

Dipl.-Ing. (FH) Josef Egle

Von der IHK München und Oberbayern öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Holzhausbau; rechnerische Konstruktion und Fertigung im Holzbau; Luftdichtheit und Gebäudethermografie

Amtlich anerkannte Überwachungs- und Zertifizierungsstelle nach Bauproduktengesetz und Landesbauordnung

Fremdüberwachungsstelle für die Gütegemeinschaft Blockhausbau e.V. zum RAL-Gütezeichen GZ 402 Blockhausbau

Machbarkeitsstudie

Klimaschutz-Label für Massivholzhäuser

Möglichkeiten und Strategien für Nachweise zu Plusenergiestandard und Reduzierung Treibhauseffekte mit Massivholzhäusern

Kurzfassung

abstract

1. Einleitung

2. Plusenergiestandard
 - 2.1 Definitionen und Festlegungen
 - 2.2 Vorbemerkungen Berechnungsbeispiele
 - 2.3 Berechnung Variante 1
 - 2.4 Berechnung Variante 2
 - 2.5 Berechnung Variante 3
 - 2.6 Betrachtungen Wohnraumlüftung
 - 2.7 Zusammenfassende Bewertung

3. Klimaerwärmung und Treibhauseffekte
 - 3.1 Grundsätze Ökobilanzierung
 - 3.2 Definition Treibhauspotenzial GWP₁₀₀
 - 3.3 Baustoffe und CO₂-Verhalten
 - 3.4 Öko-Datenbanken
 - 3.5 Berechnungen Mustergebäude
 - 3.6 Zusammenfassende Bewertung

4. Diskussion weiteres Vorgehen

Normen, Literatur

- | | |
|----------|---|
| Anhang A | Basisdaten Mustergebäude |
| Anhang B | CO ₂ -Bilanzen Mustergebäude |
| Anhang C | Auszüge Ökobaudatenbank IBO |

Kurzfassung

Nachhaltige Gebäude gewinnen im Umfeld von Erderwärmung, Ressourcenschutz und steigenden Energiekosten stark an Bedeutung. Nationale und internationale Regelungen zielen verstärkt darauf ab, den Energieverbrauch von Gebäuden zu reduzieren, den Anteil erneuerbarer Energien zu steigern und nicht zuletzt auch im Bauwesen den unaufhaltsamen Anstieg von Treibhausgasen soweit als möglich zu begrenzen. Technologische Fortschritte in der Nutzung erneuerbarer Energien insbesondere aus Sonne und Wind schaffen Möglichkeiten für Gebäude als „Minikraftwerke“, die über den gesamten Lebenszyklus betrachtet mehr Energie produzieren als sie benötigen. Dieser als Plusenergiestandard bezeichnete Gebäudestandard ist nach den derzeit vorhandenen Kriterien unabhängig von Bauarten und Baustoffen und kann selbstverständlich auch mit Gebäuden unter maßgeblichem Einsatz von Massivholz, sogar mit 1-schaligen Blockhäusern, erreicht werden. Im Hinblick auf Treibhauseffekte und Ressourcenschutz besitzt der natürliche Bau- und Werkstoff Holz allerdings eine Sonderstellung. Nur dieser Werkstoff nimmt während seines Wachstums das Treibhausgas CO₂ aus der Umwelt auf und wandelt es in Biomasse um. Der Ausstoß an CO₂ für Materialgewinnung und Verarbeitung ist deutlich niedriger als die im Holz gespeicherte Menge an CO₂. Einzig und allein mit Gebäuden aus Holz ist es daher möglich, Gebäude zu errichten, deren Grundkonstruktionen über einen Betrachtungszeitraum von 80 bis 100 Jahren den Treibhauseffekt, verursacht durch CO₂, nicht verstärken, sondern sogar reduzieren. Mit Hilfe geeigneter Maßnahmen sollte versucht werden, dieses absolute Alleinstellungsmerkmal von Massivholzkonstruktionen verstärkt in das Bewusstsein der Öffentlichkeit zu rücken.

Considering global warming, shortage of resources and rising energy costs, sustainable buildings get more and more significant. According to national as well as international regulations the energy demand of buildings should be reduced, the rates of renewable energy forms should grow and last not least the sharp increase of greenhouse gas is to be stopped. The results of engineering progress in using renewable energy, especially sunlight and wind, enable buildings as little power stations. These stations produce more energy than they need during the whole life cycle. The so called "plus-energy-standard" is independent from building types and materials. Of course it can be compassed with massive wood constructions and also single-frame log buildings. Wood as building material holds an exceptional position in aspects as global warming or protection of resources. Only this material is able to take CO₂ from the environment and to transform into biomass. The emission of CO₂ in production processes is less than the accumulated mass of this gas. Only with wood it is possible to build houses or constructions, which reduce, not increase global warming effects during life cycle. The task will be to open this important and unique feature in adequate activities to the public more than in the moment.

1. Einleitung

Die europäische Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD = Energy Performance of Buildings Directive) zeigt die voraussichtliche weitere Entwicklung des Wärmeschutzes und des Energiestandards von Gebäuden in den Staaten der europäischen Union [1]. Sie trat im Jahr 2010 in Kraft und ist von den europäischen Mitgliedsstaaten bis spätestens 2020 in nationales Recht umzusetzen. In diesem recht umfangreichen Werk finden sich zwei zentrale Forderungen:

a)

Die Abhängigkeit der europäischen Staaten von fossilen Energieträgern wie Gas und Öl soll verringert werden. Neben einer generellen Reduzierung des Energieverbrauchs sollen vorrangig regenerative Energien z.B. aus Sonne, Wind, Erdwärme oder Biomasse, eingesetzt werden.

b)

Der fortschreitenden Klimaerwärmung soll auch im Bauwesen entgegengewirkt werden. Kohlendioxid ist das bedeutendste Treibhausgas bei Errichtung und Betrieb von Gebäuden und wird als Basis für sogenannte CO₂-Äquivalente verwendet.

Die Regelungen und Anforderungen nach EPBD beziehen sich ausschließlich auf die Nutzungsphase von Gebäuden. Materialauswahl, Herstellungs- und Entsorgungs-/Recycling- bzw. Wiederverwertungsprozesse bleiben vollkommen unberücksichtigt. Insofern stehen die Anforderungen EPBD im Gegensatz zur Normenreihe ISO 14040/14044 [2] [3], welche Rechenwege und Szenarien für Betrachtungen über den gesamten Lebenszyklus beschreibt.

Für alle synthetischen und mineralischen Baustoffe werden Rohstoffe aus der Umwelt entnommen, de facto findet hier ein Raubbau statt. Sodann laufen Herstellungsprozesse ab, die je nach Bauprodukt und Herstellungsverfahren fossile Energieträger in unterschiedlicher Menge erfordern. Der damit verbundene Ausstoß von CO₂ verstärkt den Treibhauseffekt. Der nachwachsende Roh- und Werkstoff Holz nimmt unter allen bekannten Baustoffen eine Sonderstellung ein. Holz - unter der Voraussetzung einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung - entzieht während seines Wachstums der Umwelt das Treibhausgas CO₂ und wandelt dieses mit Unterstützung von Sonnenlicht und Wasser in Biomasse um. Über den gesamten Lebenszyklus betrachtet ist die im Holz gespeicherte Menge an CO₂ deutlich größer als anfallende CO₂-Emissionen im Zuge der Verarbeitung. In der Folge weisen Ökobilanzen, die nach ISO 14025 [4] für zahlreiche Holzprodukte erstellt wurden, negative CO₂-Äquivalente aus [5, 6, 7, 8, 9].

Um die genannten Ziele erreichen zu können, sollten im Idealfall Gebäude errichtet und betrieben werden, die aufgrund ihrer Bauweise und dem energetischen Verhalten den Treibhauseffekt möglichst gering halten. Auch sollte diejenige Energie, die zum Betrieb eines Gebäudes unvermeidlich ist, soweit als möglich aus regenerativen Quellen stammen.

In der vorliegenden Studie werden modellhafte Berechnungen angestellt, unter welchen Voraussetzungen Gebäude mit maßgeblichem Massivholzanteil die CO₂-Emissionen nicht erhöhen, sondern sogar verringern. Gleichzeitig ist es möglich, solche Bauwerke so zu konzipieren, dass sie während der Nutzungszeit mehr Energie aus regenerativen Ressourcen produzieren als verbrauchen.

2. Plus-Energie-Standard

2.1 Definitionen und Festlegungen

Plus-Energie-Haus

Der Begriff Plus-Energie-Haus Stand 02/2013 ist nicht abschließend definiert. Grundsätzlich muss es sich um ein Gebäude handeln, das mehr Energie gewinnt als es von außen (zum Beispiel in Form von Elektrizität, Gas, Heizöl oder sonstigen Brennstoffen) beziehen muss. Die benötigte Energie für Heizung und Warmwasser wird im oder am Gebäude innerhalb der Grundstückseinheit selbst gewonnen, meist durch Photovoltaik und thermische Solaranlagen. Unterschiedliche Bewertungsansätze gibt es beim Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung, Haushaltsstrom usw. Ohne Berücksichtigung bleibt die sogenannte „graue Energie“. Unter grauer Energie wird der Primärenergiebedarf für Herstellung, Transport, Lagerung, Verkauf und Entsorgung der Baustoffe zusammengefasst.

Nach einer Bekanntmachung des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung über die Vergabe von Zuwendungen für Modellprojekte im Plus-Energie-Haus-Standard [10] müssen folgende Voraussetzungen vorliegen:

a)

Jahres-Primärenergiebedarf $< 0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

b)

Jahres-Endenergiebedarf $< 0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$,

Berücksichtigung der Energiebedarfswerte für Wohnungsbeleuchtung und für Haushaltsgeräte und -Prozesse. Hierzu Ansatz eines pauschalen Wertes von $20 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (davon Kochen $3 \text{ kWh/m}^2\text{a}$), Begrenzung auf maximal 2.500 kWh/a je Wohneinheit.

c)

Die Primärenergiefaktoren sind in Anlehnung an DIN V 18599 [11] zu bewerten.

d)

Der ins Netz eingespeiste Strom aus Photovoltaik oder Windkraft ist analog dem Verdrängungsstrommix zu bewerten.

e)

Als Bilanzgrenze ist das Grundstück zu betrachten, auf dem das Haus errichtet wird.

f)

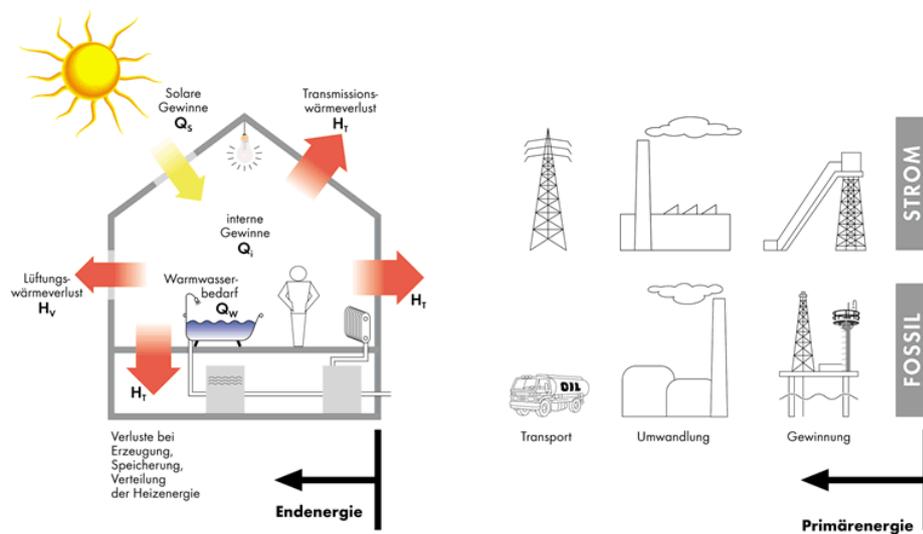
Als Nebenanforderung ist festgesetzt, dass das zu fördernde Haus durchgängig mit Geräten des höchsten Energieeffizienzlabels (in der Regel Label A++ oder ähnlich) auszustatten ist.

