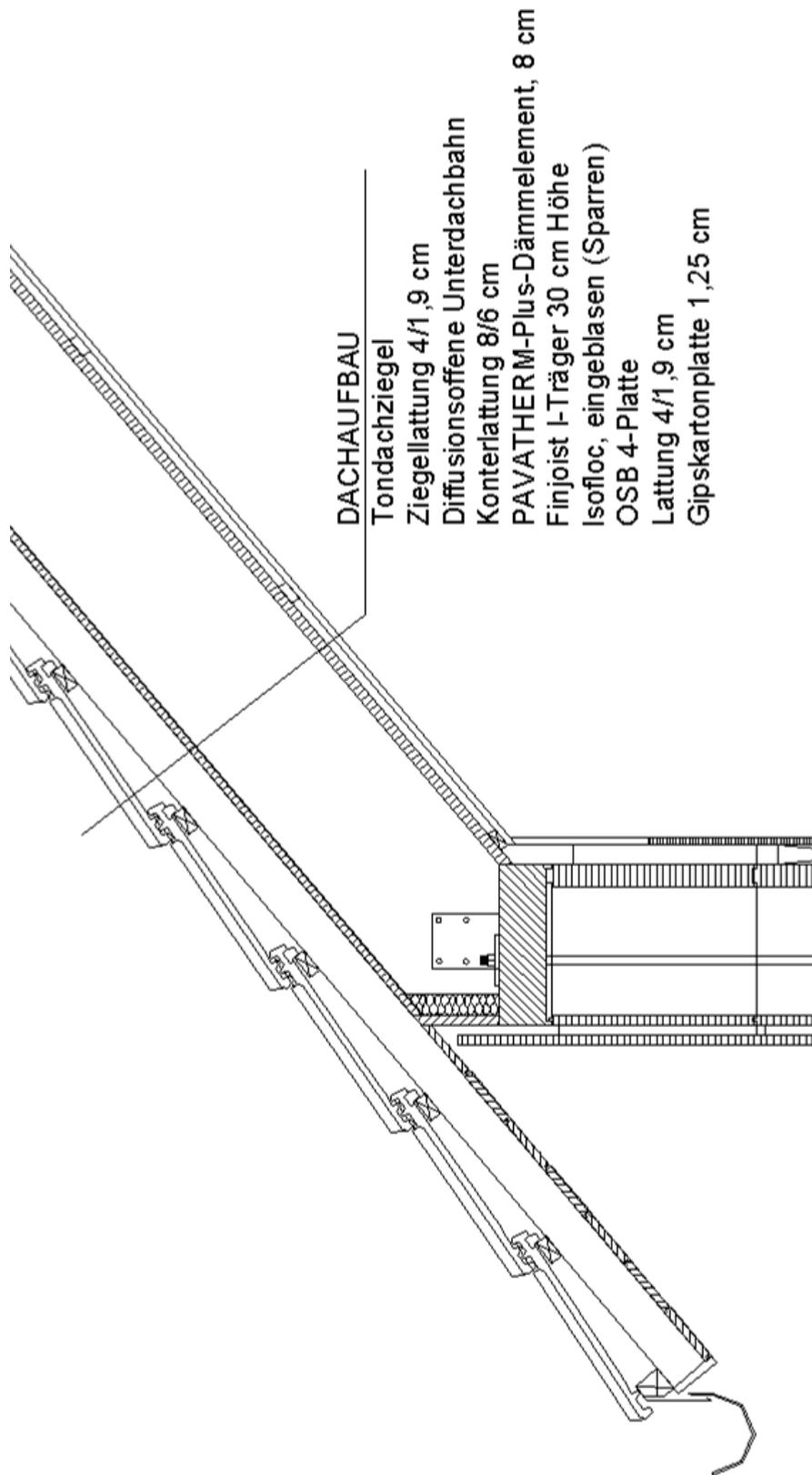
### 15.2 Standardmodul Innenwand:



