

Dipl.-Ing. (FH) Josef Egle

Von der IHK München und Oberbayern öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Holzhausbau; rechnergestützte Konstruktion und Fertigung (CAD-CAM-CIM) im Holzbau; Luftdichtheit und Gebäudethermografie

Bauaufsichtlich anerkannte Überwachungs- und Zertifizierungsstelle nach Landesbauordnung (BAY034)

Fremdüberwachungsstelle für die RAL-Gütegemeinschaften GZ 402 und GZ 422

Studie

**CO₂-Senkenleistung bei Massivholzhäusern des Herstellers
LK-Fertigbau GmbH, Oberste Höhe 1, 53797 Lohmar**

1. Ausgangslage

Die im Jahr 2010 in Kraft getretene Europäische Richtlinie für die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden EPBD [1] wird die weitere Entwicklung des baulichen Wärmeschutzes in den EU-Staaten bis zum Jahr 2020 maßgeblich prägen. Durch einen verbesserten Dämmstandard und dem verstärktem Einsatz regenerativer Energien soll zunächst die Abhängigkeit der EU-Staaten von fossilen Brennstoffen reduziert werden. Ein weiteres wesentliches Ziel liegt in der gezielten Reduzierung von Treibhausgasen zur Förderung des Klimaschutzes.

In Abweichung zu ISO 14040 [2] betrachtet diese Richtlinie lediglich die Umweltauswirkungen während der Nutzungsphase, nicht jedoch den gesamten Lebenszyklus (Entstehung - Herstellung - Nutzung - Entsorgung).

Bei der baulichen Verwendung des nachwachsenden Rohstoffes Holz ergeben sich signifikante Unterschiede zu anderen konstruktiven Baustoffen im Hinblick auf den sogenannten „carbon footprint“, somit die Belastung der Umwelt mit dem Treibhausgas CO₂. Die CO₂-Emissionen zur Herstellung von Bauteilen etwa für Wände, Decken oder Dächer liegen bei Massivholzkonstruktionen deutlich niedriger als bei Bauarten in Stein, Stahl oder Beton. Während ihres Wachstums nehmen Bäume CO₂ aus der umgebenden Luft auf und wandeln es in Kohlenstoff und Sauerstoff um. So besteht die Holzsubstanz typischer Nadel- und Laubbäume zu etwa 50% aus Kohlenstoff. Bei nachhaltiger Waldbewirtschaftung wirkt sich die bauliche bzw. stoffliche Verwertung von Holz gegenüber anderen Baustoffen daher sogar CO₂-senkend aus. Diesbezügliche Berechnungen sind in der Literatur vielfach dargestellt, exemplarisch sei an dieser Stelle auf mehrere einschlägige Publikationen [3, 4, 5, 8, 9, 10] verwiesen.

Gebäude in massiver Holzblockbauweise nehmen unter allen bekannten Bausystemen eine Sonderstellung ein. Bei konsequenter Umsetzung dieser Bauart bleiben die Außenwände ohne zusätzliche Dämmstoffe („einschaliger Blockbau“). Den rechnerisch vergleichsweise ungünstigen U-Werten stehen klimaschonende Herstellungsprozesse und aufgrund der Energie- und CO₂-Anreicherung während des Wachstums Senkenleistungen in Bezug auf das Treibhausäquivalenten gegenüber.

2. Zielsetzung

Im Rahmen der vorliegenden Studie werden für ein typisches Einfamilienhaus Vergleichsberechnungen zur Energieeffizienz und zur Klimaschutzwirkung für unterschiedlichen Bauarten, darunter eine Massivholzbauweise des Herstellers LK-Fertigbau GmbH mit 1-schaligen Außenwänden in Massivholz, angestellt. Als numerischer Indikator wird das Treibhauspotenzial CO₂ über einen Zeitraum von 100 Jahren betrachtet (Global warming potential GWP₁₀₀). Anhand von Berechnungen soll ermittelt werden, welche thermischen Anforderungen an die Gebäudehülle eines Massivholzhauses zu stellen wären, wenn bei gesamtheitlicher Betrachtung (Materialgewinnung und -Aufbereitung, Nutzungs-

phase 100 Jahre, Ende der Nutzungsphase) in Bezug auf Treibhauspotenzial die Senkenleistung einbezogen wird.

