

# Diplomarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades  
eines  
Diplomingenieurs (FH)

Fachhochschule Hildesheim/Holzminden/Göttingen  
Fachhochschule für angewandte Wissenschaften und Kunst  
Fakultät Bauwesen  
Fachrichtung Holzingenieurwesen

**Dietmar Redeker**

Mat.-Nr. 313519  
Hildesheim

Diplomthema  
Möglichkeiten und Grenzen  
bei der Entwicklung von Häusern in Holztafelbauart

WS 2003/2004

Beurteilung

1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer
2. Prüfer: Dipl.-Ing. Jan Balkowski



## Thema: Möglichkeiten und Grenzen bei der Entwicklung von Häusern in Holztafelbauart

Die wirtschaftliche Situation im Bauwesen zwingt Firmen im Niedrigpreissegment von Einfamilienhäusern neue Möglichkeiten zu suchen, um den für Europa hohen Qualitätsstandard zu optimieren. Hierbei wird es erforderlich die bautechnischen Anforderungen an Gebäude genauestens zu kennen und in eine optimierte Fertigung umzusetzen.

Im Rahmen der Diplomarbeit sollen diese Möglichkeiten näher betrachtet werden.

Im Einzelnen werden verlangt:

1. Analyse der in diesem Segment im Markt angebotenen Häuser nach baukonstruktiven, bauphysikalischen und fertigungstechnischen Gesichtspunkten/Besonderheiten
2. Beschreibung der bautechnischen Mindest-Anforderungen an Häuser in Tafelbauart aus bauphysikalischer Sicht zur Formulierung von Planungsgrundlagen
3. Beschreibung der verfahrenstechnischen Anforderungen an die wirtschaftliche Erstellung und Montage von Häuser in Tafelbauart
4. Entwicklung eines Basishaustyps unter den o.a. Gesichtspunkten
5. Nachweis aller baukonstruktiven und bauphysikalischen Anforderungen mittels Vergleichsberechnungen unterschiedlicher Programme

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer



## Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass die gesamte Diplomarbeit und die zugehörigen Berechnungen von mir selbständig angefertigt wurden. Zitate und/oder Übernahmen sind entsprechend gekennzeichnet und in einem Quellenverzeichnis am Ende dieser Diplomarbeit aufgeführt.

Hildesheim, den 19.12.2003

---

Dietmar Redeker



## Inhaltsverzeichnis:

<b>1</b>	<b>Ausgangssituation und Problemstellung .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Analyse des Marktes von Holzfertighäusern.....</b>	<b>9</b>
2.1	Schlüsselfertige Häuser .....	9
2.2	Ausbauhäuser/Mitbauhäuser .....	10
2.3	Kostenanalyse der recherchierten Angebote .....	12
2.4	Analyse der Niedrigpreishäuser unter baukonstruktiven und bauphysikalischen Gesichtspunkten .....	13
<b>3</b>	<b>Bautechnische Mindest-Anforderungen an Häuser in Tafelbauart aus bauphysikalischer Sicht .....</b>	<b>16</b>
3.1	Brandschutzanforderungen .....	16
3.2	Schallschutzanforderungen .....	18
3.2.1	Schallschutz innerhalb der Gebäude.....	18
3.2.2	Schallschutzanforderungen gegenüber Außenlärm .....	20
3.3	Mindestwärmeschutzanforderungen.....	22
3.3.1	Allgemeines .....	22
3.3.2	Anforderungen an den Wärmeschutz im Winter.....	22
3.3.2.1	Nicht transparente Bauteile .....	23
3.3.2.2	Transparente Bauteile .....	24
3.3.3	Energieeinsparverordnung (EnEV).....	24
3.3.4	Anforderungen im Bereich von Wärmebrücken.....	25
3.3.5	Luftdichtheit von Gebäuden und Gebäudeteilen .....	27
3.3.6	Sommerlicher Wärmeschutz.....	27
3.4	Feuchteschutzanforderungen .....	28
3.4.1	Tauwasserschutz .....	28
3.4.2	Schlagregenschutz .....	29
3.4.3	Luftdichtheit.....	30
<b>4</b>	<b>Beschreibung der verfahrenstechnischen Anforderungen an die wirtschaftliche Erstellung und Montage von Häuser in Tafelbauart .....</b>	<b>31</b>
4.1	Das Typenhaus.....	31
4.2	Kostengliederung bei der Herstellung von Fertighäusern .....	32
4.3	Materialwirtschaft.....	34
4.4	Fertigung.....	35
4.5	Transport und Montage .....	36
<b>5</b>	<b>Entwicklung eines Basishauses .....</b>	<b>38</b>
5.1	Ausbaustatus .....	38
5.2	Gründung.....	40
5.3	Grundriss und Fassadengestaltung.....	41
5.3.1	Anordnung der Wände.....	41
5.3.2	Haustechnik .....	41
5.3.3	Fenster.....	42
5.3.4	Fassade .....	42



5.4	Dachsystem .....	46
5.5	Beschreibung der einzelnen Bauteile .....	49
5.5.1	Bodenplatte .....	49
5.5.2	Außenwandaufbau im Erdgeschoss .....	52
5.5.2.1	Außenwandaufbau 1 .....	53
5.5.2.2	Außenwandaufbau 2 .....	54
5.5.3	Außenwandaufbau im Dachgeschoss .....	55
5.5.4	Dach- und Spitzbodendeckenaufbau.....	56
<b>6</b>	<b>Bauphysikalische Untersuchung der Konstruktionen .....</b>	<b>58</b>
6.1	Vorstellung der verwendeten Programme .....	58
6.1.1	WUFI© .....	58
6.1.2	WinFeuchte© .....	59
6.1.3	EnEV-Wärme&Dampf© .....	59
6.2	Vorgehensweise bei der Untersuchung bzw. Nachweis der Konstruktionen .....	60
6.3	Aufbau der Bauteile .....	61
6.4	Feuchtetechnische Untersuchung .....	62
6.4.1	Simulationsergebnisse.....	62
6.4.1.1	Außenwand 1 .....	62
6.4.1.2	Außenwand 2 .....	62
6.4.1.3	Außenwand 3 .....	63
6.4.1.4	Bewertung der Ergebnisse .....	63
6.5	Dampfdiffusionsnachweis .....	63
6.5.1	Außenwände .....	64
6.5.2	Spitzbodendecke und Dach.....	64
6.5.3	Bewertung der Ergebnisse .....	64
6.6	Berechnung der Wärmebrücken.....	65
6.6.1	Berechnungsergebnisse .....	65
6.6.1.1	Berechnung des Wärmebrückenverlustkoeffizienten.....	65
6.6.1.2	Minimale rauseitige Oberflächentemperatur .....	67
6.6.2	Bewertung der Ergebnisse .....	68
6.7	Wärmeschutznachweis nach EnEV.....	69
6.7.1	Annahmen für den Nachweis.....	69
6.7.2	Ergebnisse des Nachweises.....	70
6.7.3	Maßnahmen zur Erfüllung des Nachweises .....	70
6.8	Sommerlicher Wärmeschutznachweis.....	71
6.8.1	Annahmen für den Nachweis.....	71
6.8.2	Ergebnis des Nachweises .....	71
6.8.3	Maßnahmen zur Erfüllung des Nachweises .....	72
<b>7</b>	<b>Schlussbetrachtung .....</b>	<b>73</b>
<b>8</b>	<b>Quellenverzeichnis.....</b>	<b>75</b>
8.1	Abbildungsverzeichnis .....	77
8.2	Tabellenverzeichnis .....	77
8.3	Diagrammverzeichnis .....	77
8.4	Anlagenverzeichnis.....	78



## 1 Ausgangssituation und Problemstellung

Die Baugenehmigungszahlen sind in Deutschland in den letzten Jahren stark rückläufig. Nach Untersuchungen des Statistischen Bundesamtes Deutschland [1] sank die Zahl der Baugenehmigungen für neue Gebäude von 232 650 im Jahre 2000 auf 195 389 im Jahre 2002. Die Fertigbaubilanz für das Jahr 2002/2003 [2] aufgestellt vom BDF<sup>1</sup> zeigt diese Tendenz detailliert für den Eigenheimbau auf. Danach gingen die Baugenehmigungszahlen für Ein- und Zweifamilienhäuser insgesamt um ein Drittel zurück. Betrug die Zahl der genehmigten Ein- und Zweifamilienhäuser im Jahre 1999 215.772, lag sie im Jahr 2000 bei 179.170. Bis zum Jahr 2002 sank die Zahl weiter auf 154.728 genehmigte Eigenheime, wobei aber ein Plus von 0,1 Prozent gegenüber dem Jahr 2001 [3] zu verzeichnen ist. Dabei muss allerdings berücksichtigt werden, dass der überwiegende Anteil der Baugenehmigungen im Jahr 2002 erst zum Ende des Jahres zu verzeichnen war. Die drohende Kürzung der Eigenheimzulage zum 1. Januar 2003 veranlasste viele Bauherren zum Bau eines Eigenheimes, damit noch rechtzeitig die staatliche Förderung in Anspruch genommen werden konnte. Die meisten Bauunternehmungen konnten daraufhin kurzfristig für das kommende Jahr ein gesichertes Auftragspolster vermelden. Diese Entwicklung, die sich auch noch im Laufe des Jahres 2003 weiter verfolgen lässt, stellt aber eher eine kurzfristige, steuerpolitische Erholung dieses wichtigen Bereiches der Bauwirtschaft dar. Mit einer langfristigen und nachhaltigen Verbesserung der bauwirtschaftlichen Lage ist dabei jedoch nicht zu rechnen.

Deutschland wies im Jahr 2000 eine Eigenheimquote von nur 41 Prozent auf und liegt damit in Europa an vorletzter Stelle [4]. Es stellt sich die Frage, ob u.a. die Fertighaushersteller eventuell mit ihren Produkten nur einen bestimmten Teil der Bauinteressenten ansprechen bzw. ein entsprechendes Produkt oder Konzept gänzlich fehlt. Betrachtet man die Statistik (siehe Tabelle 1) des statistischen Bundesamtes Deutschland, so zeigt sich, dass auf jeden Fall die allgemeine wirtschaftliche Lage der Bevölkerung ein Indikator für die Flaute an der Nachfrage an Einfamilienhäusern ist. Diese Statistik zeigt die Gliederung der deutschen Haushalte nach ihrer Haushaltsstruktur und der Art der Nutzung der Wohneinheit. Es wird deutlich, dass im Bereich der oberen Einkommensschicht mit einem monatlichen Haushaltsnettoeinkommen von mehr als 3200 Euro, fast 70 Prozent dieser Haushalte Eigentümer sind. Im Bereich der mittleren Einkommensschicht mit einem monatlichen Haushaltsnettoeinkommen von 1300-3200 Euro sind lediglich 43 Prozent dieser Haushalte Eigentümer. Dagegen grenzen sich Haushalte mit einem Einkommen von 500-1300 Euro deutlich ab<sup>2</sup>. Hier sind lediglich 24 Prozent der Haushalte Eigentümer. Objektiv betrachtet ist es für diese Haushalte aus finanzieller Sicht auch zukünftig sehr schwierig, Eigentum in Form eines Eigenheimes zu realisieren.

---

<sup>1</sup> Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V.

<sup>2</sup> Haushalte mit weniger als 500 € Nettoeinkommen bleiben unberücksichtigt



<b>Haushalte nach Haushaltsstruktur und Art der Nutzung der Wohneinheit *</b>				
Gegenstand der Nachweisung	<b>2002</b>			
	<b>Insgesamt</b>	Eigentümer	Hauptmieter	Untermieter
	1 000	%		
<b>Deutschland</b>				
<b>Haushalte insgesamt</b>	<b>35 872,9</b>	42,2	55,5	2,3
mit 1 Person	<b>13 147,6</b>	25,3	69,8	4,9
mit 2 Personen	<b>12 194,5</b>	48,5	50,5	1,0
mit 3 und mehr Personen	<b>10 530,9</b>	55,9	43,4	0,7
<b>mit Bezugsperson</b>				
unter 30	<b>3 520,5</b>	7,2	84,3	8,5
30 - 59 Jahren	<b>19 188,1</b>	43,2	55,0	1,8
60 Jahren und mehr	<b>13 164,4</b>	50,1	48,4	1,5
<b>mit monatlichem Haushaltsnettoeinkommen <sup>1</sup></b>				
unter 500 Euro	<b>953,5</b>	16,3	69,4	14,3
500 – 1 300 Euro	<b>9 480,2</b>	24,0	71,9	4,1
1 300 – 3 200 Euro	<b>16 654,1</b>	43,4	55,1	1,4
3 200 Euro und mehr	<b>4 648,3</b>	68,1	31,5	0,4
* In Gebäuden mit Wohnraum, ohne Wohnheime. <sup>1</sup> Nur Haushalte mit Einkommensangabe.				

**Tabelle 1: Haushalte nach Haushaltsstruktur und Art der Nutzung der Wohneinheit [5]**

Interpretiert man die Statistik (siehe Tabelle 1) weiter, ist in der mittleren Einkommensschicht von 1300-3200 Euro, die fast 50 Prozent aller Haushalte in Deutschland repräsentiert, davon auszugehen, dass eine Konzentrierung der Eigentumsverhältnisse mit steigendem Haushaltsnettoeinkommen vorliegt.

Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass sich mit der Verringerung der Einkommen auch der Anteil der Wohnungseigentümer reduziert. Dieser geringe Anteil macht deutlich, dass durchaus Potential für neue Bauherren in der mittleren Einkommensschicht vorhanden ist. Er zeigt aber auch, dass unter den momentanen und oben erwähnten wirtschaftlichen Rahmenbedingungen viele Bauherren in dieser Einkommensschicht nicht in der Lage sind, sich ein Eigenheim zu leisten. Um dieses Klientel anzusprechen, müssen somit Produkte bzw. Konzepte entwickelt werden, die vor allem



die Kreditbelastung des Bauherren verringern und so den Hausbau für möglichst viele Bevölkerungsschichten interessant macht. Diese Konzepte sind auch dringend notwendig, da das Bauwesen immer mehr in Eigenleistung und Nachbarschaftshilfe auszufern droht. Weiterhin müssen Bauherren mit geringem Einkommen ihre von Natur aus geprägte Vorstellung von „Wenn bauen, dann richtig“ aufgeben.

Eine Vielzahl von Fertighausherstellern hat diese Problematik erkannt und bietet für die oben genannten potentiellen Kunden Einfamilienhäuser im Niedrigpreissegment an oder plant diese in Zukunft anzubieten. Dies bedeutet zwangsläufig, dass im Bereich des Fertigbaus in Holztafelbauweise nach neuen Möglichkeiten und Grenzen bei der Entwicklung gesucht werden muss.

Um einen Überblick über die derzeitige Marktsituation zu schaffen, wird im folgenden Kapitel eine Analyse des Marktes von Holzfertighäusern durchgeführt.

Anschließend werden die bau- und verfahrenstechnischen Anforderungen für eine wirtschaftliche Erstellung von Häusern in Holztafelbauart aufgezeigt und verschiedene Bauteilkonstruktionen mit Hilfe von Simulationsprogrammen baukonstruktiv und bauphysikalisch untersucht.

Die Ergebnisse dieser Arbeit sollen die wirtschaftlichen und konstruktiven Möglichkeiten bei der Herstellung von Fertighäusern in Holztafelbauart verdeutlichen und auf eventuell vorhandene Grenzen hinweisen.



## 2 Analyse des Marktes von Holzfertighäusern

Zurzeit lässt sich dieser Markt in zwei große Kategorien von angebotenen Häusern einteilen:

- Schlüsselfertige Häuser
- Ausbauhäuser/Mitbauhäuser

### 2.1 Schlüsselfertige Häuser

Der Begriff „Schlüsselfertiges Haus“ ist bis zum heutigen Tag gesetzlich nicht festgelegt. Es gibt zwar verschiedene gerichtliche Definitionen [6], trotzdem ist der Begriff nirgendwo verbindlich definiert. Er sagt eigentlich nicht mehr aus, als dass ein Haus von einem Unternehmer erstellt wird und nach der Fertigstellung der Bauherr den Hausschlüssel für sein neues Haus zum Öffnen und Betreten erhält. In der Regel besagt der Begriff allerdings, dass sämtliche Roh- und Innenausbauarbeiten erfolgt sein müssen, so dass der Hauskäufer nach der Fertigstellung und der Abnahme in sein neues Haus einziehen kann. Speziellere Aussagen wie z.B. über die Art des Grundstückserwerbs, die Gestaltung des Vertrages, die Bauweise oder den Ausbau-Status werden mit dem Begriff „schlüsselfertig“ jedoch nicht getroffen. Die detaillierten Leistungen sind in den jeweiligen Bau- und Leistungsbeschreibungen der Hersteller aufgeführt. Die Bau- und Leistungsbeschreibung macht genaue Angaben zur technischen und konstruktiven Ausführung eines Hauses. Auch die Ausstattung wird in Umfang und Qualität erschöpfend festgeschrieben. Die Bau- und Leistungsbeschreibung ist immer die vertragliche Basis für den Bau und Kauf eines Hauses.

Auf den aktuellen Niedrigpreis-Markt gibt es zunehmend Angebote mit schlüsselfertigen Häusern ohne „Finish“-Arbeiten. In diesem Ausbaustatus sind ein relativ kleiner, bestimmter Teil der Arbeiten vom Käufer selbst auszuführen. Diese Eigenleistung umfasst in der Regel die Fliesenarbeiten, das Verlegen anderer Fußbodenbeläge und die Malerarbeiten.

Die Abbildung 1 zeigt übliche Leistungen, die bei schlüsselfertigen Angeboten in der Leistungsbeschreibung häufig fehlen und somit eine Verfälschung des Angebotspreises verursachen.

Leistungen, die bei schlüsselfertigen Häusern häufig nicht im Preis enthalten sind:
<ul style="list-style-type: none"><li>• Bauantragsstellung</li><li>• Ausheben der Baugrube</li><li>• Herstellung der Bodenplatte(bzw. Keller)</li><li>• Verlegung der Bodenbeläge und Fußleisten (auch Fliesenverlegung)</li><li>• Malerarbeiten (tapezieren und streichen)</li></ul>

Abbildung 1: Häufig fehlende Leistungen bei schlüsselfertigen Angeboten [7]



Welche Leistungen aber tatsächlich im Angebot für ein schlüsselfertiges Objekt enthalten sind, bedarf einer intensiven Prüfung und ist in Hinsicht auf die Vergleichbarkeit mit anderen Angeboten oftmals nicht möglich. Zudem sind viele Leistungsbeschreibungen der Fertighaushersteller unzureichend informativ und in vielen Bereichen unvollständig. Diese Tatsache beeinflusst den Vergleich von Holzfertighäusern in diesem Preissegment enorm und lässt somit eine qualitative Bewertung nur schwer zu. Im Kapitel 2.4 erfolgt eine Analyse verschiedener Beispielhäuser unter baukonstruktiven und bauphysikalischen Gesichtspunkten.

## 2.2 Ausbauhäuser/Mitbauhäuser

Ausbauhäuser, der Begriff Mitbauhaus wird oftmals synonym verwendet, stellen eine weitere Variante im Bereich der Holzfertighäuser dar. Diese werden zumeist von Fertighausfirmen in verschiedenen Ausbaustufen angeboten. Analog zu den schlüsselfertigen Fertighäusern sind auch in diesem Segment gravierende Unterschiede im Leistungsumfang<sup>1</sup> der jeweiligen Ausbaustufen zu verzeichnen. Die Haushülle wird bei diesen Angeboten in der Regel aber wetterfest und abschließbar fertiggestellt. Darunter fallen z.B. die eigentliche Tragkonstruktion des Gebäudes bzw. die fertigen Außenwände, der Einbau der Fenster und der Haustür sowie das geschlossene Dach. Der Leistungsumfang umfasst dabei jedoch nur einen Teil des gesamten Innenausbau. Die Ausführung vieler Arbeiten in diesem Bereich erfolgt oftmals durch den Bauherren selbst, der durch seine Eigenleistung Kosten einsparen möchte. Dabei wird er üblicherweise von Bauleitern bzw. Fachpersonal des Herstellers betreut.

Die Ausbaupakete, die nach Gewerken sortiert das notwendige Material für den Innenausbau enthalten, wie z.B. Bausätze für Heizung und Elektroinstallationen oder das Dämmmaterial, werden von vielen Fertighausherstellern hausspezifisch mit angeboten.

Um in dieser Bauvariante gleiche Voraussetzungen zu schaffen und eine Vergleichbarkeit der Angebote zu gewährleisten, müssen zwangsläufig die jeweiligen Ausbaurkosten der Ausbauhäuser, die zusätzlich zum Grundpreis eines solchen Haustyps anfallen, berücksichtigt werden.

Die folgende Abbildung soll deutlich machen, in welchen Bereichen Kosten für den Ausbau eines Ausbauhauses anfallen, die meistens nicht im Grundpreis bzw. Festpreis enthalten sind.

---

<sup>1</sup> im Grundpreis enthaltene Leistung



**Im Festpreis von Ausbau-, Mitbau- und Rohbauhäusern nicht immer enthaltene notwendige Leistungen für die Bezugsfertigstellung:**

**Architekten- und Ingenieurleistungen:**

- Bauantragsstellung
- verantwortliche Bauleitung

**Bauleistungen,  
die zu den Gebäudekosten gehören:**

- Anschaffung bzw. Ausleihe von Baumaschinen, Werkzeug, Gerüsten
- Ausheben der Baugrube (bei Keller)
- Gründung (Bodenplatte oder Fundamente)
- Keller, falls das Haus ab OK Kellerdecke verkauft wird
- Dachdämmung und Innenverkleidung des Dachraums
- Dachflächenfenster
- Dämmung und Verkleidung der (tragenden) Innenwände
- Geschosstreppen
- Schornstein
- Heizungsanlage
- Wärmeverteilung (Rohrleitungen, Heizkörper etc.)
- Warmwasserbereitung
- Sanitärinstallation
- Sanitärausstattung
- Elektroinstallation (manchmal sind Leerrohre und -dosen enthalten)
- Deckenverkleidung
- Estrich (Trittschalldämmung, ggf. Wärmedämmung)
- Innentüren und -zargen
- Innenfensterbänke
- Bodenbeläge
- Fliesenarbeiten
- Malerarbeiten

**Abbildung 2: Notwendige Ausbauleistungen zur Bezugsfertigstellung**



Um einen allgemeinen Überblick über die Preisspanne in diesem Marktsegment zu erhalten, erfolgt im Kapitel 2.3 eine Übersicht mehrerer Angebote von Ausbauhäusern von verschiedenen Fertighausherstellern.

Eine weitere Analyse der Ausbauhäuser unter baukonstruktiven und bauphysikalischen Gesichtspunkten soll im Rahmen dieser Arbeit nicht erfolgen, da es keine relevanten Unterschiede bezüglich dieser Kriterien zwischen den schlüsselfertigen Häusern und den Ausbauhäusern gibt.

### 2.3 Kostenanalyse der recherchierten Angebote

Der aktuelle Markt der Holzfertighäuser bietet nahezu Angebote in jeder Preislage an. Dabei werden schlüsselfertige Häuser bis zu einem Preis von ca. 180 000 € (inklusive Keller) als preiswert betrachtet [34].

Bei den Ausbauhäusern lässt sich nur schwer eine Aussage zum Preis der Angebote treffen, was auf die oben erwähnten, zum Teil deutlichen Unterschiede in den Ausbaustufen zurückzuführen ist.

Die folgenden Diagramme 1 und 2 zeigen einige schlüsselfertige Hausangebote, bzw. deren Hersteller, bis 160 000 € und Ausbauhäuser bis 100 000 €. In der Anlage 1.1-1.2 finden sich die Basisdaten der Diagramme sowie die jeweiligen Quellenangaben.

Um einen repräsentativen Preisvergleich zu ermöglichen, wurde der Verkaufspreis auf die z.T. sehr unterschiedlichen Quadratmeter an Wohnfläche der einzelnen Häuser umgerechnet (siehe Diagramm 1 & 2).

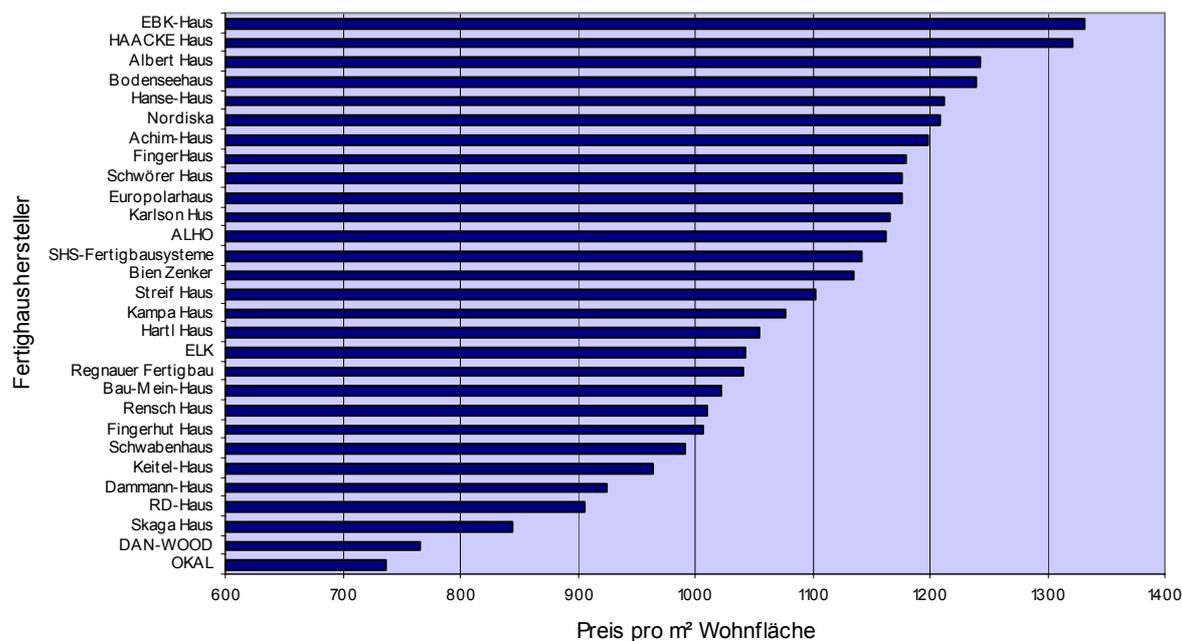
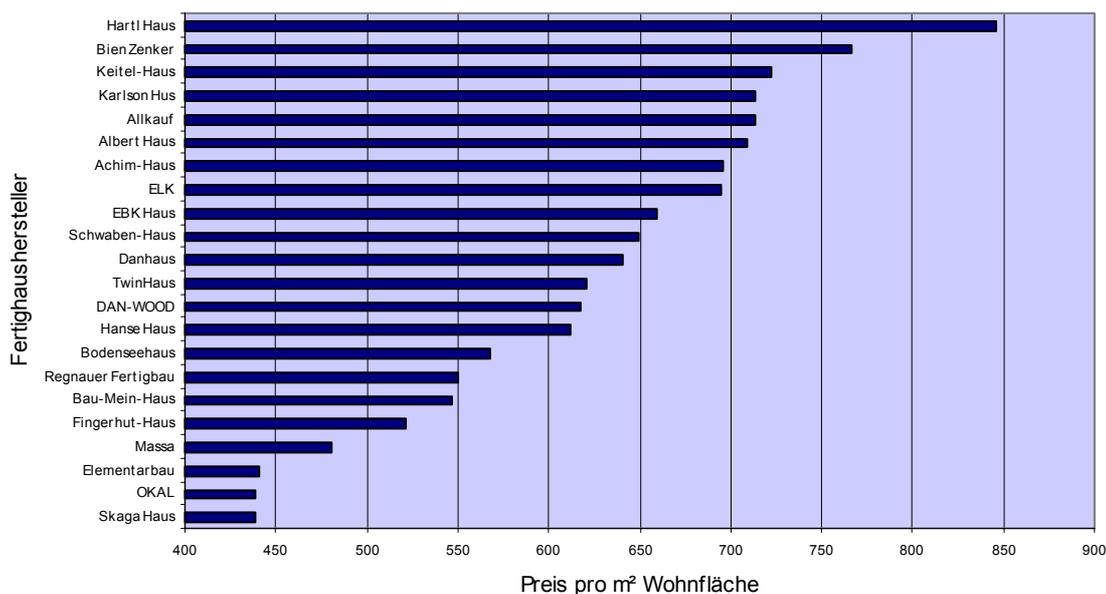


Diagramm 1: Fertighaushersteller mit schlüsselfertigen Häusern bis 180 000 €



**Diagramm 2: Fertighaushersteller mit Ausbauhäusern bis 100 000 €**

Laut Statistischem Bundesamt kostete 1998 ein Quadratmeter Wohnfläche im bundesdeutschen Durchschnitt umgerechnet ca. 1.259 €. Die Preisspanne reichte dabei von 1060,20 € (Sachsen-Anhalt) bis 1903,20 € (Hamburg). Der Mittelwert für Bayern betrug 1524,90 €/m² [12].