Endenergiebedarf

Der Endenergiebedarf umfasst die gesamte Energiemenge, die innerhalb einer Gebäudeeinheit tatsächlich verbraucht wird. Neben dem Energiebedarf für Heizung, Kühlung, Warmwasser und Lüftung (= Nutzenergie Q_n) zählen hierzu auch alle Anteile wie Umwälzpumpen oder Anlagenverluste. Der Endenergiebedarf wird nach Stand der Technik mittels Softwareprogrammen unter Einbeziehung der jeweils gewählten Anlagentechnik ermittelt. In den nachstehenden Berechnungsbeispielen wird zur Bestimmung der Endenergie die Nutzenergie Q_n mit einem pauschalen Aufschlag von 25 % versehen. Der Endenergiebedarf, somit die tatsächlich zu beschaffende Energiemenge, ist die wesentliche Vergleichsgröße zu den Energiegewinnen eines Gebäudes aus Photovoltaik, Solarthermie oder Wind.

Primärenergiebedarf

Der Primärenergiebedarf von Gebäuden beinhaltet zunächst die Endenergie, siehe voriges Kapitel. Mit Hilfe des Primärenergiefaktors (f_p) wird in einer zweiten Stufe auf den Primärenergiebedarf Q_p umgerechnet. Das nachstehende Schaubild (Quelle Informationsdienst Holz) zeigt die Zusammenhänge Endenergie- und Primärenergiebedarf:



Der Primärenergiebedarf berücksichtigt auch vorgelagerte Prozessketten außerhalb des Gebäudes. Hierzu zählen insbesondere die Gewinnung, Umwandlung und Verteilung des Energieträgers. Der formelmäßige Zusammenhang lautet wie folgt:

$$\text{Nutzenergie } Q_n + \text{Anlagenverluste} = \text{Endenergie } Q_e$$

$$\text{Primärenergie } Q_p = Q_e \times f_p$$

Nachstehend ein Auszug aus DIN V 18599 mit den Primärenergiefaktoren für unterschiedliche Energieträger:

Energieträger ^a		Primärenergiefaktoren f_p	
		Insgesamt	nicht erneuerbarer Anteil
		A	B
Fossile Brennstoffe	Heizöl EL	1,1	1,1
	Erdgas H	1,1	1,1
	Flüssiggas	1,1	1,1
	Steinkohle	1,1	1,1
	Braunkohle	1,2	1,2
Biogene Brennstoffe	Biogas	1,5	0,5
	Biööl	1,5	0,5
	Holz	1,2	0,2
Nah-/Fernwärme aus KWK ^b	fossiler Brennstoff	0,7	0,7
	erneuerbarer Brennstoff	0,7	0,0
Nah-/Fernwärme aus Heizwerken	fossiler Brennstoff	1,3	1,3
	erneuerbarer Brennstoff	1,3	0,1
Strom	allgemeiner Strommix	2,8	2,4
	Verdrängungsstrommix	2,8	2,8
Umweltenergie	Solarenergie	1,0	0,0
	Erdwärme, Geothermie	1,0	0,0
	Umgebungswärme	1,0	0,0
	Umgebungskälte	1,0	0,0

^a Bezugsgröße Endenergie: Heizwert H_i .
^b Angaben sind typisch für durchschnittliche Nah-/Fernwärme mit einem Anteil der KWK von 70 %.

Lüftungswärmeverluste

Die Energieverluste infolge Gebäudelüftung sind für den Plus-Energie-Standard in besonderer Weise zu beachten. Bei Gebäuden im Niedrigst-Energiestandard, was dem aktuellen Stand der Technik entspricht, liegt der Anteil der Lüftungswärmeverluste am gesamten rechnerischen Heizenergiebedarf bei 50% oder mehr. Aufgrund der Leistungszahlen marktgängiger Photovoltaik- und Solaranlagen müssten beim Plus-Energie-Standard im Falle von Fensterlüftung die Kollektorflächen deutlich erhöht werden. Sofern eine Aufstellung ausschließlich am Dach vorgesehen ist, ist bei durchschnittlichen Wohngebäuden mit Satteldach die zur Verfügung stehende Dachfläche

begrenzt. Es müssten zusätzliche Flächen (Fassade, Gelände) bereit gestellt werden, um die erforderlichen Energiemenge generieren zu können. Bezogen auf den aktuellen Stand der Technik ist beim Plus-Energie-Standard daher von einer kontrollierten Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung auszugehen. Auch das nachstehende Berechnungsbeispiel geht von diesen Voraussetzungen aus.

Photovoltaik

Das nachstehende Berechnungsbeispiel basiert auf Photovoltaik-Modulen, die auf der Südseite eines Satteldaches installiert werden mit Dachneigung 30 Grad. Nach dem aktuellen Stand der Technik können, bezogen auf den 48./49. Breitengrad (Deutschland Mitte und Süd), je Kilowatt Peak (kW_p) ca. 1000 kWh/a an Energie eingefahren werden. Pro installierten kW_p ist eine Kollektorfläche von etwa 9 m² erforderlich. Somit wird bei dem nachstehenden Berechnungsbeispiel ein Energieertrag von 111 kWh je m² Kollektorfläche und Jahr eingeplant.

Solarthermie

Die begrenzte Dachfläche für die Installation von Modulen zur Energiegewinnung ist bei der Auslegung von Gebäuden in Plus-Energie-Standard eine wesentliche Kenngröße. Bei ausreichend verfügbarer Fläche ist es möglich, die Energieerträge ausschließlich mit Photovoltaik zu generieren und nachzuweisen. Die Solarthermie kann bei knapp bemessener Dachfläche eine interessante Alternative sein. Aufgrund der direkten Umwandlung in Wärmeenergie liegt der Wirkungsgrad dieser Module für die Warmwasseraufbereitung und auch zur Heizungsunterstützung deutlich höher als bei Photovoltaik. Der Wirkungsgrad Photovoltaik bei marktgängigen Modulen liegt bei ca. 14-17%, bei der Solarthermie werden Wirkungsgrade ca. 85 % erreicht. Beim Betrieb von Solarthermie entfällt zudem die Umwandlung von Strom in Wärme, wie sie beim Betrieb von Photovoltaik (auch im Falle von Wärmepumpen) anzusetzen ist. Bei der Installation von Solarthermie für die Warmwasseraufbereitung kann somit am Dach wertvolle Kollektorfläche eingespart werden. Die nachstehenden Berechnungsbeispiele verwenden eine Kollektorfläche von 10 m², die einen effektiven Energieanteil von 3.000 kWh/a für die Warmwasseraufbereitung und Heizungsunterstützung liefern.

2.2 Vorbemerkungen Berechnungsbeispiele

Die nachstehenden Rechengänge im Zusammenhang mit dem Plus-Energie-Standard beziehen sich auf ein Mustergebäude, welches im Anhang A dargestellt ist. Es handelt sich um ein Einfamilienhaus mit Satteldach 28 Grad, Firstrichtung Ost-West, sodass die Dachhälfte Südseite sehr gut für Solarmodule genutzt werden kann. Das Haus wurde mit sehr knappem Vordach konzipiert, die Vordachlänge beträgt allseitig 30 cm. Um die Berechnungen transparent, unter Einbeziehung von Zwischenwerten, darstellen zu können, wird ein Rechenverfahren in Anlehnung an DIN 4108-6 und weiteren Begleitnormen angewandt.



Die Vergleiche Energieverbrauch und Energiegewinnung werden in der vorliegenden Studie auf den Endenergiebedarf bezogen. Diese Größe ist weitgehend unabhängig von der gewählten Anlagentechnik und eignet sich daher besonders gut für allgemein gültige Vergleichsberechnungen.

Die Berechnungsvarianten 1 und 2 beziehen sich auf einen Niedrigstenergiestandard, der einen flächenbezogenen Transmissionswärmeverlust (entspricht dem durchschnittlichen U-Wert) von $0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$ aufweist. Neben einer hochgedämmten Fußboden- und Dachkonstruktion sowie 3-Scheiben-Isolierglas sind hierzu die Außenwände aus Massivholz mit einer zusätzlichen Dämmschicht auszustatten. Bei diesen beiden Berechnungsvarianten wird der U-Wert der Außenwand mit $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ angenommen. In der Variante 3 sind bei sonst gleichen thermischen Eigenschaften die Außenwände 1-schalig in Massivholz 240 mm angenommen. Unter Zugrundelegung eines λ -Wertes von $0,105 \text{ W/mK}$ resultiert hieraus ein U-Wert von $0,407 \text{ W/m}^2\text{K}$. Für das Mustergebäude gelten die nachstehenden Aufmaßwerte:

Thermische Gebäudehüllfläche	456,72	m^2
Beheiztes Gebäudevolumen	475,00	m^3
Nutzfläche A	152,00	m^2

2.3 Berechnung Variante 1

Baukonstruktion und Anlagentechnik:

Außenwände in Massivholz mit zusätzlicher Wärmedämmung ($U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$), kombinierte Aufstellung Photovoltaik- und Solarthermie-Module möglichst auf der Dachhälfte mit Südorientierung.

Flächenbezogener Transmissionswärmeverlust $H_{T, \text{vorh}}$	0,23	W/m ² K
Transmissionswärmeverluste H_T	105,33	W/K
Lüftungswärmeverluste H_V (Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung)	7,74	W/K
Solare Wärmegewinne Q_S	2.442	kWh/a
Interne Wärmegewinne Q_I	3.344	kWh/a
<hr/>		
Jahres-Heizwärmebedarf	1.966	kWh/a
Warmwasser, Ansatz 12,5 kWh/m ² a	1.813	kWh/a
<hr/>		
Nutzenergie Q_N	3.779	kWh/a
Endenergiebedarf Q_e (Aufschlag 25%)	4.724	kWh/a
+ Haushaltsstrom Ansatz pauschal	2.500	kWh/a
<hr/>		
Endenergiebedarf gesamt	7.224	kWh/a
./.. Ertrag Solarthermie (Kollektorfläche 10 m ²)	- 3.000	kWh/a
<hr/>		
= Deckungsbedarf Photovoltaik	4.224	kWh/a
<hr/>		
erforderliche Kollektorfläche = $4.224 \text{ kWh/a} / 111 \text{ kWh/m}^2\text{a}$	38,05	m ²
38,05 m ² Kollektorfläche << 58 - 10 = 48 m ² verfügbare Kollektorfläche		

Ergebnis:

Der Plus-Energie-Standard für das Mustergebäude mit der gewählten Bauausstattung, dazu mit der Kombination Photovoltaik und Solarthermie, kann klar erreicht werden.