3. Begriffe und Definitionen

3.1 Richtlinie Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden

Am 8. Juli 2010 ist die neue Europäische Richtlinie für die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD - Energy Performance of Buildings Directive) [1] in Kraft getreten. Durch weitere Senkungen des Energieverbrauchs von Neu- und Bestandsbauten in Verbindung mit der verstärkten Nutzung von Energien aus erneuerbaren Quellen sollen die Energieunabhängigkeit der Europäischen Union gestärkt und die Treibhausgas-Emissionen, allen voran Kohlendioxid (CO₂), gesenkt werden. Eine vollständige Umsetzung der Richtlinie in den einzelnen EU-Staaten sowohl für Bestands- als auch Neubauten ist für das Jahr 2020 vorgesehen, ein Zwischenschritt für 2015. Nach Artikel 9 müssen bis zum 31.12.2020 alle neu errichteten Wohngebäude einem Niedrigstenergiestandard entsprechen, der durch nationale Regelungen zu bestimmen ist. Zentrale Kenngrößen sind hierbei der Primärenergieverbrauch [KWh/m²a] sowie das Treibhauspotenzial durch CO₂ [to].

3.2 GWP₁₀₀

CO₂-Äquivalente bzw. das relative Treibhauspotential (englisch Global warming potential, GWP) sind eine Basis zur Darstellung des Beitrags chemischer Verbindungen zum Treibhauseffekt. Es wird angegeben, wie viel eine festgelegte Masse eines Treibhausgases zur globalen Erwärmung beiträgt. Als Bezugseinheit (Äquivalent) wird das technisch wichtigste Treibhausgas, Kohlenstoffdioxid, verwendet. Die Abkürzung für Äquivalente lautet CO₂e. Mit diesem Wert wird die durchschnittliche Erwärmungswirkung über einen bestimmten Zeitraum beschrieben. Für baunahe Betrachtungen wird im Regelfall ein Zeitraum von 100 Jahren gewählt.

Die Festlegung wichtiger CO₂-Äquivalente erfolgt zunächst im Rahmen der Kyoto-Protokollierung. Erweiterungen und Fortschreibungen erfolgen im wesentlichen durch die zwischenstaatliche wissenschaftliche Kommission IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change).

Beispielsweise beträgt das CO₂-Äquivalent für das in der Landwirtschaft und Viehhaltung bedeutsame Gas Methan bei einem Zeithorizont von 100 Jahren nach IPCC AR5 28. Das bedeutet, dass ein Kilogramm Methan innerhalb der ersten 100 Jahre nach der Freisetzung 28-mal so stark zum Treibhauseffekt beiträgt wie ein Kilogramm CO₂.

3.3 Ökobilanzierung

Die Erstellung von Ökobilanzen ist in der Normenreihe ISO 14040 [2] definiert. Abweichend zu den Regelungen z.B. 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 jeweils eine kritische Nachprüfung durch einen unabhängigen Gutachter erforderlich („critical review“).

3.4 Umwelt-Produktdeklarationen

Auf Produktebene werden Baustoffe und Bauteile bezüglich ihrer Umwelteigenschaften zwischenzeitlich nach EN 15804 [6] klassifiziert (= Environmental Product Declaration, EPD). Dabei werden die

Produktionsphase	A1 A2 A3	Rohstoffbereitstellung Transport, Herstellung	Wiege bis Werkstor	Wiege bis Bahre
Bauphase	A4	Transport	Option Bau	
	A5	Einbau		
Nutzungsphase	B1	Nutzung	Option Nutzung	
	B2	Pflege		
	B3	Reparatur		
	B4	Ersatz		
	B5	Umbau, Erneuerung		
	B6	Energieeinsatz im Gebäudebetrieb		
Entsorgungsphase	B7	Wassereinsatz im Gebäudebetrieb	Option Entsorgung	
	C1	Abbau, Abriss		
	C2	Transport		
	C3	Abfallbehandlung		
Recycling - Potentiale	C4	Deponierung	Option Recycling	
	D	Wieder / Weiterverwendungs- Recycling - Potentiale		

Lebensabschnitte eines Produkts in die Modulgruppen A bis D unterteilt. Dies mit dem Ziel, für Bilanzierungen von gesamten Gebäuden harmonisierte Informationen bereitstellen zu können. Die Untergliederung der Module ist der nebenstehenden Grafik zu entnehmen.

Die Aufwändungen ausschließlich für das Produktstadium von der Bereitstellung der Rohstoffe bis zum Verlassen des Werkstors umfasst die Module A1 bis A3. Sie werden auch bezeichnet „von der Wiege bis zum Werkstor“. Diese drei Module sind zugleich der notwendige Mindestumfang einer Produktdeklaration nach EN 15804 [6]. Optional können sodann weitere Module einbezogen werden. Die Module A1 bis einschließlich C4 werden auch bezeichnet „von der Wiege bis zur Bahre“. Alle Module von A bis D sind stark von individuellen fertigungstechnischen und baulichen Faktoren abhängig, die Module C und D nicht zuletzt auch technischen, wirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen. Holz kann besonders energiesparsam bearbeitet und baulich verwendet werden. Durch die handwerklich geprägte Herstellung von Wandelementen aus Massivholz bei der Firma LK Fertigtbau GmbH ist der Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie auch in den Modulen A4 und A5 (Bauphase) erheblich geringer als bei konkurrierenden Bauarten und Bausystemen.

