

Stellungnahme

zur Studie

**„Treibhausgasbilanzierung von Holzgebäuden – Umsetzung
neuer Anforderungen an Ökobilanz und Ermittlung
empirischer Substitutionsfaktoren (THG-Holzbau)“**

der Ruhr-Universität Bochum aus dem Jahr 2017

Auftraggeber: Deutsche Gesellschaft für Mauerwerks- und Wohnungsbau

Herr Dr. Ronald Rast

Kochstraße 6-7

10969 Berlin

Aktenzeichen:

Diese Stellungnahme umfasst 18 Seiten.

Darmstadt, den 3. März 2018

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Zielsetzung	3
2	Unterlagen.....	3
3	Kurzzusammenfassung der Studie RUB-Studie.....	4
4	Kritische Würdigung der RUB-Studie.....	4
4.1	Vorbetrachtungen.....	4
4.2	Festlegung des energetischen Standards der bilanzierten Gebäude	4
4.3	Wahl der räumlichen Systemgrenze und Festlegung der funktionellen Einheit.....	5
4.4	Wahl der zeitlichen Systemgrenze	5
4.5	Nichtberücksichtigung des betrieblichen Energieeinsatzes.....	5
4.6	Grundlegende Annahmen über die CO ₂ -Speicherwirkung und die Verwertung von Holz am End-of-Life.....	6
5	Quantitative Verifizierung der Ergebnisse der RUB-Studie mittels Vergleichsstudie	7
5.1	Exemplarische Ergebnisse der RUB-Studie [1]	7
5.2	Grundlagen der Vergleichsstudie (LCEE-Studie) [2]	8
5.3	Exemplarische Ergebnisse der LCEE-Studie [2]	9
5.4	Gegenüberstellung beider Studien unter Verwendung aktualisierter Ökobilanzen.....	10
5.5	Ermittlung des THG-Substitutionspotenzial	12
6	Ergänzende Nachhaltigkeitsaspekte bei der Beurteilung von Wohngebäuden aus Mauerwerk und in Holzbauweise	14
6.1	Verfügbarkeit der Ressource Holz als Werkstoff im Bausektor.....	14
6.2	Herstellungskosten von Wohngebäuden aus Mauerwerk und in Holzbauweise.....	14
7	Zusammenfassende Bewertung und Fazit.....	16

1 Veranlassung und Zielsetzung

Im Jahr 2017 wurde eine Untersuchung der Ruhr-Universität Bochum (RUB) [1] zu möglichen Reduktionen des Treibhausgaspotenzials im Wohngebäudebereich bei einer verstärkten Substitution mineralischer Baustoffe durch den Werkstoff Holz veröffentlicht. Die Studie kommt zu dem für die Massivbauweise nachteiligen Ergebnis, dass der Einsatz von Holz enorme Substitutionspotenziale bieten würde und darum die Holzbaupraxis im Rahmen des Klimaschutzprogramms der Bundesregierung vorrangig gefördert werden sollte. Die Ergebnisse der Studie sind allerdings für die *reale* Baupraxis zu hinterfragen und wissenschaftlich abzusichern, bevor politische Entscheidungen für oder gegen die eine oder die andere Bauweise getroffen werden können. Vor diesem Hintergrund hat die Deutsche Gesellschaft für Mauerwerks- und Wohnungsbau e.V. (DGfM) das Institut für Massivbau (IfM) der Technischen Universität Darmstadt mit der wissenschaftlichen Analyse der oben genannten Studie beauftragt.

Ziel dieser Stellungnahme ist die kritische Analyse und Würdigung der Ergebnisse der RUB-Studie und der darin enthaltenen Forderungen zur Substitution mineralischer Baustoffe in Bauwerken durch den Werkstoff Holz. Der Fokus soll auf Wunsch des Auftraggebers insbesondere auf einer wissenschaftlich fundierten Überprüfung der im Rahmen der ökobilanziellen Betrachtungen getroffenen Annahmen sowie der verwendeten Methodik liegen. Des Weiteren sollen die zur Erreichung klimaschutzpolitischer Ziele erhobenen Forderungen kritisch beleuchtet werden. In diesem Kontext sollen auch die Ergebnisse der Vergleichsstudien [2] und [3], die von der DGfM in Auftrag gegeben wurden, analysiert sowie die Erkenntnisse ergänzender Untersuchungen [4], [5] und [7] herangezogen werden. Auf diese Weise wird verifiziert, ob die in [1] formulierten Forderungen einer ganzheitlichen Betrachtung der Nachhaltigkeit gerecht werden und ob die in diesem Zusammenhang aufgestellte Behauptung hinsichtlich einer deutlichen ökologischen Vorteilhaftigkeit der Holzbaupraxis gegenüber der Massivbauweise quantitativ wissenschaftlich abgesichert ist.

2 Unterlagen

Dieser Stellungnahme liegen folgende Unterlagen zu Grunde:

- [1] Hafner, A., et al.: Treibhausgasbilanzierung von Holzgebäuden – Umsetzung neuer Anforderungen an Ökobilanzen und Ermittlung empirischer Substitutionsfaktoren (THG-Holzbau). Ruhr-Universität Bochum (RUB), Lehrstuhl für Ressourceneffizientes Bauen, Bochum 2017.
- [2] Pohl, S.: CO₂-Tonnagen und Wärmespeichereffekte über den Lebenszyklus von Gebäuden. LCEE Life Cycle Engineering Experts GmbH, Darmstadt 2017.
- [3] Pohl, S.: Betrachtungen zur Nachhaltigkeitsqualität der Holzbaupraxis im Wohnungsbau. LCEE Life Cycle Engineering Experts GmbH, Darmstadt 2017.
- [4] Lahme, A., Buchholz, S.: Einfamilien-Typenhaus nach EnEV-2016-Standard in verschiedenen Bauweisen – Beratung zur Verbesserung des thermischen Komforts und zur Energieeinsparung. alware GmbH, Braunschweig 2015.
- [5] Lahme, A.: Mehrfamilien-Typenhaus nach EnEV-2016-Standard in verschiedenen Bauweisen – Beratung zur Verbesserung des thermischen Komforts und zur Energieeinsparung. alware GmbH, Braunschweig 2015.
- [6] BKI Baukosteninformationszentrum [Hrsg.]: BKI Baukosten 2017 Neubau. Statistische Kostenkennwerte für Gebäude, Stuttgart 2017.
- [7] ARGE//eV: Massiv- und Holzbau bei Wohngebäuden - Vergleich von massiven Bauweisen mit Holzfertigbauten aus kostenseitiger, bautechnischer und nachhaltiger Sicht, Bauforschungsbericht Nr. 68, Kiel 2015.
- [8] Umweltbundesamt [Hrsg.]: Nachhaltige Waldwirtschaft. Holznutzung nahe am Zuwachs. Online unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/nachhaltige-waldwirtschaft>.

3 Kurzzusammenfassung der Studie RUB-Studie

Die Studie „THG-Holzbau“ der Ruhr-Universität Bochum (RUB-Studie) [1] hat zum Ziel, den Einfluss des Bauens mit Holz im Rahmen des nationalen Klimaschutzprogramms darzustellen. Hierzu wurden für verschiedene Typen von Einfamilienhäusern (EFH) und Mehrfamilienhäusern (MFH) sowie für unterschiedliche Ausführungsvarianten in Holz- und Massivbauweise vergleichende Ökobilanzen erstellt. Anhand der Ergebnisse soll das Potenzial dargestellt werden, in welchem Umfang Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) im Gebäudelebenszyklus über eine Substitution von Gebäuden aus vorwiegend mineralischen Baustoffen durch Gebäude in Holzbauweise reduziert werden können (Kap. 3 und Kap. 4). Die hieraus resultierende, potenzielle CO₂-Reduktionswirkung auf die nationale THG-Bilanz wird anschließend auf nationaler Ebene der Wohnungsbauwirtschaft quantifiziert (Kap. 5). Ergänzt werden die Ausführungen um eine Darstellung der Herausforderungen eines verstärkten Holzeinsatzes im Bausektor (Kap. 6). Die Studie kommt zu dem Schluss, dass der Werkstoff Holz wegen seiner natürlichen CO₂-Speicherwirkung ein großes Potenzial zur Reduktion von THG-Emissionen aufweist. Die Verfasser fordern daher eine erhebliche Steigerung der Holzbauquote im Segment des Wohnungsneubaus.

4 Kritische Würdigung der RUB-Studie

4.1 Vorbetrachtungen

Die in der RUB-Studie verwendeten Methoden zur ökologischen Bewertung orientieren sich laut Verfasser an den Vorgaben des *Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen* (BNB) und des *Bewertungssystems Nachhaltiger Wohnungsbau* (NaWoh) ([1], S. 30), sodass sich die Ergebnisse grundsätzlich mit der gängigen Zertifizierungspraxis des *Deutschen Gütesiegels Nachhaltiges Bauen* (DGNB) vergleichen lassen sollten. Die beschriebene ökobilanzielle Vorgehensweise und Methodik entspricht bzgl. normativem Rahmen, Systemgrenzen, Abschneidekriterien, funktionellen Äquivalenten und ökobilanziellen Basisdaten einer normkonformen Ökobilanzierung.¹ Jedoch sind einige der getroffenen Festlegungen und angenommenen Randbedingungen diskussionswürdig, weil sie erhebliche Auswirkungen auf die ökobilanziellen Ergebnisse und die zugehörigen Vergleiche der Bauweisen sowie auf die Bestimmung möglicher Substitutionspotenziale haben. Die kritischen Aspekte werden nachfolgend thematisiert sowie deren Auswirkungen auf die ökobilanzielle Bewertung und das Substitutionspotenzial unter Verwendung einer Vergleichsstudie quantitativ verifiziert (siehe Kap. 0).