2.4 Berechnung Variante 2

Baukonstruktion und Anlagentechnik:

Außenwände in Massivholz mit zusätzlicher Wärmedämmung ($U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$), die Energieerträge sollen ausschließlich mit Photovoltaik erzielt werden, Aufstellung der Module möglichst auf der Dachhälfte mit Südorientierung.

Flächenbezogener Transmissionswärmeverlust $H_{T, \text{vorh}}$	0,23	W/m ² K
Transmissionswärmeverluste H_T	105,33	W/K
Lüftungswärmeverluste H_V (Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung)	7,74	W/K
Solare Wärmegewinne Q_S	2.442	kWh/a
Interne Wärmegewinne Q_I	3.344	kWh/a
<hr/>		
Jahres-Heizwärmebedarf	1.966	kWh/a
Warmwasser, Ansatz 12,5 kWh/m ² a	1.813	kWh/a
<hr/>		
Nutzenergie Q_N	3.779	kWh/a
Endenergiebedarf Q_e (Aufschlag 25%)	4.724	kWh/a
+ Haushaltsstrom Ansatz pauschal	2.500	kWh/a
<hr/>		
Endenergiebedarf gesamt	7.224	kWh/a
<hr/>		
= Deckungsbedarf Photovoltaik	7.224	kWh/a
<hr/>		
erforderliche Kollektorfläche = $7.224 \text{ kWh/a} / 111 \text{ kWh/m}^2\text{a}$	65,08	m ²
65,08 m ² Kollektorfläche > 58 m ² verfügbare Kollektorfläche		

Ergebnis:

Der Nachweis des Plus-Energie-Standards für das Mustergebäude nur mit Photovoltaik gelingt unter den hier definierten Randbedingungen nicht ganz. Für PV-Module müsste eine zusätzliche Dachfläche von ca. 7 m² zur Verfügung gestellt werden.

2.5 Berechnung Variante 3

Baukonstruktion und Anlagentechnik:

Außenwände in Massivholz 1-schalig mit Dicke 240 mm ($U = 0,407 \text{ W/m}^2\text{K}$), sonst gleiche thermische Eigenschaften wie Varianten 1 und 2. Die Energieerträge sollen aus Photovoltaik plus Solarthermie erzielt werden, Aufstellung der Module möglichst auf der Dachhälfte mit Südorientierung.

Flächenbezogener Transmissionswärmeverlust $H_{T, \text{vorh}}$	0,32	W/m ² K
Transmissionswärmeverluste H_T	141,47	W/K
Lüftungswärmeverluste H_V (Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung)	7,74	W/K
Solare Wärmegewinne Q_S	2.442	kWh/a
Interne Wärmegewinne Q_I	3.344	kWh/a
Jahres-Heizwärmebedarf	4.351	kWh/a
Warmwasser, Ansatz 12,5 kWh/m ² a	1.813	kWh/a
<hr/>		
Nutzenergie Q_N	6.164	kWh/a
Endenergiebedarf Q_e (Aufschlag 25%)	7.705	kWh/a
+ Haushaltsstrom Ansatz pauschal	2.500	kWh/a
<hr/>		
Endenergiebedarf gesamt	10.205	kWh/a
./. Ertrag Solarthermie (Kollektorfläche 10 m ²)	- 3.000	kWh/a
<hr/>		
= Deckungsbedarf Photovoltaik	7.205	kWh/a
erforderliche Kollektorfläche = 7.205 kWh/a / 111 kWh/m ² a	64,91	m ²
64,91 m ² Kollektorfläche < 58 - 10 = 48 m ² verfügbare Kollektorfläche		

Ergebnis:

Der Plus-Energie-Standard für das Mustergebäude (mit 1-schaligen Blockaußenwänden 240 mm) mit der Kombination Photovoltaik und Solarthermie kann unter den definierten Randbedingungen nicht nachgewiesen werden. Für PV-Module müsste eine zusätzliche Dachfläche von ca. 17 m² zur Verfügung gestellt werden. Das hier zugrunde liegende Musterhaus wurde bewusst mit dem ungünstigen Fall einer geringen Vordachfläche gewählt. Großzügige Dachüberstände, die für viele Massivholzhäuser charakteristisch und auch technisch sinnvoll sind, können selbstverständlich für solare Erträge genutzt werden und fördern den Nachweis des Plusenergiestandards deutlich.

2.6 Betrachtungen Wohnraumlüftung

Das Mustergebäude verfügt über ein Gebäudenettovolumen von ca. 475 m³. Im Falle von Fensterlüftung (mit Durchführung eines Blower-Door-Tests) würde sich nach standardisierten Rechenregeln ein Lüftungswärmeverlust von ca. 5.110 kWh/a ergeben. Bei geregelter Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung kann dieser Verlust auf etwa 10-15% reduziert werden (wobei der Strombedarf für Ventilatoren gegenzurechnen ist). Nachstehend wird ermittelt, welche zusätzliche Fläche für Photovoltaikmodule im Falle von Fensterlüftung bereitgestellt werden müsste:

Anstieg Lüftungswärmeverluste $Q_L = 5.110 \text{ kWh} * 0,90$	4.599	kWh/a
./. Einsparung Hilfsstrom für Ventilatoren (2 Stck, 70 W, 4.320 h/a)	- 605	kWh/a
Anstieg Endenergiebedarf (hier Faktor 1,20, da Hilfsstrom Ventilatoren bereits berücksichtigt)	4.793	kWh/a
zusätzlich benötigte Kollektorfläche Photovoltaik $4.793 \text{ kWh/a} / 111 \text{ kWh/m}^2\text{a}$	43,18	m ²

Nach den Rechenregeln einschlägiger Normen und Verordnungen müsste im Falle von Fensterlüftung (ohne Wärmerückgewinnung) die Kollektorfläche am Dach für Photovoltaik-Module um etwa 43 m² erhöht werden. Es sei nochmals erwähnt, dass in dem gewählten Mustergebäude auf der Südhälfte des Satteldaches eine Gesamtfläche von 58 m² zur Verfügung steht. Diese Fläche wäre rechnerisch bereits für den Ausgleich der Lüftungswärmeverluste (noch ohne weitere Raumheizung und Warmwasseraufbereitung) weitgehend aufgezehrt. Der kalkulierte Stromverbrauch von 2 x 70 W für Ventilatoren geht von vergleichsweise ungünstigen Randbedingungen aus und wird in der Baupraxis in vielen Fällen unterschritten. Je niedriger der Stromverbrauch der Ventilatoren, umso besser wird die Effizienz einer Lüftungsanlage und umso größer wird die Energieeinsparung im Vergleich zu Fensterlüftung.

2.7 Zusammenfassende Bewertung

a)

Bei den Berechnungsvarianten 1 bis 3 handelt es sich um überschlägige Abschätzungen auf Basis des Endenergiebedarfs. Hiermit ist es möglich, Möglichkeiten und Grenzen unterschiedlicher Gebäudekonfigurationen unabhängig von den zahlreichen Varianten der Heiztechnik vergleichend zu betrachten.

b)

Bei der Auslegung von Gebäuden im Plus-Energie-Standard sollten primär Dachflächen genutzt werden mit Orientierung möglichst zur Südseite. Die Montage von Solarmodulen auf einem vorhandenen Steildach stellt jeweils die wirtschaftlichste Alternative dar.

c)

Bei bauüblichen Satteldächern mit gebäudemittigem Dachfirst ist die für Solarmodule nutzbare Gesamtfläche begrenzt. Bei Einhaltung eines Dämmstandards im Niedrigstenergie-Niveau und geeigneter Dachausrichtung sind Nachweise zum Plus-Energie-Standard allein mit Photovoltaik möglich.

d)

1-schalige Blockhäuser in Verbindung mit dem Plus-Energie-Standard sind realisierbar. Die etwas größere erforderliche Stellfläche für PV-Module als bei gedämmten Wandkonstruktionen ist zu beachten.

e)

Bei knapp bemessenen Aufstellflächen kann die Einbindung von Solarthermie sinnvoll sein.

f)

Für den Plus-Energie-Standard wird zukünftig auch das Verhältnis von selbst verbrauchter und ins öffentliche Netz eingespeister Strom von Bedeutung sein. Um hier günstige Verhältnisse schaffen zu können, wird der Plus-Energie-Standard in vielen Fällen in Verbindung mit Wärmepumpen und Speichermedien realisiert werden. Als Speichermedien können sowohl thermische Pufferspeicher für Heizung/Warmwasser als auch elektrische Speichermedien dienen. Gewisse thermische Effekte können auch im Zusammenhang mit Bauteilaktivierungen erreicht werden.

g)

Solare Gewinne durch Glasflächen können den Flächenbedarf am Dach oder am Grundstück zur Energieerzeugung wirkungsvoll reduzieren. Zugleich sind in diesen Fällen geeignete Maßnahmen gegen Überhitzung im Sommer zu ergreifen. Eine andernfalls erforderliche technische Gebäudekühlung würde den Energiehaushalt des Gebäudes sehr belasten.

h)

Kontrollierte Wohnraumlüftung in Verbindung mit Wärmerückgewinnung wird ein fester Bestandteil des Plus-Energie-Standards werden. Die (rechnerisch) sehr hohen anteiligen Energieverluste bei Fensterlüftung führen zu einem deutlichen Plus an benötigter Fläche für Solarmodule.

i)

Für die Energiegewinnung innerhalb einer Grundstückseinheit ist Sonnenlicht die wichtigste und effizienteste Energiequelle und wird es auch in absehbarer Zukunft bleiben. Alternativen können je nach Standort und weiteren Randbedingungen Wind oder Geothermie sein.

j)

Für den Plusenergie-Standard wird ausschließlich die Nutzungsphase eines Gebäudes betrachtet. Die wesentlichen Kenngrößen sind die rechnerischen U-Werte von Bauteilen sowie zur Kompensation die zur Verfügung stehenden Stellflächen für Solarmodule. Eine Beeinflussung der Ergebnisse durch die Auswahl umweltverträglicher oder nachhaltiger Bauprodukte ist nicht möglich.

3. Klimaerwärmung und Treibhauspotenziale

3.1 Grundsätze Ökobilanzierung

Die Erstellung von Ökobilanzen ist in der Normenreihe ISO 14040/14044 [2] [3] definiert. Abweichend zu den Regelungen z.B. für Energieausweise oder in der Richtlinie Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden EPBD werden bei einer solchen Ökobilanz (englisch LCA = Life Cycle Assessment) die Umweltauswirkungen von Produkten, Bauteilen oder Projekten über den gesamten Lebenszyklus hinweg betrachtet. Hierzu zählen die Auswirkungen sowohl bei der Herstellung als auch bei der Nutzung und Entsorgung. Nach [2] umfasst eine vollständige Ökobilanz folgende Elemente:

- a) Definition Ziele und Untersuchungsrahmen,
- b) Sachbilanzen,
- c) Wirkungsabschätzung und
- d) Auswertung.