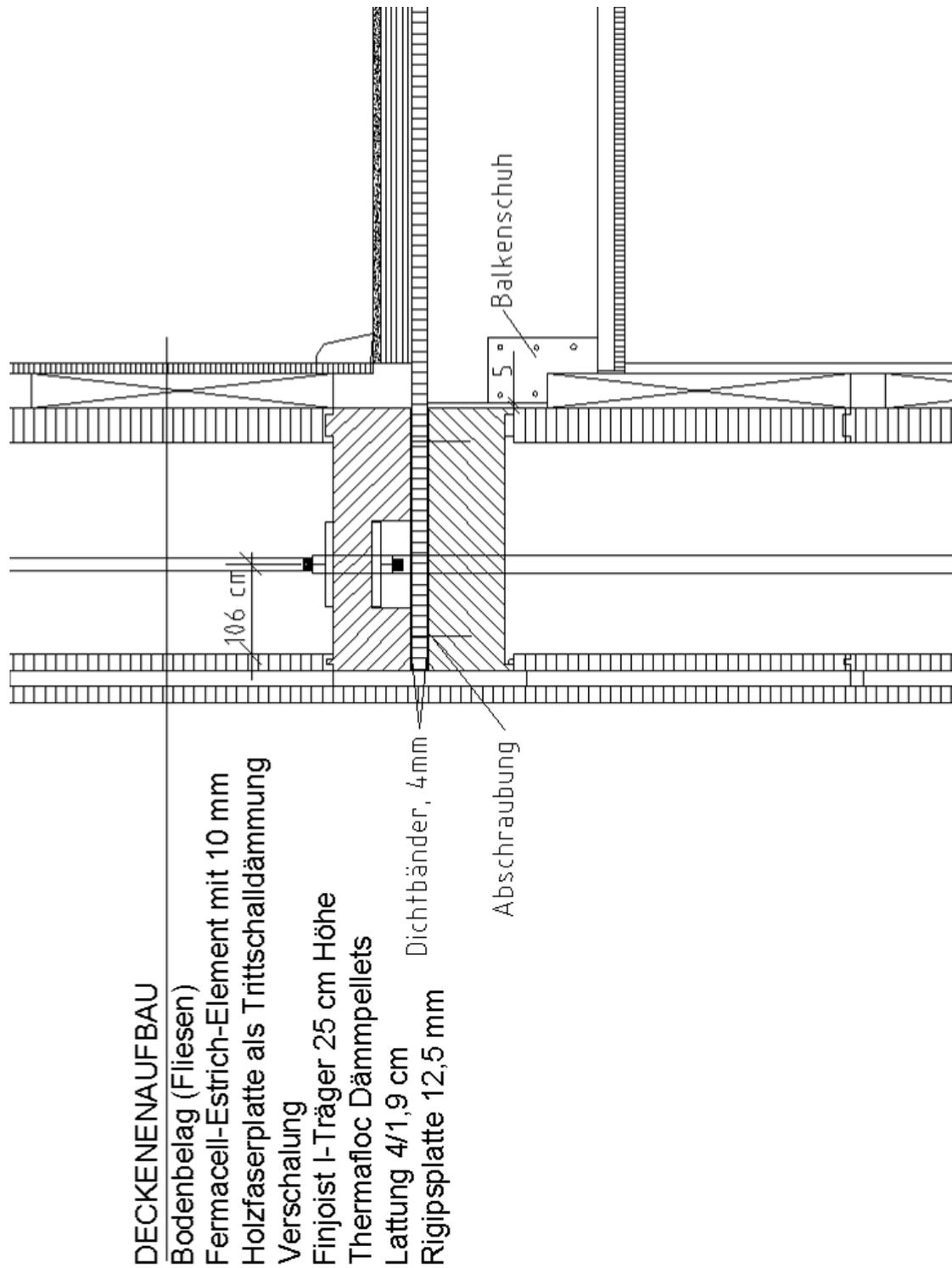
### 15.3 Schwellen



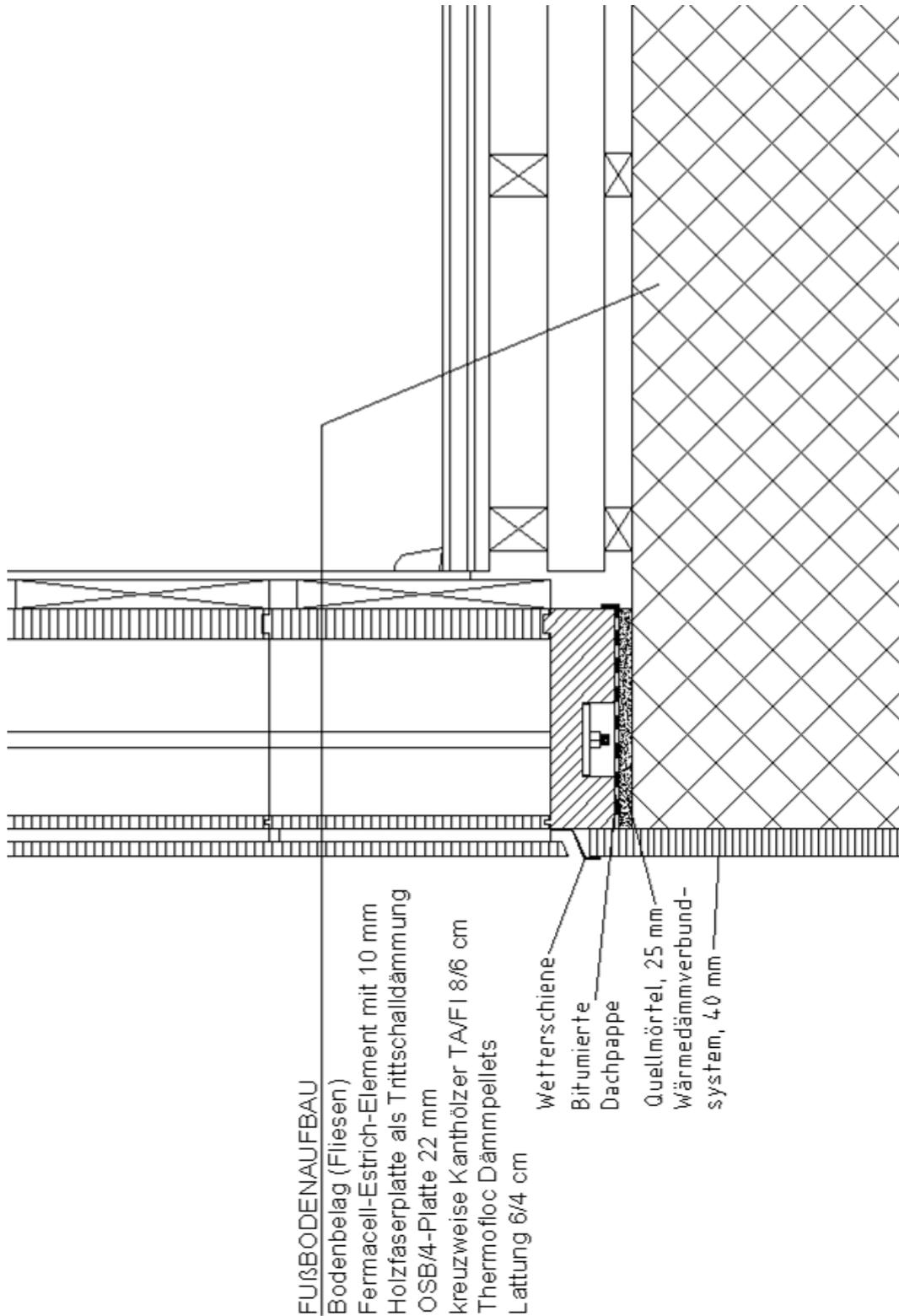
## 15.4 Vertikalschnitt Dachanschluss



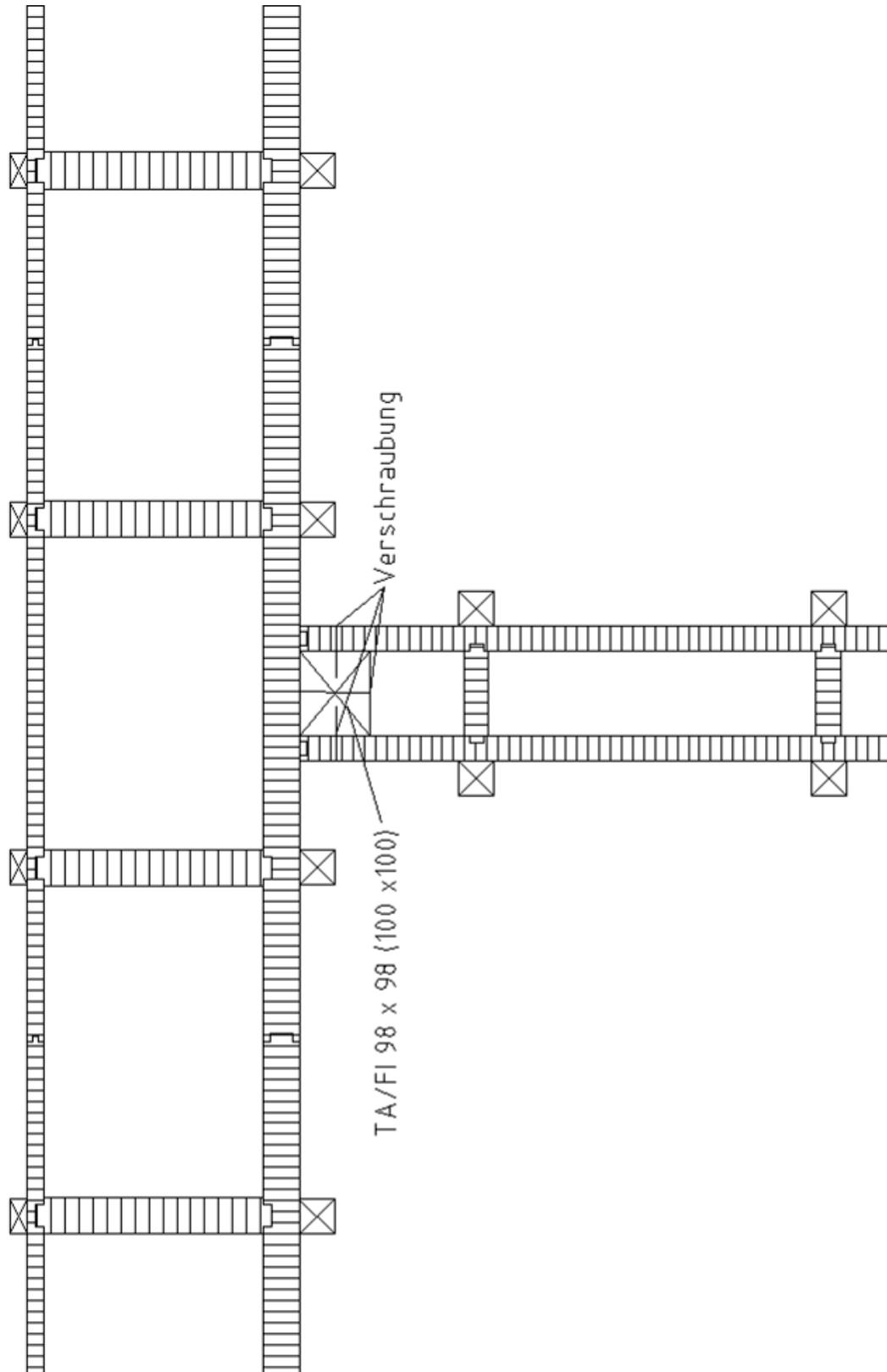
## 15.5 Vertikalschnitt Deckenanschluss



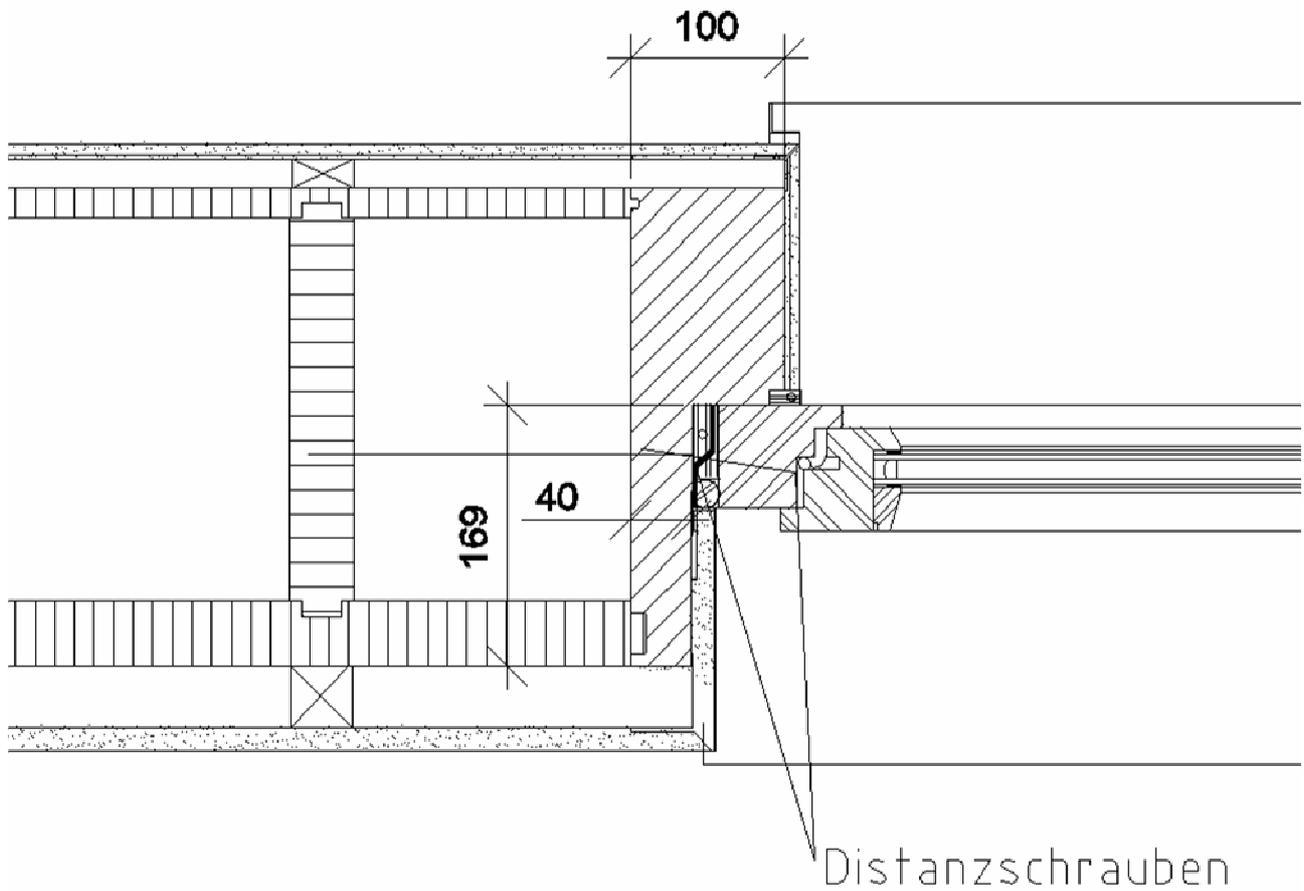
## 15.6 Vertikalschnitt Bodenanschluss



## 15.7 Innenwandanschluss



## 15.8 Fensteranschluss horizontal



**- zur tragenden 