4.2 Festlegung des energetischen Standards der bilanzierten Gebäude

Die betrachteten und ökobilanzierten Gebäude in der RUB-Studie sollen dem „EnEV-Standard 2009 oder besser“ ([1], S. 21) entsprechen. Tatsächlich zeigt Tabelle 3 der Studie ([1], S. 26), dass die untersuchten Gebäude eine Fülle an unterschiedlichen energetischen Standards aufweisen (EnEV 2009, KfW 70, KfW 55-70, Passivhausstandard, etc.). Diese Diversität spiegelt sich auch in den teilweise voneinander abweichenden U-Werten der Gebäudehülle wider und hat zur Folge, dass die betrachteten Gebäude hinsichtlich ihrer energetischen Qualität nicht alle funktionell äquivalent und demnach nicht unmittelbar vergleichbar sind.

Die Wahl des energetischen Standards hat bei der Ökobilanzierung einen grundsätzlichen Einfluss auf die Höhe der Ergebnisse der Konstruktion als auch der Gebäudenutzungsphase. In dieser Hinsicht ist die RUB-Studie nicht konsistent und sorgt für eine verzerrende vergleichende Bewertung.

¹ Die Ergebnisse der RUB-Studie wurden einem normkonformen „Critical Review“ unterzogen, dessen Anlagen zum Prüfbericht sowie die eigentlichen ökobilanziellen Berechnungen allerdings nicht öffentlich zugänglich sind.

4.3 Wahl der räumlichen Systemgrenze und Festlegung der funktionellen Einheit

Die RUB-Studie exkludiert generell Kellergeschosse und begründet dies mit der Tatsache, dass die ökobilanzielle Wirkung dieser Geschosse für alle betrachteten bzw. ökobilanzierten Gebäude identisch sei. Tatsächlich werden Keller unabhängig der Bauweise des Gebäudes regelmäßig in Massivbauweise, insbesondere in Stahlbetonweise, errichtet ([1], S. 32).

Durch die Vernachlässigung von Kellern wird das absolute Gesamtergebnis der Ökobilanz eines Gebäudes verringert, wodurch sich – bei Verwendung der verringerten Absolutwerte als Bezugsgröße – das mögliche THG-Substitutionspotenzial unrealistisch vergrößert. Da in den ökobilanziellen Berechnungen der RUB-Studie Kellergeschosse grundsätzlich unberücksichtigt bleiben, weisen deren Verfasser folglich auch zu hohe Substitutionspotenziale aus.

Daneben wurde in der RUB-Studie die Brutto-Grundfläche (BGF) gemäß DIN 277 als Bezugsgröße der Ökobilanzergebnisse gewählt ([1], S. 33). Diese umfasst neben der tatsächlich nutzbaren Netto-Grundfläche (NGF) auch jene Flächen, die durch die Konstruktion (insbesondere Wände) überdeckt wird. Die Wahl der BGF als funktionelle Einheit hat zwar keinen Einfluss auf das errechnete Substitutionspotenzial, da die Bezugsgröße für alle zu vergleichenden Ausführungsvarianten dieselbe ist. Doch unabhängig davon, dass nur die Netto-Grundfläche die DGNB-konforme Bezugsgröße darstellt, resultieren aus der Wahl der BGF als funktionelle Einheit im Vergleich zu bekannten Werten vermeintlich niedrigere Ökobilanzergebnisse je m².

4.4 Wahl der zeitlichen Systemgrenze

Der Betrachtungs- und Bilanzierungszeitraum der RUB-Studie beträgt 50 Jahre. Der angenommene Gebäudelebenszyklus entspricht somit den Vorgaben des DGNB. Dies führt aber gleichzeitig dazu, dass sich eine höhere oder niedrige Dauerhaftigkeit unterschiedlicher Primärtragwerke nicht auf die Gesamtergebnisse niederschlagen kann. Im Allgemeinen kann von einer durchschnittlichen Lebensdauer eines Wohngebäudes von 80 Jahren ausgegangen werden, was wiederum unterschiedliche Auswirkungen auf die Ökobilanzergebnisse verschiedener Bauweisen und die zugehörigen Substitutionspotenziale hat.

Je länger die Lebensdauer, desto günstiger sind die auf das Jahr bezogenen ökobilanziellen Ergebnisse langlebiger Baustoffe. Dies steht im Widerspruch zu der Behauptung der Verfasser der RUB-Studie, wonach eine Verlängerung des Betrachtungszeitraums keine Auswirkungen auf die Gesamt-Ökobilanzergebnisse von Konstruktionen unterschiedlicher Bauweisen habe ([1], S. 32).

4.5 Nichtberücksichtigung des betrieblichen Energieeinsatzes

In der RUB-Studie wird der Energieeinsatz während der Nutzungsphase ausdrücklich nicht berücksichtigt, d.h. es wird insbesondere die Wärme- und Stromversorgung des Gebäudes über die gesamte Lebensdauer exkludiert. Der Ausschluss erfolgt mit der Begründung, dass der Energiebedarf aufgrund der funktionellen (energetischen) Äquivalenz für alle betrachteten und bilanzierten Untersuchungsobjekte gleich hoch und darum für eine vergleichende Bewertung irrelevant sei ([1], S. 32). Unabhängig davon, dass die energetische Äquivalenz nach dem Verständnis der Verfasser lediglich als energetische Mindestqualität (mindestens EnEV 2009, vgl. Abschnitt 4.2) definiert wird, ist selbst ein identischer Energieeinsatz bei der Bestimmung von THG-Substitutionspotenzialen von erheblicher Bedeutung. Die Nutzungsphase bzw. der Wärme- und Strombedarf determiniert bei einer Ökobilanzierung nach DGNB/BNB bzw. NaWoh regelmäßig – auch bei Niedrig-Energiestandards – den größten Anteil am Endergebnis und beeinflusst daher die absoluten Ökobilanzergebnisse über den Lebenszyklus maßgeblich.²

² Auch die in Abschnitt 5.3 dargestellten Berechnungen zeigen, dass die Gesamt-Ökobilanzergebnisse über den Lebenszyklus zu 65 bis 72 % im Falle der EFHs und 48 bis 53 % im Falle der MFHs vom Energieeinsatz während der Nutzungsphase bestimmt werden.

Durch das in der RUB-Studie gewählte Vorgehen, die Nutzungsphase bei der Bewertung unberücksichtigt zu lassen, wird die absolute Bezugsbasis für die Bestimmung von THG-Substitutionspotenzialen wegen der um ein Vielfaches geringeren Emissionen verkleinert **und in der Folge das relativ mögliche Reduktionspotenzial unrealistisch vergrößert** (vgl. Abschnitt 5.5).

Neben der verzerrenden Wirkung auf die Gesamtergebnisse durch Ausschluss des Energieeinsatzes über die Nutzungsphase führt die Wahl der Bauweise – entgegen des Wortlauts der RUB-Studie – in der Realität sehr wohl zu Veränderungen des Energiebedarfs: Weil der Heizenergiebedarf von der thermischen Speicherefähigkeit der verwendeten Baumaterialien beeinflusst wird, können sich die Bedarfswerte trotz energetischer Äquivalenz (d.h. im Sinne identischer U-Werte) unterscheiden.³ Des Weiteren wirkt die größere Masse und höhere thermische Trägheit massiver Bauteile aus mineralischen Baustoffen bei Temperaturänderungen puffend, weil Wärme aufgenommen und zeitverzögert abgegeben wird. Temperaturschwankungen fallen dadurch geringer aus und Überhitzungen treten weniger schnell ein. Dieser Effekt kann das Gesamtergebnis der Ökobilanz eines Gebäudes über dessen Lebensdauer nicht unerheblich beeinflussen (vgl. Kap. 5.2)

4.6 Grundlegende Annahmen über die CO₂-Speicherwirkung und die Verwertung von Holz am End-of-Life

Die RUB-Studie fokussiert auf die CO₂-Speicherwirkung des Baustoffs Holz und unterstellt eine thermische Verwertung zur Energiegewinnung am Ende der Nutzungsphase ([1], S. 36 f.) Während diese Annahme grundsätzlich normkonform ist und auch in den nationalen ökobilanziellen Basisdaten so abgebildet wird, sollte diese Annahme dennoch kritisch hinterfragt werden. Ausführliche Untersuchungen [3] betonen, dass die originäre Funktion des Holzes (in Ausgestalt des Baumes) als CO₂-Speicher nur vorübergehend ist. Erstens kann Holz in Form des gefällten Baumes kein weiteres CO₂ mehr einspeichern, denn bis ein zum gefällten Baum vergleichbares Pendant nachgewachsen ist, vergehen bei den baukonstruktiv nahezu überwiegend eingesetzten Nadelbaumarten (Kiefer und Fichte) bis zu 140 Jahre. Dieser Zeitraum übersteigt nicht nur die durchschnittliche Lebensdauer eines Wohngebäudes von 80 Jahren, sondern liegt noch deutlicher über der (fiktiven) zeitlichen Systemgrenze von nur 50 Jahren gemäß DGNB. Zweitens ist die Öko- bzw. CO₂-Bilanz des Werkstoffs Holz im quantitativen Sinn nicht einseitig positiv in Form stets günstiger (negativer) CO₂-Emissionen, d.h. in Form einer ausschließlichen Speicherwirkung von CO₂, zu betrachten.

Der Baustoff Holz stellt lediglich einen zeitlich begrenzten, temporären CO₂-Zwischenspeicher dar, weil Holzbauteile bzw. -bauwerke am Ende des Lebenszyklus grundsätzlich ihr gesamtes gespeichertes CO₂ vollständig wieder freisetzen.

