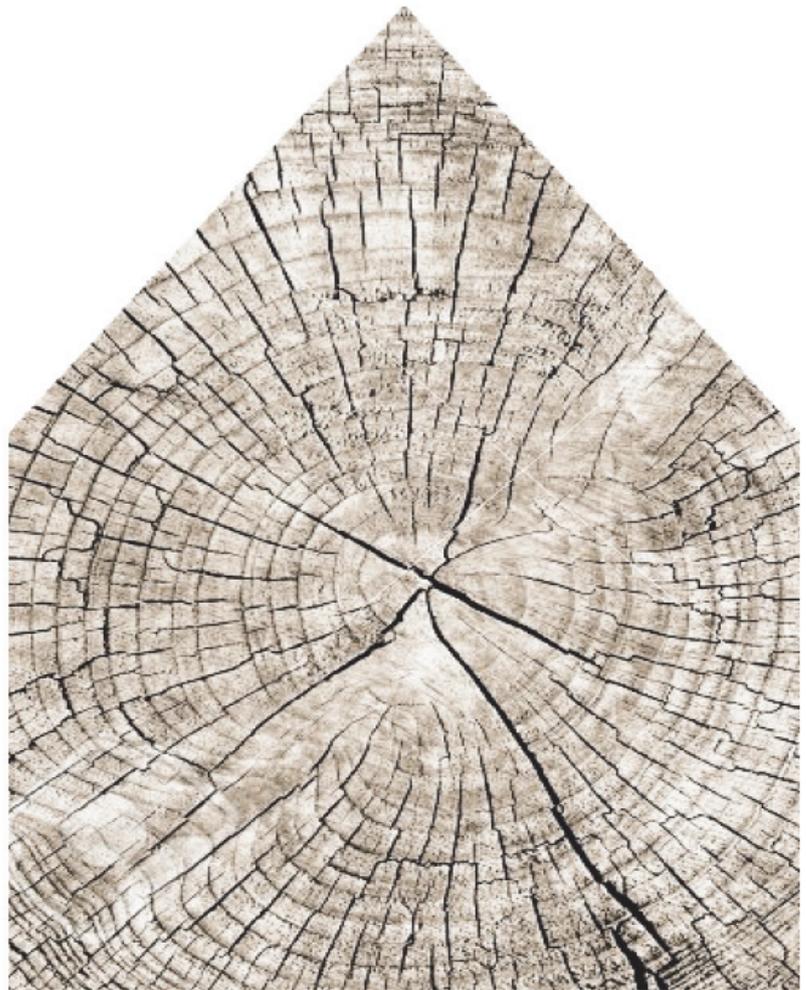


**Treibhausgasbilanzierung von Holzgebäuden –  
Umsetzung neuer Anforderungen an Ökobilanzen und  
Ermittlung empirischer Substitutionsfaktoren  
(THG-Holzbau)**



**04 / 2017**

**Ressourceneffizientes Bauen, Prof. Dr.-Ing. Annette Hafner  
Fakultät Bau- und Umweltingenieurwissenschaften  
Ruhr-Universität Bochum (RUB)**

**RUHR  
UNIVERSITÄT  
BOCHUM**

**RUB**

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung - vorbehalten.

Zitationsvorschlag:

Hafner A.; Rüter S.; Ebert S.; Schäfer S.; König, H.; Cristofaro L.; Diederichs; S.; Kleinhenz, M.; Krechel, M. (2017): Treibhausgasbilanzierung von Holzgebäuden – Umsetzung neuer Anforderungen an Ökobilanzen und Ermittlung empirischer Substitutionsfaktoren (THG-Holzbau). 148 S. Forschungsprojekt: 28W-B-3-054-01 Waldklimafonds. BMEL/BMUB. ISBN: 978-3-00-055101-7

Bezugsmöglichkeit des Berichts:

Ruhr-Universität Bochum  
Fakultät Bau- und Umweltingenieurwissenschaften  
Ressourceneffizientes Bauen, Prof. Dr.-Ing. Annette Hafner  
Universitätsstr. 150, IC5-161  
44801 Bochum  
Fon: 0234-32- 21414  
Fax: 0234-32-14815  
annette.hafner@rub.de  
[www.ruhr-uni-bochum.de/reb/index.html.de](http://www.ruhr-uni-bochum.de/reb/index.html.de)

Dieser Bericht ist über die Website des Lehrstuhls Ressourceneffizientes Bauen in elektronischer Form abrufbar.

ISBN: 978-3-00-055101-7

# Treibhausgasbilanzierung von Holzgebäuden – Umsetzung neuer Anforderungen an Ökobilanzen und Ermittlung empirischer Substitutionsfaktoren (THG-Holzbau)

Greenhouse gas balances for timber buildings – Implementation of new requirements for life-cycle-assessments and calculation of empiric substitution factors (GHG – timber buildings)

RUHR  
UNIVERSITÄT  
BOCHUM

RUB

## Projektbeteiligte:

Ressourceneffizientes Bauen  
Ruhr-Universität Bochum



Thünen-Institut für Holzforschung  
Hamburg



Lehrstuhl Holzbau und Baukonstruktion  
Technische Universität München

ASCONA  
Gesellschaft für ökologische Projekte

Gesellschaft für ökologische Projekte  
Ascona GbR

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Ernährung  
und Landwirtschaft

Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Abschlussbericht über o.g. Forschungsvorhaben  
gefördert unter dem Kennzeichen: 28W-B-3-054-01  
im Rahmen des Waldklimafonds  
vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)  
und dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau- und  
Reaktorsicherheit (BMUB)

Bochum, April 2017

## **Projektbearbeitung:**

Ressourceneffizientes Bauen, Ruhr-Universität Bochum:

Prof. Dr.-Ing. Annette Hafner

Sabrina Schäfer

Thünen-Institut für Holzforschung, Hamburg:

Dr. Sebastian Rüter

Dr. Stefan Diederichs

Lehrstuhl Holzbau und Baukonstruktion, Technische Universität München:

Samuel Ebert

Miriam Kleinhenz

Marco Krechel

Gesellschaft für ökologische Projekte, Ascona GbR:

Holger König

Lisa de Cristofaro PhD

Kapitel 1: Annette Hafner, Sebastian Rüter, Sabrina Schäfer, Samuel Ebert

Kapitel 2: Annette Hafner, Sabrina Schäfer

Kapitel 3: Annette Hafner, Sabrina Schäfer, Holger König, Lisa de Cristofaro

Kapitel 4: Annette Hafner, Sabrina Schäfer, Holger König, Lisa de Cristofaro

Kapitel 5: Sebastian Rüter, Stefan Diederichs

Kapitel 6: Samuel Ebert, Miriam Kleinhenz, Marco Krechel

Kapitel 7: Annette Hafner, Sebastian Rüter, Samuel Ebert, Sabrina Schäfer

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau- und Reaktorsicherheit und des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft unter dem Förderkennzeichen 28W-B-3-054-01 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>7</b>
<b>Kurzfassung</b> .....	<b>9</b>
<b>1 Projektbeschreibung</b> .....	<b>11</b>
1.1 Hintergrund.....	11
1.2 Projektziel.....	12
1.3 Beschreibung des wissenschaftlichen-technischen Standes.....	12
1.3.1 Normen zur Ökobilanzierung.....	12
1.3.2 Bisherige Abschätzung der Substitutionswirkung in der Literatur.....	14
1.3.3 Klimaschutz in der Holz-Forst Kette.....	14
1.4 Vorgehensweise – Projektbearbeitung .....	15
1.4.1 Arbeitspakete.....	15
1.4.2 Methode.....	16
1.4.3 Einschränkungen.....	17
<b>2 Schlüsselbegriff Substitution auf Gebäudeebene</b> .....	<b>19</b>
2.1 Substitution.....	19
2.2 Substitutionsfaktor.....	19
2.3 Substitutionspotential .....	20
<b>3 Ökobilanzierung von Gebäuden</b> .....	<b>21</b>
3.1 Vorgehensweise und Methodik .....	21
3.2 Funktionelles Äquivalent für Ökobilanzvergleich.....	21
3.3 Gebäudeauswahl.....	23
3.3.1 Einfamilienhäuser und Zweifamilienhäuser.....	24
3.3.2 Mehrfamilienhäuser.....	27
3.4 Rahmenbedingungen der Gebäudeökobilanzierung.....	30
3.4.1 Systemgrenzen.....	30
3.4.2 Abschneidekriterien.....	33
3.4.3 Funktionelle Einheit.....	33
3.4.4 Verwendete Hintergrunddaten: Ökobau.dat.....	33
3.4.5 Gebäudemodellierung .....	34
3.4.6 Allokationen .....	36
3.4.7 Annahmen .....	37
3.4.8 Wirkungsabschätzung .....	37
3.5 Vorgehen Substitutionsberechnung für Konstruktion und Ausbau .....	38
3.5.1 Substitutionsfaktor SF <sub>G</sub> Konstruktion .....	38
3.5.2 Substitutionsfaktor SF <sub>G</sub> Ausbau .....	39
<b>4 Ergebnisse auf Gebäudeebene</b> .....	<b>43</b>
4.1 LCA-Ergebnisse (Indikator THG) .....	43
4.1.1 Konstruktion.....	43
4.1.2 Ausbau .....	47
4.2 Ergebnisse Substitutionsfaktoren.....	51
4.2.1 Konstruktion.....	51
4.2.2 Ausbau .....	55
4.3 Modul D .....	57
4.4 Zusammenfassung der Ergebnisse.....	59
4.5 Offene Fragestellungen .....	60
4.5.1 Datengrundlage der Ökobilanz / Sensitivität.....	60
4.5.2 Gebäudeauswahl.....	63
<b>5 Abschätzung der Auswirkungen eines verstärkten Holzeinsatzes im Bausektor auf die nationale Treibhausgasbilanz</b> .....	<b>65</b>
5.1 Angewandte Methodik.....	65

5.1.1	Festlegung des Referenzszenarios zur gesamten Bautätigkeit in Deutschland .....	66
5.1.2	Ermittlung der treibhausgasrelevanten Kenngrößen des Referenzszenarios .....	68
5.1.3	Definition der Alternativszenarios zur Holzverwendung im Wohnungsneubau .....	69
5.2	Klimaschutzpotential und damit verbundene Änderung der Rohholznachfrage für Deutschland .....	70
5.2.1	Ergebnisse für die Kohlenstoffspeicherwirkung nach Szenario .....	71
5.2.2	Ergebnisse für die Substitutionswirkung nach Szenario .....	72
5.2.3	Ergebnisse für den Rohholzbedarf nach Szenario .....	74
5.3	Potentielle Substitutionswirkung der Szenarios auf Ebene der Bundesländer .....	75
5.4	Einordnung der Ergebnisse und Ausblick .....	79
<b>6</b>	<b>Herausforderungen eines verstärkten Einsatzes von Holz im Bausektor .....</b>	<b>81</b>
6.1	Ermittlung und Identifikation von Hemmnissen .....	81
6.1.1	Vorgehensweise und Spezifikationen der Holzbaubranche .....	81
6.1.2	Meinungsbild der Holzbaubranche .....	82
6.1.3	Themen-Cluster und Akteure .....	82
6.1.4	Allgemeines Vorgehen und Betrachtungskontext .....	84
6.1.5	Beschreibung der Hemmnisse .....	87
6.2	Analyse von Hemmnissen .....	107
6.2.1	Allgemeines Vorgehen in der Analysephase .....	107
6.2.2	Analyse der Hemmnisse im Branchenkontext .....	108
6.2.3	Analyse der Hemmnisse im Kontext der Gesamtproblematik .....	111
6.3	Maßnahmen und Handlungsempfehlungen .....	114
6.3.1	Allgemeines Vorgehen und Handlungsempfehlungen .....	114
6.3.2	Handlungsempfehlungen für den Cluster „Forschung und Entwicklung“ .....	120
6.3.3	Handlungsempfehlungen für den Cluster „Interessensvertreter und Verbände“ .....	126
6.3.4	Handlungsempfehlungen für den Cluster „Politik und Gesellschaft“ .....	127
6.3.5	Handlungsempfehlungen für den Cluster „Wirtschaft und Ausführung“ .....	134
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>137</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>141</b>
	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>145</b>
	<b>Quellenverzeichnis .....</b>	<b>147</b>
<b>8</b>	<b>Anhang (auf Anfrage)</b>	
8.1	Critical review – Prüfbericht und Kommentartabelle	
8.2	Unterlagen zur Festlegung der Rahmenbedingungen der Ökobilanz	
8.3	Gebäudeweise Ökobilanzergebnisse für alle LCA-Indikatoren	
8.4	Ergebnisse Expertenbefragung und Stakeholder-Workshop	
8.5	Anlage zur Identifikation und Analyse von Hemmnissen	

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

abP	bauaufsichtliche Prüfzeugnisse
ADPE	Abiotisches Ressourcenabbaupotential nicht fossiler Ressourcen
ADPF	Abiotisches Ressourcenabbaupotential für fossile Brennstoffe
AP	Acidification Potential (Versauerungspotential)
AS	Aktivsumme
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt-, und Raumforschung
BdF	Bundesverband Deutscher Fertigung e.V.
BGF	Bruttogrundfläche (nach DIN 277)
BiRN	Bau-Institut für Ressourceneffizientes und Nachhaltiges Bauen GmbH
BKI	Baukosteninformationszentrum
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BNB	Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology
BRI	Bruttorauminhalt (nach DIN 277)
CEN	Europäisches Komitee für Normung
DGFH	Deutsche Gesellschaft für Holzforschung
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
DHH	Doppelhaushälfte
DIN	Deutsches Institut für Normung
EFH	Einfamilienhaus
EnEV	Energieeinsparverordnung
EoL	End-of-Life (Modul C nach DIN EN 15978:2012)
EP	Eutrophication Potential (Eutrophierungspotential)
EPD	Environmental Product Declaration
EPS	Expandierter Polystyrol-Hartschaum
EZFH	Gruppe der Ein- und Zweifamilienhäuser
f.E.	funktionelle Einheit
GK	Gebäudeklasse
GWP	Global Warming Potential (Treibhauspotential)
Hlz	Hochlochziegel
HOAI	Honorarordnung für Architekten- und Ingenieurleistungen
HQE	Haute Qualité Environnementale (französisches Nachhaltigkeitszertifikat)
HTB	Holztafelbau
IBU	Institut Bauen und Umwelt e.V.
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KG	Kostengruppen (nach DIN 276)
KS	Kalksandstein
KVH	Konstruktionsvollholz
LBO	Landesbauordnung
LCA	Life Cycle Assessment
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
LP	Leistungsphasen (HOAI)
MBO	Musterbauordnung
MFH	Mehrfamilienhaus
M-HFHHolzR	Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise
MW	Mineralwolle
Nawaro	Nachwachsende Rohstoffe
NaWoh	Verein zur Förderung der Nachhaltigkeit im Wohnungsbau
NGF	Nettogrundfläche (nach DIN 277)
NRSF	nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe
ODP	Ozone Depletion Potential (Ozonschichtabbaupotential)
OK	Oberkante

OSB	oriented strand board
PCR	Product Category Rules (Produkt-Kategorieregeln)
PENRE	Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger
PENRM	Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung
PERE	erneuerbare Primärenergie als Energieträger
PERM	erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung
POCP	Photochemical Ozone Creation Potential (Ozonbildungspotential)
PS	Passivsumme
REF	Referenzszenario
RMH	Reihenmittelhaus
RSF	erneuerbare Sekundärbrennstoffe
SF <sub>G</sub>	Substitutionsfaktor Gebäude
SM	Sekundärmaterial
Stb.	Stahlbeton
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
THG	Treibhausgas
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient (W/m <sup>2</sup> *K)
ÜZ	Übereinstimmungszertifikat
VMZ	Vormauerziegel
VOB	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen
VOC	Volatile Organic Compounds (flüchtige organische Verbindungen)
WDVS	Wärmedämmverbundsystem
WKF	Waldklimafonds
XPS	Extrudierter Polystyrol-Hartschaum
ZFH	Zweifamilienhaus

## KURZFASSUNG

Das Forschungsprojekt THG-Holzbau hat das Ziel darzustellen, welchen Einfluss Bauen mit Holz im Rahmen des Klimaschutzes auf nationaler Ebene haben kann. Hierzu verknüpft das Projekt die Erfassung der ökologischen Qualität von Holzhäusern gegenüber mineralischen Gebäuden mit Hilfe von Gebäudeökobilanzen mit den politischen Zielen des Klimaschutzes. Der mögliche Einfluss von Bauen mit Holz - durch die Substitution von mineralischen Gebäuden mit Holzgebäuden – kann so auf großer Maßstabsebene dargestellt werden.

Das Projekt THG-Holzbau wurde auf unterschiedlichen Ebenen bearbeitet.

In einem Bottom-up Ansatz werden Ökobilanzen einzelner Gebäude erstellt. Auf Basis repräsentativer und funktionell äquivalenter Gebäudedaten wird der Ökobilanzvergleich normkonform nach DIN EN ISO 14044:2006 und DIN EN 15978:2012 zwischen mineralischen Gebäuden und Holzgebäuden durchgeführt. Die Gebäudeökobilanzergebnisse bzw. die Holzmengen stellen die Eingangsdaten für die Hochrechnungen des nationalen Kohlenstoffspeichers und des Substitutionspotentials bereit.

Durch die Anrechenbarkeit der stofflichen Nutzung von Holz unter der 2. Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls kann der Holzbau für den Klimaschutz interessant werden.

Deshalb werden in einer Top-down Betrachtung nationale statistische Daten zur Gebäudefertigstellung mit den Daten auf Gebäudeebene über einen quantitativen Abgleich und eine differenzierte Gegenüberstellung zusammengeführt. Das vorgestellte Vorgehen legt die Basis für ein Monitoring indirekter Treibhausgas (THG)-Effekte. Es werden daraus Szenarien abgeleitet, wie sich die Auswirkungen auf den Klimaschutz durch eine veränderte Holznutzung für das Segment Ein- und Zweifamilienhäuser (EZFH) und Mehrfamilienhäuser (MFH) bis 2030 entwickeln könnten. Es wird die mit dem Holzeinsatz einhergehende Kohlenstoffspeicherwirkung und die damit verbundene Substitutionswirkung dargestellt.

Die unterschiedlichen Szenarien der Holzbauquoten sind in einem dritten Teil verknüpft mit einer qualitativen Beurteilung, wie sich das Potential von vermehrtem Holzbau in der Praxis freisetzen lässt bzw. welche Hemmnisse hierfür zu überwinden sind. Es werden die Herausforderungen für eine Vergrößerung des Holzanteils im Baubereich systematisch beschrieben und Strategien und Potentiale zur Überwindung der Hemmnisse herausgearbeitet.

Es hat sich gezeigt, dass sich die Höhe der möglichen Klimaeinsparung aus dem spezifischen Einsparpotential und dem Marktvolumen zusammensetzt und deshalb auch Teilbereiche mit einer geringen spezifischen Einsparung eine große Wirkung entfalten können.

Durch das Projekt THG-Holzbau konnte exemplarisch für das Segment Wohnungsneubau gezeigt werden, dass vorrangig in den nächsten Jahren ein Potential für eine Erhöhung des Kohlenstoffspeichers besteht, sowie durch Substitution eines Teils der mineralischen Baustoffe ein großes Potential zur Reduktion der THG-Emissionen vorhanden ist. Insgesamt ist eine massive Steigerung der Holzbauquote ab sofort notwendig, um die Potentiale ausschöpfen zu können.

Um die gesamten Potentiale der Holzverwendung für den Klimaschutz auf nationaler Ebene abschätzen zu können, ist der gesamte Bausektor relevant. Im Rahmen dieses Projektes wurde der Anteil Wohnungsneubau untersucht. Die Abschätzung auf nationaler Ebene beinhaltet bislang nur die Konstruktion von Wohngebäuden, da die Zuordnung des Ausbaus (Fenster, Türen, Böden, Treppen, Fassadenbekleidung, etc.) unklar bzw. unabhängig vom verwendeten Baustoff in der Konstruktion ist. Eine Berücksichtigung kann den Klimaschutzbeitrag evtl. mehr als verdoppeln, da das Potential des Ausbaus auch in bestehenden Gebäuden freigesetzt werden kann – hierzu ist weitere Forschung notwendig.



# 1 PROJEKTbeschreibung

*Annette Hafner, Sebastian Rüter, Sabrina Schäfer, Samuel Ebert*

## 1.1 Hintergrund

Der Gebäudesektor ist für einen großen Anteil an Treibhausgasemissionen und am Primärenergieverbrauch verantwortlich. Durch die Verbesserung der Energieeffizienz für die Nutzung von Gebäuden wird bereits ein großer Beitrag geleistet den Energieverbrauch und die damit einhergehenden Treibhausgasemissionen zu senken. Über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes treten mit zunehmender Energieeffizienz in der Betriebsphase, die Herstellungs- und Entsorgungsphase des Gebäudes in den Vordergrund. Je nach verwendeten Materialien und Konstruktionsart können der Primärenergieaufwand und die Treibhausgasemissionen in der Herstellungs- und Entsorgungsphase reduziert werden. In verschiedenen Forschungsprojekten<sup>1</sup> von bekannten Akteuren wurden bereits Ökobilanzberechnungen für Gebäude, sowie der Einfluss unterschiedlicher Holzbaukonstruktionen auf die Umweltwirkung entlang des Lebenszyklus untersucht und auch Konstruktionen aus anderen Baustoffen gegenüber gestellt. Aufgrund der unterschiedlichen Systemgrenzen, Datengrundlagen, Berechnungsvorschriften und funktioneller Einheiten sind die Studien allerdings nicht vergleichbar.

In den letzten Jahren wurde mit verschiedenen Bewertungssystemen zum Nachhaltigen Bauen (z.B. Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB), Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB), Verein zur Förderung der Nachhaltigkeit im Wohnungsbau (NaWoh)) ein Instrument zur Planung nachhaltiger Gebäude entwickelt. Im Gegensatz zu anderen internationalen Bewertungssystemen (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology (BREEAM), Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), Haute Qualité Environnementale (HQE)) wurde in Deutschland ein performanceorientiertes System aufgebaut. Dieses System hat die vollständige Berechnung der Ökobilanz über den Lebenszyklus eines Gebäudes als Basis. Um eine vergleichbare Bewertung der Gebäudebilanzen zu gewährleisten wurde vom Bundesbauministerium eine Ökobilanzdatenbank „Ökobau.dat“ öffentlich zur Verfügung gestellt. Zusammen mit der Entwicklung der europäischen und nationalen Normung in CEN TC 350 hat sich damit die Ökobilanzierung von Bauprodukten als bedeutende Entscheidungsgrundlage für die Auswahl von Bauprodukten unter dem Aspekt der Umweltwirkung als Methode etabliert. Die seit 2012 implementierten Ökobilanznormen im Baubereich bieten mittlerweile einen festen Rahmen, wie Berechnungen abgegrenzt und Zuordnungen der Umweltwirkungen vorgenommen werden sollen. Hierdurch sind klare Regeln vorhanden, mit denen die Besonderheiten des Holzbaus hinreichend dargestellt werden können. Im Bereich des Bauens mit Holz sind bereits Datensätze für Holzbauprodukte (Holzhalbwaren) nach der aktuellen Methodik berechnet worden (Rüter und Diederichs 2012). Vergleichende Ökobilanzen von Gebäuden, die nach dem aktuellen Normungsrahmen gerechnet werden und somit realistische Substitutionspotentiale auf Gebäudeebene abbilden können, stehen jedoch noch aus.

Zugleich ist auch die Speicherwirkung von biogenem Kohlenstoff durch die stoffliche Holznutzung in den Fokus gerückt. So wird mit der Entscheidung der Vertragsstaaten der Klimarahmenkonvention (UNFCCC) die stoffliche Nutzung von Holzprodukten seit Beginn des Berichtsjahres 2013 im Zuge einer zweiten Verpflichtungsperiode unter dem Kyoto-Protokoll bis zum Jahr 2020 berücksichtigt (vgl. Kapitel 1.3.3). Jede Erhöhung der stofflichen Holznutzung, und damit insbesondere eine Ausweitung der Nutzung von heimischem Holz im Baubereich, wirkt sich somit positiv auf das Ergebnis aus, welches auch für Deutschland gegenüber einer festgelegten Referenz (Referenzwert der Waldbewirtschaftung) am Ende der Verpflichtungsperiode ermittelt wird. Die Quantifizierung der Auswirkung eines verstärkten stofflichen Holzeinsatzes auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz, die auf Gebäudeebene im Rahmen der Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden ausgewiesen wird, ist somit auch auf nationaler Ebene von großer

---

<sup>1</sup> Zum Beispiel:

Graubner, Hock, Schneider (2006): Ökobilanzstudie - Gegenüberstellung Massivhaus / Holzelementbauweise

Kaufmann, König, Lubenau, Richter, Weber-Blaschke (2011): Bauen mit Holz – Wege in die Zukunft

Kuittinen et al. (Ed.) (2013): ECO2 - Wood in carbon efficient construction – tools, methods and applications

Sölkner, Oberhuber, Sprau, Preininger, Dolezal, Mötzl, Passer, Fischer (2014): Innovative Gebäudekonzepte im ökologischen und ökonomischen Vergleich über den Lebenszyklus

Bedeutung und dient der Evaluierung der mit dem Waldklimafonds anvisierten Zielen der Bundesregierung.

## **1.2 Projektziel**

Das Projekt verknüpft die Erfassung der ökologischen Qualität von Holzgebäuden mit Hilfe von Gebäudeökobilanzen mit den politischen Zielen des Klimaschutzes und kann damit den möglichen Einfluss von Bauen mit Holz durch die Substitution von mineralischen Gebäuden durch Holzgebäude im Rahmen des Klimaschutzes auf nationaler Maßstabsebene darstellen.

Es wird das Potential eines erhöhten Holzbauanteils auf die Klimaschutzziele ermittelt, wobei die Anrechenbarkeit der stofflichen Nutzung von Holz unter der 2. Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls berücksichtigt wird. Als Berechnungsgrundlage werden vergleichende Ökobilanzen von Gebäuden nach dem aktuellen Normungsrahmen im Baubereich erstellt. Von einem momentanen Marktanteil des Holzbaus ausgehend, werden die Ökobilanzergebnisse von Gebäudeebene auf nationale Ebene skaliert. In unterschiedlichen Szenarien werden die Auswirkungen einer verstärkten Holzverwendung im Bausektor auf die nationale Klimabilanz untersucht. Dabei sollen die mit dem Holzeinsatz einhergehende potentielle Kohlenstoffspeicherwirkung und damit verbundene Substitutionswirkung herausgearbeitet werden.

Ein weiteres Ziel in diesem Kontext ist die systematische Beschreibung von Herausforderungen, die einem verstärkten Einsatz von Holz im Bausektor entgegenstehen, und das Aufzeigen von Strategien und Potentiale zur Überwindung der Hemmnisse der Verwendung von Holz im Baubereich.

## **1.3 Beschreibung des wissenschaftlichen-technischen Standes**

### **1.3.1 Normen zur Ökobilanzierung**

Gemäß der Normen DIN EN ISO 14040/14044 stellt eine Ökobilanz die „Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potentiellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebensweges“ dar (DIN EN ISO 14040:2009). Dabei untergliedert die Norm eine Ökobilanz in vier Phasen, deren Erarbeitung iterativ erfolgt (DIN EN ISO 14044:2006):

- Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens
- Sachbilanzerstellung
- Wirkungsabschätzung
- Auswertung

Eine weitergehende Beschreibung zum allgemeinen Vorgehen im Rahmen einer Ökobilanzuntersuchung nach dieser Norm findet sich in Kapitel 3.4 sowie u.a. in Rüter und Diederichs (2012) und Achenbach und Rüter (2016).

Informationen für den Lebensweg des Gebäudes										Ergänzende Informationen				
Produkt			Bau		Nutzung					Ende Lebensweg		Potentiale		
A1 - Rohstoffbereitstellung / -verarbeitung	A2 - Transport zum Hersteller	A3 - Herstellung	A4 - Transport zur Baustelle	A5 - Einbau in das Gebäude	B1 - Nutzung / Anwendung des Produkts	B2 - Instandhaltung	B3 - Reparatur	B4 - Ersatz	B5 - Umbau / Erneuerung	C1 - Rückbau / Abriss	C2 - Transport	C3 - Abfallbehandlung	C4 - Deponierung	D - Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs-, Recyclingpotential
					B6 - Energieeinsatz für TGA									

Abbildung 1:  
Einteilung der Lebenszyklusinformation in Module nach DIN EN 15978/ DIN EN 15804 (Rüter 2012)

Da die in diesen Normen DIN EN ISO 14040/14044 beschriebenen Regeln jedoch eine weite Interpretierbarkeit der Berechnungsmethodik und Bewertung der ermittelten Ergebnisse zulässt (vgl. Rüter 2012) wurden im Zuge der Etablierung von Systemen zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden ab dem Jahr 2005 weitere für die Durchführung von Ökobilanzen maßgebliche Normen durch das europäische Normungsgremium CEN/TC 350 erarbeitet, welche bestehende Regelungslücken schließen und eine harmonisierte Methodik für die Bewertung der Umweltleistung von Gebäuden bereitstellen sollten. Danach sind die Ökobilanzinformationen in die Lebenszyklusabschnitte von Gebäuden und den darin verbauten Materialien zu untergliedern, womit spezifiziert wird, inwieweit und zu welchem Zeitpunkt mit bestimmten Auswirkungen durch die Nutzung von Gebäuden bzw. den darin enthaltenen Bauprodukten überhaupt zu rechnen ist (vgl. Rüter 2012). Eine Übersicht über die nach DIN EN 15978:2011 zu untergliedernden Lebenszyklusabschnitte (CEN 2011), die im Folgenden auch Module genannt werden, ist in Abbildung 1 dargestellt. So werden die Ökobilanzinformationen untergliedert in die anfallenden Umweltlasten bis zur Fertigstellung eines Gebäudes (Module A), die während seines Betriebs anfallenden Umweltlasten (Module B) und die Aufwendungen am Ende des Gebäudelebenszyklus (Module C) (vgl. Abbildung 1).

Eine weitere wesentliche Vorgabe, die in diesem Zusammenhang mit der für die Ökobilanzierung von Bauprodukten maßgeblichen Norm DIN EN 15804:2014 festgelegt wurde (DIN EN 15804:2014)), ist, dass anders als bis bisher in vielen Ökobilanzuntersuchungen üblich, die oftmals mit den Rohstoffeigenschaften eines Bauprodukts verbundenen Vorteile oder Belastungen durch seine Wiederverwendung, Rückgewinnung oder sein Recycling (z.B. in Form von vermiedenen Emissionen) mit den Aufwendungen am Anfang seines Lebenszyklus (z.B. Emissionen durch den Energieverbrauch bei der Herstellung) nicht verrechnet werden können (vgl. Rüter 2012). Die Anrechenbarkeit von Gutschriften und Lasten die durch Wiederverwendung, Rückgewinnung oder Recycling des Bauprodukts entstehen werden in Modul D ausgegliedert (vgl. Abbildung 1). Darüber hinaus werden durch die für die Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden entwickelten Normen zahlreiche neue Indikatoren bzw. Ergebnisparameter definiert, welche für die nötige Trennschärfe bei der Darstellung der Umweltlasten sorgen, die insbesondere für nachwachsende Rohstoffe von großer Bedeutung sind (u.a. Energiebedarf). So war es bis dato bei der Erstellung von Ökobilanzen für Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen möglich, den Energiegehalt bzw. Heizwert der Produkte einfach mit dem tatsächlich für die Herstellung des Produkts notwendigen Energiebedarf, z.B. durch den Verbrauch fossiler Energieträger, zu verrechnen (vgl. Albrecht et al. 2008). Nach den Vorgaben der europäischen Norm ist nun zwingend nicht nur zwischen dem erneuerbaren und nicht erneuerbaren Ressourceneinsatz, sondern auch zwischen dem Einsatz der als Rohstoff verwendeten Primärenergie (d.h. dem Heizwert des Produkts) und der tatsächlich z.B. während der Herstellung des Produkts verbrauchten Primärenergie zu unterscheiden.

Eine weitergehende detaillierte Beschreibung der Vorgaben dieser Norm, z.B. in Bezug auf anzuwendende Allokationsregeln, ist in Rüter und Diederichs (2012) enthalten.

Da in der Norm DIN EN 15804:2012 jedoch nur rohstoffunspezifische Anforderungen geregelt werden und speziell für die Ökobilanzierung des nachwachsenden Rohstoffs Holz bestimmte Fragestellungen offen bleiben, wurden für deren Beantwortung mit der Norm DIN EN 16485:2014 noch fehlende methodische Regeln ergänzt (CEN 2014). Dies betrifft die materialinhärente Eigenschaft des Holzes, biogenen Kohlenstoff zu speichern, der über den gesamten Lebenszyklus des Produktes betrachtet ein Nullsummenspiel darstellt und im Fall der energetischen Nutzung am Ende des Lebenszyklus des Holzproduktes dem Ergebnisparameter Treibhauspotential hinzuzurechnen ist (vgl. Rüter 2013).

Für die korrekte Abschätzung des Substitutionspotentials von Treibhausgasen und der Kohlenstoffspeicherwirkung, die mit dem Einsatz von Holz im Baubereich einhergehen, ist daher insbesondere der normkonforme Umgang mit dem biogenen Kohlenstoff auf Produktebene von entscheidender Bedeutung.

### **1.3.2 Bisherige Abschätzung der Substitutionswirkung in der Literatur**

Unzählige bisherige Studien kommen zu dem Ergebnis, dass der Einsatz des nachwachsenden Rohstoffs Holz anstelle von konventionellen Baustoffen aus nicht nachwachsenden Rohstoffen eine aus Klimaschutzsicht deutlich bessere Treibhausgasbilanz aufweisen kann (vgl. u.a. Buchanan und Honey 1994; Petersen und Solberg 2005; Gustavsson et al. 2006; Albrecht et al. 2008). Im Rahmen einer von Sathre und O'Connor (2010a) durchgeführten Metastudie wurden 66 Einzelstudien hierzu analysiert und im Ergebnis aus einem Teil dieser Studien durchschnittliche Substitutionsfaktoren sowohl für die stoffliche, wie auch die energetische Nutzung von Holz abgeleitet.

Die Autoren beschreiben die mögliche Substitutionsleistung von Holzprodukten durch einen Faktor, den sie über die Menge des eingesetzten Holzes in dem jeweiligen Produkt bilden und der das Verhältnis von Tonnen biogenem Kohlenstoff im Holz zu der eingesparten Menge an Treibhausgasen in tC/tC beschreibt. Der Kohlenstoffgehalt eines Kubikmeters Holz wird in dieser Studie mit 250 kg angenommen und die in den Treibhausgasemissionen enthaltene Kohlenstoffmenge wird näherungsweise über das Molverhältnis von CO<sub>2</sub> mit dem Faktor 12/44 CO<sub>2</sub>äq ermittelt. Im Ergebnis wird die Substitutionswirkung für den Einsatz von Holz in der stofflichen Nutzung mit einer Bandbreite des Faktors von - 2,3 bis 15 tC/tC angegeben, die mit „extremen“ Szenarien in einigen Studien“ sowie „Unterschieden in den Systemgrenzen zwischen den Studien“ erklärt wird (Sathre und O'Connor 2010a: 106). Im Durchschnitt wird für die stoffliche Substitution ein Faktor in Höhe von 2,1 tC/tC ausgewiesen.

Wie im vorherigen Kapitel 1.3.1 beschrieben, wurden jedoch in keiner der in der Meta-Studie aus dem Jahr 2010 enthaltenen Ökobilanzuntersuchungen die erst in 2012 erstmalig veröffentlichten Anforderungen nach DIN EN 15978:2012, DIN EN 15804 oder nach EN 16485 aus dem Jahr 2014 berücksichtigt. Nicht zuletzt aufgrund unterschiedlicher Systemgrenzen sind die in all diesen Untersuchungen vorgenommenen ökobilanziellen Vergleiche als nicht belastbar anzusehen. Deshalb ist es für die Ermittlung eines belastbaren Substitutionsfaktors wichtig, Ökobilanzen für Gebäude gemäß der in Kapitel 1.3.1 genannten Normen zu berechnen.

### **1.3.3 Klimaschutz in der Holz-Forst Kette**

Der nachwachsende Rohstoff Holz ist Teil des natürlichen Kohlenstoffkreislaufs, da Bäume während ihres Wachstums der Atmosphäre mit Hilfe der Photosynthese CO<sub>2</sub> entziehen und in Form von Kohlenstoff (C) einlagern. In der lebenden Biomasse bleibt dieser dann im Stamm, den Ästen, Zweigen und Wurzeln gespeichert. Auch die abgestorbene Biomasse und der Waldboden binden den Kohlenstoff solange weiter, bis er durch Zersetzungsprozesse wieder in die Atmosphäre gelangt. In nicht bewirtschafteten Naturwäldern stehen die Bindung und die Freisetzung von Kohlenstoff langfristig nahezu im Gleichgewicht. Sie bilden somit einen riesigen Kohlenstoffspeicher. Aber auch bewirtschaftete Wälder binden Kohlenstoff: werden Bäume geerntet, wird der in dem Rohholz enthaltene Kohlenstoffanteil auf das aus diesem Rohstoff hergestellte Produkt übertragen und bleibt über die Dauer seiner Verwendung weiterhin gespeichert.

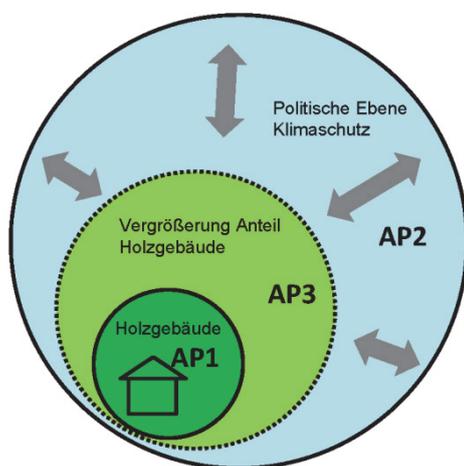
Im Rahmen der nationalen Treibhausgasberichterstattung wird diese biogene Kohlenstoffbilanz der Wälder auf Basis methodischer Vorgaben durch den Weltklimarat fortlaufend erfasst (vgl. IPCC 2006 und IPCC 2014). So kann festgestellt werden, ob die Wälder eines Landes in der Summe eine Quelle oder eine Senke von atmosphärischem CO<sub>2</sub> darstellen. Nach den Ergebnissen der letzten Bundeswaldinventur haben die Wälder in Deutschland eine Senkenwirkung von jährlich -58 Mt CO<sub>2</sub> – sie speichern also mehr CO<sub>2</sub> ein, als z.B. durch die Nutzung von Holz aus dem Wald wieder entfernt wird (Umweltbundesamt 2016).

Seit dem Jahr 2015 wird auch die Kohlenstoffspeicherwirkung in Holzprodukten im Rahmen der Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention (UNFCCC) und dem Kyoto-Protokoll berücksichtigt, welche sich aus den für die stoffliche Verwendung hergestellten Holzhalbwaren errechnet. Danach ist auch der ebenfalls nach den Vorgaben des IPCC berechnete Produktspeicher mit einer Senkenwirkung in Höhe von zuletzt -2 Mt CO<sub>2</sub> im Jahr 2014 verbunden (Rüter 2016).

## 1.4 Vorgehensweise – Projektbearbeitung

### 1.4.1 Arbeitspakete

Das Projekt ist in 3 Arbeitspakete unterteilt, die iterativ bearbeitet werden. Abbildung 2 zeigt die Zuordnung der Zielsetzung des Projekts zu den einzelnen Arbeitspaketen.



Arbeitspakete 1 (AP1): Bewertung vergleichender Ökobilanzen und Substitutionspotentiale von Holzgebäuden

Arbeitspaket 2 (AP2): Abschätzung der CO<sub>2</sub>-Wirkung von verstärktem Holzeinsatz

Arbeitspaket 3 (AP3): Identifizierung von Hemmnissen zur Steigerung des Marktanteils, Aufzeigen von Lösungswegen

Abbildung 2:  
Zuordnung der Zielsetzung des Projekts zu den Arbeitspaketen

#### Arbeitspaket 1: Gebäudeökobilanzen

Die Gebäudeökobilanzergebnisse stellen die Eingangsdaten für die Hochrechnungen des nationalen Substitutionspotentials dar. Auf Basis repräsentativer und funktionell äquivalenter Gebäudedaten wird der Ökobilanzvergleich normkonform nach DIN EN ISO 14044:2006 und DIN EN 15978:2012 zwischen mineralischen Gebäuden und Holzgebäuden durchgeführt. Die Durchführung der Ökobilanzen werden im Rahmen eines critical reviews nach ISO/TS 14071 (2014) geprüft. Dies betrifft Kapitel 2 *Schlüsselbegriff Substitution auf Gebäudeebene*, Kapitel 3 *Ökobilanzierung von Gebäuden* und Kapitel 4 *Ergebnisse auf Gebäudeebene* sowie die Anhänge 8.2 und 8.3 des Berichts. Der Prüfbericht sowie eine Kommentartabelle des review panels ist im Anhang 8.1 zu finden.

Auf Basis des Indikators *Treibhauspotential (THG)* (vgl. 3.4.8) werden Substitutionsfaktoren auf Gebäudeebene ermittelt. Die Ergebnisse zum THG-Einsparpotential auf Gebäudeebene werden anschließend dargestellt und interpretiert. Abbildung 3 zeigt die Vorgehensweise in Arbeitspaket 1.

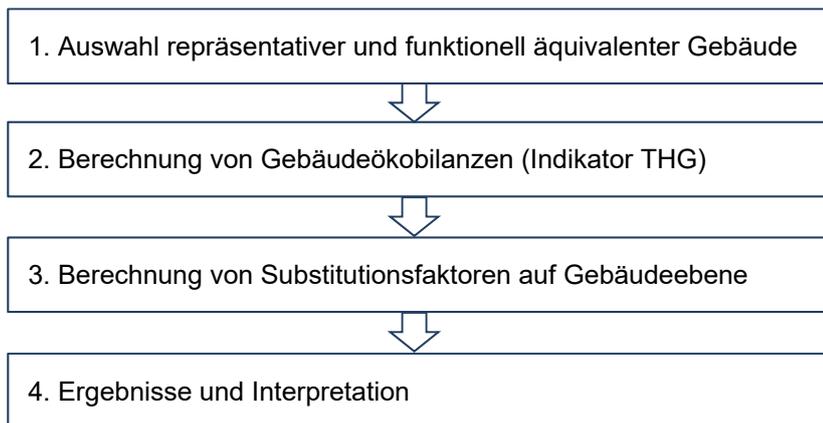


Abbildung 3:  
Vorgehen auf Gebäudeebene

#### Arbeitspaket 2:

Um die Auswirkungen einer verstärkten Holzverwendung im Bausektor auf die Treibhausgasbilanz für Deutschland abschätzen zu können, wird zunächst ein Referenzszenario definiert, das um einen Szenarienfelder ergänzt wird, der von diesem Referenzszenario abweichende Holzverwendungen beschreibt. Die eigentliche Berechnung der mit den beschriebenen Alternativszenarien einhergehenden Substitutions- und Kohlenstoffspeicherwirkung basiert auf einer Verschneidung der Ergebnisse zum Ökobilanzindikator THG der definierten Gebäude aus Arbeitspaket 1 sowie den Sachbilanzinformationen zu den in den jeweiligen Gebäuden verwendeten Holzbauprodukten mit den Zeitreihen folgender Statistiken:

- Baufertigstellungen von Wohngebäuden nach vorwiegend verwendetem Baustoff
- Produktions- und Außenhandelsstatistik für Holzhalbwaren

Dabei werden die auf Gebäudeebene dargestellten Stoffflüsse entlang des gesamten Lebenszyklus, d.h. inklusive möglicher Instandhaltungsmaßnahmen, berücksichtigt.

#### Arbeitspaket 3:

Die Überlegungen bzgl. des Substitutionspotentials einer vermehrten Holzverwendung werden gleichzeitig von den Fragen begleitet, welche Herausforderungen dem entgegenstehen und einer Erhöhung des Holzeinsatzes im Bauwesen hemmen. Ziel des Arbeitspaketes ist es in diesem Zusammenhang aktuelle Herausforderungen zu identifizieren und deren Relationen zu analysieren, um ein grundlegendes Verständnis für einen effektiven Abbau zu entwickeln.

Eine Analyse der identifizierten Hemmnisse auf zwei unterschiedlichen Kontextebenen, ermöglicht einen differenzierten Ansatz zur Überwindung dieser:

- Kontext der Holzbaubranche: Relationen zwischen Hemmnis und Fachbereichen
- Kontext der Gesamtproblematik: Relationen zwischen Hemmnis und Hemmnis

Aufbauend auf der Analyse der Hemmnisse und ihrer Beziehungen in verschiedenen Bezugskontexten werden Handlungsempfehlungen und -ansätze entwickelt. Diese spiegeln eine thematische Gewichtung wieder, die den verschiedenen Akteuren systematische Zwänge und Potentiale sowie die eigene Einflussmöglichkeit und Verantwortung aufzeigen und zusätzlich eine grundlegende Priorisierung und Einordnung der Hemmnisse ermöglichen.

Die Arbeitspakete 1 und 2 werden immer im Kontext veröffentlicht.

#### 1.4.2 Methode

Das Projekt wird auf mehreren Ebenen bearbeitet. Dabei wird ein Bottom-up Ansatz, ausgehend von der Gebäudeebene, mit einem Top-down Ansatz, basierend auf nationalen statistischen Daten zur Baufertigung von Gebäuden, verknüpft. Im Bottom-up Ansatz werden Ökobilanzen einzelner Gebäude erstellt mit dem Fokus auf dem Indikator Treibhauspotential. Auf Basis repräsentativer und funktionell äquivalenter Gebäudedaten wird der Ökobilanzvergleich normkonform nach DIN EN ISO 14044:2006

und DIN EN 15978:2012 zwischen mineralischen Gebäuden und Holzgebäuden durchgeführt. Die Massenbilanzen und Ergebnisse der Ökobilanzen stellen dann die Eingangsdaten für die Hochrechnungen des nationalen Kohlenstoffspeichers und des Substitutionspotentials, sowie des damit verbundenen Holzeinschlages dar.

Parallel werden in einem Top-down Ansatz statistische Daten zur Baufertigstellung von Gebäuden (Statistik zu Holzhalbwerten, Statistik zu errichteten Gebäuden in Holzbauweise) betrachtet und mit den Ökobilanzergebnissen auf Gebäudeebene über einen quantitativen Abgleich zusammengeführt. Daraus werden Szenarien über mögliche Entwicklungen des Holzeinsatzes im Bauwesen (Holzbauquoten) bis 2030 abgeleitet und für jedes Szenario der nationale Kohlenstoffspeicher und Substitutionspotentiale berechnet.

Die unterschiedlichen Szenarien der Holzbauquoten werden in einem dritten Teil verknüpft mit einer qualitativen Beurteilung, wie sich das Potential von vermehrtem Holzbau in der Praxis freisetzen lässt bzw. welche Hemmnisse hierfür zu überwinden sind. Abbildung 4 zeigt die Zusammenhänge der Bearbeitungsebenen des Projektes.

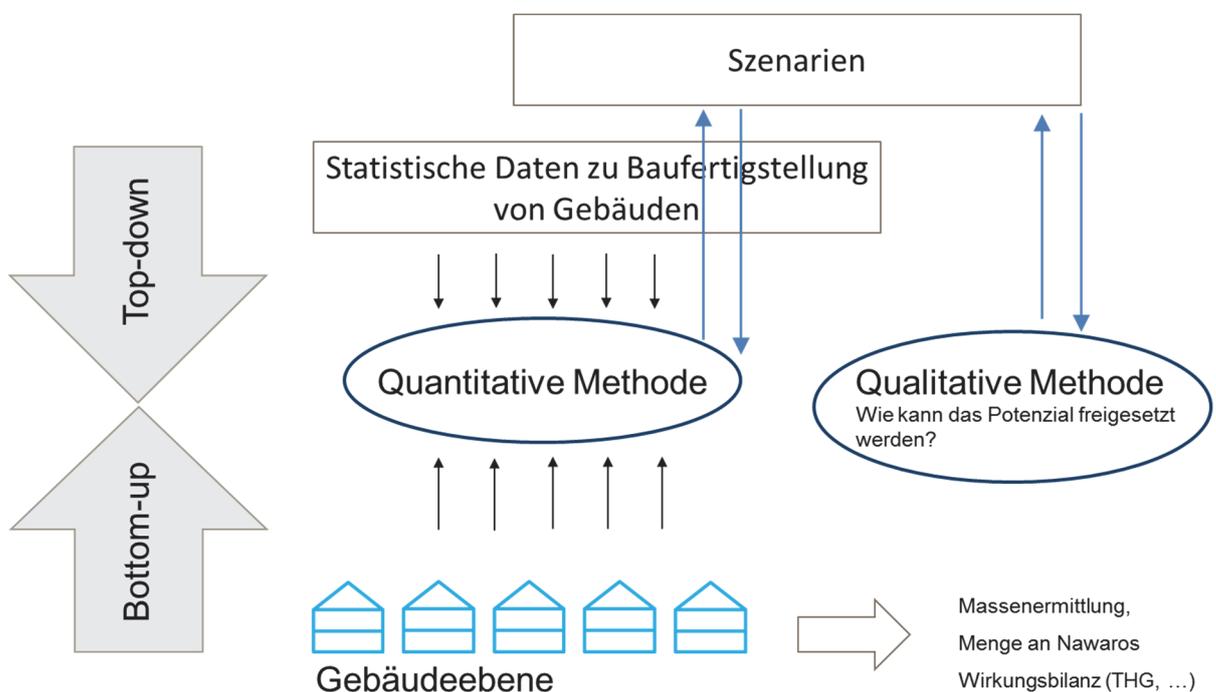


Abbildung 4: Verknüpfung der Bearbeitungsebenen und methodische Vorgehensweise

### 1.4.3 Einschränkungen

Das Projekt und die erzielten Ergebnisse decken lediglich einen Teilbereich des Bausektors ab (siehe Abbildung 5, grüner Kasten). Der Fokus in diesem Forschungsvorhaben liegt beim Wohnungsneubau, dieser schließt Ein- und Zweifamilienhäuser (EZFH) sowie Mehrfamilienhäuser (MFH) ein. Im Jahr 2015 machte der Neubauanteil im Bausektor ca. 30 % aus; 70 % der Bauleistungen bezog sich auf Sanierungen, welche in diesem Forschungsvorhaben aus Zeitgründen nicht untersucht werden konnten (BBSR 2016). Von den 30 % der Bauleistungen, die auf den Neubau fallen, sind ca. 20 % Nichtwohnneubauten (z.B. Gastronomie, landwirtschaftliche Gebäude, etc.), die ebenfalls nicht Teil der Untersuchungen sind (Statistisches Bundesamt 2016a). Bei Betrachtung des gesamten Bausektors würden sich höhere nationale THG-Einsparungen ergeben. Die Kategorien Sanierungen und Nichtwohnneubau werden in einem separaten Projekt in analoger Vorgehensweise untersucht werden.

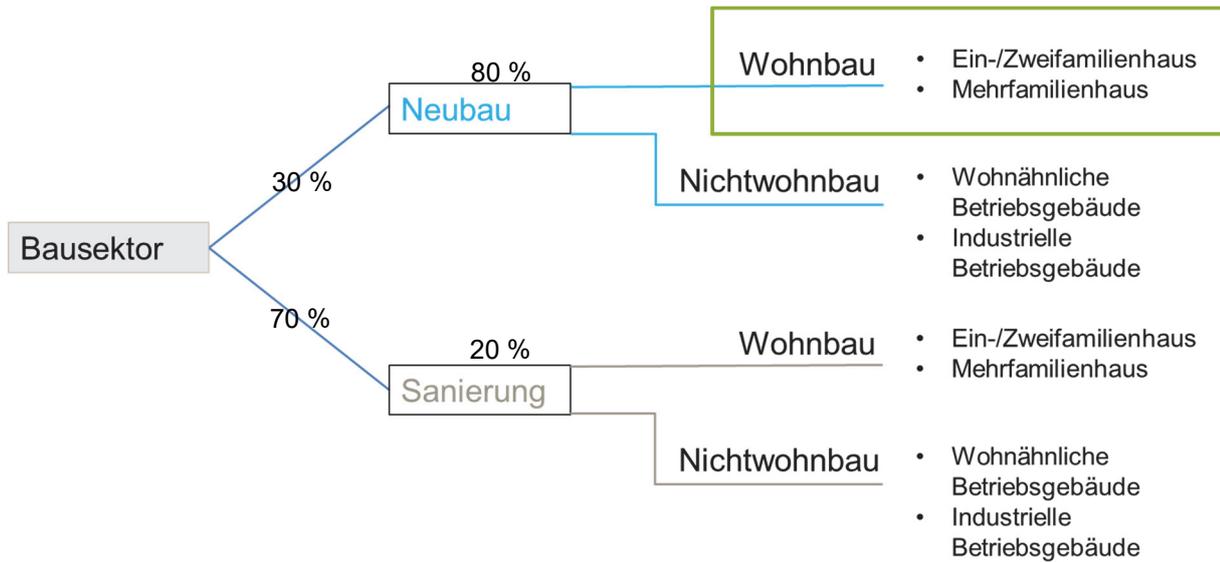


Abbildung 5:  
Abdeckung des Projekts: Teilbereich des Bausektors (BBSR 16)

Die Ausbauelemente der Gebäude (Türen, Fenster, Bodenbeläge, Fassadenbekleidung, etc.) wurden ebenfalls noch nicht in die nationalen Hochrechnungen einbezogen, da diese unabhängig vom verwendeten Baustoff in der Konstruktion sind und somit eine Zuordnung zu einzelnen Gruppen unklar ist. Zur Ermittlung der Potentiale des Ausbaus ist weitere Forschungsarbeit notwendig.

Weitere Einschränkungen ergeben sich durch die Gebäudeauswahl. Im Projekt werden Holzbauweisen und mineralische Bauweisen untersucht. Mischbauweisen (Hybridgebäude) sind aufgrund der individuellen Gestaltungen und Definitionen nicht mit inbegriffen. Um eine Abgrenzung der Hybridbauten festlegen zu können, ist ebenfalls weiterer Forschungsbedarf notwendig.

## 2 SCHLÜSSELBEGRIFF SUBSTITUTION AUF GEBÄUDEEBENE

Annette Hafner, Sabrina Schäfer

### 2.1 Substitution

Im Rahmen des Forschungsprojekts wird der Begriff Substitution auf Gebäudeebene verwendet wie er in der Literatur als „greenhouse gas displacement factor of wood product substitution“ unter Sathre & O’Connor eingeführt wurde (Sathre und O’Connor 2010b). Unter Substitution auf Gebäudeebene ( $SF_G$ ) wird die Differenz der Treibhausgasemissionen verstanden, die entstehen, wenn anstelle eines mineralischen Gebäudes ein funktionell äquivalentes Holzgebäude gebaut würde. Die Betrachtung der Substitution erfolgt modular über den Gebäudelebenszyklus (Phase A, B, C und D nach DIN EN 15978:2012) und wird anhand von Substitutionsfaktoren je Modul ausgewiesen. Die Substitution auf Gebäudeebene beschreibt also den Ersatz eines gesamten Gebäudes mit einem funktionell äquivalenten Gebäude anderer Konstruktion.

### 2.2 Substitutionsfaktor

Anhand der Substitutionsfaktoren können unterschiedliche Konstruktionsarten hinsichtlich ihrer THG-Emissionen über den Gebäudelebenszyklus miteinander verglichen werden, um daraus resultierende THG-Einsparpotentiale ermitteln zu können.

Zur Berechnung eines Substitutionsfaktors auf Gebäudeebene ( $SF_G$ ) sind zwei funktionell äquivalente Gebäude unterschiedlicher Konstruktionen notwendig, wobei ein Gebäude das andere substituieren soll. Der Faktor wird durch die Differenz der Treibhausgasemissionen der beiden Gebäude gebildet, die in Bezug zu den Treibhausgasemissionen des substituierten Gebäudes gebracht wird (vgl. Gl. 2.1). Der Faktor beschreibt somit die Differenz der THG-Emissionen, bezogen auf das ersetzte Gebäude, die entsteht wenn das Ersatzgebäude anstelle des substituierten Gebäudes gebaut würde.

$$\text{Gl. 2.1} \quad SF_G = \frac{THG_{Gebäude\_sub} - THG_{Gebäude\_Ersatz}}{|THG_{Gebäude\_sub}|} \left[ \frac{kg \ CO_2 \ \ddot{a}q}{kg \ CO_2 \ \ddot{a}q} \right]$$

mit  $THG_{Gebäude\_sub}$ : THG-Emissionen des Gebäudes das substituiert werden soll [kg CO<sub>2</sub> äq.]  
 $THG_{Gebäude\_Ersatz}$ : THG-Emissionen des Gebäudes das das substituierte Gebäude ersetzt [kg CO<sub>2</sub> äq.]

Der Substitutionsfaktor kann modulweise oder über den gesamten Gebäudelebenszyklus berechnet werden. Ist der Faktor positiv, bedeutet dies, dass THG-Emissionen durch das Ersatzgebäude (Gebäude\_Ersatz) eingespart werden können; ein negativer Wert bedeutet im Umkehrschluss, dass mehr THG-Emissionen emittiert werden. Je höher der Faktor, desto mehr Emissionen können vermieden werden. Innerhalb dieses Projekts werden Substitutionsfaktoren für den Einsatz eines Holzgebäudes anstelle eines mineralischen Gebäudes modulweise ermittelt:

$$\text{Gl. 2.2} \quad SF_G = \frac{THG_{Gebäude\_mineralisch} - THG_{Gebäude\_Holz}}{|THG_{Gebäude\_mineralisch}|} \left[ \frac{kg \ CO_2 \ \ddot{a}q}{kg \ CO_2 \ \ddot{a}q} \right]$$

mit  $THG_{Gebäude\_mineralisch}$ : THG-Emissionen des mineralischen Gebäudes [kg CO<sub>2</sub> äq.]  
 $THG_{Gebäude\_Holz}$ : THG-Emissionen des Gebäudes aus Holz [kg CO<sub>2</sub> äq.]

Die Definition und detaillierte Beschreibung des Systems „Gebäude“ findet im Kapitel 3.4.1 statt. Im Projekt werden separate Substitutionsfaktoren auf Gebäudeebene für die Konstruktion und den Ausbau des Gebäudes ermittelt. Dies geschieht vor dem Hintergrund, dass die Gestaltung bzw. das verwendete Material des Ausbaus unabhängig von der Art der Konstruktion gewählt werden kann. Zur

Gruppe „Konstruktion“ zählen das Fundament, die tragenden und nicht tragenden Wände, Deckenkonstruktion, Dachkonstruktion und Balkone. Dabei sind alle Materialien berücksichtigt, die zur Gewährleistung von energetischem Standard, Brandschutz und Schallschutz spezifisch für die jeweilige Konstruktion notwendig sind. Durch die separate Ausweisung in Konstruktion und Ausbau kann aufgezeigt werden, welche Maßnahmen umgesetzt werden können, um das gewünschte Einsparpotential an THG-Emissionen zu erzielen. Für die Berechnung der Substitutionsfaktoren nach Gleichung 2.1 und 2.2 sind dann entsprechend die Treibhausgasemissionen des Ausbaus bzw. der Konstruktion der Gebäude einzusetzen (siehe Kapitel 3.5).

### **2.3 Substitutionspotential**

Substitutionspotentiale beschreiben die möglichen THG-Einsparpotentiale in [kg CO<sub>2</sub> äq] die durch den Einsatz von Holzgebäuden anstelle mineralischer Gebäude erzielt werden können. Anhand der Substitutionsfaktoren lassen sich Einsparpotentiale hochrechnen und können z.B. für eine Abschätzung der Gesamtbilanz des Bausektors verwendet werden. Die Berechnung von Einsparpotentialen für eine Gesamtbilanz des Bausektors, ist nicht Teil des critical reviews. Die Hochrechnungen der Einsparpotentiale auf Sektorebene (Arbeitspaket 2, Kapitel 5) werden auf Basis der Ergebnisse dieses Berichtabschnitts (Kapitel 2 bis Kapitel 4) durchgeführt.

## 3 ÖKOBILANZIERUNG VON GEBÄUDEN

Annette Hafner, Sabrina Schäfer, Holger König, Lisa de Cristofaro

### 3.1 Vorgehensweise und Methodik

Die Gebäudeökobilanzen stellen die Eingangsdaten für die Berechnung von THG-Einsparpotentialen in [kg CO<sub>2</sub> äq] auf Gebäudeebene bereit, was die Durchführung eines ökobilanziellen Vergleichs der Gebäude erfordert.

Der ökobilanzielle Vergleich der Gebäude erfolgte nach der Normenreihe für Ökobilanzen DIN EN ISO 14040:2009 und DIN EN ISO 14044:2006, sowie nach der Norm DIN EN 15978:2012, die die Berechnungsmethode für die Gebäudeökobilanzierung vorgibt. Auf Bauprodukteebene sind die Normen DIN EN 15804:2014 sowie DIN EN 16485:2014 berücksichtigt. Projektbegleitend wurde eine kritische Prüfung (critical review), wie nach DIN EN ISO 14044:2006 gefordert, durchgeführt. Das konkrete Vorgehen des critical reviews erfolgte nach ISO/TS 14071 (2014).

Zur Durchführung des Ökobilanzvergleichs wird zunächst ein funktionelles Äquivalent definiert. Gegenübergestellt werden Holzgebäude (Massivholz, Holztafelbau, Fertigbau) und mineralische Gebäude (Ziegel, Kalksandstein, Porenbeton oder Stahlbeton). Verglichen wird anschließend der Indikator *Treibhauspotential*, um daraus die möglichen THG-Einsparpotentiale in [kg CO<sub>2</sub> äq] die durch den Einsatz von Holzgebäuden anstelle mineralischer Gebäude erzielt werden können, zu ermitteln.

### 3.2 Funktionelles Äquivalent für Ökobilanzvergleich

Nach DIN EN 15978:2012 beschreibt das funktionelle Äquivalent die quantifizierten funktionellen Anforderungen und/oder technischen Anforderungen an ein Gebäude oder ein zusammengesetztes Bauteil (Bauwerksteil), die als Grundlage für Vergleiche dient.

Bei diesem Ökobilanzvergleich bezieht sich das funktionelle Äquivalent auf das gesamte Gebäude. Unterschieden werden die Kategorien EFH/ZFH (2-3 Geschosse mit 1-2 Wohneinheiten) und MFH (3-8 Geschosse). Für den ökobilanziellen Vergleich wird ein Holzgebäude einem funktionellen äquivalenten mineralischen Gebäude gegenübergestellt.

Bei den mineralischen Gebäuden bestehen zwischen Ziegelbau (Hochlochziegel (Hlz)), Porenbeton, Kalksandstein (KS), Leichtbeton und mit Stahlbeton (Stb) mit Wärmedämmverbundsystem (WDVS). Unterschiede in den Ergebnissen der ökologischen Bewertung, vgl. auch Graubner und Pohl (2013). Es kann deshalb nicht nur eine mineralische Bauweise einer Holzbauweise gegenübergestellt werden, sondern die mineralischen Bauweisen sind weiter zu untergliedern. Analog der Baustatistik der „Baufertigstellung von Wohngebäuden nach überwiegend verwendetem Baustoff“ wurden die Gebäude in unterschiedliche Gebäude aus Stahlbeton, Ziegel, Porenbeton, Kalksandstein und Leichtbeton (Statistisches Bundesamt 2016a) untergliedert. Auch die Holzbauweisen wurden auf Grund der unterschiedlichen ökologischen Auswirkungen in Massivholzbauweise und Holztafelbau (HTB), als die Hauptkonstruktionsarten unterschieden vgl. Hafner et al. (2016).

Das funktionelle Äquivalent stellt jeweils die Erfüllung der technischen und funktionellen Mindestanforderungen dar. Grundsätzlich erfüllen alle berechneten Gebäude als funktionelle Qualität die Mindestanforderung der Einhaltung gesetzlicher Anforderungen und den Stand der Technik. Die Gebäude erfüllen die Anforderungen an Standsicherheit und Tragfähigkeit der Konstruktion, und genauso (gerade bei den MFH) die Brandschutzanforderungen. Hierfür werden die Bauteilanforderungen aus präskriptiven Vorgaben der Landesbauordnung, nach Gebäudeklasse (GK) 1-3 für EZFH und nach GK 4 und 5 für MFH, sowie die DIN 4102-1 bzw. DIN EN 13501-1 zur Klassifizierung der Baustoffe zugrunde gelegt. Alle Gebäude entsprechen dem EnEV-Standard 2009 oder besser. Sie erfüllen damit die bauphysikalischen Grundanforderungen im Winter und im Sommer. Die Anforderungen an den Schallschutz für Luft- und Trittschall sind gemäß dem Beiblatt 2 DIN 4109 eingehalten. Es wird davon ausgegangen, dass die Gebäude fachgerecht gebaut wurden und somit die flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) und Formaldehydemissionen den Wertekorridor des Steckbriefs 3.1.3 Innenraumlufthygiene des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen des BMUB einhalten. Die Erfahrungen

von Innenraumluftmessung bei der Zertifizierung<sup>2</sup> zeigen, dass das Risiko für erhöhte Werte nicht holzbauspezifisch ist.

Die technische Gebäudeausrüstung (TGA) für Heizung und Warmwasser ist für alle Gebäudevarianten gleichgesetzt.

Das funktionelle Äquivalent beschränkt sich auf die wesentlichen Anforderungen an die Bauteile und bildet den Mindeststandard ab, der über die gesamte Nutzungsdauer des Gebäudes erfüllt ist. Die technische Ausführung verschiedener mineralischer Bauweisen und Holzbauweisen unterscheiden sich. Auf Grund der unterschiedlichen Konstruktionen ergeben sich graduelle Unterschiede in Bezug auf die Übererfüllung spezifischer Mindestanforderungen (z.B. Übererfüllung der Brandschutzanforderungen bei mineralischen Bauweisen). Dies führt damit an einigen Stellen zu Übererfüllung einzelner technischer Anforderungen, bei gleichzeitiger exakter Erfüllung der anderen technischen Anforderungen.