Die Wirkungsabschätzung und Auswertung von Ökobilanzen kann nach unterschiedlichen Umweltkategorien erfolgen, so z.B. nach Primärenergiebedarf oder Potenziale für Treibhaus, Ozonabbau, Bodenversauerung, Sommersmog u.a.m.

Aufgrund der aufwändigen und umfassenden Rechengänge einschließlich der zugrunde liegenden Ausgangsdaten werden Ökobilanzen fast ausschließlich mit Softwareprogrammen erstellt. Obwohl die Erstellung von Sachbilanzen mit rein mathematischen Methoden erfolgt, unterliegen die Ergebnisse einer Ökobilanzierung aufgrund der notwendigen Definition von Systemgrenzen und Randparametern stets auch subjektiven Einflüssen. Für die Veröffentlichung von Ökobilanzen ist nach [2] jeweils eine kritische Nachprüfung mit schriftlicher Bewertung durch einen unabhängigen Gutachter erforderlich („critical review“).

3.2 Definition Treibhauspotenzial GWP_{100}

Eines der zentralen Klimaschutzziele ist die Eindämmung der Erderwärmung. Zu dieser scheinbar stetigen und unaufhaltsamen Erwärmung tragen insbesondere sogenannte Treibhausgase bei. Gase dieser Art entstehen bei verschiedensten technischen Prozessen, aber auch beispielsweise in der Landwirtschaft (Düngung, Rinderzucht). Bezogen auf die Einheit kg tragen diese Gase zum Treibhauseffekt sehr unterschiedlich bei. Um hier Vergleiche ziehen zu können, wurde das sogenannte relative Treibhauspotential (= Global Warming Potential GWP) definiert. Dieses wird auch als CO_2 -Äquivalent bezeichnet. Als Referenzwert für das Treibhauspotential wurde Kohlenstoffdioxid (CO_2) gewählt. Auch ist bei allen CO_2 -Äquivalenten anzugeben, über welchen Betrachtungszeitraum die Treibhauseffekte erfasst werden sollen. In der Regel wird ein Betrachtungszeitraum von 100 Jahren gewählt. Somit lautet die Abkürzung für das Treibhauspotential über einen Zeitraum von 100 Jahren GWP_{100} .

Das Treibhausgas Kohlenstoffdioxid (CO_2) besitzt den Wert $GWP_{100} = 1$. Das GWP_{100} für Methan (CH_4) beispielsweise beträgt 21, für Distickstoffoxid/Lachgas (N_2O) 310. Dies bedeutet, dass ein kg Lachgas über einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren 310 mal mehr zum Treibhauseffekt beiträgt als CO_2 . Bezogen auf das Bauwesen ist CO_2 das wesentliche Treibhausgas, sodass sich alle weiteren Berechnungen hierauf abstützen.

3.3 Baustoffe und CO_2 -Verhalten

Bei der Herstellung von Baustoffen und Bauprodukten werden zunächst der Umwelt Rohstoffe entnommen. Dies ist ein CO_2 -neutraler Vorgang. Für die Aufbereitung dieser Rohstoffe (mechanische, chemische oder sonstige technische Prozeduren) können teils erneuerbare Energien eingesetzt werden, teils sind aber auch fossile Energieträger (Öl, Gas) erforderlich (= „graue Energie“). Bei der Verbrennung fossiler Energieträger wird CO_2 produziert, was sich negativ auf den Treibhauseffekt auswirkt.

Aus dem Blickwinkel Treibhauseffekte nimmt Holz unter allen konstruktiven Baustoffen eine Sonderstellung ein. Beim Wachstum von 1 m^3 Holzmasse werden ca. 0,9 t CO_2 der Atmosphäre entnommen und unter Verwendung von Wasser und Sonnenlicht in Biomasse umgesetzt (Photosynthese). Die im Holz eingelagerte Menge CO_2 ist deutlich größer als der anfallende CO_2 -Ausstoß bei der Aufbereitung von Holz (Ernte im Wald, Sägewerksprozesse, technische Trocknung, Weiterverarbeitungen). In Bauwerken verursachen alle Baustoffe und Baumaterialien außer Holz CO_2 -Emissionen. Beim Bauen mit Holz ist es daher möglich, bezogen auf das Treibhauspotential eine Gesamtbilanz vorzulegen, die einen Minusbetrag aufweist, somit de facto zu einer Entlastung in Sachen Erderwärmung beiträgt. Bezogen auf die Rohkonstruktion eines Gebäudes (Bodenplatte, Außen- und Innenwände, Decken und Dachkonstruktion, Fenster und Glastüren) können bei ausreichender Holzmenge die CO_2 -Äquivalente anderer Baustoffe nicht nur ausgeglichen werden.

Vielmehr kann in der Gesamtsumme sogar ein Minusbetrag nachgewiesen werden. So wird in einem Gutachten Hauser/Lüking [12] nachgewiesen, dass unter Zugrundelegung einer Blockbauweise für ein typisches Einfamilienhaus unter Einbeziehung dieser CO₂-Senke der U-Wert der Außenwände um 0,14 W/m²K rechnerisch herabgesetzt werden dürfte. Studien im Bundesland Salzburg [13] zeigen, dass Bauten über einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren Gebäude in Massivholz auch unter Annahme eines höheren Heizenergiebedarfs insgesamt einen geringeren CO₂-Ausstoß bewirken wie hochgedämmte mineralische Bauten.

3.4 Öko-Datenbanken

Am Markt sind zunehmend Datenbanken verfügbar, die für einzelne Baustoffe oder Bauteile gesamtheitliche Ökobilanzdaten ausweisen. Neben dem Treibhauspotenzial GWP₁₀₀ und dem Primärenergiebedarf finden sich dort weitere Kennwerte z.B. in Bezug auf Ozonabbau, Bodenversauerung und anderes mehr beschrieben. In Anhang C finden sich Auszüge aus der Ökobautenbank IBO [5].

Je nach Definition der Randbedingungen können die ausgewiesenen Ökokennwerte für Baustoffe in den Datenbanken zueinander deutlich abweichen. Exemplarisch kann dies in Bezug auf Brett-schichtholz aufgezeigt werden, wenn die Angaben der vorig erwähnten Datenbank IBO [5] mit einer Berechnung verglichen wird, die im Auftrag der Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. [9] erstellt wurde:

	Treibhauspotenzial GWP ₁₀₀ [kg CO ₂ -Äquiv./kg]
IBO	- 1,24
SGH	- 0,30

Die Datenbank IBO enthielt zum Zeitpunkt der Studie (02/2013) keine Werte für Balkenschicht-holz oder Brettsperrholz.

3.5 Berechnungen Mustergebäude

Auf Basis der Ökodatenbank IBO werden für das Mustergebäude, welches in Anhang A darge-stellt ist, mehrere Berechnungsvarianten mit unterschiedlichen Bausystemen und Bauausstattun-gen durchgeführt. Die ausführlichen Berechnungsergebnisse finden sich in Anhang B. Nachste-hend eine Zusammenfassung der wesentlichen Vorgaben und Ergebnisse:

Erfassung Rohbaukonstruktion, bestehend aus

- Stahlbetonbodenplatte (keine Unterkellerung) einschließlich Streifenfundamente und XPS-Dämmung Streifenfundamente und Unterseite Bodenplatte
- Außen- und Innenwände einschließlich aller Bauteilschichten
- Decke über EG, Dach einschließlich Dämmung und Dacheindeckung
- komplette Fußbodenaufbauten EG und DG (mit Zementestrich, für Fußbodenheizung)
- Fenster und Glastüren

Innentüren, Treppen, Einrichtungsgegenstände, Installation und Haustechnik sind in den Nachweisen nicht enthalten.

Bauart 1

Außenwände Brettsperrholz mit Außendämmung Holzweichfaser und Verputz. Innenwände Holzriegelkonstruktion mit Gefachdämmung Holzweichfaser, Beplankung beidseitig OSB und Gipsfaser. Zwischendecke in Massivholzelementen, Sichtdachstuhl mit Aufdachdämmung Holzweichfaser. Dacheindeckung Tonpfannen. Fußbodenaufbauten EG und OG Trittschalldämmung EPS, Holzweichfaserdämmung, Zementestrich, Parkettboden. Glaselemente in Holz.

Kumulierter Wert GWP₁₀₀: - 24,860 to CO₂-Äquivalente

Bauart 2

Außenwände 1-schaliger Blockbau 200 mm, Innenwände Block 120 mm. Zwischendecke als Sichtbalkenkonstruktion mit aufliegender Sichtschalung. Sichtdachstuhl mit Aufdachdämmung Holzweichfaser. Dacheindeckung Tonpfannen. Fußbodenaufbauten EG und OG Trittschalldämmung EPS, Holzweichfaserdämmung, Zementestrich, Parkettboden. Glaselemente in Holz.

Kumulierter Wert GWP₁₀₀: - 23,930 to CO₂-Äquivalente

Bauart 3

Wie Bauart 2, jedoch Außenwände Balkenschichtholz 240 mm

Kumulierter Wert GWP₁₀₀: - 29,185 to CO₂-Äquivalente

Bauart 4

Für Bauart 4 wurde eine Konstruktion gewählt, dessen Heizenergiebedarf den vorigen Bauarten gleichgesetzt werden kann. Zugleich wurden Baustoffe ausgewählt, die bei kostensparender Bauweise häufig Anwendung finden, aus ökologischer Sicht jedoch deutlich ungünstigere Werte erwarten lassen.

Außenwände Porenbeton mit außenseitigem WDVS EPS, Innenwände Porenbeton, Stahlbetondecke über EG, Dachstuhl mit Sparrenzwischendämmung EPS, Dacheindeckung Tonpfannen. Fußbodenaufbauten EG und OG wie vor. Glaselemente in Kunststoff.

Kumulierter Wert GWP₁₀₀: + 149,324 to CO₂-Äquivalente

Bauart 5

Wie Bauart 2 (Blockbau), jedoch Ökokennzahl für Balkenschichtholz lt. Deklaration Studiengemeinschaft Holzleimbau (- 0,73 kg CO₂-Äquiv./kg anstelle IBO-Wert Brettschichtholz - 1,235 kg CO₂-Äquiv./kg).