In diesem Kontext wird in [3] korrekterweise darauf hingewiesen, dass die ökobilanziellen Basisdatensätze für Holz in Deutschland derart modelliert sind, dass Holzwerkstoffe rechnerisch mehr CO₂ einspeichern als während der Herstellungsphase und bei der thermischen Verwertung am Lebenszyklusende freigesetzt werden, wobei von einer Substitution fossiler Brennstoffe ausgegangen wird. Die zum heutigen Bilanzierungszeitpunkt bei der ökologischen Bewertung verwendete Datengrundlage setzt voraus, dass das eingesetzte Holz in 50 Jahren vollständig thermisch verwertet wird und damit fossile Energieträger substituiert. Wenn zukünftig aufgrund der klimapolitischen Anstrengungen im Rahmen der Energiewende ausschließlich klimaneutrale Energieerzeugungsquellen (Sonne, Wind, Geothermie) zum Einsatz kommen, ist in Konkurrenz zu den emissionsfreien Energieträgern die ökologische Vorteilhaftigkeit der thermischen Verwertung von Holz nicht mehr gegeben. In diesem Fall wird aus der vermeintlichen CO₂-Senke Holz eine CO₂-Quelle.

³ In Häusern aus mineralischen Baumaterialien sind die heizfreien Zeiträume in den Übergangsphasen zwischen Heizperiode und Nicht-Heizperiode (April bzw. Oktober) aufgrund ihrer Wärmespeicherkapazität länger. Infolgedessen sinkt der Heizenergiebedarf.

5 Quantitative Verifizierung der Ergebnisse der RUB-Studie mittels Vergleichsstudie

5.1 Exemplarische Ergebnisse der RUB-Studie [1]

Eine vollständige quantitative Verifizierung der Ergebnisse der RUB-Studie ist aus den folgenden Gründen nur eingeschränkt möglich:

- Die ökobilanziellen Berechnungen der RUB-Studie sind nicht öffentlich zugänglich.
- In der veröffentlichten Version der RUB-Studie werden lediglich die Ökobilanzergebnisse zweier Musterhäuser (EFH1.2 und MFH2.7) dargestellt, sodass sich im Folgenden eine vergleichende Analyse auf diese beiden Häuser beschränken muss.
- In den Ergebnisgrafiken der RUB-Studie stehen konkrete Zahlenwerte nur für die aggregierten Gesamt-Ökobilanzergebnisse zur Verfügung. Zwischenergebnisse für die einzelnen Lebenszyklus-Module A, B, C und D können nur optisch abgelesen werden ([1], S. 44 bzw. S. 48).

Die Ergebnisse der RUB-Studie werden exemplarisch für das in den folgenden Betrachtungen relevante EFH1.2 in **Abbildung 1** dargestellt. In diesem Typgebäude werden vier verschiedene Ausführungsvarianten für die Konstruktion abgebildet ([1], S. 26):

- Holztafelbauweise (HTB)
- Massivholzbauweise
- Massivbauweise mit Hochlochziegeln (HLZ) und Wärmedämmverbundsystem (WDVS)
- Einschalige Massivbauweise mit dämmstoffgefüllten HLZ

Es ist zu betonen, dass Außenwandkonstruktionen aus HLZ und WDVS in der Praxis völlig unüblich sind. Vergleichbare Konstruktionen werden vielmehr in Kalksandstein ausgeführt (vgl. Abschnitt 5.2).

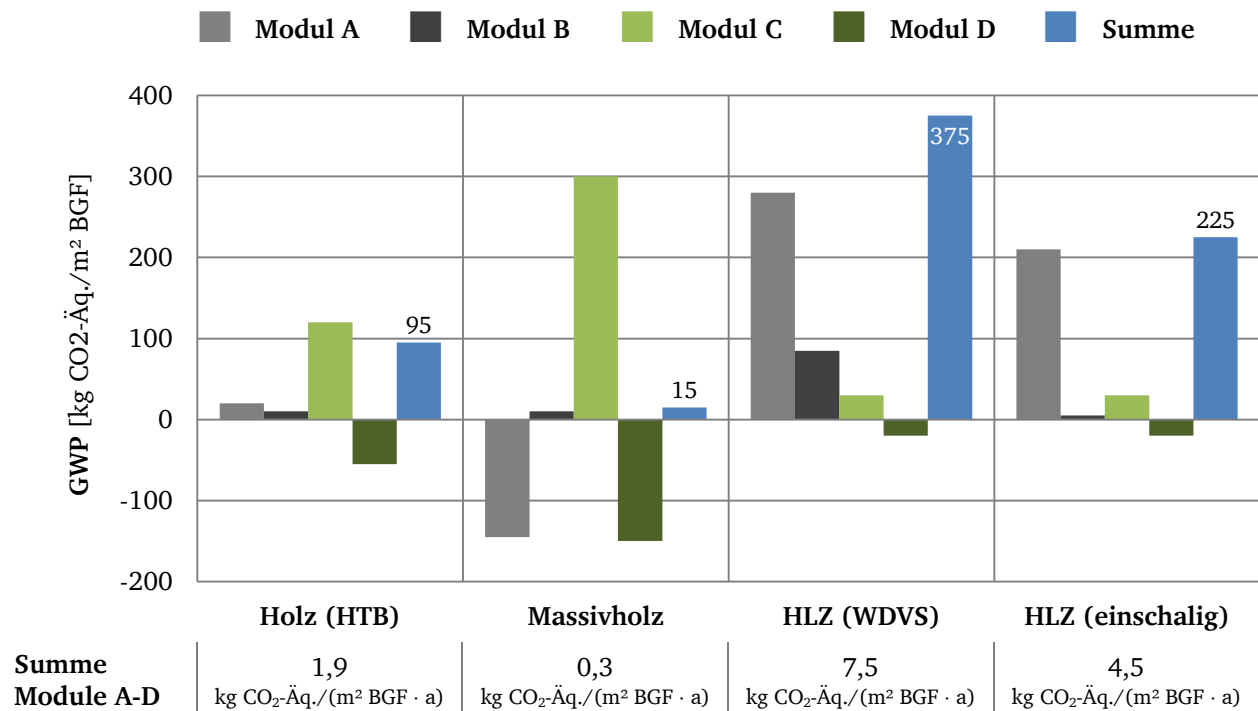


Abbildung 1: Ergebnisse für das EFH1.2 der RUB-Studie (vgl. [1], S. 44)

Mithilfe des Betrachtungszeitraums von 50 Jahren lassen sich normierte – und der gängigen Darstellung nach DGNB/BNB bzw. NaWoh entsprechende – jahresbezogene Emissionswerte generieren, wie sie unterhalb von **Abbildung 1** für jede der vier Varianten angegeben sind. Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass die Ergebnisse der RUB-Studie auf den m² BGF bezogen werden. Für Vergleiche mit Ergebnissen, die DGNB-konform auf die NGF bezogen sind, ist zunächst eine Transformation durchzuführen (vgl. Abschnitt 5.4).

5.2 Grundlagen der Vergleichsstudie (LCEE-Studie) [2]

Durch die *LCEE Life Cycle Engineering Experts GmbH* (LCEE) wurde eine vergleichende Studie der ökobilanziellen Wirkungen unterschiedlicher Bauweisen durchgeführt [2], indem ein Muster-EFH und ein Muster-MFH (siehe **Abbildung 2**) über einen Gebäudelebenszyklus von 50 Jahren norm- und DGNB-konform ökobilanziell analysiert und bewertet wurden.⁴ Die beiden Mustergebäude wurden wiederum in fünf bzw. sechs verschiedenen Ausführungsvarianten modelliert, um ähnlich differenzierte Bauweisen wie in der RUB-Studie abzubilden. Zu diesem Zweck erfolgte eine Variation der Außenwandbauteile im Hinblick auf Ausführungsvarianten in Mauerwerk (Ziegel, Kalksandstein sowie Poren- und Leichtbeton), Stahlbetonweise (nur für das Muster-MFH) und Holzbauweise (HTB). Dabei ist in allen Gebäudevarianten eine funktionelle (energetische) Äquivalenz gegeben, da die Bauteile der Gebäudehülle **dieselben U-Werte gemäß Maßgabe der EnEV 2016 aufweisen**. Ferner erfolgte eine Differenzierung der Holzbauweise mithilfe zweier Untervarianten, indem die Geschossdecken entweder aus Holz oder Stahlbeton modelliert wurden. Massivdecken werden im Wohnungsbau häufig wegen Vorteilen bei thermischer Behaglichkeit und Raumakustik eingesetzt.



Abbildung 2: Ansichten des Typgebäudes EFH (oben) nach [4] und MFH (unten) [5]

Die in Abschnitt 4.5 bereits beschriebenen Unterschiede im thermischen Verhalten von Häusern in Massiv- bzw. Holzbauweise führen zu unterschiedlichen Heizenergiebedarfen. Hierzu wurden in [4] und [5] energetische Gebäudesimulationen an den in der LCEE-Studie betrachteten Mustergebäuden durchgeführt. Gemäß diesen Studien liegen die entsprechenden Reduktionen des Heizenergiebedarfs je nach Mauerwerksbauweise bei bis zu 8 % für das Muster-EFH bzw. bis zu 9 % für das Muster-MFH im Vergleich zur Ausführungsvariante in Holzbauweise (siehe **Tabelle 1**).