3-Schicht-Platte, Außen- / Innenwand (2):**



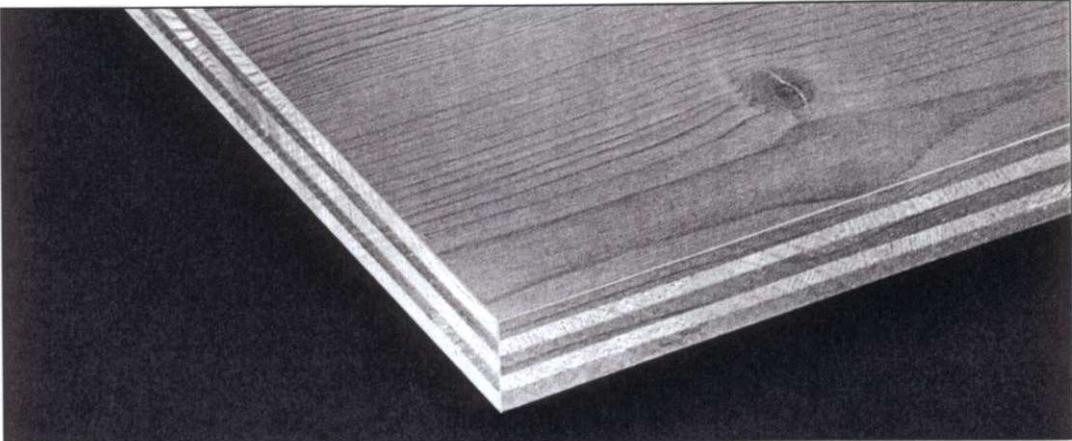
**VHP<sub>static</sub> - DIE MASSIVE HOLZ-BAUPLATTE**

**MIT BAUAUFSICHTLICHER ZULASSUNG**

Tabelle 2: Zulässige Spannungen im Lastfall H sowie Rechenwerte der Elastizitätsmodul E und der Schubmodul G der HAAS Drei- und Fünfschichtplatten bei Beanspruchung **rechtwinklig zur Faserrichtung der Decklagen** in MN/m<sup>2</sup>