Betrachtet man den Preis pro Quadratmeter Wohnfläche im Diagramm 1, gelten schlüsselfertige freistehende unterkellerte Einfamilienhäuser bis 1000 € pro Quadratmeter Wohnfläche als besonders kostengünstig [8], und sind dem Niedrigpreissegment zuzuordnen.

#### **2.4 Analyse der Niedrigpreishäuser unter baukonstruktiven und bauphysikalischen Gesichtspunkten**

Für die Analyse der recherchierten Angebote im Niedrigpreissegment werden exemplarisch drei kostengünstige Häuser gewählt. Die Wahl wurde nicht zuletzt davon beeinflusst, dass erschöpfende und ausreichend informative Baubeschreibungen nur von wenigen Herstellern zur Verfügung gestellt wurden.

Näher untersucht werden dabei der Haustyp „City 111“ des Herstellers Dan-Wood House, der Haustyp „CL 139“ der Firma Skaga Haus und der Haustyp „Europa Dekor 147“ der Firma ELK. Diese drei Angebote sind im unteren Bereich des Niedrigpreissegmentes positioniert.

Die folgende Tabelle zeigt einen Vergleich der drei Häuser in Bezug auf die Konstruktion der verschiedenen Bauteile und die verwendeten Materialien.



Hersteller	ELK	Dan-Wood House	Skaga Haus
<b>Haustyp</b>	<b>Europa Dekor 147</b>	<b>City 111</b>	<b>CL139</b>
<b>Gesamtpreis [€]</b>	154.200	85.000	117.300
<b>Preis pro m<sup>2</sup> Wohnfläche</b>	1042	766	844
<b>Außenwand</b>			
<b>Aufbau v. außen</b>	<b>Dicke [mm]</b>	<b>Dicke [mm]</b>	<b>Dicke [mm]</b>
Außenputz	+	+	+
Putzträgerplatte	50	100	50
Holzwerkstoffplatte	-	12	-
Gipsfaserplatte	15	-	-
Tragkonstruktion/Dämmung	200	120	195
Holzwerkstoffplatte	-	12	-
Dampfdiffusionsbremse	+	+	+
Gipskarton-/Gipsfaserplatte	18 / -	12,5 / -	- / 12,5
<b>Innenwand</b>			
Gipskarton-/Gipsfaserplatte	18 / -	12,5 / -	- / 12,5
Holzwerkstoffplatte	-	12	-
Tragkonstruktion	100	122	95
Dämmung	50	50	95
Holzwerkstoffplatte	-	12	-
Gipskarton-/Gipsfaserplatte	18 / -	12,5 / -	- / 12,5
<b>Geschosdecke</b>			
<b>Aufbau v. oben</b>			
schwimmender Estrich	-	45	60
Trockenestrich	25	-	-
Trittschalldämmung	50	30	35
Holzwerkstoffplatte	19	22	18
Tragkonstruktion	250	220	245
Dämmung	100	50	100
Dampfdiffusionsbremse	+	-	-
Unterkonstruktion	22	22	22
Gipskartonplatte	18	12,5	12,5
<b>Dach</b>			
<b>Aufbau v. außen</b>			
Beton-Dachstein	+	+	+
Lattung/Konterlattung	+	35/22	38/25
Unterspannbahn	-	+	+
Dachdämmplatte	+	-	-
Tragkonstruktion/Dämmung	200	220	250
Unterkonstruktion	22	22	22
Dampfdiffusionsbremse	+	+	+
Gipskartonplatte	18	12,5	12,5
+ vorhanden			
- nicht vorhanden			

**Tabelle 2: Bauteilaufbauten verschiedener Fertighäuser**



Die Außenbauteile (Außenwand und Dach) der Häuser weisen Dämmstärken (inklusive d. Putzträgerplatte) von 220-250 mm auf und besitzen ein Wärmedämm-Verbundsystem. Eine Installationssebene in der Außenwand ist bei keinem Haus vorgesehen. Eine Dampfbremse dagegen ist in jedem Wandaufbau sowie im Dachaufbau enthalten.

Die Geschossdecke erhält beim Haustyp City 111 und CI 139 einen schwimmenden Estrich, bei Typ Europa Dekor 147 kommt ein Trockenestrich zum Einsatz. Die Dämmstärke im Gefach der Geschossdecke beträgt beim Typ City 111 50 mm, bei den beiden anderen Haustypen 100 mm. Der Dachaufbau unterscheidet sich lediglich bei der Firma ELK, die anstelle der Unterspannbahn eine Dachdämmplatte verwendet. Die Dämmschichtdicke des Dachaufbaus im Gefach liegt zwischen 200 und 250 mm.

Alle drei Anbieter verwenden als Dacheindeckung einen Beton-Dachstein.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sich die Konstruktionen der angebotenen Häuser und auch die eingesetzten Materialien sehr ähneln. Lediglich in den Dämmstärken sind geringfügige Unterschiede zu erkennen.



### **3 Bautechnische Mindest-Anforderungen an Häuser in Tafelbauart aus bauphysikalischer Sicht**

Die bautechnischen Anforderungen umfassen im Allgemeinen die bauphysikalischen Themenbereiche Brandschutz, Schallschutz, Wärmeschutz und Feuchteschutz. In den folgenden Kapiteln werden die legislativ einzuhaltenden Mindestanforderungen ausführlich erläutert.

#### **3.1 Brandschutzanforderungen**

Bauliche Anlagen müssen gemäß § 17 der Musterbauordnung [14], aus der sich die Landesbauordnungen ableiten, so beschaffen sein, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch vorgebeugt wird und bei einem möglichen Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind.

In der Sorge um die Sicherheit des Menschen und die Erhaltung von Sachwerten wurde eine Vielzahl von brandschutztechnischen Gesetzen, Verordnungen und Bestimmungen geschaffen, die den vorbeugenden und den abwehrenden Brandschutz betreffen. Unter vorbeugenden Brandschutz versteht man Maßnahmen, die die Entstehung und Ausbreitung eines Brandes verhindern. Der abwehrende Brandschutz umfasst Maßnahmen zur Bekämpfung eines bestehenden Brandes. Zu den vorbeugenden Brandschutzmaßnahmen gehört insbesondere der bauliche Brandschutz. Er stellt brandschutztechnische Anforderungen sowohl an die tragenden Bauteile eines Gebäudes als auch an raumabschließende Bauteile, Verkleidungen und Ausbauteile im Rahmen des Innenausbaus. Um die Entstehung und Ausbreitung eines Brandes in einem Bauwerk zu verhindern, gibt es viele Sicherheitsvorschriften. Die wichtigsten sind:

- Die Landesbauordnungen der Bundesländer mit den dazugehörigen Durchführungsverordnungen
- Die Normen, vor allem die DIN 4102 – Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen [15]

Die wichtigsten bautechnischen Anforderungen an die Bauteilkonstruktionen bezüglich des Brandschutzes sind in den Landesbauordnungen der einzelnen Bundesländer zusammengefasst. Die bauaufsichtlichen Benennungen dieser Anforderungen lauten „feuerhemmend“ und „feuerbeständig“. Dabei entspricht :

- feuerhemmend: eine Feuerwiderstandsklasse mit der Feuerwiderstandsdauer von 30 Minuten (z.B. F 30)
- feuerbeständig: eine Feuerwiderstandsklasse mit der Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten (z.B. F 90)

Leichtentflammbare Baustoffe, das sind Baustoffe der Klasse B3, dürfen im Bauwesen generell nicht verwendet werden, es sei denn, sie sind im Verbund mit anderen Baustoffen nicht leichtentflammbar. Bauteile sollen so konstruiert werden, dass deren Tragfähigkeit im Brandfalle möglichst lange erhalten bleibt. Ein Übergreifen des Brandes auf das Eigentum Dritter ist zu verhindern, indem Gebäudetrennwände feuerbeständig ausgebildet werden müssen und vorgeschriebene



Gebäudeabstände eingehalten werden. In Tabelle 3 sind die wichtigsten Anforderungen nach der Landesbauordnung enthalten. Sie können in den einzelnen Bundesländern geringfügig voneinander abweichen.

Die Angaben gelten für alle Bundesländer.  
Ausnahmen sind mit dem Hinweis auf das betreffende Bundesland in der Fußnote gekennzeichnet.

Gebäudeklassen		1	2		3		4
Bauteile		Wohngebäude		Gebäude			sonstige Gebäude 22m ≥ OFF > 7 m
		Gebäude mit geringer Höhe (OFF ≤ 7 m)					außer Hochhäusern
		freistehend 1 WE	≤ 2 WE		≥ 3 WE		allgemein
			alle Bundesländer	Ausnahme Bundesländer	alle	Ausnahme	
Tragende und aussteifende	Dach	0	F30-B		F30-B		F30-B
	Wände Pfeiler und Stützen	0	F30-B		F30-B		F90-AB
	Keller	0	F30-AB		F90-AB		
Nichttragende Außenwände		0	0		0		F30-A
Gebäudeabschlußwände		0	F90-AB	BW <sup>9</sup>	BW		BW
Gebäudetrennwände- 40 m Gebäudeabschnitte		-	F90-AB Dicke wie BW	F90-A <sup>9</sup>	BW		BW
Reihenhaustrennwände		-	F90-AB	F90-A <sup>6</sup>	BW		-
Wohnungstrennwände	Dach	-	F30-B		F30-B		F30-B
	sonstige	-	F30-B	F90-AB <sup>4</sup>	F60-AB	F90-AB <sup>2 4</sup>	F90-AB
Treppenraumwände	Dach	-	0	F30-B <sup>3</sup>	0	F30-B <sup>3</sup>	BW
	sonstige	-	0	F30-B <sup>1</sup>	F90-AB		BW

Abkürzungen bedeuten:  
WE = Wohneinheit · OFF = Oberfläche Fertigfußboden · A, B, AB = Klassifizierung der Baustoffe · F = Feuerwiderstandsklasse  
BW = Brandwand · 0 = keine Anforderungen

Die Ziffern <sup>1</sup> bis <sup>6</sup> bedeuten:  
<sup>1</sup> Hamburg, <sup>2</sup> Bremen, <sup>3</sup> Niedersachsen, <sup>4</sup> Hessen, <sup>5</sup> Rheinland-Pfalz, <sup>6</sup> Schleswig-Holstein

**Tabelle 3: Brandschutzanforderungen an Wohngebäude nach Landesbauordnung**

Während die allgemeinen Schutzziele in den Landesbauordnungen weitgehend identisch sind, gibt es im Detail Unterschiede. Die Anforderungen an Baustoffe richten sich hauptsächlich nach Art oder Nutzung der Gebäude sowie der Höhe der Gebäude (Gebäudeklassen). Entsprechend der Einteilung der Gebäude in "Gebäude geringer Höhe", "Gebäude mittlerer Höhe" und Hochhäuser unterscheiden sich auch die Anforderungen, die aus Gründen des Brandschutzes an solche Gebäude gestellt werden. Für Kellergeschosse gelten in der Regel höhere, für das oberste Geschoss im Dachraum niedrigere Anforderungen als für die sonstigen Geschosse.

An frei stehende Einfamilienhäuser und frei stehende Gebäude ähnlicher Größe werden keine besonderen Brandschutzanforderungen gestellt [9]. Bei Zweifamilienhäusern fordern die gesetzlichen Brandschutzvorschriften, dass die Konstruktion 30 Minuten lang das Feuer aushält, ehe sie nicht mehr tragfähig ist.

Die Feuerwiderstandsklasse F30-B wird von den Holzsystembauweisen ohne weiteres erreicht. Holz entzündet sich bei größeren Querschnitten oder einseitiger Brandbeanspruchung nur



schlecht, behält dank seiner geringen Wärmeleitung und der sich im Brandfalle bildenden sauerstoff-isolierenden Holzkohleschicht eine nahezu unverminderte Tragfähigkeit. Es gibt keinen plötzlichen Zusammenbruch der Bauteilkonstruktion wie dies z.B. im Stahlbau der Fall ist. Zum anderen ist Holz zwar ein guter Brennstoff, ausgebauten Häuser in Leichtbauweise verstecken aber meist das Holz bzw. die Holzwerkstoffe hinter einer Bekleidung aus anderen Baustoffen. Für die Brandschutzqualität eines Bauteils zählt vor allem diese äußere Bekleidung, also nicht nur die Dicke der Holzbalken einer Holzbalkendecke. Da sie häufig aus Gipsbauplatten besteht (z.B. Wand- und Deckenbekleidung) und solche Platten sehr gute Brandschützer sind, lassen sich auch in Holzleichtbauweise gute bis sehr gute Brandschutzwerte erzielen.

Aufgrund dieser Thematik und den nicht expliziten Anforderungen soll bei den im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten bauphysikalischen Berechnungen und Nachweise (siehe Kapitel 6) der Brandschutz (wie auch der Schallschutz) nicht näher betrachtet werden.

### **3.2 Schallschutzanforderungen**

Der Schallschutz in Gebäuden beeinflusst das Wohlempfinden und die Gesundheit des Menschen beträchtlich. Im Wohnungsbau hat dieser Schutz einen besonderen Stellenwert, da die Wohnung dem Menschen zur Entspannung dient und das eigene Heim eine Intimsphäre z.B. gegenüber Nachbarn darstellt.

#### **3.2.1 Schallschutz innerhalb der Gebäude**

Die in der DIN 4109 [16] aufgeführten Anforderungen an den Schallschutz im Hochbau, wie z.B. der Schallschutz zwischen fremden Wohnungen (sog. „normaler“ Schallschutz) oder der Außenbauteile sind allgemein verbindlich und müssen somit eingehalten werden. Die in der DIN 4109 Beiblatt 2 enthaltenen Empfehlungen für einen erhöhten Schallschutz in Form von Vorschlägen sind im Gegensatz zur Norm bauaufsichtlich nicht eingeführt und sind baurechtlich nicht verbindlich. Ein Schallschutz in dieser Art ist im Einzelfall zwischen den Bauherren und dem Objektplaner ausdrücklich zu vereinbaren.

Hierbei regeln die verbindlichen Anforderungen den Schutz von Innenbauteilen gegen die Schallübertragung aus einem fremden Wohn- oder Arbeitsbereich („normaler“ Schallschutz) sowie den Schutz von Außenbauteilen gegen Außenlärm wie z.B. Verkehrslärm. Die Empfehlungen dienen als Entscheidungshilfe für einen normalen bzw. erhöhten Schallschutz innerhalb des eigenen Wohn- oder Arbeitsbereiches sowie für einen erhöhten Schallschutz zwischen fremden Wohn- oder Arbeitsbereichen. Wichtig bei der Vereinbarung eines erhöhten Schallschutzes ist die Berücksichtigung von eventuell erhöhten Baukosten, da ein erhöhter Schallschutz im eigenen Wohnbereich i.d.R. einen höheren baulichen Aufwand nach sich zieht.

Die Tabelle 4 soll einen Gesamtüberblick über die Anforderungen und Empfehlungen für die im Wohnungsbau relevanten inneren Bauteile und Konstruktionen geben.



<b>Anforderungen nach DIN 4109 an die Schalldämmung von Wänden und Decken zwischen fremden Wohnbereichen (normaler Schallschutz)</b>		
Bauteil	Luftschalldämmung erf $R'_w$ [dB]	Trittschalldämmung erf $L'_{n,w}$ [dB]
<b>Wände</b>		
Wohnungstrennwände	53	
Treppenraumwände	52	
Haustrennwände <sup>1)</sup>	57	
<b>Decken</b>		
Wohnungstrenndecken		
in Gebäuden mit 2 Wohnungen	52	53 <sup>2),3)</sup>
> 2 Wohnungen	54	53 <sup>2)</sup>
Decken unter Nutzbaren Dachräumen		
in Gebäuden mit 2 Wohnungen	52	63
> 2 Wohnungen	53	53
<sup>1)</sup> In Einfamilien-Doppel- oder Reihenhäuser <sup>2)</sup> Bei übereinanderliegenden Bädern gilt die Anforderung nur bezüglich der seitlichen oder schrägen Schallübertragung in fremde Aufenthaltsräume, nicht in andere Bäder <sup>3)</sup> Weichfedernde Bodenbeläge zur Verbesserung der Trittschalldämmung dürfen angerechnet werden		
<b>Empfehlungen nach DIN 4109 Bbl. 2 für den erhöhten Schallschutz von Wänden und Decken zwischen fremden Wohnbereichen</b>		
Bauteil	Luftschalldämmung erf $R'_w$ [dB]	Trittschalldämmung erf $L'_{n,w}$ [dB]
<b>Wände</b>		
Wohnungstrennwände	$\geq 55$	
Treppenraumwände	$\geq 55$	
Haustrennwände <sup>1)</sup>	$\geq 67$	
<b>Decken</b>		
Wohnungstrenndecken	$\geq 55$	$\leq 46$ <sup>2), 3)</sup>
in Gebäuden mit 2 Wohnungen	$\geq 55$	$\leq 46$
<sup>1), 2), 3)</sup> s.o.		
<b>Empfehlungen nach DIN 4109 Bbl. 2 für den normalen und erhöhten Schallschutz (in Klammern) von Wänden und Decken innerhalb des eigenen Wohnbereiches</b>		
Bauteil	Luftschalldämmung erf $R'_w$ [dB]	Trittschalldämmung erf $L'_{n,w}$ [dB]
<b>Wände <sup>4)</sup></b>	40 ( $\geq 47$ )	
<b>Decken</b>	50 ( $\geq 55$ )	56 <sup>2),3)</sup> ( $\leq 46$ <sup>2),3)</sup> )
<sup>2), 3)</sup> s.o.		
<sup>4)</sup> zwischen "lauten" und "leisen" Räumen, Türen in diesen Wänden nicht vorhanden		

**Tabelle 4: Anforderungen / Empfehlungen an den Schallschutz innerhalb eines Gebäudes**



### 3.2.2 Schallschutzanforderungen gegenüber Außenlärm

Die Anforderungen an Außenbauteile von Wohngebäuden sind ebenfalls in der DIN 4109 geregelt. Hier wird der Außenlärm in Abhängigkeit von dem zu erwartenden Außenlärmpegel  $L_A$  ( $< 55$  dB(A) bis 80 dB(A)) in Form von Lärmpegelbereichen ( I bis VI ) klassifiziert (Tabelle 5). Der maßgebliche Außenlärmpegel, der durch Angabe des Lärmpegelbereiches von Seiten der Gemeinde für die jeweiligen Baugebiete erfolgt, bestimmt den erforderlichen Schallschutz der Außenbauteile.

Maßgeblicher Außenlärmpegel [dB(A)]	$\leq 55$	56-60	61-65	66-70	71-75	76-80
Lärmpegelbereich	I	II	III	IV	V	VI
erf $R'_{w, res}$ [dB]	30	30	35	40	45	50

**Tabelle 5: Anforderungen an die Luftschalldämmung für Außenbauteile [16]**

Liegt für eine bestimmte Gebäude- bzw. Verkehrssituation der entsprechende Lärmpegelbereich vor, kann daraus direkt der erforderliche Schallschutz eines Außenbauteils bestimmt werden. Dies gilt jedoch nicht für den Schutz gegen Fluglärm, da hier besondere Verordnungen gelten. Weiterhin ist zu beachten, dass die Schallschutzwerte aus Tabelle 5 z.T. noch mit verschiedenen Korrekturwerten kombiniert werden müssen. In Abhängigkeit vom Verhältnis der gesamten Außenfläche eines Raumes zu seiner Grundfläche (Tabelle 6) ergeben sich folgende Korrekturwerte:

$S_{(W+F)} / S_G$	2,5	2,0	1,6	1,3	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4
Korrektur [dB]	+5	+4	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3
$S_{(W+F)}$ : Gesamtfläche des Außenbauteils eines Aufenthaltsraumes in $m^2$									
$S_G$ : Grundfläche eines Aufenthaltsraumes in $m^2$									

**Tabelle 6: Korrekturwerte für das erforderliche resultierende Schalldämm-Maß [16]**

Aufgrund der so ermittelten erforderlichen Schalldämm-Maße können der Tabelle 7 die notwendigen Einzelschalldämmwerte sowohl für die Außenwände als auch für die Fenster entnommen werden. Für Decken von Aufenthaltsräumen, die gleichzeitig den oberen Gebäudeabschluss bilden, sowie für Dächer und Dachschrägen von ausgebauten Dachräumen gelten die Anforderungen an die Luftschalldämmung für Außenbauteile (Tabelle 5). Handelt es sich um Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen (z.B. Kriechböden), sind die entsprechenden Anforderungen durch das Dach und die Decke gemeinsam zu erfüllen.



erf $R'_{w,res}$ in dB nach Ta- belle 5	Schalldämm-Maße für Wand/Fenster in ...dB/...dB bei folgenden Fensterflächenanteilen in %					
	10%	20%	30%	40%	50%	60%
30	30/25	30/25	35/25	35/25	50/25	30/30
35	35/30 40/25	35/30	35/32 40/40	40/30	40/32 50/30	45/32
40	40/32 45/30	40/35	45/35	45/35	40/37 60/35	40/37
45	45/37 50/35	45/40 50/37	50/40	50/40	50/42 60/40	60/42
50	55/40	55/42	55/45	55/45	60/45	-

Tabelle gilt nur für Wohngebäude mit üblichen Raumhöhen von etwa 2,5 m und Raumtiefen von etwa 4,5 m oder mehr unter Berücksichtigung der Anforderung der Tabelle 5 und 6

**Tabelle 7: Erforderliche Schalldämm-Maße für Kombinationen von Außenwänden und Fenstern [16]**

Zusammengefasst kann festgestellt werden, dass leichte Holzkonstruktionen, wie sie im Holztafelbau üblich sind, können einen ebenso guten Schallschutz gewährleisten wie Bauweisen aus schweren, massiven Baustoffen. Voraussetzung ist aber eine grundsätzlich andere Konstruktion und Ausführung als sie vom Massivbau her bekannt ist. Während Bauteile aus Mauerwerk oder Beton einen hohen Schallschutz allein mit einer großen flächenbezogenen Masse bieten, können Holzbauteile nicht annähernd so schwer ausgeführt werden. Statt mit einem einschaligen, massiven Bauteilaufbau erreichen sie aber einen gleichwertigen Schallschutz mit einem Aufbau aus zwei oder mehreren getrennten Schalen. Bei diesem Konzept ist es entscheidend, diese Schalen möglichst ohne feste, steife Verbindungen auszubilden. Die Empfehlungen für den normalen bzw. erhöhten Schallschutz der DIN 4109 können für Decken und Wände im Holztafelbauweise ebenfalls erfüllt werden, wenn die Bauteile konstruktiv durchdacht und optimiert sind und unterschiedliche Baustoffschichten physikalisch richtig angeordnet werden.

Für den Schallschutz im eigenen Wohnbereich eines freistehenden Einfamilienhauses, somit für Innenbauteile gibt es keine gesetzlichen Anforderungen oder Vorschriften. Es liegen für diesen Bereich lediglich Empfehlungen vor, die aber einer besonderen Vereinbarung zwischen dem Bauherrn und dem Entwurfsverfasser bedürfen.

Für Außenbauteile sind dagegen detaillierte schallschutztechnische Anforderungen vorhanden, die zwingend einzuhalten sind.



### 3.3 Mindestwärmeschutzanforderungen

#### 3.3.1 Allgemeines

Ziel des baulichen Wärmeschutzes ist es, dass Baukonstruktionen permanent gegen klimabedingte Feuchteinwirkungen geschützt sind. Gleichzeitig soll ein angenehmes und hygienisches Raumklima vorliegen. In Wohnungen, in denen kein ausreichender Wärmeschutz besteht, kann die Gesundheit des Menschen aufgrund von kalten und feuchten Räumen stark gefährdet sein. Dies führt in der Regel dazu, dass der Bewohner sich nicht mehr Wohl fühlt und somit eine Unbehaglichkeit empfindet. Die Behaglichkeit des Menschen in beheizten Räumen hängt von mehreren Faktoren ab:

- Raumlufttemperatur
- Oberflächentemperatur der Außenbauteile
- Fußbodentemperatur
- Relative Luftfeuchtigkeit
- Luftbewegung

Ist die Raumlufttemperatur zu niedrig, dann verliert der Mensch zuviel Energie in Form von Wärme, er friert. Ist die Oberflächentemperatur z.B. einer Außenwand zu niedrig, wird dem Menschen zu viel Wärme von diesem Bauteil entzogen und er fröstelt. Gleiches gilt für die Fußbodentemperatur. Zu große Luftbewegungen, z.B. durch eine undichte Gebäudehülle, empfindet der Mensch als störend und unangenehm, es zieht. Diese wärmephysikalischen Vorgänge zeigen, dass Wohngebäude nutzungsbedingt einen ausreichenden Wärmeschutz bzw. Wärmeschutzanforderungen benötigen.

#### 3.3.2 Anforderungen an den Wärmeschutz im Winter

Um wirtschaftlich beheizbare Wohnräume zu schaffen, müssen wärmeschutztechnische Anforderungen an die Umfassungsflächen eines Gebäudes gestellt werden. Diese als Mindestwärmeschutz bezeichneten Anforderungen sind Mindestanforderungen, die verbindlich eingehalten werden müssen. Zu unterscheiden ist dabei der winterliche und sommerliche Wärmeschutz.

Durch den winterlichen Wärmeschutz soll gewährleistet werden, dass ein gesundes und hygienisches Raumklima vorliegt, die Bauteile vor schädlichen Feuchtigkeitseinwirkungen geschützt sind und zudem ein möglichst geringer Energieverbrauch für die Beheizung des Gebäudes vorliegt.

In der DIN 4108-2 [17] und in der Energieeinsparverordnung vom 16.11.2001 [18] sind die Grundlagen für den Wärmeschutz festgelegt. Wärmeschutzmaßnahmen, die über die Mindestanforderungen hinausgehen, werden als erhöhter Wärmeschutz bezeichnet. Anwendung findet der Mindestwärmeschutz bei Räumen im Hochbau, die je nach ihrer Bestimmung auf übliche Innentemperaturen von  $\geq 19\text{ °C}$  beheizt werden. Gebäude die niedrigere Innentemperaturen aufweisen ( $12\text{ °C} \leq \theta \leq 19\text{ °C}$ ), werden besonders behandelt.