Kumulierter Wert GWP₁₀₀: - 9,055 to CO₂-Äquivalente

3.6 Zusammenfassende Bewertung

a)

Die Rohbaukonstruktionen von Gebäuden mit maßgeblichem Einsatz von Holz für Tragkonstruktion und Wärmedämmung wirken in Bezug auf Treibhauseffekte bei einem Betrachtungszeitraum von 100 Jahren umweltentlastend.

b)

Dies gilt unter der Voraussetzung, dass ein angemessenes Mengenverhältnis von Holzmaterialien und sonstigen Baustoffen erreicht wird. Bei zweigeschossigen Bauten ohne Unterkellerung zeigen sich die vorigen Rechenbeispiele als sehr stabil, auch wenn mit Ökokennzahlen unterschiedlicher Datenbanken gearbeitet wird. Bei nur eingeschossigen Gebäuden oder zweigeschossig mit Unterkellerung ist fallweise zu prüfen, ob ein kumulierter Wert GWP₁₀₀ < 0 erreicht werden kann.

c)

Neben dem konstruktiven Einsatz von Holz in Wänden, Decken und Dächern tragen auch Holzwerkstoffe und Dämmstoffe aus Holz zur Senkenwirkung erheblich bei.

d)

Energiestandards wie Passivhaus, Plusenergiehaus etc. sind ausschließlich eine Frage des U-Wertes von Baustoffen und besitzen nur wenig Aussagekraft in Bezug auf gesamtheitliche ökologische Auswirkungen. Mit Hilfe des CO₂-Potenzials hingegen ist eine objektive Aussage hierzu möglich. Ein kumulierter Gesamtwert GWP₁₀₀ < 0 kann ausschließlich mit Holzkonstruktionen erreicht und auch rechnerisch nachgewiesen werden.

4. Diskussion weiteres Vorgehen

Für Gebäude mit maßgeblichen Holzanteilen, auch im Falle 1-schaliger Blockhäuser, ist ein kombinierter Nachweis eines Plusenergie-Standards in Verbindung mit CO₂-senkender Rohbaukonstruktion möglich und denkbar.

Beim Plusenergiestandard ist ausschließlich das Verhältnis des Energieverbrauchs in der Nutzungsphase zu den Energieerträgen aus Sonne und Wind maßgeblich. Der Massivholzhausbau wird sich in Bezug auf diesen Energiestandard daher keine Alleinstellungsmerkmale erarbeiten können.

Eine völlig andere Situation zeigt sich bei der CO₂-senkenden Wirkung. Eine Gesamtbilanz GWP₁₀₀ < 0 kann nur und ausschließlich mit Massivholzkonstruktionen erreicht werden. Es ist zu erwarten, dass sich die Diskussionen um Klimaerwärmung und Treibhauseffekte in den nächsten Jahren intensivieren werden. Hier haben Massivholzkonstruktionen in der Tat ein Alleinstellungsmerkmal, das anhand etablierter und seriöser Ökodatenbanken (wurden überwiegend mit öffentlichen Mitteln gefördert) rechnerisch nachgewiesen werden kann.

Für Nachweise zum Plusenergie-Standard und zur CO₂-Senke sind zwei voneinander unabhängige Softwareanwendungen erforderlich. Hiermit gehen Zeit- und Kostenaufwendungen für die jeweiligen Nachweise einher. Aus Sicht des Unterzeichners sollte primär die CO₂-Senkenleistung für Massivholzkonstruktionen in den Vordergrund gestellt werden. Dabei darf es als sehr unwahrscheinlich angesehen werden, dass in überschaubaren Zeiträumen hier von öffentlich-rechtlicher Seite Schritte in Richtung CO₂-freundliche Bauten unternommen werden. Zu groß sind die Einflüsse von Verbänden und Lobbyisten insbesondere von mineralischen Baustoffen und Kunststoffen.

Denkbar wäre die Schaffung eines freiwilligen Labels, welches durch geeignete Maßnahmen einen entsprechenden Bekanntheitsgrad am Markt erreichen müsste. Ob solche Maßnahmen im nationalen oder internationalen Kontext erfolgen, ist zu diskutieren. Je größer die Gruppe von Herstellern, die mit einem solchen Label arbeiten (dürfen!), umso besser kann eine Marktdurchdringung erfolgen.

Zu diskutieren ist weiterhin die Frage, ob sich jeder Hersteller dieses Label selbst „verleihen“ kann oder hierzu Mitgliedschaften, Zertifizierungen und dergleichen erforderlich sind. Einerseits sollten die Aufwandungen auf Seite der Massivholzhaushersteller überschaubar bleiben. Andererseits ist der Gefahr vorzubeugen, dass dieses Label durch Trittbrettfahrer oder unseriöse Berechnungen verwassert wird.

Übersee, 28. Februar 2013

gez. Josef Egle

Normen, Literatur

- [1] Energy Performance of Buildings Directive (Directive 2010/31/EU, EPBD)
- [2] ISO 14040:2006 - Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework
- [3] ISO 14044:2006 - Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines
- [4] ISO 14025:2006 - Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations - Principles and procedures
- [5] IBO - sterreichisches Institut für Baubiologie und Baukologie (<http://www.ibo.at>)
- [6] Informationsportal Nachhaltiges Bauen - Bundesministerium für Verkehr, Bau, Stadtentwicklung (<http://www.kobau.dat>)
- [7] Verbundprojekt koPot; ökologische Potenziale durch Holznutzung gezielt fördern; Endbericht 2008
- [8] Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V.; Brettsperrholz; Umwelt-Produktdeklaration nach ISO 14025 und EN 15804, 2012

- [9] Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V.; Brettschichtholz; Umwelt-Produktdeklaration nach ISO 14025, 2010

- [10] Wohnhäuser mit Plus-Energie Niveau; Definition und Berechnungsmethode; Bundesministerium für Verkehr, Bau, Stadtentwicklung, 2010

- [11] DIN V 18599-1:2011-12; Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger

- [12] Hauser, G. und Lüking, R.-M.: Grundlagen und Möglichkeiten der Berücksichtigung der CO₂-Senkenleistung von Außenbauteilen aus Massivholz im Rahmen der gesetzlichen Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden, 2012

- [13] Egle, J.: Massivholzhäuser: Ökobilanzierung nach ISO 14040/14044 und energetische Bewertung nach der Europäischen Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD Energy Performance of Buildings Directive), 2012

Anhang A Basisdaten Mustergebäude

Mustergebäude für Berechnungen Plusenergiestandard / CO₂-Bilanz



Grundfläche 9,0 x 11,0 m

EG + OG, keine Unterkellerung

Wohnfläche 145 m²

Dachneigung 30 Grad

Dachüberstände allseitig 30 cm

Kniestockhöhe 5,50 m

Gebäudenettovolumen 475 m³

Glaselemente	Süd 16,80 m ²
	Nord 5,45 m ²
	Ost 8,24 m ²
	West 8,24 m ²
	Summe 38,73 m ²

Außenwände brutto $11,0 \times 5,50 \times 2 + 9,0 \times (5,50 + 8,10) / 2 \times 2 = 243,40 \text{ m}^2$

Außenwände netto $243,40 \text{ m}^2 - 38,73 \text{ m}^2 = 204,67 \text{ m}^2$

Innenwände netto 128,70 m²

Bodenplatte 99 m², WU-Beton Ø-Dicke 28 cm

Dachfläche gesamt $(9,0 + 0,60) \times (11,0 + 0,60) / \cos 30 = 129,87 \text{ m}^2$

Dachfläche über Wohnraum = $9,0 \times 11,0 / \cos 30 = 114,32 \text{ m}^2 \Rightarrow$ Vordachfläche 15,55 m²

effektive Dachfläche Südseite für Aufnahme Solarmodule: $129,87 \text{ m}^2 / 2 - 10\% = 58 \text{ m}^2$

Bodenfläche EG = $99 \times 0,78 = 77,22 \text{ m}^2$

Bodenfläche OG = $77,22 \text{ m}^2 - 4,50 \text{ m}^2 = 72,72 \text{ m}^2$

Summe 149,94 m²

Anhang B CO₂-Bilanzen Mustergebäude

Kurzbeschreibung Bauvariante: Fundamentbodenplatte WU-Beton, Außenwände Porenbeton + WDVS Polystyrol, Innenwände Porenbeton, Betondecke über EG, Sichtdachstuhl, Decke und Dach Dämmung Polystyrol, Kunststoff-Fenster 3-Scheiben-ISO

Position Baugruppe	Baustoffbezeichnung	mm/m2	Verschnitt %	PEI n.e. [MJ]	CO2 kg Äqv.
BODENPLATTE					
01.01	POLYSTYROL EXTRUDIERT	120,0	5	47554,007	2010,705
01.02	STAHLBETON WU	280,0	5	97097,616	9849,470
01.03	DICHTUNGSBAHN	4,0	7	20647,876	381,729
01.04	POLYSTYROL EXPANDIERT	22,0	8	4494,061	178,300
01.05	POLYSTYROL EXTRUDIERT	60,0	7	24229,899	1024,502
01.06	ESTRICH (BETON)	55,0	2	12218,580	1332,936
01.07	SCHIFFSBODEN HARTHOLZ	12,0	5	3130,766	-1150,770
01.08	PARKETTKLEBER	1,0	2	2554,390	83,187
Summe				211927,195	13710,059
DECKE ÜBER EG					
02.01	ZEMENTPUTZ	20,0	6	5892,801	573,854
02.02	STAHLBETON ALLGEMEIN	180,0	15	51642,360	6836,465
02.03	POLYSTYROL EXPANDIERT	22,0	8	4494,061	178,300
02.04	POLYSTYROL EXTRUDIERT	50,0	7	20016,003	846,328
02.05	ESTRICH (BETON)	55,0	2	12218,580	1332,936
02.05	SCHIFFSBODEN HARTHOLZ	12,0	5	3130,766	-1150,770
02.06	PARKETTKLEBER	1,0	2	2554,390	83,187
Summe				99948,961	8700,300
DACH ÜBER WOHNRAUM					

Kurzbeschreibung Bauvariante: Fundamentbodenplatte WU-Beton, Außenwände Porenbeton + WDVS Polystyrol, Innenwände Porenbeton, Betondecke über EG, Sichtdachstuhl, Decke und Dach Dämmung Polystyrol, Kunststoff-Fenster 3-Scheiben-ISO

Position Baugruppe	Baustoffbezeichnung	mm/m2	Verschnitt %	PEI n.e. [MJ]	CO2 kg Äqv.
03.01	KONSTRUKTIONSHOLZ FI	50,0	7	11740,015	-4362,310
03.02	INNENSCHALUNG FICHTE	19,0	8	4491,432	-1668,910
03.03	BAUPAPIER (DAMPFBREMSE)	0,2	15	202,592	-12,529
03.05	POLYSTYROL EXTRUDIERT	220,0	7	102185,687	4320,672
03.06	POLYETHYLENBAHN	0,2	8	2739,455	81,463
03.07	SCHNITTHOLZ FI RAUH	7,0	10	818,646	-618,385
03.08	DACHZIEGEL	25,0	3	25115,990	1367,073
Summe				147293,817	-892,926
VORDACH					
04.01	KONSTRUKTIONSHOLZ FI	24,0	7	766,253	-284,721
04.02	INNENSCHALUNG FICHTE	19,0	8	610,932	-227,008
04.03	POLYETHYLENBAHN	0,2	15	396,777	11,799
04.04	SCHNITTHOLZ FI RAUH	7,0	10	111,354	-84,114
04.05	DACHZIEGEL	25,0	3	3416,319	185,952
Summe				5301,635	-398,092
AUßENWAENDE					
05.01	DISPERSIONSFARBE	0,1	5	518,132	21,426
05.02	SILIKATPUTZ ARMIERT	6,0	7	33538,061	1539,723
05.03	POLYSTYROL EXTRUDIERT	120,0	5	98311,904	4156,878
05.04	MAUERWERK PORENBETON	240,0	15	102696,857	7693,791