Die Unterschiede der Bauweisen können sein:

- Bei den mineralischen Gebäuden bestehen zwischen Porenbeton, Leichtziegel und Stahlbeton mit WDVS oder Ziegelbauweise Unterschiede in Bezug auf die Übererfüllung der Schallschutzanforderungen oder die Wärmespeicherfähigkeit im Sommer. Hier kann bei mineralischen Bauweisen eine Übererfüllung der Anforderungen vorliegen.
- Das geforderte Schallschutzniveau ist für die schwere Bauweise leichter umzusetzen, so dass hier eine Übererfüllung dieser Anforderung vorliegen kann. Im Holzbau sind zur Erreichung der geforderten Mindestanforderungen zusätzliche Maßnahmen, die einen Materialmehraufwand darstellen, umzusetzen. Diese Materialmengen sind in den Berechnungen enthalten.
- Die Wärmespeicherfähigkeit von Stahlbeton kann im Rahmen des Energiekonzeptes zum sommerlichen Wärmeschutz aktiv beitragen. Dies wird nicht berücksichtigt.
- Das hygrothermische Potential und damit die Erwärmungs- und Kühleffekte bei Absorption und Desorption sind bei massiven Holzbauteilen ebenso wie die tatsächliche Wärmespeicherwirkung unterschiedlicher (leichter bis schwerer) Mauerwerksbauwerke (auch im Vergleich zu Beton) noch nicht fertig erforscht. Hierzu laufen Forschungen der TU Kaiserslautern und der TU München.
- Die Langlebigkeit des Primärtragwerkes kommt bei einem Lebenszyklus von 50 Jahren, wie ihn in Deutschland die Nachhaltigkeitszertifizierung anwendet (BNB, DGNB, NaWoh, Bau-Institut für Ressourceneffizientes und Nachhaltiges Bauen GmbH (BiRN)) nicht zum Tragen. Sehr wohl unterscheiden sich aber die Lebenszyklen von einzelnen Bauteilen bedingt durch den Austausch von WDVS, Anstrichen (Holz), Holzverschalung. Der Austausch wird nach BMUB (2011) umgesetzt.
- Für die Erfüllung der Brandschutzanforderungen nach den Landesbauordnungen „müssen hochfeuerhemmende Bauteile mit tragenden und aussteifenden Teilen aus brennbaren Baustoffen allseitig eine brandschutztechnisch wirksame Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen (Brandschutzbekleidung K<sub>2</sub>60) und Dämmstoffe aus nichtbrennbaren Baustoffen haben“ (Mayr 2013). Dieser Konstruktionsmehraufwand (und Materialmehraufwand) bei Holzbauweisen ist in den Berechnungen berücksichtigt.
- Brandschutzanforderungen bei MFH in Bezug auf ein Fluchttreppenhaus aus nichtbrennbaren Materialien (meist Stahlbeton) sind auch bei den Holzgebäuden immer umgesetzt. Somit bestehen die mehrgeschossigen Holzgebäude auch aus einem nicht zu vernachlässigenden Anteil an mineralischem Material.
- Der Holzbau kommt i.d.R. mit dünneren Wandstärken in den Außenwänden aus, d.h. der Wohnflächenanteil ist minimal höher ggü. mineralischen Gebäuden (z.B. HTB Wand: 36,6 cm, KS u. WDVS:45 cm, EnEV 2009 wird erfüllt). Dies wird nicht berücksichtigt, da die Bruttogrundfläche (BGF) des Holzgebäudes und zu vergleichenden mineralischen Gebäudes gleichgroß ist.
- Der Holzbau kommt aufgrund des geringeren Gebäudegewichts (Unterschiede von ca. 50 %-80 % bei EZFH und 30 % -70 % bei MFH, je nach Konstruktion, ohne Fundament) mit dünneren Fundamentdicken als die mineralischen Gebäude aus. Dies wird in diesem Projekt vernachlässigt. Die Fundamentdicken werden für alle Konstruktionen einheitlich gestaltet.

---

<sup>2</sup> z.B. Messdaten aus Zertifizierungsprojekt Gemeindezentrum Ludesch (Wehinger et al. 2006) oder Gymnasium Schmuttertal (Kaufmann et al. 2012)

- Sichtbare Holzoberflächen im Wohnbereich können positive raumklimatische Eigenschaften haben (Teischinger et al. 2012), (Kotradyova 2013). Dem gegenüber stehen die holztypischen flüchtigen organischen Verbindungen (VOC), deren gesundheitliche Relevanz in Bezug auf die Innenraumluftqualität derzeit stark diskutiert wird. Emissionen aus biogenen Quellen lassen sich reduzieren durch die Vermeidung von harzreichen Hölzern wie Kiefer, den diffusionsoffenen Einbau und die Möglichkeit zum Ausreagieren der Inhaltsstoffe aus nicht technisch induzierten Quellen durch Sauerstoffzutritt. Der Markt für Bauprodukte bietet hierzu ausreichend Produkte mit einer „Blauen Engel“-Kennzeichnung und damit einen Nachweis für Formaldehydemissionen weit unter der Forderung der E1-Richtlinie der EU. Terpene aus natürlichen Quellen sind unbedenklich für die Gesundheit (Kohaus und König 2017). Sichtbare Holzoberflächen im Innenbereich, z.B. Innentüren, Holztreppe, Bodenbeläge sind in den Berechnungen dem Ausbau zugeordnet. Der Ausbau kann sowohl Gebäude aus Holz als auch den Innenausbau von mineralischen Gebäude betreffen. Eine exakte Prognose, welche Luftschadstoffkonzentrationen im geplanten Gebäude zu erwarten sind, ist aufgrund der Komplexität der Zusammenhänge nicht möglich. Es empfiehlt sich grundsätzlich die einzelnen Produkte, im Sinne eines ausgewogenen Kompromisses einer Schadstoffminimierung und den Kosten des Produktes, sorgfältig auszuwählen. Beim Projekt des Schmuttertalgymnasiums Diedorf (Kaufmann et al. 2012) bei dem die zuvor genannten Strategien angewendet wurden, zeigen sich extrem niedrige VOC- und Formaldehydkonzentrationen, obwohl hier die gesamte Primärkonstruktion aus sichtbar belassenen Brettschichtholzelementen, die Gebäudehülle innenseitig mit OSB-Platten beplankt und der gesamte Innenausbau mit sichtbar belassenen Dreischichtplatten ausgeführt wurde. Für das endgültige Ergebnis entscheidend ist die sorgfältige Auswahl aller Komponenten, bis hin zu den Anstrichen und Klebern. Messungen zur Innenraumlufthygiene nach der Fertigstellung des Gymnasiums haben die Unterschreitung der BNB-Zielwerte und sogar des "Vorsorgewerts für empfindliche Gruppen" nachgewiesen. Es ist deutlich geworden, dass zwischen Emissionen aus dem Naturprodukt Holz und den Emissionen aus den technisch zugeführten Zusatzstoffen zu unterscheiden ist. Der Holzbau ist bei sorgfältiger Durchführung und Auswahl aller Komponenten unbedenklich im Zusammenhang mit der Schadstoffbelastung der Raumluft.

Bei allen Gebäuden werden die Konstruktionen so gewählt, dass die oben angesprochenen Anforderungen möglichst exakt eingehalten werden. Geringfügige Unterschiede können sich aus Speichereffekten, hygrothermischem Verhalten, Tragwerk und materialbedingten Mindestabmessungen und Gewichten ergeben.

### **3.3 Gebäudeauswahl**

Der verwendete Gebäudepool dieses Ökobilanzvergleichs enthält geplante und gebaute Gebäude der Kategorien EZFH und MFH sowie Gebäudependants, die im Rahmen dieses Projekts für den ökobilanziellen Vergleich erzeugt wurden. Die Erzeugung von Gebäudependants gewährleistet die funktionelle Äquivalenz des Produktsystems in Bezug auf die Erreichung der Mindestanforderungen für den ökobilanziellen Vergleich. Tabelle 1 beschreibt die Art der Gebäudedaten, die im Rahmen des Projekts verwendet werden.

Tabelle 1:  
Beschreibung der Art der Gebäudedaten

Status	Konstruktion	Beschreibung	Datenherkunft	Bezeichnung	Kürzel
geplant	Holz (H) 	Dokumentationen über den Gebäudeentwurf liegen vor (Grundrisse, Ansichten, etc.), Gebäude wurde jedoch nicht abschließend gebaut	Architektur- und Planungsbüros	„Original“	Gebäude-nr._H
gebaut	Holz (H) 	Dokumentationen der Gebäude liegen vor (Grundrisse, Werkpläne, EnEV-Nachweis, etc.), Gebäude wurde gebaut	Architektur- und Planungsbüros	„Original“	Gebäude-nr._H
gebaut	Mineralisch (M) 	Dokumentationen der Gebäude liegen vor (Grundrisse, Werkpläne, EnEV-Nachweis, etc.), Gebäude wurde gebaut	Architektur- und Planungsbüros	„Original“	Gebäude-nr._M
Durchschnittshaus	Holz (H) 	Dokumentation über Durchschnittsgebäude (Partnerunternehmen BdF)	BdF-Studie (Achenbach und Rüter 2016)	„Original“	Gebäude-nr._H
erzeugt	Mineralisch (M) 	Gebäude wurde auf Grundlage der Unterlagen der „Original“ Gebäude erzeugt	-	„Pendants“	Gebäude-nr._M

Die Gebäudedaten der „Original“-Gebäude stammen aus Architektur- und Planungsbüros sowie aus einer Studie (Achenbach und Rüter 2016), in der Daten von Partnerunternehmen des Bundesverbandes Deutscher Fertigbau e.V. (BdF) erfasst und auf ein einzelnes Gebäude bezogen wurde. Das Gebäude repräsentiert ein durchschnittliches Fertighaus von 13 Partnerunternehmen des BdF in Holztafel- und Holzskelettbauweise. Das Durchschnittsgebäude besteht somit aus einem Mix aus unterschiedlichen Wand-/Decken- und Dachaufbauten mit verschiedenen Dämmmaterialien, je nach Fertighaushersteller. Die ermittelten Datensätze des Durchschnittshauses besitzen eine hohe Repräsentativität und decken 37 % der gesamtdeutschen Produktion von Fertighäusern in Holzbauweise ab (Achenbach und Rüter 2016). Das im Rahmen der Studie ermittelte Durchschnittsgebäude wird an die Systemgrenzen (vgl. Kapitel 3.4.1) angepasst und als repräsentatives Durchschnittshaus in Holzfertigbauweise im Rahmen dieses Projektes mitgeführt. Standort der vorliegenden Gebäude ist Deutschland und Österreich.

Für jedes „Original“-Holzgebäude wurde mindestens ein funktionell äquivalentes Pendant aus mineralischen Konstruktionsmaterialien erzeugt, sodass nun für jedes Holzgebäude 1 - 4 mineralische Pendants vorliegen (siehe Tabelle 3 und Tabelle 5). Die Holzgebäude und ihre jeweiligen Pendants besitzen identische energetische Eigenschaften und entsprechen dem aktuellen Stand der Technik, so wie sie aktuell gebaut würden (siehe Tabelle 2 und Tabelle 4).

Die Raumaufteilung und Wohnstandards (z.B. TGA, Anzahl der Bäder, Schlafzimmer, etc.) der „Original“-Gebäude wurde für die jeweiligen Pendants übernommen. Somit sind die Gebäudemodelle identisch, lediglich die Materialkonzepte wurden verändert. Des Weiteren wurde bei der Erzeugung der Pendants zwischen der Konstruktion und dem Ausbau separiert: die Konstruktionen wurden durch mineralische Materialien ersetzt, die Bauteile des Ausbaus entsprechen dem der „Original“-Gebäude.

Zusätzlich sind in den Berechnungen gebaute mineralische Gebäude („Original“-mineralische Gebäude) enthalten, für die kein Pendant aus Holz gerechnet wurde. Dies erfolgt vor dem Hintergrund, dass die Erarbeitung von gleichwertigen Pendants von Holzgebäuden in Bezug auf Brandschutz und Schallschutz nicht im Rahmen des Projektes geleistet werden kann. Die mineralischen Gebäude werden für eine Sensitivitätsanalyse mitgeführt. Bei der Erstellung von mineralischen Pendants zu den „Original“-Holzgebäuden kann davon ausgegangen werden, dass bei korrekter Planung bzgl. der Statik, Brand- /Schallschutz und Erfüllung des energetischen Standards die Gebäude gebaut werden können. Die gebauten mineralischen Gebäude werden zum Vergleich der Ökobilanzergebnisse mit denen der mineralischen Pendants mitgeführt. Für die Berechnung der Substitutionsfaktoren sind die gebauten mineralischen Gebäude nicht relevant.

### 3.3.1 Einfamilienhäuser und Zweifamilienhäuser

Die bilanzierten EZFH, z. T. Doppelhäuser haben 2-3 Etagen ohne Kellergeschoss mit Wohnflächen zwischen 97 m<sup>2</sup> und 248 m<sup>2</sup>. Die Gebäude wurden zwischen 2009 und 2012 geplant bzw. gebaut. Es handelt sich hierbei um marktrepräsentative Holzgebäude und mineralische Gebäude. Die Gebäude

sowie die Pendants erfüllen den aktuellen Stand der Technik bezüglich energetischer Eigenschaften sowie die Anforderungen an Brand- und Schallschutz. Die Holzkonstruktionen entsprechen dem aktuellen Holzbau (Holztafelbauweise, Massivholzbauweise, Holzfertigbau); die mineralischen Gebäude sind Standardkonstruktionen, wie sie aktuell gebaut werden.

Tabelle 2 zeigt die bilanzierten Gebäude der Kategorie EZFH mit Angaben zur Gebäudekonstruktion, dem Baujahr und dem entsprechenden U-Wert für jedes energetisch relevante Bauteil. Die Gebäude und Gebäudependants erfüllen mindestens die gesetzlichen Anforderungen nach EnEV-Standard 2009. Die thermische Behaglichkeit und der Komfort (Sommer und Winter) in den Gebäuden werden durch Einhaltung der EnEV ebenfalls sichergestellt. Die Konstruktionsmaterialien der einzelnen Bauteile sind in Tabelle 3 gebäudeweise dargestellt.

Tabelle 2:  
Gebäudepool: „Original“-Gebäude und mineralische Pendants (EZFH)

Kürzel	Gebäude-name	Be-zeichnung	Bau-jahr	Gebäudekon- struktion	BGF	BRI	U-Werte [W/(m²K)]					An- zahl Ge- scho- sse	ener- geti- scher Stan- dard
							Dac- h	Au- ßen wa- nd	Fen- ster (U <sub>w</sub> )	Hau- stür	Fuß- bo- den		
1.1_H	EFH I	Original	2012	Massivholz mit Zel- lulosedämmung	215	577	0,16	0,16	1,3	0,88	0,23	EFH (E+1)	KfW 70
1.1_M1		Pendant		Stb u. Mineralwoll- dämmung*			0,16	0,16	1,3	0,88	0,23		
1.1_M2		Pendant		Stb u. WDVS			0,16	0,20	1,3	0,88	0,23		
1.1_M3		Pendant		Hlz, einschalig			0,16	0,17	1,3	0,88	0,23		
1.1_M4		Pendant		Porenbeton			0,16	0,22	1,3	0,88	0,23		
1.1_M5		Pendant		KS u. WDVS			0,16	0,20	1,3	0,88	0,23		
1.2_H1	EFH II	Original	2009	HTB mit Mine- ralwolldämmung	176	557	0,18	0,2	1,28	0,9	0,23	EFH (E+1)	EnEV 2009
1.2_H2		Original		Massivholz mit Mi- neralwolldämmung			0,19	0,19	1,28	0,9	0,23		
1.2_M1		Pendant		Hlz u. WDVS			0,18	0,19	1,28	0,9	0,23		
1.2_M2		Pendant		Hlz, einschalig			0,18	0,19	1,28	0,9	0,23		
1.3_H	ZFH I	Original	2012	Massivholz mit Zel- lulosedämmung	379	1069	0,16	0,17	1,3	0,88	0,23	Dop- pel EFH (E+1)	KfW 70
1.3_M1		Pendant		Hlz u. Dämmputz			0,18	0,20	1,3	0,88	0,23		
1.3_M2		Pendant		KS u. WDVS			0,18	0,20	1,3	0,88	0,23		
1.3_M3		Pendant		Porenbeton			0,18	0,20	1,3	0,88	0,23		
1.5_M	EFH III	Original	2011	Hlz u. Dämmputz	245	685	0,18	0,27	1,3	0,8	0,29	EFH (E+ DG)	EnEV 2009
1.6_H	EFH IV	Original	2011	HTB mit Mine- ralwolldämmung	190	483	0,18	0,25	1,3	0,8	0,29	EFH (E+2)	EnEV 2009
1.6_M1		Pendant		KS u. WDVS			0,18	0,25	1,3	0,8	0,29		
1.6_M2		Pendant		Hlz u. Dämmputz			0,18	0,25	1,3	0,8	0,29		
1.7_H	EFH V	Original	2011	HTB mit Mine- ralwolldämmung	127	384	0,12	0,25	1,3	0,8	0,29	EFH (E+1)	EnEV 2009
1.7_M		Pendant		Hlz u. Dämmputz			0,12	0,25	1,3	0,8	0,29		
1.8_H	ZFH II	Original	2011	HTB mit Mine- ralwolldämmung	224	564	0,19	0,25	1,3	0,8	0,29	Dop- pel EFH (E+2)	EnEV 2009
1.8_M		Pendant		Hlz, einschalig			0,19	0,25	1,3	0,8	0,29		
1.9_H	EFH VI	Original	2009	HTB mit Mine- ralwolldämmung	209	536	0,17	0,16	0,9	0,8	0,21	EFH (E+1)	KfW 55 - 70
1.9_M1		Pendant		KS u. WDVS			0,18	0,20	0,9	0,8	0,21		
1.9_M2		Pendant		Porenbeton			0,18	0,20	0,9	0,8	0,21		
1.9_M3		Pendant		Hlz u. Dämmputz			0,18	0,20	0,9	0,8	0,21		

\*Vormauerziegel (VMZ) in Fassadenbekleidung (Ausbau)

Tabelle 3:  
Bauteillisten der Gebäudekonstruktion (EZFH)

Kürzel	Konstruktion	Bauteile Konstruktion					
		1 Fundament	2 Außenwand	3 Innenwand	4 Decke	5 Dach	6 Balkon
1.1_H	Massivholz mit Zellulosedämmung	Stb. (ident.)	Massivholz mit Zellulosedämmung (Brettsper Holz)	Brettsper Holz	Holzbalken und Schüt tung	Brettsper Holz mit Zelu losedämmung	nicht vor handen
1.1_M1	Stb. u. Mineralwoll dämmung		Stb. u. Mineralwoll dämmung + VMZ* (zweischaliges Mauerwerk)	Stb.	Stb.	Holzstegträger mit Mi neralwoll dämmung	
1.1_M2	Stb u. WDVS		Stb u. WDVS	Stb.	Stb.	Holzstegträger mit Mi neralwoll dämmung	
1.1_M3	Hlz, einschalig		Hlz, einschalig	Stb.	Stb.	Holzstegträger mit Mi neralwoll dämmung	
1.1_M4	Porenbeton		Porenbeton	Stb.	Stb.	Holzstegträger mit Mi neralwoll dämmung	
1.1_M5	KS u. WDVS		KS u. WDVS	Stb.	Stb.	Holzstegträger mit Mi neralwoll dämmung	
1.2_H1	HTB mit Mine ralwoll dämmung	Stb. (ident.)	HTB mit Mine ralwoll dämmung	Holzständer mit Gipskar ton	Deckenbal ken und Schüt tung	Holzsparren mit Mine ralwoll dämmung	nicht vor handen
1.2_H2	Massivholz mit Mi neralwoll dämmung		Massivholz mit Mi neralwoll dämmung (Brettstapel)	Holzständer mit Gipskar ton	Brettstapel	Brettstapel	
1.2_M1	Hlz u. WDVS		Hlz u. WDVS	KS	Stb.	Holzsparren mit Mine ralwoll dämmung	nicht vor handen
1.2_M2	Hlz, einschalig		Hlz, einschalig	Hlz	Stb.	Pfettendach mit Mine ralwoll dämmung	
1.3_H	Massivholz mit Zel lulosedämmung	Stb. (ident.)	Massivholz mit Zel lulosedämmung (Brettsper Holz)	Brettsper Holz	Brettsper Holz	Brettsper Holz mit Zelu losedämmung	nicht vor handen
1.3_M1	Hlz u. Dämmputz		Hlz u. Dämmputz	Hlz	Stb.	Pfettendach mit Mine ralwoll dämmung	
1.3_M2	KS u. WDVS		KS u. WDVS	KS	Stb.	Pfettendach mit Mine ralwoll dämmung	
1.3_M3	Porenbeton		Porenbeton	Porenbeton	Stb.	Pfettendach mit Mine ralwoll dämmung	
1.5_M	Hlz u. Dämmputz	Stb. (ident.)	Hlz u. Dämmputz	Hlz	Hlz (Hohl körperde cke)	Pfettendach mit Mine ralwoll dämmung	nicht vor handen
1.6_H	HTB mit Mine ralwoll dämmung	Stb. (ident.)	HTB mit Mine ralwoll dämmung	Metallstän der	Holzbalken mit Mineral wolle	Pfettendach mit Mine ralwoll dämmung	nicht vor handen
1.6_M1	KS u. WDVS		KS u. WDVS	KS	Stb.	Pfettendach mit Mine ralwoll dämmung	
1.6_M2	Hlz u. Dämmputz		Hlz u. Dämmputz	Hlz	Hlz (Hohl körperde cke)	Pfettendach mit Mine ralwoll dämmung	
1.7_H	HTB mit Mine ralwoll dämmung	Stb. (ident.)	HTB mit Mine ralwoll dämmung	HTB, Metall ständer	Holzbalken mit Mineral wolle	Holzstegträger mit Mi neralwoll dämmung	nicht vor handen
1.7_M1	Hlz u. Dämmputz		Hlz u. Dämmputz	Hlz	Hlz	Hlz	
1.8_H	HTB mit Mine ralwoll dämmung	Stb. (ident.)	HTB mit Mine ralwoll dämmung	HTB, Metall ständer	Holzbalken mit Mineral wolle	Pfettendach (Kaltdach)	nicht vor handen
1.8_M	Hlz, einschalig		Hlz, einschalig	Hlz	Hlz (Hohl körperde cke)	Pfettendach (Kaltdach)	
1.9_H	HTB mit Mine ralwoll dämmung	Stb. (ident.)	HTB mit Mine ralwoll dämmung	Holzständer	Holzbalken	Pfettendach mit Mine ralwoll dämmung	nicht vor handen
1.9_M	KS u. WDVS		KS u. WDVS	KS	Stb.	Pfettendach mit Mine ralwoll dämmung	
1.9_M2	Porenbeton		Porenbeton	Porenbeton	Stb.	Pfettendach mit Mine ralwoll dämmung	
1.9_M3	Hlz u. Dämmputz		Hlz u. Dämmputz	Hlz	Stb.	Pfettendach mit Mine ralwoll dämmung	

\*VMZ: Außenwandkonstruktion mit Verblendmauerwerk (Vormauerziegel)

### 3.3.2 Mehrfamilienhäuser

Die bilanzierten MFH haben zwischen 3 - 8 Etagen ohne Kellergeschoss mit Wohnflächen zwischen 488 m<sup>2</sup> und 4256 m<sup>2</sup>. Die Gebäude wurden zwischen 2006 und 2014 gebaut. Es handelt sich hierbei um marktrepräsentative Holzgebäude und mineralische Gebäude. Die Gebäude sowie die Pendants erfüllen den aktuellen Stand der Technik bezüglich energetischer Eigenschaften sowie die Anforderungen an Brand- und Schallschutz. Die Mindestanforderungen für Schallschutz nach DIN 4109 Beiblatt 2 werden von allen Gebäuden erreicht. Die Holzkonstruktionen entsprechen dem aktuellen Holzbau (Holztafelbauweise, Massivholzbauweise); die mineralischen Gebäude sind Standardkonstruktionen, wie sie aktuell gebaut werden.

Die Repräsentativität der Gebäude im MFH wird sichergestellt, indem ein Großteil der Gebäude als sozialer Wohnungsbau errichtet wurde und damit Vorgaben in Bezug auf Größe der Wohnungen und Ausstattung und Standard unterliegen (König 2011). Als Datenbasis für die Ermittlung von durchschnittlichen Qualitäten von Wohngebäuden wurden zwei Gebäudekataloge mit Dokumentationen in die Auswahlüberlegungen miteinbezogen:

- Baukosteninformationszentrum (BKI)-Gebäudekatalog mit ca. 150 Objekten (BKI 2005)
- Mittag Gebäudekatalog mit ca. 110 Objekten (Mittag 2003)

In der Datei von (Mittag 2003) wurden Indexhäuser des statistischen Bundesamtes aufgeführt, die zur Datensammlung des Normalherstellungskostenkatalogs (NHK 2000) gehörten. Zusätzlich wurde in Besprechungen mit Schlüsselpersonen versucht typologische und bauartspezifische Aspekte des State of the Art zu ermitteln.

Die zur Berechnung der vollständigen Aufwendungen während des gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes zu Grunde gelegten Typvertreter-Wohnen in der LEGEP Software/Datenbank wurden dahingehend untersucht, ob sie mit ihren Annahmen zur Gebäudeplanung repräsentativ die Allgemeinheit der entsprechenden Gebäudetypen in Deutschland abbilden. In einem ersten Schritt wurden die Flächen und Kubaturen der Typvertretergebäude mit entsprechenden Gebäuden, die in der Objektdatenbank des Baukosteninformationsdienstes Deutscher Architektenkammern (BKI), KOSTENplaner Version 10 mit Baukostendatenbank 2007/2008 enthalten sind, verglichen. In einem zweiten Schritt wurden auch die Mengengerüste der Grundtypen Einfamilienhaus (EFH), Doppelhaushälfte (DHH) als Zweifamilienhaus (ZFH), Reihenmittelhaus (RMH) und Mehrfamilienhaus (MFH) mit entsprechenden Varianten aus LEGEP mit den EZFH und MFH der entsprechenden möglichen Vergleichsgebäude aus dem BKI verglichen.

Die Plausibilitätsprüfung der Typvertreter „Wohngebäude“ durch die Daten der BKI-Dokumentation führte zu einem positiven Ergebnis. Weitere Differenzierungen wurden für den Gebäudetyp „Mehrfamilienhaus“ durchgeführt.

Tabelle 4 zeigt die bilanzierten Gebäude der Kategorie MFH mit Angaben zur Gebäudekonstruktion, dem Baujahr und dem entsprechenden U-Wert für jedes energetisch relevante Bauteil. Der Bauzeitraum der Gebäude liegt zwischen 2006 und 2014. Die Analyse der U-Werte ergab, dass die Gebäude dennoch die Mindestanforderungen des EnEV-Standards 2009 einhalten. Dadurch werden auch hier die thermische Behaglichkeit und der Komfort (Sommer und Winter) in den Gebäuden sichergestellt. Die Konstruktionsmaterialien der einzelnen Bauteile sind in Tabelle 5 gebäudeweise dargestellt.

Tabelle 4:  
Gebäudepool: „Original“-Gebäude und mineralische Pendants (MFH)

Kürzel	Gebäude-name	Be-zeichnung	Bau-jahr	Gebäude-konstruk-tion	BFG	BRI	U-Werte [W/(m²K)]					An-zahl Ge-schoss-e	ener-getischer Stan-dard
							Dac-h	Au-ßen-wand	Fen-ster (U <sub>w</sub> )	Hau-stür	Fuß-bo-den		
2.2_H	MFH II	Original	2013	HTB u. WDVS	1.394	3.965	0,13	0,18	0,91	1,36	0,3	MFH (E+5)	EnEV 2009
2.2_M		Pendant		Stb u. WDVS			0,19	0,19	0,91	1,36	0,3		
2.3_M	MFH III	Original	2007	Porenbeton bzw. Stb. u. WDVS	7.016	21.943	0,17	0,25	1,3	1,36	0,2	Wohnanlage (E+3)	EnEV 2009
2.4_M	MFH IV	Original	2010	KS u. WDVS	1.478	4.277	0,11	0,11	0,9	0,9	0,14	MFH (E+3)	Passivstandard
2.5_H	MFH V	Original	2006	HTB mit Zellulose u. Mineralwoll-dämmung	6.152	19.072	0,11	0,15	0,91	0,8	0,17	MFH (E+2)	Passivstandard
2.5_M		Pendant		Hz u. WDVS			0,11	0,15	0,91	0,8	0,17		
2.6_H	MFH VI	Original	2013	HTB mit Mineralwoll-dämmung	2.717	8.646	0,11	0,14	0,91	0,9	0,13	MFH (E+3)	Passivstandard
2.6_M		Pendant		Porenbeton bzw. Stb. u. Mineralwoll-dämmung			0,11	0,17	0,91	0,9	0,13		
2.7_H	MFH VII	Original	2011	Massivholz mit Mineralwoll-dämmung	2.033	6.172	0,11	0,12	0,9	0,8	0,18	MFH (E+7)	Passivstandard
2.7_M1		Pendant		Porenbeton			0,18	0,2	0,9	0,8	0,18		
2.7_M2		Pendant		Hz u. Dämmputz			0,18	0,2	0,9	0,8	0,18		
2.7_M3		Pendant		Hz u. Mineralwoll-dämmung*			0,18	0,19	0,9	0,8	0,18		
2.9_H	MFH IX	Original	2011	HTB mit Zellulose u. Mineralwoll-dämmung	1.257	3.876	0,11	0,23	0,88	0,79	0,15	MFH (E+3)	EnEV 2009
2.9_M		Pendant		KS u. WDVS			0,13	0,17	0,88	0,79	0,15		
2.10_H	MFH X	Original	2010	Massivholz mit Mineralwoll-dämmung	723	2.404	0,14	0,15	0,9	0,8	0,18	MFH (E+3)	EnEV 2009
2.10_M1		Pendant		Porenbeton			0,18	0,2	0,9	0,8	0,18		
2.10_M2		Pendant		Hz u. Dämmputz			0,18	0,2	0,9	0,8	0,18		
2.10_M3		Pendant		Hz u. Mineralwoll-dämmung*			0,18	0,19	0,9	0,8	0,18		
2.12_M	MFH XII	Original	2014	KS u. Mineralwoll-dämmung*	1765	5363	0,12	0,18	0,9	0,9	0,18	MFH (E+4)	EnEV 2009
2.13_M	MFH XIII	Original	2010	Stb u. WDVS	1348	3933	0,15	0,23	0,92	0,99	0,24	MFH (E+5)	EnEV 2009

\*VMZ in Fassadenbekleidung (Ausbau)

Tabelle 5:  
Bauteillisten der Gebäudekonstruktion (MFH)

Kürzel	Konstruktion	Bauteile Konstruktion					
		1 Fundament	2 Außenwand	3 Innenwand	4 Decke	5 Dach	6 Balkon
2.2_H	HTB u. WDVS	Stb. (ident)	HTB u. WDVS	Holzständer, Metallständer u. Stb.	Brettsperrholz plus Betonschicht (Holzbetonverbunddecken)	Brettsperrholz	Stahlkonstruktion (ident.)
2.2_M	Stb. u. WDVS		Stb. u. WDVS	Stb. u. Metallständer	Stb.	Stb.	
2.3_M	Porenbeton bzw. Stb. u. WDVS	Stb. (ident)	Porenbeton bzw. Stb. u. WDVS	Stb., KS	Stb.	Stb.	Stahlkonstruktion u. Betonfertigteile
2.4_M	KS u. WDVS	Stb. (ident)	KS u. WDVS	Stb. u. Metallständer	Stb.	Stb., Holzpfetten	Stahlkonstruktion
2.5_H	HTB mit Zellulose u. Mineralwolldämmung	Stb. (ident)	HTB mit Zellulose und Mineralwolldämmung	Holzständer, Metallständer, Stb.	Brettsperrholz	Brettsperrholz	Brettsperrholz
2.5_M	Hlz u. WDVS		Hlz u. WDVS	Metallständer, Holzständer mit Mineralwolle, KS	Stb.	Stb.	Stb.
2.6_H	HTB mit Mineralwolldämmung	Stb. (ident)	HTB mit Mineralwolldämmung	HTB (tragend), Metallständer (nichttragend), Holzstützen mit Gipskarton verkleidet	Konstruktionsvollholz (KVH)-Balken mit Steinwolle	Holzbalken u. Mineralwolle (Pultdach)	Stahlkonstruktion (ident.)
2.6_M	Porenbeton bzw. Stb. u. Mineralwolldämmung		Stb. (tragend) mit Mineralwolle, Porenbeton (nichttragend)	Stb. (tragend), Metallständer (nichttragend), Stb.-Stützen	Stb.	Holzbalken u. Mineralwolle (Pultdach)	
2.7_H	Massivholz mit Mineralwolldämmung	Stb. (ident)	Massivholz mit Mineralwolldämmung	Massivholz, Holzständer	Brettsperrholz	Brettsperrholz u. Mineralwolle	Stahlkonstruktion (ident.)
2.7_M1	Porenbeton		Porenbeton	Stb. u. Metallständer	Stb.	Stb.	
2.7_M2	Hlz u. Dämmputz		Hlz u. Dämmputz	Stb. u. Metallständer	Stb.	Stb.	
2.7_M3	Hlz u. Mineralwoll-dämmung*		Hlz u. Mineralwoll-dämmung*	Stb. u. Metallständer	Stb.	Stb.	
2.9_H	HTB mit Zellulose u. Mineralwoll-dämmung	Stb. (ident)	HTB mit Zellulose u. Mineralwoll-dämmung	Brettsperrholzplatten u. Holzständer	Brettsperrholz	Brettsperrholz	Stahl-/Holzkonstruktion
2.9_M	KS u. WDVS		KS und WDVS	Stb., KS	Stb.	Stb.	
2.10_H	Massivholz mit Mineralwoll-dämmung	Stb. (ident)	Massivholz mit Mineralwoll-dämmung	Holzständer	Brettstapel	Holzbalken mit Mineralwoll-dämmung	Brettstapel
2.10_M1	Porenbeton		Porenbeton	Stb.	Stb.	Stb.	Stahlkonstruktion
2.10_M2	Hlz u. Dämmputz		Hlz u. Dämmputz	Stb.	Stb.	Stb.	Stahlkonstruktion
2.10_M3	Hlz u. Mineralwoll-dämmung		Hlz u. Mineralwoll-dämmung*	Stb.	Stb.	Stb.	Stahlkonstruktion
2.12_M	KS u. Mineralwoll-dämmung	Stb. (ident)	KS u. Mineralwoll-dämmung*	Stb., KS, Metallständer	Stb.	Stb. u. Holzpfetten	KS u. Stb.
2.13_M	Stb. u. WDVS	Stb. (ident)	Stb. u. WDVS	Stb. u. Metallständer	Stb.	Stb.	Stb.

\*VMZ: Außenwandkonstruktion mit Verblendmauerwerk (Vormauerziegel)

### 3.4 Rahmenbedingungen der Gebäudeökobilanzierung

#### 3.4.1 Systemgrenzen

##### Betrachtete Module

Die Betrachtung des Lebenszyklus der Gebäude erfolgt gemäß der Zielsetzung nach dem Cradle-to-gate with options (von der Wiege bis zum Werkstor mit Optionen) Prinzip (DIN EN 15804:2014). Für die Gebäudebewertung werden die Normen DIN EN 15978:2012 *Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden* sowie auf Bauprodukteebene die DIN EN 15804:2014 zugrunde gelegt, siehe Abbildung 6.

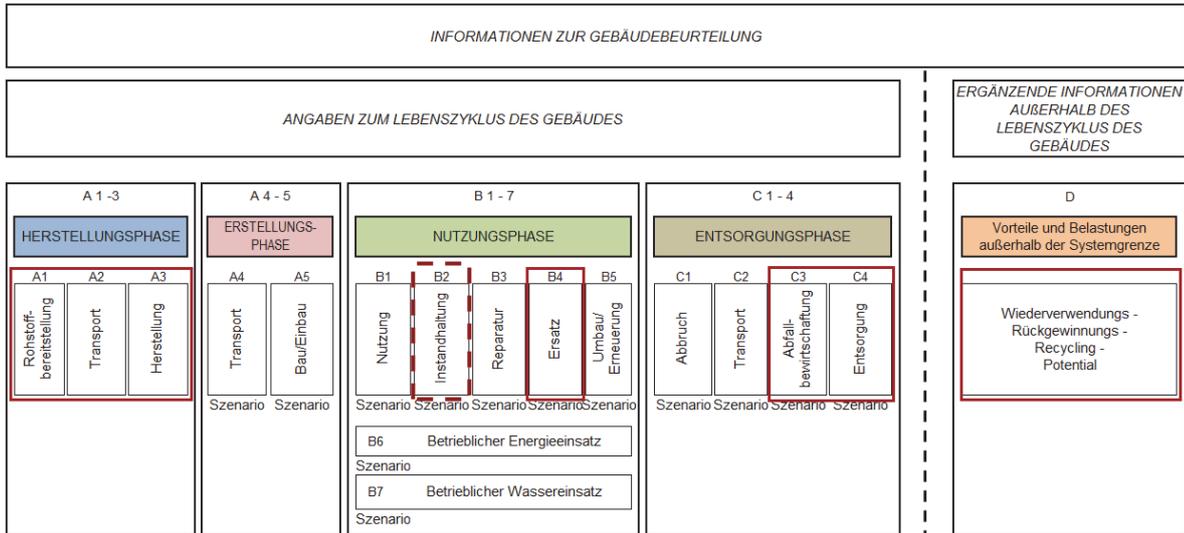


Abbildung 6:

Modulare Struktur der umweltbezogenen Informationen über den Lebenszyklus eines Gebäudes nach DIN EN 15978 :2012. Die rot umrandeten Module werden im Rahmen des Projekts bilanziert, wobei Modul D separat ausgewiesen wird

Die Berechnungen orientieren sich an den Berechnungen der Ökobilanzen im Rahmen der Nachhaltigkeitszertifizierung für Gebäude nach dem Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) und Nachhaltiger Wohnungsbau (NaWoh). (BMUB 2012), (NaWoh 2016)

In der Gebäudebewertung werden innerhalb der Systemgrenze die Module A1-A3 (Herstellung), Modul B2 (Schutzanstriche) und B4 (Austausch, Ersatz) und die Module C3-C4 (Abfallbewirtschaftung und Entsorgung) berücksichtigt. Modul D (Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenze) wird als Informationsmodul separat ausgewiesen. Dabei decken die Module A1-A3 die Prozesse „von der Wiege bis zum Verlassen des Werksgeländes“ für die beim Bau verwendeten Materialien und Dienstleistungen ab. Dies umfasst die Rohstoffgewinnung und –verarbeitung der benötigten Materialien (A1), den Transport der in Modul A1 erfassen Materialien bis zum Werkstor und interne Transporte (A2) sowie die Herstellung von Hilfs- und Betriebsstoffen, Vor-Produkten und Produkten (Baustoffe) (A3). Somit werden in Modul A2 die Transportwege vom Gewinnungsort des Rohstoffs (z.B. Holzimport aus Finnland oder Rohstoffe für Zement aus nahegelegenen Steinbruch) bis zum jeweils verarbeitenden Werk berücksichtigt. Verpackungsmaterialien der Baustoffe werden nicht betrachtet, da angenommen wird, dass diese für jeden Konstruktionsart ähnlich sind und massenmäßig nur einen geringen Anteil ausmachen. Beispielhaft wurde in eigenen Berechnungen (Anhang 8.2.3) für ein EFH aus Holz ein Anteil der Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus von ca. 0,2 % berechnet; bei einem mineralischen Haus gleicher Größe trägt die Verpackung zu 0,5 % zu den THG-Emissionen bei. Der Unterschied besteht bei diesem Beispiel im Wesentlichen in der Verpackung der Dämmstoffe. Zellulose, die in diesem Fall im Holzhaus enthalten ist, wird lose im LKW (also unverpackt) geliefert, wobei Mineralwolleplatten in Rollen eingeschweißt angeliefert werden. Auch die Studie von Kellenberger und Althaus (Kellenberger und Althaus 2009) hat deutlich gemacht, dass die Aufwendungen für Logistik und Baustellenprozesse einen geringeren Einfluss auf das Ergebnis der Gebäudebilanzierung haben, dagegen die Erfassungstiefe aller Bauteile mit allen erforderlichen Nebenleistungen (z.B. Schrauben, Folien, Fußbodenleisten, Kleber) eine wesentliche Bedeutung für das Gesamtergebnis mit sich bringt. Die Erfassungstiefe der Gebäudebestandteile durch die kostenbasierte Elementmethode in der ver-

wendeten Ökobilanzsoftware LEGEP gewährleistet eine hohe Erfassungstiefe inklusive aller Nebenleistungen aller Bauteile (vgl. Kapitel 3.4.5). Unberücksichtigt in der Bilanzierung bleibt der Verschnitt der im Werk während der Herstellung (A3) anfällt. Anfallender Verschnitt im Werk ist in den Datensätzen der zugrundeliegenden Ökobilanzdatenbank des BBSR (Ökobau.dat) integriert und wird in A3 zur thermischen Holz Trocknung eingesetzt. Modul B2 beinhaltet nach DIN EN 15804:2014 die Inspektion, Wartung und Reinigung eines in ein Gebäude, Bauwerk oder Bauteil eingebauten Produktes. Phase B2 "Reinigung" wird bisher in den verfügbaren Datenbanken nicht mit Daten ausgestattet. Davon sind üblicherweise Fenster, Türen, Bodenflächen und Sanitärgegenstände betroffen. Diese sind in den Gebäuden nahezu identisch. Ökobilanzen von Reinigungsmitteln sind nicht in der Ökobau.dat enthalten. Ebenso fehlen Ökobilanzmodule für Frisch- und Abwasser. Inspektionen in Form von Schutzanstrichen werden gemäß den Instandsetzungszyklen der Tabelle „Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)“ des BBSR (BMUB 2011) berücksichtigt. Es werden deshalb aus dem Modul B2 die Schutzanstriche, vornehmlich von Holzbauteilen, mit bilanziert und im Modul B mit ausgewiesen. In Modul B4 wird der Austausch und Ersatz eines Bauteils, um es während seiner Nutzungsphase in den Zustand zurück zu versetzen in dem sowohl seine erforderliche funktionale und technische als auch seine ästhetische Qualität wieder hergestellt ist, beschrieben. Die Nutzungsdauern bzw. Nutzungszyklen der Bauteile werden ebenfalls nach der Nutzungsdauer Tabelle des BBSR berechnet. Der Betrachtungszeitraum beträgt 50 Jahre. Muss ein Bauteil erst im 48. Jahr oder später ausgetauscht werden, wird es nicht ausgetauscht. Dies umfasst die Herstellung der Austauschprodukte und Hilfsprodukte sowie die Entsorgungsprozesse der ausgetauschten Produkte und Hilfsprodukte. Modul B2 und B4 wird gemeinsam ausgewertet, da nicht eindeutig zwischen den Begriffen Inspektion und Austausch unterschieden werden kann. In der Entsorgungsphase (Modul C) werden die Abfallbehandlung zur Wiederverwendung, Rückgewinnung und/oder zum Recycling (C3) sowie die Abfallbeseitigung (C4) berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass die Recyclingfähigkeit aller Materialien gegeben ist und diese nach den Verwertungsvorschriften getrennt werden. Die Szenarien für C3 und C4 werden, wenn keine spezifischen Angaben vorliegen, entsprechend den Abfallschlüsseln des Kreislaufwirtschaftsgesetzes für die Produkte zugeordnet und mit generischen Datensätzen für die Prozesse berechnet (vgl. Kapitel 3.4.4). Die Entsorgungsregeln der Zertifizierungssysteme (DGNB/BNB) für die Gestaltung der End-of-Life Phase (EoL) beinhalten folgende Regeln:

In die Berechnung der Ökobilanzergebnisse des EoL- Szenarios des Gebäudes sind Verwertung und Entsorgung für alle in der Herstellungsphase gelisteten Materialien/Baustoffe einzubeziehen. Folgende Materialgruppen sind in den Berechnungen und Auswertungen nach Szenarienvorgaben des DGNB und BNB zu unterscheiden:

- 1) Metalle zur Verwertung
- 2) Mineralische Baustoffe zur Verwertung (z.B. Beton)
- 3) Materialien mit einem Heizwert zur thermischen Verwertung (z. B. Holz, Kunststoffe etc.)
- 4) Materialien, die nur auf Deponien abgelagert werden (Glas, Mineralwolle, Gipskartonplatten, Bitumenpappen), vgl. DGNB Steckbrief Ökobilanz (DGNB 2015)

Für 1) gilt: Es ist der Entsorgungs-/Verwertungsweg „Recycling/Verwertung“ zu wählen. Hierzu sind EoL-Datensätze mit dem Modul C3 für die jeweiligen Metalle zu wählen. Liegt kein eindeutig passender Datensatz vor, so ist ein naheliegender Datensatz zu wählen.

Für 2) gilt: Es ist der Entsorgungs-/Verwertungsweg „Recycling/Verwertung“ zu wählen. Hierzu ist für die nachweislich mineralischen Baustoffe (zum Beispiel Beton, der als Unterbeton für Bodenplatten oder im Straßenbau eingesetzt wird) der Prozess „Bauschuttzubereitung“ zu wählen.

Für 3) gilt: Es ist der Entsorgungsweg „Thermische Verwertung“ zu wählen. Die Datensätze sind mit den entsprechenden Datensätzen für thermische Verwertung abzubilden. Die Dokumentation erfolgt in Modul C3 (falls thermische Verwertung mit Energiegewinnung angewendet werden kann) oder in Modul C4 (falls thermische Verwertung ohne Energiegewinnung vorliegt) entsprechend der Definition im Datensatz.

Für 4) gilt: Es ist der Entsorgungsweg „Entsorgung auf Deponie“ zu wählen, sofern für die Materialien kein anderer Verwertungsweg als Ablagerung auf Deponien realistisch ist. (BBSR 2015a)

Bei allen Datensätzen der Ökobau.dat, die bereits Werte für ein C und D Modul führen, werden diese verwendet.

Materialien mit Risikostoffen z.B. Holz und Holzwerkstoffe mit biozider Ausrüstung werden innerhalb dieser Systeme nicht erfasst. Es wird davon ausgegangen, dass entsprechend der DIN 68800 grundsätzlich biozidfreie Konstruktionen eingesetzt werden entweder durch den Konstruktionsaufbau oder die Wahl von Holz einer höheren Resistenzklasse. Die Systemgrenze nach der Entsorgung wird dort gezogen, wo die Outputs, d.h. Sekundärstoffe oder -brennstoffe, das Ende ihrer Abfalleigenschaft erreichen. Die aus den Sekundärstoffen und -brennstoffen durch Wiederverwendung, Recycling (stofflich oder thermisch) und Energierückgewinnung verursachten Umweltvorteile oder -belastungen werden Modul D außerhalb der Systemgrenze zugeordnet.

Nicht berücksichtigt werden gemäß den Rechenregeln des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen (BNB) die Module A4 (Transport vom Fertigungswerk zur Baustelle), A5 (Errichtung/Einbau), B1 (Nutzung), B2 (Instandhaltung)<sup>3</sup>, B3 (Instandsetzung, Reparatur), B5 (Modernisierung), B7 (betrieblicher Wassereinsatz) C1 (Rückbau/Abriss) und C2 (Transport zur Abfallbehandlung/Beseitigung) (BMUB 2012). Die Nichtberücksichtigung ist auf den Datenmangel in der Ökobau.dat für die genannten Module zurückzuführen. Modul A4/A5 bspw. ist in der Ökobau.dat in einigen Produkten enthalten (z.B. Beton, Ziegel, EPS) in anderen aber nicht (z.B. XPS, WDVS, KS Steine, Dachziegel, etc.).

Die Transportaufwendungen, die vom Gewinnungsort des Rohstoffs bis zum Werk in dem das Bauprodukt hergestellt wird anfallen, werden durch Modul A2 abgedeckt. Beispielhaft wurden zur Begründung warum A4 nicht berücksichtigt wurde, für ein EFH in Holzbauweise und ein EFH in mineralischer Bauweise die Transportaufwendungen für Modul A4 (Transport vom Werk zur Baustelle) anhand der Transportdatensätze der Ökobau.dat 2015 berechnet. Bei einem Massivholz EFH macht der Transport in A4 ca. 0,8 % der THG-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus aus, bei einem Porenbeton EFH ca. 1 % der gesamten THG-Emissionen (Anhang 8.2.3). Die Gegebenheiten für den Bezug der Materialien können je nach Baustoff sehr unterschiedlich sein. So sind die Transportwege vom Werk zur Baustelle von mineralischen Baustoffen i.d.R. kürzer als die von Holz und Holzwerkstoffen. Dies kann wiederum durch das durchschnittlich leichtere Gewicht von Holz kompensiert werden, wodurch mehr Holz auf einmal transportiert werden kann.

Des Weiteren wird der betriebliche Energieeinsatz (Modul B6) nicht einbezogen, da es sich bei den zu vergleichenden Gebäuden um funktionell äquivalente Gebäude mit identischem energetischem Standard, ermittelt nach EnEV, Rechenverfahren nach DIN 4108 und DIN 4701, handelt. Somit ist der Energieeinsatz in der Nutzungsphase, der durch die EnEV definiert ist, bei den zu vergleichenden Gebäuden gleich hoch und dadurch für den Gebäudevergleich nicht relevant.

Der Betrachtungszeitraum für die Ökobilanz liegt bei 50 Jahren (BMUB 2011). Vorhergehende Forschungsarbeiten<sup>4</sup> zeigen, dass eine Verlängerung des Betrachtungszeitraums keinen Einfluss auf die Module A und C eines Gebäudes hat. Die wesentlichen Unterschiede kommen in Modul B durch höhere Austauschzyklen der Bauteile, die sich zwangsläufig ergeben, zustande. Auf der Basis gleicher Betriebsnutzungskennzahlen verhalten sich die Gebäude in der verlängerten Nutzungsphase ähnlich. Bei einer Verdoppelung des Betrachtungszeitraums sind davon vor allem betroffen: die Fassadenbeschichtungen mit Austauschzyklen zwischen 8 und 15 Jahren, die Haustechnik mit Austauschzyklen zwischen 20 und 25 Jahren und die die Fenster mit Austauschzyklen von 40 Jahren. Die Konstruktionen sind nicht betroffen. Über die Unterteilung des Substitutionsfaktors für Gebäude ( $SF_G$ ) in Konstruktion und Ausbau kann dieses dargestellt werden.

### **Betrachtetes Produktsystem**

Betrachtet wird das gesamte Gebäude ohne Untergeschoss (UG) bzw. Keller, inklusive der technischen Anlagen und fixen Einbauten, jedoch ohne Möblierung, Außenanlagen und Erschließung. Der Bau von Kellergeschossen ist abhängig von Bauherr, Investor, Raumprogramm, Baugrund und den jeweiligen örtlichen Vorgaben und wird unabhängig von der sonstigen Bauweise fast ausschließlich in Stahlbetonbauweise ausgeführt. Innerhalb der Systemgrenze befinden sich somit nach DIN 276 die Baukonstruktion (KG 300) mit einer Fundamentbodenplatte anstelle des UG bzw. Kellers sowie die TGA (KG 400). Tabelle 6 zeigt eine detaillierte Auflistung der betrachteten Kostengruppen (KG).

<sup>3</sup> B2 wird anteilig nicht berücksichtigt (Reinigung). Schutzanstriche werden berücksichtigt.

<sup>4</sup> Hafner, Schäfer, Krause, 2015: *Effects of different reference study periods of timber and mineral buildings on material input and global warming potential*, SBE 16 Conference, Hamburg

Tabelle 6:  
Kostengruppen innerhalb der Systemgrenze

Name	Bemerkung	Kostengruppe
Baukonstruktion (KG 300)		
1 Fundamentplatte	inkl. Dämmung und Estrich	322, 324, 326
2 Außenwand (ohne Bekleidung)	Treppenhauswand, Glasfassaden, Dämmung, WDVS, Dämmputze	331, 332, 333, 336
3 Innenwand		341, 342, 343, 345, 346
4 Decke	inkl. Estrich; bei Kaldt Dach abschließende Decke gedämmt, ohne Treppen, Balkone, Loggien	351*, 353
5 Dach	Dachkonstruktion inkl. Dämmung	361, 364
6 Bodenbeläge ab Estrich OK	ohne Estrich	325*, 352*
7 Treppe	Stufen und Geländer	351*, 349
8 Fenster	inkl. Dachfenster	334, 344, 362
9 Türen	inkl. Fenstertüren	334, 344
10 Fassade (Bekleidung, außen)	ohne Dämmschichten, entfällt bei WDVS und Dämmputzen (siehe 2 Außenwand)	335*
11 Dachbeläge	ab Oberkante Abdichtung	363
12 Balkone	inkl. Loggien	351*, 352, 359
13 Sonstiges	z.B. Sonnenschutz	z.B. 338
Technische Gebäudeausrüstung TGA (KG 400)		
Heizung		420
Lüftung		430
Sanitär		410
Elektro		440, 450
Fahstuhl		460

\*KG entspricht nicht der Beschreibung nach DIN 276:2006, geänderte Eigenschaften sind in der Spalte „Bemerkung“ beschrieben.

### 3.4.2 Abschneidekriterien

Die Abschneidekriterien werden in der verwendeten Datenbasis (Ökobau.dat 2015) festgelegt. Es wird davon ausgegangen, dass für einen Einheitsprozess die Abschneidekriterien von 1 % des erneuerbaren und des nicht erneuerbaren Einsatzes von Primärenergie und 1 % der Gesamtmasse dieses Einheitsprozesses eingehalten werden. Weiterhin ist davon auszugehen, dass die vernachlässigten Inputflüsse je Modul höchstens 5 % des Energie- und Masseinsatzes betragen. Alle bekannten In- und Outputflüsse der betrachteten Module werden in die Sachbilanz aufgenommen. Bei den hier untersuchten Gebäuden ist aufgrund des Detaillierungsgrades der Gebäudebeschreibung davon auszugehen, dass der vernachlässigte Input bei höchstens 1 % liegt.

### 3.4.3 Funktionelle Einheit

Nach DIN EN ISO 14044:2006 beschreibt die funktionelle Einheit den quantifizierten Nutzen eines Produktsystems für die Verwendung als Vergleichseinheit. In dieser Studie ist die funktionelle Einheit die Bereitstellung von 1 m<sup>2</sup> Bruttogrundfläche (BGF) bzw. 1 m<sup>3</sup> Bruttorauminhalt (BRI) des Produktsystems „Gebäude“ über den Gebäudelebenszyklus von 50 Jahren. Das Produktsystem „Gebäude“ wurde in Kapitel 3.4.1 *Systemgrenzen* definiert. Die zu vergleichenden Gebäude sind funktionell äquivalent und erfüllen die definierten Qualitätsmerkmale (vgl. Kapitel 3.2).

Inbegriffen sind hierbei nach DIN EN 15804:2014 die Module A1-A3, B2 (teilweise), B4 und C3-C4. Modul D wird separat ausgewiesen. Die Berechnungen erfolgen auf Gebäudeebene; anschließend werden die Ergebnisse auf 1 m<sup>2</sup> BGF bzw. 1 m<sup>3</sup> BRI bezogen.

### 3.4.4 Verwendete Hintergrunddaten: Ökobau.dat

Die Hintergrunddaten zur Erstellung der Sachbilanz werden der Ökobau.dat 2015 des Bundes entnommen (Stand November 2015) (BMUB 2015). In der Datenbank enthalten sind DIN EN 15804:2014-konforme generische Datensätze (thinkstep) und EPD (Environmental Product Declaration)-Datensätze (unterteilt in repräsentative Datensätze von Industrieverbänden, durchschnittliche Datensätze von

Industrieverbänden und Hersteller-spezifische Datensätze). Einige Datensätze enthalten die getrennte Ausweisung von Modul C (Entsorgung) und Modul D (Recyclingpotential), wie in DIN EN 15804:2014 und DIN EN 15978:2012 gefordert wird. Als Beispiele seien die Holz- und Holzwerkstoffdatensätze des Thünen Instituts (unter Nr. 3.1 – 3.3 der Ökobau.dat 2015) genannt oder die Datensätze Mauerziegel der Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel im Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V. (unter Nr. 1.3.02). Die generischen und Verbands-Datensätze, z.B. 1.3.03 Porenbeton, 1.3.01 Kalksandstein oder 2.3.01 XPS-Dämmstoff weisen dagegen nur die Module A1–A3 auf. Werden keine Angaben zu Modul C und D bereitgestellt, werden diese Datensätze mit generischen Entsorgungsinformationen (generischer Datensatz) zur vollständigen Berechnung der Ökobilanz verknüpft. Eine Auflistung nicht normkonformer Datensätze befindet sich im Anhang 8.2.1)). Die Liste enthält die Materialien der Materialdatenbank der Software LEGEP mit den verknüpften Ökobau.dat Datensätzen denen ein generischer EoL-Datensatz der Ökobau.dat (9.5.01-04) zugeordnet werden musste, da für diese Datensätze in der Ökobau.dat kein C und evtl. D Modul bereitgestellt wird. (Anhang 8.2.1)

Umgang mit Rezyklat: In den zugeordneten generischen C und D Datensätzen der Ökobau.dat wird nur der Datensatz „Bewehrungsstahl“ explizit als Sekundärmaterialdatensatz geführt. Dieser Datensatz weist im Modul D keine Recyclingpotential-Gutschriften auf. Ein Datenfeld „Recyclingmaterialanteil“ ist in den Datensätzen der Ökobau.dat nicht vorgesehen. Information darüber können nur dem Fließtext im Datensatzinformationsfeld oder spezifischen EPD-Informationen entnommen werden.

### **Zeitliche, geographische und technologische Repräsentativität**

Die verwendeten Datensätze der Ökobau.dat 2015 sind nicht älter als 5 Jahre (Referenzjahre der Datensätze zwischen 2011 und 2015) und sind bis mindestens 2017 (max. 2020) gültig.

Die geographische Repräsentativität der Ökobau.dat bezieht sich auf Deutschland.

Die technologische Repräsentativität der Datensätze wird vorausgesetzt. Eine detaillierte technische Beschreibung für jeden Datensatz liefert die Ökobau.dat auf dem Datenblatt der einzelnen Datensätze, abrufbar unter <http://www.oekobaudat.de/> (BMUB 2015).

### **3.4.5 Gebäudemodellierung**

Zur Modellierung der Gebäude und Berechnung der Ökobilanzen wurde die Software LEGEP (Version 2.7.638 (10.07.15), zuzüglich Versions-Update 11-2015 und 2-2016) verwendet, die von der ASCONA GbR entwickelt wird. Die Software ermöglicht auf der Basis eines Gebäudemodells die vollständige Bilanzierung von Objekten über den Lebenszyklus für den Energiebedarf, die Lebenszykluskosten und die Umwelteinträge. In LEGEP ist die sirAdos-Baudatenbank des WEKA Verlags mit z.Zt. über 3000 Bauteilen und über 5000 Schichten hinterlegt, auf die bei der Modellierung der Gebäude zugegriffen wird (sirAdos 2016).

Als Teil des Projektes wurde die Software LEGEP an die aktuellen Normen DIN EN 15804:2014 und DIN EN 15978:2012 angepasst und die Ökobau.dat 2015 als Datenquelle hinterlegt. Bei den notwendigen Anpassungen ist zu unterscheiden zwischen programmbezogenen Korrekturen und der Erweiterung der Datenbank. Die Forderungen der DIN EN 15804:2014 und DIN EN 15978:2012 wurde durch einen erheblichen Umbau der Programmarchitektur und der Datenverarbeitung umgesetzt.

Durch die Trennung der EoL-Phase in die Module C und D kann der Anwender eine Auswahl hinsichtlich unterschiedlicher EoL-Szenarien eines Projektes treffen. Da die DIN EN 15804:2014 dem Datenlieferanten es freistellt, alle Module (A – D) oder nur die Herstellungsphase (A1 – A3) zu bedienen, ist das Programm nun in der Lage, nicht vollständige Datensätze aus in der Datenbank vorgehaltenen generischen Datensätzen zu ergänzen. Dazu wurden alle Materialdatensätze mit der Nummerierung nach den europäischen Abfallklassen ausgestattet. Diese Abfallklassen sind mit dem der Abfallklasse entsprechenden generischen EoL-Datensatz der Ökobau.dat verknüpft (siehe Anhang 8.2.1) und werden über LEGEP dem Ökobilanzierer zur Verfügung gestellt. Es werden nur solche Datensätze aus LEGEP für die Ökobilanz des Projekts übernommen, für die der Datenlieferant (EPD des Herstellers) keine Datensätze zu den Modulen C und evtl. D berechnet hatte. Hier wurden Verknüpfungen mit den Sachbilanzdatensätzen für Modul C (und D) aus der Ökobau.dat (wie dargestellt) hergestellt.

Des Weiteren wurden die Datensätze der Ökobau.dat 2015 in LEGEP hinzugefügt, wobei alle Materialien, Leistungsbeschreibungen, Herstellungs- und Instandsetzungselemente mit der Datenquelle verknüpft werden, um eine Datenrechnung über den Betrachtungszeitraum zu erhalten. Entsprechend der Regelung für Nichtwohnungsbauten im BNB-System und für Wohnungsbauten im NaWoh-System

wird mit einem Betrachtungszeitraum von 50 Jahren gerechnet, was in diesem Fall der geforderten Nutzungsdauer des Gebäudes entspricht. Für die Festlegung der Austauschzyklen der Bauteile innerhalb des Betrachtungszeitraums wird die Tabelle „Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)“, Stand 03.11.2011 (siehe Anhang 8.2.2) verwendet (BMUB 2011).

Tabelle 7 zeigt die zu bilanzierenden Lebenszyklusphasen und deren Umsetzung in LEGEP sowie die Weiterverwendung der Daten aus LEGEP. Die Ökobilanzergebnisse werden modulweise ausgewiesen: Modul A (A1-A3), Modul B (B2 und B4), Modul C (C3 und C4) sowie Modul D. Modul D wird dabei zusätzlich getrennt nach  $D_A$  und  $D_B$  ausgewiesen.  $D_A$  beinhaltet die Lasten und Vorteile, die entstehen, wenn das anfangs, beim Bau des Gebäudes (in Modul A) eingebaute Produkt in Modul C3 entsorgt wird.  $D_B$  beschreibt die Lasten und Vorteile die bei der Entsorgung der ausgetauschten Produkte entstehen. Dadurch werden die Beiträge der Herstellungsphase und der Instandsetzungsphase zu Modul D verdeutlicht.

Tabelle 7:  
Lebenszyklusphasen und Umsetzung in LEGEP

Module nach DIN EN 15978:2012	Umsetzung in LEGEP			Export aus LEGEP und Auswertungsdatei
	Bezeichnung in LEGEP	Was ist enthalten?	Datenquelle	
Modul A1: Rohstoffbereitstellung	Neubau "Neu"	Modul A1-A3	Angaben in Datenblättern der Ökobau.dat 2015	Modul A1-A3 liegt bereits normkonform vor
Modul A2: Transport				
Modul A3: Herstellung				
Modul A4: Transport	entfällt, da dieses Modul außerhalb der festgelegten Systemgrenzen liegt (vgl. Kapitel 3.4.1)			
Modul A5: Errichtung	entfällt, da dieses Modul außerhalb der festgelegten Systemgrenzen liegt (vgl. Kapitel 3.4.1)			
Modul B2 und B4: Inspektion, Austausch/Ersatz	Instandsetzung "Ins"	Austausch der Materialien (anteilig berechnet aus Modul A1-A3 der Herstellung) inkl. Entsorgung der ausgetauschten Materialien (in der Auswertung unter Entsorgung zusammengefasst)	Austauschzyklen nach Tabelle „Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)“ (BMUB 2011)	Modul B2 und B4 werden normkonform umgerechnet, d.h. Entsorgung der Materialien aus Modul B findet in Modul B statt
Modul C1: Abbruch	entfällt, da dieses Modul außerhalb der festgelegten Systemgrenzen liegt (vgl. Kapitel 3.4.1)			
Modul C2: Transport	entfällt, da dieses Modul außerhalb der festgelegten Systemgrenzen liegt (vgl. Kapitel 3.4.1)			
Modul C3: Abfallbewirtschaftung	Entsorgung „Ent“	Modul C3 und/oder C4, je nach Material (enthält die Entsorgung von Modul A und Modul B*)	Angaben in Datenblättern der Ökobau.dat 2015. Bei fehlenden Angaben generische Zuordnung (siehe Anhang 8.2.1)	Modul C beinhaltet die Entsorgung der Materialien aus A1-A3 (die Entsorgung von Modul B wird normkonform herausgerechnet)
Modul C4: Entsorgung				
Modul D: Recyclingpotential	D	Modul D (für Holzdatensätze $D_{them.}$ )	Angaben in Datenblättern der Ökobau.dat 2015. Bei fehlenden Angaben generische Zuordnung (siehe Anhang 8.2.1)	Modul D wird aufbereitet in Modul $D_A$ und $D_B$

\*Zuordnung erkennbar

Die Gebäudemodellierung in LEGEP erfolgt auf Bauteilebene. Überwiegend werden hierfür materialbezogene Datensätze verwendet, Ausnahme ist die in KG 300 (Bauwerk – Baukonstruktionen) genannte Gruppe der Fenster und Trockenbauwände, in KG 400 (Bauwerk – technische Anlagen) sind es nahezu alle Bauteile die auf produktbezogenen Datensätzen basieren. Die in einer EPD schon zu Produkten aggregierten Daten haben den Nachteil bezüglich der darin enthaltenen Materialien wenig Informationen vorzuhalten. Die funktionelle Einheit ist deswegen oftmals "ein Stück", z.B. ein Stück Wärmepumpe. Wenn die Produktbeschreibung der Produkt-EPD nicht als Metadaten in die Ökobau.dat mit einfließt, lässt der Datensatz der Ökobau.dat bezüglich der Frage nach Menge der Materialien, Trennbarkeit und Wiederverwendbarkeit keine Antwort zu. Der Ersteller der LEGEP-Datenbank versucht in solchen Fällen derartige Daten zu gewinnen, in dem er ggf. die zugrundeliegende EPD auswertet oder aus anderen verfügbaren Quellen die Materialien und Massenanteile ermittelt und diese mit den entsprechenden Datenmodulen aus der Ökobau.dat verknüpft. (Künniger und Richter (2014); König und Kreißig (2010)). Jeder Material-Datensatz ist mit einem Ökomoduldatensatz aus der Ökobau.dat 2009 bis 2015/16 verknüpft. Dies bedeutet, dass alle Datensätze seit 2015 normkonform nach DIN EN 15804:2014 sind. Grundsätzlich werden nach Verfügbarkeit generische oder repräsentative Datensätze verknüpft und der Anwender hat die Möglichkeit im Projekt über das Programm durchschnittliche oder spezifische Datensätze zu wählen.

Die zu bilanzierenden Gebäude werden entsprechend der vorliegenden Bauteilbeschreibung in die LEGEP Software eingegeben. Dazu wird aus der LEGEP/sirAdos-Stammdatenbank ein passendes bzw. möglichst der Bauteilbeschreibung entsprechendes Element (Bauteil, z.B. „Außenwand aus Ziegel, Mauerziegel Mz 12-1,6,...“) ausgewählt. Dieses Element wird nun ggf. durch Ändern der einzelnen Schichtdichten die im Element bereits hinterlegt sind oder Austauschen / Entfernen einer Bauteilschicht angepasst. Das Ändern der Schichtdichten kann aus bauphysikalischen und aus statischen Gründen erfolgen. Auf Basis der Massenermittlung der Gebäude erfolgt die Eingabe der Fläche bzw. der Stückzahl des Bauteils. Nach Eingabe der zu bilanzierenden Bauteile des Gebäudes in LEGEP werden über die Volumina und Rohdichten der in den Bauteilen eingesetzten Materialien die Materialmassen in kg des Gebäudes berechnet. Den verbauten Materialien werden Sachbilanzdaten (Datensätze der Ökobau.dat 2015) zugeordnet, woraus sich die Umweltwirkungen bzw. der Primärenergieeinsatz über die gewünschten Module für das Gebäude berechnen lassen.