### 3.3.2.1 Nicht transparente Bauteile

Die DIN 4108-2 unterscheidet bauteilspezifisch die unterschiedlichen Anforderungen an den Wärmeschutz zwischen Massivbauteilen und leichten Bauteilen bzw. Rahmen- und Skelettbauarten. Der Holztafelbau darf hierbei sinngemäß im Bereich der Rahmen- und Skelettbauart eingeordnet werden [35]. Für Außenwände, Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen und Dächern mit einer flächenbezogenen Gesamtmasse  $< 100 \text{ kg/m}^2$  gelten erhöhte Anforderungen mit einem Mindestwert des Wärmedurchlasswiderstandes  $R > 1,75 \text{ m}^2 \times \text{K} / \text{W}$ . Bei der Rahmenbauart gilt dieser Wert jedoch nur für den Gefachbereich. Es ist aber in jedem Fall für das gesamte Bauteil im Mittel der Wert  $R = 1,0 \text{ m}^2 \times \text{K} / \text{W}$  einzuhalten. Die Rahmen nichttransparenter Ausfachungen dürfen höchstens einen Wärmedurchgangskoeffizienten von  $U_{f,BW} \leq 3,0 \text{ W} / (\text{m}^2 \times \text{K})$  aufweisen. Der nichttransparente Teil der Ausfachung von Fensterwänden und Fenstertüren, der mehr als 50 % der gesamten Ausfachungsfläche beträgt, muss mindestens die Anforderung  $R \geq 1,2 \text{ m}^2 \times \text{K} / \text{W}$  erfüllen. Bei Flächenanteilen von weniger als 50 % muss  $R \geq 1,0 \text{ m}^2 \times \text{K} / \text{W}$  sein. Die minimalen Wärmedurchlasswiderstände min R sind für die jeweiligen Bauteile in der Tabelle 8 zusammengefasst. Der zugehörigen maximalen Wärmedurchgangskoeffizienten U max ergeben sich durch die Bildung des Kehrwertes unter Berücksichtigung verschiedener Wärmeübergangswiderstände.

Bauteile	Wärmedurchlasswiderstand min R [ $\text{m}^2 \times \text{K} / \text{W}$ ]	Wärmedurchgangskoeffizient max U [ $\text{W} / \text{m}^2 \times \text{K}$ ]
Außenwände, Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen und Dächer ( $< 100 \text{ kg/m}^2$ )	1,75	0,52
Rahmen und Skelettbauarten im Gefachbereich	1,75	0,52
für das gesamte Bauteil im Mittel	1,00	0,85
Rollladenkästen	1,00	0,85
Deckel von Rollladenkästen	0,55	1,39
Nichttransparenter Teil der Ausfachungen von Fensterwänden und Fenstertüren		
bei $> 50 \%$ der Gesamtausfachungsfläche	1,20	0,73
bei $< 50 \%$ der Gesamtausfachungsfläche	1,00	0,85
Unterer Abschluss nicht unterkellerten Aufenthaltsräume <sup>1</sup>	0,90	0,93

**Tabelle 8: Mindestwerte der Wärmedurchlasswiderstände bzw. Maximalwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten, relevanter Außenbauteile im Holztafelbau [17]**

<sup>1</sup> nicht bei integriertem Heizsystem (Fußbodenheizung)



### 3.3.2.2 Transparente Bauteile

Außenliegende Fenster und Türen von beheizten Räumen müssen mindestens eine Isolier- oder Doppelverglasung aufweisen. Bestehen Außenfassaden von beheizten Räumen aus einer Pfosten-Riegel-Konstruktion oder einer geschosshohen Fensterfassade, sind sie mindestens in wärmetechnisch getrennten Aluminiumprofilen auszuführen. Im transparenten Bereich ist ebenfalls mindestens eine Isolier- oder Doppelverglasung zu verwenden [17]. Für den nichttransparenten Ausfachungsbereich sind die Mindestdurchlasswiderstände nach Tabelle 8 einzuhalten.

### 3.3.3 Energieeinsparverordnung (EnEV)

Die Energieeinsparverordnung [18] wurde im Februar 2002 eingeführt und löste die bis dahin geltende Wärmeschutzverordnung von 1995 ab. Diese neue Verordnung stellt zum einen höhere Anforderungen an den Wärmeschutz des Gebäudes, zum anderen wird auch der Energiebedarf für die Gebäudeheizung, die Warmwasserbereitung und die Lüftung berücksichtigt.

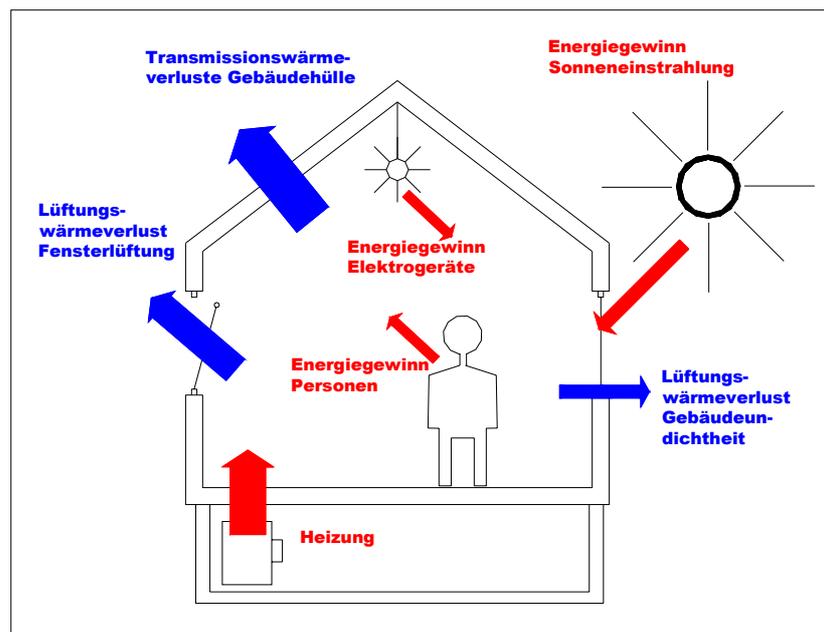
Mit der neuen Bewertungsgröße „maximaler Jahres-Primärenergiebedarf“, sollen weitere Einsparungen von Energie bei der Gebäudenutzung sichergestellt werden.

Der Jahres-Primärenergiebedarf  $Q_p$  beinhaltet den Jahresheizwärmebedarf  $Q_h$ , den Wärmebedarf für die Trinkwassererwärmung  $Q_w$  und die Anlagenaufwandszahl  $e_p$ . Dabei ist  $Q_p = (Q_h + Q_w) \times e_p$ . Die Anlagenaufwandszahl beschreibt die Anlagenverluste, in dem das Anlagensystem berücksichtigt wird (z.B. Brennwertkessel, Niedertemperaturkessel o.a.).

Der Jahresheizwärmebedarf  $Q_h$  beinhaltet den Transmissionswärmebedarf  $Q_T$ , den Lüftungswärmebedarf  $Q_V$ , die nutzbaren solaren Wärmegewinne  $Q_s$  und die nutzbaren internen Wärmegewinne  $Q_i$ . Dabei ist  $Q_h = Q_T + Q_V - Q_s - Q_i$ .

Der Transmissionswärmebedarf gleicht Transmissionswärmeverluste aus und der Lüftungswärmebedarf die Lüftungswärmeverluste um ein gleichmäßiges Raumklima zu gewährleisten. Die nutzbaren solaren Gewinne resultieren z.B. aus der Sonnenstrahlung durch Fenstern, die nutzbaren internen Wärmegewinne erfolgen z.B. durch die Wärmeabgabe von Menschen oder wärmeerzeugenden Geräten (Beleuchtung, Herd).

Die Abbildung 3 zeigt schematisch diese Zusammenhänge.



**Abbildung 3: Wärmeverluste und Wärmegewinne (schematisch) [10]**

Die Anforderungen der EnEV beziehen sich auf den Jahres-Primärenergiebedarf und auf die spezifischen Transmissionswärmeverluste, wobei jeweils begrenzte Maximalwerte einzuhalten sind. Die Begrenzung erfolgt

- durch den maximalen Jahres-Primärenergiebedarf  $Q_p$  in  $\text{kWh}/(\text{m}^2 \times \text{a})$ 
  - für Wohngebäude allgemein ( $Q'_p$ ), bezogen auf die Gebäudenutzfläche  $A_N$
  - für andere Gebäude ( $Q'_p$ ), bezogen auf das beheizte Gebäudevolumen
- durch den spezifischen Transmissionswärmeverlust  $H'_T$  in  $\text{W}/(\text{m}^2 \times \text{a})$  für Nichtwohngebäude und Wohngebäude mit einem Fensterflächenanteil von  $\leq 30\%$ , bezogen auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche  $A$ .
- jeweils erweitert durch die Werte für den Energiebedarf der Heizungs-, Trinkwassererwärmungs- und Lüftungsanlage.

Die festgelegten Höchstwerte sind der EnEV (siehe Anlage 2) zu entnehmen.

### 3.3.4 Anforderungen im Bereich von Wärmebrücken

Wärmebrücken können zu extrem niedrigen raumseitigen Oberflächentemperaturen führen. Erhöhte Transmissionswärmeverluste, Tauwasserniederschlag und somit die Gefahr von Schimmelpilzbildung können die Folge sein.

Prinzipiell lassen sich Wärmebrücken geometrisch bedingte und stofflich bedingte Wärmebrücken einteilen.



Eine geometrische Wärmebrücke ist z.B. eine Außenwanddecke. Im ungestörten Bauteilbereich sind die Flächen der wärmeaufnehmenden Innenoberfläche und der wärmeabgebenden Außenoberfläche gleich groß. Im Gegensatz dazu ist die wärmeabgebende Außenoberfläche im Eckbereich wesentlich größer als die wärmeaufnehmende Innenoberfläche. Das Resultat ist ein erhöhter Wärmestrom im Eckbereich.

Stofflich bedingte Wärmebrücken resultieren durch nebeneinander liegende Bauteilbereiche mit deutlich unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten, wodurch zu unterschiedlichen Wärmeströmen kommt. Als Beispiel wäre der Anschluss einer Decke an eine Außenwand zu nennen (Geschossdeckeneinbindung).

Erfolgt der Nachweis zum energiesparenden Wärmeschutz nach der EnEV, müssen die auftretenden Wärmebrückeneinflüsse eines Gebäudes berücksichtigt werden. Dabei gibt es drei verschiedene Möglichkeiten diese Einflüsse bei der Berechnung des Transmissionswärmeverlustes zu berücksichtigen:

1. Berücksichtigung durch eine Erhöhung der Wärmdurchgangskoeffizienten um  $\Delta U_{WB} = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$  für die gesamte wärmeübertragende Umfassungsfläche
2. Bei Anwendung der Planungsbeispiele nach DIN 4108, Bbl. 2, durch eine Erhöhung der Wärmdurchgangskoeffizienten um  $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$  für die gesamte wärmeübertragende Umfassungsfläche
3. Durch den genauen Nachweis der Wärmebrücken

Die Vermeidung von Schimmelpilzbildung im Bereich von Wärmebrücken setzt zum einen eine ausreichende Belüftung und Luftzirkulation in den Räumen voraus, zum anderen sind die in der DIN 4108-2-6.2 angegebenen Anforderungen einzuhalten. Ecken von Außenbauteilen mit gleichartigem Aufbau nach DIN 4108-2 Tab. 3 und alle Wärmebrücken nach DIN 4108 Bbl. 2 sind ausreichend wärmegeklärt und benötigen keinen zusätzlichen Nachweis. Konstruktionen die hiervon abweichen müssen dagegen an der ungünstigsten Stelle (minimale raumseitige Oberflächentemperatur) die Mindestanforderung an den Temperaturfaktor  $f_{Rsi} \geq 0,70$  erfüllen. Diese Bedingung gewährleistet den Schutz vor kritischer Oberflächenfeuchtigkeit auf der Innenseite von Außenbauteilen. Die Berechnung des Temperaturfaktors  $f_{Rsi}$  setzt sich wie folgt zusammen:

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

Dabei ist

$\theta_{si}$  ... die raumseitige Oberflächentemperatur

$\theta_i$  ... die Innenlufttemperatur

$\theta_e$  ... die Außenlufttemperatur

Die dazugehörigen Randbedingungen sind der DIN 4108-2-6.2 zu entnehmen [17].



### 3.3.5 Luftdichtheit von Gebäuden und Gebäudeteilen

Fugen müssen in der wärme gedämmten Umfassungsfläche des Gebäudes, insbesondere auch bei durchgehenden Fugen zwischen Fertigteilen oder zwischen Ausfachungen und dem Tragwerk, nach dem Stand der Technik dauerhaft und luftundurchlässig abgedichtet sein [17]. Nur so kann gewährleistet werden, dass ein Austausch der Raumluft nicht unkontrolliert aufgrund von Wind- und Luftdruckverhältnisse, sondern gezielt nach hygienischen Bedürfnissen (z.B. gesundes Raumklima, Behaglichkeit) erfolgt.

Eine Überprüfung der Luftdichtheit des gesamten Gebäudes (z.B. durch eine Blower Door Messung) wird dagegen von der EnEV nicht zwingend gefordert. Wird aber beim Nachweis der EnEV eine Luftdichtheitsprüfung nach DIN EN 13829 [19], Verfahren A angesetzt, dürfen folgende Werte nicht überschritten werden:

- bei Gebäuden ohne raumluftechnische Anlage  
bezogen auf das Raumlufvolumen 3/h oder  
bezogen auf die Netto-Grundfläche  $7,8 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \times \text{h})$
- bei Gebäuden mit raumluftechnischen Anlagen (auch Abluftanlagen)  
bezogen auf das Raumlufvolumen 1,5/h oder  
bezogen auf die Netto-Grundfläche  $3,9 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \times \text{h})$

Anforderungen an die Luftdichtheit von Außenbauteilen stehen zudem in der DIN 4108-2 [17]. So müssen Fugen in der wärme gedämmten Umfassungsfläche des Gebäudes, insbesondere auch bei durchgehenden Fugen zwischen Fertigteilen oder zwischen Ausfachungen und dem Tragwerk, nach dem Stand der Technik dauerhaft und luftundurchlässig abgedichtet sein. Der Fugendurchlasskoeffizient von Bauteilanschlussfugen muss dabei  $a < 0,1 \text{ m}^3/\text{m} \times \text{h}(\text{daPa}^{2/3})$  sein. Dieser Wert wird aus entsprechenden Messergebnissen abgeleitet.

Außentüren dürfen einen Fugendurchlasskoeffizienten von  $a < 2,0 \text{ m}^3/\text{m} \times \text{h}(\text{daPa}^{2/3})$  besitzen, da eine Funktionsfuge vorliegt. Die Anforderungen für Fenster und Fenstertüren sind in der DIN 18055 [20] festgelegt. Für Fenster bzw. Fenstertüren der Beanspruchungsgruppe A (Gebäudehöhe bis 8 m und bis zu 2 Vollgeschossen) ist ein maximaler Fugendurchlasskoeffizient von  $2,0 \text{ m}^3/\text{m} \times \text{h}(\text{daPa}^{2/3})$ , für Fenster bzw. Fenstertüren der Beanspruchungsgruppe B (Gebäudehöhe bis 20 m und mehr als 2 Vollgeschosse) ein maximaler Fugendurchlasskoeffizient von  $1,0 \text{ m}^3/\text{m} \times \text{h}(\text{daPa}^{2/3})$  maßgebend.

### 3.3.6 Sommerlicher Wärmeschutz

Der sommerliche Wärmeschutz soll gewährleisten, dass es nicht zu unzumutbar hohen Innentemperaturen in Aufenthaltsräumen kommt. Um dies auch ohne energieintensive Kühlmaßnahmen zu realisieren, stellt die DIN 4108-2 zum einen konstruktive Anforderungen an die Art und die Größe der Verglasung eines Gebäudes, zum anderen werden die Auswirkungen eines bauseitigen Sonnenschutzes berücksichtigt.



Die Energiedurchlässigkeit von transparenten Außenbauteilen, wie z.B. Fenster, Fenstertüren oder Dachflächenfenster, wird durch den Sonneneintragskennwert  $S$  gekennzeichnet. Dieser ist abhängig:

- vom Fensterflächenanteil in der Fassade,
- vom Gesamtenergiedurchlass der Verglasung,
- von der Wirksamkeit der Sonnenschutzvorrichtungen und
- vom Rahmenanteil am Fenster

Der Sonneneintragskennwert  $S$  wird raumbezogen ermittelt, wobei es ausreicht, einige repräsentative Referenzräume des Gebäudes, die gleichzeitig den ungünstigsten Fall darstellen, zu untersuchen [35]. Damit Wohngebäude möglichst ohne anlagentechnische Kühlung auskommen und zugleich keine unzumutbaren Temperaturen erreicht werden, darf der raumbezogene Sonneneintragskennwert  $S$  den Höchstwert  $S_{\max}$  nicht überschreiten.

Der maximale Sonneneintragskennwert  $S_{\max}$  ist für die Räume, für die der Sonneneintragskennwert bestimmt wurde, zu berechnen. Er ist abhängig vom Basiswert des Sonneneintragskennwerts und von entsprechenden Zuschlagswerten aus der DIN 4108-2-Tab.9.

Sollen die Anforderungen an einen ausreichenden Wärmeschutz im Sommer nach DIN 4108-2 erfüllt werden, muss  $S \leq S_{\max}$  sein.

Auf den detaillierten Nachweis kann verzichtet werden, wenn der Fensterflächenanteil  $f$  unter den in der DIN 4108-2- Tab. 7 angegebenen Grenzen liegt. Weiterhin sind Ein- und Zweifamilienhäuser vom Nachweis befreit, wenn die Fenster in Ost-, Süd- oder Westorientierung mit außenliegenden Sonnenschutzvorrichtungen wie z.B. Rollläden ausgestattet sind.

### **3.4 Feuchteschutzanforderungen**

#### **3.4.1 Tauwasserschutz**

Die Anforderungen zur Vermeidung von kritischer Oberflächenfeuchte sind bereits im Kapitel 3.3.4 erläutert.

Bei der Wasserdampfdiffusion durch ein- oder mehrschichtige Bauteile kommt es bei einer abnehmenden Temperatur im Bauteil zu einer Erhöhung der relativen Luftfeuchte. Gleichzeitig steigt der Wasserdampfdruck  $p$ , wobei es zu einem Wechsel des Aggregatzustandes von Wasserdampf zu Wasser kommt (Kondensat/Tauwasser), wenn der Wasserdampfdruck den Sättigungsdampfdruck  $p_s$  erreicht. Dieser Teil der kondensierenden dampfförmigen Feuchtigkeit kann im Bauteilinneren zu einer mehr oder weniger großen Innendurchfeuchtung führen. Da Wasser bekanntlich ein sehr guter Wärmeleiter ist, kann diese Bauteilfeuchte die Wärmedämmfähigkeit einer Bauteilkonstruktion stark herabsetzen. Zudem kann an organischen Stoffen, wie z.B. Holz, Schimmel entstehen.



Für die Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen sind die Anforderungen der DIN 4108-3 [21] zu beachten. Hier ist u.a. festgelegt, dass der Anfall von Tauwasser keine Materialschädigungen oder eine Beeinträchtigung der Funktionalität des Bauteils zur Folge haben darf. Tauwasser gilt somit als unschädlich, wenn wesentliche Anforderungen wie z.B. der Wärmeschutz und die Standsicherheit erfüllt sind und zudem folgende Bedingungen eingehalten sind:

- a) Es darf zu keiner Schädigung (z.B. Pilzbefall des Holzes) der Baustoffe kommen, die mit dem Tauwasser in Berührung kommen.
- b) Die Verdunstungsmasse des Tauwassers während der Verdunstungsperiode  $m_{w,v}$  muss größer sein als die Tauwassermasse während der Tauperiode  $m_{w,T}$ :  $m_{w,v} \geq m_{w,T}$
- c) Die flächenbezogene Tauwassermasse  $m_{w,T}$  darf bei Dächern und Wänden  $1,0 \text{ kg/m}^2$  nicht überschreiten (ausgenommen Fall d)
- d) Kommt es zu einer Tauwasserbildung an Berührungsflächen mit einer kapillar nicht wasseraufnahmefähigen Schicht, darf die flächenbezogene Tauwassermasse maximal  $0,5 \text{ kg/m}^2$  betragen.
- e) Bei Holz- und Holzwerkstoffen (ausgenommen Holzwohle-Leichtbauplatten und Mehrschicht-Leichtbauplatten) darf es zu keiner Erhöhung des massenbezogenen Feuchtegehalts bei Holz um mehr als 5%, bei Holzwerkstoffen um nicht mehr als 3% kommen.

Eine Berechnung der Tauwassermenge ist für alle Bauteile durchzuführen, sofern diese Bauteile nicht als unbedenklich gegen Tauwasserausfall infolge Dampfdiffusion gelten. Die Bauteile (Außenwände, belüftete und unbelüftete Dächer), für die kein rechnerischer Nachweis erforderlich ist, sind in der DIN 4108-3-4.3 beschrieben.

### 3.4.2 Schlagregenschutz

Wasser, das durch Schlagregen auf die Wandoberfläche gelangt, kann durch die kapillare Saugwirkung der Wandoberfläche in die Wand aufgenommen werden oder infolge des Staudrucks z.B. über Risse in die Wand gelangen. Es muss gewährleistet werden, dass das aufgenommene Wasser nicht daran gehindert wird, aus der Konstruktion zu verdunsten. Um aber im Vorfeld schon zu verhindern, dass Wasser durch Schlagregen in die Wand gelangt und zu Wärmeverlusten und evtl. Frostschäden führt, können wasserabweisende oder wasserhemmende Beschichtungen oder Putze verwendet werden. Die DIN 4108-3 teilt die Schlagregenbelastung in drei Beanspruchungsgruppen I-III mittels einer Übersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland auf. In der DIN 4108-3-Tab.3 sind die jeweiligen Wandbauarten bzw. Putze, Platten usw. den drei Beanspruchungsgruppen zugeordnet.

Auch im Bereich von Fugen müssen Gebäude Anforderungen an den Schlagregenschutz erfüllen. Es können auf der einen Seite Fugendichtstoffe nach DIN 18540 [22] eingesetzt werden, auf der anderen Seite können konstruktive Maßnahmen erfolgen. In der DIN 4108-3-Tab.4 sind Beispiele



für die Zuordnung von Fugenabdichtungsarten und den entsprechenden Beanspruchungsgruppen angegeben.

Die Schlagregensicherheit von Fenstern und Außentüren wird in der DIN EN 1027 [23] geregelt.

### **3.4.3 Luftdichtheit**

Wände und Dächer müssen luftdicht ausgeführt sein, damit es zu keiner Durchströmung und Mitführung feuchter Raumluft durch die Bauteilkonstruktion kommt. Auch hier kann Tauwasser im Inneren eines Bauteils entstehen, wenn durch eine Undichtheit des Außenbauteils Luftströmungen infolge von Druckdifferenzen (Wind) oder Temperaturdifferenzen zwischen Raum- und Außenluft (Thermik) auftreten. Die dadurch bedingte Wasserdampf-Konvektion kann unter Umständen mehr Feuchtigkeit in eine Konstruktion bringen als es bei der Wasserdampfdiffusion der Fall ist [36]. Deshalb ist es zwingend notwendig, Undichtheiten und Leckagen in der Gebäudehülle z.B. im Bereich von Installationen (Steckdosen usw.) zu vermeiden. Dabei fordert die DIN 4108-3 bei Holzbauteilen generell die Anbringung einer Luftdichtheitsschicht nach DIN 4108-7 [24]. Diese wird im Holztafelbau in der Regel auf der Innenseite der Wandkonstruktion in Form einer Dampfsperre angebracht.



## **4 Beschreibung der verfahrenstechnischen Anforderungen an die wirtschaftliche Erstellung und Montage von Häusern in Tafelbauart**

### **4.1 Das Typenhaus**

Der Ursprung des Fertighauses liegt neben dem Bau von exklusiven und individuellen Fertighäusern (Architektenhäuser) im Bau von sog. Typenhäusern.

Typenhäuser sind Häuser, dessen Grundrisse und Formen vorgegeben sind und als standardisierte Hausvarianten hergestellt werden.

Der Grundgedanke bei der Herstellung von Typenhäusern ist die Unveränderbarkeit und Wiederholung von Planungs- und Realisierungsprozessen. Dies ermöglicht eine besonders hohe Effizienz und Wirtschaftlichkeit bei der Herstellung von Häusern in Holztafelbauart.

Gerade im Bereich der Planung eines Bauvorhabens sind sehr hohe Kosten impliziert, die bei der Realisierung von Typenhäusern weitestgehend entfallen könnten. Hierzu zählen u.a. die Anfertigung von individuellen Grundrissplänen und die Erstellung spezifischer Elementierungspläne für die Werksfertigung.

Soll ein Typenhaus in verschiedenen Varianten hergestellt werden, muss darauf geachtet werden, dass die Änderungen zwischen den einzelnen Varianten keine zeitintensiven, zusätzlichen Planungsarbeiten verursachen. Wird der Grundriss z.B. um eine kleine Wand ergänzt, die einen Raum in zwei Räume teilt um so einen weiteren Raum zu erhalten, müssen in der Planungsabteilung Änderungen an den Elementierungsplänen vorgenommen werden, die durch die geringe Komplexität keine wesentlichen Kosten verursachen.

Weist dagegen eine Grundrissvariation elementare Veränderungen auf, so dass sich z.B. aus baustatischer Sicht ein völlig neues Tragverhalten einstellt, geht der eigentliche Sinn des Typenhauses verloren. Die Statik, die als Typenstatik einmalig für jeden Haustyp angefertigt wird, muss auch bei den verschiedenen Varianten anwendbar sein, um keine zusätzlichen Kosten in diesem Bereich zu verursachen.

In der Praxis ist es üblich, alle benötigten Planungsunterlagen für ein Typenhaus für jede Variante einmalig anzufertigen und diese anschließend bei Bedarf einfach „aus der Schublade zu ziehen“. Übertrieben ausgedrückt ist es dann nur noch nötig, für ein Typenhaus den Lageplan individuell zu erstellen, alle anderen projektspezifischen Unterlagen sind bereits vorhanden und können je nach Bedarf abgerufen werden.

Zielgruppe für dieses Konzept, wie im Kapitel 1 bereits erläutert, sind junge Familien mit mittlerem und geringem Einkommen, sowie kinderreiche Familien, denen beim kostengünstigen Bauen zu wenige Möglichkeiten geboten werden.

Alle weiteren Detailangaben beziehen sich auf Informationen des Unternehmens Gussek Haus in Nordhorn, die im Rahmen eines Betriebspraktikums und in den Vorbereitungen zu dieser Diplomarbeit gewonnen wurden.

Das Unternehmen Gussek Haus in Nordhorn besteht seit 1952 und wird von Franz Dieter Gussek und von Dr. Frank Gussek geleitet. Die Firma fertigte früher Häuser in Holzrahmenbauweise, die



seit 1963 in Holztafelbauweise produziert werden. Zusätzlich zum Werk in Nordhorn betreibt die Firma noch ein weiteres Fertighauswerk in Elsnigk (bei Dessau). An diesen beiden Standorten auf über 30000 m<sup>2</sup> Produktionsfläche realisiert das Unternehmen momentan über 300 Bauvorhaben pro Jahr. Die Mitarbeiterzahlen sind saisonal abhängig und werden von der aktuellen Konjunktur beeinflusst. Sie können somit nur Anhaltswerte darstellen. Zurzeit beschäftigt die Firma Gussek Haus ca. 400 Mitarbeiter. Davon entfallen ca. 250 Personen auf den Standort Nordhorn und ca. 150 Personen auf den Standort Elsnigk.