Mit Einführung der EN 15804 [6] wurde ein wichtiger Schritt in Richtung Vergleichbarkeit von Produktdeklarationen vollzogen. Dennoch kann das Ergebnis durch gezielte Definition der Rahmenbedingungen und Systemgrenzen in gewissen Grenzen gesteuert werden.

4. Mustergebaude

4.1 Architektur



Als Grundlage für die nachfolgenden Berechnungen wird ein Einfamilienhaus in 2-geschossiger Bauweise entsprechend dem nebenstehenden Bild gewählt. Es besitzt eine übliche Gebäudegröße, ein Satteldach, 2 Balkone zu den Giebelseiten und einem kleinen Querbau mit Glaselementen an einer Langssseite. Die Bodenplatte ist unterseitig gedämmt, das Gebäude ist nicht unterkellert.

Nachstehend die wichtigsten technischen Daten:

Außenabmessungen:	9,0 x 11,0 m (Hauptgebäude) + 3,70 x 1,50 m (Querbau)
Beheiztes Bauwerksvolumen V_E :	548 m ³
Nutzfläche A_N :	175,36 m ²
wärmeübertragende Umfassungsfläche A:	437,90 m ²
Außenwände netto:	164,30 m ²
Glaselemente EG und OG:	52,70 m ²
Innenwände EG und DG netto:	121,52 m ²
Gedammtes Dach über den Wohnräumen:	123,50 m ²

Vordachfläche:	88,70 m ²
Bodenplatte EG:	97,40 m ²
Deckenkonstruktion im Gebäudeinnern:	87,20 m ²

4.2 Kurzbaubeschreibung Mustergebäude

Das beschriebene Einfamilienhaus dient als Basis für Ökobilanzierungen auf Gebäudebasis mit unterschiedlichen Bauarten. Folgende Bauteil und Gewerke wurden in die Bilanzierung einbezogen:

a) Bodenplatte EG ($U = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Beide Gebäude Stahlbetonbodenplatte mit Frostschräge, unterseitig und Perimeter mit extrudiertem Polystyrol (XPS) gedämmt, Fußbodenaufbau bestehend aus Abdichtungsbahn, Wärmedämmung expandiertes Polystyrol (EPS), Fußbodenheizung, Heizestrich und Fußbodenbelag 80% Parkett, 20% Fliesen.

b) Außenwände EG und OG

Bauart 1:

1-schaliger Blockbau Dicke 240 mm (Balkenschichtholz), $U = 0,407 \text{ W/m}^2\text{K}$

Bauart 2:

Porenbeton 240 mm und WDVS mit Dämmung 100 mm EPS, $U = 0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$

c) Innenwände

Bauart 1:

Holzriegelkonstruktion mit zwischenliegender Dämmung Holzweichfaser, beidseitig Gipsbauplatte mit Anstrich

Bauart 2:

Porenbeton 175 mm mit beidseitigem Verputz und Anstrich

d) Zwischendecke

Bauart 1:

Sichtbare Holzbalkenkonstruktion mit aufliegender Sichtschalung, darüber Trittschalldämmung EPS, Fußbodenheizung, Heizestrich und Fußbodenbelag 80% Parkett, 20% Fliesen

Bauart 2:

Stahlbetondecke 180 mm, unterseitig Verputz und Anstrich, Oberseite Trittschalldämmung EPS, Fußbodenheizung, Heizestrich und Fußbodenbelag 80% Parkett, 20% Fliesen

e) Dachkonstruktion ($U = 0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Bauart 1:

Sichtdachstuhl, Dampfbremse, Holzweichfaserdämmung, Dacheindeckung Tonpfannen

Bauart 2:

Dachstuhl mit Sparrenzwischendämmung Mineralfaser, unterseitig Dampfbremse und Gipsbauplatten mit Anstrich, zur Oberseite diffusionsoffene Schalungsbahn, Dacheindeckung Tonpfannen

f) Glaselemente ($U = 0,90 \text{ W/m}^2\text{K}$)

3-Scheiben-Isolierverglasung,

Bauart 1 Holz, Bauart 2 PVC

Der mittlere U-Wert der Gebäudehülle in Bauart 1 liegt bei $0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$ (detaillierter Wärmebrücken-nachweis $\Delta U_{\text{WB}}=0,00 \text{ W/m}^2\text{K}$, $\lambda_{\text{Holz}} = 0,105 \text{ W/mK}$), in Bauart 2 bei $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$.