Die Ergebnisse werden anschließend auf das funktionelle Äquivalent des Gebäudes bezogen.

### 3.4.6 Allokationen

Allokation bedeutet die Zuordnung von Input- und Outputflüssen eines Prozesses oder eines Produktsystems zum untersuchten Produktsystem und zu einem oder mehreren anderen Produktsystemen bei Koppelproduktion, Recycling und Abfallentsorgung (DIN EN ISO 14040:2009), (Klöpper und Grahl 2009), (DIN EN 15804 2014). Bei den Ökobau.dat Datensätzen wird davon ausgegangen, dass diese normkonform zu DIN EN 15804:2014 sind und somit die Allokationsregeln korrekt angewandt wurden. Die in der Ökobau.dat enthaltenen EPDs sind vom Institut Bauen und Umwelt (IBU) nach DIN EN ISO 14025:2011 und DIN EN 15804:2014 verifiziert. Hierfür sind in Produkt-Kategorieregeln (PCR) für die einzelnen Bauprodukte einheitliche Regelungen festgelegt.

Für Modul D (Recycling) wird ein „open loop“ – Recycling angenommen, d.h. die entsprechenden Sekundärrohstoffe verlassen das Produktsystem, in welchem sie als Reststoffe bzw. Abfälle zur Verwertung anfielen. Es ist nicht bekannt, in welcher Form die tatsächliche Nachnutzung des Produkts in einem anderen Produktsystem erfolgt (Verbrennung, stoffliche Nutzung, etc.).

Zur Ermittlung der potentiellen Lasten und Gutschriften in Modul D werden die Datensätze der Ökobau.dat 2015 zugrunde gelegt. Für die Datensätze der Ökobau.dat, die keine Angabe für Modul D bereitstellen, werden diese Datensätze mit Hilfe von materialgerechten generischen Recyclinginformationen und den entsprechenden Datensätzen für Recyclingprozesse der Ökobau.dat 2015 zur vollständigen Berechnung von Modul D verknüpft (siehe auch Kapitel 3.4.4 und Anhang 8.2.1). Für Holz wird der Datensatz für thermische Verwertung als Modul D (Modul D<sub>therm</sub>) zugrunde gelegt.

### 3.4.7 Annahmen

Die Ökobilanzberechnungen basieren auf den aktuellen Datensätzen der Ökobau.dat 2015. Da unbekannt ist, wie sich die Daten in den nächsten Jahren verändern, unterliegen die Ökobilanzberechnungen folgenden Annahmen:

- Heutiger Stand der Entsorgungstechnik
- Lebensdauern der Bauprodukte entsprechen der Tabelle „Nutzungsdauern von Bauteilen zur Lebenszyklusanalyse nach BNB“ (BMUB 2011)
- Wärme- und Strommix ändert sich nicht über den Gebäudelebenszyklus, das bedeutet, dass für den Austausch der Materialien in Modul B die Datensätze der Ökobau.dat 2015 verwendet werden.

Für die Holzprodukte wird von einer thermischen Substitution ausgegangen ( $D_{\text{therm}}$ ). Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass sich die Art der Bauweisen im Holzbau und der mineralischen Bauweisen bzw. die Art zu Bauen über den Zeitraum der Szenarienbildung zur Berechnung des nationalen Kohlenstoffspeichers nicht ändern.

### 3.4.8 Wirkungsabschätzung und Ressourceneinsatz

In der Wirkungsabschätzung wird der Indikator *Treibhauspotential (Global Warming Potential, GWP)*, der in die Berechnung der Substitutionsfaktoren eingeht, ermittelt und modulweise ausgewertet. Die Definition wird gemäß des Kriteriums 1.1.1 Treibhauspotential des Bewertungssystems Nachhaltigen Bauens verstanden (BBSR 2015a): *Das Treibhauspotential ist der potentielle Beitrag eines Stoffes zur Erwärmung der bodennahen Luftschichten d.h. zum so genannten Treibhauseffekt. Der Beitrag des Stoffes wird als GWP-Wert relativ zu dem Treibhauspotential des Stoffes Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) angegeben.* Die Einheit des Indikators Treibhauspotential ist kg CO<sub>2</sub> äq. Eine Auswertung der weiteren Indikatoren der Ökobilanz ist hinsichtlich der Themenstellung hier nicht zielführend. Diese werden zur Information in den Ökobilanzberechnungen mitgeführt und modular ausgewiesen, aber nicht weiter interpretiert.

Neben dem Treibhauspotential werden nach DIN EN 15978:2012 als Teil der Ökobilanz weitere Umweltwirkungen ausgewiesen: das *Ozonabbaupotential (ODP)*, das *Versauerungspotential (AP)*, das *Eutrophierungspotential (EP)*, das *Photochemische Oxidantienbildungspotential (POCP)* und das *Abiotische Ressourcenabbaupotential nicht fossiler Ressourcen (ADPE)*. Auf Seiten des Ressourceneinsatzes wird die *Primärenergie (PE)* mitaufgeführt, dabei wird unterschieden zwischen erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Primärenergie jeweils unterteilt in einen Anteil zur stofflichen Nutzung und als Energieträger. Die Ergebnisse werden als zusätzliche Information modular über den Lebenszyklus angegeben; eine weitere Auswertung/Interpretation dieser Indikatoren findet nicht statt. In Tabelle 8 sind die im Rahmen dieser Ökobilanzstudie betrachteten Indikatoren zusammengefasst.

Tabelle 8:  
Indikatoren nach DIN EN 15978:2012 und die betrachteten Indikatoren im Rahmen dieses Projekts

Indikatoren [nach DIN EN 15978: 2012]	Einheit	Betrachtung
<b>Ressourceneinsatz</b>		
Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PENRE)	[MJ]	modulare Ergebnisausweisung
Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PENRM)	[MJ]	modulare Ergebnisausweisung
erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PERE)	[MJ]	modulare Ergebnisausweisung
erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PERM)	[MJ]	modulare Ergebnisausweisung
Verwendung von Sekundärmaterialien (SM)	[kg]	Wird nicht ermittelt (keine Werte in LEGEP hinterlegt)
Verwendung von erneuerbaren Sekundärbrennstoffen (RSF)	[MJ]	Wird nicht ermittelt (keine Werte in LEGEP hinterlegt)
Verwendung von nicht erneuerbaren Sekundärbrennstoffen (NRSF)	[MJ]	Wird nicht ermittelt (keine Werte in LEGEP hinterlegt)
Verwendung von Frischwasser, netto	[m <sup>3</sup> ]	nein, Daten nicht vollständig

Umweltauswirkungen		
Treibhauspotential (GWP)	[kg CO <sub>2</sub> -Äq.]	modulare Auswertung
Ozonschichtabbaupotential (ODP)	[kg R11-Äq.]	modulare Ergebnisausweisung
Versauerungspotential (AP)	[kg SO <sub>2</sub> -Äq.]	modulare Ergebnisausweisung
Eutrophierungspotential (EP)	[kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -Äq.]	modulare Ergebnisausweisung
Ozonbildungspotential (POCP)	[kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -Äq.]	modulare Ergebnisausweisung
Abiotisches Ressourcenabbaupotential nicht fossiler Ressourcen (ADPE)	[kg Sb-Äq.]	modulare Ergebnisausweisung
Abiotisches Ressourcenabbaupotential für fossile Brennstoffe (ADPF)	[MJ]	Wird nicht ermittelt (wird in LEGEP nicht ausgewertet)

Eine Normierung, Ordnung oder Gewichtung der Wirkungsindikatorwerte findet nicht statt, da diese Bestandteile für die Zielsetzung dieser Ökobilanzstudie nicht relevant sind.

### 3.5 Vorgehen Substitutionsberechnung für Konstruktion und Ausbau

Von jedem Gebäude mit entsprechendem mineralischem Pendant wird die Substitution auf Gebäudeebene als Differenz des Indikators Treibhauspotential des mineralischen und des Holzgebäudes in Bezug zum Treibhauspotential des mineralischen Gebäudes als Faktor dargestellt (vgl. Gl. 2.2).

Es wird pro Holzgebäude und mineralischem Pendant jeweils ein Substitutionsfaktor auf Gebäudeebene für die Konstruktion und den Ausbau berechnet. Die Konstruktion besteht aus allen tragenden Bauteilen, wie sie nach DIN 276 in den KG 322 (Flachgründungen), 331 (Tragende Außenwände), 341 (Tragende Innenwände), 351 (Deckenkonstruktion) und 361 (Dachkonstruktion) dargestellt sind. Außenwände und Innenwände sind, auch wenn sie nichttragend sind (KG 332 und 342) generell enthalten, da auch diese nicht im vorgegebenen Lebenszyklus ersetzt werden. Zusätzlich sind in der Konstruktion alle Wärmedämmungen und notwendigen Materialien für Brand- und Schallschutz enthalten um die funktionelle Äquivalenz der Gebäudekonstruktion sicherzustellen.

Die Außenbekleidung der Außenwände ist jedoch dem Ausbau zuzurechnen. Die detaillierten KG die den einzelnen Bauteilen zugeordnet sind, sind in Tabelle 6 aufgeführt.

#### 3.5.1 Substitutionsfaktor $SF_G$ Konstruktion

Tabelle 9 zeigt die Bedingungen für die Berechnung des Substitutionsfaktors der Konstruktion. Die gegenübergestellten Gebäude sind funktionell äquivalent und unterscheiden sich in ihrer Konstruktion (Außenwände, Innenwände, Decke (inkl. Balkone falls vorhanden) und Dach). Die Bauteilgruppen des Ausbaus (Bodenbeläge, Treppen, Fenster, Türen, Dachbeläge und TGA) werden im Pendant identisch zum Ausbau des realen Holzgebäudes gestaltet (Ausbau\_1). Das Fundament ist ebenfalls einheitlich. Die Berechnung des Faktors erfolgt nach (vgl. Gl. 2.2.):

$$\text{Gl. 3.1} \quad SF_G = \frac{THG_{\text{Konstruktion\_mineralisch}} - THG_{\text{Konstruktion\_Holz}}}{|THG_{\text{Konstruktion\_mineralisch}}|} \left[ \frac{\text{kg CO}_2 \text{ äq}}{\text{kg CO}_2 \text{ äq}} \right]$$

mit  $THG_{\text{Konstruktion\_mineralisch}}$ : THG-Emissionen der Konstruktion des mineralischen Gebäudes [kg CO<sub>2</sub> äq.]  
 $THG_{\text{Konstruktion\_Holz}}$ : THG-Emissionen der Konstruktion des Gebäudes aus Holz [kg CO<sub>2</sub> äq.]

Tabelle 9:  
Bedingungen für die Berechnung des  $SF_G$  der Konstruktion

	Gegenüberstellung	
	Gebäude_Holz	Gebäude_mineralisch
Konstruktion	Konstruktion_Holz	Konstruktion_mineralisch
1 Fundamentplatte	einheitlich	
2 Aussenwand (ohne Bekleidung)	reales Holzgebäude	Pendant geändert
3 Innenwand	reales Holzgebäude	Pendant geändert
4 Decke	reales Holzgebäude	Pendant geändert
5 Dach	reales Holzgebäude	Pendant geändert
12 Balkone	reales Holzgebäude	Pendant geändert
Ausbau	Ausbau_1	Ausbau_1
6 Bodenbeläge ab Estrich OK	reales Holzgebäude	Pendant ident. zu realem Holzgebäude
7 Treppe	reales Holzgebäude	Pendant ident. zu realem Holzgebäude
8 Fenster	reales Holzgebäude	Pendant ident. zu realem Holzgebäude
9 Türen	reales Holzgebäude	Pendant ident. zu realem Holzgebäude
11 Dachbeläge	reales Holzgebäude	Pendant ident. zu realem Holzgebäude
13 Sonstiges	reales Holzgebäude	Pendant ident. zu realem Holzgebäude
Technische Ausstattung	reales Holzgebäude	Pendant ident. zu realem Holzgebäude
10 Fassade (Bekleidung)*	reales Holzgebäude	Pendant ident. zu realem Holzgebäude

\*Die Fassadenbekleidung (10) des Pendants bleibt identisch zum „Original“-Gebäude bei einer verputzten Fassade. Ist das „Original“-Gebäude mit Holz verkleidet, wird dies nicht für das mineralische Gebäude übernommen, da dies in der Praxis üblicherweise nicht umgesetzt wird. Die Fassadenbekleidung wird in diesem Fall zur Berechnung des Substitutionsfaktors Konstruktion nicht mitbilanziert. Im Substitutionsfaktor Ausbau wird die Holzfassade beim Holzgebäude berücksichtigt.

### 3.5.2 Substitutionsfaktor $SF_G$ Ausbau

Für den Ausbau werden die Substitutionsfaktoren auf Gebäudeebene berechnet nach (vgl. Gl. 2.1):

$$\text{Gl. 3.2} \quad SF_G = \frac{THG_{Ausbau_2} - THG_{Ausbau_1}}{|THG_{Ausbau_2}|} \left[ \frac{kg \text{ CO}_2 \text{ äq.}}{kg \text{ CO}_2 \text{ äq.}} \right]$$

mit  $THG_{Ausbau_2}$ : THG-Emissionen der „Geänderten“-Ausbauvariante [kg CO<sub>2</sub> äq.]  
 $THG_{Ausbau_1}$ : THG-Emissionen der „Original“-Ausbauvariante [kg CO<sub>2</sub> äq.]

Die „Original“-Ausbauvariante (Ausbau\_1) entspricht der des „Original“-Holzgebäudes. Die „Geänderte“-Ausbauvariante (Ausbau\_2) entspricht der eines typischen mineralischen Gebäudes. Tabelle 10 und Tabelle 11 zeigen die zugrunde gelegten Bedingungen für den Ausbau der Holzgebäude und den Ausbau der mineralischen Gebäude. Um den Einfluss des Ausbaus aufzuzeigen werden die Konstruktionen der gegenübergestellten Gebäude identisch ausgeführt. D.h. die Gebäude werden einzeln betrachtet und jeweils die Bauteilgruppen des Ausbaus (Bodenbeläge, Treppen, Fenster, Türen und Fassadenbekleidung) ausgetauscht. Die Wahl der zu substituierenden Materialien orientiert sich an den „Original“-mineralischen Gebäuden, die im Rahmen des Projekts vorliegen (Tabelle 12 und Tabelle 13). Somit wird unter Betrachtung des gesamten Gebäudes, der Ausbau eines realen Holzgebäudes (Ausbau\_1) dem Ausbau eines realen mineralischen Gebäudes (Ausbau\_2) gegenübergestellt und daraus ein Substitutionsfaktor ermittelt. Für das repräsentative EFH Durchschnittshaus (1.9), das auf Basis der Daten von Partnerunternehmen des BdF berechnet wurde (vgl. Kapitel 3.3), besteht der „Original“-Ausbau aus einer Mischform aus mineralischen und Holz- Bauprodukten (z.B. Fassadenbekleidung anteilig aus Putz, Holzschalung und Klinker), da die absolut verbauten Materialienmengen- und arten anteilig auf das Durchschnittshaus bezogen wurden.

Der Ausbau der Holzgebäude (Tabelle 10) und der Ausbau der mineralischen Gebäude (Tabelle 11) wurden identisch gestaltet, mit Ausnahme der Fassadenbekleidung, vor dem Hintergrund, dass in der Praxis ein mineralisches Gebäude üblicherweise nicht mit einer Fassadenbekleidung aus Holz umgesetzt wird (z.B. bei vorhandenem WDVS ist dies ohnehin nicht möglich).

Tabelle 10:  
Bedingungen für SF<sub>e</sub> Ausbau: Holzgebäude

	Gegenüberstellung	
	Gebäude_Ersatz	Gebäude_sub
<b>Konstruktion</b>	Konstruktion_Holz	
<b>Ausbau</b>	Ausbau_1	Ausbau_2
6 Bodenbeläge ab Estrich OK	reales Holzgebäude	Orientierung an realem mineralischem Gebäude
7 Treppe	reales Holzgebäude	Orientierung an realem mineralischem Gebäude
8 Fenster	reales Holzgebäude	Orientierung an realem mineralischem Gebäude
9 Türen	reales Holzgebäude	Orientierung an realem mineralischem Gebäude
11 Dachbeläge	unverändert (reales Holzgebäude)	unverändert (Pendant zu realem Holzgebäude)
13 Sonstiges	unverändert (reales Holzgebäude)	unverändert (Pendant zu realem Holzgebäude)
Technische Ausstattung	unverändert (reales Holzgebäude)	unverändert (Pendant zu realem Holzgebäude)
10 Fassade (Bekleidung)**	Holzfassade	Orientierung an realem mineralischem Gebäude

\*\*Die Fassadenbekleidung des Gebäudes\_Ersatz wird in Holz gestaltet, unabhängig davon welche Fassade das reale Holzgebäude enthält (siehe \*).

Tabelle 11:  
Bedingungen für SF<sub>e</sub> Ausbau: mineralisches Gebäude

	Gegenüberstellung	
	Gebäude_Ersatz	Gebäude_sub
<b>Konstruktion</b>	Konstruktion_mineralisch	
<b>Ausbau</b>	Ausbau_1	Ausbau_2
6 Bodenbeläge ab Estrich OK	reales Holzgebäude	Orientierung an realem mineralischem Gebäude
7 Treppe	reales Holzgebäude	Orientierung an realem mineralischem Gebäude
8 Fenster	reales Holzgebäude	Orientierung an realem mineralischem Gebäude
9 Türen	reales Holzgebäude	Orientierung an realem mineralischem Gebäude
11 Dachbeläge	unverändert (reales Holzgebäude)	unverändert (Pendant zu realem Holzgebäude)
13 Sonstiges	unverändert (reales Holzgebäude)	unverändert (Pendant zu realem Holzgebäude)
Technische Ausstattung	unverändert (reales Holzgebäude)	unverändert (Pendant zu realem Holzgebäude)
10 Fassade (Bekleidung)	mineralische Fassade (identisch mit mineralischem Pendant, vgl. Tabelle 9)	mineralische Fassade (identisch mit mineralischem Pendant, vgl. Tabelle 9)

Tabelle 12:  
Gegenüberstellung Ausbau der EZFH, unterteilt in Bauteile

Kürzel	Beschreibung	Bauteile Ausbau						
		6 Bodenbeläge	7 Treppe	8 Fenster	9 Türen		10 Fassade	11 Dachbeläge, 13 Sonstiges, TGA
					Außentür	Innentüren		
1.1	Ausbau_1	Fliesen/Parkett	Holz	Holz-Alu	ident. (Holz)	Holz, Glas	Holz	identisch
1.1	Ausbau_2	Fliesen/PVC/Linoleum	Stb.	Kunststoff		Holzwerkstoff, Glas	Putz	
1.2	Ausbau_1	Fliesen/Parkett	Holz	Holz-Alu	ident. (Holz)	Holz	Holz	identisch
1.2	Ausbau_2	Fliesen/PVC/Linoleum	Stb.	Kunststoff		Holzwerkstoff	Putz	
1.3	Ausbau_1	Linoleum/Fliesen	Holz	Holz-Alu	ident. (Holz)	Holz u. Glas	Holz	identisch
1.3	Ausbau_2	Fliesen/PVC/Linoleum	Stb.	Kunststoff		Holzwerkstoff mit Kunststoffbeschichtung bzw. Glas	Putz	
1.6	Ausbau_1	Parkett, Textilbelag, Fliesen	Holz	Holz	ident. (Holz)	Holz, Stahl	Holz	identisch
1.6	Ausbau_2	Linoleum/PVC/Fliesen	Stb.	Kunststoff		Holz, Stahl	Putz	
1.7	Ausbau_1	Parkett/Textil/ Fliesen	Holz	Holz	ident. (Holz)	Holz, Stahl	Holz	identisch
1.7	Ausbau_2	Fliesen/PVC/Linoleum	Stb.	Kunststoff		Holzwerkstoff, Stahl	Putz	
1.8	Ausbau_1	Parkett/ Textil/ Fliesen	Holz	Holz	ident. (Holz)	Holztürblatt, Stahl	Holz	identisch
1.8	Ausbau_2	Fliesen/PVC/Textil	Stb.	Kunststoff		Holztürblatt, Stahl	Putz	
1.9	Ausbau_1	Fliesen/Parkett	Holz	Kunststoff/Holz/Holz-Alu	ident. (Holz)	Holzwerkstoff	Putz/Holz/Ziegel	identisch
1.9	Ausbau_2	Fliesen/PVC/Linoleum	Stb.	Kunststoff		Holzwerkstoff	Putz	

Tabelle 13:  
Gegenüberstellung Ausbau der MFH, unterteilt in Bauteile

Kürzel	Beschreibung	Bauteile Ausbau							
		6 Bodenbeläge	7 Treppe	8 Fenster	9 Türen			10 Fassade	11 Dachbeläge, 13 Sonstiges, TGA
					Außen-tür	Woh-nungstü-ren	Innentü-ren		
2.2	Ausbau_1	PVC	Stb.	Kunststoff	Alu	Holz	Holzwerk-stoff	WDVS/ Holz	identisch
2.2	Ausbau_2	PVC und Fliesen/ Linoleum				Holzwerk-stoff		WDVS/ Putz	
2.2	Ausbau_1.2	Parkett und Fliesen		Holzfenster		Holz		Holz	
2.5	Ausbau_1	Fliesen/Parkett	Stb.	Holzfenster, Glasbausteine	Holz	Holz	Holz	Holz	identisch
2.5	Ausbau_2	Fliesen/Linoleum/PVC		Kunststoff, Glasbausteine			Holzwerkstoff	Putz	
2.6	Ausbau_1	Fliesen/Parkett/Textil	Stb.	Holz	Holz	Holz	Holzwerkstoff	Faserzementplatten/ Holz	identisch
2.6	Ausbau_2	Fliesen/Linoleum/PVC		Kunststoff				Putz	
2.7	Ausbau_1	Fliesen/Parkett	Stb.	Holz	Holz	Holz	Holzwerkstoff	Holz	identisch
2.7	Ausbau_2	Fliesen/PVC/Linoleum		Kunststoff				Putz	
2.9	Ausbau_1	Fliesen/Parkett/Kautschuk	Stb.	Holz	Holz	Holz	Holzwerkstoff	Holz	identisch
2.9	Ausbau_2	Fliesen/PVC/Linoleum		Kunststoff				Putz	
2.10	Ausbau_1	Fliesen/Parkett	Stahl	Holz-Alu	Holz	=Außentür	Holzwerkstoff	Holz	identisch
2.10	Ausbau_2	Fliesen/PVC/Linoleum		Kunststoff		=Außentür		Holzwerkstoff	

\* Anmerkung zu Gebäude 2.2: Der Ausbau\_1 (des „Original“-Holzgebäudes 2.2) weist eine schlechtere THG-Bilanz auf als der ausgetauschte Ausbau\_2. Der Ausbau kann einen wesentlichen Beitrag zum Substitutionspotential beitragen, weshalb ein zusätzliches Ausbau-Szenario (Ausbau\_1.2) angelegt wurde. Dies bildet den im mehrgeschossigen Holzbau durchschnittlich eingesetzten Ausbau ab.

## 4 ERGEBNISSE AUF GEBÄUDEEBENE

Annette Hafner, Sabrina Schäfer, Holger König, Lisa de Cristofaro

In diesem Kapitel werden die Ökobilanzergebnisse der Gebäude (Kapitel 4.1) und die daraus errechneten Substitutionsfaktoren auf Gebäudeebene (Kapitel 4.2) dargestellt. Dabei werden Konstruktion und Ausbau für EZFH und MFH separat ausgewertet. Die Ergebnisse werden nach dem in Kapitel 3 erläuterten Vorgehen ermittelt. Um die Lesbarkeit zu erleichtern wurden den Konstruktionen Farben in den Abbildungen zugeordnet (siehe Tabelle 14)

Tabelle 14:  
Farblegende der Konstruktionsarten in den Abbildungen

Farblegende		
Konstruktion	Stb. u. Mineralwolldämmung*	
	Stb u. WDVS	
	Hlz, einschalig	
	Porenbeton	
	KS u. WDVS	
	Hlz u. Dämmputz	
	Hlz u. WDVS	
	Hlz u. Mineralwolldämmung*	
	KS u. Mineralwolldämmung*	
	HTB	
	Massivholz	

\*Vormauerziegel in Fassadenbekleidung (Ausbau)

### 4.1 LCA-Ergebnisse (Indikator THG)

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Indikators THG für ein Beispiel EFH und MFH dargestellt. Die Ergebnisse der weiteren Gebäude befinden sich im Anhang 8.3.

#### 4.1.1 Konstruktion

##### Ergebnisse der Einfamilienhäuser und Zweifamilienhäuser

Abbildung 7 und Abbildung 8 zeigen die Ökobilanzergebnisse für die Konstruktionen des EFH 1.2. Es liegen zwei Holzvarianten und zwei mineralische Pendanten vor. An der modularen Darstellungsweise wird deutlich, dass die Holzgebäude in der Herstellungsphase (Modul A) eine große Menge an Kohlenstoff speichern der während des Wachstums des Baumes der Atmosphäre entzogen wurde. Diese Kohlenstoffspeichereigenschaft wird in Modul A als negatives Treibhauspotential dargestellt.

Je größer die verbauten Holzmengen sind, desto größer ist der Kohlenstoffspeicher. Dies wird bei Betrachtung des Holztafelbaus (H1) und des Massivholzbbaus (H2) deutlich. Aufgrund der größeren Holzmengen in der Konstruktion der Holzgebäude ergeben sich höhere biogene (negative) THG-Emissionen als bei den mineralischen Gebäuden (Abbildung 8). In dieser Abbildung wird ersichtlich, dass auch die mineralischen Gebäude kleine Holzanteile in der Konstruktion besitzen, da auch hier biogene Treibhauspotentiale auftreten. Typischerweise besitzen Gebäude im EZFH-Bereich, unabhängig von den Konstruktionsmaterialien der Außenwand, einen Dachstuhl aus Holz (vgl. Abbildung 9). Die Werte für Fundamente sind in allen Konstruktionsarten gleich, weil durchgehend eine Flachgründung als Bodenplatte aus Stahlbeton angenommen wurde. Real würde sich die Ausführung des Fundaments an den Gegebenheiten des Untergrundes und der Vorgabe (mit/ ohne Keller) ergeben.

Neben den biogenen THG-Emissionen entstehen fossile THG-Emissionen bei der Herstellung der Bauprodukte (z.B. Stromeinsatz, Transportaufwendungen zum Werk, etc.). Durch das biogene (negative) Treibhauspotential werden die fossilen THG-Emissionen teilweise wieder aufgehoben. In Abbildung 8 sind die biogenen THG-Emissionen in einem hellen Farbton der Konstruktion dargestellt, die fossilen THG-Emissionen in einem dunkleren Ton. Abbildung 7 zeigt die aufsummierten Werte des biogenen und fossilen Treibhauspotentials der einzelnen Konstruktionen. Bei Betrachtung von Modul C wird deutlich, dass die Menge an biogenem Treibhauspotential in der Entsorgungsphase wieder vollständig das System verlässt, d.h. aus der Bilanz wieder ausgebucht wird. Dennoch ist bei Aufsummierung des Moduls A mit Modul C ein geringeres Treibhauspotential bei den Holzgebäuden zu verzeichnen als bei den mineralischen Varianten (siehe blauer Kasten in Abbildung 7 und Abbildung 8.) Modul B wird für die Ökobilanz der Konstruktion nicht mit aufsummiert, da alle tragenden Bauteile über den Betrachtungszeitraum nicht ausgetauscht werden (nach Tabelle „Nutzungsdauern von Bauteilen zur Lebenszyklusanalyse nach BNB“ des BBSR).

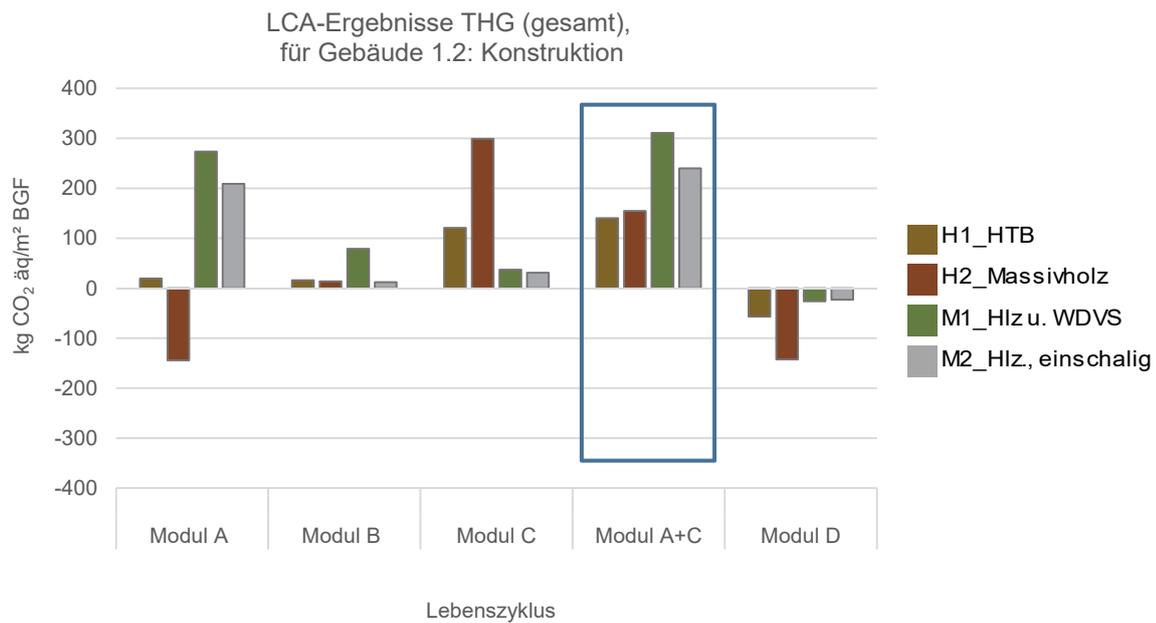


Abbildung 7:  
LCA-Ergebnisse (Indikator THG) für Gebäude 1.2 (EFH): Konstruktion

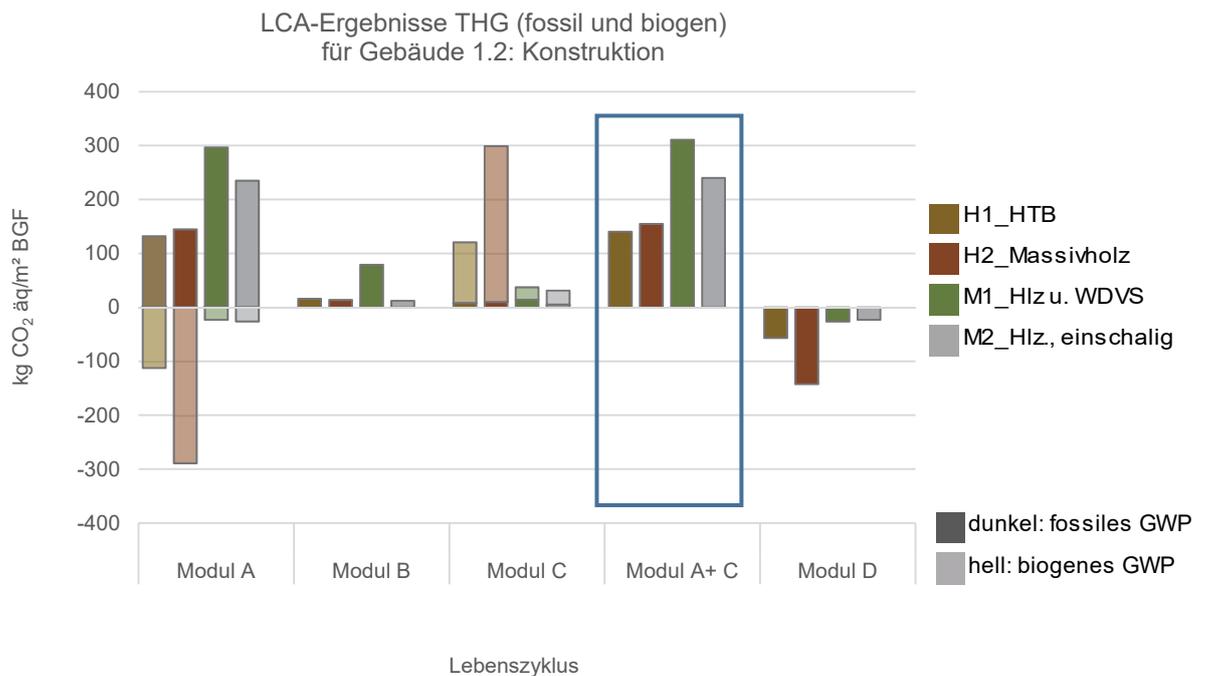


Abbildung 8:  
LCA-Ergebnisse (Indikator THG) für Gebäude 1.2 (EFH): Konstruktion, unterteilt in fossile und biogene THG-Emissionen

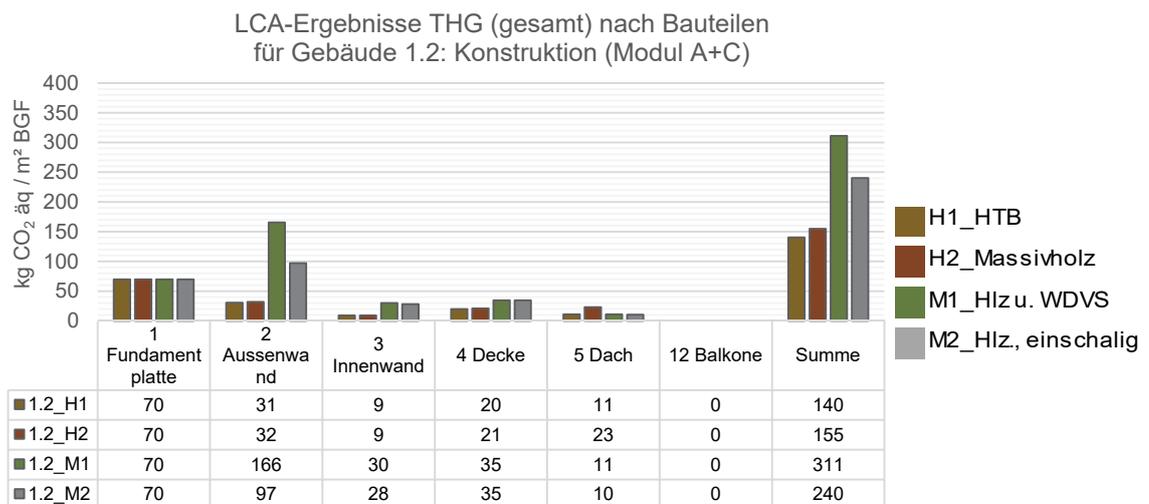


Abbildung 9:  
LCA-Ergebnisse (Indikator THG) für Gebäude 1.2 (EFH): Konstruktionen im Vergleich nach Bauteilen (Modul A+C)

### Ergebnisse der Mehrfamilienhäuser

Bei den MFH sind die Tendenzen der Ökobilanzergebnisse mit denen des EFH vergleichbar. Das Holzgebäude weist einen größeren Kohlenstoffspeicher auf als die mineralischen Pendanten und hat somit in Modul A ein negatives Treibhauspotential (vgl. Abbildung 11). Dieser Benefit wird allerdings in Modul C wieder aufgehoben: der gespeicherte biogene Kohlenstoff im Holzprodukt wird wieder ausgebaut. Im Vergleich zu den EFH wird ersichtlich, dass die mineralischen Pendanten des MFH einen nur unscheinbaren Kohlenstoffspeicher aufweisen. Die verbauten Holzmen gen in den Konstruktionselementen der Pendanten gehen hier gegen Null. Das gezeigte Beispielgebäude besitzt ein mineralisches Flachdach, die weiteren Konstruktionselemente sind ebenfalls aus mineralischem Baumaterial (vgl. Abbildung 12). Im Unterschied zu den EFH leistet die Außenwand bei Holzgebäuden im MFH-Bereich einen sehr viel kleineren Beitrag zur Reduzierung der THG-Emissionen. Dies liegt in Teilen an den Brandschutzanforderungen (nicht brennbare Dämmung). Insgesamt ist der Einfluss zum Treibhauspotential bei den mineralischen Gebäuden viel höher. Innenwände, Decken und Dach haben bei den Holzgebäuden einen negativen Einfluss auf die Treibhausgasemissionen.

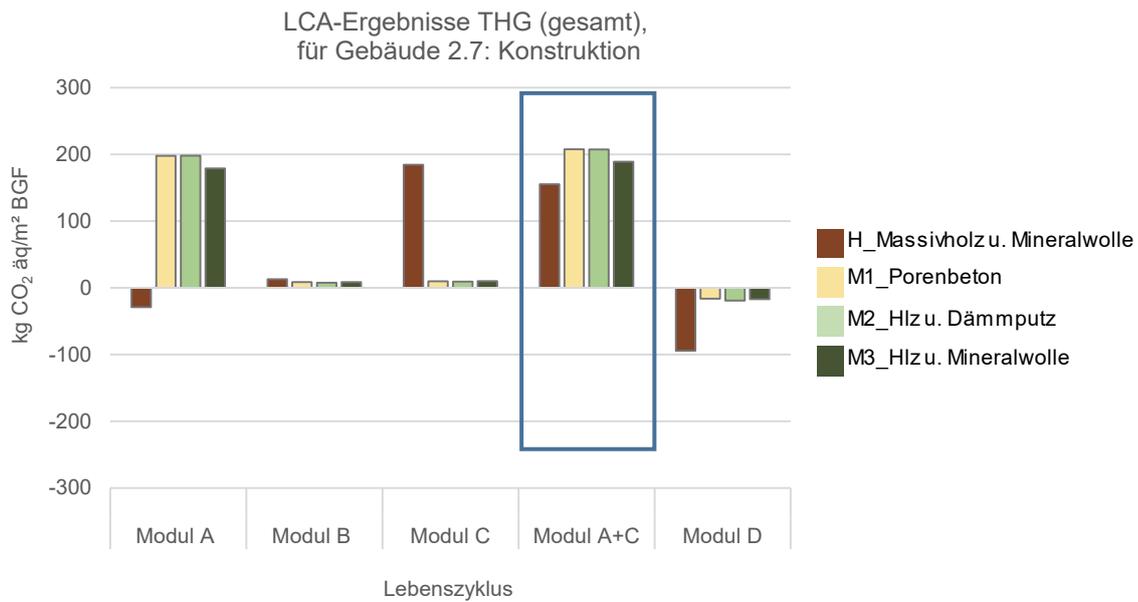


Abbildung 10:  
LCA-Ergebnisse (Indikator THG) für Gebäude 2.7 (MFH): Konstruktion

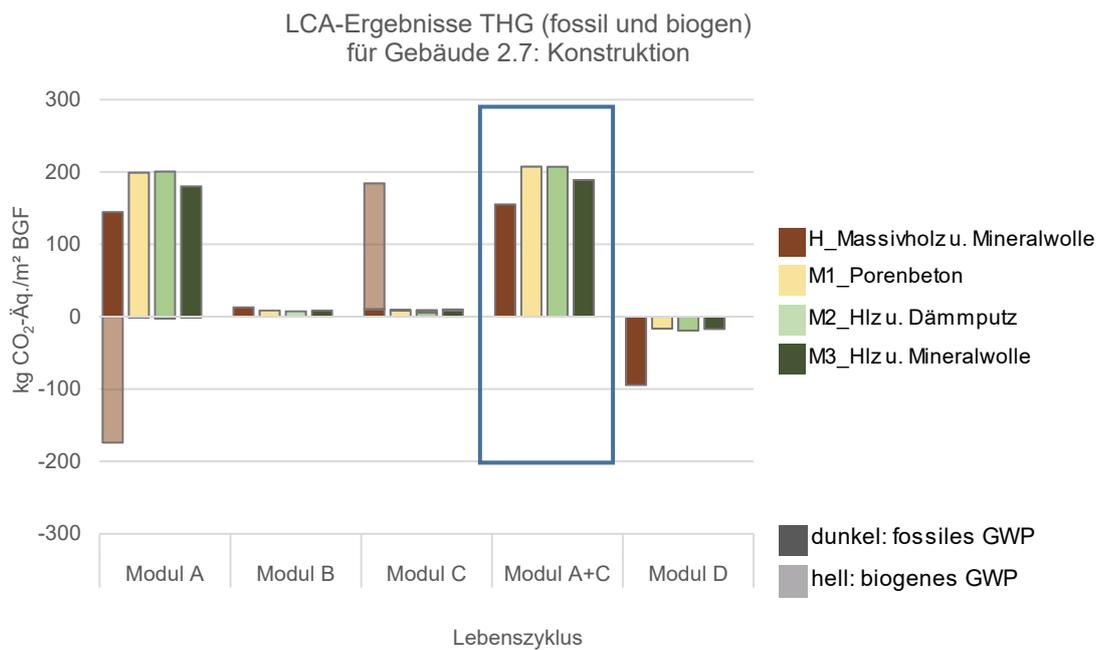


Abbildung 11:  
LCA-Ergebnisse (Indikator THG) für Gebäude 2.7 (MFH): Konstruktion unterteilt in fossile und biogene THG-Emissionen

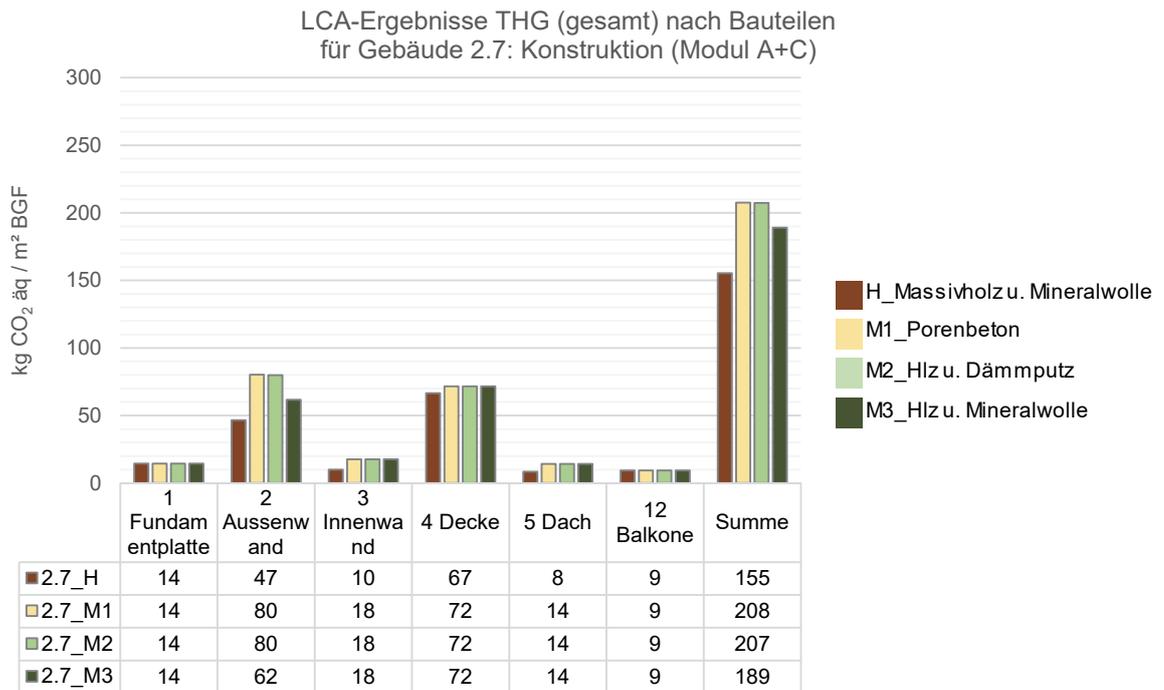


Abbildung 12:

LCA-Ergebnisse (Indikator THG) für Gebäude 2.7 (MFH): Konstruktionen im Vergleich nach Bauteilen (Modul A+C)

#### 4.1.2 Ausbau

Die Ökobilanzergebnisse des Ausbaus sind in Abbildung 13 beispielhaft für ein EFH (Abbildung 13 und Abbildung 14) und ein MFH (Abbildung 16 und Abbildung 17) dargestellt. Es sind jeweils die Ausbauvarianten\_1 inklusive und exklusive Fassadenbekleidung aus Holz abgebildet sowie die Ausbauvariante\_2 mit verputzter Außenwand. Eine detaillierte gebäudeweise Auflistung der verwendeten Ausbauelemente ist in Tabelle 12 bzw. Tabelle 13 enthalten. Bei den Ausbauten\_1 handelt es sich um die Ausbauten wie sie in den „Original“-Holzgebäuden verbaut wurden, bei den Ausbauten\_2 um einen generierten typischen Durchschnittsausbau wie er in mineralischen Gebäuden vorkommt (vgl. Kapitel 3.5.2).

Durch die modulare Darstellung der LCA-Ergebnisse des Ausbaus wird ersichtlich, dass in der Herstellungsphase (Modul A) Kohlenstoff gespeichert wird (siehe auch Kapitel 4.1.1). Sowohl die Ausbauvarianten\_1 als auch die Ausbauvarianten\_2 besitzen einen Anteil aus Holz (z.B. in Innen- und Außentüren), was durch den negativen Treibhauspotentialanteil in Modul A, dargestellt in Abbildung 14 und Abbildung 17, sichtbar wird. In der Entsorgungsphase (Modul C) wird der gespeicherte Kohlenstoff wieder aus dem System ausgebucht. Über den gesamten Lebenszyklus betrachtet (Modul A+C und Modul A+B+C) sind die THG-Emissionen der Ausbauvarianten\_1 sowohl bei den EFH als auch bei den MFH geringer als die der Ausbauvarianten\_2 (siehe blaue Kästen in nachfolgenden Abbildungen), sodass neben der Gebäudekonstruktion auch für den Ausbau ein sichtbares Einsparpotential an THG-Emissionen besteht. Für den Ausbau wird Modul A+C sowie zusätzlich die Gesamtauswertung für Modul A+B+C dargestellt, da hier ein hoher Einfluss aufgrund der Austauschzyklen (mind. 1x in 50 Jahren) in der Nutzungsphase zu erwarten ist.

Um den Einfluss der Bauteilgruppen des Ausbaus einschätzen zu können, sind in Abbildung 15 und Abbildung 18 die LCA-Ergebnisse der einzelnen Ausbauteile dargestellt. Die Bauteilgruppe Dachbälge, Sonstiges und Technische Ausstattung wurde bei allen Ausbauvarianten identisch gestaltet.

## Ergebnisse der Einfamilienhäuser und Zweifamilienhäuser

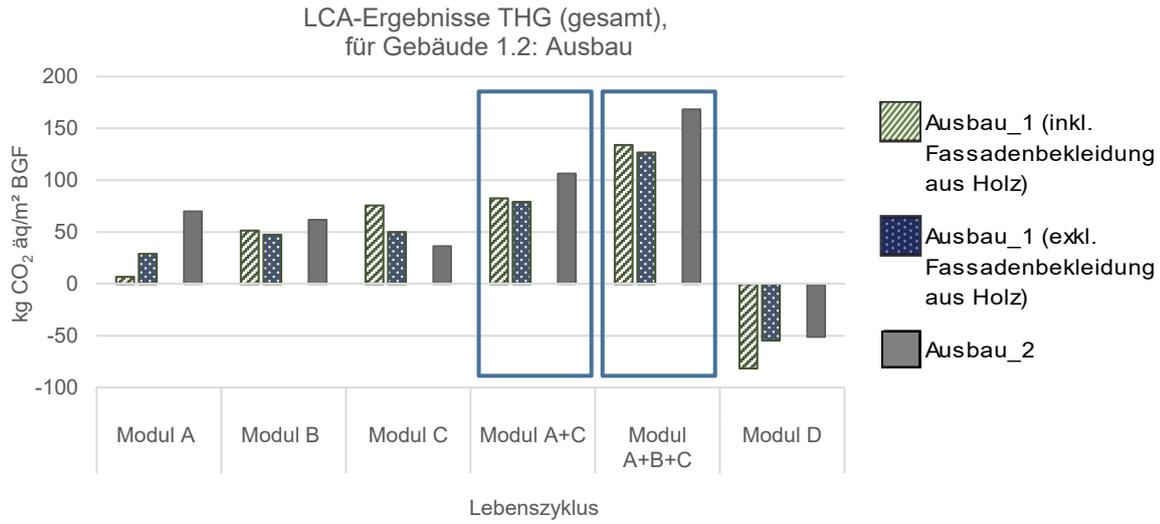


Abbildung 13:  
LCA-Ergebnisse (Indikator THG) für Gebäude 1.2 (EFH): Ausbau

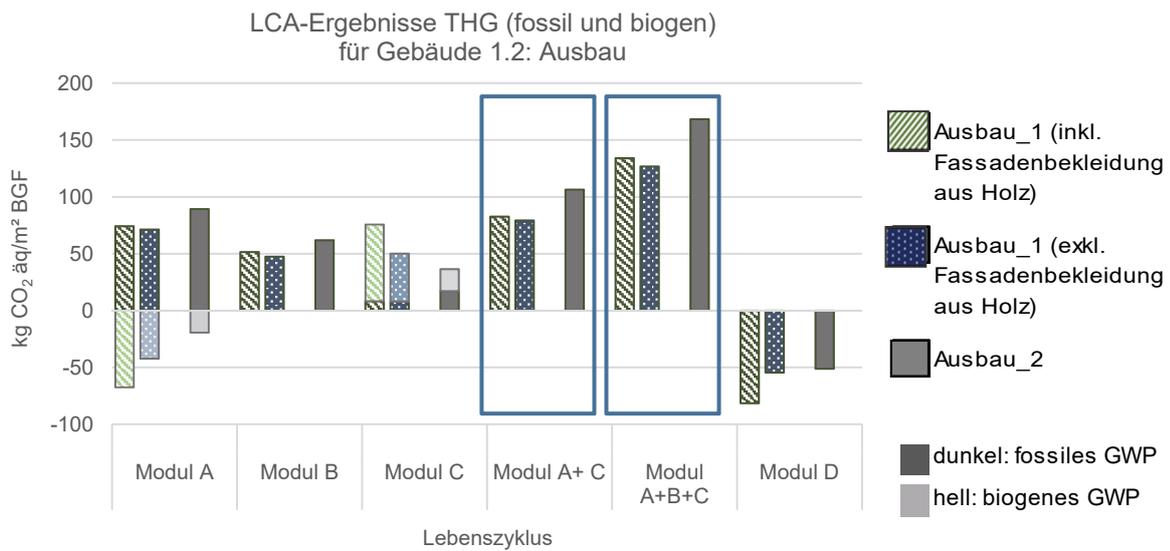


Abbildung 14:  
LCA-Ergebnisse (Indikator THG) für Gebäude 1.2 (EFH): Ausbau, unterteilt in fossile und biogene THG-Emissionen

LCA-Ergebnisse THG (gesamt) nach Bauteilen  
für Gebäude 1.2: Ausbau (Modul A+C)

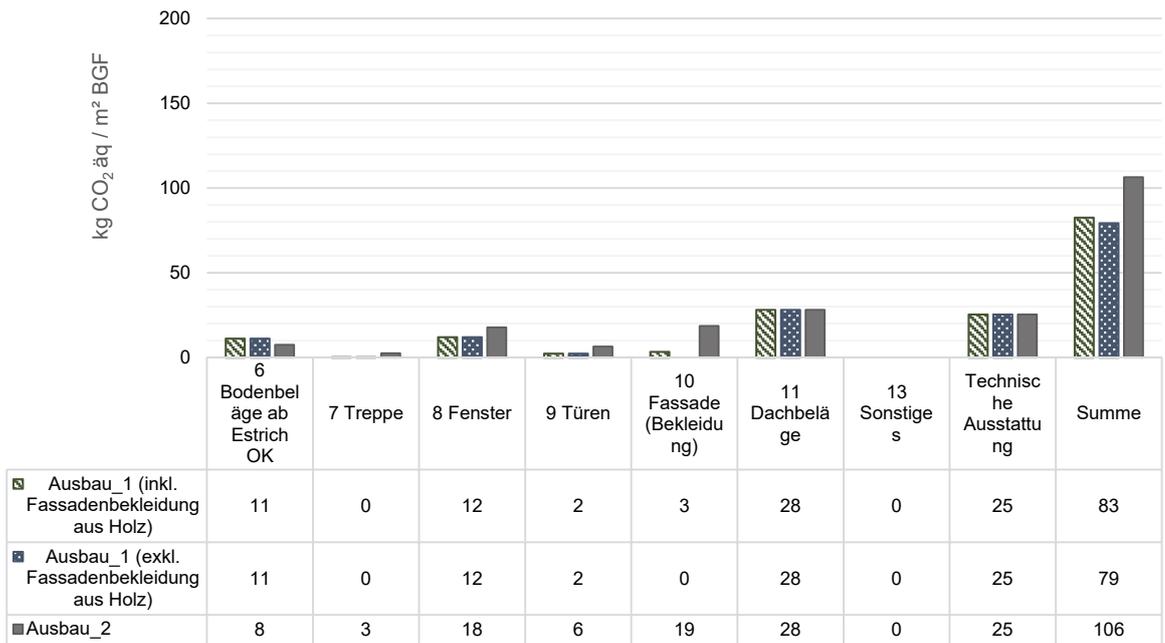


Abbildung 15:  
LCA-Ergebnisse (Indikator THG) für Gebäude 1.2 (EFH): Ausbauten im Vergleich nach Bauteilen (Modul A+C)

Ergebnisse der Mehrfamilienhäuser

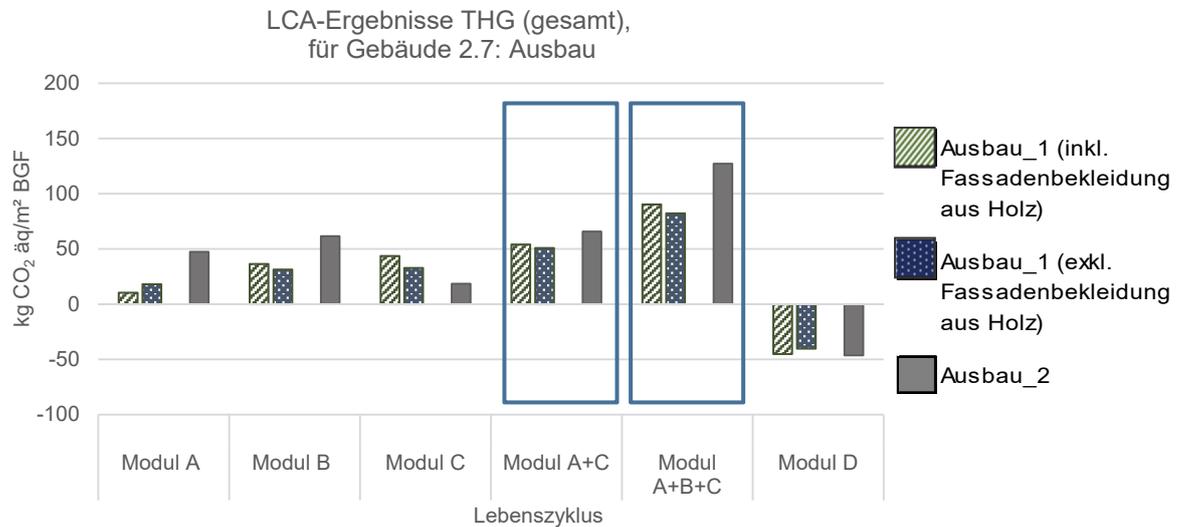


Abbildung 16:  
LCA-Ergebnisse (Indikator THG) für Gebäude 2.7 (MFH): Ausbau

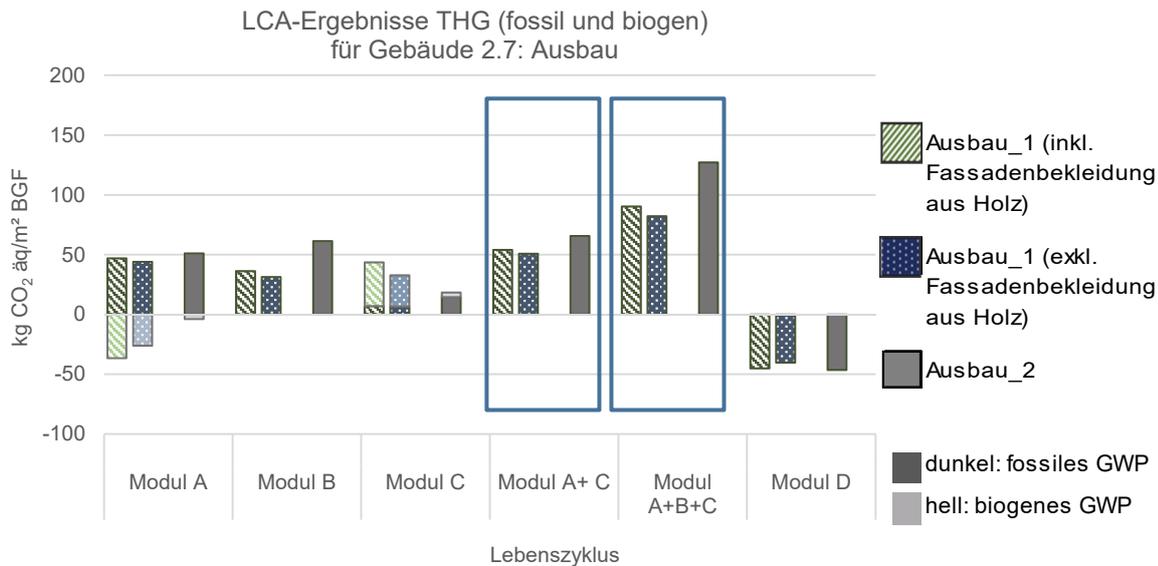


Abbildung 17:  
LCA-Ergebnisse (Indikator THG) für Gebäude 2.7 (MFH): Ausbau, unterteilt in fossile und biogene THG-Emissionen

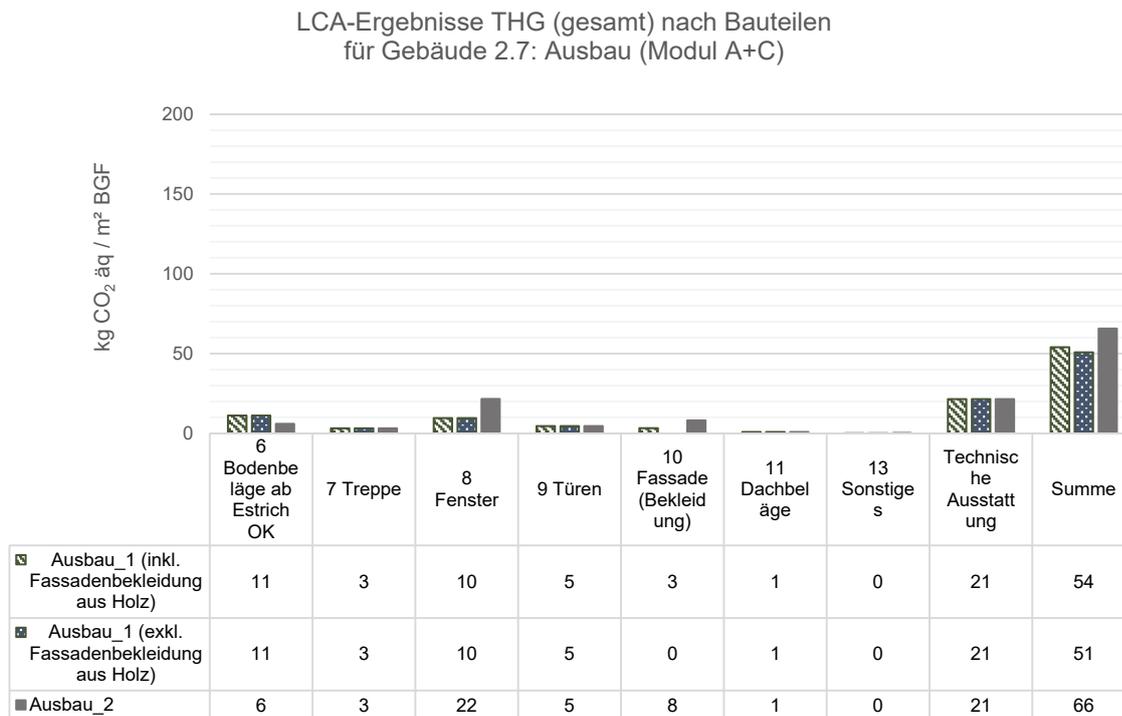


Abbildung 18:  
LCA-Ergebnisse (Indikator THG) für Gebäude 2.7 (MFH): Ausbauten im Vergleich nach Bauteilen (Modul A+C)

Beim Vergleich der LCA-Ergebnisse der einzelnen Ausbaubauteile stellte sich heraus, dass die Bauteilgruppe „Bodenbeläge“ des Ausbau<sub>2</sub> fast durchgängig geringere THG-Emissionen aufweist als die Ausbauten<sub>1</sub> (siehe Abbildung 15 und Abbildung 18). Tabelle 15 zeigt ein Berechnungsbeispiel aus LEGEP für 150 m<sup>2</sup> Bodenbelag. Dabei sind Klebstoffe, Dichtstoffe, Übergangprofile, etc. mitberücksichtigt. Im Beispiel wird deutlich, dass Parkett für Modul A+C ein höheres Treibhauspotential besitzt als Linoleum oder Fliesen. PVC oder Textilböden liegen nur leicht über dem Wert des Parkettbodens. Erst in Modul D kommt das im Vergleich zu den anderen Bodenbelägen geringere Treibhauspotential zum Tragen. Die hohen THG-Emissionen des Parkettbodens lassen sich durch den energieintensiven Herstellungsprozess begründen. Eine differenzierte Analyse der einzelnen Produktgruppen im Ausbau wurde im Rahmen des Projektes aus Zeitgründen nicht durchgeführt. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Tabelle 15:  
Beispiel Ökobilanzergebnisse für 150 m<sup>2</sup> Bodenbelag, ermittelt in LEGEP (Indikator THG)

Bodenbelag inkl. Sockel [150m <sup>2</sup> ]	Datensatz Ökobau.dat 2015 (nur die größten Anteile)	Modul A+C THG in [kg CO <sub>2</sub> äq]	Modul D (ohne Instandsetzung) THG in [kg CO <sub>2</sub> äq]
Parkett	3.3.02 Massivholzparkett (Durchschnitt DE) 6.7.03 PUR-Dichtmasse	2.406	-2.187
Linoleum	3.3.03 Korkplatten 1 m <sup>2</sup> , 8 mm 5.5.03 Dispersionsklebstoff UZIN ZU 57	382	-530
Fliesen	1.3.07 Steinzeugfliesen glasiert 1.4.05 Fliesenkleber	1.216	-112
PVC	6.1.03 Regenabflussrohr PVC 6.7.05 PVC Plastisol	2.594	-797
Textil, vollsynthetisch	6.6.02 Dampfbremse 6.7.01 Kautschuk-Dichtmasse 6.2.05 Textiler Bodenbelag (GK 22+/23, LC1)	2.858	-529

## 4.2 Ergebnisse Substitutionsfaktoren

### 4.2.1 Konstruktion

Die Ergebnisse der Konstruktion werden zusammengefasst für Modul A+C betrachtet. Modul B wird für die Konstruktion nicht ausgewiesen, da alle tragenden Bauteile über den Betrachtungszeitraum nicht ausgetauscht werden (nach Tabelle „Nutzungsdauern von Bauteilen zur Lebenszyklusanalyse nach BNB“ des BBSR). Bei einigen Konstruktionen wird nach dieser Liste die Wärmedämmung ausgetauscht, was bei den im Projekt verwendeten Gebäuden nur beim WDVS der Fall ist. Hierbei ist allerdings fraglich, ob dies in der Realität umgesetzt würde. Damit die Konstruktionen einheitlich bewertet werden, werden in diesem Teil des Berichts für die Konstruktion nur das zusammengefasste Modul A+C angegeben. Für die Konstruktion beträgt der Einfluss für die untersuchten Gebäude von Modul B durchschnittlich 12 % am Gesamtlebenszyklus (Modul A+B+C). Hierbei ist zu beachten, dass B6, also der Betrieb der Gebäude ausgeklammert ist, da er für alle Varianten gleich ist. Die Prozentangabe bezieht sich auf die eingesparten THG-Emissionen in kg CO<sub>2</sub> äq. für die Konstruktion, wenn in Holz anstelle eines mineralischen Gebäudes gebaut würde. Der Anteil von Modul B variiert mit den eingesetzten Materialien und deren Austauschzyklen, z.B. haben die mineralischen Pendants mit WDVS einen höheren Anteil in Modul B im Vergleich zu den anderen Konstruktionen.

Die nachstehenden Abbildungen (Abbildung 19 und Abbildung 21) zeigen die THG-Differenzen der Ökobilanzergebnisse der Konstruktion der mineralischen Gebäude zu den Holzgebäuden für Modul A+C. Daraus leiten sich die Substitutionsfaktoren auf Gebäudeebene (SF<sub>G</sub>) ab, dargestellt in Abbildung 20 und Abbildung 22. Die Substitutionsfaktoren wurden nach Gleichung 3.1 berechnet (vgl. Kapitel 3.5).

Dabei gilt: Je höher die THG-Differenz bzw. der Substitutionsfaktor, desto mehr THG-Einsparungen können erzielt werden, wenn in der Holzvariante anstelle des mineralischen Pendants gebaut würde.