Seit kurzer Zeit plant das Unternehmen die Produktion eines Typenhauses mit dem Namen „Tipo“. Wurden bislang individuelle Häuser in verschiedenen Modellreihen gefertigt, will der Fertighaushersteller nun seine Produktpalette um ein Typenhaus erweitern. Die Fertigung des „Tipo“ soll dabei in die laufende Produktion integriert werden wobei das Haus parallel mit Häusern aus den anderen Modellreihen hergestellt werden soll.

Um ein erhöhtes Angebot im Bereich des Typenhauses zu bieten und um so möglichst viele potentielle Kunden anzusprechen, soll das Tipo in drei verschiedenen Typenausführungen mit unterschiedlichen Varianten auf den Markt gebracht werden.

#### **4.2 Kostengliederung bei der Herstellung von Fertighäusern**

Das Ziel bei der wirtschaftlichen Erstellung und Montage von Fertighäusern in Tafelbauart ist die Realisierung eines günstigen Preises für das Produkt. Die dabei anfallenden Planungskosten können bei den Typenhäusern außer Betracht gelassen werden, da diese für jede Hausvariante einmalig entstehen und auf die zu erwartenden Projekte anteilig umgelegt werden können. Bei der Produktion von individuellen Fertighäusern sind diese Kosten dagegen von Objekt zu Objekt unterschiedlich und aufgrund des oben erläuterten Sachverhaltes von größerer Bedeutung.

Das Diagramm 3 zeigt die prozentuale Verteilung der Baukosten eines individuellen Kundenhauses der Firma Gussek Haus.

Die Planungskosten verursachen fast 5 % der Gesamtbausumme. In diesem Bereich können, wie bereits erläutert, relativ einfach Kosten eingespart werden.

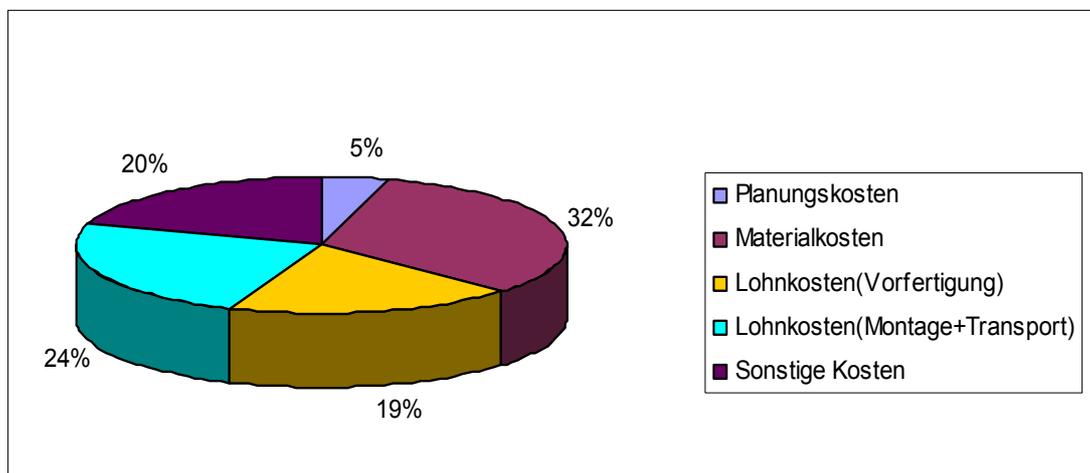
Weiter ist zu erkennen, dass die gesamten Lohnkosten einen Großteil der Gesamtbausumme darstellen. In dieser Kostenart sind z.B. die Abschreibungskosten des Maschinenparks der Werksfertigung oder die Energieversorgungskosten der Produktionsstätte enthalten. In den Lohnkosten, die beim Transport und der Montage entstehen sind z.B. die Unterhaltskosten des Fuhrparks oder die Kosten, die durch den baustellenbetreuenden Bauleiter entstehen, enthalten. Da diese Kosten zusätzlich zu den Kosten, die direkt der Herstellung bzw. der Montage zuzuordnen sind, anfallen, ist dieser Kostenblock von besonderer Bedeutung wenn es darum geht, Kosten zu reduzieren.

Die im Diagramm aufgeführten sonstigen Kosten beinhalten u.a. Subunternehmerleistungen. Dies lässt keine eindeutige Zuordnung bezogen auf die Kostenarten zu, wobei davon auszugehen ist, dass sich die Kostenarten der Subunternehmerleistungen analog zu den Kostenarten im eigenen



Bereich verhalten. Dadurch würde sich die prozentuale Verteilung der Kostenarten wenn überhaupt nur geringfügig ändern.

Kosten, die z.B. für den Vertrieb (Marketing, Musterhäuser usw.) entstehen sind im Diagramm 3 prozentual gleichmäßig auf alle Kostenarten verteilt.



**Diagramm 3: Prozentuale Verteilung der Kostenarten bei der Herstellung eines individuellen Fertighauses (Kundenhaus) [39]**

Die Materialkosten nehmen einen direkten Einfluss auf die Herstellkosten, da sie u.a. durch die Preise der Baustoffe bestimmt werden. Kommen hier preisgünstige Materialien zum Einsatz, schlägt sich dies unmittelbar in der Preisbildung nieder.

Als Beispiel wäre der Einsatz von verschiedenen Dämmmaterialien zu nennen. Wird Glaswolle als Rollenware anstatt Steinwolle als mehrlagige Plattenware zur Dämmung der Gefachbereiche im Außenwandbereich verwendet, sind andere Preisansätze für den Einkauf der Ware anzusetzen, da die Glaswolle zu günstigeren Konditionen erhältlich ist (bei gleicher Wärmeleitfähigkeit).

Wichtiger als die Veränderung der Materialkosten sind die Auswirkungen einer solchen Maßnahme auf die Lohnkosten. Bei der Verarbeitung von Glaswolle als Rollenware kann eine deutliche Reduzierung der Lohnkosten erfolgen, da die Verarbeitung von mehrlagiger Steinwolle als Plattenware zeitintensiver ist. Großformatige Dämmmaterialien als Rollenware sind manuell schneller zu verarbeiten, da zum einen die Zuschneidarbeiten überwiegend entfallen, zum anderen wird die Verlegezeit dadurch minimiert, dass nur ein großes Stück Dämmung in die Gefache verlegt werden muss, im Gegensatz zu der mehrlagigen Verlegung kleinformatiger Dämmplatten.

In diesem Zusammenhang ist allerdings auch der Einfluss auf die Materialwirtschaft eines Unternehmens zu berücksichtigen, die im folgenden Kapitel näher erläutert wird.



### 4.3 Materialwirtschaft

Ist ein Wechsel im Bereich der eingesetzten Materialien geplant, muss in diesem Zusammenhang parallel die Materialwirtschaft eines Unternehmens berücksichtigt werden. Neue Materialien bzw. Artikel benötigen allgemeine Bereitstellungsplätze in einem Unternehmen. Dies sind z.B. zusätzliche Lagerplätze, an denen die Ware in größerer Menge für die Produktion bevorratet wird. Zudem werden arbeitsplatzspezifische Bereitstellungsplätze benötigt.

Der Stellplatz für neue bzw. zusätzliche Artikel / Materialien ist in einer bestehenden Produktion eines Fertighausherstellers nur begrenzt oder überhaupt nicht vorhanden. Ist in der bestehenden Fertigung ein Wechsel des Außenwandaufbaus für eine bestimmte Produktserie geplant, indem die Höhe der Holzstiele reduziert wird, sollte auf Konstruktionshölzer zurückgegriffen werden, die für die sonstige Produktion an den Arbeitsplätzen bereits vorhanden sind. Sind z.B. 10 cm Hölzer am Arbeitsplatz gelagert (siehe Abb. 4), sollten diese für die Außenwand verbaut werden (sofern dies konstruktiv möglich ist), wodurch kein zusätzlicher Lagerplatz am Arbeitsplatz notwendig wäre.

Die Abbildung 4 zeigt einen Ausschnitt des Layouts der Vorfertigung der Firma Gussek Haus.

Ein Gesamtüberblick des Fertigungslayouts ist der Anlage 3 zu entnehmen.

Es wird deutlich, dass die Lagerkapazitäten direkt am Arbeitsplatz begrenzt sind und ein weiterer Stellplatz für eine Materialgruppe schwer realisierbar ist. Die Stiele mit den Abmaßen 5/10, die für die Produktion der übrigen Haustypen am Arbeitsplatz vorhanden sind, könnten als Alternative zu den 5/15 Stielen für geringere Außenwanddicken verwendet werden, ohne zusätzliche Lagerflächen direkt am Arbeitsplatz zu benötigen. Zudem wären auch in der allgemeinen Materialwirtschaft des Unternehmens keine zusätzlichen Lagerflächen nötig.

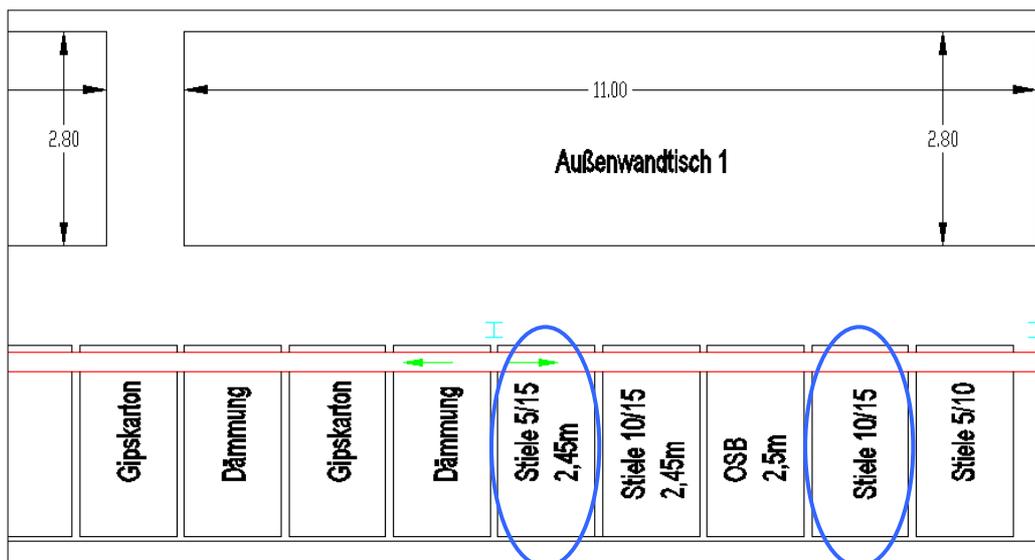


Abbildung 4: Ausschnitt des Werkslayout der Firma Gussek Haus



#### 4.4 Fertigung

Weitere Zusammenhänge der Fertigung, des Transports und der Montage von Fertighäusern in Holztafelbauweise sollen ebenfalls am Beispiel des Fertighausherstellers Gussek Haus erläutert werden:

Die Hausfertigung im Werk Nordhorn ist gekennzeichnet durch einen mittleren Versorgungsstrang, an dem die elementaren Arbeitsplätze der Produktion gekoppelt sind. Diese Arbeitsplätze sind:

- der Abbund über eine Abbundanlage (Hundegger K2 )
- der Sonderzuschnitt über eine Pendelsäge
- die Sanitärplattenfertigung
- der Plattenzuschnitt über eine horizontale Plattensäge (Giben)
- die Deckenelementfertigung
- die Dachelementfertigung
- die Außen- und Innenwandfertigung

Ausgangspunkt der Fertigung ist die Abbundanlage „Hundegger K2“, die hauptsächlich für den Abbund von Schwelle, Rähm, Sparren und Sonderstielen benötigt wird. Die Maschine besitzt ein Zuführregister der Firma Weinman, wodurch die Beschickung der Anlage erfolgt. Die NC-Generierung bzw. die CAD/CAM Ansteuerung der Maschine geschieht dabei durch das CAD-Programm BOCAD.

Der Sonderzuschnitt von Hölzern, für die der Abbund in der Abbundanlage unwirtschaftlich ist oder für die die Kapazität der Anlage nicht ausreicht, erfolgt handwerklich durch eine Pendelsäge.

Die Installationen der Haustechnik werden an einem weiteren Arbeitsplatz, der Sanitärplattenfertigung durchgeführt. Arbeiten wie z.B. das Verlegen der Abwasserrohre in den Wänden oder die Vorinstallation der Sanitärzelle werden hier durchgeführt.

Weiterhin ist für die Bearbeitung von Plattenwerkstoffen eine horizontale Plattensäge der Firma Giben vorhanden. Auch diese Maschine besitzt ein Register mit einer Aufnahmefähigkeit von bis zu sechs verschiedenen Plattentypen. Der Vorteil dieser Plattensäge ist die Option, nicht nur Holzwerkstoffplatten, sondern auch Gipsfaser-, Gipskarton-, und zementgebundene Platten schneiden zu können. Dies bedeutet eine erhöhte Flexibilität in Hinsicht auf die einsetzbaren Materialien für die Fertighäuser. Die NC-Generierung bzw. die CAD/CAM Ansteuerung erfolgt ebenfalls durch das CAD-Programm BOCAD. Die numerisch angesteuerten Maschinen der Fa. Hundegger und Giben sind direkt abhängig von der Qualität der im CAD-System erzeugten Stammdaten. Sind diese einmal fehlerfrei erzeugt, ist die Basis für geringe Planungskosten gelegt.

Die Fertigung der Holztafelelemente erfolgt halbindustriell an in der Fertighausindustrie typischen Wand-, Decken-, und Dachelementtischen. Der Großteil der Arbeiten wie z.B. das Auflegen der Stiele auf die Tische oder das Verlegen der Dämmung in die Gefache wird jedoch handwerklich durchgeführt. In der Deckenelementfertigung wird dagegen eine Portalmaschine benutzt, die z.B. automatisch Plattenwerkstoffe auf den Elementen verlegt und befestigt. Im Außen- und Innenwandbereich werden die einzelnen Elemente durch Hängeflurförderer zu den jeweiligen Bearbei-



tungsplätzen transportiert. Bei den anderen Arbeitsplätzen erfolgt der Transport durch Portalkrane, die in der gesamten Produktionshalle vorhanden sind.

#### **4.5 Transport und Montage**

Senkrecht zu dem in Kapitel 4.4 beschriebenen Versorgungsstrang gliedert sich eine Kopfhalle an, die der Verladung der Holztafelelemente dient. Hier werden die fertigen Elemente kommissioniert und für den Transport zur Baustelle vorbereitet. Die Verladung der Wand-, Decken- und Dachelemente erfolgt auf Wechselpritschen bzw. auf Wechselbrückenfahrzeuge mit Anhänger, wobei diese in der Regel durch den firmeneigenen Fuhrpark zur Baustelle transportiert werden. Die einzelnen Wandelemente werden senkrecht, die Decken- und Dachelemente waagrecht transportiert. Als Witterungsschutz dient eine große Abdeckplane, die über die auf dem Transportfahrzeug temporär befestigten Elemente gespannt wird.

Die Fertigungsmaße der Wand-, Decken- und Dachelemente werden durch die zulässigen Transport- bzw. Fahrzeugbreiten der Straßenverkehrsordnung bestimmt. Somit können die Wandelemente nur geschosshoch gefertigt werden, um die zulässige Gesamthöhe von 4 Metern (§18 StVO) nicht zu überschreiten. Decken- und Dachelemente, die i.d.R. liegend transportiert werden, mit Breiten bis zu 3 m hergestellt werden, da das Unternehmen eine ganzjährige Transport-Sondergenehmigung für Transporte über 2,55 m Breite besitzt.

Alle Fertighäuser mit Außenputz-Fassade werden z.Zt. auf der Baustelle Vorort geputzt. Folglich ist bisher noch keine Putzstrecke in der Vorfertigung vorhanden. Das „Tipo“ soll aber im Werk finish geputzt werden. Im Verladebereich ist ausreichend Platz für ein Standregister zur Putzapplikation vorhanden. Dies ist Voraussetzung um eine witterungsunabhängige und kostengünstige Fassadenausführung zu gewährleisten.

Die Montage der Häuser auf der Baustelle erfolgt mit Hilfe eines Montagekrans, der an den meisten Transportfahrzeugen (LKW) der Firma gekoppelt ist. Hierdurch werden zusätzliche Kosten, die bei der Anmietung eines Krans anfallen, vermieden.

Der Transport durch Fremdfirmen, wie z.B. einer ortsansässigen Spedition wird z.Zt. nur dann vorgenommen, wenn die Kapazitäten des firmeneigenen Fuhrparks erschöpft sind. Ob durch den generellen Einsatz von Fremdfirmen Kosten eingespart werden können, bedarf einer detaillierten Kostenrechnung im Einzelfall. Dabei sind die Entfernung des Werkes bis zur jeweiligen Baustelle und die zusätzlich anfallenden Kosten für einen Montagekran zu berücksichtigen.

Die eigentliche Montage wird von festen Kolonnen durchgeführt, wobei in jeder Kolonne ein Elektriker die sofort nötigen Installationen vornimmt.

Beim „Tipo“ sollen alle anfallenden Arbeiten bei der Montage von einer integrierten Kolonne ausgeführt werden, d.h. zu den eigentlichen Montagearbeiten können die Sanitär- und Elektroarbeiten mit ein und derselben Kolonne durchgeführt werden.

Zudem ist bei der Herstellung des Typenhauses geplant, dass alle Maler- und Putzarbeiten, die Vertragsbestandteil eines schlüsselfertigen Hauses sind, im Werk ausgeführt werden. Neben der



Witterungsunabhängigkeit besteht der weitere Vorteil darin, dass die Errichtung des Gebäudes ohne zusätzliche und kostenintensive Gerüstarbeiten realisierbar ist. Dies setzt allerdings den erwähnten hohen Vorfertigungsgrad der Fassade voraus.

Ein wichtiger Aspekt bei der Montage eines Fertighauses ist der Arbeitsschutz. Bei Traufhöhen unter drei Meter kann auf eine Absturzsicherung im Traufbereich, z.B. durch ein Gerüst, verzichtet werden. Hier schreibt der Arbeitsschutz aber spezielle Montageanweisungen vor, die den Einsatz persönlicher Schutzeinrichtungen zwingend vorschreibt. (z.B. eine Anseilschutz im Giebelbereich) [37]. Wird dies schon in der Planung des Hauses berücksichtigt, könne anfallende Kosten für den benötigten Arbeitsschutz minimiert werden.



## 5 Entwicklung eines Basishauses

Im Folgenden soll ein Basishaus für die in den nächsten Kapiteln durchgeführten Überlegungen und Berechnungen entwickelt werden, wobei hier z.T. auf vorhandene Grundlagen des Typenhauses „Tipo“ zurückgegriffen wird.

Das vorrangige Ziel bei der Entwicklung des Hauses ist die spätere Vermarktung.

Um das entsprechende Kundenklientel (siehe Kapitel 1) anzusprechen, ist die Realisierung eines günstigen Preises für das Haus die wichtigste Vorgabe. Die Einhaltung der bautechnischen Mindestanforderungen und eine optimierte Fertigung (siehe Kapitel 3 und 4) ist dabei die zwingende Voraussetzung. Um diese Vorgaben in die Realität umzusetzen, ist die Produktion eines Typenhauses die logische Folgerung (siehe Kapitel 4.1).

### 5.1 Ausbaustatus

Um auch in diesem Bereich eine möglichst breite Kundenschicht berücksichtigen zu können, soll das Basishaus in drei verschiedenen Ausbaustufen angeboten werden:

1. Rohbaufertig
2. Ausbaufertig
3. Fast Fertig

Aus Kundensicht bieten sich bei den Ausbauvarianten unterschiedliche Möglichkeiten.

Sowohl das rohbau- als auch das ausbaufertige Haus bietet sich für Bauherren an, die einen hohen Anteil an Eigenleistungen ausführen wollen und können. Der daraus resultierende kostengünstige Preis für ein Haus ist oftmals ausschlaggebend für den Kauf. Welche der beiden Ausbauvarianten dabei vom Bauherren bevorzugt wird, ist abhängig von handwerklichen Kenntnissen und dem nicht zu unterschätzenden Zeitfaktor für den Ausbau.

Die im Kapitel 2 bereits erläuterten Folgekosten bei der weiteren Fertigstellung werden dabei nicht selten falsch eingeschätzt, da viele Arbeiten, die als Eigenleistung geplant waren, in der Praxis nur von professionellen Fachleuten durchgeführt werden können (z.B. Installation der Heizungsanlage).

Das fast fertige Haus dagegen verursacht keine unüberschaubaren Folgekosten bis zur Fertigstellung. Die Arbeiten zur Fertigstellung des Hauses können i.d.R. vom Bauherren in Eigenleistung in einem überschaubaren Zeitraum selbstständig erfolgen. Aufgrund des komplexeren Vorfertigungsgrades in diesem Ausbaustatus ist ein höherer Preis für das Haus gerechtfertigt.

Aus Herstellersicht ergibt sich dagegen eine andere Betrachtung der verschiedenen Ausbaustufen. Im Kapitel 4 ist bereits die Kostengliederung bei der Herstellung eines Fertighauses erläutert worden. Die Lohnkosten für die Montage nehmen dabei eine nicht zu vernachlässigende Bedeutung ein. Entfällt hier z.B. ein Großteil der Arbeiten auf der Baustelle vor Ort dadurch, dass es sich um ein Ausbauhaus handelt, ergeben sich andere Preisansätze im Kalkulationsbereich für das Objekt. Die Gewinnspanne für ein verkauftes Ausbauhaus kann somit größer sein als



bei einem fast fertigen Haus, welches im direkten Vergleich einen wesentlich höheren Verkaufspreis besitzt.

Die Tabelle 9 enthält die allgemeine Baubeschreibung des geplanten Basishauses der drei verschiedenen Ausbaustufen. Eine explizite Beschreibung der einzelnen Bauteilkonstruktionen erfolgt in den folgenden Kapiteln.

Leistungen	Ausbaustufen		
	FF	AF	RF
<b>1. Bauplanung, Bauantrag, Bauleitung</b>	+	+	+
<b>2. Bodenplatte</b>	+	+	+
<b>3. Außenwände in Holztafelbauweise mit Putzfassade</b>	+	+	+
3.1 Werksseitige Vorspachtelung	+	+	-
3.2 Schließen von Wandöffnungen und Schlitzfenstern sowie Nachspachtelung	+	-	-
3.3 Giebel- und Drenpelwände mit Profilholzfassade	+	+	+
<b>4. Innenwände</b>	+	+	+
4.1 Werksseitige Vorspachtelung	+	+	-
4.2 Schließen von Wandöffnungen und Schlitzfenstern sowie Nachspachtelung	+	-	-
<b>5. Geschossdecken</b>	+	+	+
5.1 Vor- und Nachspachteln sowie Schließen von Öffnungen	+	-	-
<b>6. Decke über ausgebautem Dachgeschoss</b>	+	+	+
6.1 Vor- und Nachspachteln sowie Schließen von Öffnungen	+	-	-
<b>7. Dächer</b>			
7.1 Dachschrägen bei ausgebautem Dachgeschoss	+	+	+
7.2 Vor- und Nachspachteln sowie Schließen von Öffnungen	+	-	-
7.3 Dachüberstand aus wetterfesten Platten(Giebel/Traufe)	+	+	+
7.4 Endbehandlung der wetterfesten Platten	+	-	-
7.5 Dachrinne aus feuerverzinktem Stahlblech	+	+	-
<b>8. Holzfenster / Holzeingangstür</b>	+	+	+
8.1 Endbehandlung der Fenster /Hauseingangstür	+	-	-
8.2 Außenfensterbänke aus kunststoffbeschichteten Metall	+	+	+
8.3 Innenfensterbänke aus Marmor	+	-	-
<b>9. Vollholz-Buchentreppe(endbehandelt)</b>	+	+	-
<b>10. Zimmertüren</b>	+	-	-
<b>11. Fußboden</b>			
11.1 Estrich im Erdgeschoss(falls vorhanden)	+	+	-
11.2 Estrich im Dachgeschoss	+	+	-
11.3 Boden-/Wandfliesen	+	-	-
<b>12. Sanitär</b>			
12.1 Sanitärleitungen in den Wänden	+	+	+
12.2 übrige Sanitärleitungen	+	+	-
12.3 Sanitäreinrichtung	+	-	-
<b>13. Heizung</b>			
13.1 Heizungsleitungen	+	+	+
13.2 Heizungsanlage	+	+	-
<b>14. Elektro</b>			
14.1 Elektroleitungen	+	+	+
14.2 Zähleranlage	+	+	-
14.3 Schalter und Steckdosen	+	-	-
<u>Erläuterungen:</u> FF = fast fertig AF = ausbaufertig RF = rohbaufertig	+ = im Leistungsumfang enthalten - = nicht im Leistungsumfang enthalten		

**Tabelle 9: Allgemeine Leistungsbeschreibung des Basishauses**



Die Bauleitung und Planung sowie die Erstellung der Bodenplatte ist in allen Ausbaustufen enthalten, da so die Basis eines optimalen Ablaufes auf der Baustelle gelegt wird. Zudem ist auch die fertige Außenfassade (Putz und Profilholz) in jeder Ausbaustufe enthalten.

Bei der Oberflächenbearbeitung der Wände, Decken und Dachschrägen im Gebäudeinneren unterscheiden sich die Ausbaustufen insofern, dass nur im fast fertigen Ausbaustatus die Wandoberflächen zum Tapezieren fertig verspachtelt sind. In den beiden anderen Ausbaustufen erfolgen diese Arbeiten in Eigenleistung, die problemlos mit entsprechendem handwerklichem Geschick vom Bauherren selbst ausgeführt werden können.

Die Holzoberflächen der Außenbauteile (Fenster, wetterfeste Platten der Dachüberstände) erhalten nur in der Ausbaustufe FF eine Endbehandlung durch einen geeigneten Anstrich. Auch diese Leistung kann i.d.R. vom Bauherren selbst durchgeführt werden.

Die Holzfenster und die Vollholztreppe stammen aus der firmeneigenen Produktion der Firma Gussek Haus und können so zu kostengünstigen Konditionen für das Basishaus eingesetzt werden, wobei die Treppe im rohbaufertigen Haus nicht enthalten ist.

Die Zimmertüren sowie die Boden- und Wandfliesen gehören nur im fast fertigen Haus zum Leistungsumfang, im Rohbauhaus dagegen ist zudem der Estrich in Eigenleistung zu erstellen. Diese Arbeiten müssen zwingend von professionellen Fachleuten durchgeführt werden.

Die Sanitär-, Heizungs- und Elektroleitungen in den Wänden werden generell werkseitig installiert. Dies gewährleistet, dass der Bauherr beim Innenausbau des Hauses den Konstruktionsaufbau besonders der Außenbauteile nicht beschädigt, wodurch es zu späteren Bauschäden kommen könnte.

## 5.2 Gründung

Die Gründung des Basishauses soll auf einer Bodenplatte erfolgen. Das Gebäude mit einem Keller zu versehen würde zusätzliche Kosten verursachen, die einer kostengünstigen Realisierung eines Eigenheimes widersprechen.

Der Verkaufspreis für eine herkömmliche, konventionelle Bodenplatte beträgt in der Bundesrepublik Deutschland im Durchschnitt ca. 115 € / m<sup>2</sup> (Abweichungen regional möglich). Im Vergleich dazu müssen für Herstellung eines Betonkellers im Durchschnitt ca. 380 € / m<sup>2</sup> eingeplant werden [40]. Zusätzlich fallen Kosten für die Ausschachtung der Baugrube an, die berücksichtigt werden müssen. Geht man von einem Fertighaus mittlerer Größe mit einer Grundfläche von 75 m<sup>2</sup> aus, entstehen bei einem unterkellerten Gebäude somit Mehrkosten von fast 20.000 € (ohne Ausschachtung der Baugrube) gegenüber einem Haus ohne Keller.