Kurzbeschreibung Bauvariante: Fundamentbodenplatte WU-Beton, Außenwände Porenbeton + WDVS Polystyrol, Innenwände Porenbeton, Betondecke über EG, Sichtdachstuhl, Decke und Dach Dämmung Polystyrol, Kunststoff-Fenster 3-Scheiben-ISO

Position Baugruppe	Baustoffbezeichnung	mm/m2	Verschnitt %	PEI n.e. [MJ]	CO2 kg Äqv.
05.05	ANHYDRITPUTZ	20,0	12	10131,984	582,245
Summe				245196,938	13994,063
INNENWAENDE					
06.01	DISPERSIONSFARBE	0,2	7	664,033	27,459
06.02	ANHYDRITPUTZ	30,0	8	9215,435	529,575
06.03	MAUERWERK PORENBETON	170,0	7	42560,344	3188,514
Summe				52439,812	3745,548
GLASELEMENTE					
07.01	GLASELEMENTE PVC 3-S	38,7	0	2084901,741	110465,300
Summe				2084901,741	110465,300
Gesamtsumme				2847010,099	149324,252

Kurzbeschreibung Bauvariante: Wie Bauart 1, jedoch Blockaußenwände 240 mm (Innenwände bleiben 120 mm)

Position Baugruppe	Baustoffbezeichnung	mm/m2	Verschnitt %	PEI n.e. [MJ]	CO2 kg Äqv.
BODENPLATTE 99,00 m2					
01.01	POLYSTYROL EXTRUDIERT	120,0	5	47554,007	2010,705
01.02	STAHLBETON WU	280,0	5	97097,616	9849,470
01.03	DICHTUNGSBAHN	4,0	7	20647,876	381,729
01.04	POLYSTYROL EXPANDIERT	22,0	8	4494,061	178,300
01.05	HOLZWEICHFASER 160 KG	65,0	7	17131,000	-885,744
01.06	ESTRICH (BETON)	55,0	2	12218,580	1332,936
01.07	SCHIFFSBODEN HARTHOLZ	12,0	5	3130,766	-1150,770
01.08	PARKETTKLEBER	1,0	2	2554,390	83,187
Summe				204828,296	11799,813
DECKE ÜBER EG 99,00 m2					
02.01	KONSTRUKTIONSHOLZ FI	70,0	6	14092,288	-5236,360
02.02	BAUPAPIER (DAMPFBREMSE)	0,2	15	175,443	-10,850
02.03	POLYSTYROL EXPANDIERT	22,0	8	4494,061	178,300
02.04	HOLZWEICHFASER 160 KG	48,0	7	12683,529	-655,791
02.05	ESTRICH (BETON)	55,0	2	12218,580	1332,936
02.05	SCHIFFSBODEN HARTHOLZ	12,0	5	3130,766	-1150,770
02.06	PARKETTKLEBER	1,0	2	2554,390	83,187
Summe				49349,057	-5459,348
DACH UEBER WOHNRAUM 114,32 m2					

Kurzbeschreibung Bauvariante: Wie Bauart 1, jedoch Blockaußenwände 240 mm (Innenwände bleiben 120 mm)

Position Baugruppe	Baustoffbezeichnung	mm/m2	Verschnitt %	PEI n.e. [MJ]	CO2 kg Äqv.
03.01	KONSTRUKTIONSHOLZ FI	25,0	7	5870,007	-2181,160
03.02	INNENSCHALUNG FICHTE	19,0	8	4491,432	-1668,910
03.03	BAUPAPIER (DAMPFBREMSE)	0,2	15	202,592	-12,529
03.04	KONSTRUKTIONSHOLZ FI	24,0	7	5633,313	-2093,210
03.05	HOLZWEICHFASER 160 KG	200,0	7	60867,626	-3147,110
03.06	HOLZWEICHFASER 160 KG	20,0	8	6143,648	-317,652
03.07	SCHNITTHOLZ FI RAUH	7,0	10	818,646	-618,385
03.08	DACHZIEGEL	25,0	3	25115,990	1367,073
Summe				109143,254	-8671,883
VORDACH 15,55 m2					
04.01	KONSTRUKTIONSHOLZ FI	24,0	7	766,253	-284,721
04.02	INNENSCHALUNG FICHTE	19,0	8	610,932	-227,008
04.03	POLYETHYLENBAHN	0,2	15	396,777	11,799
04.04	SCHNITTHOLZ FI RAUH	7,0	10	111,354	-84,114
04.05	DACHZIEGEL	25,0	3	3416,319	185,952
Summe				5301,635	-398,092
AUßENWAENDE 204,67 m2					
05.01	BRETTSCHICHTHOLZ FI	240,0	5	202967,760	-31530,200
Summe				202967,760	-31530,200
INNENWAENDE 128,70 m2					

Kurzbeschreibung Bauvariante: Wie Bauart 1, jedoch Blockaußenwände 240 mm (Innenwände bleiben 120 mm)

Position Baugruppe	Baustoffbezeichnung	mm/m2	Verschnitt %	PEI n.e. [MJ]	CO2 kg Äqv.
06.01	BRETTSCHICHTHOLZ FI	120,0	7	65030,321	-10102,200
Summe				65030,321	-10102,200
GLASELEMENTE 38,73 m2					
07.01	GLASELEMENTE HOLZ	38,7	0	11816,941	15177,370
Summe				11816,941	15177,370
Gesamtsumme				648437,264	-29184,540

Kurzbeschreibung Bauvariante: Fundamentbodenplatte WU-Beton, Außenwände Block 200, Innenwände Block 120, Holzbalkendecke über EG, Sichtdachstuhl, Decke und Dach Dämmung Holzweichfaser, Holz-Fenster 3-Scheiben-ISO

Position Baugruppe	Baustoffbezeichnung	mm/m2	Verschnitt %	PEI n.e. [MJ]	CO2 kg Äqv.
BODENPLATTE					
01.01	POLYSTYROL EXTRUDIERT	120,0	5	47554,007	2010,705
01.02	STAHLBETON WU	280,0	5	97097,616	9849,470
01.03	DICHTUNGSBAHN	4,0	7	20647,876	381,729
01.04	POLYSTYROL EXPANDIERT	22,0	8	4494,061	178,300
01.05	HOLZWEICHFASER 160 KG	65,0	7	17131,000	-885,744
01.06	ESTRICH (BETON)	55,0	2	12218,580	1332,936
01.07	SCHIFFSBODEN HARTHOLZ	12,0	5	3130,766	-1150,770
01.08	PARKETTKLEBER	1,0	2	2554,390	83,187
Summe				204828,296	11799,813
DECKE ÜBER EG					
02.01	KONSTRUKTIONSHOLZ FI	70,0	6	14092,288	-5236,360
02.02	BAUPAPIER (DAMPFBREMSE)	0,2	15	175,443	-10,850
02.03	POLYSTYROL EXPANDIERT	22,0	8	4494,061	178,300
02.04	HOLZWEICHFASER 160 KG	48,0	7	12683,529	-655,791
02.05	ESTRICH (BETON)	55,0	2	12218,580	1332,936
02.05	SCHIFFSBODEN HARTHOLZ	12,0	5	3130,766	-1150,770
02.06	PARKETTKLEBER	1,0	2	2554,390	83,187
Summe				49349,057	-5459,348
DACH UEBER WOHNRAUM					

Kurzbeschreibung Bauvariante: Fundamentbodenplatte WU-Beton, Außenwände Block 200, Innenwände Block 120, Holzbalkendecke über EG, Sichtdachstuhl, Decke und Dach Dämmung Holzweichfaser, Holz-Fenster 3-Scheiben-ISO

Position Baugruppe	Baustoffbezeichnung	mm/m2	Verschnitt %	PEI n.e. [MJ]	CO2 kg Äqv.
03.01	KONSTRUKTIONSHOLZ FI	25,0	7	5870,007	-2181,160
03.02	INNENSCHALUNG FICHTE	19,0	8	4491,432	-1668,910
03.03	BAUPAPIER (DAMPFBREMSE)	0,2	15	202,592	-12,529
03.04	KONSTRUKTIONSHOLZ FI	24,0	7	5633,313	-2093,210
03.05	HOLZWEICHFASER 160 KG	200,0	7	60867,626	-3147,110
03.06	HOLZWEICHFASER 160 KG	20,0	8	6143,648	-317,652
03.07	SCHNITTHOLZ FI RAUH	7,0	10	818,646	-618,385
03.08	DACHZIEGEL	25,0	3	25115,990	1367,073
Summe				109143,254	-8671,883
VORDACH					
04.01	KONSTRUKTIONSHOLZ FI	24,0	7	766,253	-284,721
04.02	INNENSCHALUNG FICHTE	19,0	8	610,932	-227,008
04.03	POLYETHYLENBAHN	0,2	15	396,777	11,799
04.04	SCHNITTHOLZ FI RAUH	7,0	10	111,354	-84,114
04.05	DACHZIEGEL	25,0	3	3416,319	185,952
Summe				5301,635	-398,092
AUßENWAENDE					
05.01	BRETTSCHICHTHOLZ FI	200,0	5	169139,800	-26275,200
Summe				169139,800	-26275,200
INNENWAENDE					

Kurzbeschreibung Bauvariante: Fundamentbodenplatte WU-Beton, Außenwände Block 200, Innenwände Block 120, Holzbalkendecke über EG, Sichtdachstuhl, Decke und Dach Dämmung Holzweichfaser, Holz-Fenster 3-Scheiben-ISO

Position Baugruppe	Baustoffbezeichnung	mm/m2	Verschnitt %	PEI n.e. [MJ]	CO2 kg Äqv.
06.01	BRETTSCHICHTHOLZ FI	120,0	7	65030,321	-10102,200
Summe				65030,321	-10102,200
GLASELEMENTE					
07.01	GLASELEMENTE HOLZ	38,7	0	11816,941	15177,370
Summe				11816,941	15177,370
Gesamtsumme				614609,304	-23929,540

Kurzbeschreibung Bauvariante: Fundamentbodenplatte WU-Beton, Außenwände Brettsperrholz mit WDVS, Innenwände Holzständerbau, Massivholzdecke über EG, Sichtdachstuhl, Wände, Decke und Dach Dämmung Holzweichfaser, Holz-Fenster 3-Scheiben-ISO