## Ergebnisse der Einfamilienhäuser und Zweifamilienhäuser

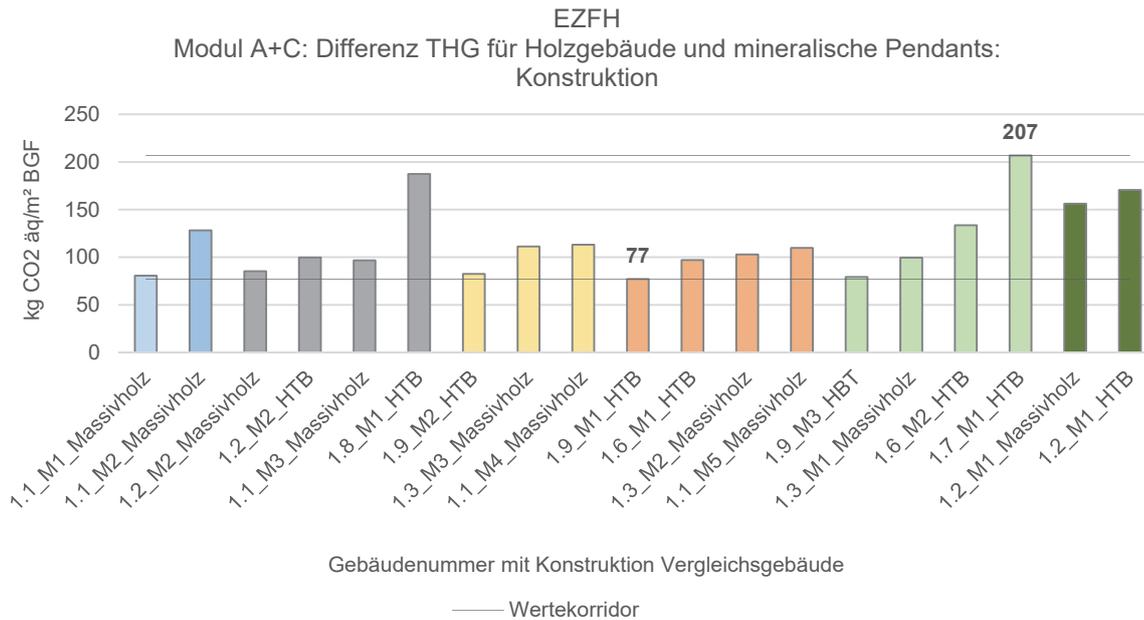


Abbildung 19:  
THG-Differenzen („Original“-Pendant) für Konstruktion aller EZFH mit Wertekorridor für Modul A+C, Legende siehe Tabelle 14

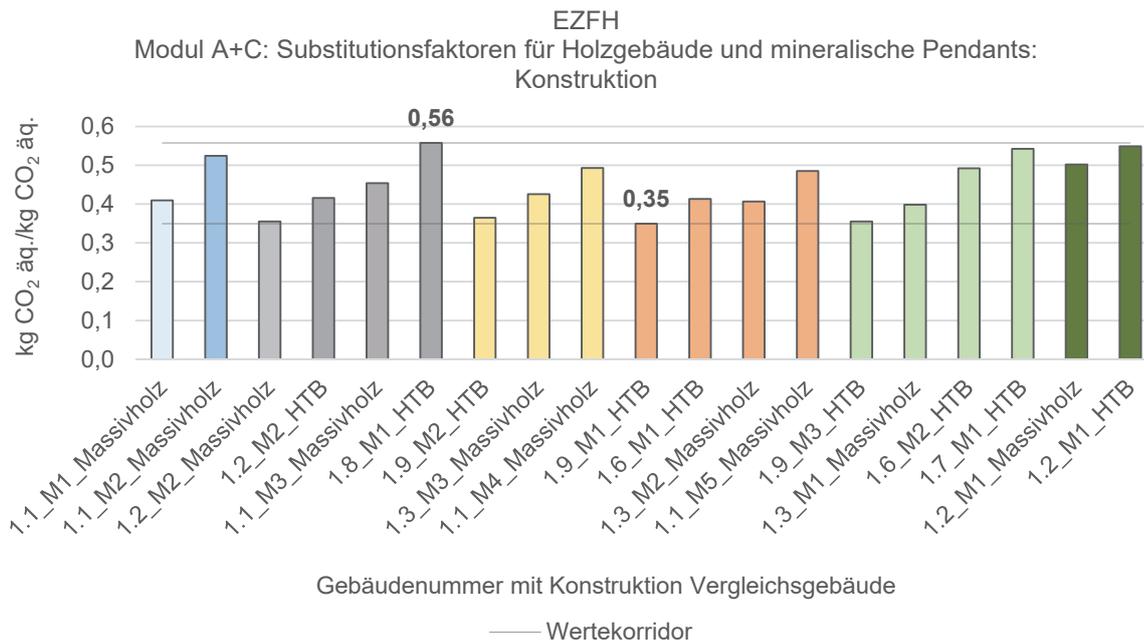


Abbildung 20:  
Substitutionsfaktoren für Konstruktion aller EZFH mit Wertekorridor für Modul A+C, Legende siehe Tabelle 14

Die Substitutionsfaktoren der untersuchten EZFH liegen innerhalb eines Wertekorridors von 0,35 und 0,56 (Abbildung 20) für Modul A+C, d. h. es besteht für die untersuchten Gebäude ein THG-Einsparpotential zwischen 35 % und 56 %. Die Varianz ergibt sich maßgeblich durch die Konstruktionsarten und Materialien der Gebäude und deren individuelle Gestaltung. Einflussnehmende Gestaltungsfaktoren sind u.a. der vorliegende Grundriss, der Standort des Gebäudes, Vorgaben des Bebauungsplanes, Wünsche des Bauherrn bzw. Architekten, etc. Der untersuchte Gebäudepool beinhaltet Gebäude mit unterschiedlichen Eigenschaften:

- Reihenmittelhäuser, Doppelhäuser, freistehende Häuser
- Satteldach, Flachdach
- ausgebautes/ nicht ausgebautes Dach

Die genannten unterschiedlichen Gebäudeeigenschaften des untersuchten Gebäudepools führen zu einem Wertekorridor. Dieser wird durch das minimale und maximale Substitutionspotential, das sich aus dem vorliegenden Gebäudepool ergibt, begrenzt. Die Gestaltungsvielfalt der im Rahmen des Projekts untersuchten Gebäude lässt darauf schließen, dass ein Großteil der EZFH innerhalb dieses Wertekorridors liegen wird. Je nach Gebäudepaar ist es jedoch auch möglich, dass der Substitutionsfaktor außerhalb des hier angezeigten Wertekorridors liegen kann.

Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die Materialien der eingesetzten Bauteile im jeweiligen Gebäude. Im Hinblick auf die Materialwahl lässt sich allgemein formulieren: je materialähnlicher die vergleichenden Bauteile der Gebäudepaare („Original“ – „Pendant“) sind, desto geringere Substitutionsfaktoren ergeben sich. Mineralische EZFH besitzen in den typischen Bauweisen beispielweise meist ebenfalls einen Dachstuhl und eine Unterkonstruktion der Dachdeckung aus Holz, sodass auch in der Konstruktion der mineralischen Gebäude Holzanteile vorhanden sein können, die die Differenz zwischen Gebäuden die hauptsächlich aus mineralischen Materialien oder Holzwerkstoffen gebaut sind nivellieren.

### Ergebnisse der Mehrfamilienhäuser

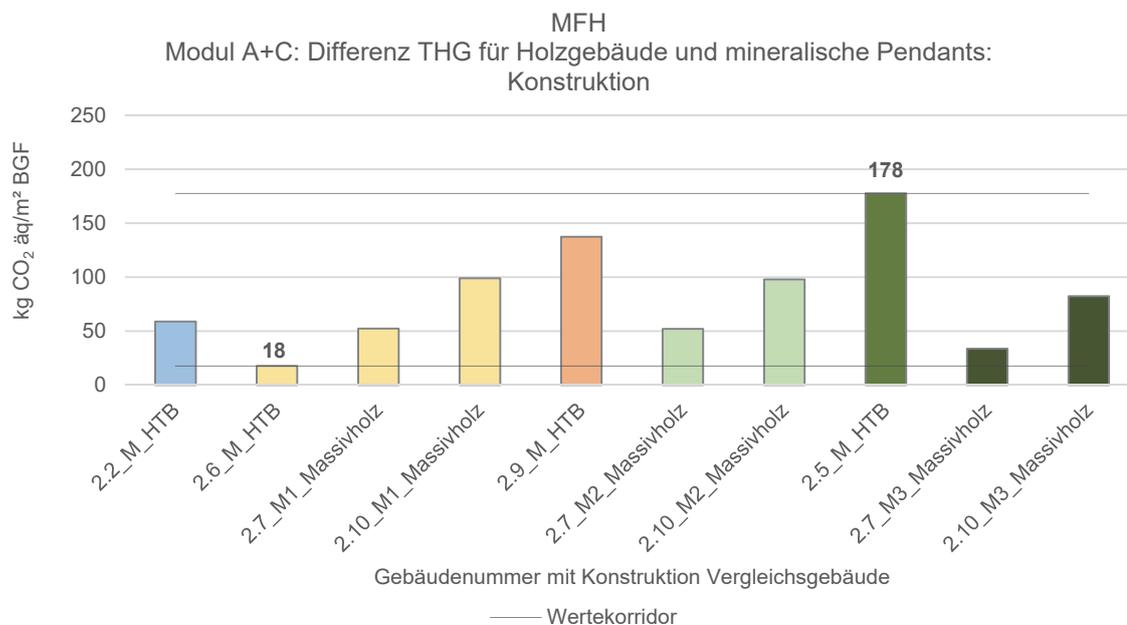


Abbildung 21:  
THG-Differenzen („Original“-„Pendant“) für Konstruktion aller MFH mit Wertekorridor für Modul A+C, Legende siehe Tabelle 14

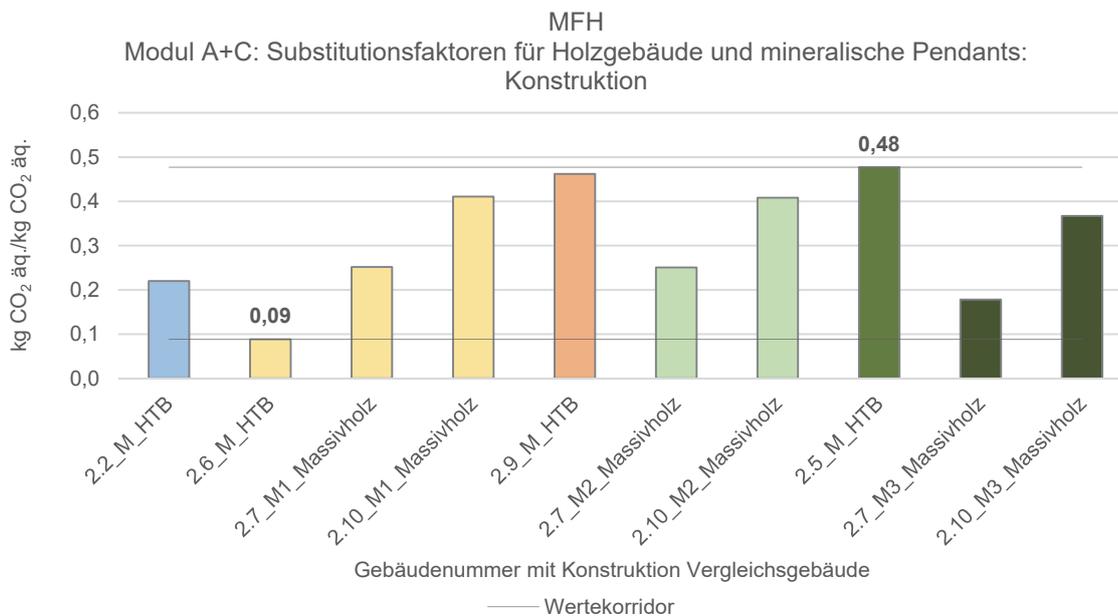


Abbildung 22:

Substitutionsfaktoren für Konstruktion aller MFH mit Wertekorridor für Modul A+C, Legende siehe Tabelle 14

Im Vergleich zu den EZFH besitzen die MFH breitere Wertekorridore. Die Substitutionsfaktoren für Modul A+C der in diesem Projekt untersuchten MFH liegen zwischen 0,09 und 0,48, d. h. es besteht für die untersuchten Gebäude ein THG-Einsparpotential zwischen 9 % und 48 %. Diese Spannweite ist bedingt durch die individuellen Gebäudegrößen- und -höhen und die sich daraus ergebenden umfangreichen Gestaltungsmöglichkeiten im MFH-Bereich. Der untersuchte Gebäudepool beinhaltet Gebäude mit unterschiedlichen Eigenschaften:

- Gebäudehöhen zwischen 3 und 8 Geschossen
- Innenliegende/ außenliegende Treppenhäuser, Laubengänge, umlaufende Balkone
- Unterschiedliche Wohnraumgestaltung: eher kleine Zimmer oder große offene Wohnbereiche
- Anteil Wand-/ Fensterfläche

Im MFH-Bereich wirkt sich vor allem die Gebäudehöhe auf den Substitutionsfaktor aus, da die Brandschutzanforderungen mit steigender Geschosshöhe strenger werden. Und je höher die Brandschutzanforderungen sind (GK 4, vor allem GK 5), desto mehr nichtbrennbares Material muss verbaut werden und desto geringere Substitutionsfaktoren lassen sich erzielen. Dadurch werden die positiven Effekte der Holzkonstruktion in Hinblick auf die THG-Emissionen oftmals durch den Mehreinsatz an nicht brennbaren Materialien wieder aufgehoben. Dies ist beispielsweise bei Gebäude 2.6 der Fall (4-Geschosser). Hier sind die tragenden Holz-Innenstützen aus Brandschutzgründen mit 2x18 mm Gipskartonplatten verkleidet. Die Verkleidung aus Gipskartonplatten hebt die positiven ökologischen Eigenschaften der Holzstützen auf und haben im Resultat eine schlechtere Ökobilanz als die Stützen aus Stahlbeton. Ein weiterer Grund für den geringen Substitutionsfaktor bei Gebäude 2.6 ist die Dachkonstruktion. Anders als die übrigen MFH des Gebäudepools, besitzt Gebäude 2.6 ein Pultdach. Typischerweise werden Pultdächer auch in mineralischen Gebäuden in einer Holzkonstruktion umgesetzt, sodass sich bei diesem Gebäude durch das Bauteil Dach keine Substitutionspotentiale erzielen lassen.

Gebäude 2.5 bildet die obere Grenze des auf Basis der untersuchten Gebäude ermittelten Wertekorridors mit einem Substitutionsfaktor von 0,48 für Modul A+C. Dieser Wert ist auf die hohe verbaute Holzmasse des Gebäudes und die geringeren Brandschutzanforderungen (3 Geschosse, GK 3) zurückzuführen. Das Gebäude wurde 2006 als ökologisches Vorzeigeobjekt umgesetzt. Es wurde auf den größtmöglichen Einsatz an nachwachsenden Rohstoffen hin optimiert. Bei den Gebäuden 2.7 und 2.10 entstehen die Abweichungen innerhalb derselben mineralischen Konstruktionsart maßgeblich durch die Gestaltung des Treppenhauses. Gebäude 2.7 hat einen 8-geschossigen Treppenhaukern aus Stahlbeton, wobei Gebäude 2.10 als 4-geschossiges Gebäude ein außenliegendes Treppenhaus aus einer Stahlkonstruktion besitzt. Des Weiteren ist der Fahrstuhlschacht des Holzgebäudes 2.10 aus

Holz. Insgesamt ist der Holzanteil bei Gebäude 2.10 höher als bei 2.7 wodurch sich höhere Substitutionsfaktoren für Gebäude 2.10 ergeben.

Aus diesen unterschiedlichen Gestaltungsarten der Gebäude ergibt sich der Wertekorridor für die möglichen Substitutionsfaktoren der MFH. Die im Verhältnis zu den EZFH großen Streuungen innerhalb des Wertekorridors lassen sich durch die individuellen Eigenschaften im Design und die Brandschutzanforderungen der Gebäudeklasse 3, 4 und 5 begründen. Die MFH, die im Rahmen des Projekts untersucht wurden, gelten als Vertreter des modernen Holzbaus und decken eine Spannbreite möglicher Gestaltungsarten ab. Dies lässt darauf schließen, dass ein Großteil der MFH innerhalb dieses Wertekorridors liegen wird. Tabelle 5 gibt Aufschluss über die Konstruktionen der Bauteile der Holzgebäude und der gegenübergestellten mineralischen Pendants.

Aus den Ergebnissen der EZFH und MFH wird ersichtlich, dass sich über den Lebenszyklus beim Indikator THG keine großen Unterschiede bei Massivholz- und Holztafelbauten ergeben. Dies liegt an der Kohlenstoffneutralität der Holzprodukte über den Lebenszyklus (Modul A und Modul C). Die Substitutionsfaktoren befinden sich auf ähnlichem Niveau innerhalb des Wertekorridors (Abbildung 20). Der Unterschied zwischen Holztafelbau und Massivholzbau als Vergleichsgebäude zu den mineralischen Pendants kommt erst außerhalb der Ökobilanz, in Modul D, zum Tragen (siehe Kapitel 4.3). Durch die gemeinsame Darstellung von Modul A+C hebt sich die temporäre Kohlenstoffspeicherfunktion der Holzprodukte in den Substitutionsfaktoren auf. Der in der Herstellungsphase im Holzprodukt gespeicherte Kohlenstoff wird bei der Entsorgung des Gebäudes wieder ausgebucht. Der konstruktiv bedingte Mehreinsatz von Holz in Massivholzgebäuden im Vergleich zum Holztafelbau vergrößert über den Betrachtungszeitraum zwar den temporären Kohlenstoffspeicher, am Lebensende (in Modul C) wird dieser allerdings wieder vollständig „neutralisiert“. Somit befinden sich die Substitutionspotentiale der Holzgebäude (Massivholz und Holztafelbau) auf einem annähernd identischen Niveau. Erst außerhalb der Systemgrenzen (in Modul D) kommt der Mehreinsatz an Holz zum Tragen (vgl. Kapitel 4.3.)

#### **4.2.2 Ausbau**

Der Ausbau hat einen Einfluss auf die gesamte Differenz der THG-Emissionen und fällt zusätzlich zu den in Kapitel 4.1.2 dargestellten Differenzen und Substitutionsfaktoren der Konstruktion an. Für den Ausbau wird Modul A+C sowie zusätzlich die Gesamtauswertung für Modul A+B+C dargestellt, da hier ein hoher Einfluss aufgrund der Austauschzyklen (mind. 1x in 50 Jahren) in der Nutzungsphase zu erwarten ist. Dies gilt gleichermaßen für Ausbau\_1 als auch für Ausbau\_2. Die Höhe des Einflusses von Modul B entsteht durch den Austausch der einzelnen Bauteile.

Der Einfluss von Modul B für den Ausbau beträgt durchschnittlich 55 % ohne Fassadenbekleidung und 40 % mit Fassadenbekleidung am Gesamtlebenszyklus (Modul A+B+C). Die Prozentangaben beziehen sich auf die eingesparten THG-Emissionen in kg CO<sub>2</sub> äq. wenn Ausbau\_1 anstelle des Ausbaus\_2 gewählt würde. Die Austauschzyklen hängen dabei vom gewählten Material ab.

Die Auswertungen für den Ausbau haben für alle Gebäudekonstruktionen Gültigkeit, da dieser unabhängig von der Konstruktionsart gewählt werden kann (vgl. Kapitel 3.5). Die nachstehenden Abbildungen (Abbildung 23 und Abbildung 24) zeigen die nach Gleichung 3.2 errechneten Substitutionsfaktoren für den Ausbau.

Dabei sind je Gebäude vier Substitutionsfaktoren angegeben: mit (grüne Balken) und ohne (blaue Balken) Fassadenbekleidung aus Holz, jeweils für Modul A+C und Modul A+B+C. Da die Fassadengestaltung sehr oft von städtebaulichen Vorgaben, landschaftlichen Gegebenheiten u.a. abhängt, kann hier nur der Unterschied dargestellt werden.

Auch hier gilt: Je höher der Substitutionsfaktor, desto mehr THG-Einsparungen können erzielt werden, wenn Ausbauvariante\_1 anstelle Ausbauvariante\_2 umgesetzt würde.

## Ergebnisse der Einfamilienhäuser und Zweifamilienhäuser

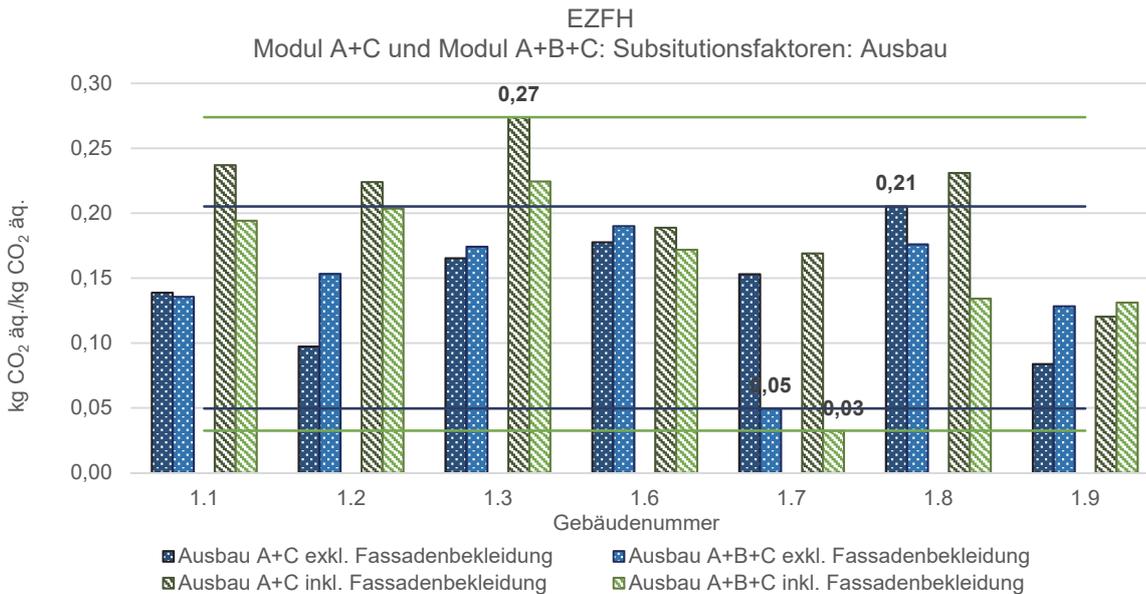


Abbildung 23:  
Substitutionsfaktoren für Ausbau aller EZFH mit Wertekorridor

Bei den Ausbauten der untersuchten EZFH ist ein durchschnittliches Einsparpotential zwischen ca. 3 % und 27 % (mit Fassadenbekleidung aus Holz) möglich, ohne Fassadenbekleidung zwischen ca. 5 % und 21 %. Die Angaben variieren mit den verbauten Materialien und Mengen der Ausbauteile (vgl. Tabelle 12). Um repräsentative Substitutionsfaktoren für den Ausbau berechnen zu können, ist weiterer Forschungsbedarf notwendig. Hierzu werden abgesicherte Daten zu den verwendeten Ausbaumaterialien in Wohngebäuden benötigt. Die im Rahmen des Forschungsprojekts untersuchten Ausbauszenarien sind als Beispiele zu sehen, die nicht auf Repräsentativität untersucht wurden und lediglich aufzeigen sollen, dass zusätzlich zur Konstruktion auch im Ausbau THG-Einsparpotentiale vorhanden sind.

## Ergebnisse der Mehrfamilienhäuser

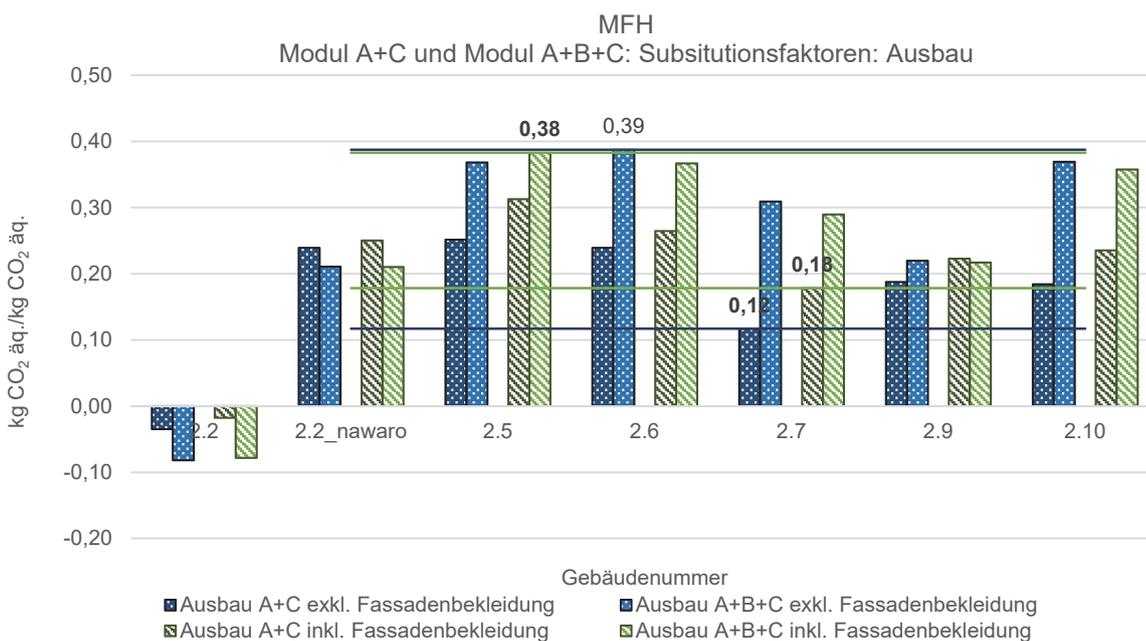


Abbildung 24:  
Substitutionsfaktoren für Ausbau aller MFH mit Wertekorridor

Bei den Ausbauten der untersuchten MFH ist ein durchschnittliches THG-Einsparpotential zwischen ca. 19 % und 38 % (mit Fassadenbekleidung aus Holz) möglich, ohne Fassadenbekleidung zwischen ca. 12 % und 39 %. Die Angaben variieren mit den verbauten Materialien und Mengen der Ausbauteile (vgl. Tabelle 13). Da der Ausbau des „Original“-Holzgebäudes 2.2 eine schlechtere THG-Bilanz aufweist als der ausgetauschte Ausbau, wurde dieser bei der Bildung des Wertekorridors nicht berücksichtigt. Ausschlaggebend für die hohen THG-Emissionen des Ausbau\_1 bei diesem Gebäude sind die verbauten Kunststoffenster sowie der PVC Bodenbelag. Stattdessen wurde für Gebäude 2.2 ein zusätzliches Ausbau-Szenario gewählt, was näher am durchschnittlichen Ausbau im mehrgeschossigen Holzbau liegt.

Auch im MFH-Bereich ist weiterer Forschungsbedarf notwendig um repräsentative Substitutionsfaktoren für den Ausbau ermitteln zu können. Die im Rahmen des Forschungsprojekts untersuchten Ausbauszenarien sind als Beispiele zu sehen, die nicht auf Repräsentativität untersucht wurden und lediglich aufzeigen sollen, dass zusätzlich zur Konstruktion auch im Ausbau THG-Einsparpotentiale vorhanden sind.

### 4.3 Modul D

Modul D enthält alle Gutschriften und Belastungen außerhalb der Systemgrenzen. In diesem Modul werden die Gutschriften und Belastungen aller Konstruktionsbauteile im Gebäude addiert, die Gutschriften erhalten ein negatives Vorzeichen, die Belastungen gehen mit einem positiven Vorzeichen ein. Abbildung 25 und Abbildung 26 zeigen die Ökobilanzergebnisse der untersuchten Gebäude für Modul D, separiert nach EZFH und MFH. Modul D dient in der Ökobilanzierung als ergänzendes Informationsmodul nach dem Lebensweg des Gebäudes und muss zusätzlich aber separat ausgewiesen werden. Die Gutschriften und Lasten werden nach dem heutigen Kenntnisstand der Recyclingoptionen berechnet; tatsächlich fallen die Recyclingpotentiale erst nach 50 Jahren, nach Lebensende des Gebäudes an und sind vom gesellschaftlichen Umgang mit Abfällen abhängig. Zu aller temporären Unsicherheit kommt die Unsicherheit, ob die Produkte überhaupt so aus dem Gebäude bei Abriss entfernt werden können (Trennbarkeit), dass ihr Recyclingpotential ausgeschöpft werden kann.

### Ergebnisse Einfamilienhäuser und Zweifamilienhäuser

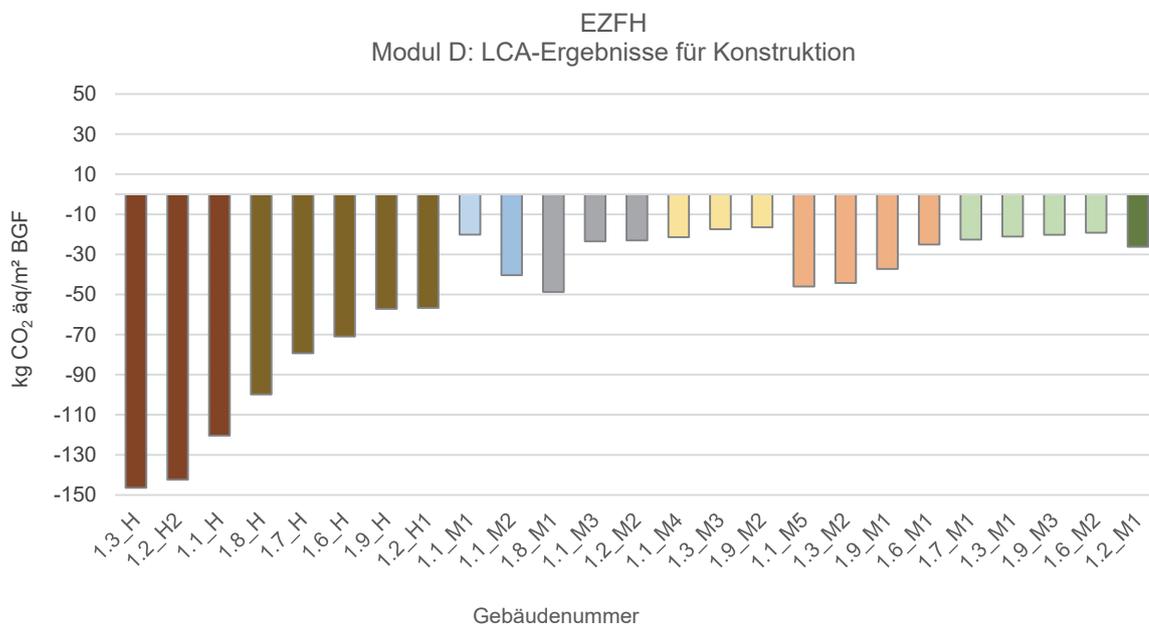


Abbildung 25: THG-Differenzen („Original“-„Pendant“) für Konstruktion aller EZFH für Modul D, Legende siehe Tabelle 14

## Ergebnisse Mehrfamilienhäuser

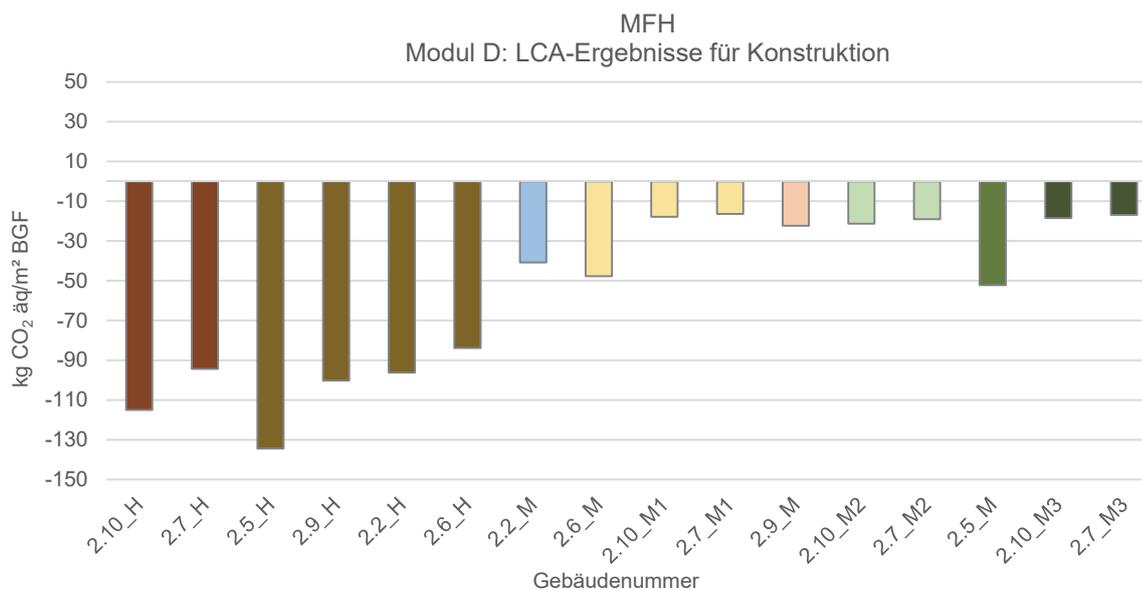


Abbildung 26:

THG-Differenzen („Original“-„Pendant“) für Konstruktion aller MFH für Modul D, Legende siehe Tabelle 14

Die Abbildungen zeigen, dass alle untersuchten Gebäude ein negatives Modul D, d.h. Gutschriften nach dem Ende des Lebensweges zu erwarten haben. Dabei weisen die Holzgebäude ein höheres Recyclingpotential auf als die mineralischen Gebäude.

Grund hierfür ist die größere Masse an eingesetztem Holz in der Konstruktion der Holzgebäude und die Annahme, dass die beim Abriss des Gebäudes anfallenden Holzmengen weiter verwertet werden. Die zu Grunde liegenden Datensätze beschreiben jeweils eine energetische Verwertung der Althölzer. Zwar ist grundsätzlich eine stoffliche Verwertung möglich, derzeit sind allerdings die hierbei nachgefragten Mengen begrenzt. Aus Sicht der verwendeten Mengen ist die einzig relevante Einsatzmöglichkeit in der Mittelschicht von Spanplatten zu finden. Zudem ist zu bezweifeln, ob der beim Abriss entstehende Bauschutt so getrennt werden kann, dass die Holzfraktionen für eine hochwertige stoffliche Anwendung nutzbar wären.

Im Einzelnen beinhaltet Modul D somit alle Aufwendungen und Gutschriften, die ab der Sammelstelle für Altholz im Rahmen der DIN EN 15804:2014 anrechenbar sind, wenn von einer energetischen Verwertung ausgegangen wird. Dies sind weitere Transporte sowie der Verbrennungsprozess als Lasten und die Substitution der Erzeugung thermischer Energie aus Erdgas und elektrischer Energie nach deutschem Strommix 2009<sup>5</sup> als Gutschrift. Zur Berechnung der Nettoflüsse in Modul D werden zunächst die im System energetisch genutzten Altholzflüsse von den am Ende des Lebensweges an der Grenze zwischen Modul C3 und D auftretenden Altholzflüssen subtrahiert. Modul D umfasst dann die Lasten, die mit der thermischen Verwertung der verbliebenden Altholzmenge einhergehen, von welchen die Wirkungen, die aus der substituierten Energieerzeugung aus Primärrohstoffen resultieren, subtrahiert werden (Rüter und Diederichs 2012).

Die mineralischen Gebäude erzeugen Gutschriften z.B. durch die thermische Verwertung von Kunststoffen (Folien, Bodenbeläge, Dämmungen) und durch das Recycling von Bauschutt.

<sup>5</sup> In den verwendeten Holzdatensätzen der Ökobau.dat 2015 ist der Strommix von 2009 für Modul D<sub>therm</sub> hinterlegt, vgl. Hintergrundbericht: Ökobilanz-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz (Rüter und Diederichs 2012).

#### 4.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Alle untersuchten Gebäude erzielten einen positiven Substitutionsfaktor bei normkonformer Berechnung nach DIN EN 15978:2012. Dabei ist die Höhe des Substitutionsfaktors auf Gebäudeebene abhängig von:

- den eingesetzten Baumaterialien
- des Designs, der Gestaltung der Gebäude
- der Gebäudeklasse (Brandschutzanforderungen)
- der Art / des Ziels des Gebäudes (ökologisches Musterhaus, durchschnittlicher Wohnungsbau, etc.)

Je materialähnlicher die Gebäude sind, d.h. je mehr mineralische Materialien im Holzgebäude vorhanden sind, desto geringer ist der Substitutionsfaktor  $SF_G$  und die THG-Einsparpotentiale gegenüber dem mineralischen Pendant. Genau so gilt: je mehr Bauteile aus Holz im mineralischen Gebäude verbaut sind (z.B. Dachstuhl aus Holz) desto geringer fällt der Substitutionsfaktor aus.

Zusätzlich zum Substitutionspotential der Konstruktion ist Potential im Ausbau der Gebäude vorhanden, das in diesem Projekt beispielhaft ermittelt wurde. Das Potential des Ausbaus ist nicht zu vernachlässigen, da in jedem Gebäude, unabhängig der Konstruktion, Holzprodukte im Ausbau eingesetzt werden können. Ein weiterer Pluspunkt des Ausbaus ist, dass dieses Potential auch in Bestandsgebäuden freigesetzt werden kann.

In Abbildung 27 sind die Wertekorridore der Substitutionsfaktoren für die EZFH und MFH zusammengefasst. Je höher der Substitutionsfaktor, desto mehr THG-Einsparungen können erzielt werden, wenn in der Holzvariante anstelle des mineralischen Pendants gebaut würde bzw. wenn im Ausbau Holzprodukte anstelle mineralischer Bauprodukte verwendet würden.

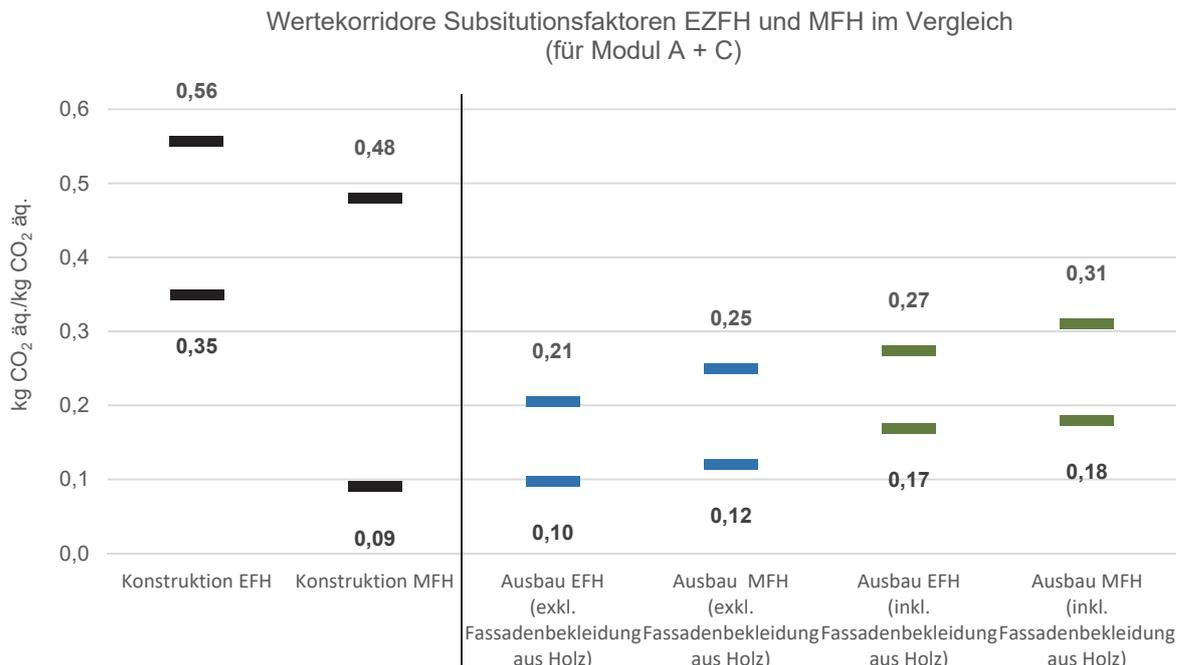


Abbildung 27:  
Wertekorridore der Substitutionsfaktoren (Modul A+C) für EZFH und MFH im Vergleich

Der Wertekorridor der EZFH für die Konstruktion erreicht bei den untersuchten Gebäuden einen höheren Wert als die MFH. Dies ist hauptsächlich auf die geringeren Brandschutzanforderungen der EZFH zurückzuführen; dadurch kommen die EZFH-Holzgebäude mit weniger mineralischem Material in der Konstruktion aus und es können höhere Substitutionsfaktoren erreicht werden.

Beim Ausbau ergeben sich Einsparungen, wenn die Ausbauvariante\_1<sup>6</sup> anstelle der Ausbauvariante\_2 eingesetzt wird. Dabei liegen die Substitutionsfaktoren für EZFH und MFH in einem ähnlichen Wertekorridor. Da eine Fassadenbekleidung aus Holz nicht an jedem Gebäude realisiert werden kann (z.B. wenn ein WDVS vorkommt), wurden für den Ausbau zwei Wertekorridore je Gebäudekategorie ermittelt. Eine Fassadenbekleidung aus Holz liefert zusätzliches Substitutionspotential.

Allgemein kann festgestellt werden:

- Für EZFH und MFH kann durch die Berechnung vergleichender Ökobilanzen ein Substitutionsfaktor Gebäude ( $SF_G$ ) festgestellt werden. Das bedeutet, wenn die Konstruktion eines Gebäudes hauptsächlich aus Holz anstelle von mineralischen Baumaterialien erstellt wird, dann ergibt sich ein Substitutionsfaktor von minimal 0,09 (MFH) bis maximal 0,56 (EZFH) d.h. es werden zwischen 9 und 56 % weniger THG-Emissionen beim Bau eines Holzgebäudes anstelle eines mineralischen Gebäudes entstehen. Oder anders gesagt: Im Gebäudevergleich (funktionelle Einheit 1m<sup>2</sup> BGF) zeigt sich eine nennenswerte Differenz der THG-Emissionen zwischen Gebäuden in mineralischer und Holzbauweise, die sich alleine durch das unterschiedliche Tragwerk ergibt. (Wertekorridor von 77 bis 207 (EZFH) bzw. 18 bis 178 (MFH) kg CO<sub>2</sub> äq/m<sup>2</sup> BGF) Die angegebenen Werte berücksichtigen die Neubau- und Entsorgungsphase der Gebäude (Modul A+C).
- Zusätzlich ergibt sich auf Gebäudeebene ein Substitutionsfaktor für den Ausbau der Gebäude, der unabhängig vom verwendeten Material des Tragwerks ist. Der Ausbau beinhaltet vor allem Bodenbeläge, Fenster, Türen, Treppen und eine mögliche Fassadenbekleidung in Holz. Der Substitutionsfaktor ( $SF_G$ ) für den Ausbau kann mit etwa 0,1 bis 0,25 (ohne Fassadenbekleidung) angenommen werden (Modul A+C). Da der Ausbau im Lebenszyklus eines Gebäudes mehrfach anfällt, ist der Einfluss im Lebenszyklus groß. Die Austauschzyklen basieren auf den Angaben des BBSR. (BMUB 2011)
- Auch mineralische Gebäude, zumindest im Bereich der EZFH weisen meist einen Dachstuhl aus Holz auf. Über das gesamte Bauvolumen in Deutschland besteht auch in diesem Bereich ein nennenswerter Kohlenstoffspeicher.

## 4.5 Offene Fragestellungen

### 4.5.1 Datengrundlage der Ökobilanz / Sensitivität

Bei einigen Materialien (z.B. Holz oder Beton) stehen in der Ökobau.dat mehrere Datensatztypen für den Anwender zur Verfügung, z.B. generische Datensätze (subtype *generic*), Durchschnittsdatsätze (subtype *average*), herstellerspezifische Datensätze (subtype *specific*), etc. In der Ökobau.dat gibt es keine Hinweise zur Priorisierung der Verwendung eines Datensatzes. Nach Auskunft des Datenbankbetreibers werden die Datensätze durch die Personen, die sie ins Netz stellen, selbst eingestuft und diese Einstufung durch die Verifizierung überprüft. Das Datenfeld „subtype“ soll in Zukunft in der Datenbank bei den Datensätzen sichtbar gemacht werden.

Je nach verwendetem Subtyp werden unterschiedliche Ökobilanzergebnisse erzielt.

Es gibt ebenfalls keine Hinweise zur Priorisierung eines Datensatzes in der Anwendung zur Berechnung der Ökobilanz bei der Zertifizierung. Im Steckbrief ENV1.1 der DGNB gibt es folgenden Hinweis (S. 8 Version 2015): „Stehen für Bauteile keine genau passenden Ökobilanzdaten zur Verfügung, ist ein technisch naheliegender Ökobilanz-Datensatz zu verwenden. Stehen mehrere ähnlich Datensätze zur Auswahl, muss ein konservativerer Ansatz gewählt werden (Worst-Case-Prinzip).“ Dieser Hinweis wird auf S. 13 dieses Steckbriefs genauer ausgeführt: „Grundsätzlich sollen spezifische verifizierte Ökobilanzdaten allgemeinen, generischen Ökobilanzdaten vorgezogen werden. Werden herstellerspezifische EPDs in der Berechnung genutzt, so muss in der zugrundeliegenden Massenbilanz der Produktname entnommen werden können. Als Grundregel für die Auswahl der Datensätze gilt: Es ist der Datensatz zu wählen, der das Bewertungsobjekt am genauesten abbildet (Materialien, EoL-Szenario, Energiebereitstellung, etc.)“.

Diese Ausführungen sind in sich widersprüchlich und lassen alle Entscheidungen zu. Aus der Erfahrung in bisherigen Anwendungen der Ökobau.dat lassen sich folgende Handlungsanweisungen geben:

---

<sup>6</sup> Eine Ausnahme stellt Gebäude 2.2 dar, da in diesem Fall die Ausbauvariante\_1 weniger Holzanteile enthält als Ausbauvariante\_2.

In der Planungsphase sollten Datensätze mit der Kennzeichnung *generic* oder *representative* verwendet werden, in der Werkplanungsphase können diese gegen *average* (Verbandsdatensätze) ausgetauscht werden, um in der Durchführungsphase, bzw. bei Projektabschluss zu *specific* (Herstellerdatensätze) überzugehen, wenn der Hersteller bekannt ist.

Im Projekt wurde für Beton der Datensatz „1.4.01 Transportbeton C20/25“ vom Subtyp *generic* verwendet. Die im Projekt eingesetzten Datensätze beziehen sich auf den Datenbankstand der Ökobau.dat von Nov. 2015. Laut „polluter pays principle“ (EN 15804) wären die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung von Abfällen bei der Zementherstellung (Ersatz fossiler Brennstoffe) vom Abfallerzeuger zu deklarieren und nicht im Indikator „Treibhauspotential“ für den Baustoff Beton auszuweisen. In der vorliegenden Ökobilanz (Datensatz Ökobau.dat von Nov. 2015) wurde jedoch für das Treibhauspotential des Betons als Worst-case Betrachtung ein Bruttowert gewählt, der diese Emissionen mit einschließt. Am 18.01.2016 wurde der Datensatz „1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25“ vom Subtyp *average* in die Ökobau.dat importiert. In Modul D des Datensatzes ist die Carbonatisierung des Betons nach dem Abbruch enthalten. Die detaillierte Beschreibung der verwendeten Datengrundlage ist in den Datensatzblättern der Ökobau.dat einsehbar (BMUB 2015).

Um die Höhe der Abweichungen zwischen dem generischen und Durchschnittsdatsatz zu quantifizieren wird anhand eines Beispielgebäudes der Einfluss der Datensätze auf die Ökobilanzergebnisse untersucht. Beispielhaft wurde für alle Varianten des EFH 1.1 der generische Betondatsatz (1.4.01 Transportbeton C20/25 (de)) gegen den Durchschnittsbetondatsatz (1.4.01 Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25 (de)) ausgetauscht und die Ökobilanzen für den Indikator Treibhauspotential neu berechnet. Die folgenden Abbildungen zeigen die Unterschiede der Ergebnisse und die daraus resultierenden „neuen“ Substitutionsfaktoren auf Gebäudeebene.

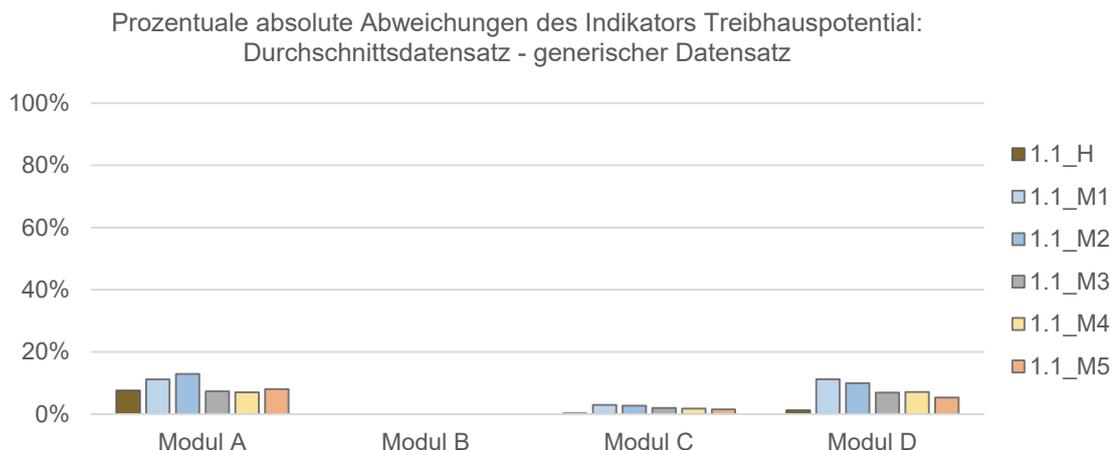


Abbildung 28:  
Prozentuale Abweichungen der Ergebnisse bei Verwendung des Durchschnittsdatsatzes anstelle des generischen Datensatzes

Abbildung 28 zeigt die prozentualen Abweichungen der Ergebnisse die sich bei Verwendung des Durchschnittsdatsatzes anstelle des generischen Datensatzes ergeben. Die größten Abweichungen zeigen sich für die Gebäude mit einer Außenwandkonstruktion aus Stahlbeton (1.1\_M1 und 1.1\_M2). Gebäude 1.1\_M1 besitzt eine Außenwandkonstruktion aus Stahlbeton mit Mineralwolldämmung und einem Außenwand-Verblendmauerwerk aus Vormauerziegel, Gebäude 1.1\_M2 eine Stahlbetonkonstruktion mit WDVS.

Bei den übrigen Konstruktionsarten (1.1\_H, 1.1\_M3 -1.1\_M5) kommen die Abweichungen durch Fundamentplatten aus Stahlbeton sowie zusätzlich bei den mineralischen Gebäuden durch die Deckenkonstruktionen aus Stahlbeton zustande. Modul B enthält für die Betondatsätze keine Emissionen und demnach keine Abweichungen, da die Betonbauteile über den Lebenszyklus nicht ausgetauscht werden.

Abbildung 29 und Abbildung 30 zeigen für Modul A+C die THG Differenzen bzw. die Substitutionsfaktoren des Gebäudes 1.1 bei Verwendung des Durchschnittsbetondatensatzes (gestreifter Balken) im Vergleich zu den Ergebnissen bei Verwendung des generischen Datensatzes (ausgemalter Balken). Die THG-Differenzen und die Substitutionsfaktoren die sich aus den Ergebnissen des Durchschnittsbetondatensatzes berechnen lassen, sind geringer als die des generischen Datensatzes.

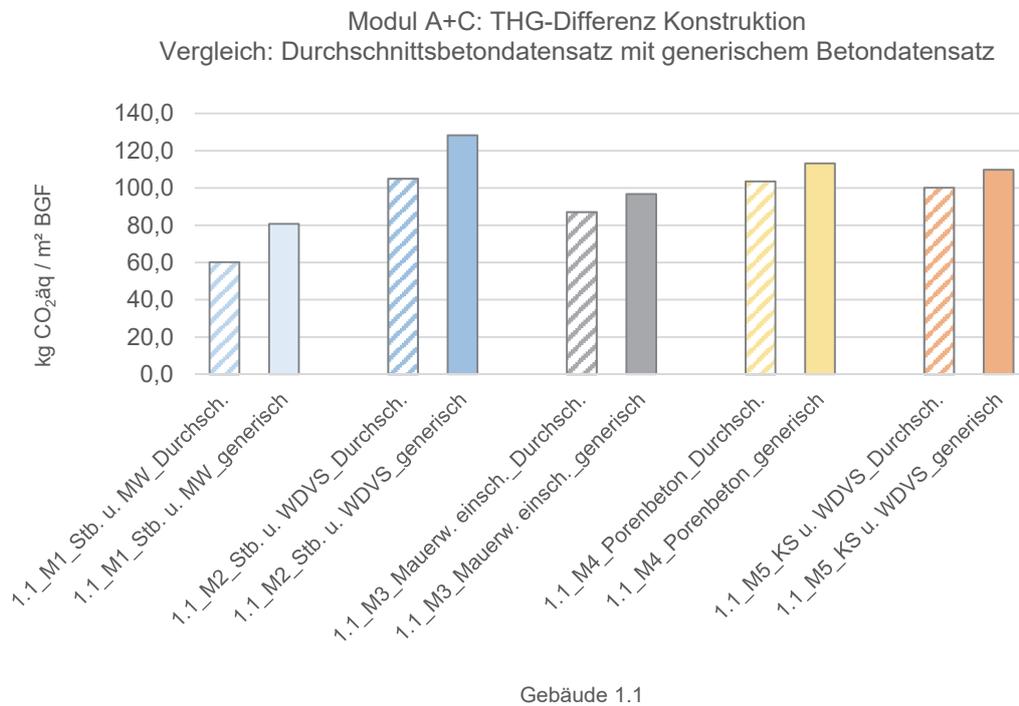


Abbildung 29:  
THG-Differenzen der Konstruktion mit Durchschnittsbetondatensatz (gestreift) und generischem Datensatz (ausgemalt) im Vergleich

Die THG Differenzen der Ergebnisse mit Durchschnittsbeton liegen für alle Gebäudevarianten mit Ausnahme Gebäude 1.1\_M1 innerhalb des ermittelten Wertekorridors (vgl. Abbildung 19). Die Grenzen des Wertekorridors ergeben sich durch die unterschiedlichen Eigenschaften der untersuchten Gebäude im Projekt. Somit stellt der Wertekorridor keine Fehlerbreite dar sondern gibt einen Bereich für Gebäude an, die ähnliche Eigenschaften wie die untersuchten Gebäude besitzen. Da es sich bei den Gebäuden in diesem Projekt um repräsentative Vertreter der jeweiligen Bauweise handelt, wird davon ausgegangen, dass ein Großteil der Gebäude innerhalb des Wertekorridors liegen wird. Gebäude 1.1\_M1 besitzt eine Außenwandkonstruktion aus Stahlbeton mit Mineralwolldämmung und einem Außenwand-Verblendmauerwerk aus Vormauerziegel. Aufgrund des hohen Stahlbetonanteils des Gebäudes (1.1\_M1) im Vergleich zum gegenübergestellten Holzgebäude (1.1\_H) ist die Differenz der THG-Emissionen geringer.

Bei Gebäude 1.1\_M2 besteht die Außenwand aus einer Stahlbetonkonstruktion plus WDVS. Durch die höheren Emissionen des WDVS gegenüber eines Dämmsystems aus Mineralwolle sind die relativen Einflüsse der Emissionen des Stahlbetons in Gebäude 1.1\_M2 geringer.

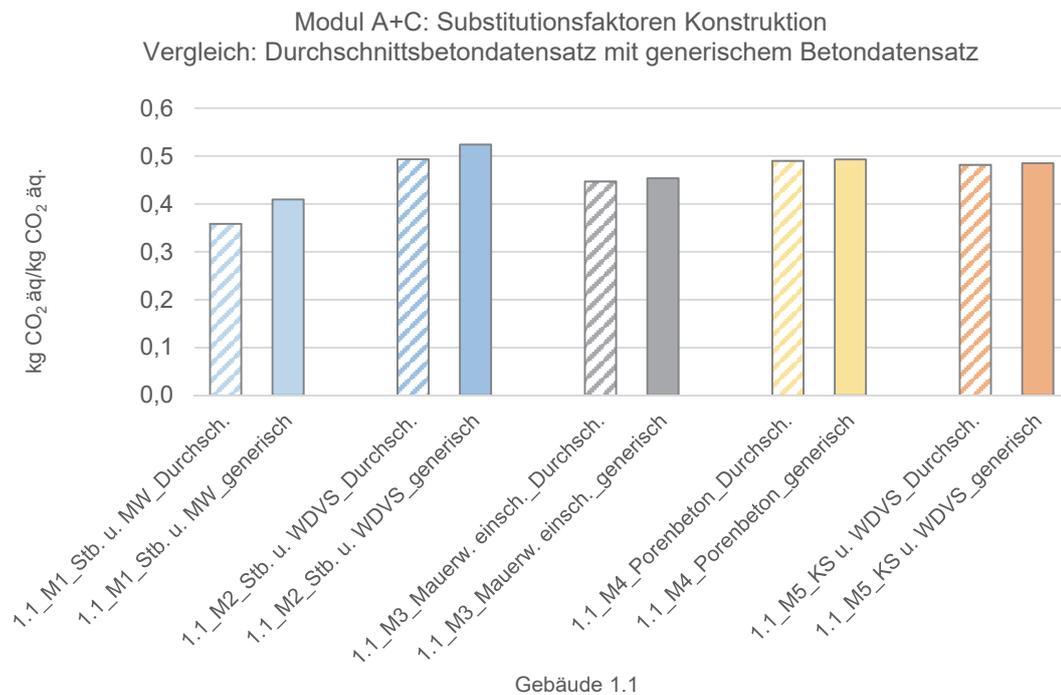


Abbildung 30:  
Substitutionsfaktoren der Konstruktion mit Durchschnittsbetondatensatz (gestreift) und generischem Datensatz (ausgemalt) im Vergleich

Die Substitutionsfaktoren  $SF_G$  sind bei Verwendung des Durchschnittsbetondatensatzes anstelle des generischen Datensatzes leicht niedriger. Wie zu erwarten sind die größten Unterschiede bei Gebäuden mit Außenwandkonstruktionen aus Stahlbeton (1.1\_M1 und 1.1\_M2). Die anderen Konstruktionsarten (1.1\_M3 bis 1.1\_M5) weisen nur leichte Unterschiede auf, welche durch die Deckenkonstruktionen, die auch hier aus Stahlbeton gefertigt sind, zustande kommen (siehe Abbildung 30).

Die Substitutionsfaktoren, die sich durch den ausgetauschten Betondatensatz ergeben, liegen innerhalb des ermittelten Wertekorridors für die EZFH (vgl. Abbildung 20). Da im EZFH-Bereich das Holzgebäude kaum Stahlbeton enthält, deckt das gewählte EFH den „worst case“ der Gebäude die im Rahmen des Projekts untersucht wurden, ab. Bei den MFH werden die Veränderungen der THG-Differenzen pro BGF zwischen Holzgebäude und mineralischem Pendant geringer ausfallen, da die MFH Holzgebäude einen höheren Stahlbetonanteil besitzen, z.B. durch Treppenhäuser, Balkone, etc. die aus Brandschutzgründen in mineralischer Bauweise gefertigt sind. Durch die geringeren Unterschiede des Treibhauspotentials in der Konstruktion ergeben sich auch geringere Abweichungen bei den Substitutionsfaktoren als bei den EZFH.

Die durch den Austausch des Datensatzes resultierenden Abweichungen machen die Notwendigkeit einer klaren Vorgabe der zu verwendeten Datensätze der Ökobau.dat deutlich.

#### 4.5.2 Gebäudeauswahl

Die ermittelten Wertekorridore sind abhängig von der vorhandenen Gebäudeauswahl. Besonders im MFH-Bereich wird deutlich, dass kleine Änderungen im Design oder der Materialwahl erheblichen Einfluss auf die Substitutionsfaktoren haben. Dazu tragen insbesondere die individuellen Brandschutzanforderungen an die Gebäude bei. Beispielsweise die Verkleidung von Wänden oder Säulen mit Gipskartonplatten oder die Bereitstellung von zusätzlichen Fluchtwegen beeinflussen die Ökobilanz. Bei den MFH spielen zusätzlich die Anzahl der Treppenhäuser zur Erschließung der Wohnungen eine Rolle; je mehr Wohnungen pro Treppenhaus erschlossen werden, desto besser sind die LCA-Ergebnisse.

Des Weiteren sind bei der Gebäudeauswahl die technischen Eigenschaften der mineralischen Gebäude und Holzgebäude nicht identisch. Mineralische Gebäude weisen häufig eine Übererfüllung technischer Anforderungen auf, die in Kapitel 3.2 *funktionelles Äquivalent* beschrieben werden.

Die Dokumente zum critical review (Prüfbericht und Kommentartabelle des review panels) sind im Anhang unter 8.1 gelistet.



# 5 ABSCHÄTZUNG DER AUSWIRKUNGEN EINES VERSTÄRKTEN HOLZ-EINSATZES IM BAUSEKTOR AUF DIE NATIONALE TREIBHAUSGASBI-LANZ

Sebastian Rüter, Stefan Diederichs

## 5.1 Angewandte Methodik

Neben dem in Kapitel 2 beschriebenen Substitutionspotential auf Gebäudeebene wurde im Rahmen dieser Studie die potentielle Klimaschutzwirkung eines verstärkten Einsatzes von Holz im Bau auch auf nationaler Ebene untersucht. Für diesen Zweck wurden die Abweichung der Emissionsbudgets gewählter Szenarien gegenüber einer definierten Referenz ermittelt (vgl. u.a. Rüter et al. 2016) und folgende drei treibhausgasrelevante Aspekte und Zusammenhänge quantifiziert:

-  **Biogene Kohlenstoffspeicherung**
-  **Stoffliche Substitutionswirkung**
-  **Stamm- und Industrieholzbedarf**

Die zugrundeliegende Annahme über die sich insgesamt entwickelnde Bautätigkeit ist hierbei von besonderer Bedeutung, da sie auch den Rahmen der unterstellten Möglichkeiten vorgibt, mehr Wohngebäude aus Holz als bisher zu erstellen. Die zukünftige Entwicklung der gesamten Bautätigkeit wurde daher für alle Szenarien ebenso wie für das Referenzszenario als gleich angenommen. Da Gebäude neben ihrer Errichtung auch instandgehalten und letztendlich abgerissen werden, spielt zudem auch die zeitliche Dynamik der mit der Bautätigkeit verbundenen Emissionen eine Rolle.

Implementiert wurde die Berechnung des nationalen Klimaschutzpotentials durch Substitutions- und Kohlenstoffspeichereffekte in dem auch für die nationale THG-Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention (UNFCCC) und dem Kyoto-Protokoll verwendeten Computermodell WoodCarbonMonitor (Rüter 2017) (Abbildung 31).

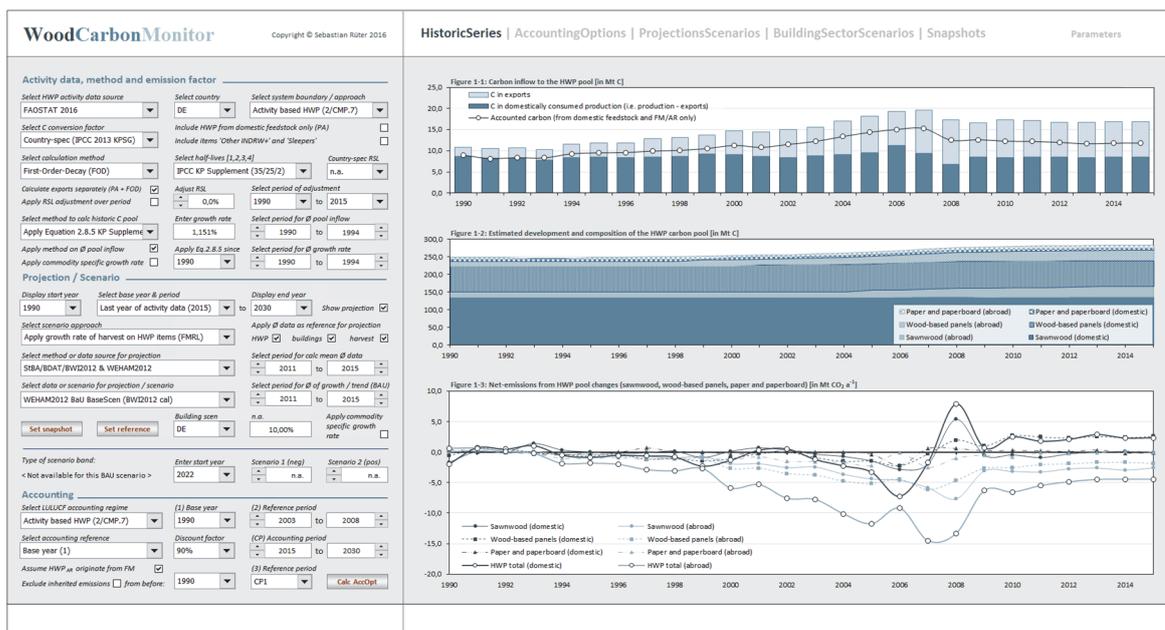


Abbildung 31: Screenshot der Benutzeroberfläche des WoodCarbonMonitor (Rüter 2017)

Für die Berechnung der Kohlenstoffspeicherwirkung wurde – anders als in der THG-Berichterstattung (vgl. Abbildung 31) – der sogenannte *stock-change* Ansatz verwendet, mit welchem die Einbindung nach Senken und die Emission nach Quellen aller inländisch verwendeten Holzprodukte über deren rechnerischen Verbrauch ermittelt werden (vgl. Umweltbundesamt 2016 und Rüter 2017). Somit wird das mögliche Kohlenstoffspeicherpotential über die in den Szenarien beschriebene und von dem festgelegten Referenzszenario abweichende Menge eingesetzter Holzbauprodukte bestimmt. Konsistent mit den Speichereffekten und den potentiellen Auswirkungen auf die Nachfrage nach Holz als Rohstoff, können so auch die möglichen Substitutionseffekte eines geänderten Holzeinsatzes im Bausektor in Deutschland abgebildet werden.

Für die Festlegung des Referenzszenarios, das in nachfolgendem Kapitel 5.1.1 detailliert beschrieben wird, wurde die aktuelle Bautätigkeitsstatistik mit Hilfe der vom Bundesamt für Bau-, Stadt und Raumentwicklung veröffentlichten Wohnungsmarktprognose fortgeschrieben (BBSR 2015b). Auf dieser Basis kann die Abschätzung der Möglichkeiten des Holzbaus, einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten, in den Kontext der erwarteten Bevölkerungsentwicklung auf Kreisebene gestellt werden und der prognostizierte Bedarf an Wohnraum im Spiegel der heute bekannten stärkeren oder schwächeren Affinität einzelner Regionen zum Bauen mit Holz analysiert werden.