Tabelle 1: Durchschnittliche Wärmespeichereffekte in den Mustergebäuden nach [4] bzw. [5]

Bauweise EFH nach [4]	Heizenergie- bedarf [MWh]	Abweichung zu Referenz (Holz)	Bauweise MFH nach [5]	Heizenergie- bedarf [MWh]	Abweichung zu Referenz (Holz)
<i>Holz (Referenz)</i>	<i>8,5</i>	–	<i>Holz (Referenz)</i>	<i>30,3</i>	–
Leichtbeton	7,9	–7 %	Leichtbeton	27,6	–9 %
Porenbeton	8,1	–5 %	Porenbeton	27,7	–9 %
Kalksandstein	8,0	–6 %	Kalksandstein	28,2	–7 %
HLZ (einschalig)	7,8	–8 %	HLZ (einschalig)	27,7	–9 %
Ø Mauerwerk	7,95	–6,5 %	Ø Mauerwerk	27,8	–8,5 %
			Stahlbeton	28,8	–5 %

⁴ Die Ergebnisse werden mit einem Aufschlag („Kleinteilfaktor“) von 10 % belegt, da die Ökobilanz gemäß dem üblicherweise angewendeten „Vereinfachten Verfahren“ nach DGNB erfolgte. Hierbei werden nur bestimmte Bauteile der Kostengruppen nach DIN 276 ökobilanziert, die einen wesentlichen Einfluss auf das Gesamtergebnis haben.

Das thermische Speicherverhalten der massiven Ausführungsvarianten und die einhergehende Verminderung des Heizenergiebedarfs kann in die Berechnung der Ökobilanz der Nutzungsphase implementiert werden, indem die ausgewiesenen Endenergiebedarfswerte, die unmittelbar mit dem Heizen in Verbindung stehen, um den entsprechenden Prozentsatz aus **Tabelle 1** verringert werden.

Die thermische Speicherfähigkeit mineralischer Baumaterialien verringert den Energieverbrauch und CO₂-Ausstoß in der Betriebsphase deutlich. Eine Berücksichtigung der thermischen Speicherfähigkeit in der RUB-Studie hätte folglich zu ungünstigeren Ergebnissen zu Lasten der Holzbauweise geführt.

5.3 Exemplarische Ergebnisse der LCEE-Studie [2]

Die Ökobilanzergebnisse der LCEE-Studie wurden nach den Vorgaben des DGNB auf den m^2 NGF bezogen sowie durch einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren dividiert. Die hieraus resultierenden normierten Kennzahlen werden für beide Musterhäuser in **Abbildung 3** dargestellt.

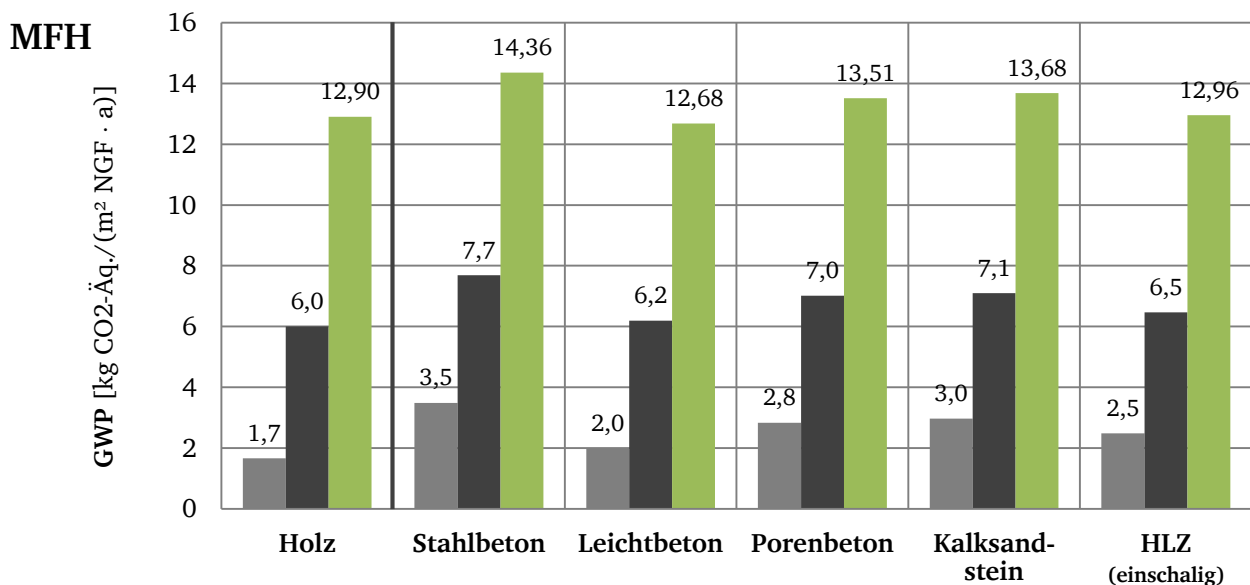
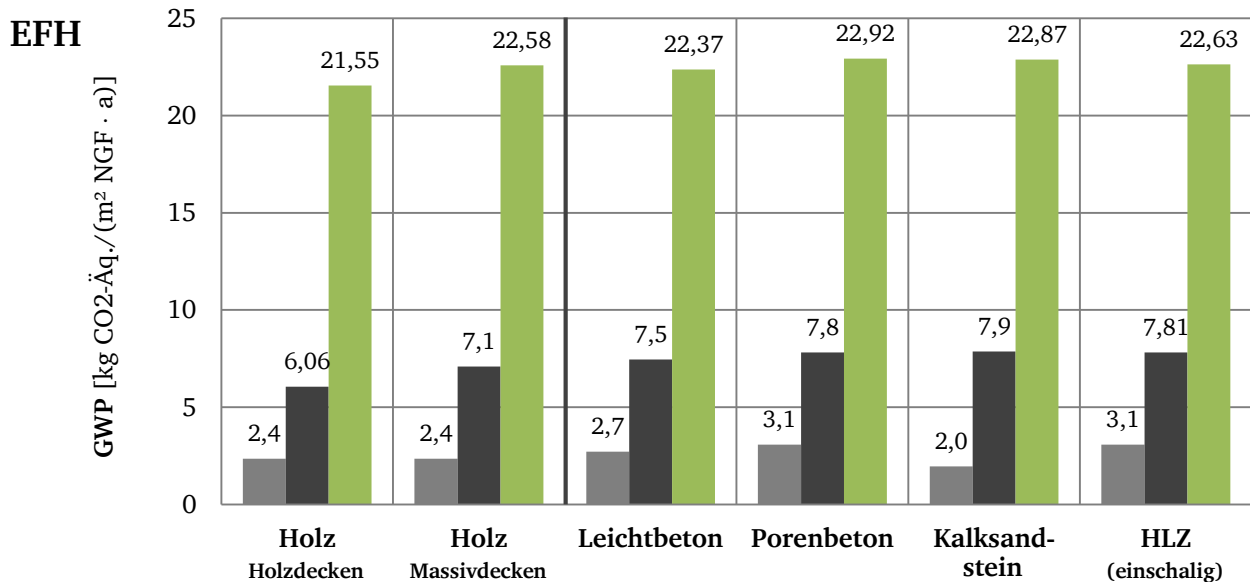
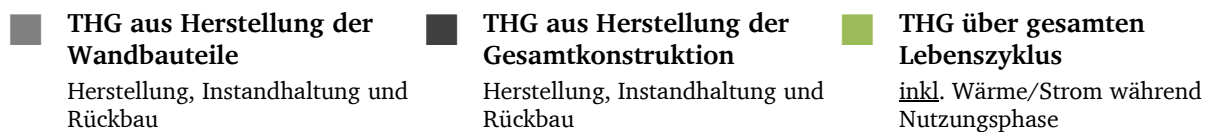


Abbildung 3: Ergebnisse der LCEE-Studie [2] für das Muster-EFH (oben) und Muster-MFH (unten)

Es ist ersichtlich, dass zwischen den Ausführungsvarianten in Mauerwerk- und Holzbauweise bei alleiniger Betrachtung des Wandbauteils signifikante Unterschiede in den verursachten THG-Emissionen während der Herstellungsphase bestehen. Dies liegt daran, dass bei mineralischen Baustoffen die ökobilanziellen Auswirkungen der Baustofferzeugung eingehen, während Holzwerkstoffe formal als CO₂-Senken modelliert werden und die entsprechende CO₂-Freisetzung erst am End-of-Life bilanziert wird (vgl. Abschnitt 4.6). Betrachtet man hingegen nicht nur die Erstellungsphase, sondern die gesamte Konstruktion über den kompletten Lebenszyklus, so egalisieren sich die THG-Emissionen der verschiedenen Bauweisen nahezu vollständig. Dies liegt zum einen daran, dass sich die CO₂-Speicherwirkung des Holzes in der Lebenszyklusphase des End-of-Life umkehrt, weil das bei der unterstellten thermischen Verwertung von Holz gespeicherte CO₂ wieder freigesetzt wird. Dies war auch bei den Ergebnissen der RUB-Studie für das Modul C an den relativ hohen Emissionswerten der Holzbauweise zu erkennen (siehe **Abbildung 1**). Zudem verursacht die Ausführungsvariante aus Holz aufgrund der vergleichsweise geringeren Wärmespeichereffekte deutlich mehr CO₂ in der Nutzungsphase (vgl. Abschnitt 4.5).

5.4 Gegenüberstellung beider Studien unter Verwendung aktualisierter Ökobilanzen

Die folgenden Ausführungen müssen sich auf eine Betrachtung der EFHs beschränken, da in der RUB-Studie nur ein in Massivholzbauweise erstelltes Muster-MFH zahlenmäßig dargestellt wird ([1], S. 48). In der vergleichenden Studie der LCEE GmbH wurde hingegen für Mehrfamilienhäuser keine Massivholzkonstruktion, sondern die übliche Holztafel- bzw. Holzständerbauweise mit zwischenliegendem Dämmstoff untersucht.