		Dreischichtplatte						Fünfschichtplatte	
		4,1/4,2	5,2/6,1	8,75	5,2/6,1	6,1	14	6,1/6,3	6,3
Decklagendicke	mm	4,1/4,2	5,2/6,1	8,75	5,2/6,1	6,1	14	6,1/6,3	6,3
Nennstärke	mm	13	19	27	28	42	75	33mm	56mm
Biegung rechtwinklig zur Plattenebene	zul $\sigma_{Bxy}$	3,4	3,3	2,8	5,6	9,1	8,8	3,9	6,2
Biegung in Plattenebene	zul $\sigma_{Bxz}$	3,6	3,1	5,2	6,6	12	11	5,6	4,8
Zug in Plattenebene	zul $\sigma_{ZxL}$	2,2	2,4	3,4	3,4	5,0	15,7	4,9	2,6
Druck in Plattenebene	zul $\sigma_{Dx}$	5,5	5,2	5,3	7,5	11	12,1	6,7	4,0
Abscheren rechtwinkl. zur Plattenebene	zul $\tau_{xy}$	2,6	2,3	2,2	1,8	1,0	1,3	2,3	1,9
Abscheren in Plattenebene	zul $\tau_{zx}$		k.A.	0,6		k.A.	0,6		k.A.
Biegung rechtwinklig zur Plattenebene	$E_{Bxy}$	1000	1000	800	2500	4500	10000	3000	4000
Biegung in Plattenebene	$E_{Bxz}$	3500	4500	4000	6000	8000	7000	5000	40000
Zug in Plattenebene	$E_{ZxL}$	4000	4000	3500	5000	7000	8000	5500	3500
Druck in Plattenebene	$E_{DL}$		k.A.	3500		k.A.	8000		k.A.
Schubmodul in Plattenebene	$G_{zx}$		k.A.	180		k.A.	350		k.A.
Schubmodul rechth. zur Plattenebene	$G_{xy}$	700	700	600	650	600	550	700	600

- Bei den Werten für die zulässigen Zugspannungen dürfen die Zwischenwerte zwischen den angegebenen Werten geradlinig interpoliert werden.  
 - Bei Platten mit gleicher Decklagendicke dürfen die Werte zwischen den Nennstärken geradlinig interpoliert werden.



4

**- zur DHF - Platte, Außenwand (1):**

# DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK

Anstalt des öffentlichen Rechts

10829 Berlin, 10. Dezember 2004  
Kolonnenstraße 30 L  
Telefon: 030 78730-358  
Telefax: 030 78730-320  
GeschZ.: II 26-1.9.1-454-1/04

## Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung

**Zulassungsnummer:**

Z-9.1-454

**Antragsteller:**

EGGER Holzwerkstoffe  
Wismar GmbH & Co. KG  
Am Haffeld  
23970 Wismar

**Zulassungsgegenstand:**

Holzfaserverplatte "FORMline DHF"

**Geltungsdauer bis:**

31. Dezember 2009

Der oben genannte Zulassungsgegenstand wird hiermit allgemein bauaufsichtlich zugelassen.  
Diese allgemeine bauaufsichtliche Zulassung umfasst sieben Seiten.



\* Diese allgemeine bauaufsichtliche Zulassung ersetzt die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-9.1-454 vom 30. November 1999. Der Gegenstand ist erstmals am 30. November 1999 allgemein bauaufsichtlich/baurechtlich zugelassen worden.

**- zur DHF - Platte, Außenwand (2):**

Codierung: PRHBDHFA  
 Revision: 01  
 Seite: 5 von 13

**EGGER FORMLINE DHF**

**3.3 Produkteigenschaften (Prüfung nach den geltenden EN-Normen)**

(diffusionsoffene Holz-Faserplatte für die Anwendung im Bauwesen)

**Dickenbereich**

Eigenschaft	Einheit	Dickenbereich	
		13,0	15,0
Dichte	kg/m <sup>3</sup>	625±25	
Querzugfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>	≥0,30	
Biegefestigkeit	N/mm <sup>2</sup>	≥17	
E - Modul	N/mm <sup>2</sup>	≥2000	
24h Quellung	%	≤6,5	
Sandgehalt	%	≤0,02	
Feuchte *1	%	9 ± 4	
Formaldehydgehalt *2	mg/100g	≤0,8	
Wärmeleitfähigkeit	W/mK	0,10	
Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl (μ-Wert)		11	
diffusionsäquivalente Luftschichtdicke	m	0,14	0,16
Längentoleranz	mm	± 2,0mm/m, höchstens ± 3,0	
Breitentoleranz	mm	± 2,0mm/m, höchstens ± 3,0	
Rechtwinkeligkeitstoleranz	mm/m	≤2,0	
Kantengeradheitstoleranz	mm/m	≤1,5	
Dickentoleranz (3% vom Nennwert)	mm	± 0,39	± 0,45
Krümmung	mm/m	< 1,5 mm	

**\*1) bei Auslieferung**

**\*2) Perforatorwert nach DIN EN 120 als gleitender Halbjahresmittelwert**

Nach der Gefahrstoffverordnung § 9 Abs. 3 in Verbindung mit der Veröffentlichung des BGA im Bundesgesundheitsblatt im Oktober 1991 (S. 487 - 489) über "Prüfverfahren für Holzwerkstoffe" darf für unbeschichtete Faserplatten ein Perforatorgrenzwert (photometrisch) von 8 mg HCHO/100g atro Platte bei einer Materialfeuchte von 6,5% nicht überschritten werden. Der gleitende Halbjahresmittelwert beträgt max. 7,0mg HCHO/100g atro Platte.

(Die Angaben sind Mittelwerte entsprechend der Definition DIN 52 360 u. ff.)

## - zur DHF-Platte, Außenwand (3):

Codierung: PRHBDHFA  
Revision: 01  
Seite: 6 von 13

### EGGER FORMLINE DHF

#### 3.4 Zulässige Belastungen von EGGER FORMLINE DHF

Eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des DIBt liegt vor (Z-9.1-454). Auf Basis der Zulassung kann die DHF-Platte zur Kipp- und Knickaussteifung der Rippen und als mittragende Bepankung nur zur Aufnahme von Windlasten im Bereich der Holzwerkstoffklasse 20 und 100 verwendet werden.

Die Bemessung erfolgt nach den Bedingungen der DIN 1052.

#### 3.5 Wärmetechnik

##### 3.5.1 Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R$

13 mm Plattenstärke	0,10 W/mK
15 mm Plattenstärke	0,10 W/mK

##### 3.5.2 Wärmedurchgangskoeffizient $k$

13 mm Plattenstärke	7,69 m <sup>2</sup> K/W
15 mm Plattenstärke	6,67 m <sup>2</sup> K/W

#### 3.6 Diffusionsverhalten

##### 3.6.1 Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl - $\mu$ -Wert

13 mm Plattenstärke	11
15 mm Plattenstärke	11

##### 3.6.2 diffusionsäquivalente Luftschichtdicke - $s_d$ -Wert

13 mm Plattenstärke	0,14 m
15 mm Plattenstärke	0,17 m

#### 3.7 Brandverhalten

##### 3.7.1 Allgemeines zum Brandverhalten

Nach DIN 4102 T. 4 gelten Faserplatten mit einer Rohdichte  $\rho \geq 400 \text{ kg/m}^3$  und einer Dicke über 2 mm ohne besonderen Nachweis als Baustoff der Baustoffklasse B 2 nach DIN 4102 T. 1 (normalentflammbar).