4.3 Heizungssysteme

Eine Gegenüberstellung der Klimabelastung durch Heizenergieverbrauch einerseits und der Senkenwirkung durch bauliche Nutzung von Holz ist nur auf Basis konkreter Energieträger in Verbindung mit dem jeweiligen Nutzungsgrad der Heizungsanlage möglich. Gemäß Gutachten [10] kann für gängige Heizungssysteme von folgenden CO₂-Emissionen je kWh Heizwärmeverlust ausgegangen werden:

Gas-Brennwerttechnik	251 g CO ₂ e / kWh	(„Gas“)
Holzheizung	32 g CO ₂ e / kWh	(„Holz“)
Elektrowärmepumpe 1 (JAZ 3,5)	172 g CO ₂ e / kWh	(„WP1“)
Elektrowärmepumpe 2* (JAZ 4,8)	100 g CO ₂ e / kWh	(„WP2“)

*Anmerkung Elektrowärmepumpe 2:

Es wird unterstellt, dass durch den Ausbau der regenerativen Stromerzeugung und Weiterentwicklungen in der Anlagentechnik in absehbarer Zukunft deutlich geringere CO₂-Emissionen bei Elektrowärmepumpen zu erwarten sind [10].

5. Nachweisvarianten Senkenleistung von Massivholz im Bauwesen

5.1 Vorbemerkungen

In Kapitel 3 wurde dargelegt, dass bei Umwelt-Produktdeklarationen die Vorgabe von Einflussgrößen und Systemgrenzen für die Berechnungsergebnisse maßgeblich sind. Insofern unterliegen die Ergebnisse solcher Deklarationen beim Vergleich von Datenbank zu Datenbank größeren Unterschieden. Bei den hier durchgeführten Berechnungen auf Basis eines kompletten Ausbauhauses sowie bei abschließlicher Betrachtung der Außenwände wurde auf Produktdeklarationen von ökobau.dat [7] und

baubook.at [8] zurückgegriffen. Für gleichartige Bauprodukte unterscheiden sich die Einzelwerte innerhalb dieser Datenbanken erwartungsgemäß teils deutlich. Bezogen auf das komplette Ausbauhaus hingegen bleibt die Gesamtdifferenz der CO₂-Äquivalente zwischen den beiden betrachteten Bauarten 1 und 2 hingegen gleichwertig.

5.2 Ökobilanzierung auf Gebäudebasis

Unter Zugrundelegung des beschriebenen Musterhauses in Kapitel 4 und den dort beschriebenen Gewerken und Bauarten kann die CO₂-Bilanz auf Gebäudebasis anhand von Umwelt-Produktdeklarationen wie folgt klassifiziert werden:

Bauart 1, Massivholzhaus ca. - 25 bis -35 to CO₂, Mittelwert -30 to CO₂
 Bauart 2, mineralische Bauweise ca. +20 bis +30 to CO₂, Mittelwert +25 to CO₂

Unter Zugrundelegung der Heizungsarten Punkt 4.3 und 100-jähriger Nutzung ergeben sich die nachstehenden CO₂-Emissionen infolge Heizungsbetrieb. Jeweils werden die Werte aus der Umwelt-Produktdeklaration und der jeweiligen Heizungsart aufaddiert.

Bauart 1 (Massivholz) Endenergie 12.283 kWh/a
 z.B. WP1: 12.283 kWh/a * 0,172 kg CO₂/kWh * 100 a = 211.268 kg CO₂

Bauart 2 (Mineralischer Bau, Endenergie 10.115 kWh/a)
 z.B. WP1: 10.115 kWh/a * 0,172 kg CO₂/kWh * 100 a = 173.978 kg CO₂

	Bauart 1 [kg CO ₂ e]	Bauart 2 [kg CO ₂ e]
Umwelt-Produktdeklaration	- 30.000	25.000
Heizungsbetrieb (Gas) 100 a	308.303	253.887
= Summe	278.303	278.887
Heizungsbetrieb (WP1) 100 a	211.268	173.978
= Summe	181.268	198.978
Heizungsbetrieb (WP2) 100 a	122.830	101.150
= Summe	92.830	126.150
Heizungsbetrieb (Holz) 100 a	39.306	32.368
= Summe	9.306	57.368

Bei allen 4 Heizungsarten liegt die gesamte Klimabelastung durch CO₂ beim Massivholzhaus Bauart 1 niedriger als bei der zu Vergleichszwecken verwendeten mineralischen Bauart 2. Dies, obwohl die wärmeabgebende Hüllfläche bei der Massivholzbauart 1 rechnerisch einen deutlich höheren Heizenergiebedarf aufweist als Bauart 2. Je CO₂-freundlicher die Heizung, umso höher ist der CO₂-Anteil

laut Umwelt-Deklaration an den Gesamtemissionen. Umso größer ist demzufolge auch das Senkenpotenzial der Massivholzbauweise.