Zudem stellt der Bau eines Kellers eine zeitintensive Arbeit dar, die zusätzlich in die Bauphase einzuplanen ist.

Im Kapitel 5.5.1 werden zwei verschiedene Bodenplatten-Typen detailliert beschrieben.



### **5.3 Grundriss und Fassadengestaltung**

Der Grundstein für die Vermarktung, Herstellung und Montage eines kostengünstigen Fertighauses wird nicht zuletzt durch die Grundrissgestaltung des Gebäudes gelegt. Der Grundriss nimmt direkten Einfluss darauf, ob sich der Kunde auf den ersten Blick für das entsprechende Objekt interessiert und sich näher damit beschäftigt. Zudem muss das Gebäude ein ansprechendes Äußeres aufweisen, damit es auf den aktuellen Markt bestehen kann und konkurrenzfähig ist.

Ein entscheidender Einflussfaktor für die Vermarktung eines Fertighauses ist zudem die Werbung bzw. ein ausgereiftes Marketingkonzept für das Produkt. Auf diese Zusammenhänge soll im Rahmen dieser Arbeit allerdings nicht eingegangen werden.

#### **5.3.1 Anordnung der Wände**

Die Anordnung der Wände ist ein Faktor, der sich direkt auf die Kosten des Hauses auswirkt. Schräg angeordnete Wände stellen in der Vorfertigung im Werk keinen zusätzlichen Mehraufwand im Material- und Lohnkostenbereich dar. Die Montage schräg verlaufender Wände stellt durch die Bestimmung der Lage bzw. das diffizilere Einmessen auf der Bodenplatte dagegen einen zeitintensiven Arbeitsgang dar. Orthogonal verlaufende Wände sind bei der Montage einfacher zu verarbeiten. Dies führt zu einer Einsparung von kostenintensiver Arbeitszeit.

#### **5.3.2 Haustechnik**

Ein wesentlicher Punkt bei der Grundrissgestaltung ist die Anordnung der Sanitärzellen im Erdgeschoss und im Dachgeschoss. Die Anordnung sollte möglichst so erfolgen, dass die Sanitärzellen in den beiden Geschossen übereinander liegen. Dies hat den Vorteil, dass die Wasser- und Abwasserleitungen der beiden Geschosse zentral angeordnet und miteinander verbunden werden können, ohne zusätzliche Leitungsführungen zur Verbindung der einzelnen Leitungen. Die Abwasserleitungen der Sanitärzellen können so zentral durch einen Anschluss in der Bodenplatte erfolgen.

Bei der Heizungsanlage des Basishauses wird eine Gas-Brennwerttherme verwendet, die bei der Firma Gussek Haus wie auch bei vielen anderen Fertighausherstellern standardmäßig eingesetzt wird und den Stand der Technik darstellt.

Die Installation des Warmwasser-Verteil-Systems soll ohne Zirkulationssystem, durch dessen Leitungen ständig warmes Wasser kreist, erfolgen. Dies ist nach der Heizungsanlagen-Verordnungen zulässig, wenn Stockwerks- und einzelne Zuleitungen ein Einzelvolumen von 3 Litern nicht überschreiten [38]. Mit einem Leitungsrohr aus PEX (20x2,8) können so Zuleitungen bis zu 18 Meter ohne Zirkulationssystem ausgeführt werden. Bei dem vorliegenden Grundriss (siehe Abbildung 5/6) können alle Warmwasser-Entnahmestellen von der Gas-Brennwerttherme aus mit Leitungen weit unter 18 Metern erreicht werden.



Eine eigenständige Warmwasserversorgung in der Küche, z.B. durch einen elektrischen Unter-tisch-Warmwasserbereiter (z.B. mit 5-Liter Speicher), soll nicht erfolgen. Beim Einsatz des Warmwasserbereiters entstehen Kosten für den zusätzlich benötigten elektrischen Anschluss des Gerätes und für das Gerät selbst von ca. 160 €.

Da eine Kaltwasserleitung in jedem Fall bis zur Entnahmestelle geführt werden muss, fallen durch die Installation der Warmwasserleitung Zusatzkosten von ca. 200 € an. Der Stromverbrauch des Gerätes während der gesamten Nutzungsdauer des Gebäudes hängt zwar nicht unmittelbar mit den Herstellungskosten zusammen, allerdings wirkt sich der Einsatz eines elektrischen Warmwasserbereiters in der EnEV durch einen erhöhten Jahresprimärenergiebedarf aus. Betrachtet man die Mehrkosten von lediglich 40€ bei einer direkten Warmwasserversorgung der Küche durch das zentrale Warmwasser-System, ist der Einsatz eines elektrischen Warmwasserbereiters nicht sinnvoll.

Des Weiteren ist es sinnvoll, die Heizungsanlage (Gas-Brennwerttherme) an der Traufseite des Gebäudes zu installieren. Das Abgasrohr kann so senkrecht nach oben, im Dachgeschoss im Bereich der Abseitenwand durch das Dach nach außen geführt werden. Bei einer Montage der Anlage an anderen Stellen, z.B. der Giebelseite, fallen weitere Montagezeiten und somit zusätzliche Kosten für die Verlegung des Abgasrohres in den Traufbereich an.

### **5.3.3 Fenster**

Hier ist z.B. Anordnung und Anzahl der Fensterelemente eines Hauses anzuführen, die die Optik des Gebäudes entscheidend beeinflusst. Fassadenabschnitte, die zu wenige oder gar keine Fensterflächen aufweisen werden von den meisten potentiellen Bauherren als störend und architektonisch nicht ansprechend empfunden. Jedes einzelne Fenster stellt aber einen Kostenfaktor dar, der sich in Materialkosten und in Lohnkosten in der Vorfertigung gliedert und somit kalkulatativ im Verkaufspreis des Hauses berücksichtigt werden muss.

Generell stellt sich die Frage, ob Holz- oder Kunststofffenster für das Basishaus verwendet werden. Kunststofffenster haben i.d.R. auf den freien Markt einen Preisvorteil gegenüber Holzfenster. Da Holzfenster bei der Firma Gussek Haus allerdings aus dem firmeneigenen Fensterwerk bezogen werden, ergeben sich andere Konditionen für die Preisbildung der Holzfenster. Kunststofffenster stellen dagegen einen Zukaufartikel dar, wodurch sich in etwa eine Preisgleichheit zwischen den Fenstern aus der firmeneigenen Produktion und den von Fremdfirmen zugekauften Kunststofffenstern ergibt. Aus diesem Grund und in Hinblick auf eine harmonische Fassadengestaltung, besonders des Dachgeschosses, sollen für das Basishaus Holzfenster zum Einsatz kommen.

### **5.3.4 Fassade**

Die Auswahl der jeweiligen Außenfassade für die einzelnen Wandbereiche ist ein weiterer Parameter für die Kostenentwicklung des Basishauses. Der Preis für einen Quadratmeter Außenfassade mit z.B. einem Klinker als Vorsatzschale liegt bei ca. 105 € / m<sup>2</sup>, für eine Putzfassade bei ca. 85



€ / m<sup>2</sup> und für eine Fassade mit einer senkrechten Profilholzschalung bei ca. 70 € / m<sup>2</sup> [39]. Somit ist in Hinblick auf die Herstellkosten der Einsatz einer Klinkerfassade für Häuser im Niedrigpreissegment nicht sinnvoll.

Die Außenfassade soll im Erdgeschoss einen mineralischen Außenputz erhalten, da dieser bereits im Werk aufgebracht wird, und die Außenwand somit nach der Montage fertig ist. Weitere Vorteile sind bereits im Kapitel 4.5 erläutert.

Die Giebel- und Drempelwände sollen als Außenfassade Profiholzbretter erhalten, die als senkrechte Holzschalung auch schon im Werk montiert wird. Zum einen hat es den Vorteil, dass auch diese Fassade direkt nach der Montage fertig ist, zum anderen kann ein Problem umgangen werden, dass sich häufig im Deckenstoßbereich bei Außenwänden mit einer durchgehenden Putzfassade zeigt. Aufgrund des Quell- und Schwindverhaltens der Hölzer im Bereich der Holzbalkendecke (Rähm, Deckenbalken und Schwelle) muss i.d.R. in diesem Bereich eine horizontale Fuge angeordnet werden, die dieses Setzungsverhalten kompensiert. Wird dies bei einer durchgängigen Putzfassade der Erdgeschoss- und Giebelwände nicht berücksichtigt kommt es durch die Setzungen speziell im Bereich des Deckenstoßes zu Quetschungen des Putzes, wodurch Wölbungen und Risse entstehen können. Beim Einsatz einer Holzfassade für die Giebelaußenwände liegt im Deckenstoßbereich von vornherein eine konstruktive Entkoppelung der Erdgeschoss- und Giebelwand vor, wodurch das Setzungsverhalten als unkritisch angesehen werden kann.

Diese aufgeführten Maßnahmen können nur im Ansatz deutlich machen, dass viele Faktoren bei der Grundrissgestaltung und der Konstruktion eines Wohngebäudes berücksichtigt werden müssen um es kostengünstig herstellen zu können. Eine nähere Betrachtung soll im Rahmen dieser Arbeit nicht erfolgen.

Die Abbildungen 5-8 zeigen den gewählten Grundriss des Erd- und Dachgeschosses für das Basishaus sowie zwei isometrische Ansichten.

Der Systemschnitt und weitere Ansichten des Basishauses sind der Anlage 4.1 - 4.5 zu entnehmen.

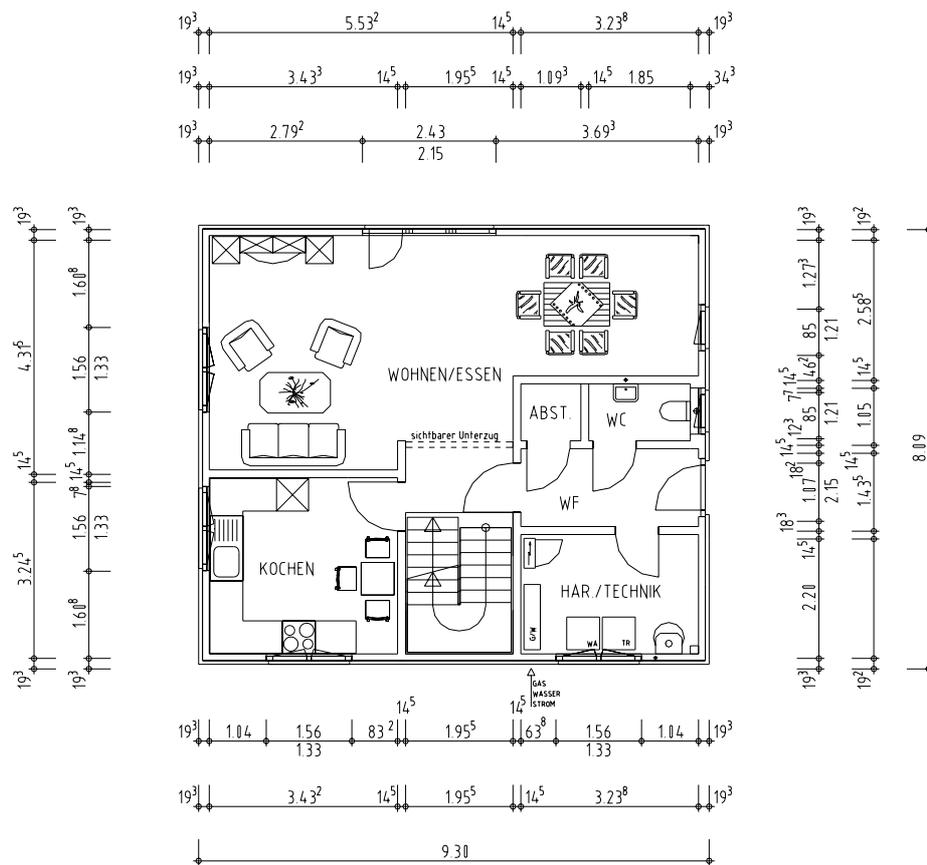


Abbildung 5: Grundriss Erdgeschoss des Basishauses

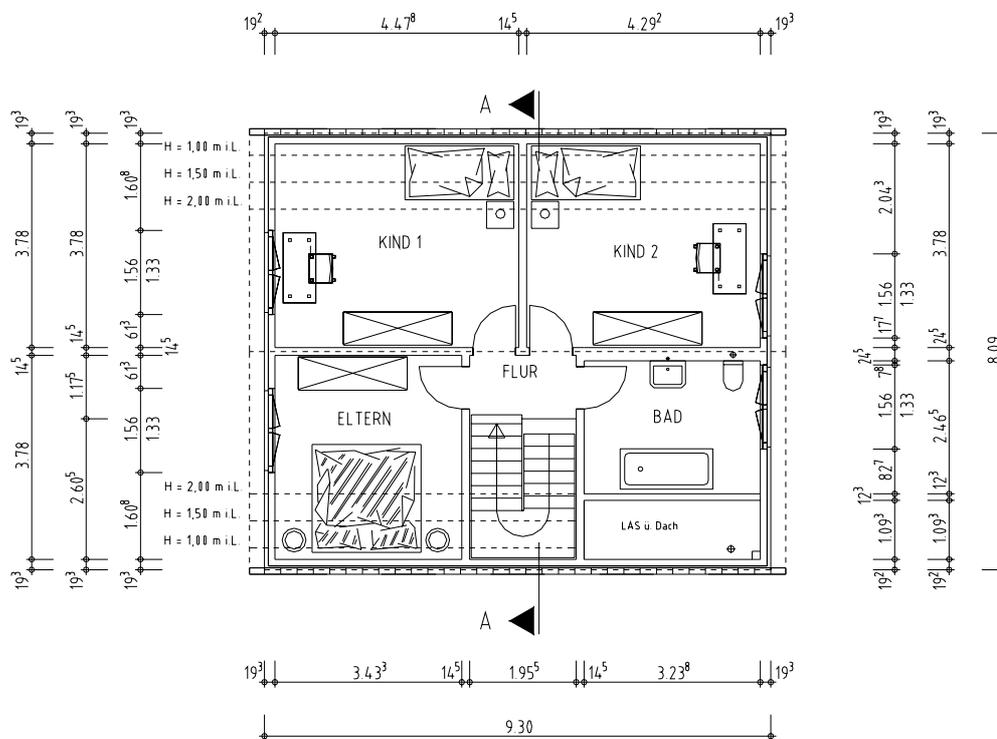


Abbildung 6: Grundriss Dachgeschoss des Basishauses



**Abbildung 7: Fotorealistische Isometrie des Basishauses**



**Abbildung 8: Fotorealistische Isometrie des Basishauses**



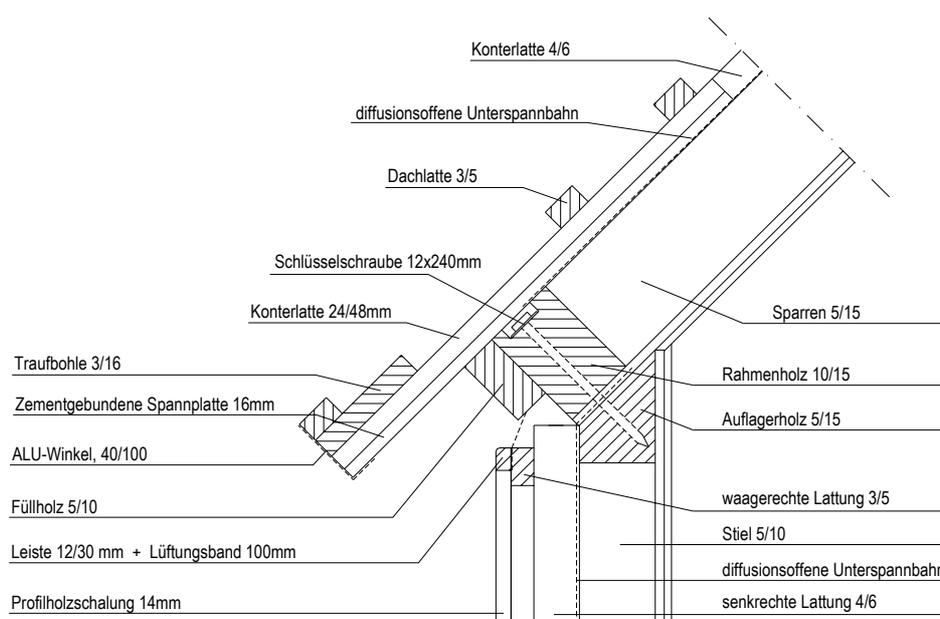
## 5.4 Dachsystem

Um auch das Dachsystem möglichst kostengünstig realisieren zu können, ist es nötig, möglichst großformatige, geschlossene Dachelemente zu fertigen. Dabei ist es sinnvoll die Spannrichtung der Elemente in Traufrichtung vorzusehen. Dies ermöglicht einen höheren Vorfertigungsgrad im Traufbereich, da der gesamte Dachüberstand inklusive der Dachrinne im Werk montiert werden kann. Gerüstarbeiten auf der Baustelle für die Arbeiten am Dachüberstand entfallen somit. Zudem wird durch Herstellung trauf langer Dachelemente erreicht, dass sich die benötigte Elementanzahl verringert. Die Sparrenlänge beim Basishaus beträgt ca. 6 Meter (vgl. Anlage 4.1). So ist es möglich, eine Dachseite mit zwei Elementen in Traulänge und einer Breite von ca. 3 Metern zu schließen.

Beim Einsatz herkömmlicher Elemente, die in Sparrenrichtung verlaufen, werden dagegen mindestens 3 Elemente in Sparrenlänge mit einer Breite von ca. 3,2 Metern benötigt. Diese Mehrzahl von Dachelementen führt sowohl bei der Verladung als auch bei der Montage zu zusätzliche Kranbewegungen, d.h. es entstehen Arbeitszeiten, die berücksichtigt werden müssen.

Der konstruktive Aufbau der Dachelemente erfolgt analog zu den Wandelementen, wobei es Unterschiede in der Bezeichnung der einzelnen Tragelemente gibt (siehe Abbildung 16). Die statische Ausbildung des Daches erfolgt im unteren Bereich (1. Element vom Kniestock bis zur Spitzbodendecke) als Pfettendach, im oberen Bereich (2. Element von Spitzbodendecke bis zum First) als Sparrendach.

Am Kniestock wird das untere Dachelement durch Schlüsselschrauben befestigt, die bei der Montage durch das Rahmenholz in das Auflagerholz der Kniestockwand geschraubt werden (siehe Abbildung 9).



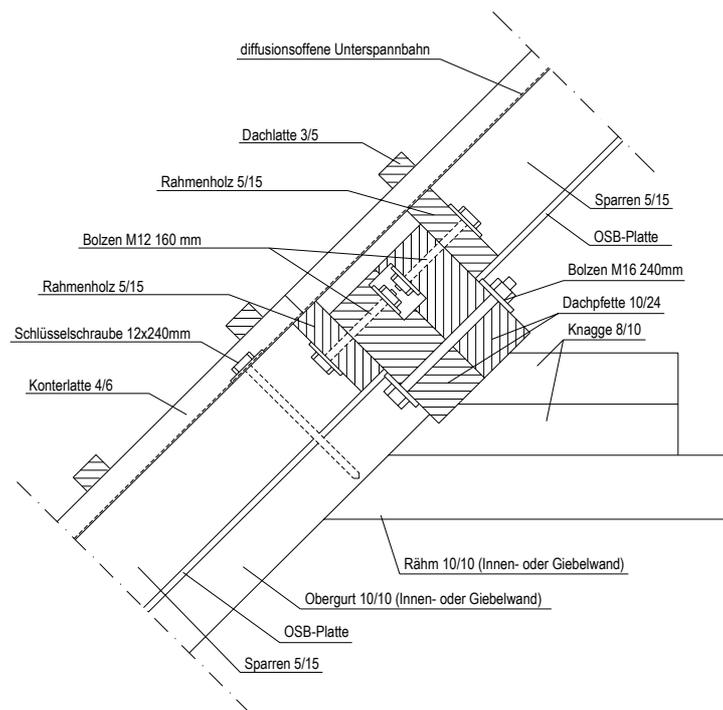
**Abbildung 9: Anschluss des Dachelementes am Kniestock**



Die obere Befestigung des Elementes wird gleichermaßen durchgeführt, das Rahmenholz wird dabei mit den Obergurten der Giebel- bzw. Innenwände verschraubt.

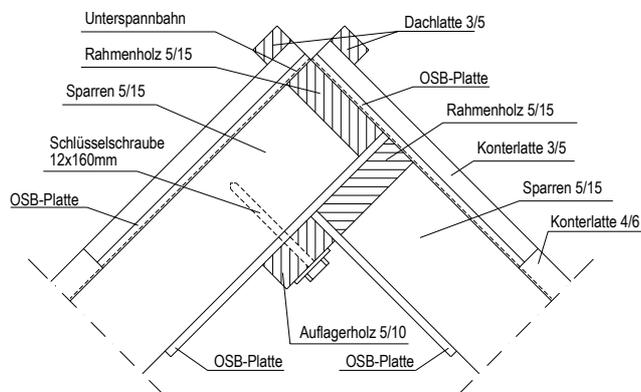
Das Rahmenholz wird mit der Dachpfette bereits in der Vorfertigung durch Bolzen verbunden. Die Auskerbungen der Knaggenstücke dienen als vorläufige Lagesicherung bei der Montage.

Die Befestigung des unteren und oberen Dachelementes miteinander wird ebenfalls durch eine Bolzenverbindung hergestellt (siehe Abbildung 10).



**Abbildung 10: Verbindung der Dachelemente untereinander**

Der Firstanschluss erfolgt über ein Auflagerholz, das bereits in Vorfertigung an der Unterseite von einem Element montiert wird. Bei der Montage kann dann das andere Element auf dieses Holz abgelegt werden. Die Verbindung der Elemente untereinander wird durch rechte OSB-Platte, die auf der Oberseite der Elemente verklammert wird, vorgenommen (siehe Abbildung 11).



**Abbildung 11: Verbindung der Dachelemente am First**



Ein weiterer Aspekt, der bei der Konstruktion des Daches in Hinsicht auf die Wirtschaftlichkeit betrachtet werden muss, ist die Ausbildung im Bereich des Fußpunktes. Es sollen zwei Konstruktionsausführungen verglichen werden. Zum einen die Ausführung mit einem ca. 75 cm hohen Kniestock, zum anderen die Ausführung ohne Kniestock. Da sich bei der Variante ohne Kniestock bei gleichem Grundrissaufbau die nach der 2. Berechnungsordnung [25] ermittelte Wohnfläche um ca. 11 m<sup>2</sup> verringert (Anlage 5.1/5.2), muss die Gebäudebreite im Grundriss um etwa 60 cm erhöht werden. Dies gewährleistet, dass es zu keiner Reduzierung der Wohnfläche kommt (Anlage 5.3), wodurch erst ein sinnvoller Vergleich der beiden Varianten ermöglicht wird.

In der Tabelle 10 folgt eine direkte Gegenüberstellung zwischen der Ausführung mit und ohne Kniestock, die berücksichtigt, dass bei einer Grundrissverbreiterung zusätzliche Faktoren wie z.B. der mehrbenötigte Außen- und Innenwandanteil auftreten. Hinzu kommt, dass sich die Fläche der Bodenplatte inklusive des weiteren Fußbodenaufbaus und der Dachelemente erhöht und zudem eine Abseitenwand erforderlich ist. Voraussetzung dieser Gegenüberstellung ist, dass sich die Ausführungen nur in den oben beschriebenen Maßnahmen (mit und ohne Kniestock) verändern und die Ausführung des Dachsystems insgesamt unverändert bleibt.

Leistungen	Variante 1 (mit Kniestock)	Variante 2 (ohne Kniestock)
Kniestockwände mit Holzfassade	18,6m x 200 €/m = 3720 €	-
Giebelwände	28.2m <sup>2</sup> x 195 €/m <sup>2</sup> = 5499 €	17,3m <sup>2</sup> x 195 €/m <sup>2</sup> = 3373 €
Abseitenwand (leichte Trennwand)	-	17,8m x 100 €/m = 1780 €
Zusätzliche Außenwand	-	2,4m x 580 €/m = 1392 €
Zusätzliche Innenwand	-	1.8m x 210 €/m = 378 €
Zusätzliche Bodenplatte inklusive Fußbodenaufbau	-	5.6m <sup>2</sup> x 215 €/m <sup>2</sup> = 1204 €
Zusätzliche Dachelemente	-	7.9m <sup>2</sup> x 105 €/m <sup>2</sup> = 829 €
<b>Summe:</b>	<b>9219 €</b>	<b>8936 €</b>

**Tabelle 10: Vergleich zwischen der Ausführung mit und ohne Kniestock**

Die Tabelle verdeutlicht, dass bei Ausführung der Variante 2 die gesamten Kniestockwände und z.T. die Giebelwände im Dachgeschoss (bis einschließlich zur Höhe des Kniestocks) entfallen, dagegen andere Mehrleistungen auftreten, die sich bei einer Gebäudeverbreiterung ergeben. Dadurch ergibt sich ein Preisvorteil von lediglich 283 € für die Variante 2. Der Nachteil der sich bei dieser Ausführung allerdings ergibt ist eine Verringerung der Wohnfläche im Dachgeschoss gegenüber der Variante 1 um ca. 5,5 m<sup>2</sup> (vgl. Anlage 5.1&5.3). Insgesamt verringert sich die Wohnfläche bei Variante 2 nicht, da es nur zu einer Umverteilung der Wohnfläche auf das Erdgeschoss kommt. Da aber im Dachgeschoss bedingt durch die Dachschrägen generell weniger Wohnfläche vorhanden ist, scheint gerade hier eine weitere Reduzierung durch die oben genannte Maßnahme nicht sinnvoll, da sie vermutlich vom Bauherren nicht akzeptiert werden würde.

Zudem kommt es bei der Ausführung ohne Kniestock und die damit verbundene Grundrissverbreiterung zu einer Vergrößerung der überbauten Fläche (ca. 5,6 m<sup>2</sup>). Besonders bei kleineren Grundstücken, bei denen die bebaubare Fläche begrenzter als bei größeren Baugrundstücken ist,



stellt ein Haus das bei gleicher Wohnfläche weniger Grundfläche benötigt die logische Folgerung dar.

Stellt man den geringen Preisvorteil bei der Ausführung der Variante 2 die größere Wohnfläche im Dachgeschoss und die geringere überbaute Fläche bei der Variante 1 gegenüber, ist die Konstruktion des Daches mit einem Kniestock bei dem vorliegenden Grundriss die sinnvollere und wirtschaftlichere Lösung.

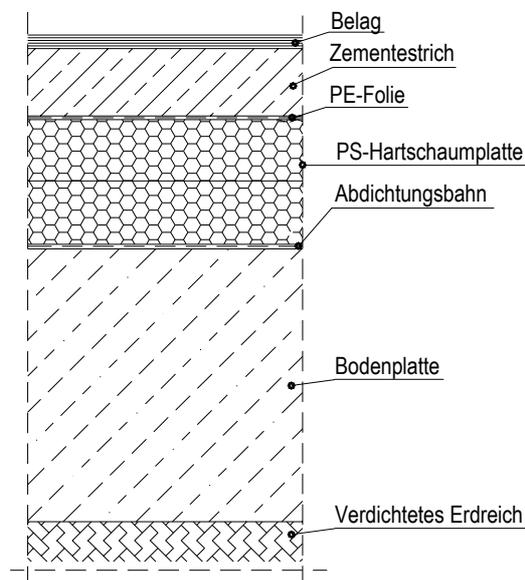
## 5.5 Beschreibung der einzelnen Bauteile

Die detaillierte Beschreibung der Bauteile beschränkt sich im Rahmen dieser Arbeit auf die Außenbauteile. Diese stellen die Grundlage für die im Kapitel 6 folgenden bauphysikalischen Berechnungen und Nachweise dar.