### 5.1.1 Festlegung des Referenzszenarios zur gesamten Bautätigkeit in Deutschland

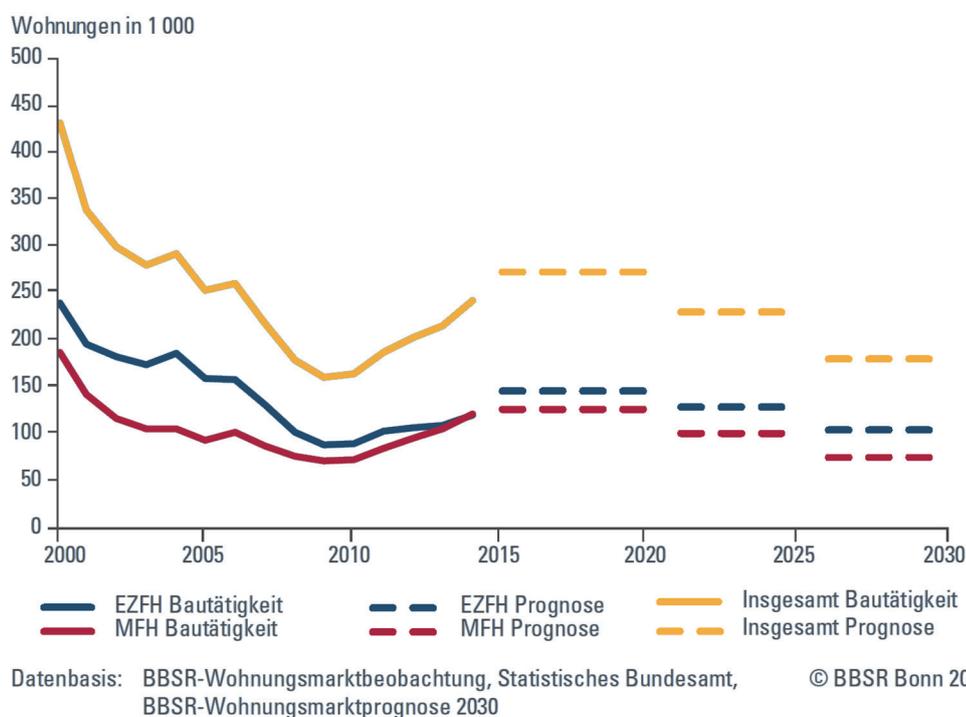


Abbildung 32:  
Aktuelle Bautätigkeit und mittlerer Neubaubedarf differenziert nach Gebäudeart (BBSR 2015b)

Die Quantifizierung der mit dieser Studie beschriebenen und in den jeweiligen Gebäuden eingesetzten Holzmenngen sowie der mit den beschriebenen Gebäuden verbundenen THG-Emissionsbudgets erfolgt über die Kombination der Sachbilanzdaten der in den Gebäuden verwendeten Holzbauprodukte und der jeweiligen Ergebnissen der Wirkungsabschätzung auf Gebäudeebene (Kapitel 3 und 4) mit den aktuellen Zeitreihen zur Bautätigkeit in Deutschland. Bis zum Jahr 2015 errechnet sich die Entwicklung der Holzverwendung im Wohnungsbau aus der Auswertung der statistischen Zeitreihen des Statistischen Bundesamtes zu Baufertigstellungen nach überwiegend verwendeten Baustoff (Statistisches Bundesamt 2016a).

Zu diesem Zweck wurden über 30.000 Datensätze zur nationalen Bautätigkeit auf Bundeslandebene im verwendeten Berechnungsmodell WoodCarbonMonitor (Rüter 2017) hinterlegt und zunächst alle Wohngebäude der Gruppe der Ein- und Zweifamilienhäuser (EZFH) bzw. Gebäude mit drei oder mehr Wohnungen den Mehrfamilienhäusern (MFH) zugeordnet. Zugleich wurden die Datensätze sowohl mit den mengengewichteten Sachbilanzdaten zu Holzbauprodukten aller bilanzierten Gebäude, als auch

mit ihren jeweiligen Ergebnissen des Ökobilanzindikators Treibhauspotential (GWP 100) verbunden. Um auch die Entwicklung des biogenen Kohlenstoffspeichers in Holzprodukten konsistent abbilden und projizieren zu können, wurden diese Datensätze darüber hinaus auch mit der Produktions- und Außenhandelsstatistik zu Holzhalbwaren (FAO 2016) verknüpft. Der für die Szenarien ermittelte zusätzliche benötigte Stamm- und Industrieholzbedarf wurde auf Basis der repräsentativen Ökobilanzinformationen der jeweiligen Holzbauprodukte (Rüter und Diederichs 2012; BMUB 2016) errechnet, die auch bei der Ökobilanzierung der in dieser Studie untersuchten Wohngebäude verwendet wurden (vgl. Kapitel 3)

Da für die Gebäude eine Nutzungsdauer von 50 Jahren unterstellt wird, werden die Umwelteffekte als Resultat von Instandhaltungen und Entsorgungsprozessen der bis 2030 gebauten Gebäude bis in das Jahr 2080 abgebildet, wobei die als Folge von Instandhaltungsmaßnahmen innerhalb der angenommenen 50 Jahre auflaufenden Emissionen gleichmäßig über diesen Zeitraum verteilt wurden. Zugleich kann auf Basis der in Kapitel 3 beschriebenen Ökobilanzdaten zwischen der Verwendung von Holz für die Bauteile der Konstruktion des Gebäudes (Außenwand, Innenwand etc.) sowie der Verwendung von Holz für die einzelnen Elemente des Ausbaus (Treppen, Fenster, Türen, Fußböden etc.) unterschieden werden. Da der Holzeinsatz für den Innenbereich allerdings keiner speziellen Bauweise zugeordnet werden kann, wurde für die Abschätzung des Klimaschutzbetrags in dieser Studie nur der Holzeinsatz in der Konstruktion von Wohngebäuden berücksichtigt. Der Holzeinsatz im (Innen-)Ausbau stellt ein zusätzliches Potenzial dar.

Als Datengrundlage für die Festlegung der zukünftigen Entwicklung des Neubaubedarfs an Ein-, Zwei- und Mehrfamilienhäusern bis 2030 (vgl. Abbildung 32) dient die BBSR Wohnungsmarktprognose 2030, in welcher die zukünftige Wohnflächennachfrage unter Berücksichtigung struktureller Besonderheiten des deutschen Wohnungsmarktes aus der erwarteten Entwicklung der Bevölkerung, der Zahl der Haushalte in Deutschland sowie der Wohnungsbautätigkeit auf Ebene der Kreise hergeleitet wurde (BBSR 2015b). Für die Ermittlung der Anzahl zukünftig errichteter Gebäude und ihren Bruttorauminhalt (BRI) in m<sup>3</sup> aus der vom BBSR prognostizierten Anzahl benötigter Wohnungen wurden die in Tabelle 16 gelisteten Durchschnittswerte der Jahre 2011-2015 für die jeweiligen Bundesländer verwendet, die wiederum aus den verfügbaren Daten der Bautätigkeitsstatistik abgeleitet wurden.

*Tabelle 16:  
Parameter für die Umrechnung der BBSR Prognosedaten zum Wohnungsbedarf auf Bruttorauminhalt der Gebäude basierend auf den Angaben zur Bautätigkeit des statistischen Bundesamtes von 2011 - 2015 (Statistisches Bundesamt 2016a)*

Bundesland	Anteil Wohn. in EZFH [in %]	Wohnungsgröße [in m <sup>3</sup> BRI]			Wohnungen pro Gebäude in MFH [in Anzahl]
		EFH	ZFH	MFH	
Schleswig-Holstein	84	664	500	392	8,4
Hamburg	88	710	593		12,4
Niedersachsen	84	743	534		7,5
Bremen	93	604	539		15,9
Nordrhein-Westfalen	83	775	579		9,8
Hessen	82	797	626		11,3
Rheinland-Pfalz	80	849	604		9,3
Baden-Württemberg	77	856	587		9,4
Bayern	82	947	667		8,8
Saarland	83	842	622		8,0
Berlin	91	696	562		20,3
Brandenburg	91	669	488		9,0
Mecklenburg-Vorpommern	86	587	418		7,8
Sachsen	90	717	565		11,2
Sachsen-Anhalt	94	671	480		8,6
Thüringen	89	744	548		10,1

Zugleich wurde davon ausgegangen, dass sich die Marktanteile der jeweiligen Baustoffe im Durchschnitt der Jahre 2011-2015 auf Kreisebene nicht ändern. Das Referenzszenario beschreibt somit einen Entwicklungspfad, der die bisher etablierte Verteilung der Baustoffverwendung in Deutschland im

Sinne eines „weiter so wie bisher“ auch für die Zukunft annimmt. Allerdings wurden in dieser Berechnung implizit die der Wohnungsbauprogno zugrunde liegenden Annahmen zur regional unterschiedlichen Bevölkerungsentwicklung mit der in den jeweiligen Regionen heute etablierten Verteilung der Baustoffverwendung fortgeschrieben. Die prognostizierte Zunahme der Bevölkerungszahl in solchen Regionen, in denen der Holzbau auch heute schon einen höheren Anteil am Gesamtbauvolumen im Ländervergleich aufweist, führt damit bereits im Referenzszenario zu einer leichten Erhöhung der Holzbauquoten bis 2030. Tabelle 17 zeigt eine Zusammenstellung der Anteile der Gebäude nach vorwiegend verwendetem Baustoff auf nationaler Ebene für das Referenzszenario.

Tabelle 17:

Durchschnittliche Baustoffanteile für Ein- und Zweifamilienhäuser (EZFH) sowie für Mehrfamilienhäuser (MFH) in Deutschland bezogen auf m<sup>3</sup> BRI im Referenzzeitraum und im Jahr 2030 für das Referenzszenario [in %]

Baustoff	EZFH		MFH	
	Ø 2011-2015	2030	Ø 2011-2015	2030
Holz	16,2	16,3	1,1	1,3
Stahl	0,0	0,0	0,0	0,0
Stahlbeton	6,2	6,6	27,9	28,0
Ziegel	35,1	32,9	24,3	29,4
Kalksandstein	14,7	16,1	35,5	30,9
Porenbeton	21,2	21,6	6,9	6,3
Leichtbeton/Bims	4,2	4,0	2,3	2,2
sonstiger Baustoff	2,4	2,5	1,9	1,9

### 5.1.2 Ermittlung der treibhausgasrelevanten Kenngrößen des Referenzszenarios

Abbildung 33 zeigt die aus der Kombination der historischen Zeitreihen zur Fertigstellung von Wohngebäuden nach vorwiegend verwendetem Baustoff und den aus der BBSR-Prognose berechnete zukünftige Errichtung von Wohngebäuden nach vorwiegend verwendetem Baustoff für das Referenzszenario.

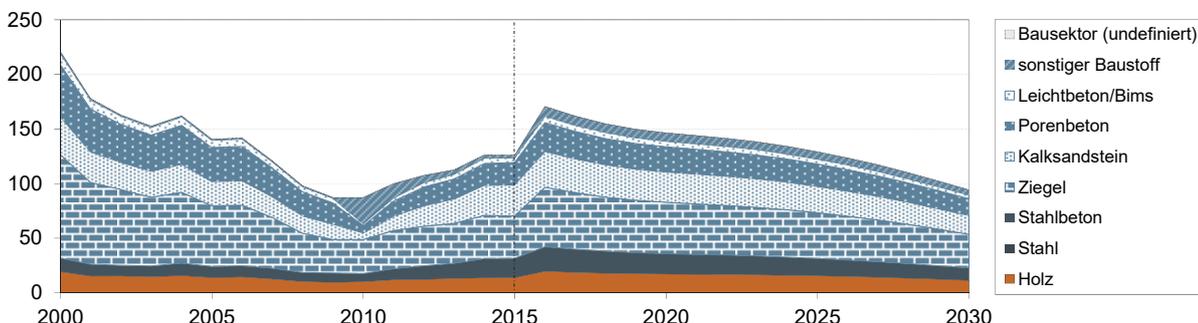


Abbildung 33:

Historische und zukünftige Errichtung von Wohngebäuden nach überwiegender verwendetem Baustoff in Deutschland [in 1000 m<sup>3</sup> BRI] (nach BBSR 2015b und Statistisches Bundesamt 2016a)

Der für den Zeitraum 2016 bis 2030 unterstellte durchschnittliche Anteil der jeweils vorwiegend verwendeten Baustoffe für die fertiggestellten Wohngebäude (EZFH/MFH) verteilt sich dabei wie folgt:

- Holz 12 %
- Stahl und Stahlbeton 13 %
- Ziegel 32 %
- Kalksandstein 19 %
- Porenbeton 16 %
- Leichtbeton/Bims 3 %
- Sonstiger Baustoff 5 %

Wie in Kapitel 5.1.1 erläutert, wird in dieser Studie nur der mit den bilanzierten Wohngebäuden verbundene Holzeinsatz für die Konstruktion der jeweiligen Gebäudetypen berücksichtigt. Die Abdeckung des durch Ökobilanzdaten beschriebenen rechnerischen Verbrauchs von Schnittholz und Holzwerkstoffen im Verhältnis zum Gesamtverbrauch dieser Produktkategorien im Durchschnitt der Jahre 2011

bis 2015 beläuft sich damit auf 4,4 %. Abbildung 34 zeigt die erzielte Abdeckung, wenn die über die Statistik- und Projektionszeitreihen ermittelten Kohlenstoffmengen in den in der Konstruktion verbauten Holzbauprodukten dem nur aus heimischem Rohholzeinschlag stammenden Gesamtverbrauch gegenübergestellt wird. In diesem Fall erhöht sich der Anteil des mit dieser Studie beschriebenen Verbrauchs von Schnittholz und Holzwerkstoffen auf durchschnittlich 8 % für den verwendeten Basiszeitraum der Jahre 2011 bis 2015. Eine detaillierte Beschreibung der hierfür verwendeten Berechnungsmethodik (*stock-change of domestic origin Ansatz*) findet sich in Rüter (2017).

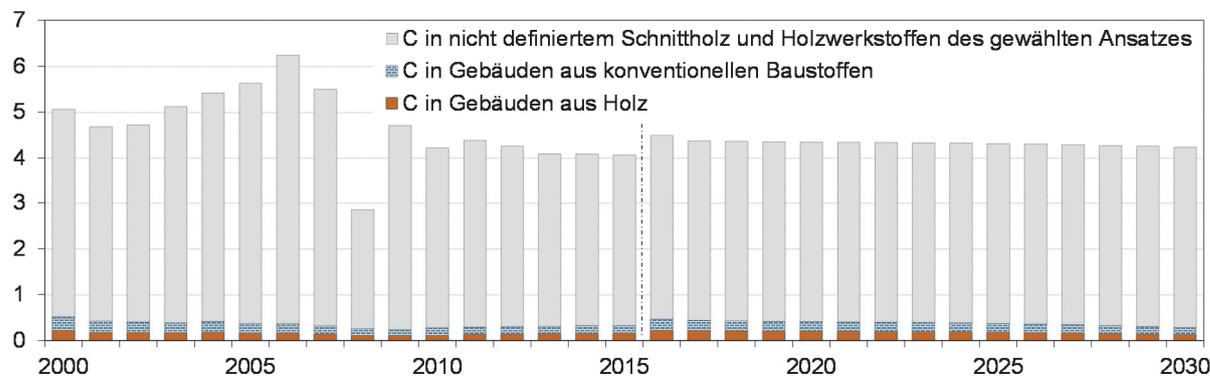


Abbildung 34: Anteil des in der Studie abgedeckten rechnerischen Verbrauchs von Schnittholz und Holzwerkstoffen am Gesamtverbrauch dieser aus heimischem Rohholz hergestellten Produktkategorien für das Referenzszenario [in Mt C]

Trotz der in der Vergangenheit steigenden Holzbauquote mit leicht abnehmender Tendenz, war mit einem Anteil in Höhe von durchschnittlich 54 % der Großteil des in Holzbauprodukten enthaltenen Kohlenstoffs, der für die Konstruktion von Wohngebäuden im Basiszeitraum verbaut wurde, in Gebäuden aus konventionellen Baustoffen enthalten (Abbildung 35).

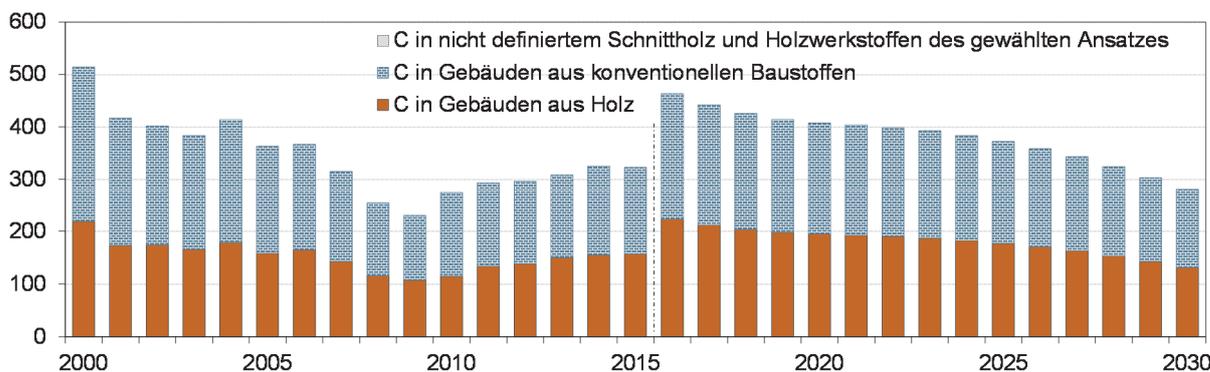


Abbildung 35: Verteilung des im jährlichen Verbrauch von Holzbauprodukten gebundenen Kohlenstoffs auf Wohngebäude aus vorwiegend Holz und vorwiegend konventionellen Baustoffen [in kt C]

### 5.1.3 Definition der Alternativszenarien zur Holzverwendung im Wohnungsneubau

Abweichend von dem beschriebenen Referenzszenario wurden zwei alternative Entwicklungspfade bei der Holzverwendung im Wohnungsneubau definiert, um die potentielle Klimaschutzwirkung der geänderten Baustoffverwendung abzuschätzen:



**Erreichung der Holzbauquote für EZFH und MFH in allen Bundesländern, wie in dem Bundesland mit der jeweils höchsten Holzbauquote in den Jahren 2011-2015**

Dieses erste Szenario unterstellt, dass in allen Bundesländern die in einzelnen Bundesländern maximal umgesetzte, und damit auch technisch auf jeden Fall mögliche Holzbauquote erreicht wird. Auf dieser Basis wird für alle Bundesländer das Erreichen einer Holzbauquote für EZFH in Höhe von 26 % (Baden-Württemberg) und für MFH in Höhe von 1,9 % (Schleswig-Holstein) angenommen. Das Szenario wird mit ‚BL<sub>MAX</sub>‘ abgekürzt.



## Erreichung einer definierten Holzbauquote in Höhe von 55 % für EZFH und 15 % für MFH in allen Bundesländern

Das zweite Szenario beschreibt einen Entwicklungspfad, bei dem von einer starken Steigerung der Holzbauquote ausgegangen wird. Hierfür wird im Bereich der EZFH nach schwedischem Vorbild eine Holzbauquote in Höhe von 55 % unterstellt (vgl. Bundestag 2011), während im Bereich der MFH die Holzbauquote auf 15 % steigt. Das Szenario wird mit ‚55/15‘ abgekürzt.

Zugleich wurden diese beiden Szenarien noch einmal in zwei weitere Unterszenarien unterschieden, die von einer voneinander abweichende zeitlichen Dynamik bei der Erreichung der gesetzten Zielquoten für den Holzbauanteils ausgehen:



Kontinuierliche Steigerung der Holzbauquoten ausgehend vom IST-Zustand bis zur definierten Zielquote im Jahr 2030



Ab sofortige Steigerung der Holzbauquoten auf die definierten Zielquoten für den gesamten Projektionszeitraum bis zum Jahr 2030

Abbildung 36 zeigt schematisch den sich verändernden Holzbauanteil für das festgelegte Referenzszenario (REF) (vgl. Abbildung 33) und definierten Szenarien für den Zeitraum 2010-2030.

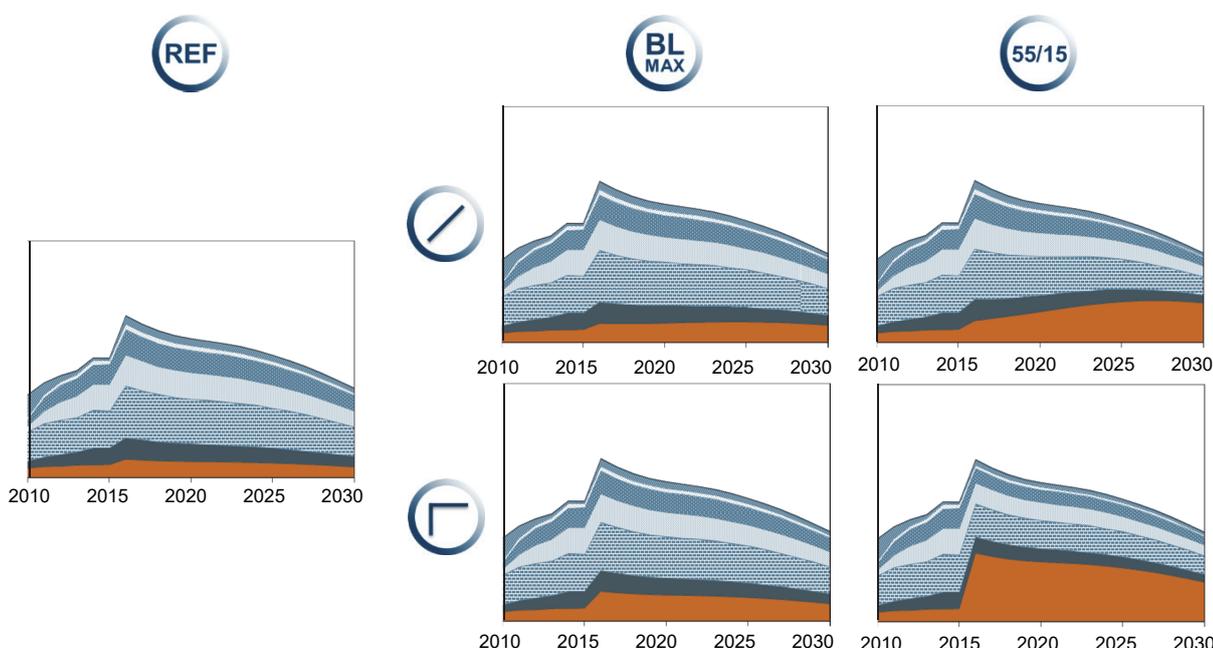


Abbildung 36: Schematische Übersicht über die szenarienabhängige Veränderung des Anteils von Wohngebäuden aus Holz im Zeitraum 2010-2030 (vgl. Legende Abbildung 33)

## 5.2 Klimaschutzpotential und damit verbundene Änderung der Rohholznachfrage für Deutschland

In Tabelle 18 werden die mit dem veränderten Holzbauanteil in den Szenarien zu erwartenden jahresdurchschnittlichen Ergebnisse für die Kohlenstoffspeicherwirkung, die stoffliche Substitutionswirkung und den damit verbundenen erhöhten Bedarf an Rohholz für Deutschland zusammengefasst.

Die Zahlen für das Referenzszenario (REF) geben dabei die absoluten Emissionsbudgets bzw. Einschlagsmengen wieder, wohingegen die Ergebnisse für die Szenarien ‚BL<sub>MAX</sub>‘ und ‚55/15‘ die mit der abweichenden Entwicklung zu erwartende relative Änderung für diese Effekte im Vergleich zum Referenzszenario widerspiegeln. Die Tabelle 19 beinhaltet die Summe der Ergebnisse für den gesamten Projektionszeitraum 2016 bis 2030.

Die als Resultat der bis 2030 errichteten Gebäude bis in das Jahr 2080 zu erwartenden Effekte auf die THG-Bilanz sind in diesen Tabellen nicht enthalten, ebenso wie die zeitliche Dynamik der jeweiligen Effekte – insbesondere für die Szenarienvariation ‚steigend‘ relevant – nicht wiedergegeben wird. Daher werden die Ergebnisse für die drei berechneten Parameter in den nachfolgenden Kapiteln separat vorgestellt und diskutiert.

Tabelle 18:

Jahresdurchschnittliche Ergebnisse für den Szenarienzeitraum von 2016 bis 2030 [in %]\*

		REF	BL MAX		55/15	
			↗	↘	↗	↘
 [Mm <sup>3</sup> ]		<b>44,23</b>	+0,43	+0,86	+1,92	+3,90
 [Mt CO <sub>2</sub> ]		<b>-0,96</b>	-0,15	-0,28	-0,65	-1,25
 [Mt CO <sub>2</sub> -äq]		<b>11,31</b>	-0,19	-0,38	-0,78	-1,59

\* Die Ergebnisse für die Szenarien ‚BL<sub>MAX</sub>‘ und ‚55/15‘ sind relativ zum Szenario ‚REF‘ und kursiv dargestellt

Tabelle 19:

Summe der Ergebnisse für den gesamten Szenarienzeitraum von 2016 bis 2030\*

		REF	BL MAX		55/15	
			↗	↘	↗	↘
 [Mm <sup>3</sup> ]		<b>663,46</b>	+6,40	+12,94	+28,74	+58,49
 [Mt CO <sub>2</sub> ]		<b>-14,44</b>	-2,20	-4,21	-9,76	-18,78
 [Mt CO <sub>2</sub> -äq]		<b>169,58</b>	-2,78	-5,64	-11,72	-23,89

\* Die Ergebnisse für die Szenarien ‚BL<sub>MAX</sub>‘ und ‚55/15‘ relativ zum Szenario ‚REF‘ und kursiv dargestellt

### 5.2.1 Ergebnisse für die Kohlenstoffspeicherwirkung nach Szenario

Abbildung 37 zeigt die zeitliche Entwicklung der Kohlenstoffspeicherwirkung für die eine steigende Holzbauquote abbildende Szenariengruppe (‚BL<sub>MAX</sub> steigend‘ und ‚55/15 steigend‘) und Abbildung 38 für die Szenariengruppe mit der ab sofort gestiegenen Holzbauquote (‚BL<sub>MAX</sub> ab sofort‘ und ‚55/15 ab sofort‘). Während die großen Schwankungen der historischen Netto-Emissionen auf die jährlichen Änderungen des gesamten rechnerischen Verbrauchs aller Holzhalbwaren (inkl. der Produktkategorie ‚Papier und Papp‘) in Deutschland zurückzuführen sind (stock-change Ansatz), gehen die Unterschiede zwischen den projizierten Szenarien lediglich auf die Verwendung der in der Konstruktion der Wohnungsneubaus verwendeten Schnittholzprodukte und Holzwerkstoffe zurück. Dabei macht sich eine Realisierung einer erhöhten Holzverwendung insbesondere in den ersten Jahren des Projektionszeitraums bemerkbar, in denen nach BBSR (2015b) mit dem erhöhten Bedarf an Wohnungen und damit laut Prognose mit einer erhöhten Bautätigkeit zu rechnen ist (vgl. Abbildung 33).

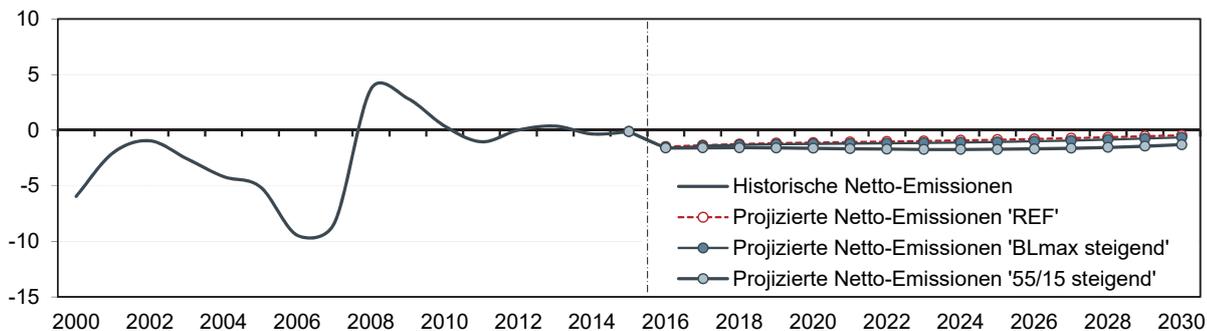


Abbildung 37:  
Projizierte Netto-Emissionen für die Szenarien ‚BL<sub>MAX</sub> steigend‘ und ‚55/15 steigend‘ [in Mt CO<sub>2</sub>]

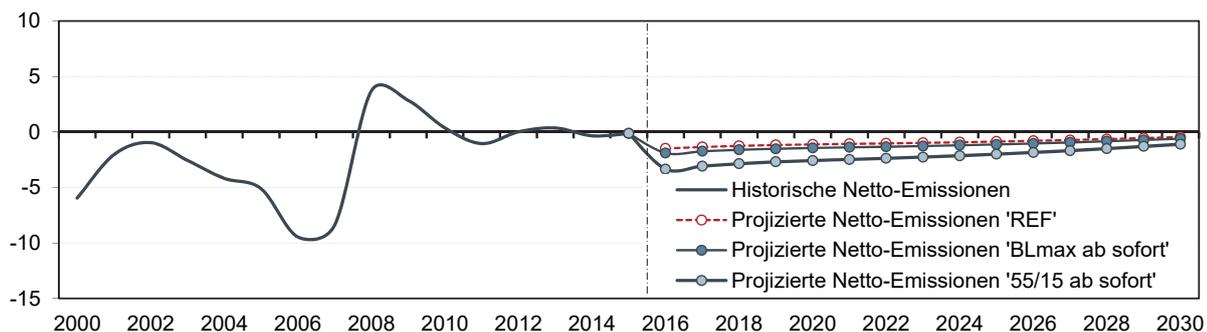


Abbildung 38:  
Projizierte Netto-Emissionen für die Szenarien ‚BL<sub>MAX</sub> ab sofort‘ und ‚55/15 ab sofort‘ [in Mt CO<sub>2</sub>]

Danach könnte alleine im Durchschnitt der ersten fünf Jahre des Projektionszeitraums mit einer zusätzlichen Senkenwirkung in Höhe von ca. -1,6 Mt CO<sub>2</sub> im Vergleich zum Referenzszenario ‚REF‘ gerechnet werden, sofern eine sofortige deutliche Steigerung der Holzbauquote gelänge (Szenario ‚55/15 ab sofort‘).

### 5.2.2 Ergebnisse für die Substitutionswirkung nach Szenario

Wie in Kapitel 4 ausführlich dargelegt, kann bei dem Einsatz von Holz anstelle konventioneller Baustoffe mit deutlich geringeren THG-Emissionen gerechnet werden. In den folgenden Abbildungen sind sowohl die in der Vergangenheit mit der Errichtung von Wohngebäuden (EZFH und MFH), als auch die mit der prognostizierten Wohnungsnachfrage und potentiellen zukünftigen Bautätigkeit verbundenen THG-Emissionen abgebildet. Danach belief sich das jährlich durch die Errichtung, Instandhaltung und den Rückbau der Gebäudekonstruktionen im Wohnungsbau verursachte THG-Emissionsbudget im Durchschnitt der Jahre 2011 bis 2015 auf knapp 9,5 Mt CO<sub>2</sub>-äq. Dies entspricht immerhin knapp 8 % der durchschnittlich im gesamten Verarbeitenden Gewerbe (Quellegruppe 1.A.2) in den Jahren 2011 bis 2014 in Deutschland emittierten THG (UNFCCC 2017). Im Durchschnitt der Jahre 2011 bis 2015 belief sich der Anteil der durch Holzgebäude verursachten Emissionen auf 6,7 % bei einem auf den Bruttorauminhalt der errichteten Wohngebäude (EZFH und MFH) bezogenen Anteil der vorwiegend aus Holz hergestellten Gebäude in Höhe von 11,2 %.

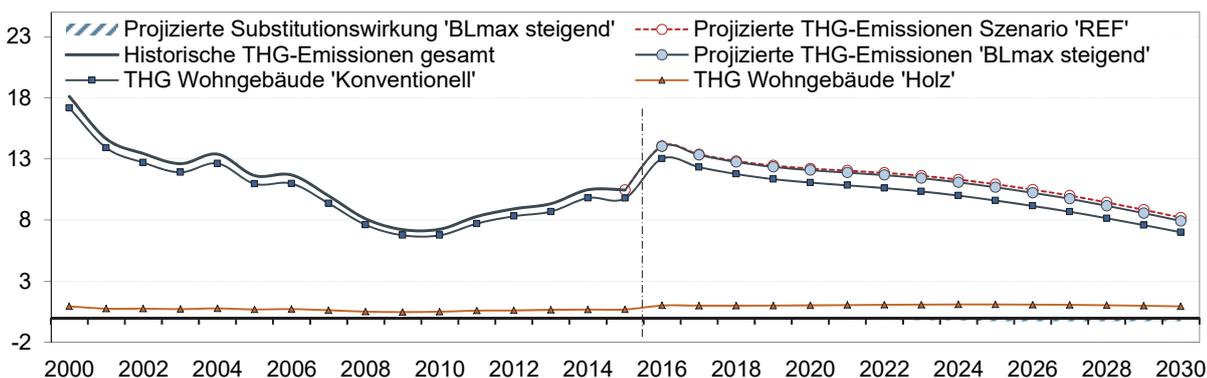


Abbildung 39:  
Projizierte THG-Emissionen und Substitutionswirkung für Szenario ‚BL<sub>MAX</sub> steigend‘ [in Mt CO<sub>2</sub>-äq]

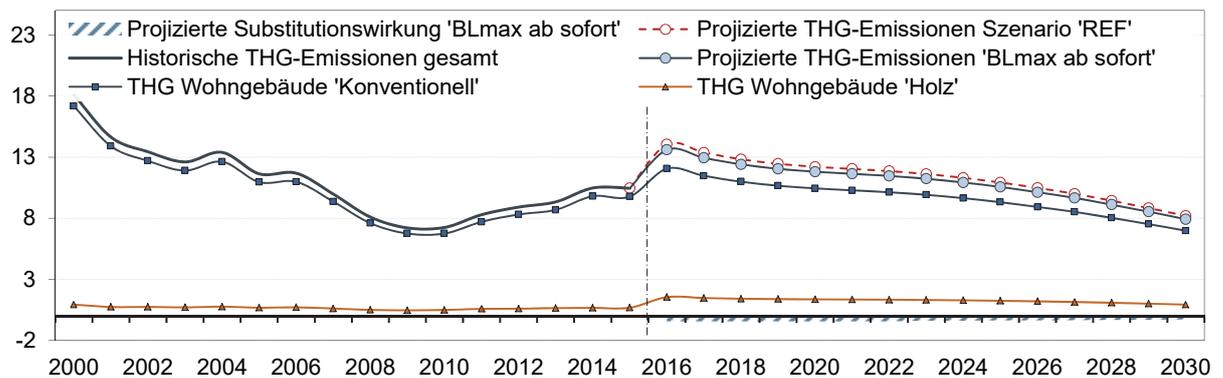


Abbildung 40:  
Projizierte THG-Emissionen und Substitutionswirkung für Szenario ‚BL<sub>MAX</sub> ab sofort‘ [in Mt CO<sub>2</sub>-Äq]

Während in dem Szenario ‚BL<sub>MAX</sub> steigend‘ im Durchschnitt der projizierten fünfzehn Jahre ca. 185.000 t CO<sub>2</sub>-Äq eingespart werden (Abbildung 39), könnte bei sofortiger Erhöhung der Holzbauquote die Belastung der Atmosphäre um durchschnittlich über 376.000 t CO<sub>2</sub>-Äq jährlich allein durch mehr Verwendung von Holz in der Konstruktion von Wohngebäuden reduziert werden (Abbildung 40, vgl. Tabelle 18). Insbesondere in den ersten fünf Jahren, in denen nach BBSR (2015b) fast 50 % des gesamten prognostizierten Neubaubedarfs für Wohnungen besteht, würde mit dem Szenario ‚BL<sub>MAX</sub> ab sofort‘ ein jahresdurchschnittlicher Substitutionseffekt in Höhe von über -423.000 t CO<sub>2</sub>-Äq eingesparter Emissionen erzielt werden, der sich in der Summe des gesamten Projektionszeitraums auf über -5,6 Mt CO<sub>2</sub>-Äq summieren würde.

Durch die sofortige Erhöhung der Holzbauquote auf das Niveau von 26 % für EZFH wie in Baden-Württemberg und auf 1,9 % für MFH wie in Schleswig-Holstein ließen sich über den Gesamtzeitraum 3,3 % der insgesamt für die Errichtung der prognostizierten Wohngebäude anfallenden THG-Emissionen einsparen. Wesentlich beeinflusst wird dieses Ergebnis, ebenso wie auch die Ergebnisse für die projizierte Kohlenstoffspeicherwirkung, durch die nach Landkreisen und kreisfreien Städten differenzierte BBSR-Prognose des tatsächlich vorhandenen zukünftigen Bedarfs an Wohnungen. Dies bedeutet, dass ein theoretisch vorhandenes Steigerungspotential einer aktuell niedrigen Holzbauquote in den angenommenen Szenarien auch nur dann zum Tragen kommen kann, wenn für den jeweiligen Kreis auch tatsächlich eine zukünftige Nachfrage nach Wohnraum, und damit auch eine zukünftige Bautätigkeit prognostiziert wird.

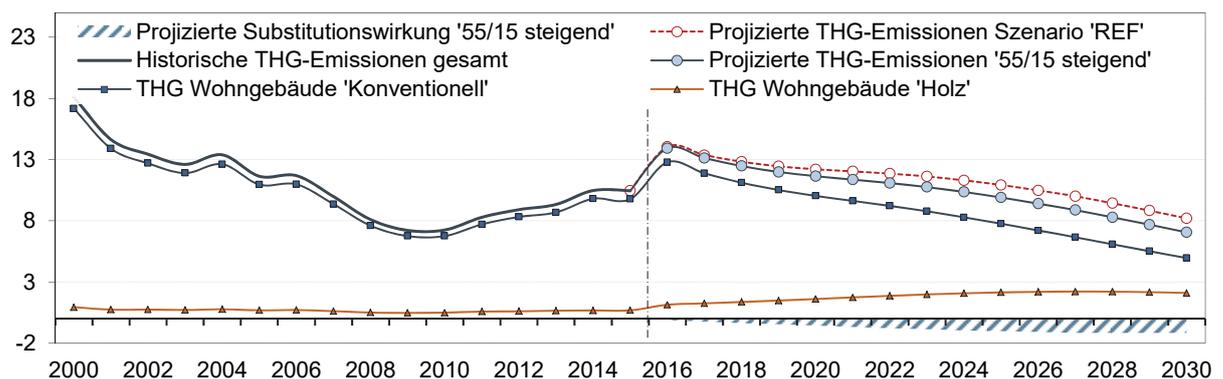


Abbildung 41:  
Projizierte THG-Emissionen und Substitutionswirkung für Szenario ‚55/15 steigend‘ [in Mt CO<sub>2</sub>-Äq]

Wird bundesweit eine Erhöhung der Holzbauquote auf 55 % für EZFH und 15 % für MFH angenommen, können auch die Regionen durch eine verstärkte Holzverwendung einen Beitrag zum Klimaschutz leisten, in welchen die Holzbauquote im bundesweiten Vergleich bereits jetzt relativ hoch ist und für welche ein zusätzlicher Bedarf an Wohnungen bzw. Wohngebäuden prognostiziert wird (vgl. Abbildung 41). Auch hier gilt jedoch, dass dieser Beitrag mehr als verdoppelt werden kann, wenn gleich in den ersten Jahren die prognostizierte Bautätigkeit genutzt wird, um den Holzbauanteil zu erhöhen (vgl. Tabelle 18 und Tabelle 19). So ließe sich im Durchschnitt der ersten fünf Jahre des Projektionszeitraums im Szenario ‚55/15 ab sofort‘ ein jahresdurchschnittlicher Substitutionseffekt in Höhe von über -1,8 Mt CO<sub>2</sub>-Äq eingesparter Emissionen erzielen, der sich für den Gesamtzeitraum auf -23,9 Mt

CO<sub>2</sub>-äq erhöhen würde (vgl. Abbildung 42). Diese entspräche wiederum einer Einsparung in Höhe von 15,1 % der insgesamt für die prognostizierte Errichtung der Wohngebäude anfallenden THG-Emissionen.

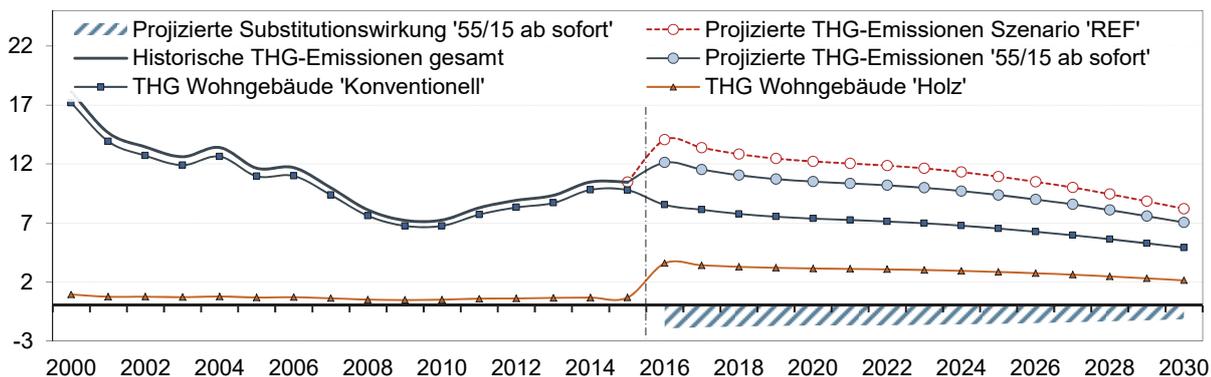


Abbildung 42: Projizierte THG-Emissionen und Substitutionswirkung für Szenario '55/15 ab sofort' [in Mt CO<sub>2</sub>-äq]

### 5.2.3 Ergebnisse für den Rohholzbedarf nach Szenario

Die Berechnung der Szenarien für den Holzeinschlag basieren auf den im WoodCarbonMonitor hinterlegten Zeitreihen, die auch für die Projektion des Klimaschutzbeitrags der Holzprodukte unter dem Kyoto-Protokoll verwendet werden (vgl. Umweltbundesamt 2016). Diese mit den Daten der Bundeswaldinventuren kalibrierten Einschlagsdaten beschreiben den Derbholzverlust der Holzvorräte in den Wäldern Deutschlands und sind als Vergleichsgröße in den nachfolgenden Abbildungen ebenfalls dargestellt. Der auf Basis der Ökobilanzinformationen zur Rohstoffverwendung für die jeweiligen Holzbauprodukte projizierte Bedarf an Stamm- und Industrieholz wurde auf Basis der historischen Zeitreihen der FAO zur Produktion von Stamm- und Industrieholz fortgeschrieben.

Im Fall einer gleichbleibenden Holzbauquote (Referenzszenario 'REF') würden in den ersten fünf Jahren des Projektionszeitraums aufgrund der höheren Nachfrage nach Holzbauprodukten für die Konstruktion der zusätzlichen Wohngebäude jährlich ca. 178.500 m<sup>3</sup> mehr Stamm- und Industrieholz benötigt als im Durchschnitt der Jahre 2011 bis 2015 (Abbildung 43).

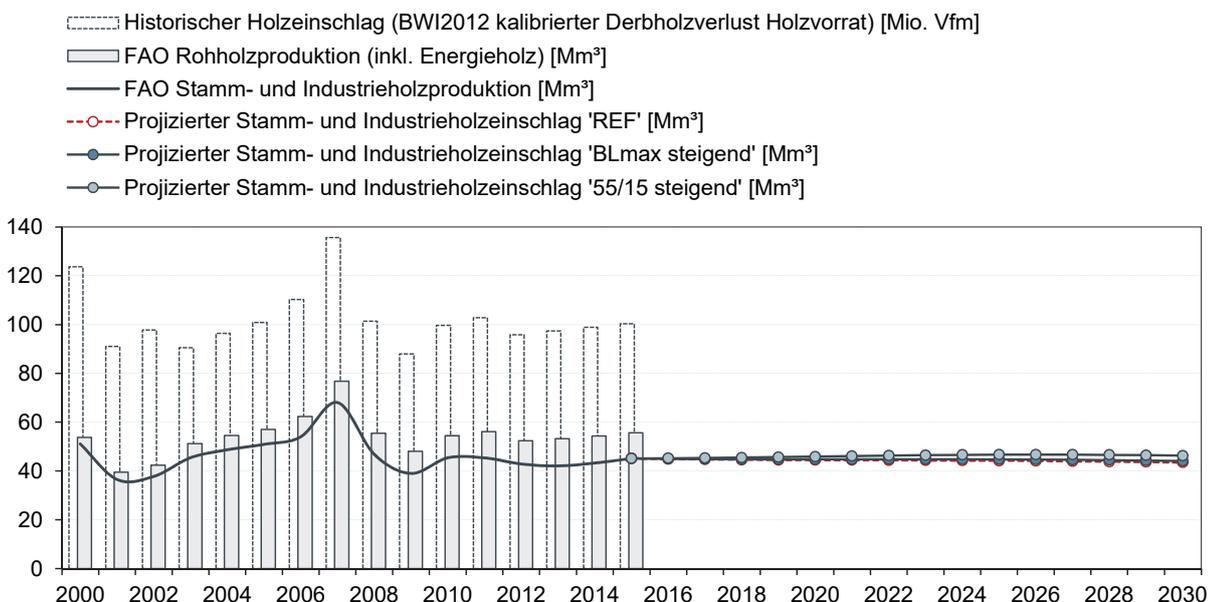


Abbildung 43: Projizierter Rohholzbedarf für Szenarien 'BL<sub>MAX</sub> steigend' und '55/15 steigend'

Während für die Realisierung der Holzbauquote des kontinuierlich steigenden Szenarios 'BL<sub>MAX</sub> steigend' im Vergleich zum Referenzszenario 'REF' und im Verhältnis zur Gesamtproduktion nur geringe zusätzliche Mengen an Stamm- und Industrieholz benötigt würden (durchschnittlich 430.000 m<sup>3</sup>), fällt der zusätzlich projizierte Rohholzbedarf beim Szenario '55/15 steigend' mit durchschnittlich 1,9 Mm<sup>3</sup>

bereits merklich höher aus (vgl. Tabelle 18). Noch deutlicher wird der zusätzliche Stamm- und Industrielholzbedarf bei einer sofortigen Realisierung des Szenarios ‚55/15 ab sofort‘ (Abbildung 44).

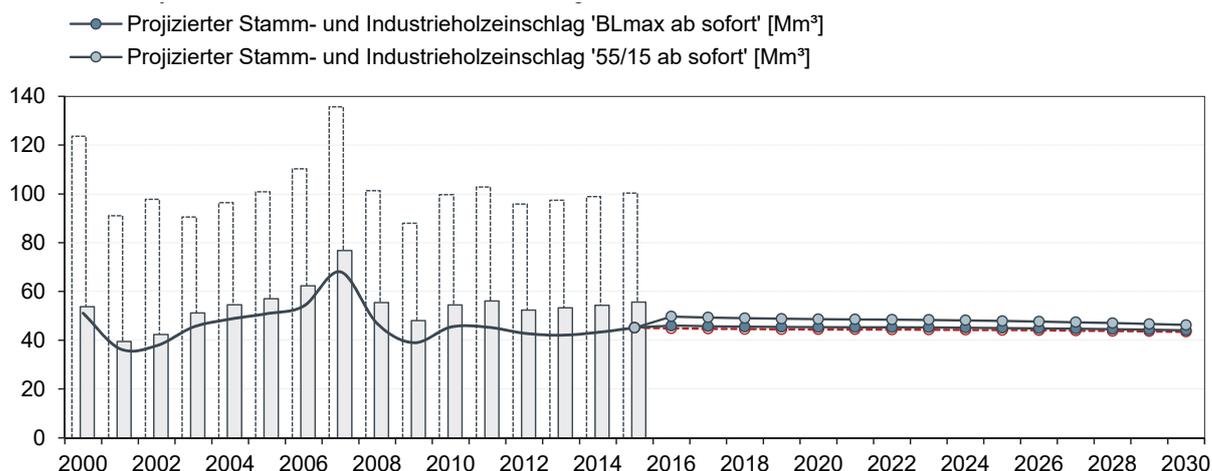


Abbildung 44: Projizierter Rohholzbedarf für Szenarien ‚BL<sub>MAX</sub> ab sofort‘ und ‚55/15 ab sofort‘ (vgl. Abbildung 43 für Legende)

In diesem Fall wäre alleine im Durchschnitt der ersten fünf Jahre des Projektionszeitraums mit einem jährlichen Mehrbedarf in Höhe von knapp 4,5 Mm<sup>3</sup> zu rechnen. Dies entspricht in etwa 10 % der Stamm- und Industrielholzproduktion des Durchschnitts der Jahre 2011 bis 2015. Gegenüber den zu meist nachfragebedingten interannuellen Schwankungen des historischen Einschlags von Stamm- und Industrielholz erscheinen zwar auch diese zusätzlich benötigten Holz mengen realisierbar; bei der Einordnung der Größenverhältnisse sei an dieser Stelle daran erinnert, dass die Szenarien lediglich den erhöhten Bedarf an Stamm- und Industrielholz für die in der Konstruktion im Wohnungsneubau eingesetzten Holzbauprodukte abbilden. Die statistischen Zeitreihen der FAO zur Stamm- und Industrielholzproduktion, auf welchen die projizierten Mengen aufbauen, beschreiben hingegen die gesamten Produktionsmengen, die zu Holzprodukten mit dem Ziel ihrer stofflichen Nutzung in allen Verwendungsbereichen weiterverarbeitet werden.

### 5.3 Potentielle Substitutionswirkung der Szenarien auf Ebene der Bundesländer

Da die Ergebnisse für die jeweiligen Szenarien mit ihren Annahmen über die Veränderung der Holzbauquote sehr stark von den zugrundeliegenden Prognosedaten des BBSR auf Kreisebene abhängig sind (vgl. oben), wird in diesem Kapitel das über die Szenarien ermittelte stoffliche Substitutionspotential eines erhöhten Holzeinsatzes im Wohnungsneubau auf Ebene der Bundesländer thematisiert.

Abbildung 45 zeigt die Verteilung des auf Basis der BBSR-Daten errechneten jahresdurchschnittlichen Zubaus von EZFH und MFH für den Projektionszeitraum von 2016 bis 2030 auf die Bundesländer. Abbildung 46 sortiert den prognostizierten Gebäudezuwachs der jeweiligen Bundesländer und zeigt die durchschnittliche Holzbauquote der Jahre 2011 bis 2015, die als Basis für die Bildung der beschriebenen Szenarien über sich unterschiedlich entwickelnde Holzbauquoten dient. Daraus wird ersichtlich, dass ein potentieller Substitutionseffekt vor allem in den Bundesländern zum Tragen kommen kann, denen ein hoher zukünftiger Bedarf an Wohnungen prognostiziert wird, der in einem möglichen Zuwachs an Wohngebäuden resultiert. Während sich allerdings ein prognostizierter hoher Bedarf an Wohnungen in Bundesländern mit einer im Bundesvergleich ohnehin schon hohen Holzbauquote in der Szenariengruppe ‚BL<sub>MAX</sub>‘ weniger auswirkt, kann dieses Potential in der Szenariengruppe ‚55/15‘ eher ausgeschöpft werden. Auch die mit der Entscheidung für Wohngebäude mit einer Holzkonstruktion verbundenen Effekte, die über den BBSR-Prognosezeitraum und die hier untersuchten Szenarien hinaus Wirkungen auf die THG-Bilanz nach sich ziehen, sind in den nachfolgenden Ergebnisdarstellungen für die Substitutionswirkung auf Ebene der Bundesländer enthalten (vgl. Abbildungen 47-50).

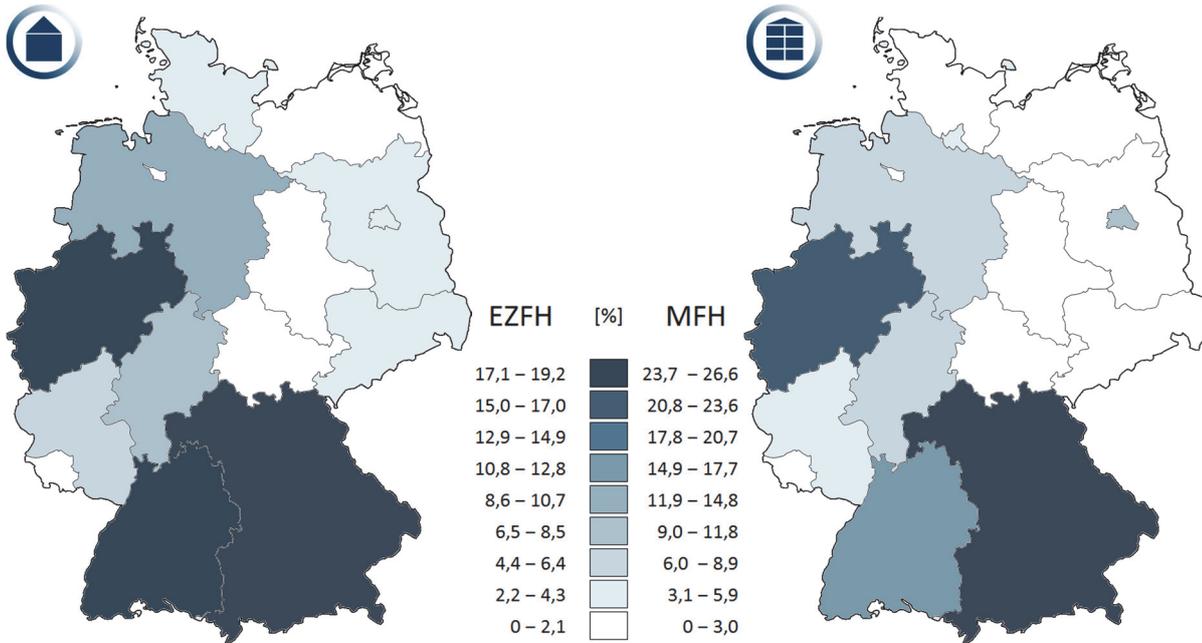


Abbildung 45: Verteilung des prognostizierten jahresdurchschnittlichen Neubaubedarfs von Wohnungen in EZFH und MFH bis 2030 auf Bundesländer basierend auf projiziertem Bruttorauminhalt der Gebäude [in %]

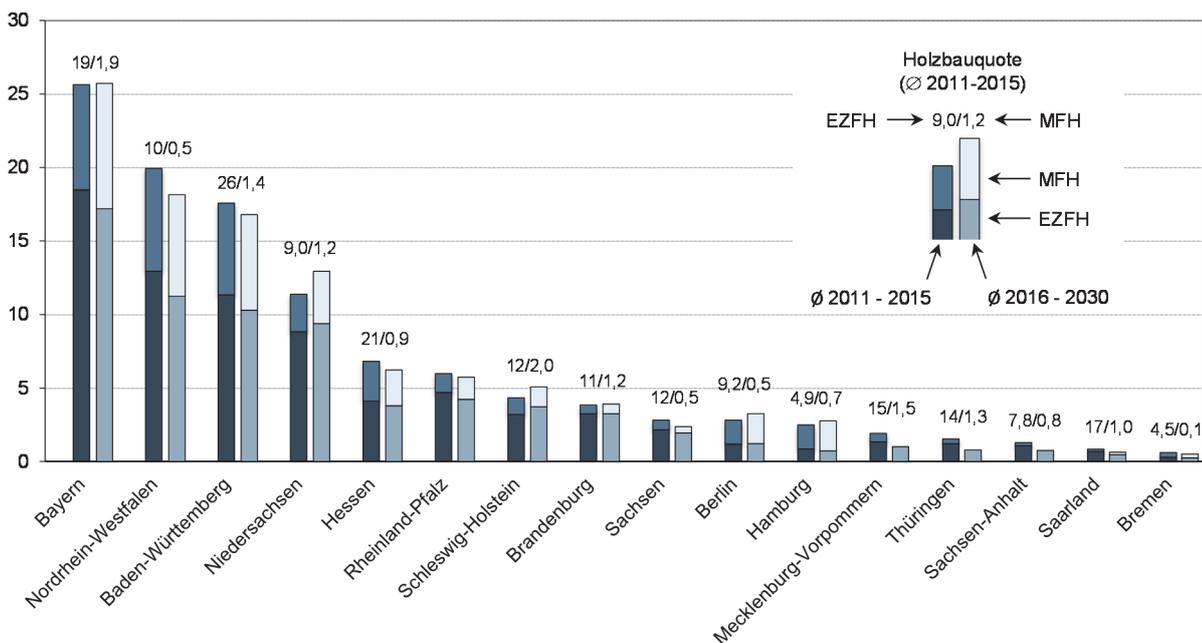


Abbildung 46: Jahresdurchschnittlicher Bedarf an Wohnungen in EZFH und MFH im Zeitraum 2016-2030 basierend auf BBSR-Wohnungsmarktprognose 2015 nach Bundesländern sowie durchschnittliche Holzbauquote der Jahre 2011-2015 [in Mm³ BRI und %]

Aufgrund der prognostizierten Verteilung des Neubauvolumens würde sich die mit einer verstärkten Holzverwendung einhergehende Substitutionswirkung auf nur wenige Bundesländer konzentrieren: im Segment der EZFH ließen sich bei einer Realisierung des Szenarios *BL<sub>MAX</sub> ab sofort* knapp 64 % der THG-Einsparungen allein in Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen und Bayern erzielen (Abbildung 47). Durch eine Erhöhung der Holzbauquote für EZFH auch über die in Baden-Württemberg im Durchschnitt der Jahre 2011 bis 2015 erreichten 26 %, wie sie mit dem Szenario *55/15 ab sofort* zum Tragen käme, könnte auch der in diesem Bundesland vorhandene Wohnungsbedarf für eine Erhöhung des Anteils von Holzkonstruktionen im Rahmen des Wohnungsneubaues ausgeschöpft werden (Abbildung 48). Doch auch in diesem Fall würden sich über 67 % der projizierten Substitutionswirkung auf die Bundesländer Nordrhein-Westfalen, Bayern, Baden-Württemberg und Niedersachsen konzentrieren.

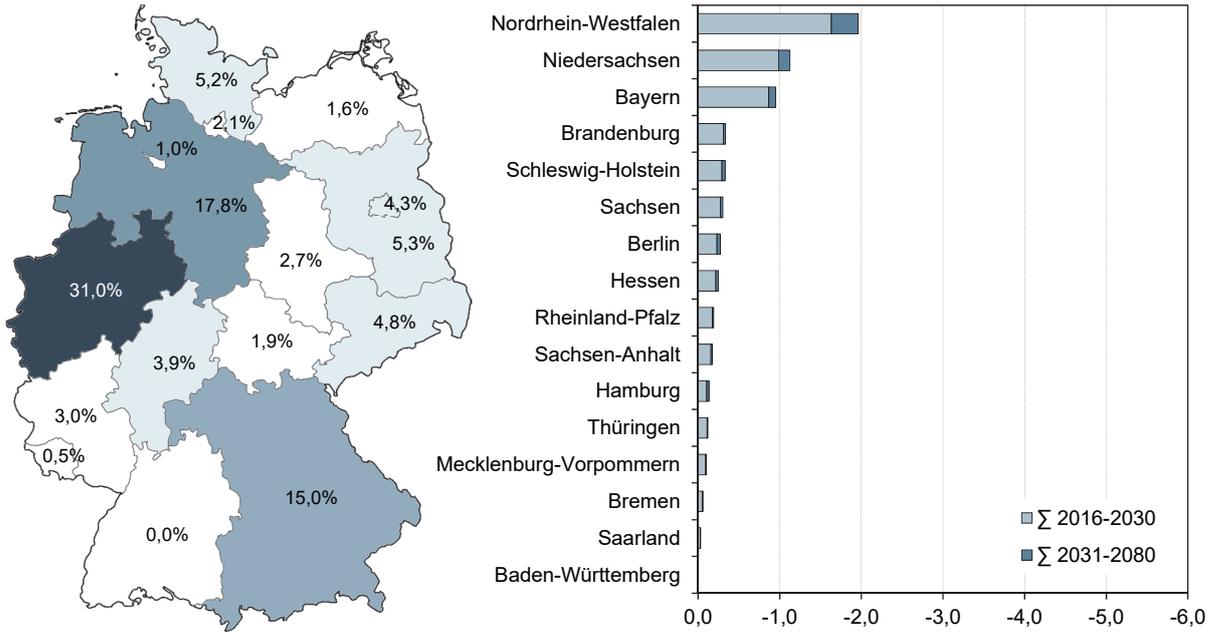


Abbildung 47: Projizierte Substitutionswirkung für EZFH im Szenario ‚BL<sub>MAX</sub> ab sofort‘ nach Bundesländern in den Zeiträumen 2016-2030 und 2031-2080 sowie der jeweilige Anteil an der Gesamtwirkung [in Mt CO<sub>2</sub>-äq und %]

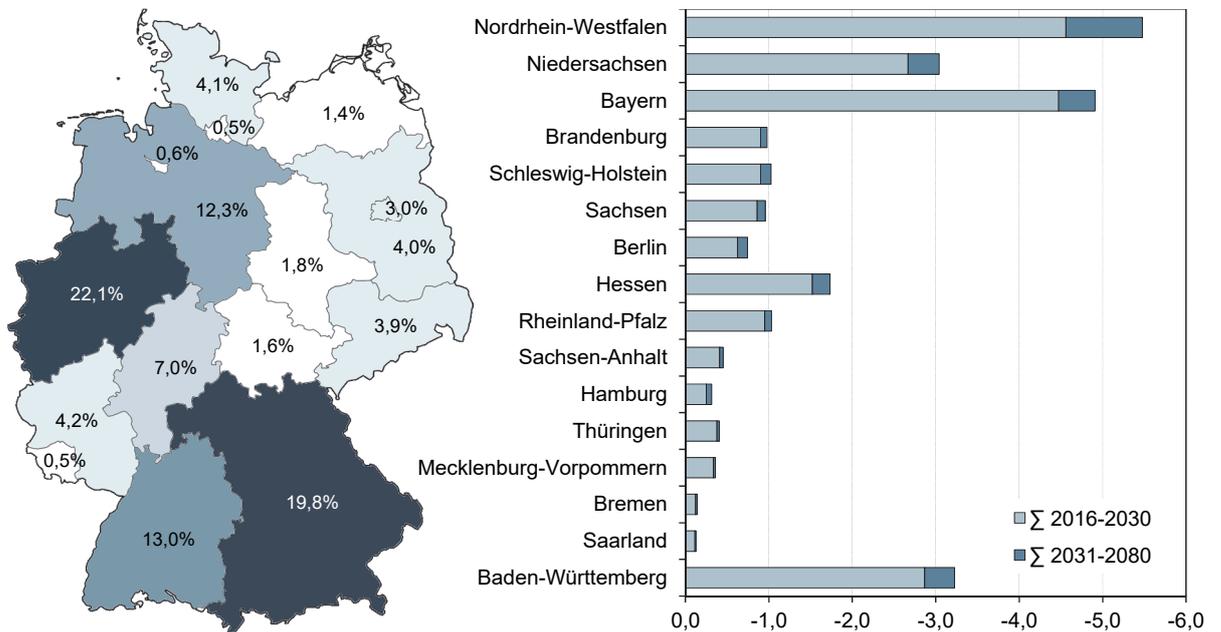


Abbildung 48: Projizierte Substitutionswirkung für EZFH im Szenario ‚55/15 ab sofort‘ nach Bundesländern in den Zeiträumen 2016-2030 und 2031-2080 sowie der jeweilige Anteil an der Gesamtwirkung [in Mt CO<sub>2</sub>-äq und %]

Im Bereich der MFH könnten in dem Szenario ‚BL<sub>MAX</sub> ab sofort‘ fast 56 % der Substitutionswirkung in den beiden Bundesländern Berlin und Nordrhein-Westfalen erbracht werden (Abbildung 49). Ausschlaggebend hierfür sind die in diesen beiden Bundesländern vorhandenen Voraussetzungen eines prognostizierten hohen Bedarfs an Wohnraum und der im Bundesvergleich niedrigen Holzbauquote in Höhe von aktuell 0,5 % (vgl. Abbildung 46). Zwar ist der zukünftige Bedarf an Wohnraum im Segment der MFH mit über 26 % des insgesamt für Deutschland prognostizierten Bedarfs in Bayern mit Abstand am höchsten, doch wirkt sich dies erst in dem Szenario ‚55/15 ab sofort‘ aus.