Auch wenn bei den Berechnungen zum gesamten Ausbauhaus sehr klare Ergebnisse vorliegen, gestaltet sich eine Umrechnung dieser Senkenleistung etwa auf U-Wert-Basis vergleichsweise komplex. Zahlreiche Bauteile wie Innenwände oder Geschossdecken, soweit diese maßgeblich aus Holzbauteilen bestehen, tragen wesentlich zur Senkenleistung auf Gebäudeebene bei, können jedoch für U-Werte von Außenbauteilen nicht direkt herangezogen werden. Behelfsweise wäre denkbar, durch Umrechnungszahlen eine Zuordnung zwischen Holz Mengen in Außen- und Innenbauteilen herzustellen. Eine solche Vorgehensweise würde allerdings zu Rechenprozessen führen, die für wärmeschutztechnische Nachweise derzeit unbekannt sind und zudem sehr unübersichtlich wären.

5.3 Ökobilanzierung auf Außenwandbasis

Bauart 1 Massivholzbau und Bauart 2 mineralisch weisen in Bezug auf den Wärmeschutz lediglich bei den Außenwänden deutliche Unterschiede auf. Alle anderen Bestandteile der Gebäudehülle sind bei den hier durchgeführten Vergleichsrechnungen aus thermischer Sicht gleichwertig. Nachstehend sollen in Anlehnung zu den vorigen Berechnungen, die sich auf ein Gesamtgebäude bezogen, nun die Auswirkungen bezogen auf 1 m² Außenwand untersucht werden. Für die Umwelt-Produktdeklarationen der betreffenden Baustoffe erfolgt dazu ein Rückgriff auf die Datenbank ökobau.dat [7] mit folgenden Materialkennwerten:

Massivholz (Balkenschichtholz) 515 kg/m ³	- 1,510 kg CO ₂ e / kg
Porenbeton P2 04, 380 kg/m ³	0,468 kg CO ₂ e / kg
Wärmedämmung EPS, 32 kg/m ³	2,670 kg CO ₂ e / kg

Es ergeben sich folgende Rechenansätze:

Bauart 1 (240 mm Massivholz):

$$\text{Massivholz } 0,24 \text{ m} * 515 \text{ kg/m}^3 = 123,60 \text{ kg/m}^2 * -1,51 \text{ kg CO}_2\text{e / kg} = - \mathbf{186,64 \text{ kg CO}_2\text{e / m}^2}$$

Bauart 2 (240 mm Porenbeton + Dämmung EPS 100 mm)

$$\text{Porenbeton } 0,24 \text{ m} * 380 \text{ kg/m}^3 = 91,20 \text{ kg/m}^2 * 2,67 \text{ kg CO}_2\text{e / kg} = 243,50 \text{ kg CO}_2\text{e / m}^2$$

$$\text{Dämmung } 0,10 \text{ m} * 23 \text{ kg/m}^3 = 2,3 \text{ kg/m}^2 * 2,67 \text{ kg CO}_2\text{e / kg} = 6,14 \text{ kg CO}_2\text{e / m}^2$$

$$\text{Summe } 243,50 + 6,14 \text{ kg CO}_2\text{e / m}^2 = \mathbf{249,64 \text{ kg CO}_2\text{e / m}^2}$$

Bauart 1 Heizenergiebedarf:

$$0,407 \text{ W/m}^2\text{K} * 66 \text{ kWh/a} = \mathbf{26,86 \text{ kWh/a}}$$

Bauart 2 Heizenergiebedarf:

$$0,190 \text{ W/m}^2\text{K} * 66 \text{ kWh/a} = \mathbf{12,54 \text{ kWh/a}}$$

Wiederum unter Zugrundelegung der Heizungsarten Punkt 4.3 und 100-jähriger Nutzung ergeben sich die nachstehenden CO₂-Emissionen infolge Heizungsbetrieb je m² Außenwand. Auch hier werden die Werte aus der Umwelt-Produktdeklaration und der jeweiligen Heizungsart aufaddiert.