### 5.5.1 Bodenplatte

Es sollen zwei verschiedene Bodenplatten-Konstruktionen betrachtet werden, die für das Basishaus verwendet werden können.

Die Ausführung der Bodenplatte wird zurzeit bei der Firma Gussek Haus konventionell durch den firmeneigenen Kellerbaubereich vorgenommen. Auf der Bodenplatte erfolgt die nach DIN 18195-4 [26] erforderliche Abdichtung gegen Bodenfeuchte, danach der Estrichaufbau mit dem Fußbodenbelag. Der allgemeine Konstruktionsaufbau ist in der Abbildung 12 dargestellt.

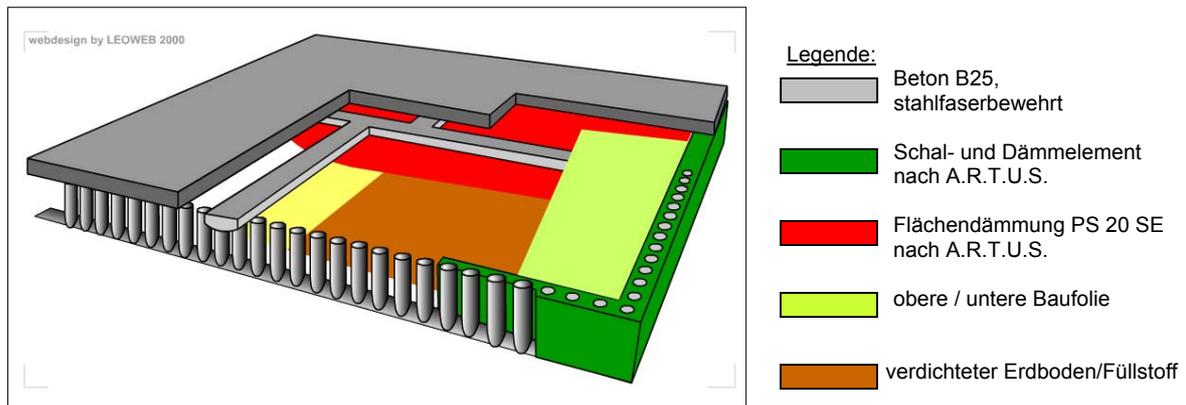


**Abbildung 12: Bodenplatte mit Estrichaufbau**

Eine mögliche Alternative dieser Konstruktion stellen wärmedämmte Bodenplatten dar. Da auf dem aktuellen Markt eine Vielzahl von Anbietern für dieses Systems vorhanden sind, soll exemplarisch das System des Anbieters A.R.T.U.S. betrachtet werden.



Das System besteht aus vorgefertigten Elementen aus Polystyrol, die als formbildendes Randschalungs- und Dämmelement dienen. Diese Elemente werden objektbezogen zugeschnitten oder als Meterware angeboten. Die eigentliche Dämmung der Bodenplatte erfolgt mit Flächendämmelementen, die z.T. aus Recyclingmaterial der Herstellung des Systems gewonnen werden (siehe Abb. 13).



**Abbildung 13: Wärmegedämmte Bodenplatte nach A.R.T.U.S. [11]**

Der wesentliche Unterschied im Konstruktionsaufbau zu konventionellen Bodenplatten liegt in der Anordnung der Dämmschicht. Diese wird zum einen unterhalb der Sohlplatte in Form von Flächendämmelementen eingebaut, zum anderen wird auch der Sockelbereich des Gebäudes durch die Randschalelemente gedämmt, da die Elemente als verlorene Schalung nach der Fertigstellung der Bodenplatte am Baukörper bleiben.

Aus bauphysikalischer Sicht wirkt sich dies positiv aus, da dieser Bereich in Hinblick auf die Wärmebrückenproblematik als kritisch betrachtet werden muss. Weiterhin beeinflusst dieses System das Raumklima, da die große Masse des Betons einen hervorragenden Wärmespeicher darstellt. Es ist eine physikalische Grundeigenschaft, dass in Bauteilen immer ein Wärmestrom von der warmen zur kalten Seite vorliegt. Somit nimmt der Betonkern durch die sommerliche Wärme oder die Raumheizung die Raumtemperatur an, speichert diese weitgehend und wirkt durch seine große Masse ausgleichend und regulierend auf das Raumklima. Die bauphysikalischen Berechnungen dieses Systems erfolgen im Kapitel 6.

Im Bereich der Baukosten für eine wärmegedämmte Bodenplatte können laut Hersteller Kosten gegenüber herkömmlich hergestellte Bodenplatten eingespart werden. Durch die effektive Einsparung von Arbeitszeit z.B. bei den Schalarbeiten (u.a. Wegfall der Ausschalarbeiten) oder den Bewehrungsarbeiten (Wegfall der Bewehrungsarbeiten beim Einsatz von Stahlfaserbeton) kann dieses System eine Alternative darstellen.

Beim Materialeinsatz können Einsparungen im Bereich der Streifenfundamente erfolgen, da das System lediglich  $0,13 \text{ m}^3$  Beton pro laufenden Meter Streifenfundament benötigt. Bei der Betonage eines herkömmlichen Streifenfundamentes mit z.B. 40 cm Breite und 80 cm Tiefe werden dagegen



0,32 m<sup>3</sup> Beton benötigt. Bezogen auf eine Bodenplatte mit 75 m<sup>2</sup> Grundfläche ergeben sich ca. 35 laufende Meter Streifenfundament. Dies ergibt bei dem System nach A.R.T.U.S. einen Mindereinsatz von 6,65 m<sup>3</sup> Beton, was bei einem durchschnittlichen Materialpreis für wasserundurchlässigen Transportbeton von 70 € / m<sup>3</sup> eine Kosteneinsparung von ca. 465 € bedeutet.

Ein direkter Preisvorteil gegenüber herkömmlichen Bodenplatten ist trotz dieser Einsparungen nicht zu erkennen. Bezogen auf ein Angebot für die Herstellung einer wärme gedämmten Bodenplatte nach A.R.T.U.S. durch eine Fremdfirma ergibt sich ein Quadratmeterpreis von ca. 130 €, was einem Mehrpreis von etwa 15 € / m<sup>2</sup> gegenüber einer konventionellen Bodenplatte entspricht. Bei der Anwendung dieses Systems, ergeben sich jedoch noch weitere Auswirkungen, die sich direkt und indirekt preislich niederschlagen.

Der Grundgedanke dabei ist, dass durch die unter der Bodenplatte angeordnete Dämmung auf eine oberseitige Dämmung verzichtet werden kann. Dadurch besteht weiter die Möglichkeit, auf den Estrich im Erdgeschoss zu verzichten. Die Verlegung von Bodenfliesen direkt auf die Beton-Bodenplatte ist laut einer Expertise der Firma Mapei, die chemische Produkte für das Bauwesen wie z.B. Fliesenklebersysteme anbietet, möglich. Dabei werden die Versorgungsleitungen, die sonst innerhalb des Fußbodenaufbaus verlegt werden, bereits während der Herstellung in der Bodenplattenkonstruktion angeordnet.

Voraussetzung für die Anwendung dieses Verfahren ist eine entsprechende Oberflächenbeschaffenheit der Bodenplatte, d.h. der Untergrund darf keine haftungsmindernden Schichten wie z.B. Zementleim aufweisen und die Ebenheit der Bodenplatte muss den gemäß DIN 18202 [27] vorgegebenen Maßtoleranzen entsprechen.

Durch den Wegfall der Estricharbeiten werden ca. 25 € / m<sup>2</sup> eingespart [39]. Dadurch relativiert sich der Preis für die wärme gedämmte Bodenplatte und es kann u.U. ein Preisvorteil für dieses System vorliegen.

Der Wegfall eines Fußbodenaufbaus wirkt sich auch auf die Konstruktion der Wände im Erdgeschoss aus. Die Wände können so in der Höhe um den Fußbodenaufbau kürzer gefertigt werden, bei gleichbleibender Raumhöhe. Bei einem Haus mit 75 m<sup>2</sup> Grundfläche ergeben sich ca. 35 laufende Meter Außenwände im Erdgeschoss. Geht man von einem mittleren Fußbodenaufbau von 15 cm aus werden so über 5 m<sup>2</sup> Außenwände eingespart. Somit ergibt sich bei einem Quadratmeterpreis für eine Außenwand mit fertiger Fassade von ca. 210 € / m<sup>2</sup> eine Kostenreduzierung von über 1000 €, wobei die Innenwände noch nicht berücksichtigt sind.

Ein weiterer Vorteil bei dem Einsatz einer wärme gedämmten Bodenplatte und den damit verbundenen Verzicht eines Estrichaufbaus ist, dass eine deutlich reduzierte Montagezeit erreicht werden kann.

Die Verlegung eines Estrichaufbaus ist unter einem Arbeitstag nicht zu realisieren. Des weiteren benötigt dieser Aufbau eine Aushärtungszeit von mindestens 2-3 Tagen, bevor er wieder belastbar ist. Während dieser Zeit können keinerlei Innenarbeiten (z.B. Türeineinbau, Treppeneinbau) erfolgen und die Montagekolonne verlässt i.d.R. die Baustelle für diese Zeit. Dadurch, dass die Arbeiten erst einige Zeit später fortgesetzt werden können, entstehen neben der verlängerten Bauzeit



zusätzliche Anreisekosten für die Montagekolonne, die berücksichtigt werden müssen. Zudem muss bei der Verlegung eines Estrichs i.d.R. der gesamte Rohbau leergeräumt werden, da die Verlegung des Aufbaus in allen Räumen des Hauses erfolgt. Diese Aufräumaktion mit den zugehörigen Lagerplatzproblemen für eventuelle Ausbaumaterialien, die sich im Rohbau befinden, kann bei einem Verzicht eines Estrichs vermieden werden.

Wenn man den gesamten Bauablauf betrachtet ist es unter Umständen möglich, die Montage eines Fertighauses bis zur Fertigstellung ohne ablaufbedingte Unterbrechungen zu realisieren. Dies setzt allerdings weitere Bedingungen voraus wie z.B. den Einsatz eines Trockenestrichs im Dachgeschoss und integrierte Kolonnen, die sämtliche anfallenden Arbeiten ausführen können (siehe Kapitel 4.5).

Betrachtet man objektiv die Vorteile dieser innovativen Bodenplattenkonstruktion, stellt das System in der oben erläuterten, konsequenten Ausführung eine Alternative dar, die beim Bau eines kostengünstigen Hauses mit einer geringen Bauzeit durchaus Anwendung finden kann.

Die bauphysikalischen Berechnungen der beiden Konstruktionen erfolgen im Kapitel 6.

### 5.5.2 Außenwandaufbau im Erdgeschoss

Bei der Außenwand des Basishauses sollen zwei verschiedene Wandaufbauten im Erdgeschoss betrachtet werden, die in unterschiedlichen Varianten bauphysikalisch untersucht werden. Bei beiden Wandaufbauten handelt es sich allgemein um Außenwände in Holztafelbauart, deren Außenfassade bereits im Werk fertiggestellt wird. Im Erdgeschoss erhalten die Wände eine Putzfassade, die Giebel- und Drempelwände im Dachgeschoss werden mit einer Fassade aus Profilholzbrettern hergestellt.

Die Abbildung 14 zeigt den allgemeinen konstruktiven Aufbau der zwei verschiedenen Wandaufbauten des Erdgeschosses.

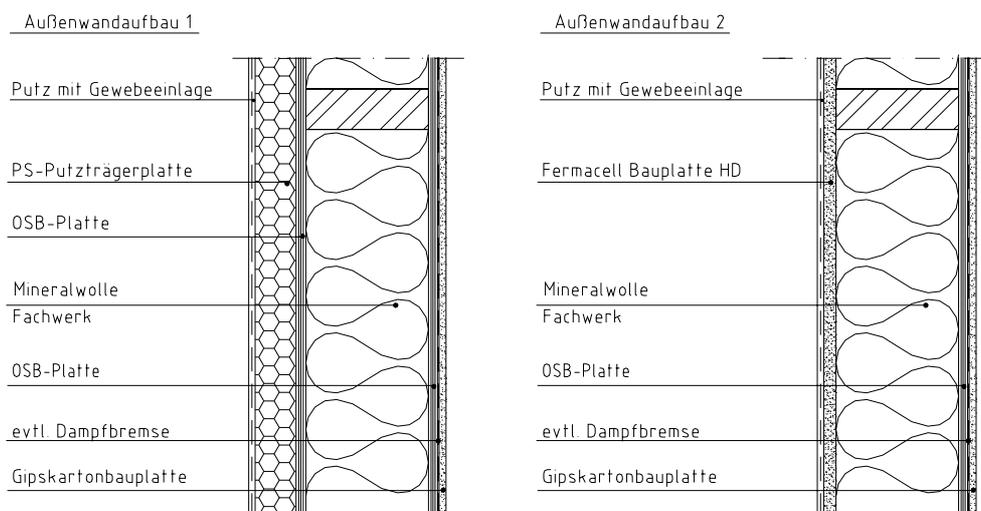


Abbildung 14: Außenwandaufbau der Erdgeschosswände



### 5.5.2.1 Außenwandaufbau 1

Der Außenwandaufbau 1 stellt eine konventionelle und in der Praxis bewährte Außenwandkonstruktion in Verbindung mit einem Wärmedämm-Verbundsystem (WDVS) dar. Die Parameter, die in Hinsicht auf die Wirtschaftlichkeit unter Berücksichtigung der bauphysikalischen Mindestanforderungen variiert werden sollen sind:

- Die Stärke der Putzträgerplatte des WDVS
- Die Stärke des Dämmmaterials im Gefachbereich

Das WDVS stellt ein eigenes, komplettes Produkt dar, das bauaufsichtlich zugelassen sein muss, um den nötigen Wetterschutz für die äußere Beplankung der Holztafelwand zu gewährleisten und so nach DIN 68800-2 auf den chemischen Holzschutz verzichten zu können. Hier werden von den Herstellern Systeme mit verschiedenen Dämmschichtdicken angeboten. Für das Basishaus wird für die Dicke der Polystyrol-Putzträgerplatte 3 bzw. 6 cm gewählt.

Die Mindeststärke des Dämmmaterials im Gefachbereich der Außenwand wird neben den bauphysikalischen Mindestanforderungen durch den statisch notwendigen Mindestquerschnitt der Tragkonstruktion bestimmt. Für den gewählten Grundriss des Basishauses ist es möglich, die auftretenden Vertikalkräfte in den Außenwandstielen mit einem Vollholzquerschnitt von 5/10 cm in die Schwelle der Außenwand einzuleiten [41]. Dieser statisch erforderliche Querschnitt legt somit die untere Grenze für die Dämmschichtstärke im Gefachbereich bei den noch folgenden Berechnungen fest.

Durch die Reduzierung der Dämmschichtdicken (im Erdgeschoss) um 1 cm für den Gefachbereich und für das WDVS ergibt sich eine Materialeinsparung von ca. 60 € [42] für das gesamte Haus.

Dieser relativ geringe Wert bezogen auf die Gesamtkosten eines Hauses verdeutlicht, dass in diesem Bereich nicht der Hauptansatzpunkt für die kostengünstige Erstellung eines Gebäudes liegt. Werden jedoch die bauphysikalischen Mindestanforderungen erfüllt, ist es möglich auch diese Einsparungen zur Realisierung eines kostengünstigen Hauses zu nutzen.

Eine weitere Maßnahme, den Wandaufbau wirtschaftlich zu optimieren wäre z.B. der Verzicht auf die innere Holzwerkstoffplatte. Konstruktiv ist dies möglich, da die Horizontalaussteifung der Außenwand durch die äußere Holzwerkstoffplatte erfolgen kann, die in Verbindung mit dem WDVS sowieso vorhanden ist. Durch die fehlende innenseitige Holzwerkstoffplatte ergibt sich allerdings das Problem, dass sich schwere Gegenstände (z.B. Hängeschränke in der Küche) schlecht an der Wand befestigen lassen. Da in der Regel die meisten Bauherren von dieser Problematik wissen, ist eine Akzeptanz dieses Wandaufbaus nicht zu erwarten.

Weiterhin besteht die Möglichkeit auf den Verzicht der Dampfbremse z.B. in Form einer PE-Folie im Wandaufbau. Dampfbremsen regulieren das Eindringen von Luftfeuchtigkeit in das Bauteil und mindern so dessen Durchfeuchtung, gleichzeitig können sie als Luftdichtheitsschicht fungieren. Die innenseitig angeordnete OSB-Platte kann ohne weiteres die Funktion einer Dampfbremse übernehmen und so das Eindringen von übermäßigen Mengen Wasserdampf in die Konstruktion verhindern.



Zudem lässt sich bezogen auf die DIN 4108-7 [24] mit Gipskartonplatten bzw. Holzwerkstoffplatten in der Fläche eine Luftdichtheitsschicht herstellen, im Bereich von Stößen, Anschlüssen und Durchdringungen sind allerdings gesonderte Maßnahmen zu treffen, die in der DIN 4108-7 näher beschrieben sind. Werden diese Maßnahmen bzw. Anforderungen schon in der Planung und bei der Montage berücksichtigt, stellt der Verzicht auf die PE-Folie eine zu berücksichtigende Kosteneinsparung dar.

Diese Möglichkeit soll im Kapitel 6 bauphysikalisch untersucht werden. Bei den folgenden Konstruktionsaufbauten wird daher auf die Darstellung der Dampfbremse verzichtet.

### **5.5.2.2 Außenwandaufbau 2**

Der Außenwandaufbau 2 der als weitere Möglichkeit für das Basishaus betrachtet werden soll unterscheidet sich dadurch, dass auf das WDVS verzichtet wird, indem eine direkt putzbare Außenwandplatte eingesetzt wird. Exemplarisch soll ein Produkt der Firma Fermacell Anwendung finden, welches im Folgenden näher beschrieben wird.

Es handelt sich dabei um zementgebundene, glasfaserbewehrte Sandwichplatten mit Leichtzuschlagsstoffen, die direkt als Putzträgerplatten für den Außenbereich einsetzbar sind. Durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung ist die Verwendung der Fermacell HD Platten (HD-Platte) als Beplankungswerkstoff von Wänden in Holztafelbauart geregelt, wenn diese direkt als Putzträgerplatten im Außenbereich eingesetzt werden [13]. Außerdem regelt die Zulassung den statischen Einsatz der Platten im Holztafelbau. So sind Wände in Holztafelbauart, die mit den Bauplatten als mittragende und Aussteifende Beplankung versehen sind, für Holzhäuser einsetzbar, die nach DIN 1052 Teil 1-3 [28] bemessen und ausgeführt werden. Die HD-Platte ist aufgrund ihrer mineralischen Zusammensetzung gemäß DIN 4102 Teil 4 [29] als nicht brennbarer Baustoff der Baustoffklasse A1 eingestuft, wodurch ein weiterer Nachweis entfällt. Zudem sind Platten bzw. deren Fugen luft- und Winddicht, wenn sie mit einer geprüften Fugentechnik versehen werden. Die Be- und Verarbeitung der Platten erfolgt analog zu Holzwerkstoffplatten. So kann z.B. der Zugschnitt und die Befestigung mit den bereits vorhandenen Maschinen erfolgen. Auf speziellere Eigenschaften des Produktes soll an dieser Stelle nicht eingegangen werden.

Als nächstes soll die Wirtschaftlichkeit beim Einsatz des Produktes untersucht werden. Da die HD-Platte als aussteifendes Bauteil dient, kann auf die äußere Holzwerkstoffplatte verzichtet werden. Die Verarbeitung der HD-Platte erfolgt analog zu einer Holzwerkstoffplatte. Dadurch ergeben sich keine Unterschiede im Bereich der Lohnkosten. Zu beachten ist allerdings, dass zusätzliche Lagerkapazitäten sowohl in der allgemeinen Materialwirtschaft als auch an den Arbeitsplätzen in der Fertigung benötigt werden.

Der Auftrag des Putzsystems, der in der gleichen Weise wie beim WDVS bereits im Werk erfolgt, verursacht ebenfalls keine Unterschiede bei den Material- und Lohnkosten.

Durch den Verzicht auf die äußere OSB-Platte und das WDVS (Wegfall der Putzträgerplatte) ergeben sich dagegen Material- und Lohnkosteneinsparungen von ca. 9,6 €/m<sup>2</sup>.



Der marktübliche Preis für eine direkt putzbare Außenwandplatte liegt bei ca. 12-14 €. Daraus ergibt sich zwar noch kein relevanter Preisvorteil gegenüber dem Einsatz eines WDVS, jedoch sind noch weitere Gesichtspunkte zu betrachten.

Ein weiterer Vorteil, der sich bei der Verwendung der HD-Platte ergibt, ist der geringere Platzverbrauch beim Transport der Wandelemente. Pro Wandelement können ca. 6cm eingespart werden. Dies sind Kapazitäten die in Grenzfällen durchaus zu berücksichtigen sind.

Weiterhin weisen fertige Außenfassaden mit WDVS eine sehr hohe Empfindlichkeit besonders bei der Be- und Entladung der Wandelemente auf. Hier zeigt die HD-Platte als Putzträger einen Vorteil gegenüber einer Polystyrol-Hartschaumplatte auf, da sie eine wesentlich höhere Steifigkeit besitzt und es bei kleineren Stößen bei der Verladung nicht so schnell zu Eindrückungen der fertigen Wandoberfläche kommt.

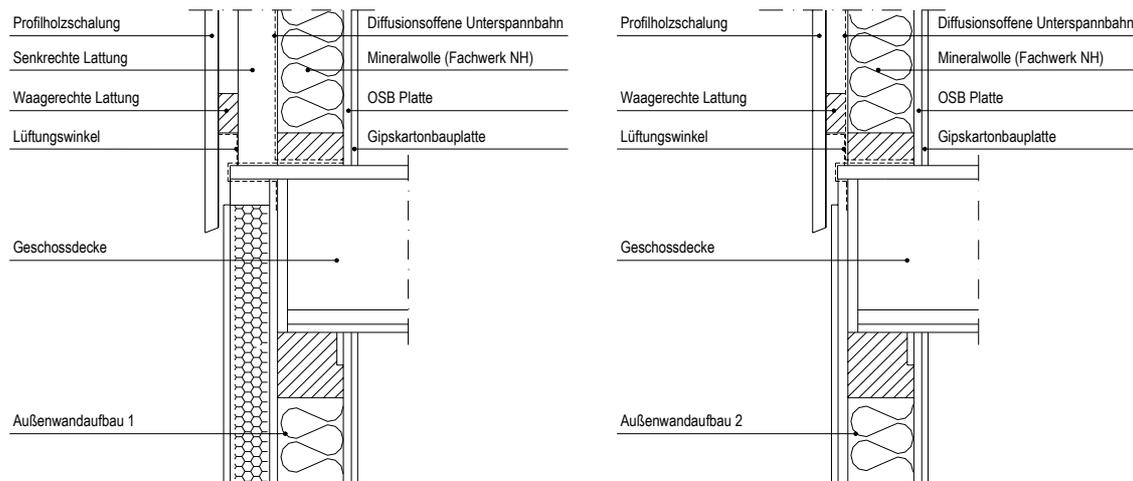
Die Polystyrol-Putzträgerplatten werden i.d.R. bei der Herstellung WDVS mit einem Klebstoff befestigt. Nach der Montage der Polystyrol-Platten auf die Holzwerkstoffplatten ist eine direkte Weiterbearbeitung des WDVS nicht möglich, da der Klebstoff eine Aushärtezeit von mehreren Stunden benötigt. Durch diese ablaufbedingte Unterbrechung in der Produktion ist die Kapazität eines Arbeitsplatzes begrenzt.

### **5.5.3 Außenwandaufbau im Dachgeschoss**

Im Gegensatz zum Erdgeschoss sollen die Giebel- und Kniestockwände eine Holzfassade erhalten. Die konstruktiven bzw. wirtschaftlichen Vorteile dieser Fassade wurden bereits im Kapitel 5.3.4 erläutert.

Natürlich wird das Aussehen eines Wohnhauses individuell unterschiedlich empfunden und bewertet. Durch den Einsatz einer senkrechten Profilholzschalung bei den Dachgeschosswänden ergibt sich jedoch eine Abwechslung in der Fassadenansicht, die von vielen Bauherren durchaus als harmonisch und schön angesehen werden kann.

Abbildung 15 zeigt den allgemeinen Wandaufbau der Dachgeschosswände als Vertikalschnitt im Bereich des Geschossdeckenstoßes für die jeweiligen Außenwandaufbauten der Erdgeschosswände.



**Abbildung 15: Außenwandaufbauten der Dachgeschosswände**

Kommt der Außenwandaufbau 1 zur Ausführung, sind die Dachgeschosswände zusätzlich mit einer senkrechten Konterlattung auf den Holzstielen des Fachwerks zu versehen. Dies ist konstruktiv notwendig, da die Holzschalung innenseitig an die Putzoberfläche der Erdgeschosswände anschließen soll und somit die Konterlatte den Aufbau des WDVS überbrückt. Diese Konterlatte kann bei den Dachgeschosswänden in Verbindung mit dem Wandaufbau 2 entfallen. Der weitere Aufbau der Außenwände im Dachgeschoss erfolgt analog zu den Erdgeschosswänden (siehe Kapitel 5.5.2) und soll daher an dieser Stelle nicht weiter erläutert werden.

#### 5.5.4 Dach- und Spitzbodendeckenaufbau

Wie bereits im Kapitel 5.4 erläutert soll das Dach mit vorgefertigten, in Traufrichtung verlegten Elementen hergestellt werden. Dabei hat sich in der Praxis ein Dachaufbau bewährt, der nicht nur Fertigbau sondern auch im konventionellen Bau Anwendung findet. Dieses System stellt durch den geringen Materialeinsatz und durch den hohen Vorfertigungsgrad die wirtschaftlichste Lösung im Bereich des Wohnungsbaues dar.

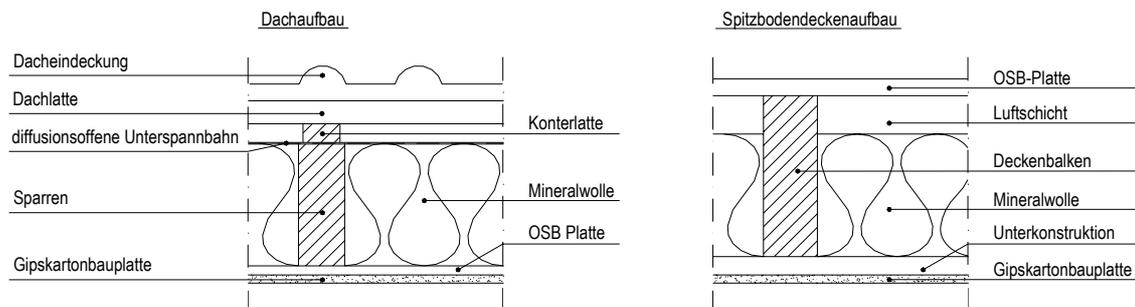
Für den vorliegenden Grundriss des Basishauses ist eine statische Mindestquerschnittshöhe der Tragkonstruktion (Sparren) von 15 cm [41] erforderlich ist, ist somit auch die untere Grenze für die Dämmschichtstärke im Gefachbereich für die noch folgenden Berechnungen festgelegt.