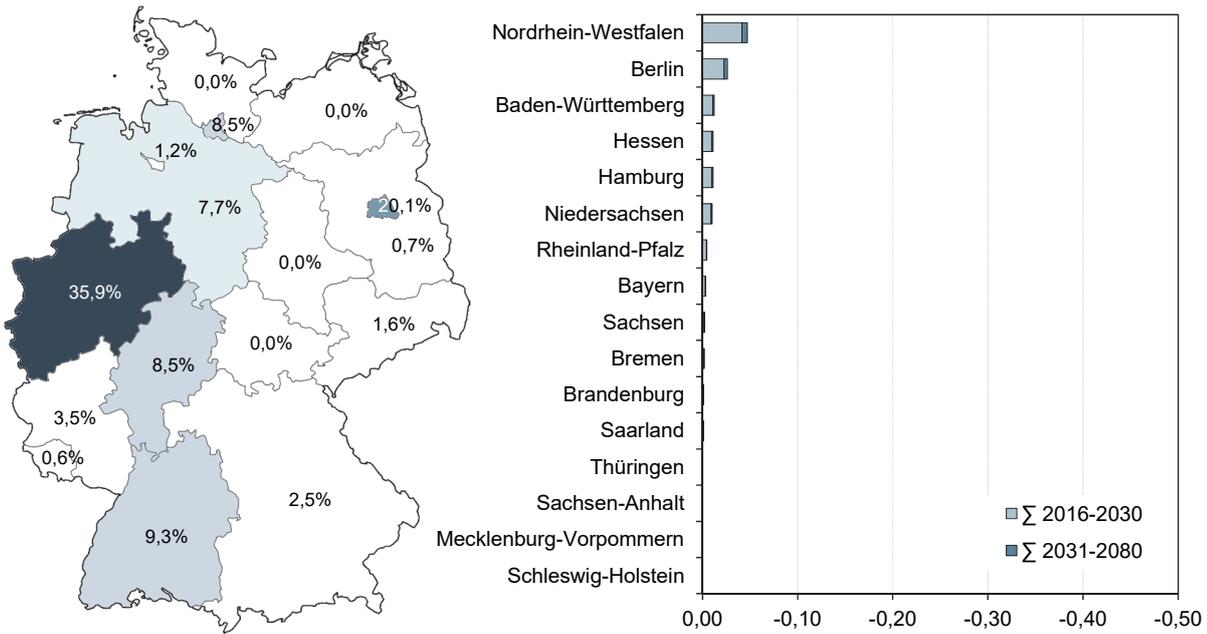


Abbildung 49: Projizierte Substitutionswirkung für MFH im Szenario ‚BL<sub>MAX</sub> ab sofort‘ nach Bundesländern in den Zeiträumen 2016-2030 und 2031-2080 sowie der jeweilige Anteil an der Gesamtwirkung [in Mt CO<sub>2</sub>-äq und %]

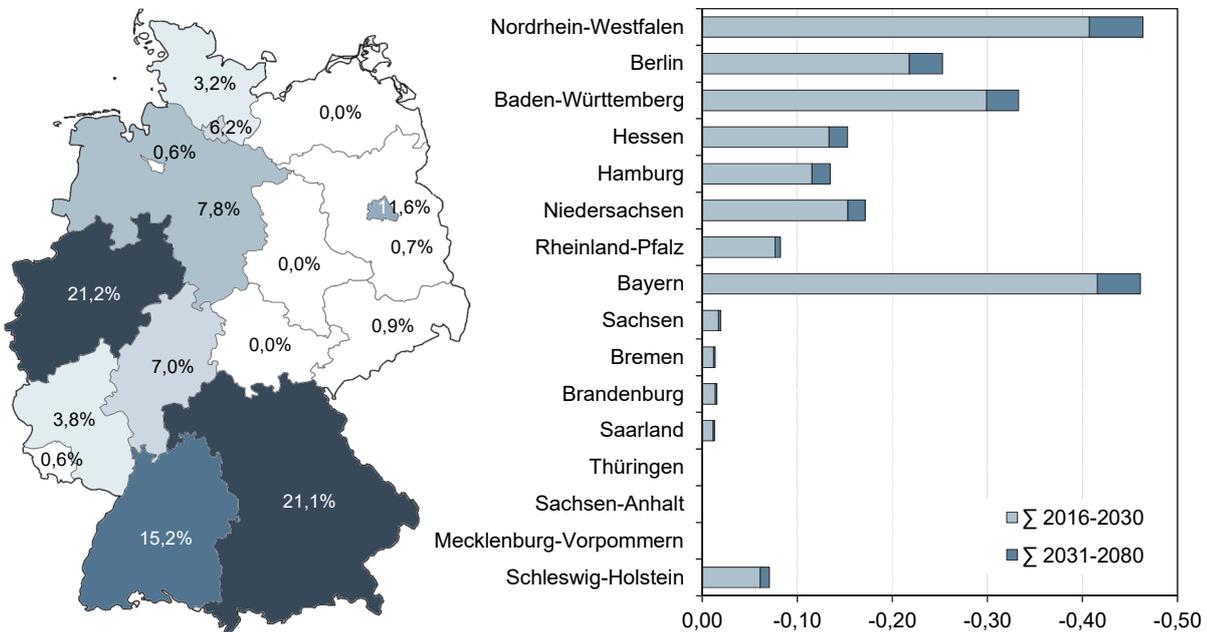


Abbildung 50: Projizierte Substitutionswirkung für MFH im Szenario ‚55/15 ab sofort‘ nach Bundesländern in den Zeiträumen 2016-2030 und 2031-2080 sowie der jeweilige Anteil an der Gesamtwirkung [in Mt CO<sub>2</sub>-äq und %]

Neben den voneinander abweichenden Annahmen zur Erhöhung des Anteils vorwiegend aus Holz bestehender Konstruktionen in den Szenarien ‚BL<sub>MAX</sub>‘ und ‚55/15‘, spielt auch die prognostizierte unterschiedliche Dynamik der Entwicklung des Wohnungsbedarfs in den Bundesländern eine Rolle bei den erzielten Ergebnissen. Darüber hinaus ist für die ermittelte Größenordnungen der Substitutionswirkung auch die von Bundesland zu Bundesland unterschiedliche Zusammensetzung der laut Statistik vornehmlich verwendeten Baustoffe im Wohnbau von Bedeutung, die in den Szenarien durch eine Holzkonstruktion ersetzt werden.

#### 5.4 Einordnung der Ergebnisse und Ausblick

Im Rahmen der vorliegenden Studie konnten erstmals die Sachbilanzinformationen realer existierender Gebäude konsistent mit den Statistiken zu Produktion und Außenhandel von Holzhalbwaren und zum Wohnungsneubau in Deutschland verknüpft werden. Somit konnte auf Basis der in Kapitel 4 beschriebenen normkonformen Ökobilanzinformationen, der vom BBSR (2015) veröffentlichten Wohnungsmarktprognose 2030 und vier definierten Szenarien zur Holzverwendung eine fundierte Abschätzung über tatsächlich vorhandene klimarelevante Potentiale einer verstärkten Verwendung von Holz im Bausektor vorgenommen werden.

Danach könnte die Atmosphäre je nach realisiertem Szenario in dem gewählten Projektionszeitraum jahresdurchschnittlich um zwischen -0,3 und -2,8 Mt CO<sub>2</sub>-äq durch eine verstärkte Verwendung von Holz in Form vermiedener THG-Emissionen und eingelagerter biogener Kohlenstoffmengen entlastet werden. Über den gesamten Projektionszeitraum von 2016 bis 2030 wäre mit klimapositiven Effekten zwischen knapp -5,0 und -42,7 Mt CO<sub>2</sub>-äq zu rechnen. Hierbei sind die mit der Entscheidung für eine Konstruktion aus Holz verbundene Substitutionseffekte, die im Laufe des gesamten Lebenszyklus des Gebäudes anfallen und über den hier definierten Projektionszeitraum hinausgehen, in diesen Zahlen noch nicht enthalten. Letztere machen im gewichteten Durchschnitt aller Bundesländer ca. 14 % der mit der Verwendung von Holz in der Gebäudekonstruktion verbundenen Substitutionseffekte aus (vgl. Kap. 5.3).

Da sich die Analyse in dieser Studie aus zeitlichen Gründen auf die Konstruktion neu errichteter Wohngebäude beschränken musste, sind auch die mit der Holzverwendung im Ausbau von Wohngebäuden verbundenen Potentiale noch nicht enthalten. So belaufen sich beispielsweise die im Durchschnitt der hier bilanzierten EZFH aus Holz (vgl. Tabelle 2) verbauten Holzmengen in Böden, Treppen, Fenster, Türen oder auch Fassaden auf ca. 22 % des in der Konstruktion enthaltenen Holzes.

Es ist daher anzunehmen, dass mit einer Erhöhung des Marktanteils von Holzbauprodukten auch für den Ausbau – insbesondere in MFH – weitere klimapositive Effekte verbunden wären, und zwar unabhängig von der gewählten Bauweise.

Neben dem Bereich des Nichtwohnbaus, der im Durchschnitt der Jahre 2011 bis 2015 mit ca. 62 % den Großteil des Neubauvolumens ausmachte, ist auch das große Segment der Sanierung von Gebäuden in dieser Abschätzung nicht enthalten, in welchem schätzungsweise ca. 70 % der zukünftigen Bauleistung liegen (BBSR 2016) und welche gerade auch für den Einsatz von Bauprodukten im Ausbau eine gewichtige Rolle spielt (vgl. Kapitel 1.4.3).

Die im Rahmen dieses Vorhabens beschriebenen Verwendungsmengen an Holzbauprodukten der Kategorien Schnittholz und Holzwerkstoffe im Wohnungsneubau belaufen sich auf ca. 4,4 % des durchschnittlichen rechnerischen Jahresgesamtverbrauchs dieser Halbwarengruppen in der Referenzperiode 2011 bis 2015. Dies erscheint vor dem Hintergrund der genannten und in dieser Studie nicht berücksichtigten Marktsegmente plausibel zu sein. Auch vor diesem Hintergrund kann daher davon ausgegangen werden, dass die tatsächlich vorhandenen Klimaschutzpotentiale eines verstärkten Holzeinsatzes im Baubereich deutlich größer ausfallen. Für eine umfassende Quantifizierung und Einordnung dieser Potentiale bleibt es jedoch eine Grundvoraussetzung, dass auch die den nachwachsenden Rohstoff bereitstellenden Wälder und ihre Speicherleistung biogenen Kohlenstoffs in solchen Analysen berücksichtigt werden (vgl. Rüter *et al.* 2016).

Im Rahmen weiterer Projekte und Aktivitäten sollen die im Rahmen dieses Projektes begonnenen Arbeiten daher fortgesetzt werden, mit dem Ziel sowohl das laufende Monitoring der THG-Emissionen nach Quellen und ihrer Einbindung nach Senken, d.h. die biogene Kohlenstoffspeicherwirkung der stofflichen Holznutzung und ihre Auswirkung auf die Kohlenstoffspeicher im Wald, im Kontext der THG-Berichterstattung zu verbessern (vgl. Umweltbundesamt 2016), als auch die mit der Holzverwendung verbundenen, klimapositiven stofflichen Substitutionseffekte, die mit der Verwendung von nachhaltig erzeugtem Holz zweifelsohne verbunden sind, in Zukunft fortlaufend und abgesichert quantifizieren zu können.



## 6 HERAUSFORDERUNGEN EINES VERSTÄRKTEN EINSATZES VON HOLZ IM BAUSEKTOR

*Samuel Ebert, Miriam Kleinhenz, Marco Krechel*

### 6.1 Ermittlung und Identifikation von Hemmnissen

#### 6.1.1 Vorgehensweise und Spezifikationen der Holzbaubranche

Im Zusammenhang mit dem klimarelevanten Potential einer verstärkten Holzverwendung im Bauwesen, wie Kapitel 3 bis 5 aufzeigen, stellt sich die Frage, warum dieses Potential noch nicht freigesetzt wurde und inwiefern es freigesetzt werden kann. Das folgende Kapitel beschäftigt sich daher eingehend mit den Herausforderungen, die einem verstärkten Einsatzes von Holz im Bausektor entgegenstehen. Dabei wird wie folgt vorgegangen

1. **Identifikation** | Betrachtung der Holzbaubranche sowie Ermittlung und Beschreibung bestehender Hemmnisse (Kap. 6.1)
2. **Analyse** | Untersuchung der Relationen der jeweiligen Hemmnisse auf die Branche und untereinander (Kap. 6.2)
3. **Überwindung** | Entwicklung und Ableitung grundlegender Ansatzpunkte und Handlungsempfehlungen (Kap. 6.3)

Vor diesem Hintergrund werden die wesentlichen Spezifikationen beschrieben, die den Holzbau vom klassischen Baugewerbe unterscheiden, um eine optimale Vorgehensweise in der Identifikation, Analyse und Überwindung von Hemmnissen im Holzbau zu gewährleisten.

Der traditionelle Werkstoff ‚Holz‘ weist besondere Materialeigenschaften auf, die sich auf Forschung, gesetzliche Regelungen sowie die Praxis auswirken. Neben vorteilhaften physikalischen Eigenschaften bzgl. der Festigkeit, Wärmeleitung, Hygroskopizität und biologischer Abbaubarkeit bietet Holz im Allgemeinen auch die Möglichkeit durch Photosynthese Kohlenstoff und Sonnenenergie in seiner Struktur zu binden. Diese positiven Aspekte gehen einher mit Werkstoffeigenschaften, die konsequent berücksichtigt werden müssen, wie Inhomogenität, Feuchteverhalten oder Brennbarkeit, was beispielsweise dazu führt, dass der Baustoff auch als normalentflammbar eingestuft wird. Auch wenn das Brandverhalten sehr detailliert beschrieben und abgebildet werden kann wirkt sich diese Eigenschaft auf die gesetzliche Regelung und die resultierenden Einsatzmöglichkeiten aus.

Die Abbildung des gesellschaftlichen Sicherheitsniveaus (u.a. Brandschutz) findet sich im öffentlichen Baurecht, dessen wesentlicher Bestandteil die Landesbauordnungen sind, die im Rahmen der Gesetzgebungskompetenz der Länder beschlossen werden. Die Grundlage hierfür stellt die Musterbauordnung (MBO) dar, deren Inhalte in der Bauministerkonferenz beschlossen werden. Die letzte für den Holzbau maßgebliche Änderung der MBO in Form der Einführung der Gebäudeklasse 4 sowie der Feuerwiderstandsklasse ‚hochfeuerhemmend‘, die zu Erleichterungen beim Einsatz von Holzbau führte, spiegelt sich in der aktuellen Fassung von 2002 wieder. Die Anforderungen an den Baustoff Holz, die sich aus der MBO ergeben, wurden durch die Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (M-HFH HolzR) von 2004 konkretisiert. Die M-HFH HolzR – eingeführt mit dem Ziel, die Anwendung von Holz im mehrgeschossigen Hochbau zu erweitern – dokumentiert die Ergebnisse der damaligen Untersuchung des Brandverhaltens von Holzkonstruktionen sowie der politischen Diskussion und legt den Hauptaugenmerk auf die Kapselung der Tragkonstruktion. Die Interessensvertretung der Holzbauindustrie geschieht durch die jeweiligen Verbände, die aufgrund der traditionell gewachsenen Anwendungs- und Tätigkeitsbereiche von ‚Holz‘ sehr vielfältig ist und verschiedene Interessen vereinen muss, was eine einheitliche Stellung und Vertretung erschwert.

Diese traditionelle Entwicklung stellt sich auch in der kleingliedrigen und mittelständischen Struktur der Betriebe und Unternehmen dar, so dass im Holzbau 96,6 % der Betriebe 19 Beschäftigte oder weniger aufweisen (Holzbau Deutschland 2016). Auch hat der traditionell hohe Anteil an Gebäuden in Holzbauweise, der in vielen alten Städten Deutschlands noch heute zu erkennen ist, seine Dominanz in den Zeiten der Industrialisierung verloren und befindet sich im Jahr 2015 bei einem Anteil von 15,9 % bei genehmigten Wohngebäuden und bei 16,7 % bei Nichtwohngebäuden in Holzbauweise (Statistisches Bundesamt 2016b).

### 6.1.2 Meinungsbild der Holzbaubranche

Vor dem Hintergrund einer vollständigen Situationsanalyse wurde eine Befragung verschiedener Akteure und Experten im Holzbau durchgeführt, um ein aktuelles Meinungs- und Stimmungsbild zu erhalten sowie durch offene Fragen mögliche weiterführende Aspekte mit zu berücksichtigen. Die Befragung richtete sich in erster Linie an Experten des mehrgeschossigen Holzbaus (Brakus 2015). Im Vorfeld wurden die Eigenschaften sowie die Herausforderungen beim Bauen und Planen in Holzbauweise dargestellt und erläutert, um den „Ist“-Zustand der Holzbaubranche identifizieren zu können. Eine Auflistung aktueller mehrgeschossiger Holzbauprojekte in Deutschland gab Auskunft über die beteiligten Akteure innerhalb der Baubranche. Diese Akteure - Architekten, Tragwerksplaner, Brandschutzplaner, Bauherren und ausführende Holzbaufirmen - sind als Experten im Holzbau sowie als Zielgruppe der Befragung identifiziert worden.

Auf Basis dieser vorangestellten Analyse der Holzbaubranche wurde ein Fragenkatalog erarbeitet, welcher an die ca. fünfzig identifizierten Experten versendet wurde. Diese Expertenbefragung bezüglich Herausforderungen beim Planen und Bauen mehrgeschossiger Gebäude in Holzbauweise wurde in die Bereiche Fachkompetenz, rechtliche Rahmenbedingungen sowie technische und wirtschaftliche Herausforderungen unterteilt. Auch bekamen die Experten die Möglichkeit, weitere Entwicklungspotentiale der Holzbauweise zu nennen.

Insgesamt sind etwa 60 % der versendeten Fragebögen ausgefüllt an den Lehrstuhl der TUM zurückgeschickt und die hierbei erhobenen Daten ausgewertet und diskutiert worden (s. Brakus 2015 bzw. Anhang 8.4). Die Erfahrungen und Meinungen aus der Praxis stellen eine Momentaufnahme des heutigen Standes des mehrgeschossigen Holzbaus in Deutschland dar und zeigen die oft vorkommenden Hemmnisse beim Bauen und Planen mehrgeschossiger Gebäude in Holzbauweise auf.

Darüber hinaus spiegeln die Ergebnisse neben einem hohen Bewusstsein der Experten für eine Vielzahl an Herausforderungen, keine eindeutige Priorisierung einzelner Aspekte wieder. Dies lässt sich u.a. auch auf den inhomogenen Tätigkeitshintergrund und das Engagement in mehreren unterschiedlichen Fachbereichen zurückführen, was wiederum in unterschiedliche Perspektiven und Gewichtungen der jeweiligen Problematik resultiert.

### 6.1.3 Themen-Cluster und Akteure

Ziel der nachfolgenden Untersuchungen ist ein grundlegendes Verständnis der Problematik und ihrer Relationen, um darauf optimal abgestimmte Handlungsempfehlungen abzuleiten. Für eine zielgerichtete und effektive Kommunikation dieser Handlungsempfehlungen sollen die jeweiligen Akteure, die hinter den einzelnen Hemmnissen stehen und diese beeinflussen können, gezielt angesprochen werden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit und Nachvollziehbarkeit wurde eine Struktur vorgegeben, die die verschiedenen Fachbereiche der Holzbaubranche kategorisiert (siehe Abbildung 52).

Aus der Branchenanalyse ergibt sich ein sehr differenziertes Bild bezüglich der einzelnen Akteure, die einerseits eine große Vielfalt darstellen, unterschiedliche Perspektiven einnehmen und zudem in verschiedenen Fachbereichen aktiv sind und diese mitgestalten (vgl. Kap. 6.2.2 und Kap. 6.2.3). Die aktive Präsenz verschiedener Akteure in verschiedenen Themenbereichen zeugt von einer proaktiven Mitgestaltung. Allerdings wird dadurch auch eine direkte Zuordnung eines Fachbereichs zu einem bestimmten Akteur der Realität nicht gerecht; z.B. sind im Fachbereich ‚A1 Holzbau/-technik‘ verschiedene Akteure wie ‚Forschungseinrichtungen‘, Forschungspartner aus der Praxis ‚Holzbauunternehmen‘, Forschungsorgane/-abteilungen einzelner ‚Holzbaufirmen‘ vertreten und kann damit nicht ausschließlich einem Akteur, allerdings eindeutig einem Themen-Cluster (hier ‚Forschung und Entwicklung‘) zugeordnet werden. Um eindimensionale Verantwortlichkeiten zwischen Akteur und Fachbereich zu vermeiden, muss die Aktivität der einzelnen Akteure in verschiedenen Fachbereichen von der Zuordnung in Themen-Cluster getrennt werden.

Aus Gründen der Vielfältigkeit und um die Gefahr einer eindimensionalen Betrachtung vorzubeugen, wurde eine Aufgliederung in einzelne Akteure-Cluster ausgeschlossen und stattdessen eine Zuordnung der Fachbereiche zu vier Themen-Clustern, die eine Beteiligung verschiedener Akteure beinhaltet, bevorzugt:

- Forschung und Entwicklung (Akronym: F&E)
- Interessensvertretung und Verbände (Akronym: Verbände)
- Politik und Gesellschaft (Akronym: Politik)
- Wirtschaft und Ausführung (Akronym: Praxis)

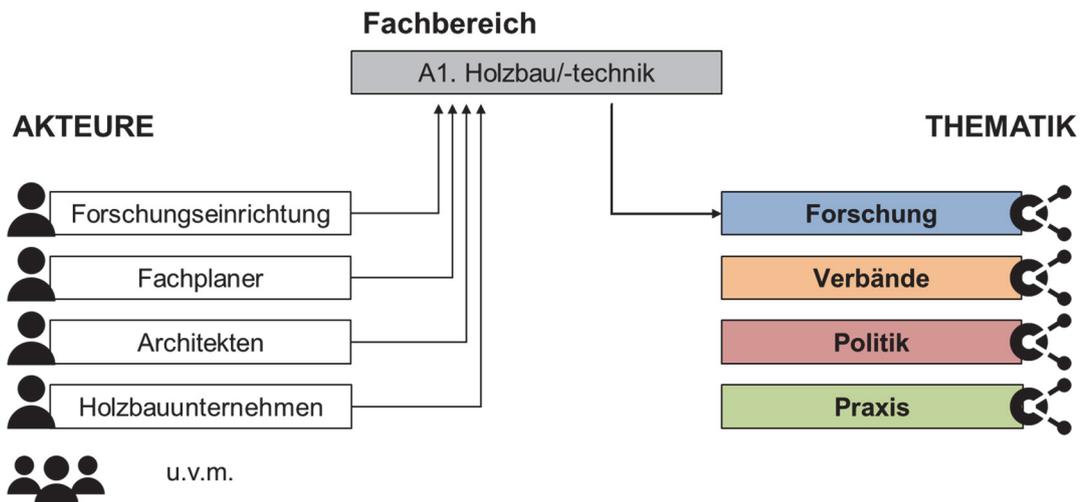


Abbildung 51:  
Beispiel der Dimensionalität der Zuordnung der Cluster nach Akteuren und Thematik

Unter dem Cluster ‚**Forschung und Entwicklung**‘ (F&E) werden alle Fachbereiche zusammengefasst, die Forschungsaktivitäten aufweisen (A1-A5) sowie die primäre Aktivität der Forschungseinrichtungen (Hochschulen) widerspiegeln (B6 und B7).

Der Themen-Cluster ‚**Interessensvertretung und Verbände**‘ (Verbände) beinhaltet die Vermittlerrolle zwischen den Interessen aus der Praxis und die Kommunikation dieser an die entsprechenden Stellen (B3) ebenso wie die Weiterbildung und Förderung der Interessen (B5).

Der Cluster ‚**Politik und Gesellschaft**‘ (Politik) deckt die Fachbereiche ab, die von der Politik und damit auch von der Gesellschaft abhängen und durch deren Steuerungsmöglichkeiten des Fordern (B1, B2) und Fördern (B8) auf verschiedenen Ebenen nationaler, föderaler- und regionaler Ebene vertreten sind (B4).

Der Cluster ‚**Wirtschaft und Ausführung**‘ (Praxis) umfasst alle Themenbereiche, die im direkten Bezug zur Realisierung von Gebäuden (C3 und C4) und im wirtschaftlichen Kontext von Angebot (C2, C5) und Nachfrage (C1.1-C1.4) stehen.

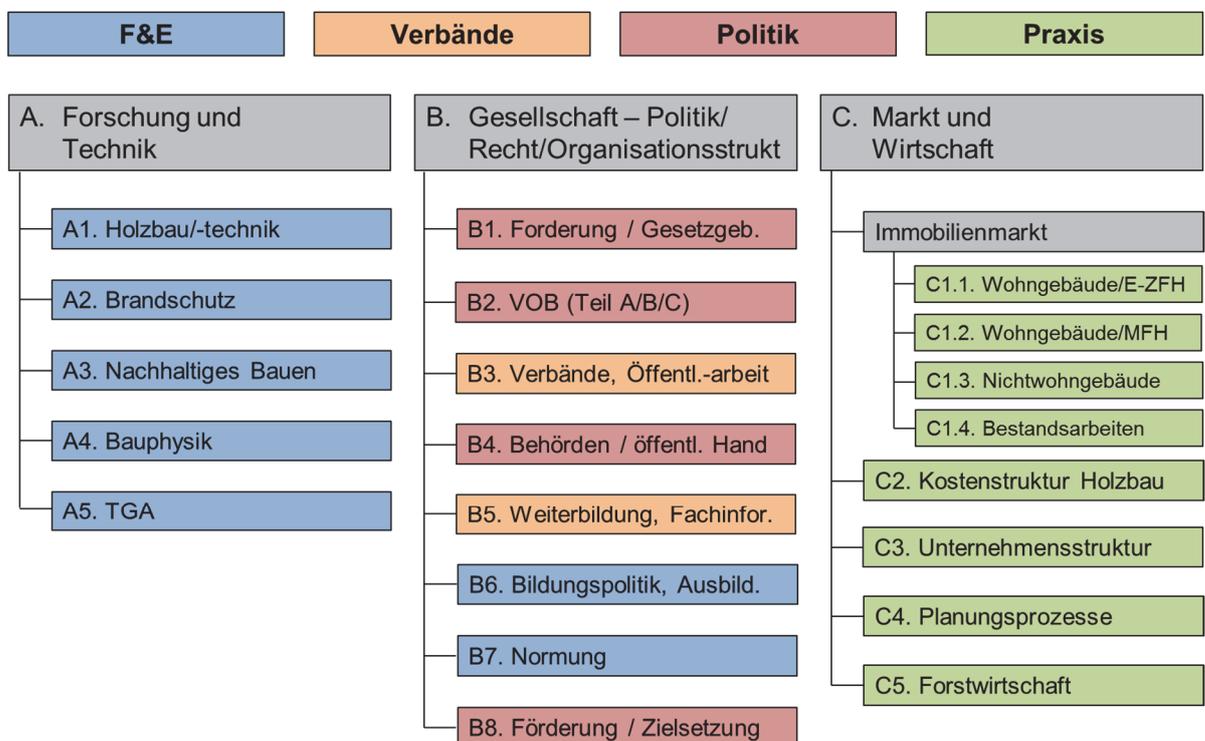


Abbildung 52:  
Farbige Zuordnung der einzelnen Fachbereiche zu den Themen-Clustern

Der Vorteil dieser Aufgliederung und Zuordnung liegt in der Eindeutigkeit und der differenzierten Abbildung der Realität, dass mehrere Akteure in verschiedenen Themenbereichen aktiv sind und diese maßgeblich mitgestalten. Die Herausforderung, die auch im Kapitel 6.3 explizit aufgegriffen wird, besteht allerdings darin, dass einzelne Akteure ihre Verantwortung und Relevanz an Einflussmöglichkeit auch wahrnehmen und anschließend nachkommen.

#### 6.1.4 Allgemeines Vorgehen und Betrachtungskontext

Im Rahmen der Tätigkeiten des Lehrstuhls für Holzbau und Baukonstruktion in der Forschung und Normungsarbeit im Bereich des Holzbaus und darüber hinaus, sowie der Kontakte und der Interaktion mit verschiedenen Akteuren der Branche, wurde ein umfassender Katalog an Hemmnissen in Bezug auf eine verstärkte Holzverwendung im Bauwesen aufgestellt. Die Ermittlung der Hemmnisse besteht aus einer Aufstellung einer Hemmnisliste, die aktuelle Herausforderungen möglichst im gleichen Detaillierungsgrad erfasst. Nach Diskussion und Validierung der einzelnen Hemmnisse im Rahmen eines interaktiven Workshops wurden diese Hemmnisse umfänglich beschrieben und ihre Relation in verschiedenen Kontextbetrachtungen dargestellt.

#### Hemmnisliste

Eine der grundlegenden Herausforderungen in der Strukturierung von Hemmnissen stellte die stark emotionale Wahrnehmung und Gewichtung der Hemmnisse durch einzelne Akteure in Bezug auf ihren jeweiligen Anwendungsbereich dar. Außerdem können einzelne Hemmnisse häufig nicht ausschließlich einem Bereich zugeordnet werden, da ein hoher Grad an Vernetzung in Form von Abhängigkeiten und Auswirkungen zu verschiedenen Fachbereichen besteht. Darüber hinaus stehen die Hemmnisse auch untereinander in Bezug und beeinflussen sich gegenseitig mehr oder weniger intensiv (vgl. Kapitel 6.2.2 und 6.2.3).

Aus diesem Grund wurden verschiedene Abstraktionsniveaus eingeführt, um die Beschreibung der Hemmnisse auf einer äquivalenten und vergleichbaren Ebene zu untergliedern. Die Makroebene beschreibt eine abstrakte Definition, auf der eine Vielzahl unterschiedlicher Aspekte zusammengefasst wird und dadurch ein paar wenige, aber dafür relevante Punkte umfasst. Im Gegenteil dazu beschreibt die Mikroebene die Thematik sehr detailliert, beschränkt dabei die Betrachtung aber auf einen bestimmten Fokus und führt zu einer hohen Quantität an einzelnen Aspekten. Die gewählte Betrachtungsebene wird durch die Mesoebene zwischen der genannten Makro- und Mikrobetrachtung beschrieben. Die Beschreibung der Hemmnisse auf dieser Ebene strebt auf eine konkrete Identifizierung für eine ausreichende Abgrenzung zu anderen Punkten auf der einen Seite sowie eine abstrakte Beschreibung für ein optimales Clustern auf der anderen Seite an.

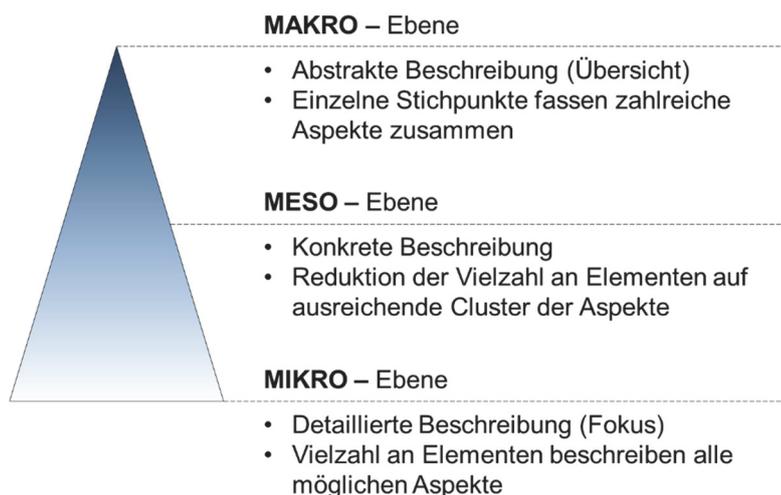


Abbildung 53:  
Fokussierung der Betrachtungsebene

Eine Vollständigkeit kann nicht gewährleistet werden, da das Auftreten, die Entwicklung und die Überwindung von Hemmnissen einen dynamischen Prozess darstellen. Als Grundlage für die Identifizierung und Zusammenstellung der aktuellen Herausforderungen wurde auf bereits abgeschlossene und laufende Forschungsprojekte mit Beteiligung des Lehrstuhls (vgl. Gräfe et al. 2014) und aus externen Projekten (vgl. Mantau 2013; Dederich 2013; Filippi 2013) sowie Expertenbefragungen (s. Brakus

2015, FNR 2015) und weitere Studien (vgl. Wegener 2016, Kristof 2008, Scheer 2008) zurückgegriffen, um die jeweiligen Ergebnisse zu sammeln und zu strukturieren.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden die Rechercheergebnisse der unterschiedlichen Quellen untenstehend tabellarisch aufgelistet und in einer nummerierten Hemmnisliste zusammengefasst. Eine umfangreiche Beschreibung der Hemmnisse und eine logisch-konsequente Argumentation der Zusammenhänge findet sich im nachfolgenden Unterpunkt 6.1.5.

Tabelle 20:

Ergebnis der Ermittlung von Hemmnissen:

<b>HEMMNISLISTE</b>		
<b>Nr.</b>	<b>Akronym</b>	<b>Bezeichnung</b>
H1	Integrale Planung	Fehlender integraler Planungsprozess
H2	Holzbaustrategie	Fehlende nationale Holzbaustrategie
H3	Branchenkapazität	Fehlende Kapazität der klein- und mittelständischen Unternehmen zur Realisierung des mehrgeschossigen Holzbaus
H4	Aktuelle Normung	Wiederspiegelung des neuesten Stands der Technik innerhalb der Normung
H5	Standardisierung	Fehlende Standardisierung innerhalb der Holzbauweise
H6	Integration TGA	Fehlende frühe Integration der technischen Gebäudeausrüstung (TGA)
H7	Umsetzung der MBO	Fehlende einheitliche Umsetzung der Musterbauordnung (MBO)
H8	Holzbau in GK5	Unzulässigkeit von Holzbau in GK5 innerhalb der meisten Landesbauordnungen (LBO)
H9	Muster-Holzbaurichtlinie	Einschränkungen und Unzulässigkeiten durch die M-HFHolzR
H10	Biogene Dämmstoffe	Einschränkungen bei der Verwendbarkeit biogener Dämmstoffe
H11	Verwendbarkeitsnachweise	Notwendigkeit und Komplexität bei der Erstellung von Verwendbarkeitsnachweisen
H12	Klimaschutzbeitrag Nawaro	Geringe Berücksichtigung des klimapositiven Beitrags von nachwachsenden Rohstoffen (Nawaro) bei der Planung von Gebäuden
H13	EoL-Szenarien	Fehlende Szenarien-Entwicklung der weiteren Verwendung von Holzprodukten am Lebensende eines Gebäudes (EoL-Szenarien)
H14	Fachkräftemangel	Spezifischer Fachkräftemangel aufgrund geringer Ausbildungsangebote für Architekten und Fachplaner im Holzbau
H15	Fachinformationsangebot	Geringe Informations-/Beratungsangebote zu Detail- und Ausführungslösungen für Fachplaner
H16	Weiterbildungsangebot	Geringe Informations-/Weiterbildungsmöglichkeiten nicht fachspezifischer Entscheidungsträger

H17	Emissionen im Innenraum	Fehlende Differenzierung zwischen natürlichen und synthetischen Emissionen aus Holzprodukten
H18	Forschungs-koordination	Das Fehlen einer übergeordneten Institution zur Förderung/Koordination der Wissenschaft und Forschung im Holzbau
H19	Rohstoff-verfügbarkeit	Unsichere Rohstoffverfügbarkeit aufgrund von Fehlallokation, geringer Kaskadennutzung und Transformation von Forst und Markt

### Betrachtungskontext

Das Aufstellen der Liste an verschiedenen Hemmnissen auf einem möglichst gleichen Abstraktionsniveau offenbarte bereits früh die Vielzahl an unterschiedlichen Relationen, die an jedem einzelnen identifizierten Hemmnis bestehen. Auf der einen Seite konnte keine direkte Zugehörigkeit der Hemmnisse zu einem konkreten Fachbereich festgestellt werden, sondern lediglich unterschiedlich viele Abhängigkeiten und Auswirkungen, die ein Hemmnis im Kontext der Fachbereiche, aufweist. Auf der anderen Seite bestehen auch Relationen unter den einzelnen Hemmnissen, so dass sich diese gegenseitig beeinflussen können. Um diesen Sachverhalt gerecht zu werden wurden zwei wesentliche Betrachtungskontexte festgelegt:

- Kontext der Holzbaubranche: Relationen zwischen Hemmnis und Fachbereichen
- Kontext der Gesamtproblematik: Relationen zwischen Hemmnis und Hemmnis

In der nachfolgenden Beschreibung (vgl. Kap. 6.1.5) wurden diese beiden Perspektiven aufgegriffen und jeweils getrennt betrachtet und festgehalten. Auf diese Weise verfährt auch die Analyse der Hemmnisse (vgl. Kap. 6.2.2 und Kap. 6.2.3), so dass abschließend Aussagen und Empfehlungen auf beiden Betrachtungsebenen erarbeitet und getroffen werden können.

### Stakeholder-Workshop

Aufbauend auf der aufgestellten Hemmnisliste wurde ein Stakeholder-Workshop an der TUM im Oktober 2015 organisiert. Zu diesem interaktiven Workshop wurden nicht nur an der Befragung (s. Anhang 8.4) beteiligte Experten sondern auch Vertreter von Ministerien sowie Holzbauverbänden eingeladen, sodass neben der Projektgruppe insgesamt vierzehn Experten an dem Workshop teilnahmen. Neben den Ergebnissen der Befragung wurden in diesem Rahmen die Hemmnisse und ihre Relation im Kontext der Holzbaubranche vorgestellt und diskutiert. Die Akteure und Experten der Branche beschäftigten sich zunächst mit der Zuordnung und Analyse der Relationen der identifizierten Hemmnisse eines verstärkten Einsatzes von Holz im Bausektor (Teil 1), bevor anschließend (Teil 2) konstruktive Lösungsansätze und -möglichkeiten diskutiert wurden (vgl. Anhang 8.4).

Die Ergebnisse des Workshops in Bezug einer Zuordnung der ermittelten Hemmnisse zu mehreren der verschiedenen Fachbereiche in Form von Abhängigkeiten und Auswirkungen (Teil 1 des Workshops) dienten als Ausgangspunkt einer grundlegenden Beschreibung der Relationen der Hemmnisse (vgl. Kapitel 6.1.5). Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurden die einzelnen Hemmnisse in Bezug auf ihre Relationen und Vernetzung analysiert (vgl. Kapitel 6.2). Die Diskussion von Lösungsansätzen im Kontext der jeweiligen Problematik zielte darauf ab, die Entwicklung möglicher Strategien und Handlungsansätze verschiedener Akteure voranzutreiben. Die Ergebnisse aus dieser Diskussion (Teil 2 des Workshops) flossen in die Auswertung und die Handlungsempfehlungen mit ein (s. Kapitel 6.3).

Das Vorgehen in Form der Befragung und des anschließenden Workshops gleicht einer einstufigen Delphi-Umfrage und diente als Grundlage für eine präzisere Diskussion innerhalb der Projektgruppe. Allerdings handelt es sich in diesem Fall nicht um eine Szenarien-Entwicklung oder Zukunftsprognose sondern um eine Identifizierung zahlreicher Problematiken und deren Relationen vor dem Hintergrund verschiedener Perspektiven. Die erarbeiteten Zusammenhänge sind konsequent-logisch nachzuvollziehen und darstellbar, weshalb auch die im Workshop ermittelten Abhängigkeiten und Auswirkungen erneut hinterfragt und erweitert wurden. Während es beim Workshop galt, die Interessen und Meinungen verschiedener Akteure einzubeziehen und innerhalb eines Tages ein breit gefächertes Meinungsbild in den Ergebnissen widerzuspiegeln, konnten innerhalb der Projektgruppe die einzelnen Hemmnisse detaillierter bearbeitet und argumentativ belastbar beschrieben werden (vgl. Kapitel 6.1.5 und Anhang 8.4).

### 6.1.5 Beschreibung der Hemmnisse

Im nachfolgenden Abschnitt werden die aus der Befragung und Diskussion gewonnenen Hemmnisse einzeln beschrieben, ihre Abhängigkeiten und Auswirkungen in Bezug auf die Holzbaubranche aufgelistet, sowie ihre Wirkung in Bezug auf andere Hemmnisse aufgezeigt.

#### Hemmnis 1: Fehlender integraler Planungsprozess

**Beschreibung:** Innerhalb der Honorarordnung für Architekten- und Ingenieurleistungen (HOAI) werden die zu erbringenden Leistungsphasen (LPs) während eines Bauvorhabens genannt und einem bestimmten Anteil des Gesamthonorars zugeordnet. Die aktuellen Leistungsphasen der HOAI orientieren sich an dem Projektablauf einer konventionellen Bauweise vor Ort statt mit der Integration der Vorfertigung. Der Planungsprozess des Holzbaus benötigt im Vergleich dazu eine frühzeitigere Absprache zwischen Planer und Holzbaufirma, um die Potentiale der Vorfertigung in der Bauphase mit einbeziehen zu können (Preischl 2015). Die HOAI sieht eine Vergabe erst im Anschluss an die Ausführungsplanung (LP 5) vor und verhindert somit eine frühe Einbeziehung der ausführenden Holzbaufirmen. Im Rahmen der Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB) Teil A – allgemeine Bestimmungen für die Vergabe von Bauleistungen - soll ebenfalls ein freier Wettbewerb gewährleistet werden. Der hohe Detaillierungsgrad innerhalb der Ausführungsphase wird somit nicht vergütungsgetreu abgebildet und die Kostenersparnis aufgrund kürzerer Bauzeiten in der Kalkulation nicht berücksichtigt. Daher wird oftmals die Machbarkeit von Projekten in Holzbauweise trotz Vorteilen der Vorfertigung aufgrund der fehlenden Möglichkeit frühzeitig und ausführlich zu planen in Frage gestellt.

**Abhängigkeiten:** Die Grundlage der Planungsprozesse bildet die HOAI (B1) sowie in Ergänzung mit der VOB Teil A (B2). Die Wissenslage sowie zuvor die Ausbildung von Ingenieuren und auch Architekten im Bereich des Holzbaus bedingen ein mögliches Umdenken in neue Strukturen von Planungsprozessen (B5, B6). Sind den Projektbeteiligten zuvor die Besonderheiten der Planungsphase aber auch die Vorteile des Holzbaus während der Bauphase bekannt, so ist der gesamte Planungsprozess im Voraus planbarer und kalkulierbarer (C4).

Ergebnis: B1, B2, B5, B6, C4

**Auswirkungen:** Die bestehenden Planungsprozesse (C4) müssten angepasst und frühere Leistungsphasen höher vergütet werden, um den tatsächlich benötigten verschobenen Leistungsphasen eines Holzbauprojekts gerecht zu werden. Eine optimierte Planung birgt das Potential eines häufigeren Einsatzes von Holz, welcher einen direkten Einfluss auf die Marktsituation von Holzgebäuden insbesondere im Bereich aufwendigerer Projekte wie Mehrfamilienhäusern und Nichtwohngebäuden hätte (C1.2, C1.3) und damit auch die zugrundeliegende Kostenstruktur beeinflusst (C2).

Ergebnis: C1.2, C1.3, C2, C4

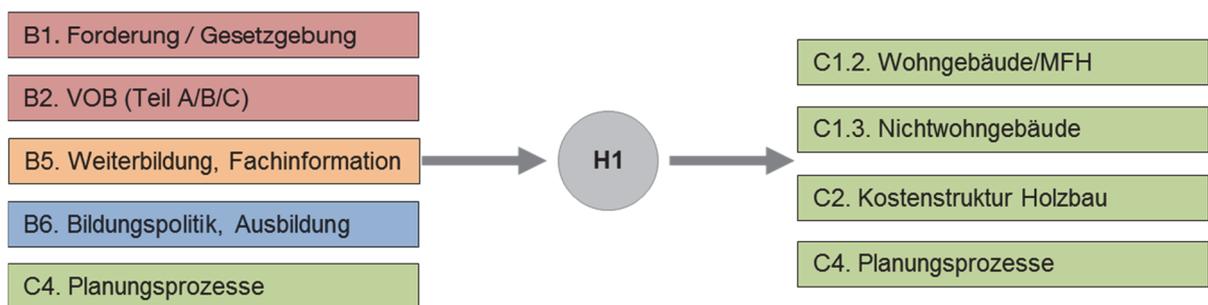


Abbildung 54:

Grafische Darstellung der Abhängigkeit und Auswirkung von H1 – Integrale Planung

**Wirkung auf andere Hemmnisse:** Ein integraler Planungsprozess hätte aufgrund der detaillierteren Vorplanung einen Einfluss auf die Szenarien-Entwicklung der weiteren Verwendung von Holzprodukten (H13). Weiterhin würde die Lösungsfindung in Bezug auf die Kapazität von Holzbauunternehmen für mehrgeschossige Projekte angekurbelt werden (H3). Ein früheres Einbeziehen holzbaurelevanter Planung und Detaillierung, bezieht das Thema der Wohnqualität, Gesundheit und Hygiene ebenfalls früher mit ein (H17). Insbesondere jedoch könnte die Problematik der fehlenden frühen Integration der technischen Gebäudeausrüstung deutlich positiv beeinflusst werden (H6).

Ergebnis: H3, H6, H13, H17

## Hemmnis 2: Fehlende nationale Holzbaustrategie

**Beschreibung:** Chancen und Potentiale des Holzbaus bedürfen einer konzentrierten Aufbereitung sowie einer verständlichen Darstellung, um sie als zentrale Strategie in politische Entscheidungsprozesse einbringen zu können. Als Verbindung zwischen Politik und den Interessen der Holzbaubranche sowie für ein einheitliches Auftreten und eine zentrale Zielsetzung dienen Verbände. Innerhalb der Holzbaubranche existiert eine Vielzahl an Verbänden, Interessensgruppen und Branchenvertretern, die verschiedene Schwerpunkte vertreten. Fördermaßnahmen der öffentlichen Hand oder finanzielle Anreize werden aufgrund mangelhafter Koordination und Zusammenarbeit innerhalb der Öffentlichkeitsarbeit auf regionaler statt nationaler Ebene durchgesetzt. Aber nicht nur auf politischer Ebene sondern auch zwischen Holzbaubranche und Planern / Bauherren ist eine bessere Vernetzung bzw. eine einheitliche Holzlobby von Nöten. Der mehrgeschossige / urbane Holzbau ist im Vergleich zum Massiv- sowie Stahlbau eine noch relativ neue Branche, da viele Innovationen erst in den letzten Jahrzehnten entstanden sind.

In Schweden hat man es beispielsweise dank einer nationalen Holzbaustrategie geschafft, mithilfe von Leuchtturmprojekten einen gewissen Anspruch im Bereich des Bausektors zu definieren. Die erfolgreiche Umsetzung des im Jahre 2002 gesetzten Zieles einer Steigerung der Holzbauquote zeigt sich in einer Steigerung der Holzbauquote von 1 % (2000) auf 15 % (2011) (Dederich 2013).

**Abhängigkeiten:** Die wachsende Bedeutung und Notwendigkeit einer Bewertung verschiedener Aspekte der Nachhaltigkeit bildet häufig eine Grundlage für die Entstehung regionaler oder wie im Falle Schwedens nationaler Förderungsprojekte oder Strategien (A3). Die Verband- und Öffentlichkeitsarbeit innerhalb der Holzbaubranche dient dabei als wesentliche Grundlage für den Anreiz einer nationalen Holzbaustrategie (B3).

Ergebnis: A3, B3

**Auswirkungen:** Eine definierte nationale Holzbaustrategie führt zu einer gestärkten Interessenvertretung in den Bereichen der Bauordnung, Gesetzgebung (B1), Behörden (B3) sowie innerhalb der Normung (B7). Gesellschaftliche Ziele würden durch gezielte Förderungen beeinflusst werden (B8) sowie erneut einen direkten Einfluss auf die Marktsituation von Holzgebäuden jeglicher Art haben (C1.1 - C1.4). Mithilfe einer Marktstrategie wird die zugrundeliegende Kostenstruktur beeinflusst (C2). Der Sektor der Forstwirtschaft müsste sich auf eine entsprechende Nachfragenänderung einstellen (C5).

Ergebnis: B1, B3, B7, B8, C1.1 – C1.4, C2, C5

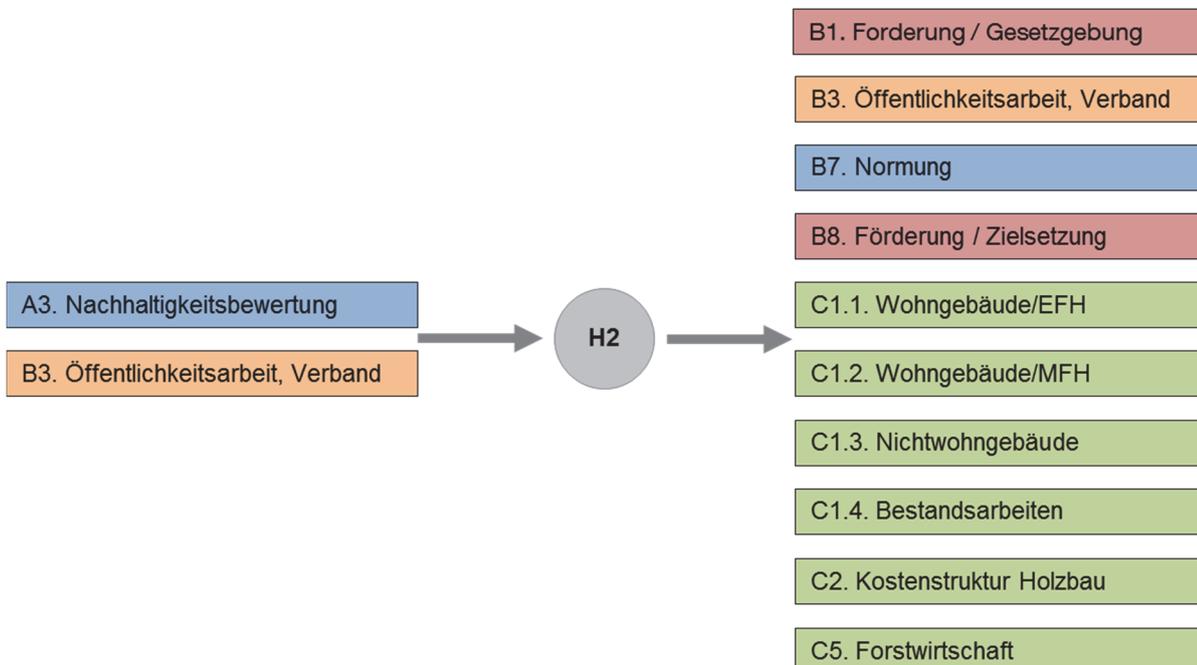


Abbildung 55:

Grafische Darstellung der Abhängigkeit und Auswirkung von H2 – Holzbaustrategie

**Wirkung auf andere Hemmnisse:** Die Formulierung einer Holzbaustrategie würde auf alle anderen Hemmnisse – sowohl mit einem öffentlich-rechtlichen-gesellschaftspolitischen Hintergrund, mit einer planungs-marktorientierten Verknüpfung als auch mit einem forschungsrelevanten Hintergrund – einen Einfluss ausüben.

Insbesondere Fortschritte im baurechtlichen Bereich (H7-H10) und die Koordinierung dieser Fortschritte mit der Weiterentwicklung von Standardisierungsprozessen (H5) bedingt eine Strategie innerhalb der Holzbaubranche. Eine Förderung des Holzbaus hätte einen direkten Einfluss auf Themen wie die THG-Emissionen (H12) oder die derzeitige Rohstoffverfügbarkeit von Holz (H19). Eine einheitliche Holzbaustrategie sollte darauf hinzielen, einen direkten Einfluss auf die Förderung von Wissenschaft und Forschung im Holzbau (H18) zu haben sowie die Wissenslage nicht fachspezifischer Entscheidungsträger für den nötigen Input zu verbessern (H16).

Ergebnis: H1, H3-H19

### Hemmnis 3: Fehlende Kapazität zur Realisierung des mehrgeschossigen Holzbaus

**Beschreibung:** Aufgrund traditioneller Entwicklungen weist die Holzbaubranche eine kleine und mittelständische Unternehmensstruktur auf. Der mehrgeschossige Holzbau zieht dagegen höhere Anforderungen und höhere Finanzvolumina mit sich und setzt eine größere Stückzahl an Bauteilen voraus. Einer geringen Anzahl an ausführenden Holzbaufirmen ist es möglich umfangreiche Bauprojekte im mehrgeschossigen Holzbau zu realisieren. Die Umsetzung von Bauten in Holz scheitert teilweise an der fehlenden Kapazität der zur Verfügung stehenden Unternehmen sowie den Nachwuchsproblemen in den Betrieben.

**Ursache/Abhängigkeiten:** Vorhandene, traditionelle Unternehmensstrukturen innerhalb des Holzbaus bedingen dieses Hemmnis (C3). Die Realisierung aufwendigerer Projekte hängt von Erfahrung und somit von vorangegangenen Projekten ab. Eine fehlende Wissenskapazität der Planer (B5) und fehlende Integration neuer Technologien und Möglichkeiten innerhalb der Holzbaubetriebe (B6) hemmen eine Weiterentwicklung in Richtung der Planung mehrgeschossiger Holzbauten. Marktanteile des Holzbaus (C2) sowie vorhandene Planungsprozesse (C4) beeinflussen die mögliche Realisierung größerer Projekte in Richtung von mehrgeschossigen Holzgebäuden.

Ergebnis: B5, B6, C2, C3, C4

**Auswirkungen:** Eine Steigerung der Kapazitäten der Holzbauunternehmen hätte erneut einen direkten Einfluss auf die Marktsituation von Holzgebäuden, insbesondere im Bereich des mehrgeschossigen Holzbaus (C1.2, C1.3). Die zugrundeliegende Kostenstruktur (C2) würde sich durch eine Verlagerung der Produktionsziele. Die aktuelle Struktur mittelständischer Unternehmen sowie derzeitige Planungsprozesse müssten sich anpassen (C3, C4).

Ergebnis: C1.2, C1.3, C2, C3, C4

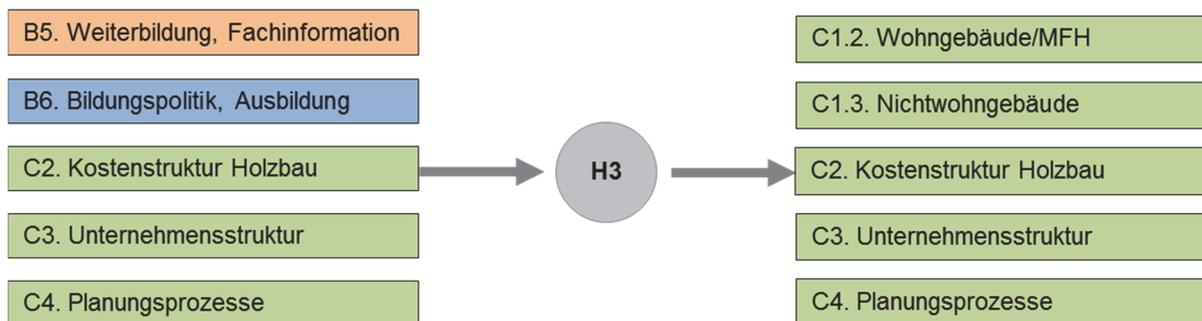


Abbildung 56:

Grafische Darstellung der Abhängigkeit und Auswirkung von H3 – Branchenkapazität

**Wirkung auf andere Hemmnisse:** Eine Kapazitätssteigerung von Holzbauunternehmen stärkt die Präsenz des Holzbaus. Eine stärkere Präsenz des Holzbaus birgt die Chance einer stärkeren Einflussnahme auf Politik und Normung und bietet die Möglichkeit nationale Strategien, Prozesse und Standards zu entwickeln, zu etablieren und voranzutreiben (H2, H4, H5). Der Vorteil einer verstärkten Kapazität wäre eine effizientere Gestaltung der Vorfertigung durch Produktionssteigerung, die eine frühere Integration der technischen Gebäudeausrüstung berücksichtigen (H6) und die Weiterbildung des Personals fördern kann (H16). Eine stärkere Präsenz des Holzbaus in Projekten verschiedener Größe und Reputation verbessert die Außenwahrnehmung und kann die Wahl von Fachplanern in den Holzbau einzusteigen, beeinflussen und den Bedarf nach Informations- und Beratungsangeboten zu Detail- und Ausführungslösungen steigern (H15). Insbesondere wird durch eine stärkere Präsenz der Holzbauunternehmen im Bereich des mehrgeschossigen Bauens die Notwendigkeit eines integralen Planungsprozesses verdeutlicht, um einen effizienten Planungsablauf gewährleisten zu können (H1),

und führt eine gewisse Routine in Bezug auf die Komplexität innerhalb der Verwendung mancher Holzbauaufbauten mit sich (H11).

Ergebnis: H1, H2, H4-H6, H11, H15, H16

**Hemmnis 4: Widerspiegelung des neuesten Stands der Technik innerhalb der Normung**

*Beschreibung:* Normen bieten eine einheitliche Bemessungs- und Anforderungsgrundlage für Produkte und Verfahren, die den Einsatz und die Anwendung in der Praxis für die Planer deutlich vereinfachen. Aufgrund der ständigen Weiterentwicklung und Forschung müssen Bemessungs- oder Produktnormen stetig angepasst und erweitert werden, um immer den aktuellen Stand der Technik oder neuen Anforderungen aus der Praxis entsprechend abzubilden. Fehlen dem Planer Angaben innerhalb von Normen, führt dies zu einer Unsicherheit bzgl. der Notwendigkeit einer zusätzlichen Nachweisführung und somit zu einer schlechten Anwendbarkeit bestimmter Produkte und Konstruktionen sowie einer schlechteren Wettbewerbsfähigkeit. Diese Problematik ist im Allgemeinen werkstoffübergreifend. Jedoch kommen im Bereich des Holzbaus eine Vielzahl neuer Bauprodukte und technischer Erneuerungen hinzu, welche die Spiegelung des Standes der Technik innerhalb der Normung umso wichtiger machen. Innerhalb des Eurocode 5 (2012) ‚Bemessung und Konstruktion von Holzbauten‘ fehlen Bemessungsregeln insbesondere für Verstärkungen, Brettsperholz und Holz-Beton-Verbundkonstruktionen. Um bis zu einer Revision der Eurocodes dennoch ihre Produkte marktgerecht anbieten zu können, versuchen die Firmen durch eigene Zulassungen und Bemessungsangaben die Verwendung zu erleichtern; schaffen hierdurch jedoch eine große Variabilität innerhalb der Holzbaubranche und eine produktgebundene Bemessung. Weiterhin sind in vielen Bereichen des Holzbaus – z.B. im Bereich des Brandschutzes – stets technische Lösungen gefragt, welche in die Normung mit aufzunehmen sind, um den Einsatz von Holzkonstruktionen zu erleichtern und die Erfordernis von Verwendbarkeitsnachweisen zu verhindern.

*Abhängigkeiten:* Technische Erneuerung in allen Gebieten der Forschung sind erforderlich bzw. bestimmen den Stand der Technik (A1 – A5). Der Normungsprozess beeinflusst mitunter die Widerspiegelung des Stands der Technik innerhalb der Normen (B7). Endphasen einer Revision, innerhalb derer nur noch Kommentare gesammelt, eingearbeitet und abgefragt werden, verhindern ab einem gewissen Punkt das Einfließen neuer Themen in die aktuelle Überarbeitungsversion. Die Verbände sind als Interessensgruppen innerhalb der Normung vertreten (B3).

Ergebnis: A1, A2, A3, A4, A5, B3, B7

*Auswirkung:* Nicht nur die Aktualität der Normung (B7) wird durch ständige Revisionen und Erneuerungen beeinflusst, sondern auch Bereiche innerhalb der Gesetzgebung orientieren sich an dem Stand der Technik, welcher durch den Stand der Normung definiert ist (B1). Die Inhalte fließen in die Weiterbildung sowie in Fachinformationen ein (B5). Normen sichern Rationalisierung und Qualitätssicherung von Produkten und Verfahren und beeinflussen somit Kostenstruktur (C2) sowie Planungsprozesse (C4) innerhalb des Holzbaus.

Ergebnis: B1, B5, B7, C2, C4

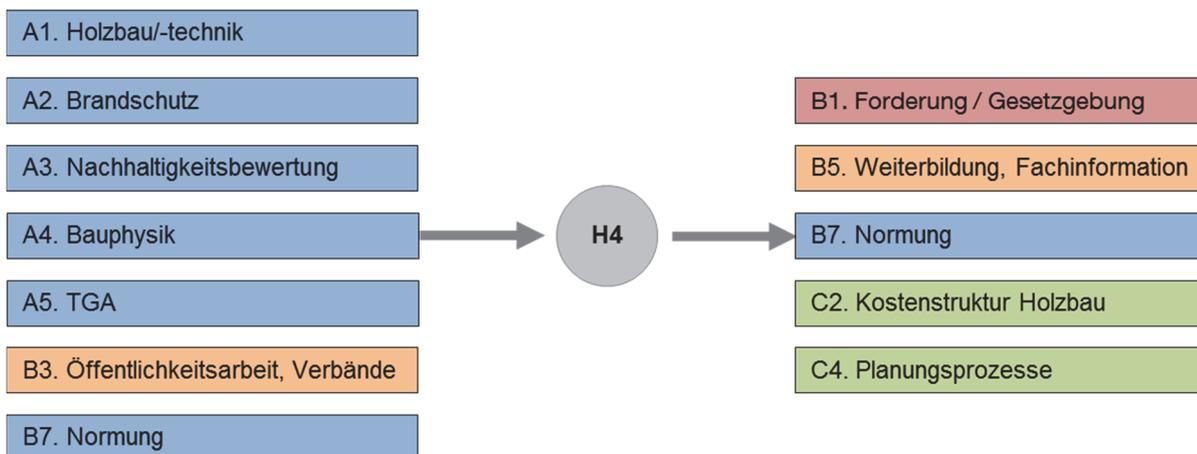


Abbildung 57: Grafische Darstellung der Abhängigkeit und Auswirkung von H4 – Aktuelle Normung

*Wirkung auf andere Hemmnisse:* Durch eine bessere Abbildung des Stands der Technik innerhalb der Normung würde das Grundgerüst für das Bauen mit Holz gestärkt werden, wovon aktuelle baurechtliche Entwicklungen profitieren (H8-H11). Eine Stärkung des Normensystems könnte Lücken innerhalb

baurechtlicher Fragen schließen. Unternehmen wären motivierter in den mehrgeschossigen Holzbau einzusteigen und ihre Kapazitäten entsprechend anzupassen (H3), da eine normativ geregelte Nachweisführung mehr Klarheit und weniger Risiko in der Planung bedeutet. Unsicherheiten und Lücken innerhalb der Normung erschweren die eigene Detailplanung sowie die Erstellung standardisierter Details und Lösungen. Eine auf den Stand der Technik aktualisierte Normungsarbeit erleichtert somit Standardisierungsprozesse (H5). Eine stetige Normungsarbeit in aktuellen Diskussions- und Forschungsbereichen hat auf die entsprechenden Bereiche einen großen Einfluss (H12, H17).

Ergebnis: H3, H5, H8-H12, H17

### Hemmnis 5: Fehlende Standardisierung innerhalb der Holzbauweise

**Beschreibung:** Der Holzbau an sich ist eine traditionsbehaftete Bauweise, welche im Gegensatz zu jüngeren Bauweisen eine Jahrhundert alte Entwicklung mit sich führt. Eine Vielzahl an Ausführungsmöglichkeiten bestimmt daher State-of-the-Art, wobei ebenfalls regionale und kulturelle Unterschiede bestehen. Eine Bemessung in Holzbauweise erfordert ein breit gefächertes Fachwissen des Planers innerhalb der Bereiche Statik, Bauphysik, Brandschutz und Schallschutz sowie einen hohen Detaillierungsgrad von Übergängen und Anschlussbereichen bereits in der Ausführungsplanung. Insbesondere innerhalb der Detailplanung stoßen mehrere Bereiche aufeinander und stellen eine Herausforderung dar. Diese Detailplanung vergrößert im Falle einer sorgfältigen Planung den Zeitaufwand und verzögert aufgrund von Aufwand und Änderungen den Planungsprozess. Eine Standardisierung von Details und Anschlüssen erleichtert die Wahl und Ausführung von Holzkonstruktionen und erleichtert „holzfremden“ Planern und Ingenieuren den Zugang zum Holzbau.

**Abhängigkeiten:** Das Fachwissen aus allen fachlichen Bereichen ist erforderlich, um standardisierte Details möglichst komplett darstellen zu können (A1 – A5). Das Vorhandensein bzw. die Weitergabe an Informationen und Neuigkeiten bedingt eine gewisse Koordinierungsarbeit (B3). Ebenso könnten die Verbände helfen, die Akzeptanz für entwickelte Standards und deren Notwendigkeit innerhalb der Branche zu etablieren. Die kleinen, mittelständischen Unternehmensstrukturen sind mit verantwortlich für die vielen individuellen Ausführungen innerhalb der Branche (C3).

Ergebnis: A1, A2, A3, A4, A5, B3, C3

**Auswirkungen:** Die Öffentlichkeitsarbeit innerhalb des Holzbaus bzw. die Verbände wären für eine hilfreiche Informationsweitergabe sowie das Pflegen, Weiterentwickeln und Fortführen der Standards verantwortlich (B3). Fachinformationen berichten über Herausgaben (z.B. Konstruktionskatalogen) zur Weiterbildung der Fachkräfte (B5). Eine wachsende Standardisierung würde sich positiv auf die Realisierung von Holzgebäuden, insbesondere im Bereich des mehrgeschossigen Holzbaus (C1.2, C1.3), auswirken und somit wiederum Kostenstrukturen (C2) verändern. Eine Erleichterung der Planung wirkt sich positiv auf die Planungsprozesse innerhalb des Holzbaus (C4) aus und verhindert erforderliche Planungsänderungen.

Ergebnis: B3, B5, C1.2, C1.3, C2, C4

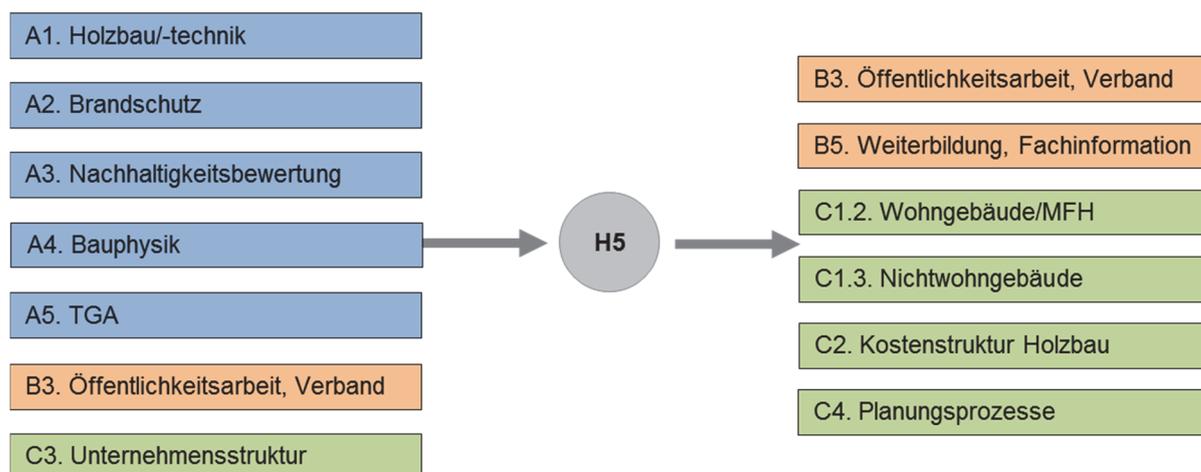


Abbildung 58:

Grafische Darstellung der Abhängigkeit und Auswirkung von H5 – Standardisierung

**Wirkung auf andere Hemmnisse:** Einen erhöhten Grad an Standardisierung hätte einen erhöhten Einfluss auf alle produktions- und planungsprozessrelevanten Hemmnisse (H1, H3, H6, H11). EoL-Szenarien wären aufgrund einer vergrößerten Standardisierung besser planbar und einfacher zu berücksichtigen (H13). Die Vorteile standardisierter Holzbaudetails benötigen eine geeignete Kommunikation

und Vermittlung dieser an Fachplaner (H15) und Entscheidungsträger (H16). Standardisierungen könnten Lücken innerhalb baurechtlicher Fragen lösen (H8).

Ergebnis: H1, H3, H6, H8, H11, H13, H15, H16

### Hemmnis 6: Fehlende frühe Integration der technischen Gebäudeausrüstung (TGA)

**Beschreibung:** Innerhalb der Planung fehlt oftmals ein Verständnis für die zu berücksichtigenden Aspekte der nachfolgenden Gebäudeausrüstung. Innerhalb der Honorarordnung für Architekten- und Ingenieurleistungen (HOAI) werden zu erbringende Leistungsphasen (LPs) während eines Bauvorhabens genannt und einem bestimmten Anteil des Gesamthonorars zugeordnet. Das Leistungsbild der technischen Gebäudeausrüstung (TGA) hat gleich dem Leistungsbild der Objektplanung Grundleistungen von Beginn an in allen Leistungsphasen vorgesehen. Planer aus dem TGA-Bereich werden jedoch in die Vorplanung (LP 2) oder Entwurfsplanung (LP 3) nicht oder zu spät mit einbezogen. Somit stehen ermittelte technische Erfordernisse oftmals mit Entscheidungen der Bauherrnseite im Widerspruch. Das Problem liegt daher in der fehlenden Koordination zwischen den Gewerken bzw. zwischen Objektplanung und TGA. Jedoch wäre es nicht ausreichend die erforderliche Koordination in den Grund- und besonderen Leistungen zu formulieren. Vielmehr sollte eine Verteilung der Honorar-Prozente der einzelnen Leistungsphasen die Koordination in den ersten zwei Phasen erlauben. Konkret bedeutet dies eine Umschichtung von Honorar insbesondere aus LP 8 (Objektüberwachung) in die LP 2 (Vorplanung).