	Bauart 1 [kg CO ₂ e/m ²]	Bauart 2 [kg CO ₂ e/m ²]
Umwelt-Produktdeklaration	- 187	250
Heizungsbetrieb (Gas) 100 a	674	315
= Summe	487	565
Heizungsbetrieb (WP1) 100 a	462	216
= Summe	275	466
Heizungsbetrieb (WP2) 100 a	269	125
= Summe	82	375
Heizungsbetrieb (Holz) 100 a	86	40
= Summe	-101	290

Gemäß voriger Tabelle beträgt die Senkenleistung der Außenwand in Massivholz -187 kg CO₂e/m².

Bezogen auf einen Zeitraum von 100 Jahren ergibt sich somit eine jährliche Gutschrift in Höhe von - 1,87 kg CO₂e/(m²a). Unter Zugrundelegung der Heizungsart Wärmepumpe 1 nach Kapitel 4.3 (172 g CO₂e / kWh Wärmeverlust) und einer Gradtagszahl 66 kWh/a ergeben sich folgende rechnerische Zusammenhänge:

$$- 1,87 \text{ kg CO}_2\text{e}/(\text{m}^2\text{a}) / 0,172 \text{ kg CO}_2\text{e}/\text{kWh} = - 10,87 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$$

$$\Delta U = 10,87 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) / 66 \text{ kWh/a} = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Ergebnis:

Wenn die Senkenleistung (hier Ausgleich des negativen Saldo CO₂-Emissionen laut Produktdeklaration) über einen Zeitraum von 100 Jahren auf den U-Wert der Außenwand umgerechnet wird, könnte bei der hier berechneten Außenwand (1-schalig Dicke 240 mm) der U-Wert um 0,16 W/m²K reduziert werden. Aus Sicht des Klimaschutzes wäre unter diesen Voraussetzungen ein U-Wert von 0,407 W/m²K - 0,16 W/m²K = 0,247 W/m²K anzusetzen.

Diese rechnerische Betrachtung stellt eine vergleichsweise konservative Betrachtung dar und enthält in Bezug auf die Kohlenstoffsinkenwirkung von Massivholzbauten noch erhebliche Reserven:

a)

Der Verbau von Massivholzteilen bei Innenbauteilen wie Innenwänden oder Zwischendecken, somit deren Kohlenstoffsенке, wird nicht in Ansatz gebracht.

b)

Durch die Verwendung von Massivholz werden emissionsintensivere Bauprodukte (mit deutlich ungünstigeren GWP_{100} -Werten) wie Holz eingespart.

c)

Bei dem hier verwendeten Rechenmodell wird davon ausgegangen, dass über einen Nutzungszeitraum von 100 Jahren für den Heizungsbetrieb stets die gleichen CO_2 -Emissionen auftreten. Unter Berücksichtigung der technischen Weiterentwicklung in der Anlagentechnik sowie Zunahme des regenerativen Anteils bei der Stromerzeugung werden sich die CO_2 -Emissionen (bei gleichbleibendem Heizenergiebedarf) schrittweise reduzieren. Die heizungsunabhängige CO_2 -Senkenwirkung von Massivholz wird sich daher noch stärker auswirken als vorliegend berechnet.

5.4 Senkenleistung durch stoffliche Holznutzung

Nachstehend werden in Kurzform die Ergebnisse eines Gutachtens [10] wiedergegeben, welches im Auftrag der Gütegemeinschaft Blockhausbau e.V. erstellt wurde und sich mit der klimaentlastenden Wirkung von Holz aus der Sicht nachhaltig bewirtschafteter Wälder beschäftigt.

Wie in Punkt 5.3 erfolgt in dieser Studie eine Abwägung zwischen der CO_2 -Senkenwirkung durch stoffliche Holznutzung sowie anfallender CO_2 -Emissionen durch die Beheizung während der Nutzungsphase. Von zentraler Bedeutung ist die Tatsache, dass durch die stoffliche Nutzung von Holz im Anschluss zum Wachstum der Bäume eine wirksamer Kohlenstoffspeicher entsteht, bevor durch Verrottung oder thermische Nutzung das ursprünglich im Holz gespeicherte CO_2 wieder an die Umwelt abgegeben und somit die Senkenleistung wieder aufgehoben wird. Es werden die folgenden Ansätze als Basis verwendet:

- Wiederaufforstung nach Holzentnahme (nachhaltige Forstwirtschaft)
- durchschnittliche Umtriebszeit Nadelbäume ca. 100 Jahre
- Kohlenstoffanteil im Holz ca. 50%
- Mittelwert Darrdichte baurelevante Holzarten ca. 430 kg/m³
- stoffliche Nutzungsdauer 100 Jahre
- Abbau Biomasse: Je kg darrtrockenes Holz Freisetzung 3,67 kg CO_2
- Anteil Kohlenstoff im Holz = 50%