Gemäß ÖNORM B 3800 - Teil 1 sind Faserplatten ohne besonderen Nachweis nach Absatz:

**- zum Dämmstoff des Gefachs, Außenwand:**

<b>isofloc L</b>	
Zulassungsnummer Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt)	Z-23.11-280
Merkmale	Günstiger WLF-Wert hohe Ergiebigkeit
Wärmeleitzahl (DIN 4108)	0,040 W/mK
Spezifische Wärmekapazität c (J/kg x K)	2150
Wasserdampfdiffusions-Widerstandszahl $\mu$	1-2
Normalfeuchte	8-10% bei 50% relativer Luftfeuchte 16-18 % bei 80 % relativer Luftfeuchte
Brandschutz	
Baustoffklasse (DIN 4102-1)	B2 (normal entflammbar), glimmt bei Beflammung, nicht brennend, kein Schmelzen / Abtropfen
Selbstentzündungspunkt	Ca. 280° C
max. Dauertemperatur	60° C
max. kurzfristige Spitzentemperatur	90° C
Bauteile (Feuerwiderstandsklassen)	F30-F90 für alle Bauteile
Schallschutz	Prüfzeugnisse zum Schallabsorptionsgrad, längenspezifischen Strömungswiderstand und zur dynamischen Steifigkeit liegen vor. Prüfzeugnisse zu vielen Bauteilen mit verschiedenen Beplankungen und Dämmdicken liegen vor.
Beständigkeit	setzungssicher bei vorgegebener Einbaudichte sicher vor Mäuse- und Ungezieferfraß, kein Schimmelbefall
Qualitätssicherung	Fremdüberwachung durch MPA NRW (Ü) umfassende Eigenüberwachung Baustellen-Bescheinigung durch geschulte Fachbetriebe, Stichprobenkontrolle an ausgeführten Bauten
Inhaltsstoffe	92% sortenreines Tageszeitungspapier 8% Borate (Brandschutz und Konservierung)
Herstellerenergieaufwand	ca. 0,1 kWh/kg
Primärenergieaufwand inkl. aller Prozesse	ca. 50 kWh/m <sup>3</sup> (bei 50kg/m <sup>3</sup> )
Entsorgung	Wiederverwendung oder Rücknahme durch den Hersteller (sortenreine Anlieferung) Thermische Verwertung Sortenreine Kleinmengen nach EAK Abfallschlüssel-Nr. 170602 Verunreinigtes Material nach örtlichen Vorschriften entsorgen (kein Sondermüll!)

- zur Fugendichtung der DHF-Platte, Außenwand:

HÄFELE

Fugendichtbänder

**Fugendichtband, komprimiert, Häfele BG1 / BG2**  
für Trennwandsysteme

**Einsatzgebiet für Fugendichtband Häfele BG1**  
für stark beanspruchte Anschlussfugen:

Fensteranschlussfugen
Bauteilfugen im Hochbau
Anschlussfugen bei Trennwandsystemen
Abdichtungen im Holzbau
Abdichtungen in Wärmedämmverbundsystemen (WDV)
Anschlussfugen von Türen
Dehnungsfugen im Hochbau
Schallentkopplung
Fugensanierungen

**Einsatzgebiet für Fugendichtband Häfele BG2**  
für gering beanspruchte Anschlussfugen:

Fensteranschlussfugen
Anschlussfugen bei Trennwandsystemen
Abdichtungen im Holzbau
Abdichtungen in Wärmedämmverbundsystemen (WDV)
Anschlussfugen von Türen
Überlappungsfugen im Dachbereich
Schallentkopplung

**Einsatzgebiet für Fugendichtband Häfele**  
**für Trennwandsysteme**

für Trennwandsysteme, nicht belastete Aussenfugen, Innenfugen und Hinterfüllungen
für Anschlussfugen zur Hinterfüllung
zur Schallentkopplung
für Abdichtungen im Holzbau



Chemisch-technische Produkte

**Technische Daten**

Fugendichtband, komprimiert	BG1	BG2	für Trennwandsysteme
Einsatzmöglichkeit	außen	außen	innen
Anforderung nach DIN 18542	BG1	BG2	-
temperaturbeständig	-40 °C bis +100 °C	-40 °C bis +100 °C	-40 °C bis +100 °C
schwer entflammbar nach DIN 4102	B1	B1	B1
weichmacherfrei	x	x	x
acrylat-getränkt	x	x	x
baustoffverträglich	x	x	x
anstrichverträglich	x	x	x
mind. 50% Komprimierung	x	x	-
Rohdichte (g/m <sup>3</sup> )	150	100	70

W 136

01.10.2002

Maßangaben unverbindlich. Konstruktionsänderungen vorbehalten.