**Ursache/Abhängigkeiten:** Innerhalb der HOAI ist eine Umschichtung der Honorare von Nöten (B1). Die HOAI führt zu einem inkonsistenten Miteinbeziehen der TGA innerhalb der Leistungsphasen eines Bauvorhabens. Zur Umsetzung einer früheren Integration ist insbesondere politischer Wille von Nöten, welcher mithilfe entsprechender Öffentlichkeitsarbeit gestärkt werden würde (B3). Öffentlichkeitsarbeit übt indirekten Einfluss auf Entscheidungsträger in den Gremien aus, die zu Anpassungen in der HOAI führen können. Eine qualifizierte Ausbildung sowie der Wissenstand der Techniker und Planer bedingt die Entscheidungen des Bauherrn in den frühen Phasen der Planung (B5, B6). Der aktuelle Stand der Möglichkeiten innerhalb der Vorfertigung bestimmt die Integration von Fachwissen aus dem Bereich der TGA (C4).

Ergebnis: B1, B3, B5, B6, C4

**Auswirkung:** Die Planung innerhalb der TGA ändert sich durch eine frühzeitige Integration (A5). Eine späte Berücksichtigung der TGA sowie aufgrund dessen notwendige Änderungen wirken sich negativ auf Kostenstruktur (C2) und Planungsprozesse (C4) aus und könnten somit beeinflusst werden.

Ergebnis: A5, C2, C4

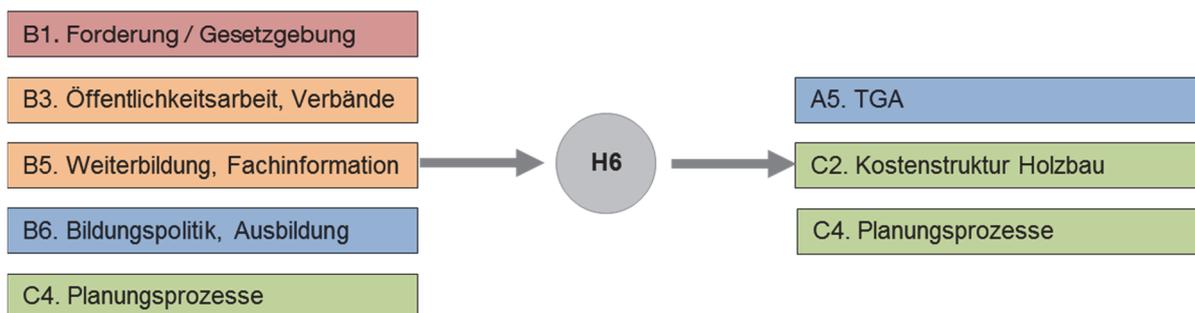


Abbildung 59:  
Grafische Darstellung der Abhängigkeit und Auswirkung von H6 – Integration TGA

**Wirkung auf andere Hemmnisse:** Eine bessere Absprache zwischen den Gewerken würde den Holzbau wettbewerbsfähiger machen und Unternehmen dazu motivieren, ihre Vorfertigung stärker nach den Angaben der TGA anzupassen (H3). Eine frühere Integration der TGA geht Hand in Hand mit einer Förderung der integralen Planung sowie von Standardisierungen innerhalb des Planungsprozesses (H1, H5).

Ergebnis: H1, H3, H5

### Hemmnis 7: Fehlende einheitliche Umsetzung der MBO

**Beschreibung:** Die Musterbauordnung stellt die Grundlage für die in der Gesetzgebungskompetenz der Länder liegende Landesbauordnung dar. Mit der Verabschiedung der aktuellen Fassung von 2002 in der Bauministerkonferenz fanden mit der Einführung der Gebäudeklasse 4 sowie der Feuerwiderstandsklasse ‚hochfeuerhemmend‘ maßgebliche Veränderungen für den Holzbau statt, die zu einer

Erleichterung des Einsatzes von Holz im Bauwesen führen (siehe hierzu auch Hemmnis 8). Da die Umsetzung der MBO in der Gesetzgebungskompetenz der Länder liegt, wurde bzw. wird aktuell noch in NRW, die MBO zu unterschiedlichen Zeitpunkten mit voneinander abweichenden Inhalten in Landesrecht umgesetzt. Diese fehlende einheitliche Umsetzung der MBO stellt ein relevantes Hemmnis für den Einsatz von Holz dar, und spiegelt sich in schlechteren Wettbewerbsmöglichkeiten, einer Erhöhung der baurechtlichen Komplexität und einer daraus resultierenden geringeren Wirtschaftlichkeit wieder.

*Ursache/Abhängigkeiten:* Die Musterbauordnung ist als Grundlage der Landesbauordnungen das maßgebliche gestaltende Instrument der Gesetzgebung (B1) für das Bauwesen, über deren Inhalte die Bauministerkonferenz entscheidet. Dieses Gremium sowie die für die Vorlage der MBO zuständigen Ausschüsse für Städtebau, Wohnungswesen und Raumordnung des Bundesrates sowie für staatlichen Hochbau setzen sich aus Politikern der Länder bzw. des Bundesrates zusammen, die als gewählte Vertreter des Volkes die gesellschaftlichen Ziele formulieren und ausgestalten (B8). Die Entwürfe der MBO werden im Rahmen des Abstimmungsverfahrens den relevanten Verbänden / Interessenvertretern zur Diskussion bzw. Kommentierung vorgelegt (B3). Ein ähnliches Anhörungsverfahren findet bei der Umsetzung der MBO in die länderspezifischen LBO in den jeweiligen Landesparlamenten (B8) statt.

Ergebnis: B1, B3, B8

*Auswirkungen:* Mit der einheitlichen Umsetzung der MBO in die entsprechenden Landesbauordnungen der Bundesländer (B1) wird eine Optimierung der Planungsprozesse (C4) in unterschiedlicher Art und Weise gefördert: Durch die länderübergreifende konsistente Umsetzung entsteht eine höhere Rechts- und somit Planungssicherheit sowie die Möglichkeit, Planungswissen über die Ländergrenzen hinweg anzuwenden. Die in der MBO 2002 für den Holzbau relevanten Anpassungen ermöglichen eine Ausweitung gesetzeskonformer Planung auf Gebäude mit einer Höhe bis zu 13 Metern und somit zu einer Reduzierung der Beantragung von Abweichungen.

Die sich daraus ergebende höhere Wirtschaftlichkeit spiegelt sich in der Kostenstruktur des Holzbaus wieder (C2). Neben der Optimierung der Planungsleistungen kann eine Standardisierung von gesetzeskonformen Konstruktionen im Holzbau in einem bundesweiten einheitlichen Markt zu maßgeblichen Kostenreduzierungen führen, die die Attraktivität des Holzbaus und somit den Einsatz weiter fördern.

Die Einführung der Gebäudeklasse 4 sowie der Feuerwiderstandsklasse ‚hochfeuerhemmend‘ zusammen mit der Muster-Holzbaurichtlinie (siehe hierzu auch Hemmnis 9) bilden die Grundlage für den mehrgeschossigen Holzbau. Ergänzt durch die optimierten Planungsprozesse (C4) sowie der günstigeren Kostenstruktur im Holzbau (C2) werden hiermit bessere Voraussetzungen für den Einsatz von Holzbau bei der Erstellung komplexerer Gebäude auf dem Immobilienmarkt geschaffen (C1.2 – 1.4).

Ergebnis: B1, C1.2-1.4, C2, C4

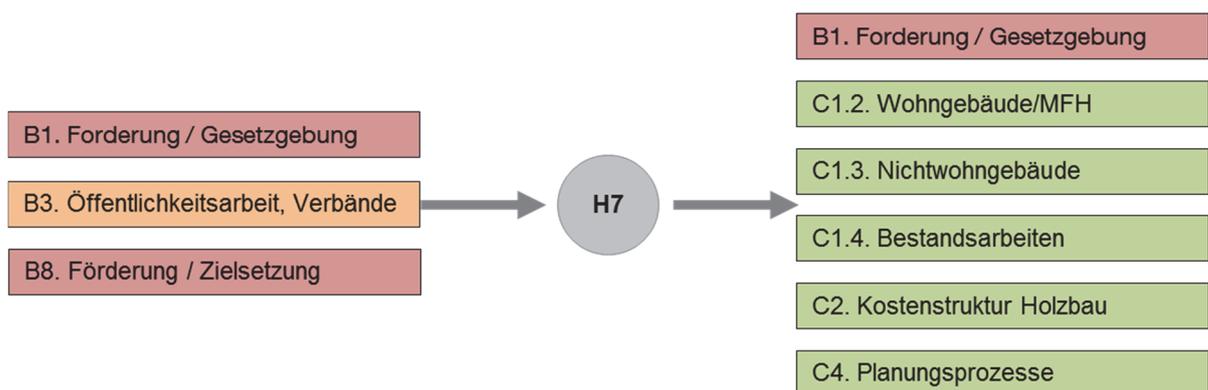


Abbildung 60:  
Grafische Darstellung der Abhängigkeit und Auswirkung von H7 – Umsetzung der MBO

*Wirkung auf andere Hemmnisse:* Eine einheitliche Umsetzung der MBO und der sich daraus ergebenden verbesserten Nutzung der Potentiale führt zu einer Steigerung des Kapazitätsbedarf zur Realisierung im mehrgeschossigen Holzbau (H3) und zu einer Erhöhung des Standardisierungspotentials und somit -bedarfs (H5) durch einen bundesweit einheitlich geregelten Markt. Für die M-HFHolzR ergeben sich auf Grund der bundesweiten Anwendung eine Steigerung der Bedeutung und des Einflusses auf den Holzbau (H9), was gleichzeitig die Forderung an eine Aktualisierung der Richtlinie zusätzlich

unterstreicht, die eine Verringerung der Notwendigkeit zur Erstellung von Verwendbarkeitsnachweisen mit sich bringt (H11).

Ergebnis: H3, H5, H9, H11

### **Hemmnis 8: Unzulässigkeit von Holzbau in GK 5 innerhalb der meisten LBOs**

*Beschreibung:* Die Musterbauordnung unterteilt Gebäude in 5 Gebäudeklassen, bei denen die Gebäudeklasse 5 mit Gebäuden mit einer Höhe von >13m bzw. <22m an tragende Bauteile die Forderung der Feuerbeständigkeit definiert. Feuerbeständige Bauteile müssen unter anderem aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen womit Holz, entsprechend der DIN EN 13501-1 (2010) als ‚normal entflammbar‘ klassifiziert, als Material ausscheidet.

In der Praxis wurden in jüngster Vergangenheit zahlreiche Holzbaugebäude, die der Gebäudeklasse 5 zuzuordnen sind, durch die nach MBO zulässige Beantragung von Abweichungen und gleichzeitiger Erstellung eines objektbezogenen Brandschutzkonzeptes realisiert.

In der aktuell gültigen LBO Baden-Württemberg wurde entgegen der MBO der Einsatz von brennbaren Baustoffen (Holz) für feuerbeständige Bauteile ermöglicht, soweit der Nachweis der erforderlichen Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten erbracht wird. Die Erbringung der notwendigen Nachweise stellt aktuell einen Schwerpunkt an den Forschungseinrichtungen dar.

Die aktuell geltende Unzulässigkeit von Holzbau in der Gebäudeklasse 5 in den meisten LBOs stellt der Ausführung von Gebäuden >13m, wie sie z.B. aktuell in großem Umfang in Städten gefordert werden, ein maßgebliches Hemmnis für den Einsatz von Holzbau in großmaßstäblicheren Projekten entgegen.

*Ursache/Abhängigkeiten:* Abhängigkeiten ergeben sich aus der Musterbauordnung (B1), in der die Gebäudeklasse 5 sowie deren Anforderungen an den Brandschutz geregelt sind. Entscheidungsträger sind hierbei die Bauministerkonferenz sowie die zuständigen Ausschüsse, die als gewählte Vertreter des Volkes die gesellschaftlichen Ziele (B8) maßgeblich formulieren. Der Einfluss der Verbände wird durch die Anhörung im Rahmen des Abstimmungsverfahrens bei der Bauministerkonferenz sowie der Länderparlamente ermöglicht (B3). Die Ergebnisse der Forschung im Brandschutz (A2) dienen hierzu als Grundlage für die Diskussion und fördern somit die Anpassung der Anforderungen an den Holzbau im Rahmen der MBO.

Ergebnis: A2, B1, B3, B8

*Auswirkung:* Anpassungen in der MBO (B1), die zur Zulässigkeit von Holzbau in der Gebäudeklasse 5 führen, eröffnen für den Holzbau ein zusätzliches Betätigungsfeld im großmaßstäblichen Immobilienmarkt (C1.2-4). Zur Bewerkstelligung der Anforderungen sind Anpassungen der Planungsprozesse (C4) sowie der Unternehmensstrukturen (C3) notwendig. Neben der Vereinfachung durch die Möglichkeit der gesetzeskonformen Planung ohne Beantragung von Abweichungen ist eine Optimierung des Planungsprozesses im Rahmen großmaßstäblicher / mehrgeschossiger Projekte möglich und nötig, was zu einer veränderten Kostenstruktur im Holzbau führt (C2). Diese wird auch durch die Effizienzsteigerung auf Grund der Objektgrößen maßgeblich beeinflusst und erhöht dadurch die Konkurrenzfähigkeit des Materials Holz. Für die Ausführung von Projekten in der Größenordnung der Gebäudeklasse 5 sind strukturelle Veränderungen innerhalb der vorwiegend mittelständisch geprägten Unternehmen (C3) von Nöten, um die Ausführung der komplexen Gebäude zu gewährleisten. Neben dem Ausbau der Unternehmensgröße kann hier mit Kooperationen von Handwerksbetrieben auf die geänderten Anforderungen reagiert werden.

Ergebnis: B1, C1.2-1.4, C2, C3, C4

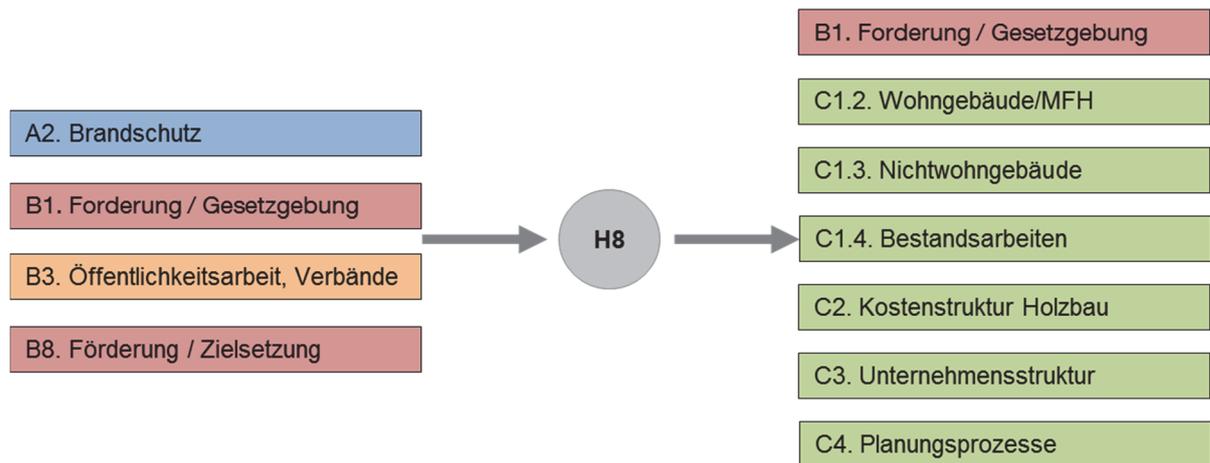


Abbildung 61:  
Grafische Darstellung der Abhängigkeit und Auswirkung von H8 – Holzbau in GK5

**Wirkung auf andere Hemmnisse:** Die Zulässigkeit von Holzbau in der Gebäudeklasse 5 lässt sich durch eine Ausweitung der Anwendbarkeit der M-HFH HolzR (H9) bewerkstelligen, was eine Anpassung durch die Widerspiegelung des neuesten Stands der Technik innerhalb der Normung voraussetzt (H4), die wiederum zu einer Verringerung der Notwendigkeit zur Erstellung von Verwendbarkeitsnachweisen (H11) mit sich bringt sowie ggf. Einschränkungen bei der Verwendbarkeit biogener Dämmstoffe aufhebt (H10). Da der großmaßstäbliche mehrgeschossige Holzbau mit der Gebäudeklasse 5 beschrieben wird, ergibt sich durch die Zulässigkeit des Holzbaus eine Steigerung des Anreizes zur Standardisierung (H5) und einem erhöhtem Kapazitätsbedarf (H3) zur Realisierung des mehrgeschossigen Holzbaus. Der daraus resultierende größere Markt erhöht die Notwendigkeit zur Erstellung einer nationalen Holzbaustrategie (H2). Gleichzeitig steigt der Bedarf an Informationen für Fachplaner (H15) sowie fachspezifischer Entscheidungsträger (H16) um die Steigerung des Einsatzes von Holz im Bausektor zu unterstützen. Eine erneute Betrachtung und Bewertung der Verfügbarkeit des Rohstoffes Holz wird notwendig, um einer Fehlallokation vorzubeugen (H19).

Ergebnis: H2, H3, H4, H5, H9, H10, H11, H15, H16, H19

### Hemmnis 9: Einschränkungen und Unzulässigkeiten durch die M-HFH HolzR

**Beschreibung:** Die im Jahre 2004 mit dem Ziel, die Anwendung von Holz im mehrgeschossigen Hochbau zu vereinfachen eingeführte M-HFH HolzR dokumentiert die Ergebnisse der zum damaligen Zeitpunkt vorliegenden Ergebnisse der Untersuchung des Brandverhaltens von Holzkonstruktionen und legt das Hauptaugenmerk auf die Kapselung der Tragkonstruktion. Auf Grund des Fokus auf die in der MBO eingeführten Gebäudeklasse 4 sowie der Feuerwiderstandsklasse ‚hochfeuerhemmend‘ werden Anforderungen an feuerbeständige Bauteile und somit Bauten der Gebäudeklasse 5 (siehe Hemmnis 8) nicht beschrieben. Durch die Forderung nach einer allseitig wirksamen Bekleidung der Tragkonstruktion aus nichtbrennbaren Baustoffen werden Holzkonstruktionen mit einer Sichtoberfläche ausgeschlossen. Eingesetzte Dämmstoffe dürfen nach M-HFH HolzR nur aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen, wodurch biogene Materialien nicht eingesetzt werden können (siehe Hemmnis 10). Des Weiteren werden Holz-Massivbauweisen, die für den Holzbau in der Praxis relevant sind, nicht weiter behandelt. Über die baukonstruktiven Regelungen hinaus definiert die M-HFH HolzR Anforderungen an haustechnische Installationen, die unter anderem nicht in hochfeuerhemmenden Bauteilen geführt werden dürfen und somit eine zusätzliche Installationsebene erforderlich machen.

Die in der Praxis auftretenden Forderungen von u.a. sichtbaren Holzoberflächen, dem Einsatz brennbarer Dämmstoffe sowie der Verwendung von Massivholzbauteilen als Tragstruktur können nur durch die Beantragung von Abweichungen sowie je nach Umfang kostenintensive Kompensationsmaßnahmen erfüllt werden. Auf Grund des begrenzten Betrachtungsbereiches kann die M-HFH HolzR ihr eigentliches Ziel, der Vereinfachung des Einsatzes von Holz im Bauwesen, nur bedingt erfüllen, da sie in der aktuellen Fassung nicht dem Stand der Technik entspricht, sich daher in den vorher genannten Bereichen äußerst restriktiv darstellt und somit als Hemmnis wahrgenommen wird.

**Ursache/Abhängigkeiten:** Die M-HFH HolzR wurde in der Fachkommission Bautechnik der Bauministerkonferenz (B1) erarbeitet, in der die technisch-wissenschaftlich geprägte Kommunikation der Länder stattfindet. Die Bauministerkonferenz als Zusammenschluss der jeweiligen Ressortleiter der Länder handeln als gewählte Vertreter im Sinne der gesellschaftlichen Ziele (B8). Grundlage der

Musterrichtlinie bildet die Dokumentation der Untersuchung des Brandverhaltens von Holzkonstruktionen als Ergebnis der Forschung im Brandschutz (A2). In jüngster Vergangenheit ist aus der Forschung der TU München der ‚Regeldetailkatalog für den mehrgeschossigen Holzbau in Gebäudeklasse 4‘ (Gräfe et al. 2015) hervorgegangen, der eine Weiterentwicklung unter Berücksichtigung der Schutzziele der M-HFHolzR mit dem Fokus auf der verbesserten Ausführbarkeit formuliert. Diese Forschung wird unter anderem durch die Verbände initiiert (B3) die im Rahmen des Gesetzgebungsverfahrens ihren Einfluss auf Inhalte ausüben können.

Ergebnis: A2, B1, B3, B8

**Auswirkungen:** Die Berücksichtigung aktueller Forschungsergebnisse in der Normung (B7) und einer sich daraus ergebenden verbesserten Anwendbarkeit von Holzkonstruktion spiegelt sich durch eine mögliche Optimierung und Effizienzsteigerung der Planungsprozesse (C4) sowie der erhöhten Standardisierung in der Kostenstruktur im Holzbau (C2) wieder. Mit der Ausweitung der Zuständigkeit der M-HFHolzR auf die Gebäudeklasse 5 (B1) verbessern sich auf Grund der größeren Planungssicherheit die Möglichkeiten des Zugangs zum großmaßstäblichen Immobilienmarkt (C1.2-4). Gleichzeitig stellen sich Anforderungen an eine Anpassung in den Unternehmensstrukturen (C3), um die logistischen und handwerklichen Anforderungen, die sich aus den großmaßstäblichen Projekten ergeben, erfüllen zu können. Der Einbau der technischen Gebäudeausrüstung (A5) in Holzkonstruktionen lässt sich konstruktiv unproblematischer und kostenmäßig günstiger bewerkstelligen, stellt aber gleichzeitig einen höheren Anspruch in Form von Koordinierung und Planung an den Planungsprozess (C4).

Ergebnis: A5, B1, B7, C1.2-1.4, C2, C3, C4

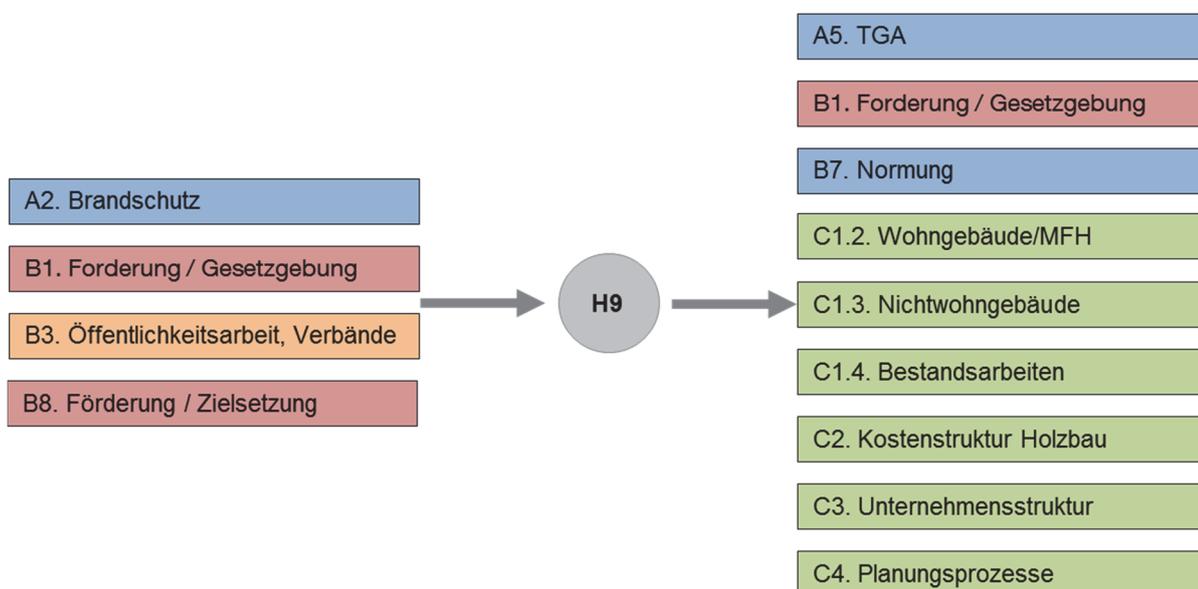


Abbildung 62:

Grafische Darstellung der Abhängigkeit und Auswirkung von H9 – Muster-Holzbaurichtlinie

**Wirkung auf andere Hemmnisse:** Mit der Ausweitung der Anwendbarkeit der M-HFHolzR auf die Gebäudeklasse 5 werden die Rahmenbedingungen, die zu einer Zulässigkeit von Holzbau in GK 5 führen (H8), definiert. Die Berücksichtigung aktueller Forschungsergebnisse vermindert die Einschränkungen bei der Verwendbarkeit biogener Dämmstoffe (H10) und verringert die Notwendigkeit für Erstellung von Verwendbarkeitsnachweisen (H11). Für die Holzbaubranche erhöht sich der Druck der Kapazitätserhöhung (H3) auf Grund des erhöhten Bedarfs durch den vereinfachten Einsatz von Holzkonstruktionen. Gleiches gilt für die Standards (H5), für deren Schaffung durch die steigende Zahl großmaßstäblicher Projekte Anreize geschaffen werden. Grundsätzlich führen Änderungen in der M-HFHolzR zu einer Bedarfssteigerung an Informations-, und Beratungsangeboten für Fachplaner (H15), um die Potentiale nutzen zu können.

Ergebnis: H3, H5, H8, H10, H11, H15

### Hemmnis 10: Einschränkungen bei der Verwendbarkeit biogener Dämmstoffe

**Beschreibung:** Unter den biogenen Dämmstoffen zählt das Material Holz zu den am häufigsten eingesetzten nachwachsenden Rohstoffen. Auf Grund seiner vorteilhaften biophysikalischen Eigenschaften

im Wärme-, Schall- und Feuchteschutz konnte die Holzfaserdämmung ihren Marktanteil in den vergangenen Jahren erheblich ausbauen. Der Einsatzbereich begrenzt sich jedoch aus der gegenwärtigen Gesetzgebung auf Grund von Anforderungen des Brandschutzes. Mit der Einordnung in die Brandschutzklasse B2 nach DIN 4102 (1998) bzw. Euroklasse E als normalentflammbar steht dem Einsatz von Holzfaserdämmung nach der Musterbauordnung von 2002 grundsätzlich nichts entgegen. Jedoch ergeben sich zusätzliche Anforderungen in Abhängigkeit von der Gebäudeklasse. Insbesondere in der Gebäudeklasse 4 werden biogene Dämmstoffe ausdrücklich durch die ergänzende M-HFHolzR mit der Forderung nach dem Einsatz nichtbrennbarer Dämmstoffe ausgeschlossen. Für die Gebäudeklasse 5 ist „...der Einbau in Verbindung mit nichtbrennbaren tragenden und aussteifenden Bauteilen und bei raumabschließenden Bauteilen einer in Bauteilebene durchgehenden Schicht aus nichtbrennbaren Baustoffe“ (M-HFHolzR 2004) möglich. Um den Einsatz von Holzfaserdämmung trotz der Brandschutzproblematik durch einen Brandschutznachweis zu ermöglichen, müssen die Feuerwiderstandsklassen durch allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnisse (abP's) für die vielfältigen Konstruktionsausführungen belegt werden (siehe hierzu auch Hemmnis 11). Für diese zu erbringenden Verwendbarkeitsnachweise sind zeit- und kostenaufwändige Brandprüfungen durchzuführen. *Ursache/Abhängigkeiten:* Die Einschränkungen bei der Verwendbarkeit biogener Dämmstoffe ergeben sich aus den aktuell in der MBO bzw. in der M-HFHolzR definierten Brandschutzanforderungen (B1). Verstärkt werden diese durch die unzureichende Berücksichtigung in der Normung (B7). Als Reaktion darauf stellt die bauphysikalische und brandschutztechnische Beurteilung biogener Dämmstoffe sowie deren Nachhaltigkeitsbewertung (A2 -A4) zur Zeit ein Forschungsthema (Standardisierung der brandschutztechnischen Leistungsfähigkeit von Holztafelelementen mit biogenen Dämmstoffen) unter anderem an der TU München dar, die von den Verbänden unterstützt und finanziert sowie deren Ergebnisse über die Öffentlichkeitsarbeit nach außen getragen werden (B3). Die fehlende gezielte Förderung von biogenen Dämmstoffen unterstützt weder den Einsatz in der Baubranche noch die Schaffung eines gesellschaftlichen Zieles (B8).

Ergebnis: A2, A3, A4, B1, B3, B7, B8

*Auswirkung:* Die Aufhebung der Einschränkungen bei der Verwendbarkeit biogener Dämmstoffe führt zu grundlegenden gesetzlichen Anpassungen in der MBO sowie der M-HFHolzR (B1). Anforderungen ergeben sich an die Weiterbildungsangebote (B5), die die neuen Planungs- bzw. Gesetzesgrundlagen nach außen tragen. Durch die Zulässigkeit vom Einsatz biogener Dämmstoffe in allen Gebäudeklassen werden sich Beschränkungen auf dem Markt reduzieren, was durch eine weitere Verbreitung des Einsatzgebietes zu einer veränderten Kostenstruktur im Holzbau (C2) führt. Eine größere Nachfrage führt zu einem größeren Bedarf an Cellulose und somit natürlicher Ressourcen, die von der Forstwirtschaft erwirtschaftet werden müssen (C5).

Ergebnis: B1, B5, C2, C5

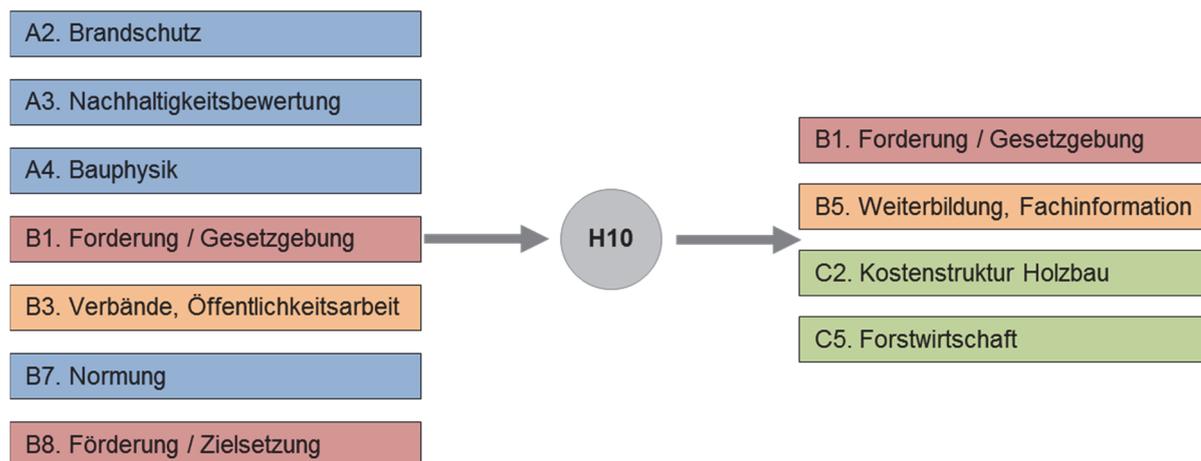


Abbildung 63:

Grafische Darstellung der Ursachen und Auswirkungen von H10 – Biogene Dämmstoffe

*Wirkung auf andere Hemmnisse:* Auf Grund des größeren Anwendungsbereiches steigt neben dem Anpassungsbedarf an die Widerspiegelung des neuesten Stands der Technik innerhalb der Normung (H4) sowie an die M-HFHolzR (H9) der Anreiz zur Standardisierung in der Holzbauweise (H5) auf Grund der verbesserten Einsatzfähigkeit. Diese wiederum lässt einen steigenden Absatz biogener Dämmstoffe erwarten, was mit dem verfügbaren zu erwirtschaftbaren Rahmen des Rohstoffes Holz in

Einklang gebracht werden muss (H19). Durch die konkrete Beschreibung der Anforderungen zur Verwendbarkeit biogener Dämmstoffe, die über Informations- und Beratungsangebote für Fachplaner verteilt werden müssen (H15), verringert sich die Notwendigkeit zur Erstellung von Verwendbarkeitsnachweisen (H11).

Ergebnis: H4, H5, H9, H11, H15, H19

### **Hemmnis 11: Komplexität bei der Erstellung von Verwendbarkeitsnachweisen**

*Beschreibung:* Da der Einsatz von Holz einer großen Anzahl gesetzlicher Beschränkungen unterliegt (siehe hierzu auch Hemmnisse H7 - H10) bzw. in der Normung unzureichend dargestellt wird, besteht die Möglichkeit, über die Erstellung von Verwendbarkeitsnachweisen Holz zum Einsatz zu bringen. So erfordert z.B. das Bauprodukt ‚hochfeuerhemmende Holzbauteile‘ (Begrifflichkeit aus der M-HFH-HolzR, siehe auch Hemmnis 9) auf Grund ihrer Listung in der Bauregelliste A, Teil 2 die Erbringung eines Verwendbarkeitsnachweises in Form eines allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnisses (abP) sowie ein Übereinstimmungszertifikat (ÜZ). Für die Erteilung von Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen sind nach §19 MBO Prüfstellen zuständig, die die Einhaltung der allgemeinen Anforderungen für die Verwendung von Bauprodukten (§16b) nachweisen. Damit ein Hersteller die nach Bauregelliste geforderte Übereinstimmungserklärung abgeben kann, muss er durch eine werkseigene Produktionskontrolle sicherstellen, „dass das von ihm hergestellte Bauprodukt den maßgebenden technischen Regeln, der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung, dem allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnis oder der Zustimmung im Einzelfall entspricht.“ (MBO 2002). Des Weiteren ist zur Zertifizierung eine werkseigene Produktionskontrolle sowie eine Fremdüberwachung Voraussetzung. In Bezug auf das Beispiel der ‚hochfeuerhemmenden Holzbauteile‘ liegen eine geringe Anzahl abP's vor, die von Herstellern von Brandschutzbekleidungen oder der ehemaligen Deutschen Gesellschaft für Holzforschung, deren Forschungsaufgaben der Internationale Verein für technische Holzfragen übernommen hat, beantragt worden. Auch wenn die Erstellung von Verwendbarkeitsnachweisen für den Holzbau eine Möglichkeit des Einsatzes im baurechtlich stark reglementierten Bereich darstellt, erweist sich das Verfahren in der Praxis als zeit- und kostenintensiv und ist daher für den Großteil der Betriebe nicht tragbar.

*Ursache/Abhängigkeiten:* Die Erstellung von Verwendbarkeitsnachweisen ist in der MBO geregelt (B1) und ist für Bauprodukte erforderlich, für die es keine Technischen Baubestimmungen sowie keine allgemein anerkannten Regeln der Technik gibt bzw. das Bauprodukt von einer Technischen Baubestimmung wesentlich abweicht (B7). Der Inhalt der Nachweise ergibt sich aus den Ergebnissen der Forschung bzw. der Prüfergebnisse in den Bereichen der Holzbautechnik und des Brandschutzes (A1, A2). Eine Verwendung von Bauprodukten im Einzelfall ist mit der Zustimmung der obersten Bauaufsichtsbehörde möglich (B4) und stellt eine Vereinfachung für den Einsatz von Holz dar.

Ergebnis: A1, A2, B1, B4, B7

*Auswirkung:* Unmittelbare Auswirkungen ergeben sich durch die geringere Komplexität bei der Erstellung von Verwendbarkeitsnachweisen über die notwendigen gesetzlichen Anpassungen (B1) auf die Kostenstruktur im Holzbau (C2) und somit auf Grund der höheren Wettbewerbsfähigkeit auf die Potentiale zum Einsatz von Holz im Immobilienmarkt (C1.2-4). Zusätzlich unterstützt wird dies durch die Optimierung der Planungsprozesse (C4) in Folge einer höheren Planungssicherheit. Eine steigende Anzahl an Verwendbarkeitsnachweisen erhöht die Anforderung an die Widerspiegelung aktueller Forschungs- bzw. Prüfergebnisse in der Normung (B7), womit der Anteil geregelter und somit normgerecht einsetzbarer Holzkonstruktionen steigt. Die fortlaufenden Aktualisierungen müssen über Fachinformationen sowie Weiterbildungsmöglichkeiten (B5) an die Fachplaner / Firmen kontinuierlich weitergegeben werden um die Möglichkeiten des Einsatzes von Holz zu unterstreichen. Dies führt bei den Behörden zu Erleichterungen im Genehmigungsablauf, da die erweiterte gesetzeskonforme Planung von Holzbau zu einer Reduzierung der Beantragung von Abweichungen führt (B4).

Ergebnis: B1, B4, B5, B7, C1.2-4, C2, C4

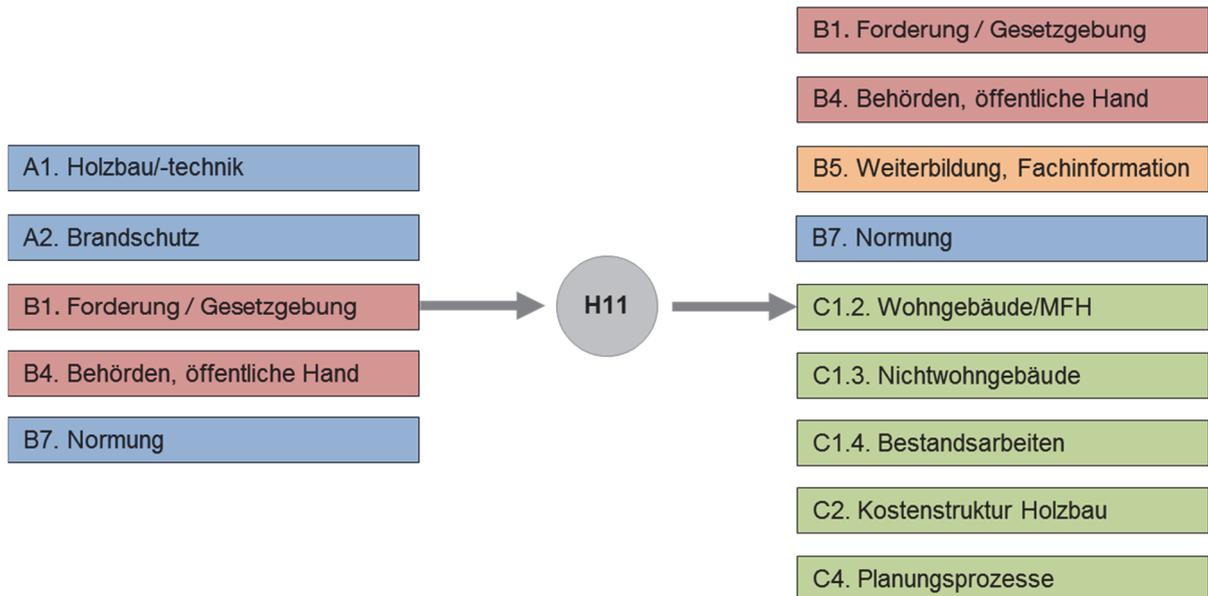


Abbildung 64:  
Grafische Darstellung der Ursachen und Auswirkungen von H11 – Verwendbarkeitsnachweise

**Wirkung auf andere Hemmnisse:** Eine Verringerung der Komplexität führt zu einem erhöhten Kapazitätsbedarf in der Holzbaubranche (H3) z.B. auf gesetzlicher Ebene durch die leichtere Anwendbarkeit von Holzbau in der Gebäudeklasse 5 (H8) sowie im Speziellen durch eine Vereinfachung des Einsatzes biogener Dämmstoffe (H10). Des Weiteren ergeben sich Vereinfachungen im integralen Planungsprozess auf Grund der geringeren Komplexität (H1), was sich auch in der Standardisierung darstellen wird. Für die nicht fachspezifischen Entscheidungsträger erhöht sich der Bedarf an Informations- und Weiterbildungsmöglichkeiten (H16).

Ergebnis: H1, H3, H5, H8, H10, H16

## Hemmnis 12: Geringe Berücksichtigung des klimapositiven Beitrags von nachwachsenden Rohstoffen (Nawaro) bei der Planung von Gebäuden

**Beschreibung:** Mit der Verwendung des nachwachsenden Rohstoffes Holz im Bauwesen sind klimapositive Aspekte verbunden, die bereits ausführlich erläutert (vgl. Kapitel 2, 4 und 5) sowie auf internationaler und nationaler Ebene aufgegriffen wurden (vgl. Kapitel 1 und 5). Eine Berücksichtigung dieser klimapositiven Aspekte auf Gebäudeebene, durch eine frühzeitige Planung, die THG-Minderungspotentiale in der Konstruktion oder einen verstärkte Einsatzmöglichkeiten von Nawaros aufzeigt und ausweist, findet aktuell lediglich im Rahmen einer bewussten Nachhaltigkeitsbetrachtung statt (z.B. Ökobilanzierung i.d. Gebäudezertifizierung). Durch eine frühzeitige Betrachtung der Emissionen und der Optimierung des Einsatzes an Nawaros über den Lebenszyklus von Gebäuden lassen sich die Planung von Gebäuden nachhaltiger gestalten und unterschiedliche Potentiale deutlicher hervorheben.

**Ursache/Abhängigkeiten:** Die Berücksichtigung klimapositiver Potentiale von Holzprodukten auf Gebäudeebene weist eine starke Abhängigkeit auf von der gesellschafts-politischen Debatte zur Umsetzung der Klimaschutzziele, von entsprechenden politischen Zielsetzungen und Fördermaßnahmen (B8) sowie vom ordnungspolitischen Rahmen, wie beispielsweise der EnEV (B1). Eine entscheidende Rolle spielen auch die Präsenz und die Wahrnehmung in der Öffentlichkeit (B3), die maßgebend den gesellschaftlichen Rückhalt prägt. Darüber hinaus ist eine stetige Weiterentwicklung der normativen Grundlagen von Nöten (B7). Die Implementierung der Berechnungsgrundlagen in der Praxis sowie die Entwicklung und der Ausbau einer entsprechenden Datengrundlage für eine Ökobilanzierung von Gebäuden sind ebenfalls von essentieller Bedeutung (A3). Auch kommunale Einrichtungen (B4) können eine entscheidende Rolle spielen, wenn es darum geht klimapolitische Ziele umzusetzen, wie z.B. die Stadt München mit dem CO<sub>2</sub>-Bonus als Teil des Münchner Förderprogramms Energieeinsparung (LHS München, 2016). Die resultierenden Stoffströme durch einen vermehrten Einsatz an Nawaros (Holzprodukten) in Gebäuden stehen in engem Zusammenhang mit dem System Forst (C5) und müssen dementsprechend abgestimmt werden.

Ergebnis: A3, B1, B3, B4, B7, B8, C5

**Auswirkung:** Im Falle einer konkreten Integration klimarelevanter Aspekte in die Planung und Umsetzung von Gebäuden. Auf diese Weise wird die öffentliche Wahrnehmung und Zielsetzung geprägt (B8). Ein dadurch resultierender vermehrter Einsatz von Holz hat einen direkten Einfluss auf die Marktsituation von Holzgebäuden jeglicher Art (C1.1-C1.4) und beeinflusst damit auch die zugrundeliegende Kostenstruktur (C2). Bestehende Planungsprozesse (C4) müssten dahingehend angepasst werden, dass THG-Emissionen in die Bewertung der Energieeffizienz integriert sowie dementsprechend frühzeitig erfasst und geplant werden. Aufgrund der Interdependenz mit dem Bilanzierungssystem Forst aufgrund der Stoffflüsse, steht eine Einbeziehung der Betrachtung der Holzprodukte auch im direkten Zusammenhang mit der Forstwirtschaft (C5) – dem nationalen Kohlenstoffspeicher Wald.

Ergebnis: B8, C1.1-1.4, C2, C4, C5

**Wirkung auf andere Hemmnisse:** Eine Integration des THG-Minderungspotentials oder temporärer Kohlenstoffspeichereffekte von Nawaros auf Gebäudeebene würde einen positiven Einfluss auf die Hemmnisse haben, die ebenfalls einen öffentlich-rechtlichen Hintergrund aufweisen. Um entsprechend das volle Potential auszuschöpfen, steht eine Anpassung der Bauordnungen (H8) sowie eine optimale Verwendung nachwachsender Baustoffe (H10, H13) im Vordergrund. Der klimapositive Beitrag von Holz kann die Planung beeinflussen und benötigt eine frühe und ganzheitliche Betrachtung (H1) sowie das entsprechende Knowhow dieses Potential auch auszuweisen (H15, H16). Im Rahmen einer nationalen Holzbaustrategie würde dieser Aspekt, als Alleinstellungsmerkmal nachwachsender Rohstoffe, ebenfalls eine zentrale Rolle einnehmen (H2) und dementsprechend müssten noch offene Forschungslücken geschlossen (H18) und die Systemkorrelation zum Speicher Forst (H19) untersucht werden.

Ergebnis: H1, H2, H8, H10, H13, H15, H16, H18, H19

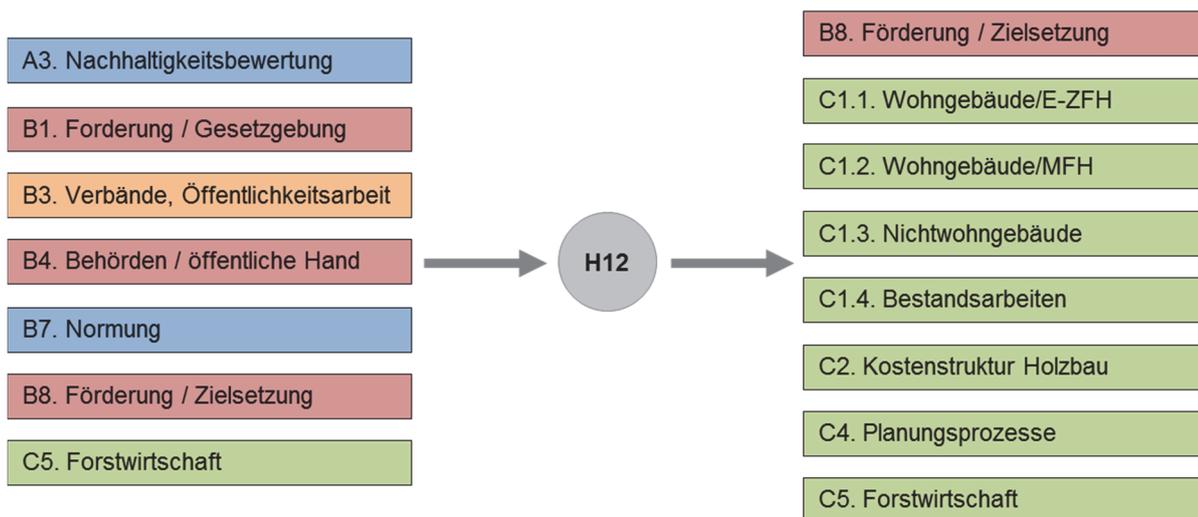


Abbildung 65:

Grafische Darstellung der Ursachen und Auswirkungen von H12 - Klimaschutzbeitrag Nawaro

### Hemmnis 13: Fehlende Szenarien-Entwicklung der weiteren Verwendung von Holzprodukten am Lebensende eines Gebäudes (EoL-Szenarien)

**Beschreibung:** Aktuell findet Abbruch, Rückbau und Entsorgung von Gebäuden (nach DIN EN 15978:2012 EoL – End of Life) nur wenig Beachtung innerhalb der Planung. Dies ist kein Phänomen, das allein die Holzbaubranche betrifft. Allerdings wird aufgrund der fehlenden Entwicklung und Beachtung möglicher Optionen der Holzverwendung nach der Nutzung wertvolles Potential in Bezug auf Kaskadennutzung, Vorfertigung, energetische und stoffliche Nutzung nicht ausgeschöpft und implizierten Risiken nicht entgegengewirkt. Eine Weiterentwicklung und Darstellung inwiefern Stoffkreisläufe beim Bauen mit Holz geschlossen werden können (durch Vorteile in der Bearbeitbarkeit, Füge-techniken und dem Grad der Material-Zerspannung (von Massivholz bis Cellulose) sowie die weitgefächerte Bedarf an holzbasierten Produkten) bietet ein hohes Entwicklungspotential für die Branche.

**Ursache/Abhängigkeiten:** Eine detaillierte Szenarien-Entwicklung, wie am Lebensende von Gebäuden mit Holzprodukten verfahren werden kann, welcher Bedarf und welche Möglichkeiten bestehen, ist in erster Linie abhängig von den Fachbereichen der Holzforschung - dem angewandten Holzbau sowie der Methodik ökologische Vorteile durch Schließen von Stoffkreisläufen darzustellen und zu bewerten

(A1, A3). Wirtschaftliche Aspekte (C2) spielen einen wesentlichen Anteil an dem Interesse und der Umsetzung dieser Entwicklungen. Der aktuelle Stand der Gesetzeslage (B1) spielt ebenfalls eine Rolle an der Abstinenz entsprechender Entwicklungen und der Umfang der zur Verfügung stehenden Fördermittel (B8) beeinflusst die Forschung und Weiterentwicklung von Möglichkeiten maßgeblich. Das Bewusstsein in der Öffentlichkeit für diese Problematik wird in erster Linie von der Öffentlichkeitsarbeit (B3) verschiedener Verbände geprägt und beeinflusst damit langfristig verschiedenste Akteure.

Ergebnis: A1, A3, B1, B3, B8, C2

*Auswirkung:* Für den Fall, dass verschiedene Verwendungsszenarien für Holzprodukte am Lebensende von Gebäuden vorliegen, bedeutet dies eine deutliche Veränderung in der Verwendung und Verfügbarkeit von Holzprodukten (C5) aus Erst- und wiederholter Nutzung, für die Abläufe in der Planung (C4) sowie für die Unternehmen (C3), um zusätzliche Anforderungen zur Weiter- und Wiederverwendung zu berücksichtigen und umzusetzen. Aus wirtschaftlicher Sicht wird der zu Beginn entstehende Mehraufwand gekoppelt mit dem innewohnenden Einsparungspotential auf mittellange Sicht zu einer Veränderung der Kostenstruktur führen (C2). Die entwickelten Szenarien werden ebenfalls wieder rückwirkend Kenntnisse bieten und Auswirkungen auf die Bewertung (A3) und Entwicklung (A1) und Vereinheitlichung (B7) zukünftiger Lösungswege mit einschließen. Dieser Prozess übt ab dem Zeitpunkt, ab dem Lösungen vorliegen auch direkt einen Druck aus auf eine staatliche Regelung oder Festsetzung (B1) im Sinne der Ziele der Bundesregierung zur Ressourceneffizienz.

Ergebnis: A1, A3, B1, B7, C2-C5

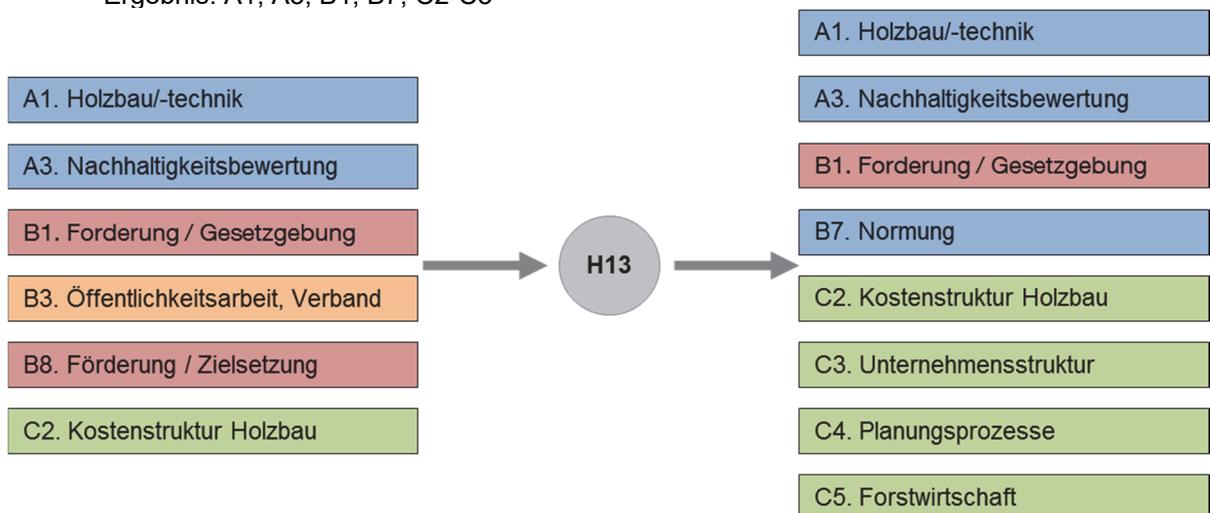


Abbildung 66:  
Grafische Darstellung der Ursachen und Auswirkungen von H13 – EoL-Szenarien

*Wirkung auf andere Hemmnisse:* Die Tatsache, dass das Lebensende von Gebäuden und die weitere Verwendung von Holzprodukten nicht betrachtet werden, wirkt sich deutlich auf die Problematik der ausreichenden Rohstoffverfügbarkeit und -verwendung (H19) sowie der Möglichkeit des Speicherpotentials (H12) aus, das von einer möglichst langen Nutzung profitiert. Eine branchenweite Standardbauweise (H5) würde ebenfalls von der Berücksichtigung der zukünftigen weiteren Verwendung beeinflusst werden und die integrale Planung wird durch die Berücksichtigung der EoL-Phase in der Planung (H1) von Gebäuden ergänzt. Die Vorteile durch das Schließen der Stoffkreisläufe beim Bauen mit Holz spielen wiederum eine wichtige Rolle in der Entwicklung einer geschlossenen Vorgehensweise der Branche (H2) sowie in der Koordination der Forschungsschwerpunkte und erfordern eine geeignete Kommunikation und Vermittlung dieser an Fachplaner (H15) und Entscheidungsträger (H16).

Ergebnis: H1, H2, H12, H15, H16, H19

#### **Hemmnis 14: Fachkräftemangel – geringe Ausbildungsangebote für Architekten und Fachplaner im Holzbau**

*Beschreibung:* Die spezifische Fachrichtung Holzbau spielt in der Ausbildung von Ingenieuren und Architekten in der Regel nur eine untergeordnete Rolle neben den dominierenden Fachbereichen des Massiv- und Stahlbaus. Das Angebot an Universitäten detailliertes Wissen über den Holzbau zu erlangen ist deutschlandweit eingeschränkt. Beispielsweise bieten lediglich 17 von 21 Universitäten in Deutschland Holzbau als Teil der Ausbildung von Bauingenieuren an und im deutschlandweiten Vergleich des Umfangs anhand der zu leistenden Semesterwochenstunden (SWS) der drei konstruktiven Fächer Massiv-, Stahl- und Holzbau nimmt die Ausbildung im Holzbau im Mittel lediglich 19-22 % in

Anspruch (eigene Recherche, s. Anhang 8.5). Neben dem geringen Angebot verlagern sich die Ausbildungsschwerpunkte im Architekturstudium an Universitäten zunehmend weg von einer im Holzbau notwendigen technischen und detaillierten Ausarbeitung der Entwürfe (Ausführungsplanung) hin zu planerischen Gesamt- und Grobkonzepten ohne Detailtiefe. Das geringe Ausbildungsangebot für die fachliche Spezialisierung im Holzbau gepaart mit dem allgemeinen Mangel an Bauingenieuren und dem steigenden Bedarf im Bereich des Holzbaus verschärft den Mangel zusätzlich.

**Ursache/Abhängigkeiten:** Das Angebot an Universitäten und Hochschulen wird primär von der entsprechenden Hochschulleitung und den Professoren beschlossen und entwickelt (B6), das im Bezug zum Stellenbedarf und den Anforderungen der Wirtschaft steht, was wiederum davon abhängt wie das öffentliche Bewusstsein (B3), die gesellschaftliche Zielsetzung (B8) und der Wissensstand der Fachplaner (B5) bzgl. des Themas Holzbau geprägt sind. Zudem kann auch lokal vorhandener, traditioneller Bezug zum Holz an Hochschulen eine starke Rolle spielen inwiefern neue Fachbereiche integriert werden. Das Holzbau-Angebot an Hochschulen kann von staatlicher Seite über eine Anpassung der beruflichen Vergütungsstruktur (B1) geschehen, die aktuell einen höheren Planungsaufwand für Baustoffe wie Holz nicht berücksichtigt und damit den Holzbau für angehende Planer unattraktiver darstellt.

Ergebnis: B1, B3, B5, B6, B8

**Auswirkung:** Die Ausbildung geeigneter Fachkräfte für den Holzbau ist ein langjähriger Prozess, der auf der einen Seite für die Unternehmen essentiell ist, den aktuellen Herausforderungen nachzukommen (C3) und auf der anderen Seite eine deutliche Auswirkung auf die Kosten (C2), die Qualität und die Dauer der Planung (C4) im Allgemeinen darstellt. In zweiter Instanz wirken sich diese Aspekte ebenfalls auf das potentielle realisierbare Planungsvolumen und den Immobilienmarkt. Mehr Fachplaner im Holzbau erhöhen ebenfalls die Planungs- und Forschungskapazität im Holzbau (A1) und in den Holzbau nahen Fachbereichen (A2-A5) und bilden die Grundlage für eine verstärkte Lehre an Hochschulen (B6) und in der Wissensvermittlung (B5).

Ergebnis: A1-A5, B5, B6, C2-C4

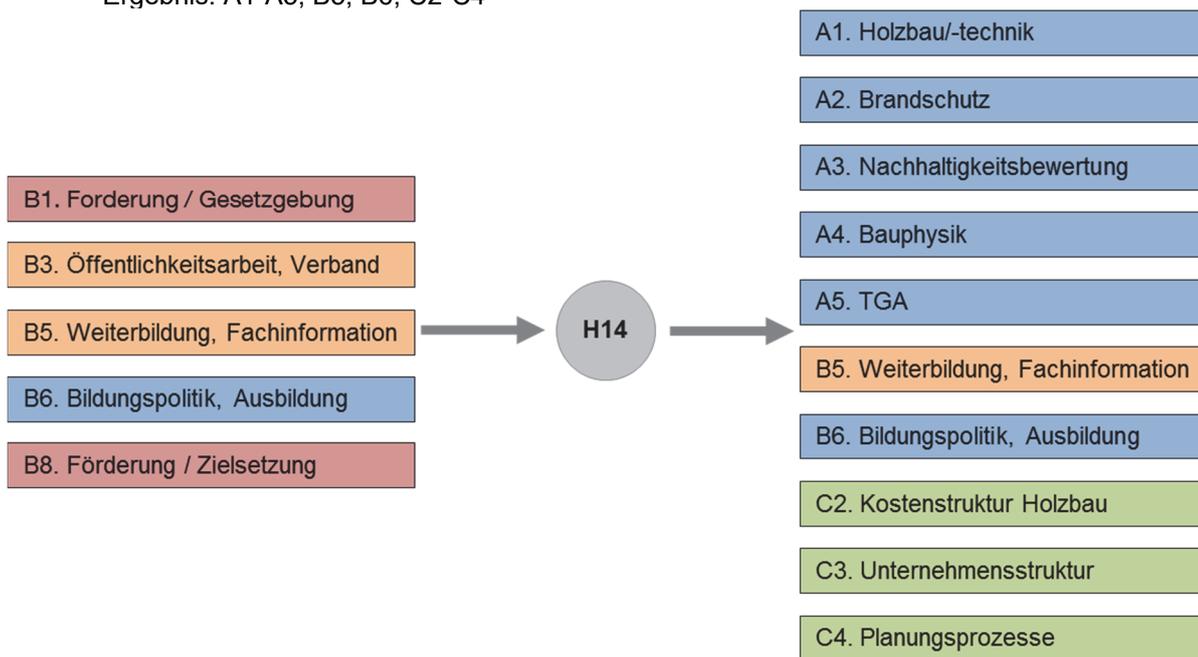


Abbildung 67:  
Grafische Darstellung der Ursachen und Auswirkungen von H14 – Fachkräftemangel

**Wirkung auf andere Hemmnisse:** Der Mangel an geeigneten Fachkräften spezifisch im Bereich des Holzbaus steht in direkter Verbindung mit der fraglichen Kapazität mehrgeschossige Bauprojekte in Holzbauweise zu realisieren (H3). Planungsprozess optimal und integral zu erfüllen (H1, H6) hängt ebenfalls davon ab, dass ausreichend qualifiziertes Fachpersonal vorhanden ist und die Betriebe die notwendigen Personalressourcen (H11) aufbringen können. Wie im vorherigen Absatz dargestellt bieten mehr Fachkräfte im Holzbau eine verbesserte Aus- und Weiterbildungssituation und die Möglichkeit Informationen in ausreichender Qualität und Quantität anderen Fachplanern zur Verfügung zu stellen (H15) sowie derartig aufzubereiten, um nicht fachspezifische Entscheidungsträger aufzuklären und zu beraten (H16). Holzbau Experten werden ebenfalls zur Entwicklung der Normung (H4) sowie zur Weiterentwicklung und Forschung (H12) benötigt.

Ergebnis: H1, H3, H4, H6, H11, H12, H15, H16

## Hemmnis 15: Geringe Informations- und Beratungsangebote zu Detail- und Ausführungslösungen für Fachplaner

**Beschreibung:** Der Holzbau wird durch das einerseits vielseitige, vorteilhafte und andererseits anisotrop und technisch herausfordernde Material Holz charakterisiert. Für eine volle Potentialentfaltung und die zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten wurde eine Vielzahl an Entwicklungen, Lösungen und Detaillösungen erarbeitet. Obwohl bereits Informationsportale und Kataloge (vgl. Gräfe et al. 2014, oder dataholz.com) bestehen, die den aktuellen Stand der technischen Möglichkeiten zur Ausführung von Details und Bauweisen enthalten, sind diese für einen intensiven Gebrauch entweder noch nicht entsprechend aufbereitet, nicht bekannt oder schwer zugänglich. Für einen Aufbau an Expertise zukünftiger Fachplaner im Holzbau fehlen noch zur autodidaktischen Aneignung des Fachwissens einer übersichtliche, zentrale Darstellung der Lösungen sowie Ansprechpartner für spezifische Fachfragen zur Anwendung in der Praxis, für einen effektiven und effizienten Planungsprozess.

**Ursache/Abhängigkeiten:** Für eine zentrale Aufbereitung und Präsentation der technischen Möglichkeiten, ebenso wie Beispielprojekte, Kataloge und Informationsportale sind primär die entsprechenden Interessensvertreter und Verbände der Fachplaner zuständig (B3), die im Holzbau zum Großteil sehr kleinteilig aufgebaut sind. Selbstverständlich müssen Detail- und Ausführungslösungen innerhalb der komplexen Fragestellungen von den verschiedenen Fachgebieten gemeinsam entwickelt und erarbeitet werden (A1-A5). Die didaktische Kunst der Weitervermittlung von bereits generiertem Wissen ist eine der großen Herausforderungen für Weiterbildungsmaßnahmen und dem Angebot an Fachinformationen (B5).

Ergebnis: A1-A5, B3, B5

**Auswirkung:** Ein übersichtliches und vollständiges Angebot an passend aufbereiteten Fachinformationen und Beispielen zu Detail- und Ausführungslösungen hat einen erheblichen Einfluss auf den effizienten Ablauf von Planungsprozessen (C4) und die Einsparung von Planungskosten (C2), durch die Verringerung des zeitlichen Aufwands. Außerdem können bestehende Lösungen stetig optimiert und weiterentwickelt werden (B5). Unternehmen können auf ein derartiges Angebot zurückgreifen (C3), um etwaige Wissenslücken zu schließen, sich Knowhow anzueignen und Risiken zu minimieren. Darauf aufbauend bietet ein Angebot an Wissen und Lösungsmöglichkeiten das Potential Fehler in der Planung zu vermeiden, Planungsprozesse zu optimieren und damit insbesondere den mehrgeschosigen Holzbau (C1.2, C1.3) und das Bauen im Bestand (C1.4) voranzubringen.

Ergebnis: B5, C1.2-C1.4, C2-C4

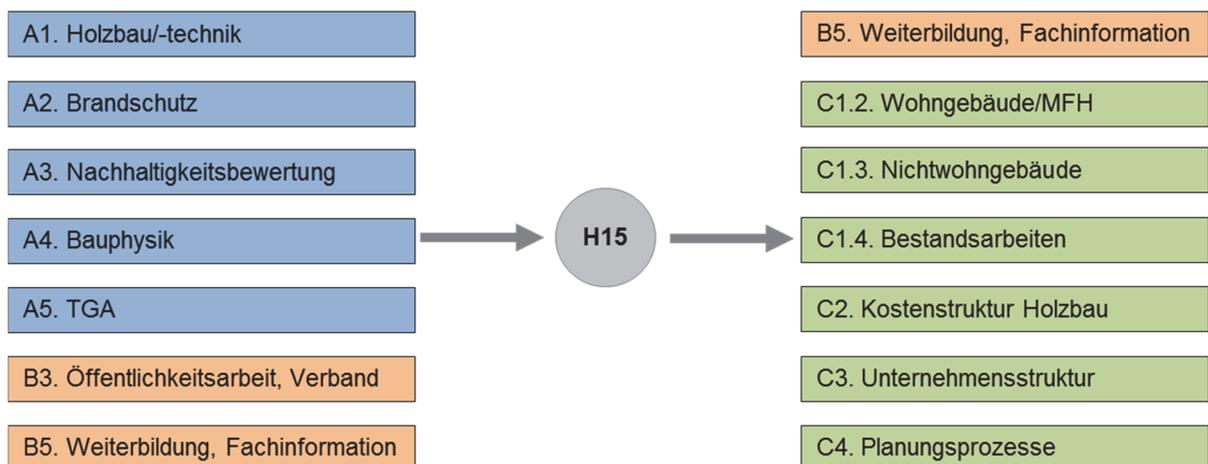


Abbildung 68:

Grafische Darstellung der Ursachen und Auswirkungen von H15 – Fachinformationsangebot

**Wirkung auf andere Hemmnisse:** In dem Falle, dass ausreichende Informations- und Beratungsangebote für Fachplaner bestehen, könnten diese ohne großen Aufwand auf verständliche Weise für nicht fachspezifische Entscheidungsträger aufbereitet und heruntergebrochen werden (H16). Außerdem könnte dieses Angebot explizit weiterführende Sachverhalte erläutern (H14) und würde die Notwendigkeit neue Lösungen zu entwickeln minimieren (H11). Die Optimierung der Planungsprozesse durch ein besseres Wissensangebot beinhaltet die Möglichkeit fehlerfrei, effizient und effektiv zu Planen (H1, H6), Kapazitätslücken zu schließen (H3) sowie eine Grundlage für einen gemeinsamen Standard im Holzbau zu etablieren (H5).