=> CO₂-Senkenleistung je kg darrtrockenes Holz:

$$3,67 \text{ kg CO}_2 \times 50\% = 1,83 \text{ kg CO}_2 / \text{kg}$$

=> jährliche CO₂-Senkenleistung Holz (bezogen auf eine Nutzungsdauer von 100 Jahren):

$$1,83 \text{ kg CO}_2 / \text{kg} / 100 \text{ a} = 0,0183 \text{ kg CO}_2 / (\text{kg a}) = 7,87 \text{ kg CO}_2 / (\text{m}^3 \text{ a})$$

Auch bei diesem Nachweisverfahren erfolgt eine Verrechnung der Kohlenstoffsénke des Baustoffes Holz mit den CO₂-Emissionen für den Heizungsbetrieb während der Nutzungsphase. Als Grundlage für Vergleichsberechnungen sind daher auch hier konkrete Energieträger und Anlagentechniken zuzuordnen. Die Basisformel lautet wie folgt:

$$\Delta U_x = \text{Senkenleistung} * x \text{ m}^3/\text{m}^2 /$$

$$(\text{Gradtagzahl} * \text{spez. CO}_2\text{-Emission pro kWh}) \text{ in } [\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$$

Für die Massivholzaußenwand mit Dicke 240 mm, wie in den vorigen Kapiteln bereits mehrfach verwendet, in Verbindung mit der Heizungsart Wärmepumpe 1 nach Kapitel 4.3 (172 g CO₂e / kWh Wärmeverlust) ergibt sich folgender Rechenansatz:

$$\Delta U = 7,87 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3 * 0,24 \text{ m}^3/\text{m}^2 /$$

$$(66 \text{ kKd/a} * 0,172 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}) = 0,166 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$$

Auch dieses Rechenmodell enthält erhebliche Reserven, die in Punkt 5.3 dargestellt sind. Es kommt hinzu, dass dieses Modell von einer ausschließlichen thermischen Verwertung des baulich genutzten Holzes nach Ablauf der Nutzungsphase von 100 Jahren ausgeht. In der Baupraxis finden solche Konstruktionshölzer oft eine weitergehende stoffliche Verwertung, sei es für Baukonstruktionen, Möbel oder weitere Nutzungsgegenstände.

6. Zusammenfassung

Die Firma LK Fertighaus GmbH ist ein namhafter Anbieter von Massivholzhäusern, die überwiegend in einer Bauart mit einschaligen Blockaußenwänden errichtet werden. Aufgrund der stetig steigenden Anforderungen an den Wärmeschutz von Außenbauteilen, auch im Hinblick auf die stufenweise Umsetzung der Europäischen Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden [1] wird die Verwendung solcher Außenwandkonstruktionen schrittweise erschwert wenn nicht sogar unmöglich bzw. aufgrund zu großer Wanddicken unwirtschaftlich.

Die Senkenleistung von Massivholz in Bezug auf das bedeutendste Treibhausgas CO₂ ist dem Grunde nach unbestritten, findet jedoch in den aktuellen öffentlich-rechtlichen Nachweisen keinerlei Berücksichtigung. Dabei zeigen Studien vermehrt, dass die CO₂-Emissionen von Baustoffen und Herstel-

lungsprozessen bei Gebäuden mit stetig reduziertem Heizenergiebedarf stark an Bedeutung gewinnen.

In der vorliegenden Studie, auch unter Verweis auf artverwandte Ausarbeitungen, wird die erhebliche Kohlenstoffsinkenleistung durch stoffliche Verwendung von Massivholz nachgewiesen. Es stellt sich die Frage, wie diese klimaentlastende Wirkung möglichst einfach und effektiv in vorhandene Berechnungsformeln für öffentlich-rechtliche Nachweise eingebunden werden können. Die Verrechnung der Klimaschutzwirkung bei thermisch wirksamen Außenbauteilen in Form eines reduzierten U-Wertes erscheint möglich und sinnvoll. Eine generelle Absenkung des U-Werts solcher Außenbauteile ist allerdings nicht zielführend. So wird u.a. auf Basis dieser thermischen Größen u.a. der Heizenergiebedarf von Räumen und Gebäuden abgeleitet. Bei der Feststellung der energetischen Qualität eines Gebäudes in Bezug auf die tatsächliche Klimaschutzwirkung sollte mit angepassten U-Werten gearbeitet werden.