Ungeachtet der absoluten Werte der Ergebnisse bietet sich zunächst eine vergleichende Betrachtung beider Gebäude im Hinblick auf den bauteilbezogenen Anteil der THG-Emissionen in den Modulen A und C an (siehe **Abbildung 4**). Es fällt auf, dass das Fundament im EFH1.2 der RUB-Studie einen erheblich größeren Anteil an den gesamten THG-Emissionen (Module A und C) hat als im Muster-EFH der Vergleichsstudie. Dies könnte an einer Verwendung unterschiedlicher ökobilanzieller Eingangsdaten liegen. **Die Vermutung liegt nahe, dass in der RUB-Studie tendenziell ungünstigere Datensätze für die Umweltwirkung mineralischer Baumaterialien angewendet wurden als in der LCEE-Studie**, welche sich auf offizielle Datensätze der ÖKOBAUDAT bezieht. Für Befürworter des Holzbaus ist dies zunächst unproblematisch, denn das Fundament hat keinen negativen Einfluss auf die gewünscht hohen Substitutionspotenziale, da die Bodenplatte in allen Ausführungsvarianten – ob Holz- oder Massivbaubauweise – identisch ausgeführt wird. Umgekehrt führt dieses Vorgehen zu einer umgekehrten Wirkungsrichtung bei Betrachtung der Außenwände und des Daches. Obwohl in beiden Studien die Außenwände in Holzständerbauweise bzw. mit dämmstoffgefüllten Hochlochziegeln und die Dächer als Sparrendächer mit Mineralwollendämmung ausgeführt wurden, kommt es zu einer unterschiedlichen Gewichtung der THG-Emissionen zum Nachteil der Massivbauweise.

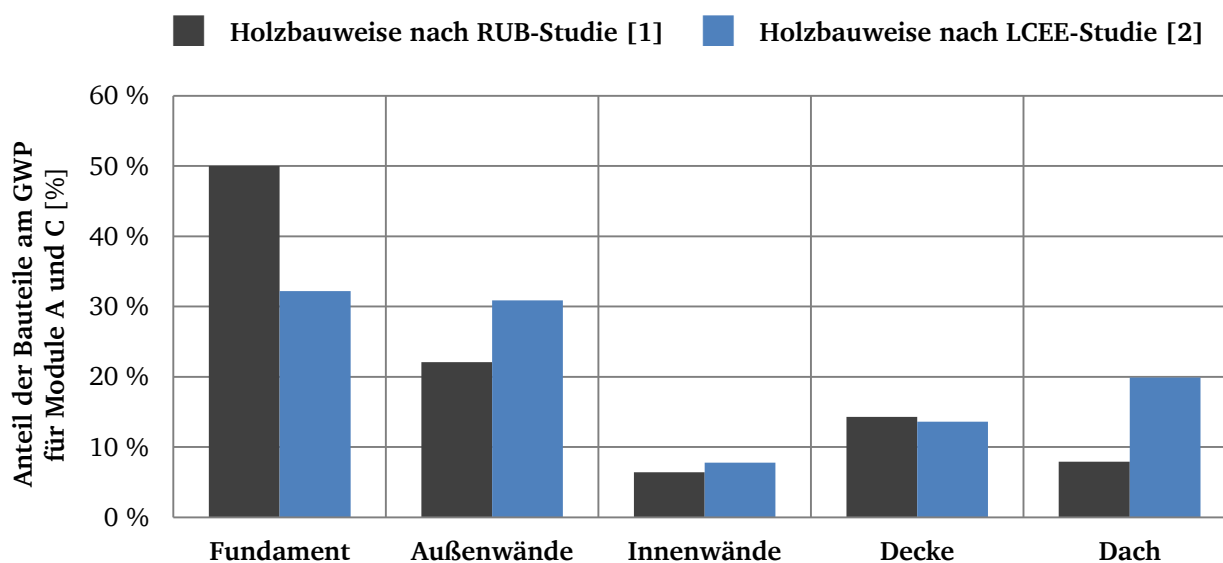


Abbildung 4: Bauteilbezogene Anteile der Emissionen des EFH1.2 (vgl. [1], S. 46) und des Muster-EFH nach [2] an den Gesamtemissionen der Konstruktion (Modul A und C)

Ein weiterer Einflussfaktor auf die Ergebnisse ist die Vernachlässigung von Kellergeschossen. In einer Fallstudie soll daher ein fiktives Kellergeschoss in die Ergebnisse der RUB-Studie *implementiert* werden. Hierfür muss zunächst die Grundfläche der Gebäude gedanklich um ein Kellergeschoss erweitert werden. Dabei wird angenommen, dass die Fläche des Kellergeschosses die des EG bzw. OG entspricht. Die Gesamtfläche vergrößert sich also um den Faktor 1,5, die Emissionen verringern sich um den Faktor 1/1,5. Die auf m^2 BGF bezogenen Werte der RUB-Studie müssen zusätzlich auf m^2 NGF transformiert werden. Gemäß [6], S. 339 beträgt der Anteil der Netto-Grundfläche an der Brutto-Grundfläche bei nicht unterkellerten Ein- und Zweifamilienhäusern im Mittel 78,4 %. Die m^2 -bezogenen Werte der RUB-Studie müssen also zusätzlich mit dem Faktor 1/0,784 multipliziert werden. Abschließend wird angenommen, dass die Umweltwirkungen eines fiktiven Kellergeschosses denen der LCEE-Studie [2] entsprechen.

In **Abbildung 5** werden mit dunkelgrauen Flächen die konstruktionsbedingten und lebenszyklusbezogenen THG-Emissionen des Erd- und Obergeschosses für das EFH1.2 aus der RUB-Studie dargestellt. Die Abbildung zeigt jeweils Ausführungsvarianten in Holztafelbauweise sowie mit einschaligem Mauerwerk aus HLZ als Vertreter der Massivbauweise. In beiden Fällen werden die Keller (Außenwände, Innenwände und Fundamente) in Massivbauweise ausgeführt. Bei der Holzbauweise besteht die Geschossdecke über dem Kellergeschoss aus Holz. Die THG-Emissionen aus der Konstruktion der Kellergeschosse betragen über den gesamten Lebenszyklus (Module A bis D) 1,39 kg CO₂-Äq. bei Holzbauweise und 2,26 kg CO₂-Äq. bei Massivbauweise, jeweils bezogen auf m^2 NGF und Jahr. **Es bestätigt sich, dass der Keller einen nicht unerheblichen Einfluss auf die Ökobilanzergebnisse hat und demnach in der RUB-Studie hätte berücksichtigt werden müssen.** Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass sich bei Berücksichtigung des Kellers die Geschossfläche als Bezugsgröße vergrößert, wodurch sich die ökologischen Auswirkungen des EG und OG verringern. Dennoch steigt beispielsweise das Treibhauspotenzial der Holzbauweise von jährlich 2,42 auf 3,00 kg CO₂-Äq./m² NGF bei Berücksichtigung eines Kellergeschosses.

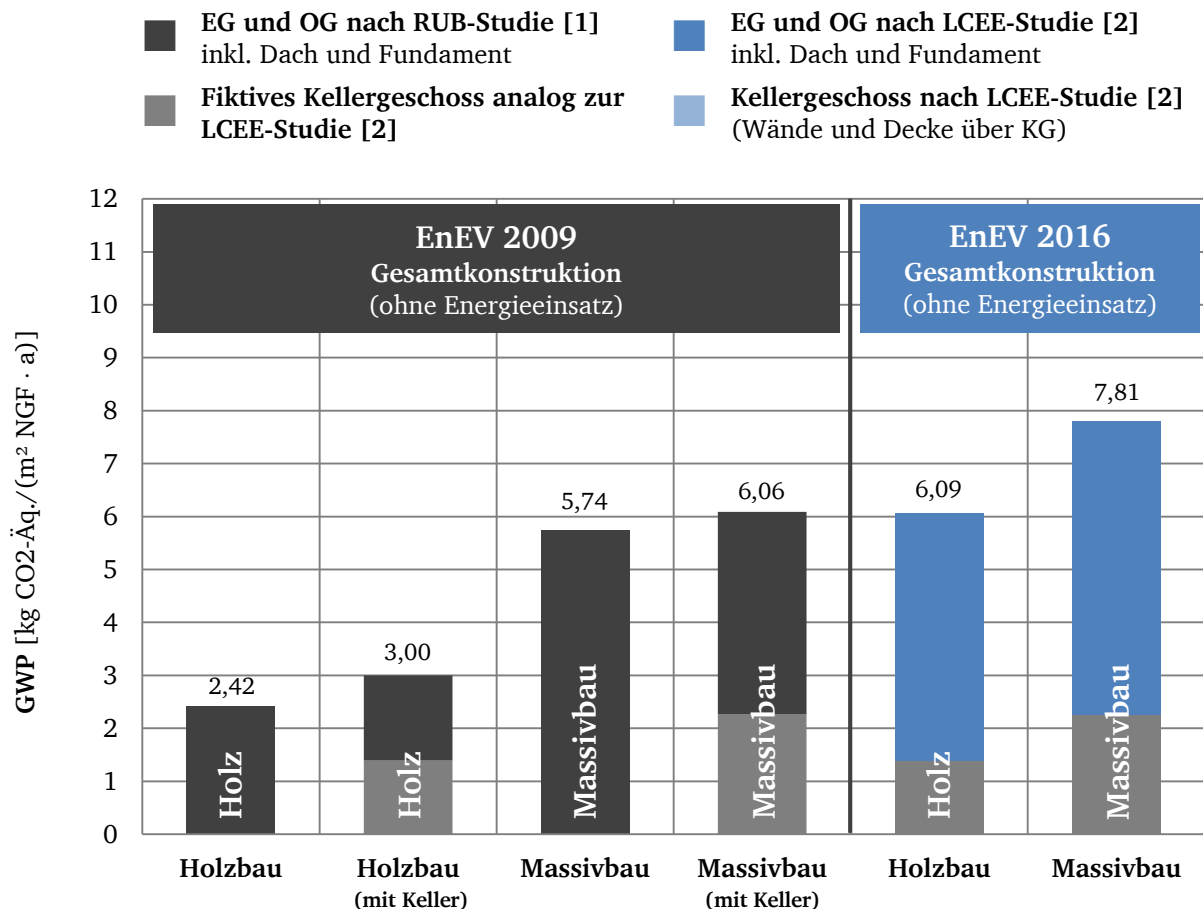


Abbildung 5: Gegenüberstellung der Emissionen der Gesamtkonstruktion über den Lebenszyklus von EFH1.2 aus „THG-Holzbau“ [1] und Muster-EFH nach [2] mit und ohne (fiktivem) Kellergeschossen (ohne Energieverbrauch aus der Nutzungsphase)

Die noch verbleibenden signifikanten Unterschiede der ökobilanziellen Ergebnisse beim Vergleich von RUB- und LCEE-Studie (insbesondere Verdopplung von jährlich 3,00 auf 6,06 kg CO₂-Äq./m² NGF bei der Holzbauweise) sind den verschiedenen unterstellten energetischen Standards geschuldet und verdeutlichen deren großen Einfluss bei alleiniger Bewertung der Herstellung der Gesamtkonstruktion. Die entsprechenden Auswirkungen werden bei der Berechnung des Substitutionspotenzials im folgenden Abschnitt verdeutlicht.