## - zur Verschraubung, Außenwand (1):

# DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK

Anstalt des öffentlichen Rechts

10829 Berlin, 2. Dezember 2004

Kolonnenstraße 30 L

Telefon: 030 78730-292

Telefax: 030 78730-320

GeschZ.: II 21-1.9.1-453/02

## Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung

**Zulassungsnummer:**

Z-9.1-453

**Antragsteller:**

HECO-Schrauben GmbH & Co. KG  
Dr.-Kurt-Steim-Straße 28  
78713 Schramberg

**Zulassungsgegenstand:**

HECO-fix-plus-Schrauben und HECO-Topix-Schrauben als  
Holzverbindungsmittel

**Geltungsdauer bis:**

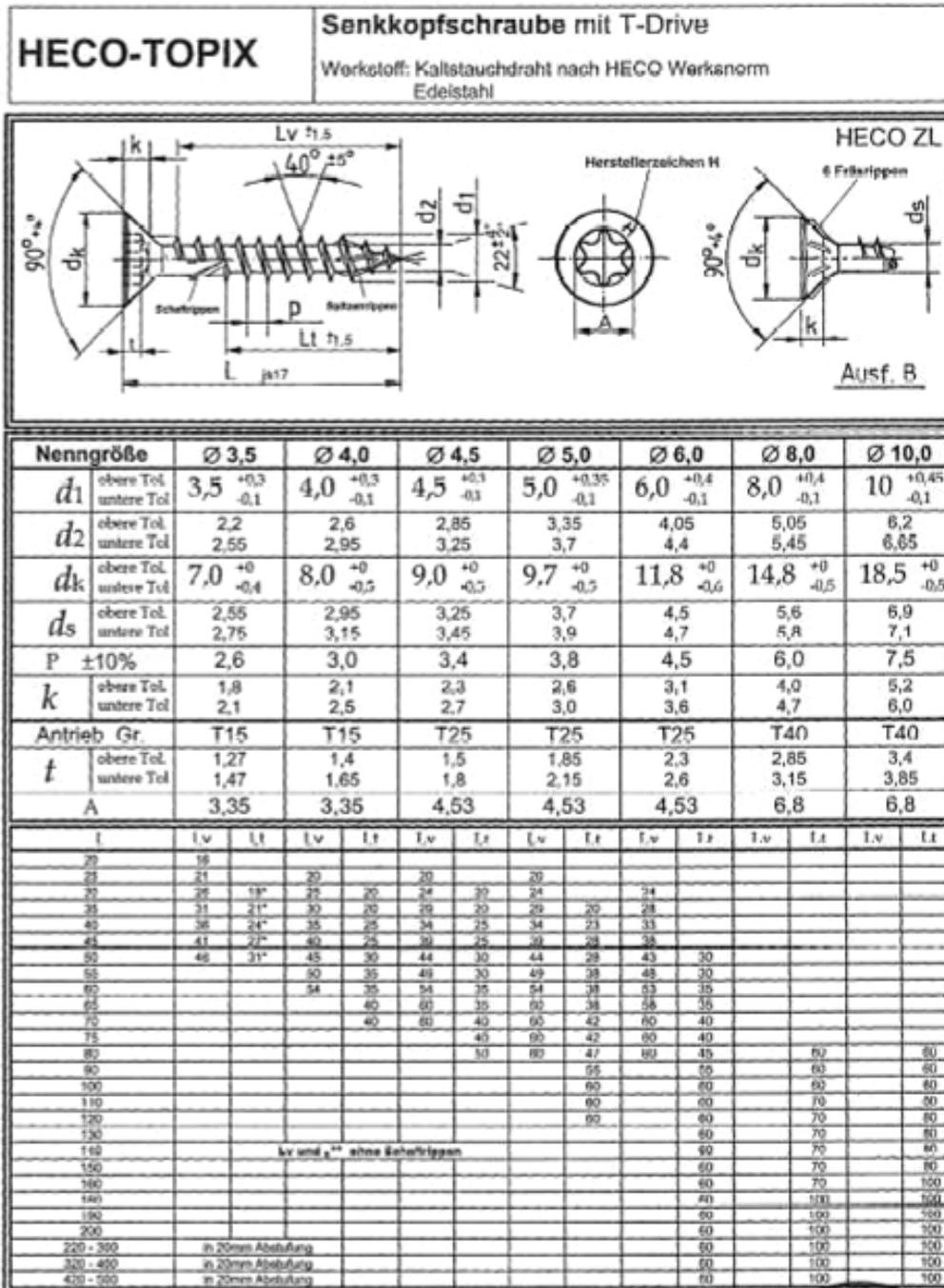
31. August 2009

Der oben genannte Zulassungsgegenstand wird hiermit allgemein bauaufsichtlich zugelassen.  
Diese allgemeine bauaufsichtliche Zulassung umfasst zehn Seiten und 30 Anlagen.



\* Diese allgemeine bauaufsichtliche Zulassung ersetzt die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung vom 6. September 2000, ergänzt durch Bescheid vom 5. November 2003. Der Gegenstand ist erstmals am 2. September 1999 allgemein bauaufsichtlich/baurechtlich zugelassen worden.

- zur Verschraubung, Außenwand (2):



- zu den Schwellen und Rähmen:



Technisches Datenblatt – Parallam® – November 2000

**Parallam® Furnierstreifenholz**

<u>Bezeichnung:</u>	Parallam® Furnierstreifenholz
<u>Bauzulassung:</u>	Z-9.1-241, Institut für Bautechnik, Berlin
<u>Herstellung:</u>	2,50 m lange Rundhölzer werden zu Furnieren geschält. Nach dem Trocknen der Furniere werden diese in ca. 25 mm breite Streifen geklippt. Die Furnierstreifen werden allseitig beleimt, in ein Pressbett gestreut und in einer Mikrowellenpresse zu einem endlosen Balken-Rohling verpresst. Aus diesem Rohprodukt (ca. 280 x 480 mm) werden eine Anzahl von Standardquerschnitten gesägt.
<u>Holzart:</u>	Southern Yellow Pine (Kiefernart)
<u>Bindemittel:</u>	Phenolformaldehyd (max. 6% mass.). Die Verleimung ist wasserfest. Parallam® erfüllt die Anforderungen an die Emissionsklasse E1.
<u>Rohdichte:</u>	• 720 kg/m <sup>3</sup>
<u>Holzfeuchtigkeit:</u>	ca. 10 % ab Werk
<u>Oberfläche:</u>	Parallam® wird ab Werk mit der Körnung 50 geschliffen (egalisiert). Auf einer Schmalseite sind alle Bauteile mit einem Stempel gekennzeichnet. Für eine hochwertige (sichtbare) Oberfläche ist eine Nachbearbeitung erforderlich.
<u>Standardquerschnitte:</u>	Bauteilbreite: 68, 89, 140, 180 mm Bau-teilhöhe: 200, 241, 302, 356, 406, 460 mm Sonderquerschnitte auf Anfrage!
<u>Bauteillängen:</u>	Standardlänge: 13,5 m Ab Werk: 8,0 bis 20 m
<u>Brandschutz:</u>	Zu bemessen wie Brettschichtholz (nach Tabellen 76 – 83 DIN 4102 Teil 4) Abbrandrate = 0,70 mm/min (von der Seite) = 0,80 mm/min (von unten) = 0,67 mm/min (als Stütze)
<u>Feuchteaufnahme:</u>	Parallam® ist vor direkter Einwirkung von Feuchtigkeit dauerhaft zu schützen. Die Verwendung von Parallam® in der Holzwerkstoffklasse 100 ist zulässig, wobei im Gebrauchszustand eine maximale Holzfeuchtigkeit • 15 % zu erwarten ist.
<u>Verarbeitung:</u>	Parallam® kann mit allen handelsüblichen Holzwerkzeugen bearbeitet werden. Hartmetallbestückte Werkzeuge sind zu empfehlen. Bei Fragen zu Verarbeitungs- und Anwendungsmöglichkeiten wenden Sie sich an unsere Trus Joist Repräsentanten.
<u>Statik – Bemessung:</u>	Zulässige Bemessungswerte sind in der bauaufsichtlichen Zulassung verankert. Im weiteren gelten die Holzbaunormen DIN 1052 Teil 1 bis 3 so wie alle weiteren Normen, welche für eine spezifische Bemessung relevant werden.

Copyright • 2001 Trus Joist

06.03.2001

und Parallam™ sind eingetragene Markennamen und Trus Joist™ ist ein Markenname von Trus Joist, A Weyerhaeuser Business, Boise, Idaho, USA.

GE-R07

**Deutschland/Österreich/Schweiz**

Trus Joist sprl  
Behringstraße 10, 1. OG • D-82152 Planegg  
Tel: [49] (0) 89 85 50 95  
Fax: [49] (0) 89 85 40 886

**Europa Hauptsitz**

Trus Joist sprl  
Avenue des Eaux-Vives 4 • B-1332 Genval  
Tel: [32] (0) 2 655 01 70  
Fax: [32] (0) 2 655 01 80

- zur Befestigung der Schwellen (1):



Der Baustoffhandel

Fix-Anker W-FAZ/S 02.5

Leistungsdaten

Dübel Durchmesser [mm]		M8	M10	M12	M16
Zul. Querlast <sup>*)</sup> Zulässige zentrische Zuglast <sup>*)</sup> eines Einzeldübels ohne Randeinfluss	Zugzone (gerissener Beton C 20/25 <sup>*)</sup> , $s_{\text{min}} \geq 3 h_{\text{eff}}$ , $c \geq 1,5 h_{\text{eff}}$	2,4	4,3	5,7	11,9
	Druckzone (ungerissener Beton C 20/25 <sup>*)</sup> , minimale Achs- und Randaabstände $s_{\text{min}} \geq 3 h_{\text{eff}}$ , $c_{\text{min}} \geq 1,5 h_{\text{eff}}$	4,3	5,7	7,6	14,3
	Druckzone (ungerissener Beton C 20/25 <sup>*)</sup> , maximale Tragfähigkeit $s_{\text{min}} \geq 4 h_{\text{eff}}$ , $c_{\text{min}} \geq 2 h_{\text{eff}}$	5,7	7,6	9,5	16,7
	Zugzone (gerissener Beton C 20/25 <sup>*)</sup> , $c \geq 10 h_{\text{eff}}$	8,6	12,6	18,0	26,9
Zulässiges Biegemoment	Druckzone (ungerissener Beton C 20/25 <sup>*)</sup> , $c \geq 10 h_{\text{eff}}$	8,6	12,6	18,9	34,3
	$M_{\text{zul}}$ [Nm]	12,6	25,1	44,6	113,7
Feuerwiderstandsdauer	F30 [kN]	1,9	5,6	9,0	16,0
	F60 [kN]	1,0	2,2	3,5	7,0
	F90 [kN]	0,65	1,3	2,0	4,3
	F120 [kN]	0,4	0,8	1,2	3,0