Die Anrechnung der CO₂-Senkenwirkung von Massivholz ist auch deshalb sinnvoll, weil hiermit im Gegensatz etwa zu Dämmmaßnahmen im Gebäudebestand eine unmittelbare und sofortige Reduzierung von Treibhausgasen erreicht wird. Bei Sanierungen oder thermischen Ertüchtigungen im Gebäudebestand hingegen steht der CO₂-Einsparung durch geringeren Heizenergiebedarf ein erhöhter CO₂-Ausstoß bei den Herstellungs- und Verarbeitungsprozessen gegenüber. Positive Auswirkungen auf den Klimaschutz können unter diesen Voraussetzungen erst nach Jahren oder Jahrzehnten erreicht werden.

In den Kapiteln 5.3 und 5.4 werden konkrete Berechnungen zur Ermittlung solcher ΔU -Werte durchgeführt. Zur Berechnung dieser Größe werden in Kapitel 5.3 als Basis GWP₁₀₀-Werte aus Öko-Datenbanken verwendet. In Kapitel 5.4 wird ein Berechnungsverfahren unter Zugrundelegung der chemischen Zusammensetzung von Holz und der Kohlenstoffspeicherwirkung infolge stofflicher Nutzung dargestellt. Bezogen auf eine Massivholzaußenwand mit Dicke 240 mm kommen beide Berechnungsverfahren trotz sehr unterschiedlicher Ansätze annähernd zu gleichen Ergebnissen. Unter Berücksichtigung der tatsächlichen Kohlenstoffsinkenleistung ergibt sich für eine solche Wand ein ΔU von 0,16 - 0,17 W/m²K.

Der Vorteil des Berechnungsverfahrens nach Kapitel 5.4 (bei nahezu gleichen Ergebnissen wie Punkt 5.3) liegt darin, dass für diesbezügliche rechnerische Nachweise auf den Einsatz von Ökobilanzen bzw. Umwelt-Produktdeklarationen verzichtet werden kann. Die Ergebnisse solcher Deklarationen werden durch die individuelle Definition von Randbedingungen und Systemgrenzen entscheidend beeinflusst. Eine Vergleichbarkeit von verschiedenen Baustoffen und Bauarten wird hierdurch erschwert. Nicht zuletzt diese Unsicherheiten sind ein Hemmschuh für die Einbeziehung von Umweltaspekten in normative Berechnungsverfahren zum Wärme- und Klimaschutz in der Gegenwart. Auch existieren gegenwärtig (nach dem Kenntnisstand des Unterzeichners) keine Produktdeklarationen mit Berücksichtigung des CO₂-Haushalts nach Verlassen des Werkstores Vorlieferant Blockbalken. Für einen schlüssigen Nachweis müssten weitere Transporte, Weiterverarbeitungen, Zugaben von Klebstof-

fen und Verbindungsmitteln usw. mit erfasst werden. Eine solche erweiterte Umwelt-Produktdeklaration aus Sicht der Weiterverarbeitung bedarf einer sehr umfassenden und aufwändigen Datenerhebung.

Traunstein, 17. September 2014

gez. Josef Egle

7. Literaturquellen

- [1] Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19.05.2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Energy Performance of Buildings Directive)
- [2] ISO 14040:2006; Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework (ISO 14040:2006)
- [3] EN 15804:2012; Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products
- [4] Informationsportal Nachhaltiges Bauen; Ökobau.dat; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
- [5] IBO - Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie (Verein) und IBO GmbH, baubook rechner für Bauteile
- [6] Albrecht, S.; Rüter, S.; Welling, J.; Knauf, M.; Mantau, U.; Braune, A.; Baitz, M.; Weimar, H.; Sörgel, S.; Kreissig, J.; Deimling, J.; Hellwig, S. (2008): ÖkoPot - Ökologische Potenziale durch Holznutzung gezielt fördern. Abschlussbericht zum BMBF-Projekt FKZ 0330545, Stuttgart, 298 S.
- [7] Wegener, G.; Pahler, A.; Tratzmiller, M.; Bauen mit Holz = aktiver Umweltschutz; Ein Leitfaden, Holzforschung München 2010
- [8] Rüter, S.; Umwelt-Produktdeklaration für Bauprodukte nach EN 15804; holztechnologie 53 (2012) 4
- [9] Egle, J.; Massivholzhäuser: Studie zur Ökobilanzierung nach ISO 14040/14044 und zur energetischen Bewertung nach der Europäischen Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD Energy Performance of Buildings Directive); Forschungsprojekt Massivblock 20+, Schlussbericht 2011
- [10] Hauser, G.; Lüking, R.-M.; Die Klimaentlastung durch Massivholzbauarten; Grundlagen und Möglichkeiten der Berücksichtigung der CO₂-Senkenleistung von Außenbauteilen aus Massivholz im Rahmen der gesetzlichen Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden; Gutachten im Auftrag des Deutschen Massivholz- und Blockhausverbandes e.V. und der Gütegemeinschaft Blockhausbau e.V.; 2012-06