Das EFH1.2 der RUB-Studie wurde nach EnEV 2009 bilanziert, dass EFH der LCEE-Studie nach EnEV 2016. Die nach aktuellen Vorschriften aufwändigere Dämmung mit einem erheblichen THG-Potenzial in der Herstellungsphase der Dämmmaterialien schlägt sich maßgeblich in den Ökobilanzergebnissen der Konstruktion nieder.

5.5 Ermittlung des THG-Substitutionspotenzial

Bei der Bestimmung der Substitutionsfaktoren in der RUB-Studie hat die Vernachlässigung des Energieverbrauchs in der Nutzungsphase ebenso wie die Nichtberücksichtigung von Kellergeschossen eine signifikante, mitunter stark verzerrende Wirkung. Die in der RUB-Studie berechneten Substitutionsfaktoren bzw. THG-Einsparpotenziale der Holzbauweisen von 36 bis 56 % für EFH1.2 bzw. von 18 bis 25 % für MFH2.7 beziehen sich entsprechend der für die Holzbauweise positiv gewählten Systemgrenze nur auf die Ökobilanzergebnisse der Konstruktion. Insofern ist der Nenner der Substitutionsfaktoren deutlich kleiner, wodurch wiederum die Substitutionspotenziale erheblich steigen (vgl. Abschnitt 0 und 4.5). Um den Einfluss der Gebäudenutzungsphase und der Kellergeschosse auf das THG-Substitutionspotenzial zu quantifizieren, werden Substitutionsfaktoren analog zur RUB-Studie ([1], S. 38) **unter Berücksichtigung realer Randbedingungen** (inkl. Keller und Energieeinsatz in der Nutzungsphase) folgendermaßen errechnet:

$$SF_G = \frac{THG_{\text{mineralisch}} - THG_{\text{Holz}}}{|THG_{\text{mineralisch}}|} \frac{[\text{kg CO}_2\text{-Äq}/(\text{m}^2\cdot\text{a})]}{[\text{kg CO}_2\text{-Äq}/(\text{m}^2\cdot\text{a})]}$$

Tabelle 2 und **Abbildung 6** zeigen die Substitutionspotenziale am Beispiel der Holz- und der Massivbauweise für das Muster-EFH. Nach den Ansätzen der RUB-Studie ergibt sich ein Substitutionspotenzial von knapp 58 %.⁵ Dieses mindert sich bereits deutlich, sobald ein fiktives Kellergeschoss wie in Abschnitt 5.4 beschrieben implementiert wird. Da auch bei einem Holzgebäude der Keller hauptsächlich massive Bauteile aufweist, sinkt das Potenzial einer THG-Substitution auf knapp 50 %. Um wieviel geringer die Substitutionsfaktoren unter Berücksichtigung der Nutzungsphase sind, lässt sich unter Zuhilfenahme der Ergebnisse aus Abschnitt 5.3 abschätzen. Die Ökobilanzergebnisse der Gesamtkonstruktion machen bei den Massivbauvarianten nur ca. 35 % der Gesamt-Lebenszyklusergebnisse im EFH-Bereich aus. Daraus folgt, dass die Gesamt-Lebenszyklusergebnisse etwa um den Faktor 3 höher sind als die der Konstruktion. Bezieht man die Differenz der Ökobilanzergebnisse von Holz- und Mauerwerksvarianten des Musterhauses EFH1.2 auf diese dreimal größere Basis, reduzieren sich die dargestellten Substitutionspotenziale (mit Keller) auf nunmehr 17,5 %.

Unter Anwendung der obigen Formel auf die realistischeren Ergebnisse der LCEE-Studie resultiert zunächst ein deutlich niedrigeres Substitutionspotenzial – auch bei Vernachlässigung des Energieverbrauchs in der Nutzungsphase – im Vergleich zur RUB-Studie. **Dies liegt an den bereits dargestellten bewertungsbezogenen Abweichungen und unterschiedlichen energetischen Standards beider Studien** (vgl. Abschnitt 5.4). Nichtsdestotrotz zeigt auch hier der Vergleich mit einem Szenario mit Berücksichtigung des Energieeinsatzes, dass die Substitutionspotenziale erheblich sinken, auf nunmehr fast vernachlässigbare 4,8 %. Es zeigt sich, wie stark sich die Definition der Bezugsgröße bzw. die Festlegung der Systemgrenze der Ökobilanzierung auf das errechnete Substitutionspotenzial auswirkt.

⁵ Dass der Wert die zuvor beschriebene Obergrenze von 56 % überschreitet, liegt womöglich daran, dass die Wandaußenbekleidung laut [1], S. 38 dem Ausbau zugeordnet wird. Das in Tabelle 2 errechnete Potenzial umfasst allerdings die gesamte Konstruktion (Primärtragwerke und Verkleidungen).

Die RUB-Studie wählt einen Untersuchungsrahmen, der eine vermeintliche ökologische Vorteilhaftigkeit des Holzbaus gegenüber dem Massivbau suggeriert, die zudem überspitzt dargestellt wird. Die unter realistischen Randbedingungen operierende Studie der LCEE zeigt, dass die ökologische Vorteilhaftigkeit der Holzbauweise rechnerisch unter 5 % liegt und damit vernachlässigbar ist, da ein solches Ergebnis eindeutig im Streubereich von Ökobilanzen liegt.

Tabelle 2: Gegenüberstellung von THG-Substitutionsfaktoren für Einfamilienhäuser unter verschiedenen Randbedingungen

Berechnungsgrundlage	THG-Substitutionsfaktor für Massivbau zu Holzbau
Ergebnisse aus RUB-Studie [1] EnEV 2009 <u>Ohne</u> Keller, nur Konstruktion <u>ohne</u> Energie für Wärme/Strom	$\frac{4,5 - 1,9}{4,5} = 57,8 \%$
Angepasste Ergebnisse aus RUB-Studie (vgl. Abschnitt 5.4) EnEV 2009 <u>Mit</u> Keller, nur Konstruktion <u>ohne</u> Energie für Wärme/Strom	$\frac{6,09 - 3,0}{6,09} = 50,7 \%$
Theoretische* Ergebnisse aus RUB-Studie [1] EnEV 2009 <u>Mit</u> Keller, gesamter Lebenszyklus <u>mit</u> Energie für Wärme/Strom	$50,7 \% \cdot \frac{1}{22,63/7,81} = 17,5 \%$
Realistische Ergebnisse aus LCEE-Studie (vgl. Abbildung 3) EnEV 2016 <u>Mit</u> Keller, nur Konstruktion <u>ohne</u> Energie für Wärme/Strom	$\frac{7,81 - 6,06}{7,81} = 22,4 \%$
Realistische Ergebnisse aus LCEE-Studie (vgl. Abbildung 3) EnEV 2016 <u>Mit</u> Keller, gesamter Lebenszyklus <u>mit</u> Energie für Wärme/Strom	$\frac{22,63 - 21,55}{22,63} = 4,8 \%$

* THG-Substitutionsfaktoren mit angepassten Bezugsgrößen zur Berücksichtigung der energetischen Verbräuche in der Nutzungsphase.