Der Aufbau der Spitzbodendecke, die ebenfalls als geschlossenes Holztafelelement gefertigt wird, erfolgt analog zum Aufbau des Daches. Der Unterschied besteht lediglich darin, dass auf der Oberseite des Elementes anstelle des Dachaufbaus eine OSB-Platte angeordnet wird, die den oberen Abschluss bildet.



Die Spannrichtung erfolgt wie bei den Dachelementen traufseitig, wobei auch hier gebäudelange Elemente eingesetzt werden. Für den festgelegten Grundriss des Basishauses wird eine statische Mindesthöhe der Traghölzer von 20 cm festgelegt [41].

In Abbildung 16 ist der allgemeine Aufbau des Dachelementes und der Spitzbodendecke dargestellt.



**Abbildung 16: Dach und Spitzbodendeckenaufbau**



## 6 Bauphysikalische Untersuchung der Konstruktionen

### 6.1 Vorstellung der verwendeten Programme

#### 6.1.1 WUFI©

Das Programm WUFI© [43] (**W**ärme und **F**euchte instationär) dient der Berechnung des instationären, hygrothermischen Verhaltens von Bauteilen unter natürlichen Klimabedingungen. Berechnet wird dabei der gekoppelte Wärme- und Feuchtetransport in einem eindimensionalen, mehrschichtigen Bauteil, wobei meteorologische Daten (Temperatur, rel. Luftfeuchte, Regen/Schlagregen, Strahlung) für ein Jahr und Raumklimadaten (Temperatur, rel. Luftfeuchte) die Randbedingungen der Berechnung darstellen.

In der praktischen Anwendung eignet sich das Programm WUFI©I deshalb u.a. zur Bestimmung:

- der Austrocknungszeit von Baufeuchte
- der Tauwassergefahr in Bauteilen
- des Einflusses von Schlagregen auf Außenbauteilen
- der Auswirkung von Umbau- und Sanierungsmaßnahmen

Folgende Daten bzw. Eingaben werden vom Benutzer benötigt, um die gewünschten Ergebnisse zu erhalten:

- Definition des Bauteilaufbaus mit Hilfe der programminternen Materialdatenbank
- Festlegung der Neigung, Orientierung und Höhenlage des Bauteils
- Eingabe der Oberflächenübergangskoeffizienten für Wärme, Wasserdampf und Flüssigkeit
- Bestimmung der Anfangsbedingungen im Bauteil (Temperatur, Feuchtegehalt)
- Festlegung des Zeitintervalls der Berechnung
- Festlegung des Innen- und Außenklimas

Der Verlauf der relativen Feuchte und der Temperatur kann über das gesamte Bauteil oder an vorher festgelegte Positionen in Form von Diagrammen oder eines Filmes ausgegeben werden. Die Entwicklung der absoluten Bauteilfeuchte wird separat aufgeführt.

Die Maximal-, Minimal- und Durchschnittswerte der Feuchtigkeitsgehalte in den einzelnen Materialien werden in Form einer Tabelle ausgegeben.



### 6.1.2 WinFeuchte©

Das Programm WinFeuchte© [44] dient neben der Berechnung zweidimensionaler Dampfdiffusionsströme der Berechnung zweidimensionaler, stationärer Wärmeströme in Bauteilen. Die Berechnung liefert für die zugrundegelegten Randbedingungen den längenbezogenen Gesamtwärmestrom und Temperaturen, die punktweise abgefragt oder als Isothermen dargestellt werden können. Die Wärmeströme werden durch das Innen- und Außenklima erzeugt, wobei die Berechnung auf der Finiten-Elemente-Methode basiert.

Eine Besonderheit des Programms ist die DXF-Schnittstelle, wodurch der Import und Export von CAD-Dateien möglich ist. Dies ermöglicht eine schnelle Eingabe komplexer Bauteilaufbauten und -anschlüsse.

Um eine vollständige Berechnung durchführen zu können, werden diverse Eingaben benötigt:

- Eingabe des Bauteils durch Konstruktion im Programm oder durch DXF-Import
- Belegen des entsprechenden Querschnitts mit Materialien aus der programminternen Datenbank
- Festlegung des Innen- und Außenklimas und den dazugehörigen Wärmeübergangskoeffizienten

Als Ausgabe liefert das Programm den allgemeinen Aufbau der Konstruktion mit den dazugehörigen Materialeigenschaften. Zudem kann die Temperaturverteilung über das Bauteil mit frei definierbaren Isothermenverläufen gezeigt werden. Die minimale innenseitige Oberflächentemperatur zur Bestimmung des Temperaturfaktors  $f_{Rsi}$  wird ebenfalls bestimmt.

Durch die Berechnung des Gesamtwärmestroms und des daraus resultierenden thermischen Leitwertes  $L_{2D}$  innerhalb des Programms erfolgt die Bestimmung des längenbezogenen Wärmebrückenverlustkoeffizienten (WBV) in einer separaten Excel-Tabelle.

### 6.1.3 EnEV-Wärme&Dampf©

Das Programm EnEV-Wärme&Dampf© [45] ermöglicht den rechnergestützten Wärmeschutznachweis nach der aktuell gültigen EnEV 2002, sowie den Dampfdiffusionsnachweis nach DIN 4108.

Das Programm erstellt eine Energiebilanz der Gewinne und Verluste des zu untersuchenden Gebäudes, sowie der einzelnen Bauteile und stellt auf Wunsch einen Energieeinsparnachweis nach §13 der EnEV für das berechnete Objekt aus.

Dabei können verschiedene Daten ausgegeben werden:

- Energieeinsparnachweis / Wärmebedarfsausweis
- Energiebilanz mit genauer Aufschlüsselung der Gewinne und Verluste
- Bauteiltabelle, geordnet nach Bauteilarten
- Schichtaufbauten der Bauteile
- Flächenberechnung der verwendeten Bauteile



- Volumenberechnung des Bauwerks
- Mindestwärmeschutz nach DIN 4108 Teil 2
- Sommerliche Wärmeschutz nach DIN 4108-2 2001-3
- Dampfdiffusionsnachweis der verwendeten Bauteile nach DIN 4108 Teil 5 [30]

## 6.2 Vorgehensweise bei der Untersuchung bzw. Nachweis der Konstruktionen

Die feuchtetechnische Untersuchung soll mit dem Programm WUFI© erfolgen. Gegenstand der Untersuchung sollen verschiedene Bauteilkonstruktionen des im Kapitel 5 entwickelten Basishauses sein. Als Standort für das Basishaus wird die Stadt Holzkirchen angenommen, wobei die Bauteile eine Nord-West Ausrichtung aufweisen. In Hinblick auf die Außentemperaturverhältnisse werden so möglichst ungünstige Witterungsverhältnisse simuliert.

Die Simulation erfolgt über einen Zeitraum von fünf Jahren. Dies ermöglicht eine langfristige und realistische Betrachtung der Entwicklung der Feuchtegehalte in den einzelnen Bauteilen.

Die Holzfassade der Dachgeschosswände ist konstruktiv schwach belüftet. Programmbedingt wird jedoch eine stehende Luftschicht angesetzt. Durch die Annahme, dass die eingesetzte Profilholzschalung einen deckenden Anstrich erhält, wird eine Regenwasserabsorption nicht berücksichtigt.

Bei den zu untersuchenden Bauteilen handelt es sich um die Außenwände des Basishauses. Es werden je Außenwandaufbau verschiedene Varianten untersucht.

Die Simulationsergebnisse sollen Aufschluss über eventuell anfallendes Tauwasser und die Gefahr eines Befalls von holzerstörenden Pilzen in den Wandaufbauten geben.

Mit dem Programm EnEV-Wärme&Dampf© erfolgt anschließend der gesetzlich geforderte Dampfdiffusionsnachweis nach DIN 4108 Teil 5 (Glaser-Verfahren) für alle Bauteilvarianten des Basishauses.

Die Berechnung der Wärmebrücken verschiedener Konstruktions-Detailpunkte (siehe Kapitel 6.6) wird mit dem Programm WinIso 2d© durchgeführt. Dies dient der Bestimmung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten (WBV), der für den Energieeinsparnachweis (bei detailliertem Nachweis von Wärmebrücken) benötigt wird.

Zudem wird durch die Ermittlung der minimalen innenseitigen Oberflächentemperatur bzw. des Temperaturfaktors  $f_{Rsi}$  der Nachweis zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung auf der Bauteiloberfläche geführt.

Abschließend erfolgt mit dem Programm EnEV-Wärme&Dampf© der Wärmeschutznachweis nach der EnEV für das Basishaus.



### 6.3 Aufbau der Bauteile

In der Tabelle 11 sind die Konstruktionsaufbauten der zu untersuchenden Bauteile in den verschiedenen Varianten dargestellt.

<b>Außenwand 1(EG)</b> von außen:	Dicke [mm]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	
Mineralischer Außenputz	10	0,70	
Polystyrol-Putzträgerplatte (PS)	variabel	0,04	
OSB-Platte	12	0,12	
Mineralwolle im Gefach (MW)	variabel	0,04	
OSB-Platte	12	0,12	
Gipskartonplatte	9,5	0,21	
<b>Außenwand 1(EG)</b>	MW [mm]	PS [mm]	U [W/(m²K)]
Variante 1	150	60	0,192
Variante 2	150	30	0,225
Variante 3	100	60	0,242
Variante 4	100	30	0,297
<b>Außenwand 2(EG)</b> von außen:	Dicke [mm]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	
Mineralischer Außenputz	10	0,70	
HD Platte	15	0,40	
Mineralwolle im Gefach (MW)	variabel	0,04	
OSB-Platte	12	0,12	
Gipskartonplatte	9,5	0,21	
<b>Außenwand 2</b>	MW [mm]		U [W/(m²K)]
Variante 1	100		0,397
Variante 2	150		0,279
<b>Außenwand 3(DG)</b> von außen:	Dicke [mm]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	
Profilholzschalung	15	-	
diffusionsoffene Unterspannbahn	-	-	
Mineralwolle im Gefach (MW)	variabel	0,04	
OSB-Platte	12	0,12	
Gipskartonplatte	9,5	0,21	
<b>Außenwand 3</b>	MW [mm]		U [W/(m²K)]
Variante 1	100		0,406
Variante 2	150		0,283
<b>Spitzbodendecke</b> von außen:	Dicke [mm]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	
Dachraum	12	-	
OSB-Platte	22	0,12	
Luftschicht	50	0,28	
Mineralwolle im Gefach (MW)	150	0,04	U
Luftschicht	25	1,16	[W/(m²K)]
Gipskartonplatte	9,5	0,21	0,249
<b>Dachaufbau</b> von außen:	Dicke [mm]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	
diffusionsoffene Unterspannbahn	-	-	
Mineralwolle im Gefach (MW)	150	0,04	U
OSB-Platte	12	0,12	[W/(m²K)]
Gipskartonplatte	9,5	0,21	0,283
<b>Bodenplatte konventionell</b>	Dicke [mm]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	
Belag	10	1,30	
Estrich	50	1,40	U
PS-Hartschaumplatte	100	0,04	[W/(m²K)]
Betonplatte	200	-	0,369
<b>Bodenplatte nach A.R.T.U.S.</b>	Dicke [mm]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	
Belag	10	1,30	U
Betonplatte	200	1,60	[W/(m²K)]
PS-Hartschaumplatte	150	0,04	0,247

Tabelle 11: Varianten der Wandaufbauten



Die U-Werte sind nach DIN EN ISO 6946-6.2 [31] berechnet (siehe Anlage 6.1-6.6).

Die detaillierten Materialkennwerte sind den Projektdateien der verschiedenen Programme auf der beiliegenden CD-Rom zu entnehmen.

Aus der Tabelle geht hervor, dass die in der DIN 4108-2 angegebenen maximalen U-Werte bei allen Bauteilen bzw. Varianten eingehalten werden (vgl. Kapitel 3.3.2.1).

## **6.4 Feuchtetechnische Untersuchung**

### **6.4.1 Simulationsergebnisse**

Die Grundlagen der Klimabedingungen und die Ergebnisdiagramme sind der Anlage 7.1-7.3 bzw. den WUFI-Projektdateien auf der beiliegenden CD-Rom zu entnehmen.

#### **6.4.1.1 Außenwand 1**

Der Gesamtwassergehalt der verschiedenen Varianten pendelt zwischen 2,6 kg/m<sup>2</sup> im Winter und 2,1 kg/m<sup>2</sup> im Sommer.

Während der Winterperiode steigt die relative Feuchte an der Außenseite der Fassade auf Werte bis zu 85 %. An der Außenoberfläche der Mineralwolle beträgt die relative Feuchte im Winter kurzfristig 96 %. Zu einem Tauwasserausfall kommt es jedoch an beiden Stellen nicht.

Der absolute Wassergehalt der äußeren OSB-Platte erreicht im Winter bis zu 101 kg/m<sup>3</sup>. Bei einer angenommenen Rohdichte der Platte von 630 kg/m<sup>3</sup> entspricht das 16 Massen-%. Die Feuchtigkeit der inneren OSB-Platte liegt ganzjährig unter 11 Massen-%.

Zulässig sind in Deutschland nach DIN 68800-2 für OSB-Platten höchstens 18 Massen-% (Holzwerkstoffklasse 100). Mit einem Pilzbefall der OSB-Platten durch holzerstörende Pilze ist daher nicht zu rechnen.

Während des Sommers trocknet die äußere OSB-Platte auf bis zu 10 Massen-% aus.

#### **6.4.1.2 Außenwand 2**

Der absolute Wassergehalt der zwei Varianten bewegt sich zwischen 1,6 kg/m<sup>2</sup> im Winter und 1,2 kg/m<sup>2</sup> im Sommer.

Die relative Feuchte an der Außenseite der Fassade steigt im Winter auf maximal 87 %. Die relative Feuchte steigt an der Außenoberfläche der Mineralwolle kurzfristig auf Werte bis zu 98 %. Zu einem Ausfall an Tauwasser kommt es jedoch nicht.

Der Feuchtegehalt der inneren OSB-Platte liegt ganzjährig unter 11 Massen-%. Mit einem Pilzbefall ist an dieser Stelle nicht zu rechnen.



### 6.4.1.3 Außenwand 3

Der Gesamtwassergehalt der beiden Varianten liegt bei 2,1 kg/m<sup>2</sup> im Winter und bei 1,8 kg/m<sup>2</sup> im Sommer.

Der absolute Wassergehalt im Holz der Fassade erreicht in der Winterperiode als Maximum 85 kg/m<sup>3</sup>. Bei einer angenommenen Rohdichte der Profilholzschalung von 455 kg/m<sup>3</sup> sind das 18,7 Massen-%.

Eine Gefährdung durch holzerstörende Pilze besteht nach DIN 68800-2 bei einer längerfristigen Überschreitung der Holzfeuchtigkeit von 20 Massen-%. Eine Gefährdung durch holzerstörende Pilze ist daher auszuschließen.

Mit einem Tauwasserausfall an der Außenseite der Holzfassade und an der Außenoberfläche der Mineralwolle ist nicht zu rechnen. Relative Feuchten von 87 % werden an keiner Stelle überschritten.

In der Sommerperiode steigt der absolute Wassergehalt der inneren OSB-Platte auf maximal 64 kg/m<sup>3</sup>, was auf die hohe relative Feuchte der Innenraumluft zurückzuführen ist. Dies entspricht ca. 10 Massen-% und ist als unkritisch zu bewerten.

### 6.4.1.4 Bewertung der Ergebnisse

Unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen sind die ausgewählten und untersuchten Konstruktionen als praktikabel und unproblematisch zu bewerten. Der Gesamtwassergehalt der verschiedenen Außenwände schwankt zwischen der Tau- und Verdunstungsperiode um nicht mehr als 0,5 kg/m<sup>2</sup> womit die Anforderungen der DIN 4108-3 erfüllt werden (vgl. Kapitel 3.4.1).

Das Holz bzw. die Holzwerkstoffe weisen bei allen Konstruktionen unkritische Feuchtegehalte in Bezug auf die Gefährdung durch holzerstörende Pilze auf. Ebenfalls kommt es zu keinem Tauwasserausfall an der Außenoberfläche der Fassade bzw. im Bauteilinneren.

## 6.5 Dampfdiffusionsnachweis

Durch Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen kann es durch Erhöhung der Stoff-Feuchte von Bau- und Wärmedämmstoffen zu Materialschädigungen oder zu Beeinträchtigungen der Funktionssicherheit des Bauteils kommen. Die Anforderungen an die Bauteile sind im Kapitel 3.4.1 erläutert.

Der Nachweis erfolgt mittels dem Programm EnEV-Wärme&Dampf© unter stationären Bedingungen nach dem Glaser-Verfahren. Die Randbedingungen und detaillierten Ergebnisse der Berechnungen sind der Anlage 8.1-8.6 zu entnehmen.



### 6.5.1 Außenwände

Bei den Varianten der Außenwand 1 und 2 kommt es während der Tauperiode zu einer Tauwasserbildung von maximal  $0,132 \text{ kg/m}^2$ . Es liegt dabei der Fall B vor (vgl. DIN 4108-3), bei dem Tauwasser in einer Ebene (Schichtgrenze) des Bauteilquerschnitts anfällt.

Es verdunsten in der Verdunstungsperiode aber mindestens  $0,218 \text{ kg/m}^2$ . Somit verbleibt bei keiner Konstruktionsvariante Tauwasser im Bauteilquerschnitt.

Im Bereich der Holzstiele liegt der Fall A vor, d.h. es kommt während der Tauperiode zu keinem Tauwasserausfall.

Auch bei der Außenwand 3 stellt sich der Fall A sowohl im Feldbereich als auch im Bereich des Holzstieles ein. Zu einem Tauwasserausfall kommt es somit nicht. Die weiteren Anforderungen nach Kapitel 3.4.1 werden ebenfalls erfüllt.

### 6.5.2 Spitzbodendecke und Dach

Wird die Spitzbodendecke ohne eine innenseitig angeordnete Dampfbremse ausgeführt kommt tritt der Fall D ein, d.h. es kommt zu Tauwasserbildung in einem Bauteilbereich (Schicht). Dabei beträgt die anfallende Tauwassermasse  $3,220 \text{ kg/m}^2$ , die mögliche Verdunstungsmenge beträgt aber lediglich  $2,283 \text{ kg/m}^2$ . Somit verbleibt eine Restmenge von  $0,937 \text{ kg/m}^2$  Tauwasser im Bauteil, wodurch die Konstruktion im Sinne der DIN 4108 nicht zulässig ist.

Durch die Anordnung einer Dampfbremse wird die Tauwassermenge auf  $0,024 \text{ kg/m}^2$  reduziert. Die mögliche Verdunstungsmenge beträgt  $0,085 \text{ kg/m}^2$ , dadurch verbleibt kein Tauwasser im Bauteil. Auch im Bereich des Deckenbalkens fällt kein schädliches Tauwasser. Die übrigen Anforderungen der Norm werden ebenso erfüllt.

Bei der Konstruktion des Dachaufbaus kommt es während der Tauperiode zu keinem Ausfall von Tauwasser (Fall A). Alle Anforderungen der Norm werden zudem eingehalten.

### 6.5.3 Bewertung der Ergebnisse

Die Verdunstungsmasse des Tauwassers während der Verdunstungsperiode  $m_{w,v}$  ist bei allen Bauteilvarianten größer als die Tauwassermasse während der Tauperiode  $m_{w,t}$ .

Die flächenbezogene Tauwassermasse  $m_{w,t}$  von  $1,0 \text{ kg/m}^2$  wird zudem bei keinem Konstruktionsaufbau überschritten (max.  $m_{w,t} = 0,852$ ).

An den Berührungsflächen von kapillar nicht wasseraufnahmefähigen Schichten beträgt die flächenbezogene Tauwassermasse maximal  $0,132 \text{ kg/m}^2$  (zulässig sind  $0,5 \text{ kg/m}^2$ ).

Bei Holz- und Holzwerkstoffen kommt es zu keiner Erhöhung des massenbezogenen Feuchtegehalts um mehr als 5% bzw. 3%.

Alle Bauteilkonstruktionen erfüllen so die Anforderungen der DIN 4108-3 und sind im Sinne der Norm zulässig.



Die Berechnungen mit dem Programm EnEV-Wärme&Dampf© zeigen, dass bei einigen Konstruktionen Taubedingungen im untersuchten Wandaufbau zu erwarten sind. Die Berechnungen der feuchtetechnischen Untersuchung mit dem Programm WUFI© zeigen dagegen, dass es zu keinem Tauwasserausfall kommt. Dies liegt u.a. daran, dass bei der realistischen Berechnung mit WUFI© Feuchte-Transportmechanismen wie z.B. Kapillarleitung berücksichtigt werden. Die kapillare Leitfähigkeit bewirkt, dass Feuchteansammlungen auseinanderlaufen. Diese Tatsache wirkt der lokalen Feuchteansammlung aktiv entgegen, so dass ein Erreichen von 100% relativer Feuchtigkeit (Voraussetzung für Tauwasserausfall) erschwert wird. Zudem haben die üblichen Baumaterialien eine gewisse Aufnahmefähigkeit für Feuchte (Sorptionsfähigkeit). Diese Sorptionsfähigkeit puffert Änderungen der relativen Feuchte in der Wand und wird bei der stationären Dampfdiffusionsberechnung nach Glaser nicht berücksichtigt.

## 6.6 Berechnung der Wärmebrücken

In Hinblick auf den Wärmeschutznachweis nach EnEV sollen für das Basishaus folgende Wärmebrücken näher untersucht werden:

- Anschluss der Außenwand auf der Bodenplatte (Sockelanschluss)
- Außenwanddecke (EG und DG)
- Geschossdeckeneinbindung
- Anschluss der Giebelwände an das Dach (Ortganganschluss)
- Fensterlaibungen

### 6.6.1 Berechnungsergebnisse

Exemplarisch soll die Berechnung der Wärmebrücken am Beispiel der Außenwanddecke durchgeführt werden. Die Berechnungen und Ergebnisse der anderen Anschlüsse finden sich in der Anlage 9.

#### 6.6.1.1 Berechnung des Wärmebrückenverlustkoeffizienten

Der Wärmebrückenverlustkoeffizient  $\Psi$  (WBV), auch längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient genannt, beschreibt die Wärmeverlustdifferenz des gestörten Bereiches der Wärmebrücke zum ungestörten Bereich.

Der WBV wird nach folgender Gleichung bestimmt:

$$\Psi = L^{2D} - \sum (U_{xj} l_{xj})$$

mit

$\Psi$  ... längenbezogener Wärmebrückenverlustkoeffizient in W/(mK)

$L^{2D}$  ... längenbezogener thermischer Leitwert in W/(mK)

$U_{xj}$ ... Wärmedurchgangskoeffizient des ungestörten Bereichs in W/(m<sup>2</sup>K)

$l_{xj}$  ... Außenkantenlänge des Bauteils in m, für den  $U_{xj}$  gilt



Der längenbezogene thermische Leitwert setzt sich wie folgt zusammen:

$$L^{2D} = \frac{q_l}{(\theta_i - \theta_e)}$$

mit

$q_l$  ... längenbezogene Wärmestromdichte an der Außenkante des Bauteils in W/m

$(\theta_i - \theta_e)$  ... Temperaturdifferenz zwischen innen und außen

Grundlage der Berechnung ist die DIN EN ISO 10211-2 [32]. Die Abbildung 17 zeigt den skizzenhaften Konstruktionsaufbau der Wärmebrücke sowie die Materialkennwerte und die angenommenen Randbedingungen. Zudem ist die längenbezogene Wärmestromdichte an der Außenkante des Bauteils ( $Q_{\text{gesamt}}$ ) dargestellt. Der Abstand der Schnittebene vom zentralen Element wurde entsprechend der Norm kleiner als 1m gewählt, da eine Symmetrieachse kleiner als 1m im Aufbau der Wand vorliegt.

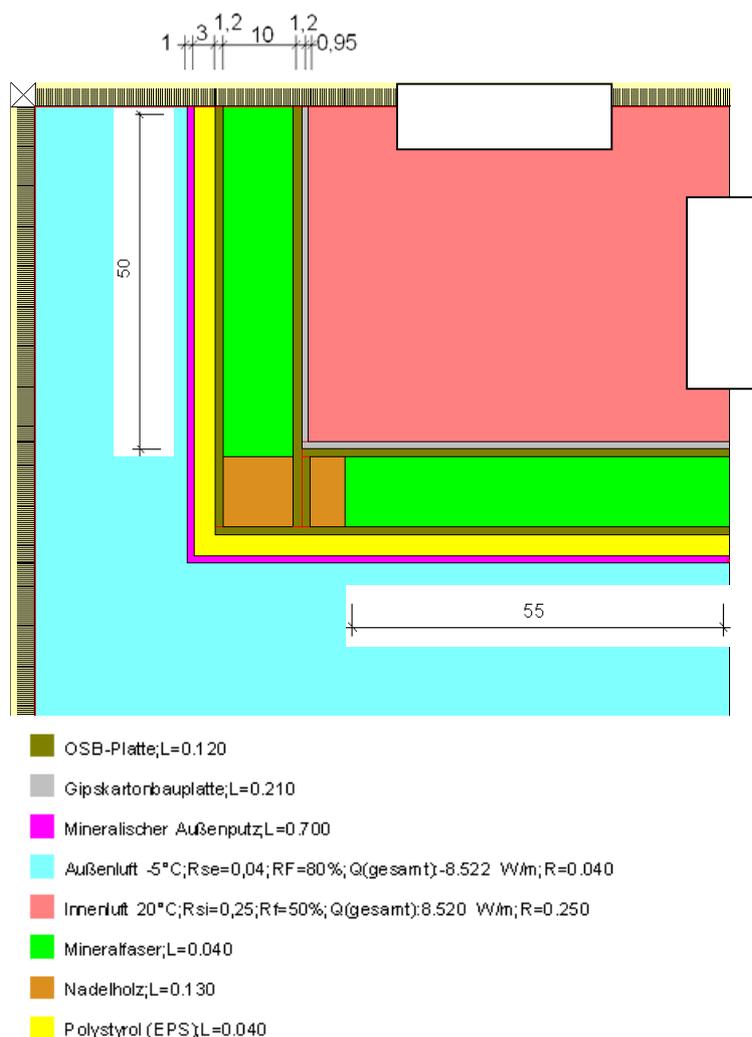


Abbildung 17: Konstruktionsaufbau der Wärmebrücke



Aus der Wärmebrückenberechnung ergibt sich folgender Wert für den längenbezogenen thermischen Leitwert:

$$L^{2D} = \frac{8,522 \text{ W/m}}{(20\text{K} - (-5\text{K}))} = \frac{0,341 \text{ W}}{(\text{mK})}$$

Die zugehörigen Wärmedurchgangskoeffizienten der ungestörten Bereiche sind ebenfalls in der Anlage 9 enthalten.