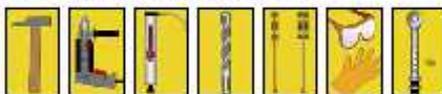
Kennwerte

	$s_{\text{min}} \geq$ [mm]	40	40	45	45	60	60	60	65
Minimaler Achsabstand	$s_{\text{min}} \geq$ [mm]	40	40	45	45	60	60	60	65
gerissener Beton / ungerissener Beton	für $c \geq$ [mm]	60	70	70	70	100	120	100	120
Achsabstand	$s_{\text{min}}$ [mm]	138		180		195		255	
Minimaler Randaabstand	$c_{\text{min}} \geq$ [mm]	40	40	45	50	60	75	60	80
gerissener Beton / ungerissener Beton	für $s \geq$ [mm]	70	80	90	100	140	150	180	150
Randaabstand	$c_{\text{min}}$ [mm]	69		90		97,5		127,5	
Mindestbauteildicke	$h_{\text{min}}$ [mm]	100		120		130		170	
Effektive Verankerungstiefe	$h_{\text{eff}}$ [mm]	46		60		65		85	
Bohrernenn-Ø	$d_n$ [mm]	8		10		12		16	
Bohrerschneiden-Ø	$d_{\text{sch}} \leq$ [mm]	8,45		10,45		12,5		16,5	
Bohrlochtiefe	$h_{\text{b}}$ $\geq$ [mm]	60		75		90		110	
Durchgangsl Loch im anzuschließenden Bauteil	$d \leq$ [mm]	9		12		14		18	
Drehmoment beim Verankern	$T_{\text{zul}}$ [Nm]	15		25		45		90	

Dübelabmessungen

Gesamtlänge	$l$ [mm]	75	95	110	125	145	160	180	200	220	240	255	145	170	200	260	300						
max. Befestigungshöhe	$d_n$ [mm]	10	30	30	50	50	65	85	105	125	145	160	25	50	100	140	180						
Bezeichnung		W-FAZ/S-M8-10	W-FAZ/S-M8-30	W-FAZ/S-M8-50	W-FAZ/S-M8-100	W-FAZ/S-M10-15	W-FAZ/S-M10-30	W-FAZ/S-M10-50	W-FAZ/S-M12-15	W-FAZ/S-M12-30	W-FAZ/S-M12-50	W-FAZ/S-M12-65	W-FAZ/S-M12-85	W-FAZ/S-M12-105	W-FAZ/S-M12-125	W-FAZ/S-M12-145	W-FAZ/S-M12-160	W-FAZ/S-M16-25	W-FAZ/S-M16-50	W-FAZ/S-M16-100	W-FAZ/S-M16-140	W-FAZ/S-M16-180	W-FAZ/S-M16-300
Fix-Anker W-FAZ/S Stahl verzinkt	Art.-Nr.	0904 520 801	0904 520 802	0904 520 803	0904 520 804	0904 521 001	0904 521 002	0904 521 003	0904 521 201	0904 521 202	0904 521 203	0904 521 204	0904 521 205	0904 521 206	0904 521 207	0904 521 208	0904 521 209	0904 521 601	0904 521 602	0904 521 603	0904 521 604	0904 521 605	
Verpackungseinheit	VE [Stück]	100	50	50	25	20	20	20	20	20	20	20	20	20	10	10	10	20	20	10	10	10	10

Würth Systemkomponenten



\* Es sind die in der Zulassung geregelten Teilsicherheitsbeiwerte der Widerstände sowie ein Teilsicherheitsbeiwert der Einwirkungen von  $\gamma_{\text{M}} = 1,4$  berücksichtigt. Bei der Kombination von Zug- und Querlasten, bei Randeinfluss und Dübelgruppen beachten Sie bitte die Leitlinie für die europäische technische Zulassung (ETAG) Anhang C.  
 \*) Der Beton ist normal bewehrt. Bei höheren Betonfestigkeiten sind höhere Werte möglich.

AMWF - 12/04 - 04/2017 - ©

- zur Befestigung der Schwellen (2):

<b>Deutsches Institut für Bautechnik</b>		<b>DIBt</b>
Anstalt des öffentlichen Rechts		Mitglied der EOTA
10629 Berlin, Kolonnenstraße 30 L Tel.: +49(0)30-78730-0 Fax: +49(0)30-78730-320 e-Mail: dibt@dibt.de		
<b>Europäische Technische Zulassung ETA-99/0011</b>		
<b>Handelsbezeichnung</b> <i>Trade name</i>	<b>Würth Fixanker W-FAZ/A4</b> <i>Würth Fixanchor W-FAZ/A4</i>	
<b>Zulassungsinhaber</b> <i>Holder of approval</i>	<b>Adolf Würth GmbH &amp; Co. KG</b> Reinhold-Würth-Straße 12-16 74653 Künzelsau	
<b>Zulassungsgegenstand und Verwendungszweck</b>	<b>Kraftkontrolliert spreizender Dübel aus nichtrostendem Stahl in den Größen M 8, M 10, M 12 und M 16 zur Verankerung im Beton</b>	
<i>Generic type and use of construction product</i>	<i>Torque controlled expansion anchor made of stainless steel of sizes M 8, M 10, M 12 and M 16 for use in concrete</i>	
<b>Geltungsdauer vom</b> <i>Validity from</i>	<b>20. Juli 2004</b>	
<b>bis</b> <i>to</i>	<b>20. Juli 2009</b>	
<b>Herstellwerk</b> <i>Manufacturing plant</i>	<b>Herstellwerk W1, Deutschland</b>	
<p>Diese europäische technische Zulassung ersetzt ETA-99/0011 mit Geltungsdauer vom 21.07.2003 bis 30.09.2004. <i>This European Technical Approval replaces ETA-99/0011 with validity from 21.07.2003 to 30.09.2004.</i></p>		
<b>Diese europäische technische Zulassung umfasst</b> <i>This European Technical Approval contains</i>	<b>12 Seiten einschließlich 5 Anhänge</b> <i>12 pages including 5 annexes</i>	
	<b>European Organisation for Technical Approvals</b> <b>Europäische Organisation für Technische Zulassungen</b>	
<small>20.04.04 - 06.01-0024-04</small>		

**- zur Dämm-/Schallschutzschüttung Innenwand:**

**Dämmen mit Dämmpellets: Produktdaten**

Granulatform:	zylindrisch, 4 mm Durchmesser
Wärmeleitfähigkeit:	0,069
Baustoffklasse:	B2
Schüttgewicht:	ca. 500 kg/m <sup>3</sup>
Wasserdampfdiffusionswiderstand:	1-2
Druckbelastbarkeit bei 10% Stauchung:	6.320 kg/m <sup>2</sup>
Einsatzbereich:	ab einer Schütthöhe von 3 cm
Korngrenzfestigkeit bei 20% Stauchung:	0,59 N/mm <sup>2</sup>
Trittschallverbesserungsmaß:	22 dB
Umweltverträglichkeit:	kein Juckreiz bei Hautkontakt, keine Schadstoffanreicherungen, sorptionsfähig, feuchteregulierend, geruchsneutral, elektrostatisch und elektrisch neutral
Energieverbrauch bei Herstellung:	ca. 10 kWh/m <sup>3</sup>
Materialverbrauch*:	Pro m <sup>2</sup> bei einer Schütthöhe von

\*) Der Materialverbrauch ist um das Volumen von Installationsrohren und/oder Balken zu reduzieren.