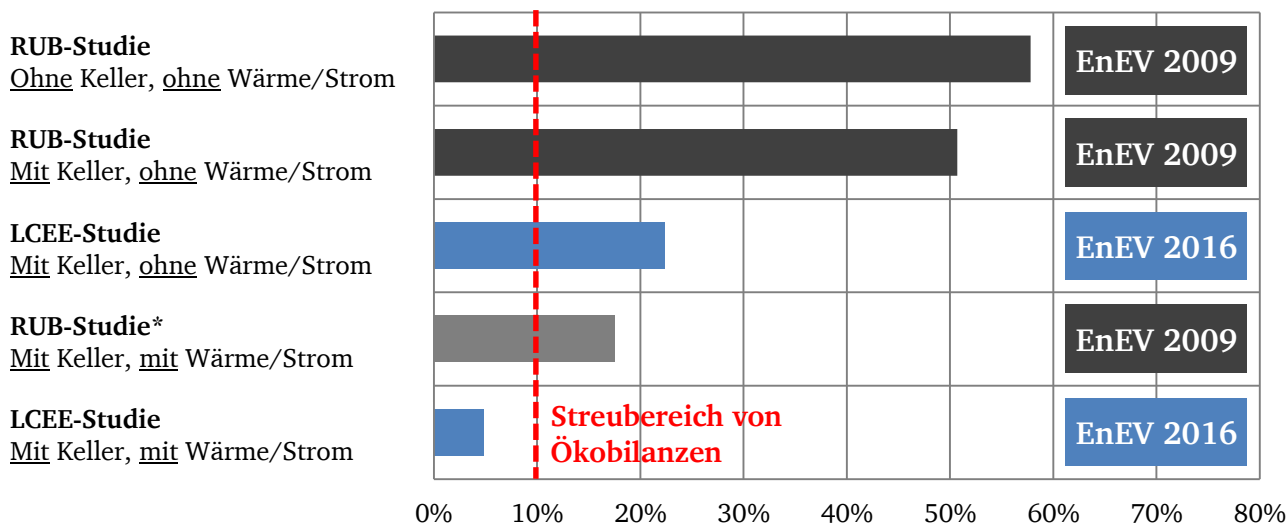


Abbildung 6: Gegenüberstellung von THG-Substitutionsfaktoren für Einfamilienhäuser unter verschiedenen Randbedingungen

6 Ergänzende Nachhaltigkeitsaspekte bei der Beurteilung von Wohngebäuden aus Mauerwerk und in Holzbauweise

6.1 Verfügbarkeit der Ressource Holz als Werkstoff im Bausektor

Die RUB-Studie fordert eine massive Steigerung der Holzbauquote im Segment des Wohnungsneubaus. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass einer Steigerung der Quote bei der nachgewiesenen hohen Verwertungsrate von national nachwachsendem Holz enge Grenzen gesetzt sind (siehe **Abbildung 7**). Vor allem im Bausektor, der ca. 25 % der Holzressourcennutzung ausmacht, werden nicht alle Baumarten gleichermaßen genutzt, sondern in erster Linie Nadelhölzer. Insbesondere der für die Bauwirtschaft besonders wichtige Fichtenanteil sinkt in Deutschland und hat eine hohe Importabhängigkeit für Nadelhölzer zur Folge. Sofern sich die politischen bzw. strategischen Rahmenbedingungen für die Waldbewirtschaftung nicht ändern, wird dieser Trend durch eine Ausweitung des Holzbaus verstärkt. Höhere Importe sind insofern problematisch, als keine Herkunft der ausländischen Hölzer aus nachhaltigem Anbau garantiert werden kann. [3]

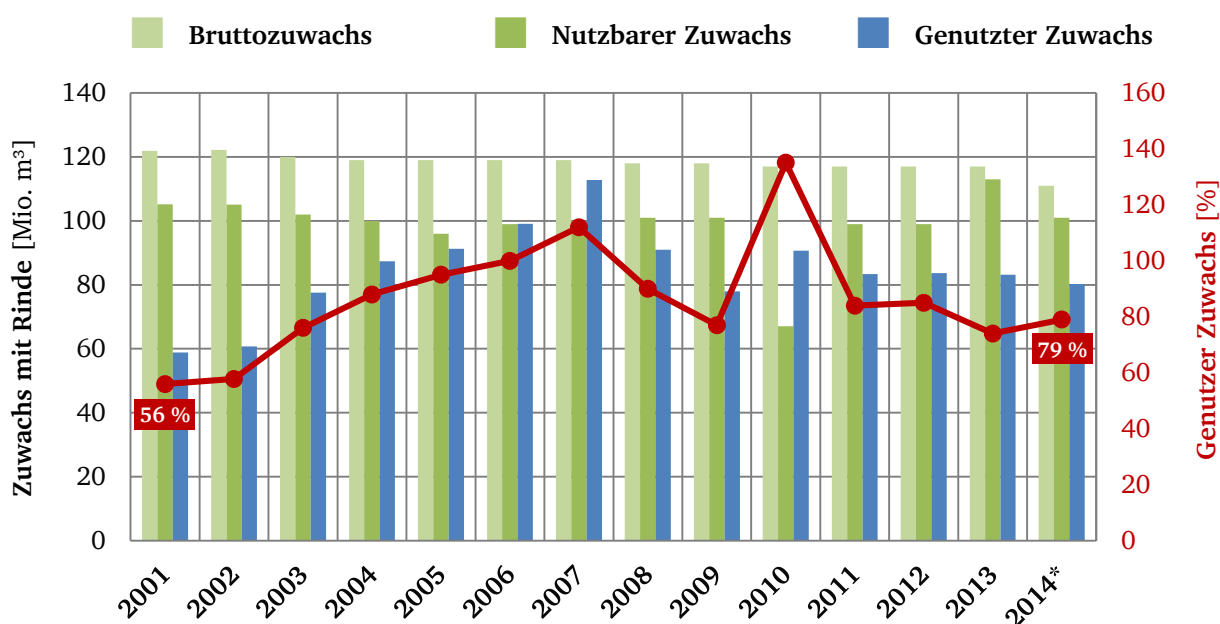


Abbildung 7: Anteil der Nutzung des nutzbaren Holzzuwachses [8]

6.2 Herstellungskosten von Wohngebäuden aus Mauerwerk und in Holzbauweise

Im Sinne eines ganzheitlichen Nachhaltigkeitsverständnisses sind neben ökologischen Kriterien auch ökonomische zu beachten. Das ist umso relevanter, desto geringer das Gewicht der ökologischen Vorteilhaftigkeit einer bestimmten Ausführungsvariante ist, wie es bei einem Substitutionspotenzial von nur 4,8 % anzunehmen ist. Aus diesem Grund werden in **Abbildung 8** Kostenkennwerte für die zuvor bilanzierten Mustergebäude dargestellt. Es zeigt sich, dass die Herstellungskosten massiver Bauweisen aus mineralischen Baustoffen, insbesondere solcher in Mauerwerk, pro m² Wandfläche deutlich unter denen der Holzbauweise liegen.

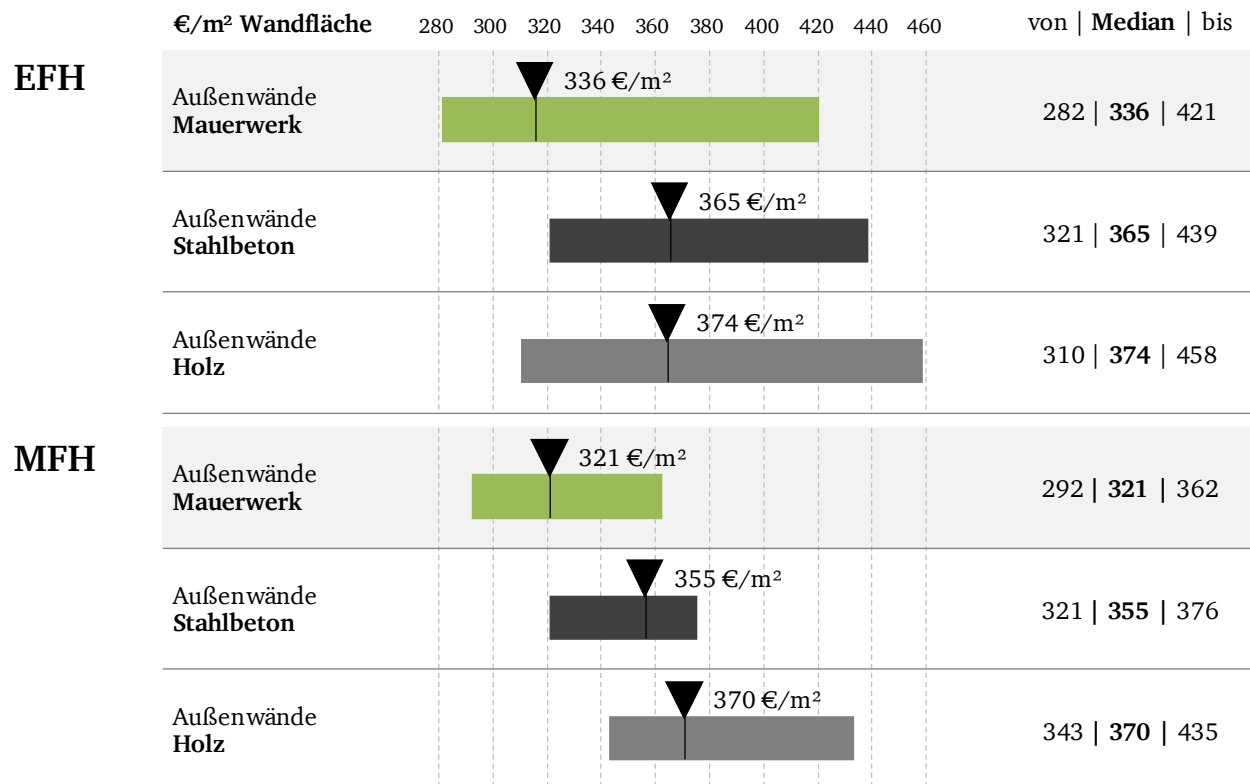


Abbildung 8: Herstellungskosten verschiedener Außenwandkonstruktionen für das Muster-EFH (oben) und Muster-MFH (unten) [7]

7 Zusammenfassende Bewertung und Fazit

Die wissenschaftlich fundierte Analyse von RUB-Studie [1] und LCEE-Studie [2] zeigt, dass bei einer realistischen Bewertung der Nachhaltigkeit über den gesamten Lebenszyklus unter Einbeziehung aller aus dem Gebäude und seiner Nutzung entstehenden Wirkungen die unterschiedlichen Bauweisen nur geringfügige Unterschiede in ihren ökologischen Auswirkungen aufweisen. Insbesondere wird deutlich, welchen signifikanten Einfluss die Wahl der Bezugsgröße bei der Bestimmung relativer Substitutionsfaktoren hat.

In **Tabelle 3** werden nochmals abschließend exemplarische Ergebnisse der RUB-Studie mit denen der LCEE-Studie verglichen, um die Auswirkungen der getroffenen Grundannahmen auf das Berechnungsergebnis am Beispiel der Holz- und der Massivbauweise zu demonstrieren.