Der längenbezogene Wärmebrückenverlustkoeffizient  $\Psi$  berechnet sich wie folgt:

$$\Psi = \frac{0,341 \text{ W}}{(\text{mK})} - \sum (0,263 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \times 0,50 \text{ m}) + (0,263 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \times 0,55 \text{ m}) = 0,0647 \text{ W}/(\text{mK})$$

### 6.6.1.2 Minimale rauseitige Oberflächentemperatur

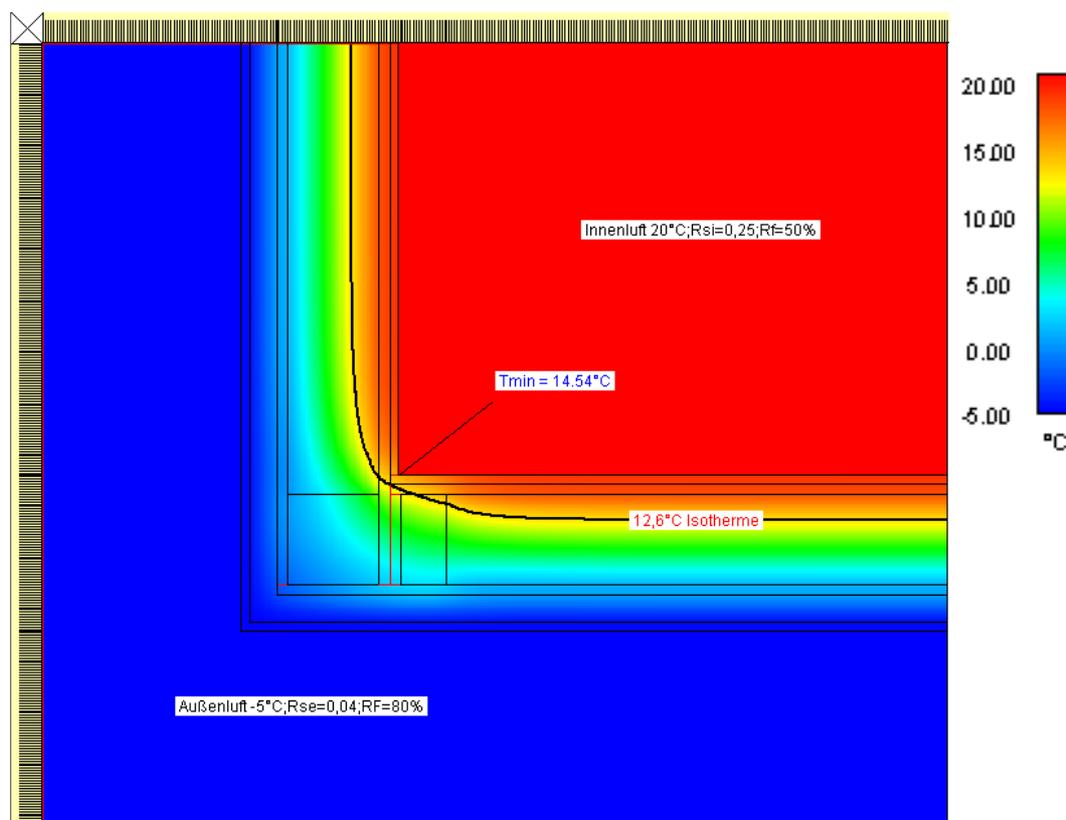
Die DIN 4108-2 fordert zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung auf der Bauteiloberfläche eine relative Luftfeuchtigkeit von  $\leq 80\%$ . Bezogen auf die Temperatur bedeutet dies eine Abkühlung der Oberflächentemperatur auf  $12,6 \text{ C}^\circ$  um eine relative Luftfeuchtigkeit von  $80\%$  in diesem Bereich zu erreichen (die Randbedingungen der DIN 4108-2-6.2 zu entnehmen).

Zur Bewertung der Gefahr von Schimmelpilzbildung wird der normierte Temperaturfaktor  $f_{\text{Rsi}}$  verwendet (vgl. Kapitel 3.3.4).

Um die Mindestanforderungen im Bereich der Wärmebrücke zu erfüllen ergibt sich für  $f_{\text{Rsi}}$  folgender Wert:

$$f_{\text{Rsi}} \geq \frac{12,6 - (-5)}{20 - (-5)} = 0,70$$

In der Abbildung 18 ist Temperaturfeldverteilung der betrachteten Wärmebrücke dargestellt. Zudem wird der  $12,6\text{C}^\circ$  Isothermenverlauf und die minimale Oberflächentemperatur angegeben.



**Abbildung 18: Temperaturfeldverteilung der Wärmebrücke**

Für die betrachtete Wärmebrücke ergibt sich eine minimale raumseitige Oberflächentemperatur von 14,54°C. Daraus ermittelt sich der Temperaturfaktor  $f_{Rsi}$  wie folgt:

$$f_{Rsi} = \frac{14,54 - (-5)}{20 - (-5)} = 0,78$$

Die Anforderung der Norm wird somit erfüllt.

### 6.6.2 Bewertung der Ergebnisse

Die Anforderungen an die minimale raumseitige Oberflächentemperatur im Bereich der Wärmebrücken werden außer beim Sockelanschluss bei der Außenwand 2 erfüllt. Hier beträgt die Oberflächentemperatur 12,3 C°. Dadurch ist eine Gefahr durch Schimmelpilzbildung auf der Bauteiloberfläche nicht auszuschließen. Es müssten zusätzliche Maßnahmen wie z.B. eine innenseitig angeordnete Wärmedämmschicht vorgenommen werden um einen normgerechten Anschluss zu realisieren.



## 6.7 Wärmeschutznachweis nach EnEV

Die Energieeinsparverordnung ist eine öffentlich-rechtliche Vorschrift, deren Beachtung u.a. bei Neubauvorhaben eine uneingeschränkte Verbindlichkeit darstellt.

Aus diesem Grund soll an dem entwickelten Basishaus der legislativ geforderte Wärmeschutznachweis nach EnEV durchgeführt werden.

Anforderungen der EnEV wurden bereits im Kapitel 3.3.3 erläutert bzw. sind in der Anlage 2 aufgeführt.

Der Nachweis soll an zwei verschiedene Basishausvarianten erfolgen, um das gesamtenergetische Verhalten des Gebäudes mit jeweils unterschiedlichen Bauteilkonstruktionen bewerten zu können.

Tabelle 12 zeigt die verwendeten Bauteilkonstruktionen bei den Basishausvarianten.

Bauteil	Basishaus 1	Basishaus 2
Bodenplatte	nach A.R.T.U.S.	konventionell
Außenwand EG	AW1_Variante 4	AW2_Variante 1
Außenwand DG	AW3_Variante 1	AW3_Variante 1

**Tabelle 12: Bauteilkonstruktionen der Basishausvarianten**

Die übrigen Bauteile (Dach/Spitzbodendecke) finden entsprechend Tabelle 11 (S. 61) bei beiden Basishaustypen Anwendung.

### 6.7.1 Annahmen für den Nachweis

Der Nachweis des Wärmeschutzes erfolgt nach dem Monatsbilanzverfahren. Das Gebäude ist als Typenhaus konzipiert. Die solaren Gewinne werden so grundsätzlich für die Ost-/Westausrichtung ermittelt. Es wird das Referenzklima nach DIN V 4108-6 [33] unabhängig vom Standort des Gebäudes gewählt.

Die Wärmebrücken werden detailliert aufgeschlüsselt. Eine Luftdichtheitsprüfung ist nach Fertigstellung des Hauses nicht vorgesehen.

In Tabelle 13 sind weitere Randbedingungen für Wärmeschutznachweis aufgeführt.

Komponente Heizung	Ausführung
Übergabe	Wasserheizung; freie Heizflächen; Thermostatregelventile 1K
Verteilung	horizontale Verteilung der Heizungswärme innerhalb der thermischen Hülle; Heizkreistemperatur 55/45°C
Speicherung	keine
Erzeugung	Brennwertkessel (Erdgas)
Komponente Trinkwasser	Ausführung
Verteilung	gebäudezentrale Trinkwasseraufbereitung ohne Zirkulation; Verteilung des Trinkwassers innerhalb der thermischen Hülle
Speicherung	indirekt beheizter Speicher (z.B. durch Gebäudeheizanlage); Speicher steht innerhalb der thermisch geschlossenen Hülle
Erzeugung	Brennwertkessel (Erdgas)
Lüftungsanlage	Ausführung
Übergabe	keine Lüftungsanlage (freie Lüftung)

**Tabelle 13: Randbedingungen für den Wärmeschutznachweis**



### 6.7.2 Ergebnisse des Nachweises

Die detaillierten Ergebnisdaten des Nachweises sind in der Anlage 10.1-10.3 bzw. in den Projektdateien auf der beiliegenden CD-Rom enthalten.

Für das Basishaus 1 ergibt sich ein Jahresprimärenergiebedarf von  $Q''_p = 136,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ . Bei einem Verhältnis der Gebäudehüllfläche  $A$  zum Gebäudebruttovolumen  $V_e$  von  $1,06 \text{ 1/m}$  beträgt der maximal zulässige Jahresprimärenergiebedarf  $143,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ .

Aus dem Verhältnis ergibt sich zudem der maximal zulässige spezifische Transmissionswärmeverlust  $H'_T$  mit  $0,440 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Der spezifische Transmissionswärmeverlust des Nachweises beträgt  $0,387 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Somit erfüllt das Basishaus 1 die Anforderungen der EnEV und der Wärmeschutznachweis ist erbracht.

Für das Basishaus 2 ergibt sich bei gleichen angenommen Randbedingungen und somit auch gleichen Anforderungen ein Jahresprimärenergiebedarf von  $145,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ . Der maximal zulässige Wert wird dadurch um  $2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  überschritten. Der spezifische Transmissionswärmeverlust liegt mit  $0,426 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  unter dem zulässigen Maximalwert.

### 6.7.3 Maßnahmen zur Erfüllung des Nachweises

Die nichteingehaltenen Anforderungen der EnEV beim Basishaus 2 zeigen, dass zusätzliche Maßnahmen getroffen werden müssen, um den Wärmeschutz zu erfüllen. Hier sind verschiedene Möglichkeiten denkbar, wovon einige im Folgenden erläutert werden.

Wird z.B. eine Luftdichtheitsprüfung (Blower Door Messung) nach der Fertigstellung des Hauses eingeplant und bei der Nachweisführung berücksichtigt, reduziert sich der Jahresprimärenergiebedarf um  $4,7 \%$  auf  $138,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ . Unter diesen Voraussetzungen werden die legislativen Anforderungen erfüllt.

Die Überprüfung der Luftdichtheit mittels einer Blower Door Messung kann bei der Firma Gussek Haus durch speziell geschulte, firmeninterne Kundendienstmitarbeiter durchgeführt werden. Da diese i.d.R. vor der Bauabnahme auf der Baustelle tätig sind, fallen keine zusätzlichen Anfahrtskosten bei einer Messung vor Ort an. Zudem gewährleistet eine Luftdichtheitsprüfung nach der Fertigstellung des Gebäudes eine Qualitätskontrolle der Bauausführung.

Eine weitere Möglichkeit den ursprünglich zu hohen Jahresprimärenergiebedarf zu reduzieren bietet der Einsatz von Dämmmaterialien mit geringerer Wärmeleitfähigkeit. Werden z.B. bei der Spitzbodendecke und der Bodenplatte Dämmstoffe der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 035 eingesetzt (ursprünglich 040), beträgt der Jahresprimärenergiebedarf  $143,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  und erfüllt die Anforderungen (Wärmebrücke im Sockelbereich wurde nicht erneut berechnet).



## 6.8 Sommerlicher Wärmeschutznachweis

### 6.8.1 Annahmen für den Nachweis

Die Anforderungen an den Wärmeschutz im Sommer sind dem Kapitel 3.3.6 zu entnehmen.

Die EnEV sieht einen sommerlichen Wärmeschutznachweis nach DIN 4108-2 durch Begrenzung des maximalen Sonneneintragwertes erst ab einem Fensterflächenanteil von mehr als 30% vor. Der Fensterflächenanteil beim Basishaus beträgt 17,7 % (vgl. Anlage 10.1-10.3).

Obwohl der vorhandene Fensterflächenanteil unterhalb des Grenzwertes nach EnEV liegt, wird für das Wohn-/Esszimmer im Erdgeschoss der Nachweis des ausreichenden sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 geführt. Dieser Raum stellt aufgrund der drei Fensterfronten den ungünstigsten Fall dar und ist somit für das Gebäude als repräsentativer Referenzraum anzusehen. Dabei wird für den Raum der Sonneneintragskennwert  $S_{\text{raum}}$  und nicht fassadenweise ermittelt und mit dem vorgegebenen Maximalwert  $S_{\text{max}}$  verglichen.

### 6.8.2 Ergebnis des Nachweises

Der Sonneneintragskennwert  $S$  ist nach DIN 4108-2 wie folgt zu bestimmen:

$$S = f \cdot g \cdot F_c \cdot \frac{F_F}{0,7}$$

dabei ist

f... Fensterflächenanteil des Raumes

g... Gesamtenergiedurchlass der Verglasung (Annahme  $g=55\%$ )

$F_c$ ... Abminderungsfaktor der Sonnenschutzvorrichtung (Annahme  $F_c=1,0$ : kein Sonnenschutz)

$F_F$ ... Abminderungsfaktor infolge des Rahmenanteils ( Annahme  $F_F=0,8$ )

Der Fensterflächenanteil resultiert aus dem Verhältnis aller solar wirksamen Fensterflächen des Raumes zur Fassadenfläche mit der größten Fensterfront.

Daraus ergibt sich für den Fensterflächenanteil folgender Wert:

$$f = \frac{8,33 \text{ m}^2}{26,97 \text{ m}^2} = 0,31$$

Der Sonneneintragskennwert  $S$  errechnet sich dadurch aus:

$$S = 0,31 \cdot 0,55 \cdot 1,0 \cdot \frac{0,8}{0,7} = 0,19$$

Der maximal zulässige Wert des Sonneneintragwertes  $S_{\text{max}}$  ergibt sich aus der Gleichung:



$$S_{\max} = S_0 + \sum \Delta S_x$$

mit:

$S_0$ ... Basiswert des Sonneneintragswertes (0,18)

$\Delta S_x$  ... Zuschlagswerte nach dem Bonus-Malus-Prinzip aus Tab. 8 der DIN 4108-2

Dadurch errechnet sich  $S_{\max}$  wie folgt:

$$S_{\max} = 0,18 - 0,03 = 0,15$$

Der erforderliche Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes  $S \leq S_{\max}$  kann somit nicht erbracht werden.

### 6.8.3 Maßnahmen zur Erfüllung des Nachweises

Um den Nachweis erfolgreich führen zu können, bieten sich zwei verschiedene Möglichkeiten an:

1. Verwendung von Sonnenschutzgläsern mit einem g-Wert  $\leq 0,4$
2. Anordnung einer Sonnenschutzvorrichtung mit der Annahme der  $F_c$  - Werte nach DIN 4108-2 Tab.7

Durch die Verwendung von Sonnenschutzgläsern ( $g=0,4$ ) reduziert sich der Sonneneintragskennwert auf 0,14, der sommerliche Wärmeschutz wird also erfüllt. Die Verwendung dieser Verglasung wirkt sich allerdings negativ auf die solaren Gewinne des Gebäudes aus und sollte daher auf Gebäude mit einem sehr hohen Fensteranteil beschränkt bleiben.

Eine weitere Möglichkeit die Anforderungen zu erfüllen bietet z.B. die Anordnung einer innen liegenden Sonnenschutzvorrichtung mit einem  $F_c$  – Wert von 0,75. Der sommerliche Wärmeschutz wird so mit einem Sonneneintragskennwert von 0,15 erfüllt.



## 7 Schlussbetrachtung

Laut Statistischem Bundesamt sind in der Bundesrepublik Deutschland stark abnehmende Baugenehmigungszahlen zu verzeichnen. Dies liegt zum einen an der angekündigten Kürzung der Eigenheimzulage. Zum anderen sind Bauherren mit geringem Einkommen finanziell oft nicht in der Lage, sich ein Eigenheim zu leisten. Um für diese potenziellen Kunden attraktive Angebote zu realisieren, sind Konzepte notwendig, die ein preisgünstiges Bauen ermöglichen und zugleich die bautechnischen und –konstruktiven Anforderungen erfüllen.

Von einer Vielzahl von Fertighausherstellern werden bereits auf den aktuellen Markt Häuser unter den oben genannten Bedingungen im sogenannten Niedrigpreissegment angeboten. Die Produkte unterteilen sich in schlüsselfertige Häuser und Ausbau- / Mitbauhäuser. Diese unterscheiden sich im Ausbaustatus und somit in der vom Bauherren zu erbringenden Eigenleistung. Problematisch für einen Vergleich der Angebote untereinander ist die geringe Transparenz der Leistungsbeschreibungen, da diese oft unzureichend und unvollständig aufgeführt sind.

Durch eine Analyse der vorhandenen Informationen der einzelnen Fertighaushersteller zeigt sich, dass sich die Häuser unter baukonstruktiven und bauphysikalischen Gesichtspunkten wenig voneinander unterscheiden.

Generell müssen auch Häuser, die im Niedrigpreissegment angeboten werden gewisse bautechnische Mindestanforderungen erfüllen. Hierzu zählen insbesondere Anforderungen an den Brandschutz, Schallschutz, Wärmeschutz und Feuchteschutz. Die dabei einzuhaltenden Grenzwerte sind den entsprechenden Normen bzw. Bauordnungen zu entnehmen.

Durch diese Vorschriften sind in der Bautechnik Grenzen festgelegt, die Kosteneinsparungen in diesem Sektor des Bauens einschränken. Um dennoch kostengünstige Häuser anbieten zu können, müssen die verfahrenstechnischen Abläufe in der Produktion und der Montage optimiert werden. Hierzu gehört auch die Erstellung standardisierter Hausvarianten (Typenhäuser) zur Rationalisierung von Planungsprozessen.

Am Beispiel vorhandener Grundlagen des Fertighausherstellers Gussek Haus aus Nordhorn, die zukünftig im Niedrigpreissegment anbieten wollen, wurde in Bezug auf die oben genannten Anforderungen ein Basishaus entwickelt.

Um eine möglichst große Kosteneinsparung zu erreichen und das Basishaus somit dem Niedrigpreissegment zuordnen zu können, wird auf eine Unterkellerung des Gebäudes verzichtet. Die Gründung des Basishauses erfolgt auf einer Bodenplatte. Die Grundrissgestaltung, die ein entscheidender Faktor bei der Vermarktung des Hauses ist, zeichnet sich durch eine einfache möglichst orthogonale Struktur aus. Weitere Aspekte wie z.B. Außenwandaufbauten, Fassadengestaltung und Haustechnik können ebenfalls in Bezug auf eine kostengünstige Herstellung angepasst werden.

Damit auch die Einhaltung der bauphysikalischen Anforderungen nachgewiesen werden kann, müssen bestimmte Bauteile näher untersucht werden. Hierzu wurden für das Basishaus verschiedene Konstruktionsvarianten der Außenbauteile entwickelt.



Diese Bauteile wurden mittels verschiedener PC-Programme feuchte- und wärmetechnisch untersucht. Die feuchtetechnische Untersuchung unter instationären Bedingungen soll zum einen das realistische Verhalten von Bauteilaufbauten unter natürlichen Klimabedingungen simulieren. Zum anderen wird durch die stationäre Betrachtung der Konstruktionen mit dem Dampfdiffusionsnachweis der gültigen Norm Rechnung getragen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen und Nachweise zeigen, dass die Bauteilkonstruktionen prinzipiell die erforderlichen Anforderungen erfüllen. Dennoch können bei der Kombination verschiedener Bauteile (Außenwand 2 und A.R.T.U.S. Bodenplatte) Grenzen erreicht werden, die weitere Maßnahmen in Bezug auf die bauphysikalischen Anforderungen erforderlich machen.

Der Wärmeschutznachweis nach der Energieeinsparverordnung verdeutlicht, dass die Anforderungen generell erfüllt werden. Dennoch bewegen sich die Energiebilanzen des Hauses im Bereich der maximal zulässigen Höchstwerte.

Aufgrund dessen stellt das entwickelte Basishaus ein Produkt dar, das dem heutigen Stand der Technik gerecht wird und zudem die Möglichkeiten und Grenzen bei der Entwicklung von Häusern in Holztafelbauart aufzeigt.



## 8 Quellenverzeichnis

### Internet:

- [1] [www.destatis.de/basis/d/bauwo/bauwotab4.htm](http://www.destatis.de/basis/d/bauwo/bauwotab4.htm)
- [2] [www.bdf-ev.de/verband/geschaeftsbericht\\_wirtschaft.html](http://www.bdf-ev.de/verband/geschaeftsbericht_wirtschaft.html)
- [3] [www.balogis.com/news/n2314.asp](http://www.balogis.com/news/n2314.asp)
- [4] [www.bdf-ev.de/menue/pressebereich/pm2000/html/001108politik.html](http://www.bdf-ev.de/menue/pressebereich/pm2000/html/001108politik.html)
- [5] [www.destatis.de/basis/d/bauwo/wositab6.htm](http://www.destatis.de/basis/d/bauwo/wositab6.htm)
- [6] [www.fertighaus.de/f\\_haus/fragen/schluss.htm](http://www.fertighaus.de/f_haus/fragen/schluss.htm)
- [7] [www.info-massivhaus.de/fertighaus.html](http://www.info-massivhaus.de/fertighaus.html)
- [8] [www.bauforderer.de/3-1-3-3-0.html](http://www.bauforderer.de/3-1-3-3-0.html)
- [9] <http://www.bauen.com/hausbau/planung/sicherheit/brand-bauschutz/>
- [10] <http://energieoptimiertes.bauen.in.rlp.de/?/projekte/glossar.php>
- [11] [www.sachsenland-bauelemente.de/boden1.htm](http://www.sachsenland-bauelemente.de/boden1.htm)
- [12] <http://augusta-ziegelbau.de/faq/faq.htm#Kosten%20Wohnflaeche>
- [13] <http://fermacell.xella.de>

### Normen/Richtlinien

- [14] Musterbauordnung für die Länder der Bundesrepublik Deutschland, - – Fassung Juni 1996  
- zuletzt geändert durch Beschluss der Bauminister-Konferenz vom 4./5.12.1997
- [15] DIN 4102-1, Mai 1998: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen
- [16] DIN 4109 Schallschutz im Hochbau: Anforderungen und Nachweise; November 1989
- [17] DIN 4108-2 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Juli 2003
- [18] Energieeinsparverordnung vom 16.11.2001
- [19] DIN EN 13829 Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden - Deutsche Fassung EN 13829: 2000
- [20] DIN 18055 Fenster; Fugendurchlässigkeit, Schlagregendichtheit und mechanische Beanspruchung; Anforderungen und Prüfung ; Oktober 1981
- [21] DIN 4108-3 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz; Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung; Juli 2001
- [22] DIN 18540 Abdichten von Außenwandfugen im Hochbau mit Fugendichtstoffen; Februar 1995
- [23] DIN EN 1027 Fenster und Türen - Schlagregendichtheit - Prüfverfahren; Deutsche Fassung EN 1027:2000
- [24] DIN 4108-7 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden, August 2001
- [25] Verordnung über wohnungswirtschaftliche Berechnungen (Zweite Berechnungsverordnung - II. BV) In der Fassung der Bekanntmachung vom 12.10.1990 (BGBl. I 1990 S. 2178) Zuletzt geändert durch Gesetz vom 19.06.2001 (BGBl. I 2001 S. 1149)



- [26] DIN 18195-4 Bauwerksabdichtungen Teil 4: Abdichtungen gegen Bodenfeuchte, August 2000
- [27] DIN 18202 Toleranzen im Hochbau-Bauwerke, 04.1997
- [28] DIN 1052 Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau; Mai 2000
- [29] DIN 4108 Teil 4 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte; Februar 2002
- [30] DIN 4108 Teil 5 Berechnungsverfahren im Hochbau
- [31] DIN EN ISO 6946 Bauteile - Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren; Oktober 2003
- [32] DIN EN ISO 10211-2 Wärmebrücken im Hochbau - Berechnung der Wärmeströme und Oberflächentemperaturen - Teil 2: Linienförmige Wärmebrücken; Juni 2001
- [33] DIN V 4108-6 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs; Juni 2003

#### **Literatur**

- [34] Billiger Bauen, 6/7 2003, Besser Bauen Verlag, Stuttgart
- [35] Vorlesungsskripte zur Bauphysik, Wärmeschutz, Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer, WS 2002
- [36] Vorlesungsskripte zur Bauphysik, Feuchteschutz, Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer, WS 2002
- [37] Muster-Montageanweisung, Sicherheit bei der Montage von Fertighäusern in Holzbauart, Mai 1998, basierend auf den Bestimmungen der Unfallverhütungsvorschriften
- [38] Der Sanitärinstallateur, Handwerk und Technik, Alfons Gaßner, 1994/95

#### **Befragte Personen**

- [39] Informationen der Kalkulationsabteilung der Firma Gussek Haus
- [40] Informationen des firmeninternen Kellerbauers der Firma Gussek Haus
- [41] Information der Statikabteilung der Firma Gussek Haus
- [42] Information der Einkaufsabteilung der Firma Gussek Haus

#### **PC-Programme**

- [43] WUFI, Version 3.3
- [44] WinFeuchte, Version 3.0
- [45] EnEV-Wärme&Dampf, Version 6.31



## 8.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Häufig fehlende Leistungen bei schlüsselfertigen Angeboten [7] .....	9
Abbildung 2: Notwendige Ausbauleistungen zur Bezugsfertigstellung .....	11
Abbildung 3: Wärmeverluste und Wärmegewinne (schematisch) [10] .....	25
Abbildung 4: Ausschnitt des Werkslayout der Firma Gussek Haus.....	34
Abbildung 5: Grundriss Erdgeschoss des Basishauses .....	44
Abbildung 6: Grundriss Dachgeschoss des Basishauses.....	44
Abbildung 7: Fotorealistische Isometrie des Basishauses .....	45
Abbildung 8: Fotorealistische Isometrie des Basishauses.....	45
Abbildung 9: Anschluss des Dachelementes am Kniestock .....	46
Abbildung 10: Verbindung der Dachelemente untereinander .....	47
Abbildung 11: Verbindung der Dachelemente am First .....	47
Abbildung 12: Bodenplatte mit Estrichaufbau .....	49
Abbildung 13: Wärmegedämmte Bodenplatte nach A.R.T.U.S. [11] .....	50
Abbildung 14: Außenwandaufbau der Erdgeschosswände .....	52
Abbildung 15: Außenwandaufbauten der Dachgeschosswände .....	56
Abbildung 16: Dach und Spitzbodendeckenaufbau .....	57
Abbildung 17: Konstruktionsaufbau der Wärmebrücke.....	66
Abbildung 18: Temperaturfeldverteilung der Wärmebrücke .....	68

## 8.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Haushalte nach Haushaltsstruktur und Art der Nutzung der Wohneinheit [5].....	7
Tabelle 2: Bauteilaufbauten verschiedener Fertighäuser .....	14
Tabelle 3: Brandschutzanforderungen an Wohngebäude nach Landesbauordnung .....	17
Tabelle 4: Anforderungen / Empfehlungen an den Schallschutz innerhalb eines Gebäudes.....	19
Tabelle 5: Anforderungen an die Luftschalldämmung für Außenbauteile [16].....	20
Tabelle 6: Korrekturwerte für das erforderliche resultierende Schalldämm-Maß [16] .....	20
Tabelle 7: Erforderliche Schalldämm-Maße für Kombinationen von Außenwänden und Fenstern [16] .....	21
Tabelle 8: Mindestwerte der Wärmedurchlasswiderstände bzw. Maximalwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten, relevanter Außenbauteile im Holztafelbau [17].....	23
Tabelle 9: Allgemeine Leistungsbeschreibung des Basishauses .....	39
Tabelle 10: Vergleich zwischen der Ausführung mit und ohne Kniestock .....	48
Tabelle 11: Varianten der Wandaufbauten .....	61
Tabelle 12: Bauteilkonstruktionen der Basishausvarianten .....	69
Tabelle 13: Randbedingungen für den Wärmeschutznachweis.....	69

## 8.3 Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Fertighaushersteller mit schlüsselfertigen Häusern bis 180 000 €.....	12
Diagramm 2: Fertighaushersteller mit Ausbauhäusern bis 100 000 €.....	13
Diagramm 3: Prozentuale Verteilung der Kostenarten bei der Herstellung eines individuellen Fertighauses (Kundenhaus) [39] .....	33



#### 8.4 Anlagenverzeichnis