	(Liter)	(Säcke)
3 cm	30	0,75
4 cm	40	1,00
5 cm	50	1,25
10 cm	100	2,50

40 l Säcke 30 Säcke pro EUP = 1,2m<sup>3</sup> Auf Anfrage ist auch die Belieferung in Big Bags und Silo möglich.

Alle Angaben ohne Gewähr

**Dämmpellets**

- [Herstellung](#)
- [Eigenschaften](#)
- [Produktdaten](#)
- [Konstruktion](#)
- [Kontakt & Anfrage](#)



**- Angebot für Isofloc-Dämmung eines 120 m<sup>2</sup>-Hauses (1):**

# SIFFERMANN

---

# HAUS



Das LIGNOTREND  
Klimaholzhaus.®

Siffermann Holzbau GmbH, Im Ermilisgrund 10, 76337 Waldbronn

Im Ermilisgrund 10 • 76337 Waldbronn  
Fon (0 72 43) 56 90 0 • Fax 56 90 33

Herrn  
Lorenz  
Rintheimer Str. 2  
  
76131 Karlsruhe

**ANGEBOT**      Nr.: Z05072      Datum: 18.04.2005

POS	LEISTUNGSTEXT	EH	ca. MENGE	E-PREIS	G-PREIS
01	Ca. 200 qm Wand mit Original-ISOFLOC L 25 cm stark nach Herstellerrichtlinien ausblasen.  Laut Absprache sind nachstehende Leistungen bauseits zu erbringen:  Einblaslöcher nach unseren Angaben herstellen und wieder verschliessen.  Befüllen der Einblasmaschine und Bau- reinigung. Helfen bei der Aufstellung der Blasmaschine und Einblasschläuche verlegen. MENGE CA.:	qm	200.000	19.84	3968.00

NETTOSUMME	3968.00
MEHRWERTSTEUER 16.00%	634.88
GESAMTSUMME (IN EUR)	4602.88
(In DEM = 9002.45)	

Grundlage unseres Angebotes ist die VOB  
in ihrer neuesten Fassung.

Im Auftragsfall versprechen wir Ihnen eine  
gute Zusammenarbeit.

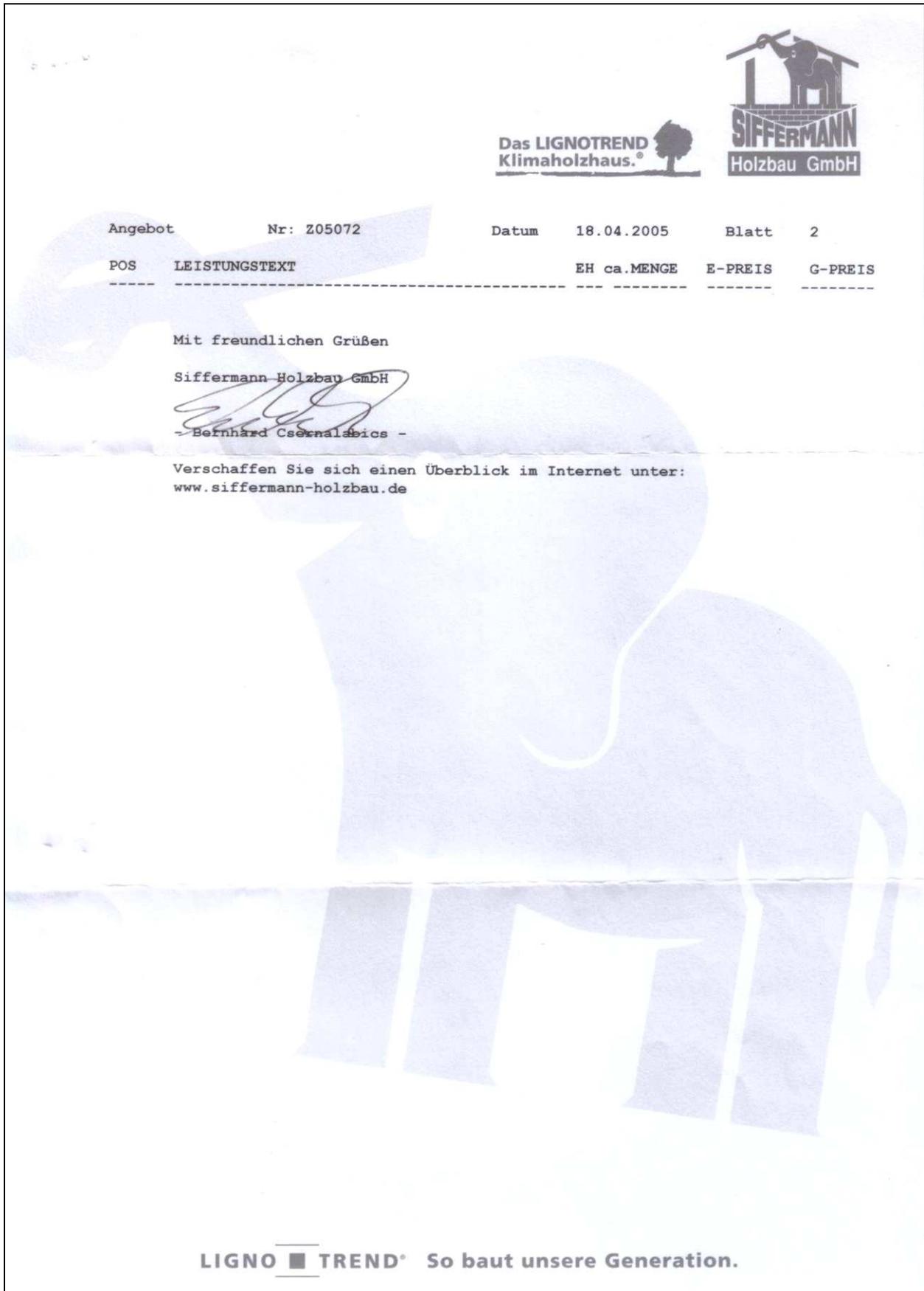
Geschäftsführer:  
Bernhard Csernalabics  
Amtsgericht Karlsruhe  
HRB 1201 E

Online:  
Internet: [www.siffermann-holzbau.de](http://www.siffermann-holzbau.de)  
E-Mail: [info@siffermann-holzbau.de](mailto:info@siffermann-holzbau.de)

Bankverbindungen:  
Bezirkssparkasse Ettlingen  
BLZ: 660 512 20  
Konto: 103 00 55

**LIGNO ■ TREND® So baut unsere Generation.**

**- Angebot für Isofloc-Dämmung eines 120 m<sup>2</sup>-Hauses (2):**

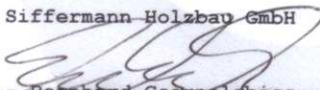


  
Das LIGNOTREND Klimaholzhaus.<sup>®</sup> 

Angebot	Nr: Z05072	Datum	18.04.2005	Blatt	2
POS	LEISTUNGSTEXT	EH ca.	MENGE	E-PREIS	G-PREIS
-----					

Mit freundlichen Grüßen

Siffermann Holzbau GmbH

  
- Bernhard Csernalyics -

Verschaffen Sie sich einen Überblick im Internet unter:  
[www.siffermann-holzbau.de](http://www.siffermann-holzbau.de)

**LIGNO ■ TREND<sup>®</sup> So baut unsere Generation.**