Tabelle 3: Gegenüberstellung exemplarischer Ergebnisse der RUB-Studie und der LCEE-Studie

Gebäude	Bauweise	GWP [kg CO ₂ -Äq./m ² NGF · a]			
		RUB-Studie [1] Ohne Energie für Wärme/Strom Ohne Beachtung Massenspeichereffekt	LCEE-Studie [2] Ohne Energie für Wärme/Strom Ohne Beachtung Massenspeichereffekt	LCEE-Studie [2] Mit Energie für Wärme/Strom Ohne Beachtung Massenspeichereffekt	LCEE-Studie [2] Mit Energie für Wärme/Strom Mit Beachtung Massenspeichereffekt
EFH (274 m ² NGF)	Holzbauweise	2,42 1,90 bez. auf m ² BGF	6,06	21,55	21,55
	Massivbauweise	5,74 4,50 bez. auf m ² BGF	7,81	23,30	22,63
MFH (1.091 m ²)	Holzbauweise	Keine Ergebnisse verfügbar	6,00	12,90	12,90
	Massivbauweise	Keine Ergebnisse verfügbar	6,47	13,36	12,96
				Zusätzliche Einsparung pro Haus: 9,2 t (in 50 Jahren) und 14,7 t (in 80 Jahren)	
				Zusätzliche Einsparung pro Haus: 21,8 t (in 50 Jahren) und 34,8 t (in 80 Jahren)	

Die ersten beiden Spalten zeigen die jeweiligen Ergebnisse ohne Berücksichtigung des Energieeinsatzes in der Nutzungsphase und bei Vernachlässigung der thermischen Speicherfähigkeit. Das Ergebnis der RUB-Studie kommt dabei unter anderem durch die Festlegung auf den veralteten EnEV-2009-Standard zu einem weitaus positiveren Ergebnis für den Holzbau, als es in der LCEE-Studie unter Annahme der EnEV 2016 der Fall ist. Demnach würde die Massivbauweise ein mehr als doppelt so hohes Treibhausgaspotenzial aufweisen als die Holzbauweise.

In den beiden anderen Spalten von **Tabelle 3** werden die Ergebnisse der LCEE-Studie weiter verfeinert und mit Berücksichtigung der Energiebedarfe in der Nutzungsphase sowie zusätzlich bei Berücksichtigung der thermischen Wärmespeicherfähigkeit dargestellt. Die Differenz zwischen Holz- und Massivbauweise reduziert sich unter realistischeren Annahmen (d.h. bei Festlegung auf den aktuellen energetischen Standard nach EnEV 2016, Berücksichtigung des Energieeinsatzes in der Nutzungsphase und Berücksichtigung des thermischen Speicherhaltens massiver Bauwerke) auf verschwindend geringe 1,08 kg CO₂-Äq./m² NGF pro Jahr je Einfamilienhaus und 0,06 kg CO₂-Äq./m² NGF pro Jahr je Mehrfamilienhaus. Diese verbleibende minimale Diskrepanz liegt im üblichen Streubereich von Ökobilanzen und kann auch an normkonformen bewertungstechnischen Vereinfachungen liegen. **Darüber hinaus ist zu betonen, dass allein die Berücksichtigung der in Abschnitt 5.2 beschriebenen thermischer Speichereffekte massiver Bauteile zu einer zusätzlichen absoluten CO₂-Einsparung für das gesamte Muster-EFH von 9,2 t (über 50 Jahre) bzw. 14,7 t (über 80 Jahre) und für das gesamte Muster-MFH von 21,8 t (über 50 Jahre) bzw. 34,8 t (über 80 Jahre) führt.**

Generell werden in der RUB-Studie grundlegende Annahmen für die Bestimmung von Substitutionsfaktoren getroffen, die die Holzbauweise einseitig begünstigen:

- Dimensionierung der Außenwandkonstruktionen nach überholtem energetischen Standard (EnEV 2009)
- Vernachlässigung von Kellergeschossen
- Nichtberücksichtigung des Energieeinsatzes (Wärme und Strom) in der Nutzungsphase
- Nichtberücksichtigung des thermischen Speicherverhaltens massiver Bauwerke

Eine ergebnisverzerrende Wahl der Bezugsgröße in der RUB-Studie hat signifikante Auswirkungen auf die relative Höhe des ermittelten THG-Substitutionspotenzials und **vermittelt eine scheinbar hohe, objektiv aber nicht begründbare, Vorteilhaftigkeit der Holzbauweise**. Im Sinne einer ganzheitlichen Nachhaltigkeitsbetrachtung muss für ein korrektes Ergebnis stets die gesamte Nutzungsphase einbezogen werden. **Die in der LCEE-Studie gewählten Systemgrenzen entsprechen dem gegenwärtigen Stand der Technik.**

Abschließend können die Ergebnisse aus **Tabelle 3** auch als Substitutionsfaktoren (vgl. Abschnitt 5.5) dargestellt werden. Wie **Abbildung 9** entnommen werden kann, führen die in der RUB-Studie **gewählten unrealistischen Randbedingungen** im Einfamilienhaussegment rechnerisch zu einer THG-Reduktion um 58 % bei Ersatz der Massivbauweise durch die Holzbauweise. Werden hingegen die **realistischen Randbedingungen der LCEE-Studie** zu Grunde gelegt, ergibt sich ein entsprechendes **Substitutionspotenzial von lediglich 4,8 % bei Einfamilienhäusern bzw. 0,5 % bei Mehrfamilienhäusern**.

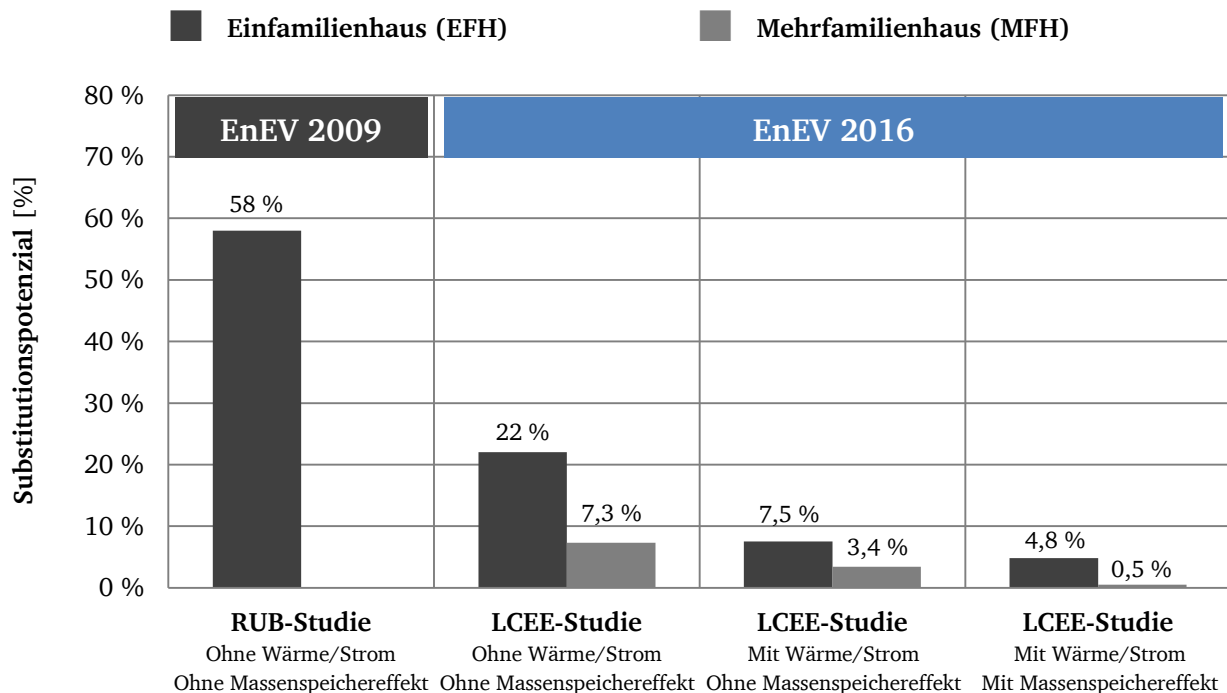


Abbildung 9: THG-Reduktionspotenzial bei Substitution der Massivbauweise durch die Holzbauweise

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die tatsächliche Höhe der THG-Emissionen auch bei einem energetischen Standard nach EnEV 2016 überwiegend durch die Nutzungsphase determiniert wird und Mehrfamilienhäuser ökologisch vorteilhafter als Einfamilienhäuser sind. Die Berücksichtigung der thermischen Speicherfähigkeit massiver Bauweisen führt zu THG-Einsparungen im zweistelligen Tonnenbereich und verringert den in der Herstellungsphase vorhandenen Bewertungsnachteil gegenüber der Holzbauweise um mehr als 1/3. Bei realistischer Betrachtung der gesamten Lebensdauer eines Bauwerks gleichen sich die Ergebnisse ökobilanzieller Berechnungen weitgehend an, sodass wissenschaftlich begründet von einer ökologischen Gleichwertigkeit beider Bauweisen gesprochen werden kann. **Letztlich bestätigt sich die ökobilanzielle Kernaussage, wonach für die ökologische Wirkung eines Gebäudes primär die energetische Qualität und nicht die Bauweise entscheidend ist.** Bei einer fundierten Nachhaltigkeitsbeurteilung sind zudem die Verfügbarkeit der Baustoffe (vgl. Abschnitt 6.1) sowie die ökonomische Vorteilhaftigkeit der Massivbauweise (vgl. Abschnitt 6.2) zu berücksichtigen.

Darmstadt, den 3. März 2018

Univ.-Prof. Dr.-Ing. C.-A. Graubner