Position Baugruppe	Baustoffbezeichnung	mm/m2	Verschnitt %	PEI n.e. [MJ]	CO2 kg Äqv.
BODENPLATTE					
01.01	POLYSTYROL EXTRUDIERT	120,0	5	47554,007	2010,705
01.02	STAHLBETON WU	280,0	5	97097,616	9849,470
01.03	DICHTUNGSBAHN	4,0	7	20647,876	381,729
01.04	POLYSTYROL EXPANDIERT	22,0	8	4494,061	178,300
01.05	HOLZWEICHFASER 160 KG	65,0	7	17131,000	-885,744
01.06	ESTRICH (BETON)	55,0	2	12218,580	1332,936
01.07	SCHIFFSBODEN HARTHOLZ	12,0	5	3130,766	-1150,770
01.08	PARKETTKLEBER	1,0	2	2554,390	83,187
Summe				204828,296	11799,813
DECKE ÜBER EG					
02.01	KONSTRUKTIONSHOLZ FI	140,0	6	28143,964	-10457,600
02.02	BAUPAPIER (DAMPFBREMSE)	0,2	15	175,443	-10,850
02.03	POLYSTYROL EXPANDIERT	22,0	8	4494,061	178,300
02.04	HOLZWEICHFASER 160 KG	48,0	7	12683,529	-655,791
02.05	ESTRICH (BETON)	55,0	2	12218,580	1332,936
02.05	SCHIFFSBODEN HARTHOLZ	12,0	5	3130,766	-1150,770
02.06	PARKETTKLEBER	1,0	2	2554,390	83,187
Summe				63400,733	-10680,588
DACH ÜBER WOHNRAUM					

Kurzbeschreibung Bauvariante: Fundamentbodenplatte WU-Beton, Außenwände Brettsperrholz mit WDVS, Innenwände Holzständerbau, Massivholzdecke über EG, Sichtdachstuhl, Wände, Decke und Dach Dämmung Holzweichfaser, Holz-Fenster 3-Scheiben-ISO

Position Baugruppe	Baustoffbezeichnung	mm/m2	Verschnitt %	PEI n.e. [MJ]	CO2 kg Äqv.
03.01	KONSTRUKTIONSHOLZ FI	25,0	7	5870,007	-2181,160
03.02	INNENSCHALUNG FICHTE	19,0	8	4491,432	-1668,910
03.03	BAUPAPIER (DAMPFBREMSE)	0,2	15	202,592	-12,529
03.04	KONSTRUKTIONSHOLZ FI	24,0	7	5633,313	-2093,210
03.05	HOLZWEICHFASER 160 KG	200,0	7	60867,626	-3147,110
03.06	HOLZWEICHFASER 160 KG	20,0	8	6143,648	-317,652
03.07	SCHNITTHOLZ FI RAUH	7,0	10	818,646	-618,385
03.08	DACHZIEGEL	25,0	3	25115,990	1367,073
Summe				109143,254	-8671,883
VORDACH					
04.01	KONSTRUKTIONSHOLZ FI	24,0	7	766,253	-284,721
04.02	INNENSCHALUNG FICHTE	19,0	8	610,932	-227,008
04.03	POLYETHYLENBAHN	0,2	15	396,777	11,799
04.04	SCHNITTHOLZ FI RAUH	7,0	10	111,354	-84,114
04.05	DACHZIEGEL	25,0	3	3416,319	185,952
Summe				5301,635	-398,092
AUßENWAENDE					
05.01	BRETTSPERRHOLZ FI	120,0	5	102377,449	-14080,100
05.02	KONSTRUKTIONSHOLZ FI	18,0	7	7542,910	-2802,770
05.03	HOLZWEICHFASER 160 KG	125,0	5	66834,989	-3455,650

Kurzbeschreibung Bauvariante: Fundamentbodenplatte WU-Beton, Außenwände Brettsperrholz mit WDVS, Innenwände Holzständerbau, Massivholzdecke über EG, Sichtdachstuhl, Wände, Decke und Dach Dämmung Holzweichfaser, Holz-Fenster 3-Scheiben-ISO

Position Baugruppe	Baustoffbezeichnung	mm/m2	Verschnitt %	PEI n.e. [MJ]	CO2 kg Äqv.
05.04	POLYETHYLENBAHN	0,2	15	5222,401	155,297
05.05	AUßENSCHALUNG LÄ	20,0	12	12304,171	-4569,300
Summe				194281,920	-24752,523
INNENWAENDE					
06.01	KONSTRUKTIONSHOLZ FI	11,0	7	2877,843	-1069,340
06.02	HOLZWERKSTOFFPLATTE	15,0	8	12336,590	-1551,850
06.03	HOLZWEICHFASER 160 KG	50,0	7	17131,000	-885,744
06.04	INNENSCHALUNG FICHTE	38,0	10	10300,067	-3827,260
Summe				42645,500	-7334,194
GLASELEMENTE					
07.01	GLASELEMENTE HOLZ	38,7	0	11816,941	15177,370
Summe				11816,941	15177,370
Gesamtsumme				631418,279	-24860,097

Kurzbeschreibung Bauvariante: Fundamentbodenplatte WU-Beton. Verwendung Ökokenndaten vTI für Balkenschichtholz. Außenwände Block 1-schalig 200 mm, Innenwände Block 100 mm, Massivholzdecke über EG, Sichtdachstuhl, Wände, Decke und Dach Dämmung Holzweichfaser, Holz-Fenster 3-Scheiben-ISO

Position Baugruppe	Baustoffbezeichnung	mm/m2	Verschnitt %	PEI n.e. [MJ]	CO2 kg Äqv.
BODENPLATTE 99,00 m2					
01.01	POLYSTYROL EXTRUDIERT	120,0	5	47554,007	2010,705
01.02	STAHLBETON WU	280,0	5	97097,616	9849,470
01.03	DICHTUNGSBAHN	4,0	7	20647,876	381,729
01.04	POLYSTYROL EXPANDIERT	22,0	8	4494,061	178,300
01.05	HOLZWEICHFASER 160 KG	65,0	7	17131,000	-885,744
01.06	ESTRICH (BETON)	55,0	2	12218,580	1332,936
01.07	SCHIFFSBODEN HARTHOLZ	12,0	5	3130,766	-1150,770
01.08	PARKETTKLEBER	1,0	2	2554,390	83,187
Summe				204828,296	11799,813
DECKE ÜBER EG 99,00 m2					
02.01	KONSTRUKTIONSHOLZ FI	70,0	6	14092,288	-5236,360
02.02	BAUPAPIER (DAMPFBREMSE)	0,2	15	175,443	-10,850
02.03	POLYSTYROL EXPANDIERT	22,0	8	4494,061	178,300
02.04	HOLZWEICHFASER 160 KG	48,0	7	12683,529	-655,791
02.05	ESTRICH (BETON)	55,0	2	12218,580	1332,936
02.05	SCHIFFSBODEN HARTHOLZ	12,0	5	3130,766	-1150,770
02.06	PARKETTKLEBER	1,0	2	2554,390	83,187
Summe				49349,057	-5459,348
DACH UEBER WOHNRAUM 114,32 m2					

Kurzbeschreibung Bauvariante: Fundamentbodenplatte WU-Beton. Verwendung Ökokenndaten vTI für Balkenschichtholz. Außenwände Block 1-schalig 200 mm, Innenwände Block 100 mm, Massivholzdecke über EG, Sichtdachstuhl, Wände, Decke und Dach Dämmung Holzweichfaser, Holz-Fenster 3-Scheiben-ISO

Position Baugruppe	Baustoffbezeichnung	mm/m2	Verschnitt %	PEI n.e. [MJ]	CO2 kg Äqv.
03.01	KONSTRUKTIONSHOLZ FI	25,0	7	5870,007	-2181,160
03.02	INNENSCHALUNG FICHTE	19,0	8	4491,432	-1668,910
03.03	BAUPAPIER (DAMPFBREMSE)	0,2	15	202,592	-12,529
03.04	KONSTRUKTIONSHOLZ FI	24,0	7	5633,313	-2093,210
03.05	HOLZWEICHFASER 160 KG	200,0	7	60867,626	-3147,110
03.06	HOLZWEICHFASER 160 KG	20,0	8	6143,648	-317,652
03.07	SCHNITTHOLZ FI RAUH	7,0	10	818,646	-618,385
03.08	DACHZIEGEL	25,0	3	25115,990	1367,073
Summe				109143,254	-8671,883
VORDACH 15,55 m2					
04.01	KONSTRUKTIONSHOLZ FI	24,0	7	766,253	-284,721
04.02	INNENSCHALUNG FICHTE	19,0	8	610,932	-227,008
04.03	POLYETHYLENBAHN	0,2	15	396,777	11,799
04.04	SCHNITTHOLZ FI RAUH	7,0	10	111,354	-84,114
04.05	DACHZIEGEL	25,0	3	3416,319	185,952
Summe				5301,635	-398,092
AUßENWAENDE 204,67 m2					
05.01	BRETTSCHICHTHOLZ FI	200,0	5	169139,800	-15531,100
Summe				169139,800	-15531,100
INNENWAENDE 128,70 m2					

Kurzbeschreibung Bauvariante: Fundamentbodenplatte WU-Beton. Verwendung Ökokenndaten vTI für Balkenschichtholz. Außenwände Block 1-schalig 200 mm, Innenwände Block 100 mm, Massivholzdecke über EG, Sichtdachstuhl, Wände, Decke und Dach Dämmung Holzweichfaser, Holz-Fenster 3-Scheiben-ISO

Position Baugruppe	Baustoffbezeichnung	mm/m2	Verschnitt %	PEI n.e. [MJ]	CO2 kg Äqv.
06.01	BRETTSCHICHTHOLZ FI	120,0	7	65030,321	-5971,340
Summe				65030,321	-5971,340
GLASELEMENTE 38,73 m2					
07.01	GLASELEMENTE HOLZ	38,7	0	11816,941	15177,370
Summe				11816,941	15177,370
Gesamtsumme				614609,304	-9054,580

Holzbaustoffe

	Dichte kg/m ³	Wärmeleitfähigkeit W/mK	Funktionale Einheit -	global warming GWP(100) kg CO ₂ eq.	acidification kg SO ₂ eq.	Total CED non- renewable (Ho) MJ	Total CED non- renewable (Hu) MJ	GWP(100) ohne Speicherung kg CO ₂ eq.
Brettschichtholz Standard	495	0,13	kg	-1,235	0,0024	7,95	7,39	0,416
Brettschichtholz, verleimt, Außenanwendung	495	0,13	kg	-1,197	0,0026	8,68	8,07	0,454
Brettschichtholz, verleimt, Innenanwendung	495	0,13	kg	-1,235	0,0024	7,95	7,39	0,416
Furniersperrholz PF	780	0,2	kg	-0,658	0,0044	16,64	15,56	0,826
Furnierschichtholz	650		kg	-0,852	0,0049	13,32	11,99	0,723
Hartfaserplatte	900	0,15	kg	-0,983	0,0018	12,72	11,89	0,646
Holz - Kantschnittholz	715		kg	-1,500	0,0009	2,71	2,52	0,151
Holz - Sägemehl, Späne	200	0,1	kg	-1,432	0,0015	1,88	1,76	0,116
Holz - Schnittholz Laub	715		kg	-1,542	0,0007	2,06	1,91	0,111
Holz - Schnittholz Nadel (Wärmefluss längs zur Faser)	500		kg	-1,500	0,0009	2,71	2,52	0,151
Holz - Schnittholz Nadel (Wärmefluss quer zur Faser)	500		kg	-1,500	0,0009	2,71	2,52	0,151
Holzfaserplatte, porös 250 kg/m ³	250	0,05	kg	-0,154	0,0112	14,01	12,69	1,351
Holzfaserplatte, porös 270 kg/m ³	270	0,055	kg	-0,154	0,0112	14,01	12,69	1,351
Holzwolleleichtbauplatte magnesitgebunden	450	0,1	kg	-0,133	0,0009	4,35	4,07	0,459
Holzwolleleichtbauplatte zementgebunden	450	0,09	kg	-0,134	0,0009	4,08	3,82	0,417
Massivholzplatte PF 3Schicht	540	0,13	kg	-1,003	0,0029	9,93	9,20	0,516
MDF-Platte	780	0,09	kg	-0,604	0,0027	14,89	13,91	0,671
MDF-Platte für Bauwesen	565	0,09	kg	-1,035	0,0041	11,59	11,14	0,666
OSB-Platte OSB 3 MUPF/PMDI	647	0,13	kg	-1,151	0,0021	9,15	8,56	0,418
OSB-Platte OSB 3 PF	660	0,13	kg	-1,051	0,0022	12,55	11,75	0,488
Schnittholz Fi rauh, lufttrock.	540	0,13	kg	-1,405	0,0006	1,86	1,74	0,108
Schnittholz Fi rauh, tech.trock.	495	0,13	kg	-1,500	0,0009	2,71	2,52	0,151
Schnittholz Fi tech.trock. gehobelt	495	0,13	kg	-1,438	0,0013	3,87	3,59	0,213
Schnittholz Hartholz rauh, lufttrock. u= 20%	780	0,15	kg	-1,441	0,0004	1,32	1,22	0,074
Schnittholz Hartholz rauh, tech.trock. u= 10%	715	0,15	kg	-1,542	0,0007	2,06	1,91	0,111
Schnittholz Hartholz tech.trock. Gehobelt u=10%	715	0,15	kg	-1,499	0,0009	2,89	2,68	0,156
Schnittholz Lä rauh, lufttrock.	685	0,15	kg	-1,686	0,0008	2,24	2,08	0,130
Schnittholz Lä rauh, tech.trock.	630	0,15	kg	-1,650	0,0010	2,98	2,77	0,166
Schnittholz Lä tech.trock. gehobelt	630	0,15	kg	-1,582	0,0014	4,26	3,95	0,235
Spanplatte V100 PF	680	0,13	kg	-1,259	0,0019	13,09	12,28	0,481
Spanplatte zementgebunden (1200 kg/m ²)	1200	0,26	kg	0,366	0,0011	5,39	5,04	0,620
Spanplatte zementgebunden (1650 kg/m ³)	1650	0,35	kg	0,661	0,0022	8,73	8,14	0,892
Spanplatte, Aussenanwendung	680	0,13	kg	-1,259	0,0019	13,09	12,28	0,481
Spanplatte, Innenanwendung	680	0,13	kg	-1,354	0,0017	8,86	8,30	0,386
Sperrholz, Außenanwendung	780	0,2	kg	-0,658	0,0044	16,64	15,56	0,826
Sperrholz, Innenanwendung	780	0,2	kg	-0,844	0,0035	13,43	12,54	0,639
Weichfaserplatte bituminiert	270	0,06	kg	-0,729	0,0041	17,75	16,49	0,881
Hochdruck-Schichtpressstoffplatte HPL	1400		kg	1,308	0,0121	50,16	46,90	2,469
Brettsperrholz	440	0,097	kg	-1,103	0,0023	8,02	7,46	0,436
Holzspandämmplatte zementgebunden (< 600 kg/m ³)	600	0,11	kg	-0,303	0,0010	3,50	3,26	0,339
Holzspandämmplatte mit EPS, zementgebunden (300 bis < 600 kg/m ³)	600	0,07	kg	0,011	0,0014	6,21	5,80	0,531
Holzspandämmplatte mit EPS, zementgebunden (<300 kg/m ³)	300	0,05	kg	-0,092	0,0017	8,11	7,59	0,549
Schnittholz Fi tech.trock. gehobelt stat	495	0,13	kg	-1,438	0,0013	3,87	3,59	0,213

Schnittholz Fi rauh, lufttrock. stat	540	0,13	kg	-1,405	0,0006	1,86	1,74	0,108
Schnittholz Fi rauh, tech.trock. stat	495	0,13	kg	-1,500	0,0009	2,71	2,52	0,151

Dämmstoffe

	Dichte kg/m ³	Wärmeleitfähigkeit W/mK	Funktionale Einheit -	global warming GWP(100) kg CO ₂ eq.	acidification kg SO ₂ eq.	Total CED non- renewable (Ho) MJ	Total CED non- renewable (Hu) MJ	GWP(100) ohne Speicherung kg CO ₂ eq.
Blähglas	155	0,065	kg	0,680	0,0018	11,56	10,78	0,680
Blähglimmer	100	0,07	kg	0,368	0,0045	6,37	5,94	0,368
Blähton-Schüttung	350	0,16	kg	0,164	0,0005	1,22	1,14	0,164
Flachs mit Polyestergeritter	30	0,04	kg	0,497	0,0066	37,69	35,27	1,846
Flachs ohne Stützgeritter	30	0,04	kg	0,218	0,0055	33,64	31,54	1,808
Glaswolle MW-PT Fassadenplatte	80	0,039	kg	2,454	0,0153	49,83	46,25	2,454
Glaswolle MW-W Dämmfilz	23	0,036	kg	2,454	0,0153	49,83	46,25	2,454
Glaswolle MW-WF	20	0,04	kg	2,454	0,0153	49,83	46,25	2,454
Glaswolle MW-WF16	16	0,04	kg	2,454	0,0153	49,83	46,25	2,454
Glaswolle MW-WF 35	35	0,04	kg	2,454	0,0153	49,83	46,25	2,454
Glaswolle MW-WF 50	50	0,04	kg	2,454	0,0153	49,83	46,25	2,454
Glaswolle Trittschall	68	0,035	kg	2,454	0,0153	49,83	46,25	2,454
Hanfdämmplatte m. Stützfasern	30	0,04	kg	0,077	0,0047	30,58	28,68	1,426
Holzfaser-Dämmplatte 160 kg/m ³	160	0,04	kg	-0,804	0,0040	15,55	14,40	0,909
Holzspanwärmedämmung	75	0,043	kg	-1,432	0,0015	1,88	1,76	0,116
Kokosfasermatten	90	0,05	kg	0,428	0,0267	33,10	31,05	2,131
Korkplatte	120	0,04	kg	-1,224	0,0019	6,96	6,45	0,346
Korkschröt expandiert	100	0,042	kg	-1,224	0,0019	6,96	6,45	0,346
Korkschröt natur	160	0,06	kg	-1,695	0,0001	0,33	0,31	0,020
Mineralschaumplatte	115	0,045	kg	1,006	0,0021	13,15	12,34	1,006
Perlite expandiert	85	0,05	kg	0,295	0,0015	6,98	6,45	0,295
Phenolharzschaumplatte	40	0,03	kg	4,975	0,0174	139,95	131,43	4,975
Polystyrol expandiert (EPS) -F- Fassadendämmplatte	16	0,04	kg	4,169	0,0149	105,08	98,90	4,169
Polystyrol expandiert EPS-W 15 (Wärmedämmplatte)	14	0,042	kg	4,169	0,0149	105,08	98,90	4,169
Polystyrol expandiert (EPS)-W20- Dämmplatte	20	0,038	kg	4,169	0,0149	105,08	98,90	4,169
Polystyrol expandiert (EPS)-W25- Dämmplatte	23	0,036	kg	4,169	0,0149	105,08	98,90	4,169
Polystyrol expandiert (EPS)-W30- Dämmplatte	28	0,035	kg	4,169	0,0149	105,08	98,90	4,169
Polystyrol expandiert EPS-P (Perimeterdämmplatte)	30	0,035	kg	4,169	0,0149	105,08	98,90	4,169
Polystyrol expandiert (EPS) Trittschalldämmung	11	0,044	kg	4,169	0,0149	105,08	98,90	4,169
Polystyrol expandiert EPS-T 1000 (Trittschalldämmplatte)	17	0,038	kg	4,169	0,0149	105,08	98,90	4,169
Polystyrol expandiert Granulat bitumengebunden 125kg/m ³	125	0,05	kg	1,534	0,0083	65,14	61,34	1,534
Polystyrol expandiert Granulat zementgebunden	800	0,3	kg	0,547	0,0010	5,26	4,94	0,547
Polystyrol expandiert Granulat zementgebunden <125kg/m ³	125	0,06	kg	1,278	0,0039	25,58	24,06	1,278
Polystyrol expandiert Granulat zementgebunden <350kg/m ³	350	0,12	kg	0,721	0,0017	10,06	9,46	0,721
Polystyrol extrudiert CO ₂ -geschäumt (XPS)	38	0,04	kg	4,205	0,0155	99,45	93,56	4,205
Polystyrol extrudiert HFKW-geschäumt (XPS)	45	0,032	kg	81,150	0,0240	104,09	97,84	81,150
Polyurethan-Hartschaum	40	0,03	kg	4,299	0,0177	100,03	94,04	4,299
Schafwolle Dämmfilz	30	0,04	kg	0,537	0,0041	21,09	19,74	2,145
Schafwolle Trittschalldämmung	90	0,035	kg	0,277	0,0041	20,26	18,96	1,828
Schaumglasplatte	105	0,04	kg	2,433	0,0090	44,07	40,99	2,433
Schaumglas 120 kg/m ³	120	0,045	kg	2,433	0,0090	44,07	40,99	2,433
Schaumglas 160 kg/m ³	160	0,05	kg	2,433	0,0090	44,07	40,99	2,433
Schaumglasschotter	210	0,1	kg	0,429	0,0019	8,30	7,72	0,431

Schilf /Strohplatte unverputzt	190	0,056	kg	-1,589	0,0004	1,26	1,15	0,078
Steinwolle MW-PT	130	0,04	kg	1,935	0,0141	23,19	21,36	1,935
Steinwolle MW-W	33	0,04	kg	1,935	0,0141	23,19	21,36	1,935
Steinwolle MW-WF 60	60	0,036	kg	1,935	0,0141	23,19	21,36	1,935
Steinwolle Trittschalldämmung	100	0,036	kg	1,935	0,0141	23,19	21,36	1,935
Stroh	120	0,064	kg	-1,246	0,0009	0,85	0,80	0,110
Vakuum-Isolations-Panell (VIP)	190	0,006	kg	3,615	0,0175	72,87	67,52	3,722
ZellulosefaserflockenDecken	35	0,04	kg	-0,885	0,0035	7,70	7,18	0,561
ZellulosefaserflockenWände	55	0,04	kg	-0,885	0,0035	7,70	7,18	0,561
Zellulosefaserplatten	80	0,04	kg	-0,244	0,0051	18,76	17,52	1,024