Ergebnis: H1, H3, H5, H6, H11, H12, H16

## Hemmnis 16: Geringe Informations- und Weiterbildungsmöglichkeiten nicht fachspezifischer Entscheidungsträger

**Beschreibung:** Der Wissensstand über den aktuellen Stand der Technik und technische Möglichkeiten und Eigenschaften ist maßgebend dafür, wie in Fragestellungen der Bau- und Genehmigungsverfahren sowie der Rechts- und Förderpolitik entschieden wird. Um möglichen Risiken aus dem Weg zu gehen und aufgrund der Tatsache, dass teilweise wenig oder keine Erfahrung (mehr) im Bereich des Bauens mit Holz vorhanden ist, wird häufig gegen eine Realisierung von Bauwerken in Holzbauweise und für bereits etablierte Bauweisen entschieden (vgl. Kapitel 6.1.2). Der Zugang und die Vermittlung (Fortbildung) relevanter Informationen für fachfremde Entscheidungsträger sind derzeit nur sehr eingeschränkt präsent, oder nicht entsprechend reduziert und verständlich aufbereitet.

**Ursache/Abhängigkeiten:** Die Art und Weise wie Informationen für Außenstehende aufbereitet werden, hängt einerseits von der Kommunikationsarbeit der Interessensverbände nach außen (B3) und von der Wissensvermittlung durch geeignete Medien- und Veranstaltungsangebote (B5, B6) ab. Andererseits stehen die Entscheidungsträger selber (B4) in der Holschuld sich bei ausreichendem Angebot die notwendigen Informationen zu besorgen oder sich entsprechend fortzubilden.

Ergebnis: B3-B6

**Auswirkung:** Von einem Informationsangebot über die Besonderheiten des Bauens mit Holz, das optimal in Bezug auf Umfang, Tiefe und Darstellung abgestimmt ist, profitieren in erster Linie die Entscheidungsträger in Bau- und Genehmigungsprozessen (B4) sowie in der Rechts- und Förderungspolitik (B1, B8). Dies wirkt sich direkt auf den Immobilienmarkt, insbesondere in den komplexeren mehrgeschossigen Bauvorhaben aus (C1.2, C1.3). Darüber hinaus können verständlich aufbereitete Inhalte wiederum in der grundlegenden Aus- und Weiterbildung eingesetzt werden (B5, B6) sowie Diskussionen und Problemsituationen in Planungsphasen mit im Holzbau unerfahrener Beteiligung bereichern (C4).

Ergebnis: B1, B4-B6, B8, C1.2, C1.3, C4

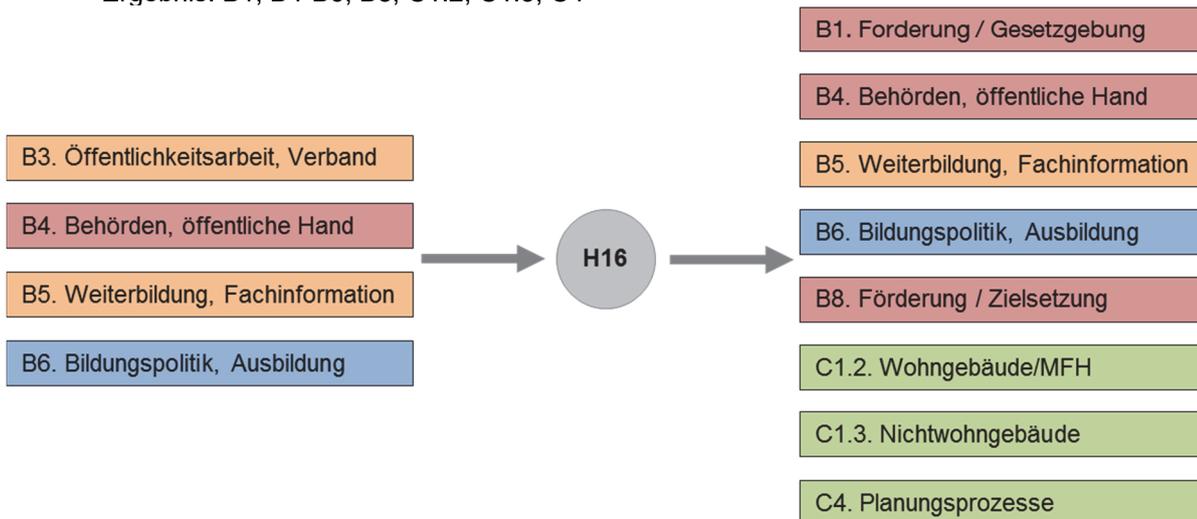


Abbildung 69:

Grafische Darstellung der Ursachen und Auswirkungen von H16 – Weiterbildungsangebot

**Wirkung auf andere Hemmnisse:** Eine Verbesserung des Informationsangebots für fachfremde Entscheidungsträger würde selbstverständlich die Entscheidungen bzgl. der Holzverwendung aus verschiedenen Motivationshintergründen (H12, H17) maßgeblich beeinflussen und sich damit auch langfristig auf die Verfügbarkeit der Ressource Holz auswirken (H19). Durch ein besseres Bewusstsein für das Potential und die Herausforderungen des Bauens mit Holz profitieren die aktuellen baurechtlichen Entwicklungen (H7, H8, H10, H11) ebenso wie förderrechtliche Entscheidungen (H18).

Ergebnis: H7, H8, H10-H12, H17-H19

## Hemmnis 17: Fehlende Differenzierung zwischen natürlichen und synthetischen Emissionen aus Holzprodukten

**Beschreibung:** Die Qualität von Innenraumlufte und Emissionen aus Bauprodukten ist innerhalb der letzten Jahrzehnte immer stärker in den Fokus gerückt. Berichte in Bezug auf erhöhte Formaldehydkonzentrationen und die Frage nach der Toxizität bestimmter flüchtiger organischer Verbindungen (Volatile Organic Compounds = VOC) haben immer mehr Aufmerksamkeit erregt. Insbesondere Holzwerkstoffplatten – Produkte der Holzbaubranche – sind in den Vordergrund geraten und entfachen

Diskussionen in Bezug auf Wohnqualität, Gesundheit und Hygiene. Innerhalb dieser Diskussionen fehlt eine differenziertere Betrachtung zwischen natürlichen - bis zu einem bestimmten Grad möglicherweise gesundheitsfördernder - und synthetischer Emissionen. Der Einfluss der Schichttiefe innerhalb eines Bauteils ist nicht geklärt und kann daher nicht fundiert dargelegt werden. Ebenso fehlt ein Mitbeziehen der starken Inhomogenität nicht nur innerhalb einer Baumart sondern auch zwischen verschiedenen Baumarten. Der Stand der Holzbauforschung ist an diese Fragstellungen anzupassen.

**Ursache/Abhängigkeiten:** Forschung im Bereich des Holzbaus bildet die Grundlage dieses Hemmnisses (A1). Der vermehrte Einsatz und die Nachfrage nach Holzbauprodukten aufgrund eines verstärkten Nachhaltigkeitsgedanken bilden die Grundlage der Diskussionen nach deren Einsetzbarkeit (A3). Die ganzheitliche Qualität von Wohn- und Arbeitsräumen wird durch fehlenden Luftwechsel als Folge verschärfter Energieeinsparverordnung (EnEV) immer stärker beeinflusst (B1). Somit haben die bauphysikalischen Eigenschaften der raumbildende Bauteile (A4) und die vorhandene Luftwechselrate (A5) einen starken Einfluss auf die Zusammensetzung der Innenraumluft. Veröffentlichungen bezüglich Richt- sowie Orientierungswerten für bestimmte Emissionsgruppen vergrößern die Wichtigkeit dieses Hemmnisses (B4). Ansprüche in Bezug auf Wohnqualität, Gesundheit und Hygiene werden durch allgemeine gesellschaftliche Ziele beeinflusst (B8).

Ergebnis: A1, A3, A4, A5, B1, B4, B8

**Auswirkung:** Es wäre wünschenswert innerhalb der Forschung die gesundheitliche Interaktion Holz – Mensch – Raum ganzheitlich zu analysieren (A1). Ein geplantes Forschungsprojekt an der TUM soll die unmittelbaren Auswirkungen von Holz und holzbasierten Produkten auf die Wohngesundheit, das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit des Menschen wissenschaftlich untersuchen (vgl. TUM 2016). Die Chance sollte geschaffen werden, möglichen negativen Aspekten der Holzverwendung im Innenraum über eine potentielle Verbesserung baubiologischer und bauphysikalischer Eigenschaften lösungsorientiert zu begegnen (A4). Ergebnisse könnten Bewertungssysteme beeinflussen, welche auf nationaler Ebene innerhalb des Umweltbundesamtes (B4) sowie auf europäischer Ebene innerhalb des europäischen Normungskomitees CEN/TC 351 (B7) erarbeitet werden. Insgesamt wäre eine entsprechende Informationsweiterleitung in Form von Öffentlichkeitsarbeit sowie die Weitergabe des Fachwissens in entsprechenden Weiterbildungsmöglichkeiten von Nöten (B3).

Ergebnis: A1, A4, B3, B4, B7

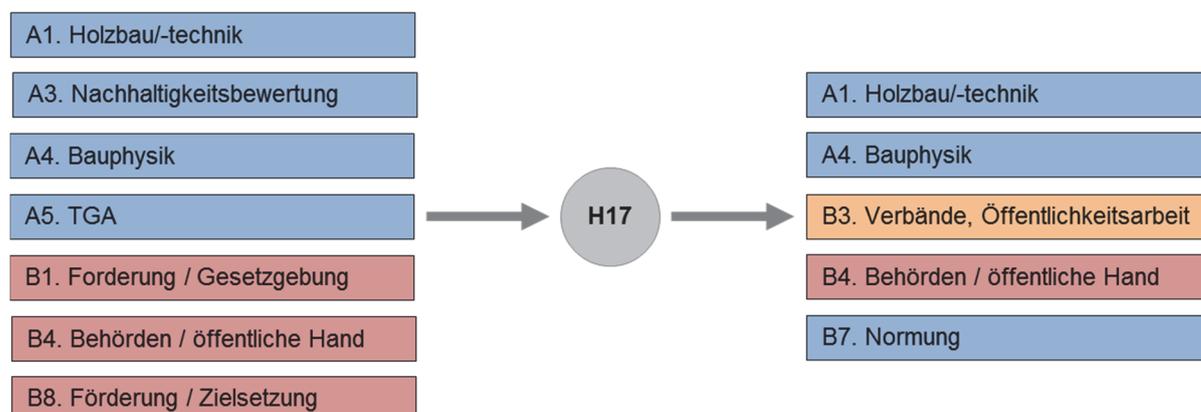


Abbildung 70:

Grafische Darstellung der Ursachen und Auswirkungen von H17 – Emissionen im Innenraum

**Wirkung auf andere Hemmnisse:** Neue Erkenntnisse im Bereich der Wohnqualität und Gesundheit würden Input für eine nationale Holzbaustrategie (H2), den aktuellen Stand der Normung (H4) sowie Antrieb für die Berücksichtigung des kohlenstoffbindenden Beitrags von Holz (H12) bedeuten. Im Falle positiver Erkenntnisse in Bezug auf Holz, Holzwerkstoffen und biogenen Materialien könnte dies eine gesteigerte Nachfrage nach Holzprodukten mit sich ziehen (H10). Die Erkenntnisse benötigen eine geeignete Kommunikation und eine Vermittlung dieser an Entscheidungsträger (H16).

Ergebnis: H2, H4, H10, H12, H16

### Hemmnis 18: Das Fehlen einer übergeordneten Institution zur Förderung/Koordination der Wissenschaft und Forschung im Holzbau

**Beschreibung:** Mit dem Wegfall der DGfH (Deutsche Gesellschaft für Holzforschung) im Jahr 2009 durch die Auflösung des Holzabsatzfonds und den damit verbundenen Fördergeldern, fehlt ein zentrale Institution für die Initiierung, Koordination und Bewertung von Wissenschafts- und Forschungsarbeiten

für den Holzbau (BVerfG 2009). Eine koordinierte Forschung im Holzbau bietet das Potential effektiv offene Fragestellungen zu schließen, zeitnah auf politisch- oder praxisrelevante Anforderungen Antworten zu bieten und die interdisziplinäre Kompetenz auszubauen.

*Ursache/Abhängigkeiten:* Inwiefern Wissenschaft und Forschung im Holzbau vorangetrieben und koordiniert wird, hängt primär von den Forschungsinstituten selber (A1-A5), den Interessensvertretern und Verbänden der Branche (B3) sowie von der Bereitschaft der Stakeholder aus der Holzwirtschaft ab, diese zu unterstützen. Die Fachbereiche in Forschung und Technik (A1-A5) sind darüber hinaus auch für eine koordinierte Zusammenarbeit und Abstimmung mit verantwortlich. Die zur Verfügung stehenden Fördermittel, können unterschiedlicher Quelle sein und hängen in erster Linie von der allgemein anerkannten Zielsetzung ab (B8).

Ergebnis: A1-A5, B3, B8

*Auswirkung:* Wie bereits beschrieben, betreffen die Auswirkungen einer fehlenden Koordinationsstelle primär die stringente und gezielte Forschungstätigkeit im Holzbau (B8). Diese steht im direkten Zusammenhang mit der Entwicklung und Forschung (A1-A5), der Übertragung und Aktualisierung der Normung (B7) sowie der Weitervermittlung verschiedener Lösungen und Informationen im Holzbau (B5). Der Einfluss der aufgrund einer koordinierten Erarbeitung und einem Abarbeiten relevanter Fragestellungen auf gesetzliche Entscheidungen (B1) besteht, ist dabei nicht zu unterschätzen. Im weiteren Sinne hat eine koordinierte Steuerungsstelle im Holzbau weitreichende Folgen für die Holzbaubranche als Ganzes.

Ergebnis: A1-A5, B1, B5, B7, B8

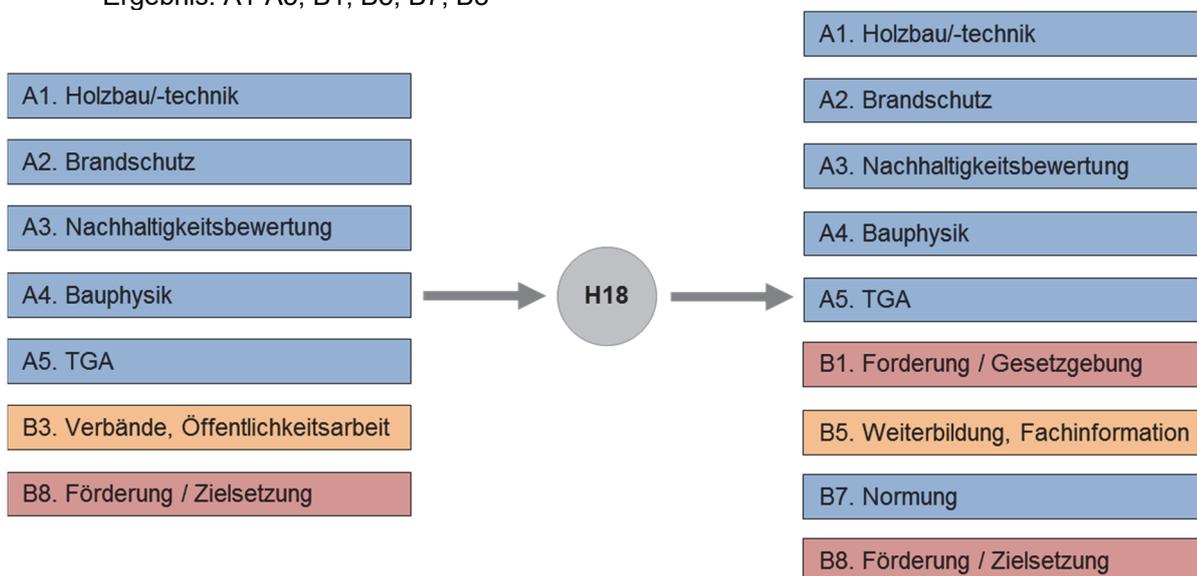


Abbildung 71:  
Grafische Darstellung der Ursachen und Auswirkungen von H18 – Forschungskoordination

*Wirkung auf andere Hemmnisse:* Eine koordinierte Forschungsarbeit im Bereich des Holzbaus bietet das Potential gezielt offene Themengebiete zu priorisieren, zügig zu erschließen und weiterzuentwickeln, z.B. wie TGA integral implementiert (H6), neue biogene Werkstoffe zur Anwendungsreife geführt (H10), oder Bewertungsmethoden und aktuelle Fragestellungen (H12, H13, H17, H19) erschlossen und beantwortet werden können. Darüber hinaus bietet eine zentrale Steuerung der Forschungstätigkeiten die Möglichkeiten geeignete Strategien und Standards zu entwickeln, zu etablieren und voranzutreiben (H2, H5) sowie technische Sachverhalte in politisch-relevanten Entscheidungsprozessen zu beantworten und damit diese gezielt zu beeinflussen (H8, H9).

Ergebnis: H2, H5, H6, H8-H10, H12, H13, H17, H19

**Hemmnis 19: Unsichere Rohstoffverfügbarkeit**

*Beschreibung:* Die Ressource Holz wird abgesehen von der stofflichen Verwendung im Bauwesen in einer Vielzahl von Industriezweigen verwendet. Beispielsweise steigt die Bedeutung der energetischen Verwendung von Frischholz zur Substitution fossiler Energieträger stetig. Sowohl auf globaler als auch auf nationaler Ebene sieht sich der Forstsektor starker Veränderungen gegenüber – z.B. dem Kampf gegen Abholzung, der Ressourcenverknappung durch Holzschädlinge (Borkenkäfer) oder der Veränderung der Holzbestände durch die Klimaveränderung (Winter 2016). Vor diesem Hintergrund muss

der Umgang mit der nachwachsenden Ressource Holz trotz aktuell hoher Verfügbarkeit mit Bedacht gewählt werden und vermehrt der Fokus auf eine kaskadenartige Nutzung gelegt werden.

*Ursache/Abhängigkeiten:* Neben schwer beeinflussbaren, globalen Einflüssen auf die weltweiten Forstgebiete, bestehen von staatlicher Seite aus Möglichkeiten über entsprechende fordernde (B1) oder fördernde (B8) Maßnahmen – wie u.a. auch bereits vorhanden – eine nachhaltige Verfügbarkeit des Rohstoffs Holz auch zukünftig zu gewährleisten. Die Interessensverbände (B3) stehen ebenfalls in der Verantwortung das notwendige Wissen für eine sinnvolle Verwendung und entsprechende Bewertungsmöglichkeiten (A3) zu fördern und zu forcieren. Selbstverständlich steht die Rohstoffquelle Forstwirtschaft (C5), mit einer komplexen Markt- und vielseitigen Bedarfssituation, als primäre Abhängigkeit der Rohstoffverfügbarkeit im Vordergrund.

Ergebnis: A3, B1, B3, B8, C5

*Auswirkung:* Eine gesicherte Rohstoffversorgung ist die Grundlage für eine sichere Entwicklung der Branche und Unternehmen (C3) und für die Minimierung von Kostenrisiken aufgrund einer möglichen Rohstoffverknappung (C2). Die aktuell unsichere Lage aufgrund gestiegener Nachfrage von verschiedenen Seiten und neuen Herausforderungen durch Klimaveränderungen und Globalisierung bedarf einer regulierenden Reaktion von staatlicher Seite (B1, B8) und eine entsprechende Positionierung der gesamten Holzverarbeitenden Branche (B3). Die Relevanz und Lösungsansätze muss entsprechend an relevante Entscheidungsträger in geeigneter Form vermittelt werden (B5).

Ergebnis: B1, B3, B5, B8, C2, C3, C5

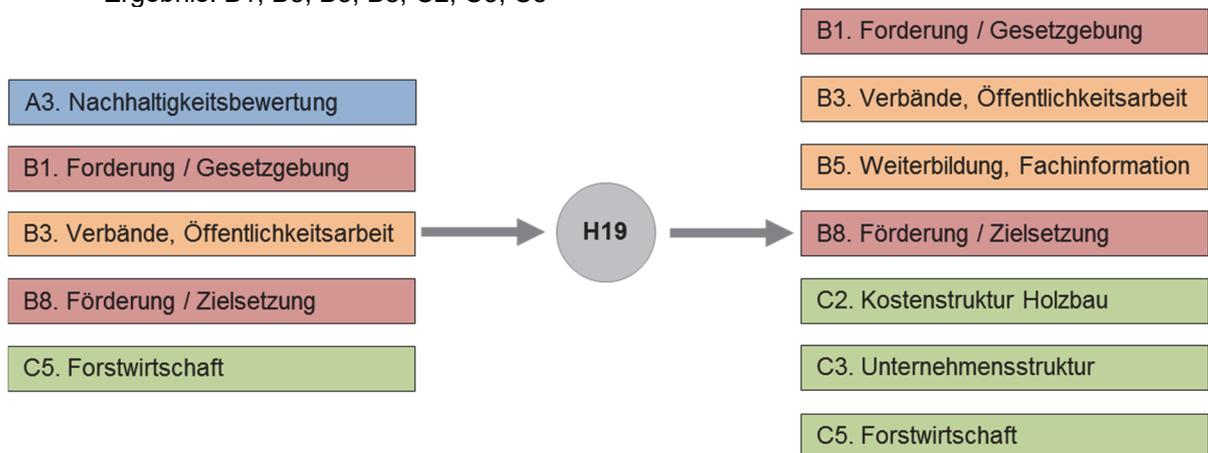


Abbildung 72:

Grafische Darstellung der Ursachen und Auswirkungen von H19 – Rohstoffverfügbarkeit

*Wirkung auf andere Hemmnisse:* Die Problematik der unsicheren Rohstoffversorgung und die damit geschilderten Herausforderungen müssen eine essentielle Rolle in der Entwicklung einer einheitlichen Vorgehensweise der Branche spielen (H2) und stehen in direkter Verbindung mit dem klimapositiven Beitrag von Holz (H12). Die Frage nach einem verstärkten Einsatz von Holz und Holzwerkstoffen (H3, H10) sowie die Entwicklung entsprechender Szenarien, die eine Kaskadennutzung, Wiederverwendung oder Recycling ermöglichen (H13), stehen dabei besonders im Vordergrund. Außerdem bedingt die Relevanz dieser Problematik in Verbindung mit nationalen Zielsetzungen, eine Auseinandersetzung und einen Informationsbedarf (H16) seitens der entsprechenden Entscheidungsträger, was die Förderung und Koordination (H18) betrifft.

Ergebnis: H2, H3, H10, H12, H13, H16, H18

## 6.2 Analyse von Hemmnissen

### 6.2.1 Allgemeines Vorgehen in der Analysephase

Aufbauend auf den Ergebnissen aus dem vorhergehenden Kapitel werden im Folgenden die aufgestellten Relationen (Abhängigkeiten und Auswirkungen) der einzelnen Hemmnisse weiter analysiert, um verschiedene Aussagen daraus zu extrahieren. Maßgebende Fragestellungen innerhalb der Analysephase waren dabei:

- **Komplexität** – *Wie schwierig sind aktuelle Herausforderungen der Holzbaubranche zu beeinflussen?*
- **Beeinflussbarkeit** – *Wer kann eine bestimmte Herausforderung beeinflussen?*

- **Relevanz** – *Wie intensiv wirkt sich die Herausforderung auf die Holzbaubranche aus?*
- **Beeinflussung** – *Wer wird von dem Abbau einzelner Hemmnisse beeinflusst?*
- **Steuerbarkeit** – *Wie kann eine Herausforderung andere Hemmnisse aktiv steuern?*
- **Rückkopplung** – *Wo besteht die Gefahr/Potential von Rückkopplungen?*

Im Folgenden wird zwischen zwei wesentlichen Kontextperspektiven unterschieden. Auf der einen Seite werden die aktuellen Herausforderungen vor dem Hintergrund der Branche und ihrer Einbindung in Form von Abhängigkeiten und Auswirkungen auf bestimmte Fachbereiche nach der zuvor entwickelten Kategorisierungsstruktur betrachtet und analysiert (s. Kap. 6.2.2). Auf der anderen Seite werden die Hemmnisse im Kontext der Gesamtproblematik aller aktuellen Herausforderungen untersucht, u.a. inwiefern die Hemmnisse sich untereinander beeinflussen, voneinander abhängen und im Gesamtsystem fungieren (s. Kap. 6.2.3).

### Bewertung der Ergebnisse

Die im Kapitel 6.1.5 qualitativ aufgestellten Relationen werden im Folgenden quantitativ weiter bewertet und analysiert. Dieses Vorgehen ermöglicht eine verständliche Darstellung wesentlicher Zusammenhänge und bietet eine erste Grundlage für konkrete Handlungsempfehlung. Auf der anderen Seite suggeriert eine zahlenmäßige Darstellung qualitativer Zusammenhänge immer auch eine eindeutige Aussage, die allerdings derartig nicht gegeben ist. Die nachfolgenden Ergebnisse stellen eine Basis zur Einschätzung der relevanten Indikatoren dar und sind in einem hohen Maß dynamisch und differenziert zu betrachten und zu bewerten.

### 6.2.2 Analyse der Hemmnisse im Branchenkontext

Auf der Betrachtungsebene im Branchenkontext werden ausschließlich die Abhängigkeiten und Auswirkungen der jeweiligen Hemmnisse in Bezug auf die Fachbereiche entsprechend der Kategorisierung der Holzbaubranchen (vgl. Kapitel 6.1.3) betrachtet.

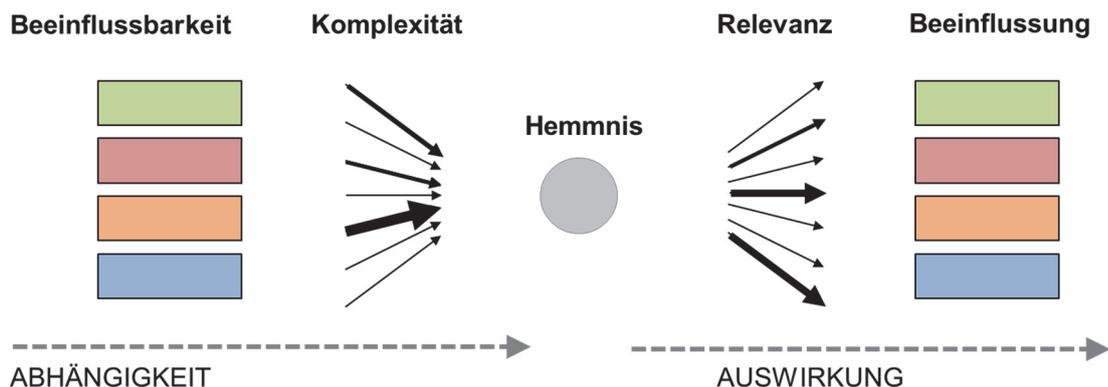


Abbildung 73:  
Darstellung der Herleitungen einzelner Indikatoren der Hemmnis-Analyse

Ausgehend von einem jeweiligen Hemmnis werden seitens der Abhängigkeiten die Fragestellungen ‚Von welchem Fachbereich besteht die Abhängigkeit?‘, ‚Wie stark sind die Abhängigkeiten?‘ und ‚Wie viele Abhängigkeiten bestehen?‘ untersucht und analog seitens der Auswirkungen ‚Wie viele Auswirkungen bestehen?‘, ‚Wie stark sind die Auswirkungen?‘ und ‚Auf welchen Fachbereich besteht die Auswirkung?‘.

### Indikator der Komplexität

Auf Grundlage der erarbeiteten Korrelationen bzgl. der Abhängigkeiten der Hemmnisse im Kontext der Holzbaubranche lässt sich der Fragestellung nachgehen, wie schwierig diese Herausforderungen der Holzbaubranche zu beeinflussen sind. Als Indikator der Komplexität wird sowohl die Quantität – wie viele einzelne Abhängigkeiten (Anzahl der Abhängigkeiten) eines Hemmnisses von den verschiedenen Fachbereichen bestehen, als auch die Qualität betrachtet – wie stark diese von den Fachbereichen abhängen. In Bezug auf die Intensität der jeweiligen Abhängigkeiten werden vier Bereiche unterschieden:

- 0 - das Hemmnis X hat keine oder fast keine Abhängigkeit von dem Fachbereich X
- 1 - das Hemmnis X hat eine leichte Abhängigkeit von dem Fachbereich X
- 2 - das Hemmnis X hat eine direkte proportionale Abhängigkeit von dem Fachbereich X
- 3 - das Hemmnis X hat eine starke / sehr starke Abhängigkeit von dem Fachbereich X

Die Zuordnung der einzelnen Abhängigkeitsgrade resultiert aus den Ergebnissen des Stakeholder-Workshops, der argumentativen Grundlage aus Kap. 6.1.5 (vgl. Anhang 8.5) und der Diskussion im Projektteam.

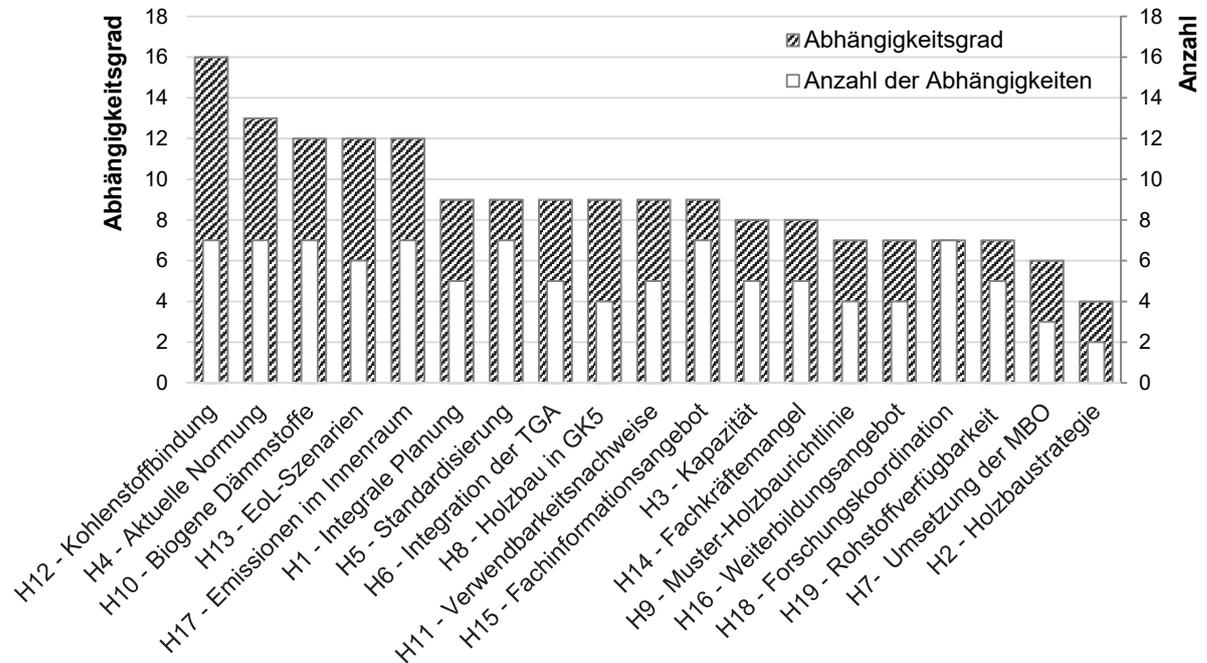


Abbildung 74:  
Indikator der Komplexität – Darstellung der Hemmnisse nach Abhängigkeitsgrad

Das Ergebnis der gewichteten Bewertung der Abhängigkeiten ist in Abbildung 74 ersichtlich. Vor dem Hintergrund der Methodik, kann in diesem Fall keine absolute Aussage über die unterschiedliche Komplexität der Abhängigkeiten einzelner Hemmnisse getroffen werden (z.B. „H12 ist doppelt so komplex wie H8“). Dennoch bestätigen die Ergebnisse des Komplexitäts-Indikators die Vielschichtigkeit der Bewertung klimapositiver Aspekte nachwachsender Rohstoffe (H12), oder Hemmnisse die sich noch vielen offenen Fragen gegenüber sehen (H10, H13, H17) im Vergleich zu Problemen H2, H7), die relativ deutlich von wenigen Bereichen abhängen, was allerdings nicht bedeutet, dass diese Abhängigkeiten trivial zu lösen wären.

### Indikator der Beeinflussbarkeit

Im Zusammenhang mit der Frage nach der Verantwortlichkeit ergibt sich die Frage nach der Beeinflussbarkeit – welcher Themen-Cluster kann das Hemmnis maßgeblich beeinflussen? In diesem Kontext wird nun der in Abbildung 74 dargestellte Abhängigkeitsgrad entsprechend zurückverfolgt, von welchem Fachbereich diese Abhängigkeit besteht. Auf diese Weise ergibt sich eine prozentuale Verteilung der Abhängigkeitsgrade von den jeweiligen Themen-Clustern, die bestimmte Fachbereiche zusammenfassen (s. Kapitel 6.1.3). In Abbildung 75 wird die Beeinflussbarkeit eines Hemmnisses durch den dahinterstehenden Themen-Cluster grafisch dargestellt. Die Charakteristik (Wie viele?/Wie stark?) der Abhängigkeiten ist in dieser Abbildung nicht ersichtlich (vgl. hierzu Abbildung 74).

Die Darstellung zeigt durch die durchgängige farbliche Verteilung, dass kein einziges Hemmnis lediglich von einer Thematik abhängt. In den meisten Fällen ist ein Themen-Schwerpunkt ersichtlich, der eine gewisse Hauptverantwortung trägt, was in der späteren Entwicklung von Handlungsempfehlungen wieder aufgenommen wird (vgl. Kapitel 6.3). Zudem können einzelne Hemmnisse (H19), die keine hohe Komplexität insgesamt aufweisen, Abhängigkeiten von sämtlichen Themen-Clustern beinhalten, wie es i.d.R. bei den Hemmnissen auftritt, die auch einen hohen Komplexitätsgrad aufweisen (H12, H13).

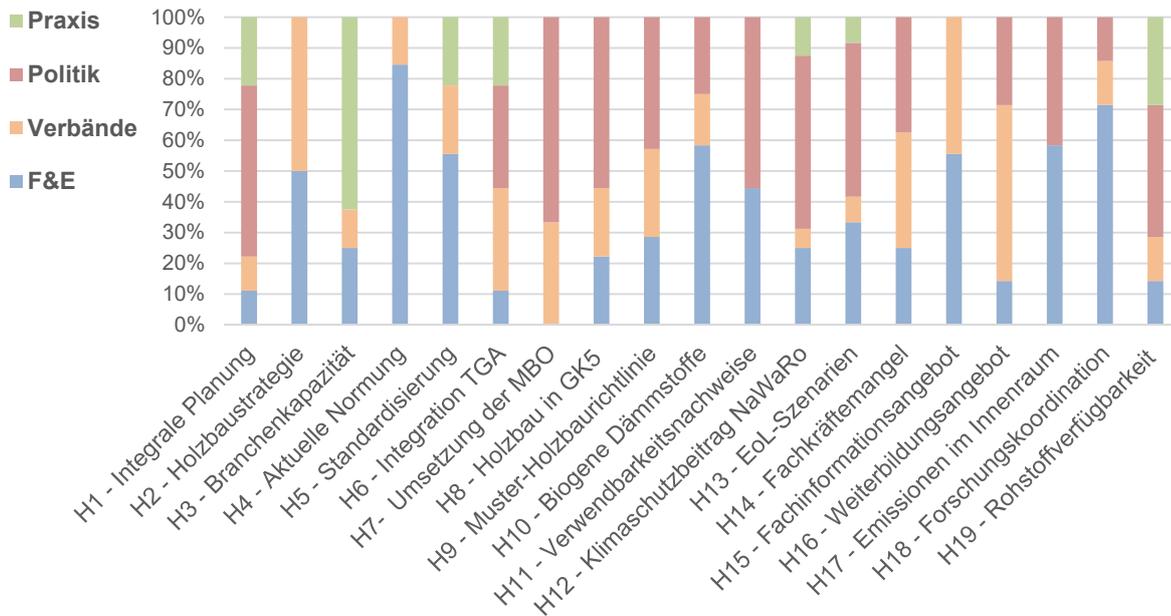


Abbildung 75: Darstellung der Beeinflussbarkeit der jeweiligen Hemmnisse durch Themen-Cluster

### Indikator der Relevanz

Um eine Aussage über die Relevanz der einzelnen Hemmnisse treffen zu können wird sowohl die Quantität, d.h. die Anzahl einzelner Auswirkungen auf verschiedene Fachbereiche, als auch die Qualität untersucht, wie stark sich einzelne Hemmnisse auf Fachbereiche auswirken. In Bezug auf die Intensität der jeweiligen Auswirkungen werden vier Bereiche unterschieden:

- 0 - das Hemmnis X hat keine oder fast keine Auswirkung auf den Fachbereich X
- 1 - das Hemmnis X hat eine leichte Auswirkung auf den Fachbereich X
- 2 - das Hemmnis X hat eine direkte proportionale Auswirkung auf den Fachbereich X
- 3 - das Hemmnis X hat eine starke / sehr starke Auswirkung auf den Fachbereich X

Die Zuordnung der einzelnen Auswirkungsgrade resultiert aus den Ergebnissen des Stakeholder-Workshops und der argumentativen Grundlage aus Kap. 4.1.5 (vgl. Anhang 8.5) und der Diskussion im Projektteam.

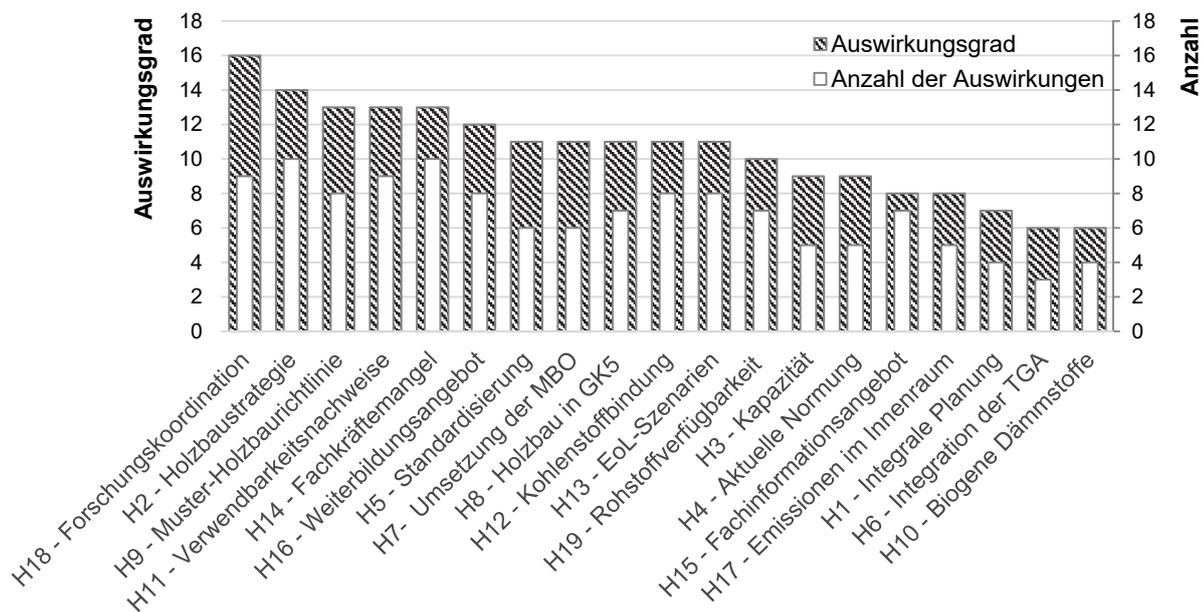


Abbildung 76: Indikator der Relevanz – Darstellung der Hemmnisse nach Auswirkungsgrad

Das Ergebnis der zugeordneten Anzahl an Auswirkungen und deren Auswirkungsgrad indiziert eine erhöhte Relevanz zentraler Hemmnisse wie eine gemeinsam getragene Holzbaustrategie (H2), oder ein koordiniertes Vorgehen in offenen Forschungsfragen (H18), welche beide verschiedenste Fachbereiche signifikant beeinflussen. Gefolgt werden diese Herausforderungen in geringen Abstufungen von weiteren Hemmnissen (H9, H11, H14 u.a.), was die insgesamt hohe Vernetzung der Problematik im Branchenkontext widerspiegelt. Hemmnisse, die in der Abbildung 76 einen geringen Auswirkungsgrad aufweisen (z.B. H6, H10), sind in keinem Fall irrelevant für eine weitere Betrachtung. Die Aussage, die aufgrund des Indikators der Relevanz getroffen werden kann beinhaltet lediglich, dass weniger Fachbereiche deutlich beeinflusst werden, allerdings kann eine erhebliche Beeinflussung einzelner Fachbereiche vorliegen, die mit diesem Indikator nicht dargestellt werden kann und auf einer spezifischeren Betrachtungsebene untersucht werden müsste.

### Indikator der Beeinflussung

Durch eine Zuordnung der jeweiligen bestehenden Korrelationen zwischen Hemmnis und Fachbereich (vgl. Abbildung 73) zu den zugehörigen Themen-Clustern, die über die Fachbereiche definiert wurden (vgl. Kap. 6.1.3) lässt sich eine Aussage über die Beeinflussung der Hemmnisse auf die verschiedenen Themen-Cluster treffen. Durch das Verhältnis des Auswirkungsgrad eines Clusters zum Gesamtauswirkungsgrad lässt sich eine prozentuale Verteilung der Beeinflussung verschiedener Cluster durch ein jeweiliges Hemmnis darstellen. Der Indikator der Beeinflussung kann allerdings nicht alle möglichen weitreichenden Beeinflussungen abdecken, sondern lediglich eine Aussage darüber geben, inwiefern die Auswirkungen erster Instanz Themen-Cluster betreffen.

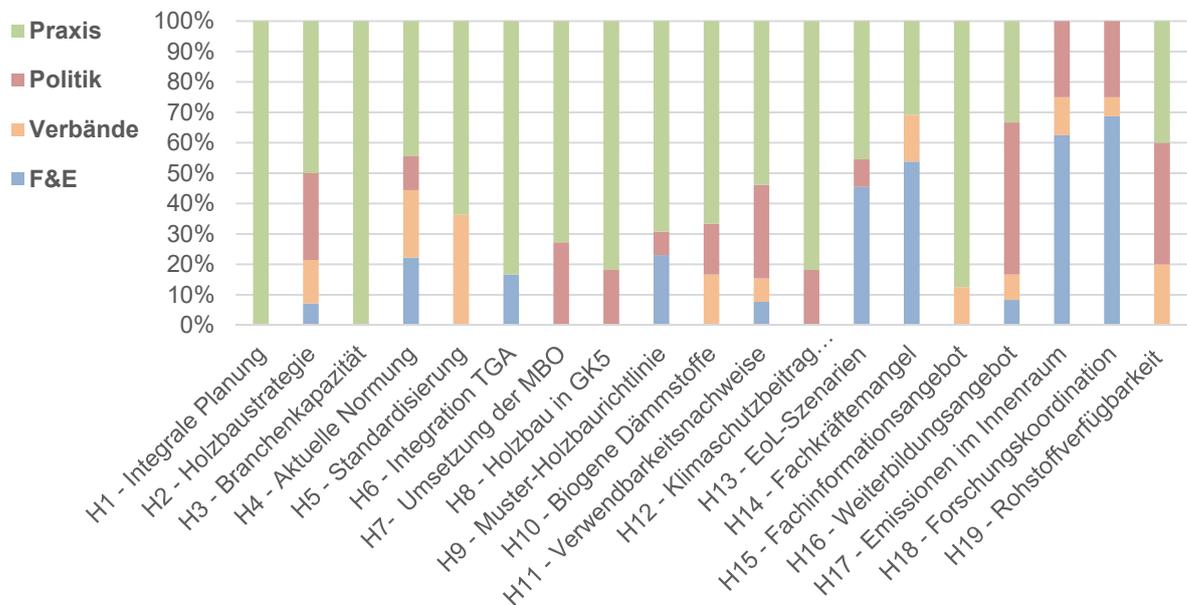


Abbildung 77:  
Darstellung der Beeinflussung der jeweiligen Hemmnisse auf die Themen-Cluster

Das Ergebnis der grafischen Darstellung der Beeinflussung in Abbildung 77 offenbart eine maßgebende Beeinflussung des Themen-Clusters ‚Praxis‘ und verdeutlicht damit die dahinterliegende Ausgangsfragestellungen, welche Herausforderungen eines verstärkten Einsatzes von Holz (in der Praxis) bestehen (vgl. Kap. 6.1.3). Trotz der Dominanz eines einzelnen Clusters kann man zudem auch deutliche Schwerpunkte einzelner Hemmnisse auf andere Clustern erkennen (vgl. H14, H17, H18 auf Cluster ‚F&E‘) sowie Hemmnisse wo eine eindeutige Beeinflussung eines Clusters nicht unmittelbar gegeben ist (z.B. H2, H16, H4).

### 6.2.3 Analyse der Hemmnisse im Kontext der Gesamtproblematik

Ergänzend zu den Ergebnissen aus dem vorhergehenden Kapitel und ausgehend von der Erkenntnis zweier unterschiedlicher Betrachtungsperspektiven (Branche und Gesamtproblematik, vgl. Kap. 6.1.4) werden im Folgenden die Korrelationen der Hemmnisse untereinander analysiert.

Die zugrunde liegende Vorgehensmethodik hat ihren Ursprung in der Systemtheorie und dem kybernetisch vernetzten Denken. Frederic Vester entwickelte den sogenannten ‚Papiercomputer‘ mit dessen Hilfe sich auf einfache Weise interessante Aussagen über ein System gewinnen lassen (Vester, 1999,

S.226). Das Vorgehen beschreibt die Wirkung einzelner Hemmnisse auf andere Hemmnisse. Die Wirkung wird dabei ausschließlich bzgl. ihrer Stärke betrachtet während die Wirkungsrichtung (positiv oder negativ) nicht weiter berücksichtigt wird. Auf diese Weise ergibt sich eine quantifizierte Wirkungsmatrix mit Aktiv- und Passivsummen aus den Spalten und Zeilen. Die Stärke der Wirkung eines Hemmnisses A auf ein Hemmnis B wird dabei beschrieben durch:

- 0 = starke Änderung von A bewirkt keine oder fast keine Änderung von B
- 1 = starke Änderung von A bewirkt nur leichte Änderung von B
- 2 = Änderung von A bewirkt gleichstarke Änderung von B
- 3 = schwache Änderung von A bewirkt starke Änderung von B

Die Aktivsumme (AS) beschreibt das Maß für den aktiven Einfluss eines Hemmnisses im System der Gesamtproblematik, wohingegen die Passivsumme (PS) ein Maß für die Aufnahme von Wirkungen darstellt.

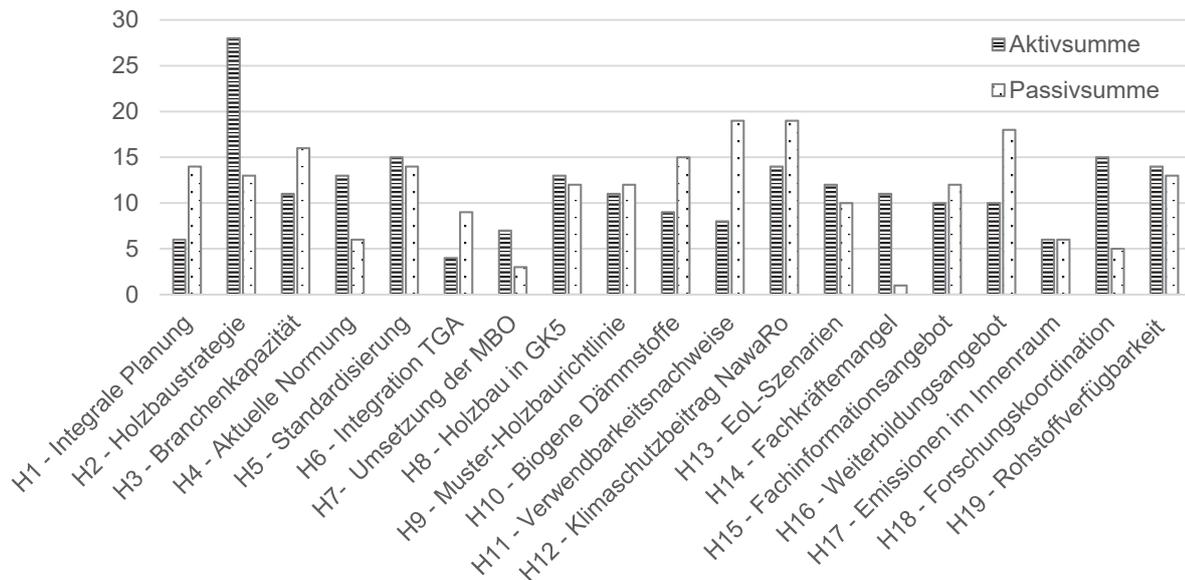


Abbildung 78:  
Übersicht der Aktiv- und Passivsummen der einzelnen Hemmnisse

Die Ergebnisse der Wirkungsmatrix basieren auf der Argumentation aus dem Kapitel 6.1.5 (s. vgl. Anhang 8.5) und der Diskussion im Projektteam. Auf Grundlage der Wirkungsmatrix des 'Papiercomputers' lassen sich Aussagen ableiten in Bezug auf vier wesentliche Charakteristika der untersuchten Hemmnisse (Vester, 1999):

- **Aktive Hemmnisse** beeinflussen andere Hemmnisse signifikant stärker als wie sie selber beeinflusst werden; geringer Q-Wert ( $Q = AS/PS$ ).
- **Passive Hemmnisse** beeinflussen andere Hemmnisse nur sehr schwach, werden allerdings selbst sehr stark beeinflusst; hoher Q-Wert ( $Q = AS/PS$ ).
- **Kritische Hemmnisse** haben die Eigenschaft andere Hemmnisse sowohl stark zu beeinflussen, als auch gleichzeitig von anderen beeinflusst zu werden; hoher P-Wert ( $P = AS \cdot PS$ ).
- **Puffernde Hemmnisse** können andere Hemmnisse nur schwach beeinflussen während sie selber ebenfalls nur schwach beeinflusst werden; geringer P-Wert ( $P = AS \cdot PS$ ).

Die hier angegebenen Qualifikationen der Hemmnisse im System der Gesamtproblematik beschreiben keine präzise deterministische Eigenschaft, sondern eine qualitative, geschätzte Systemeigenschaft, die auf eine relative Bedeutung hinweist und dementsprechend differenziert betrachtet werden muss. Die **Steuerbarkeit** des Gesamtsystems hängt in erster Linie davon ab, inwiefern das Systemelement aktiv oder passiv im Netzwerk wirkt. Durch eine Bearbeitung aktiver Elemente können gezielt Veränderungen im System provoziert und gesteuert werden. Übertragen auf den Kontext der Gesamtproblematik bedeutet dies, dass durch einen aktiven Abbau aktiver Hemmnisse die Gesamtproblematik beeinflusst werden kann, während passive Hemmnisse wenig bis keine Auswirkungen auf andere Hemmnisse und damit auf die Gesamtproblematik ausüben. Die Aktivität oder Passivität wird durch den Q-Wert, den Quotienten aus Aktivsumme zur Passivsumme, ausgedrückt ( $Q\text{-Wert} = \text{Aktivsumme} / \text{Passivsumme}$ ).

In diesem Zusammenhang besteht ebenfalls die Möglichkeit einer **Rückkopplung**, die sowohl ein Risiko als auch ein Potential darstellen kann. Weist ein Element eine hohe Beeinflussung anderer Elemente sowie gleichzeitig eine starke Beeinflussbarkeit durch andere Elemente auf, besteht dadurch die Möglichkeit, dass das Gesamtsystem durch ein Rückkopplung sich ‚hoch schaukeln‘ kann, bzw. sich ein ‚Bumerang-Effekt‘ einstellen kann, der positiv wie negativ sein kann. Durch eine entsprechende Berücksichtigung dieser kritischen Elemente kann eine hohe Tragweite durch kleine Eingriffe in das System erzielt werden, oder – bei Unwissen – Maßnahmen negative Folgen hervorrufen, die in erster Instanz nicht ersichtlich sind.

Mit den eben beschriebenen Ausführungen lässt sich die Wirkungsmatrix der Hemmnisse im Kontext der Gesamtproblematik darstellen und aktive, passive, kritische sowie träge Hemmnisse grafisch hervorheben. Die Wirkungsmatrix in Abbildung 79 zeigt die unterschiedlichen Charakteristika der Hemmnis-Korrelationen untereinander.

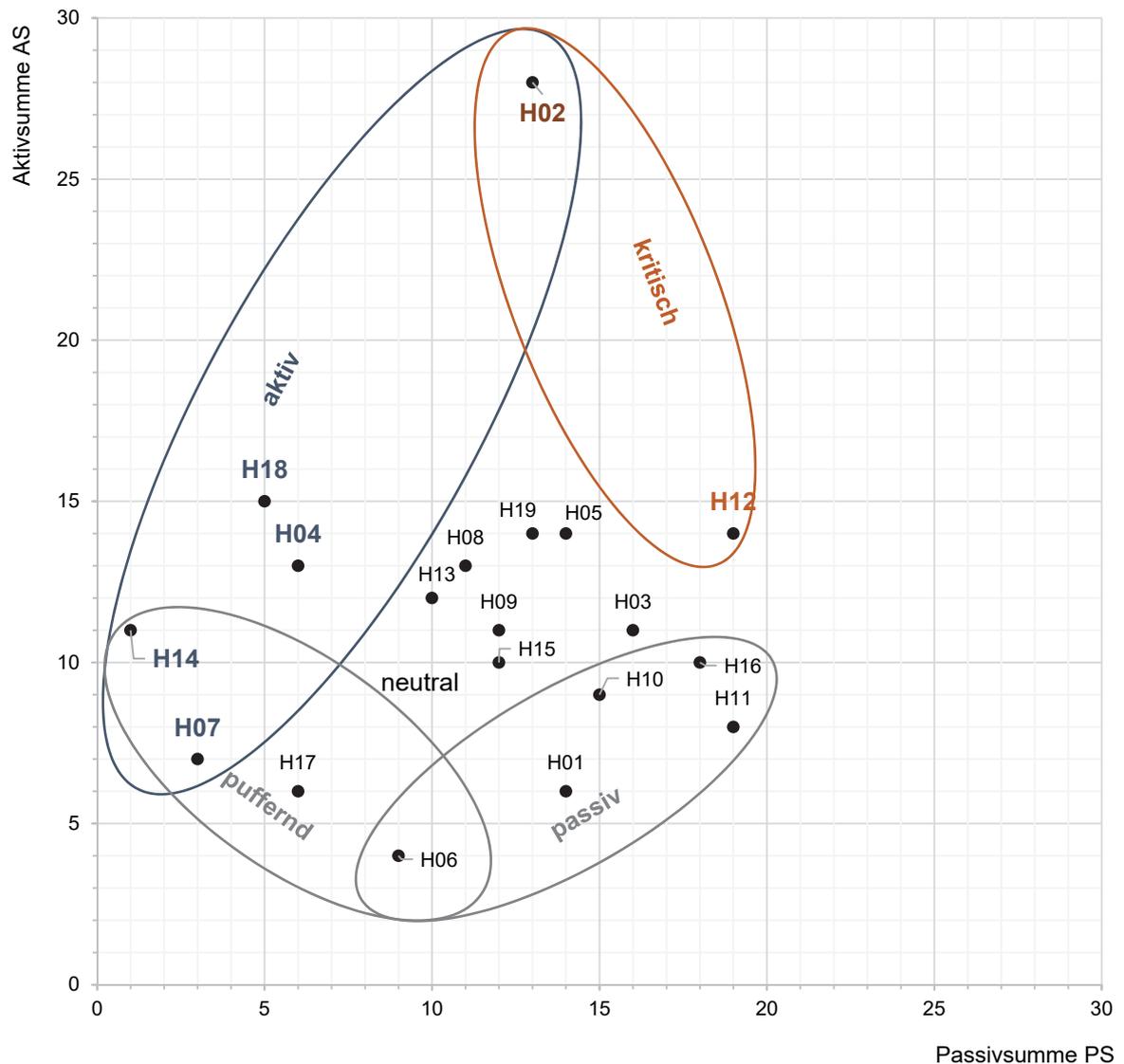


Abbildung 79:  
Wirkungsmatrix der Hemmnisse untereinander

Die aktiven Hemmnisse (H14, H18, H7, H4 und H2) bedürfen einem Eingriff von außen, da sie zwar die Gesamtproblematik aktiv steuern und beeinflussen können, aber nicht innerhalb des Systems beeinflusst werden. Gleichzeitig bieten diese Elemente auch die Möglichkeit direkt auf andere Hemmnisse Einfluss zu nehmen, wie z.B. durch die Ausbildung entsprechender Fachkräfte (H14), die auf vielfältiger Weise am Abbau anderer Hemmnisse beitragen. Auch ein koordiniertes Vorgehen in der Forschung (H18), abgestimmt auf relevante Fragestellungen aus Wirtschaft und Politik wirkt sich positiv auf den Abbau zahlreicher anderer implizierter Hemmnisse aus. Eine besondere Rolle nimmt die Thematik einer einheitlichen Holzbaustrategie (H2) ein, das auf der einen Seite aktiv, also stark beeinflussend, als auf der anderen Seite auch kritisch ist. Eine derartige Strategie kann damit zahlreiche

andere Hemmnisse gezielt angehen und abbauen, birgt allerdings ebenso das Risiko destabilisierend zu wirken, sollten Ziele darin enthalten sein, die kontraproduktiv ausfallen. Aus diesem Grund ist in diesem Fall besondere Vorsicht geboten. Ähnlich kritisch aber weniger aktiv stellt sich die Anerkennung des klimapositiven Beitrags von Nawaros auf Gebäudeebene dar (H12).

Die passiven Hemmnisse (H11, H1, H6, H16 und H10) werden in erster Linie durch die Gesamtproblematik beeinflusst und können damit als Messgrößen der Effektivität von Maßnahmen an anderer Stelle dienen. Beispielsweise offenbart die Notwendigkeit von Verwendbarkeitsnachweisen (H11) sehr gut, inwiefern ein Standard im Holzbau greift, oder aktuelle Normung sowie politische Maßnahmen diese womöglich aufhebt. Aktive und puffernde Hemmnisse (H14, H7) können stabilisierend im System wirken und bergen ein geringes Risiko von Nebenwirkungen. Beispielsweise bietet eine einheitliche Umsetzung der MBO in erster Linie Vorteile für den Holzbau und gleichzeitig wenige Abhängigkeiten von anderen Herausforderungen die in diesem Zusammenhang zuvor gelöst werden müssten.

## 6.3 Maßnahmen und Handlungsempfehlungen

### 6.3.1 Allgemeines Vorgehen und Handlungsempfehlungen

Ausgehend von der Beschreibung der Hemmnisse (Kap. 6.1.5) und aufbauend auf der Hemmnisanalyse (Kap. 6.2) werden in diesem Kapitel mögliche Handlungsansätze entwickelt und dargestellt. Für eine möglichst effektive Kommunikation dieser Handlungs- und Lösungsansätze werden vor dem Hintergrund der im Kapitel 6.1.3 geschilderten Problematik die Handlungsansätze an den bereits erarbeiteten Themen-Clustern angelehnt:

- Forschung und Entwicklung (Akronym: F&E)
- Interessensvertreter und Verbände (Akronym: Verbände)
- Politik und Gesellschaft (Akronym: Politik)
- Wirtschaft und Ausführung (Akronym: Praxis)

Wie bereits in den vorhergehenden Kapiteln dargestellt lassen sich die verschiedenen Herausforderungen für einen vermehrten Einsatz von Holz im Bauwesen nicht ausschließlich auf eine Ursache zurückführen. Die maßgebende Fragestellungen, der in diesem Kapitel nachgegangen wird ist: Welche Thematik kann zum Abbau der einzelnen Hemmnisse wie stark beitragen und welche Lösungsmöglichkeiten und -ansätze bestehen?

Aus diesem Grund wurde damit begonnen – ausgehend von der Beeinflussbarkeit der einzelnen Herausforderungen (vgl. Kap. 6.2.2 und Abbildung 75) – eine Verantwortlichkeit abzuleiten, die selbstverständlich aufgrund der Vielschichtigkeit der Abhängigkeiten nur in erster Instanz besteht, allerdings eine primäre Zugehörigkeit verdeutlicht.

Aufgrund der unterschiedlichen Gewichtung der Beeinflussbarkeit durch verschiedene Cluster auf die möglichen Handlungsansätze bestimmter Hemmnisse wird im Folgenden auf die Hemmnisse eingegangen, die keine klare oder mehrheitliche Beeinflussbarkeit (weniger als 50 %) aufweisen. Die Verantwortlichkeit für diese Hemmnisse, die diesem Misch-Cluster zugeordnet werden, muss im Besonderen auf verschiedene Cluster aufgeteilt werden, um effektive Lösungsansätze zu entwickeln. In der Abbildung 75 und aus dem Anhang 8.5 ist die Verteilung der Beeinflussbarkeit durch verschiedene Cluster ersichtlich. Die derartig heterogen beeinflussten Hemmnisse sind folgende:

- **H2 – Holzbaustrategie** | 50 % Cluster „Verbände“ / 50 % Cluster „F&E“
- **H6 – Integration TGA** | 33 % Cluster „Verbände“ / 33 % Cluster „Politik“ / 11 % Cluster „F&E“ / 22 % Cluster „Praxis“
- **H9 – Muster-Holzbaurichtlinie** | 43 % Cluster „Politik“ / 29 % Cluster „F&E“ / 29 % Cluster „Verbände“
- **H14 – Fachkräftemangel** | 38 % Cluster „Verbände“ / 38 % Cluster „Politik“ / 25 % Cluster „F&E“
- **H19 – Rohstoffverfügbarkeit** | 43 % Cluster „Politik“ / 29 % Cluster „Praxis“ / 14 % Cluster „Verbände“ / 14 % Cluster „F&E“

Im Folgenden werden die Ergebnisse für die Hemmnisse dieses Misch-Clusters verwendet um davon entsprechende Handlungsempfehlungen in dieser interdisziplinären Thematik abzuleiten.

## H2: Holzbaustrategie – Fehlende nationale Holzbaustrategie

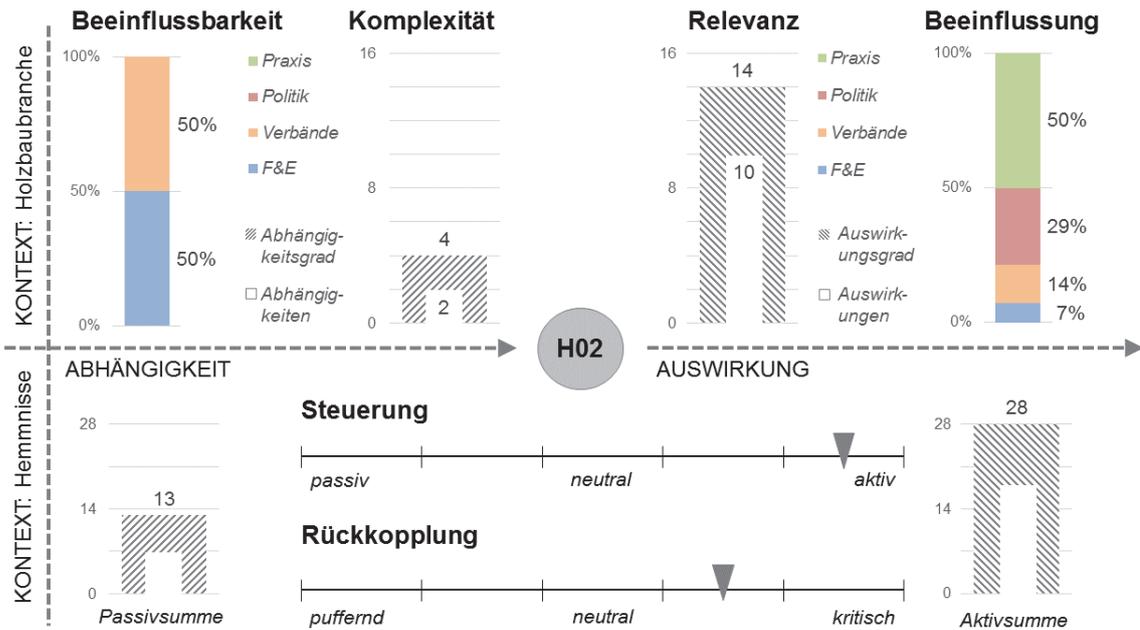


Abbildung 80:  
Analyseergebnisse Hemmnis 2 – Holzbaustrategie

Die Forderung nach einer nationalen Holzbaustrategie klingt simpel und relevant sogleich. Dieser Eindruck wird durch einen relativ geringen Abhängigkeitsgrad von Fachbereichen aus dem Bereich der Verbände und Forschung (Komplexität) und einen sogleich sehr hohen Auswirkungsgrad (Relevanz) verdeutlicht. Nicht nur die höchste Anzahl an Fachbereichen sondern auch eine Vielzahl an anderen Hemmnissen würde von einer einheitlichen Holzbaustrategie profitieren, da viele Prozesse dadurch ins Rollen gebracht werden könnten (aktiv). Jedoch ist bei diesem Hemmnis darauf zu achten, dass eine Art Bumerang-Effekt ausgelöst werden kann (kritisch). Ergriffene Maßnahmen können eine schwerwiegende Auswirkung haben – sowohl im positiven als auch negativen Sinne.

Handlungsansätze für den Cluster „Verbände“:

- Förderung einer stärkeren Vernetzung und somit Koordinierung aller Verbände und Interessensgruppen zu einer geschlossenen Holzbaubranche.
- Präsenteres Auftreten über die Grenzen der Holzbaubranche hinaus.
- Stärkung der Holzbranche mithilfe einer aktiven Holzlobby innerhalb politischer Entscheidungsprozesse.
- Förderung einer anzustrebenden Holzbauquote und Verknüpfung dieser mit politischen Zielen

Handlungsansätze für den Cluster „F&E“:

- Aufbau einer Argumentationsbasis auf politischer Ebene auf der Grundlage einer wachsenden Bedeutung des Holzbaus mithilfe von Forschungsarbeiten die das Potential im Bereich der Nachhaltigkeit und Gesundheit untersuchen.
- Veröffentlichung von Forschungsergebnissen über fachübergreifende Veröffentlichungswege und mithilfe entsprechender Werbekampagne.

## H6: Integration der TGA – Fehlende frühe Integration der technischen Gebäudeausrüstung (TGA)

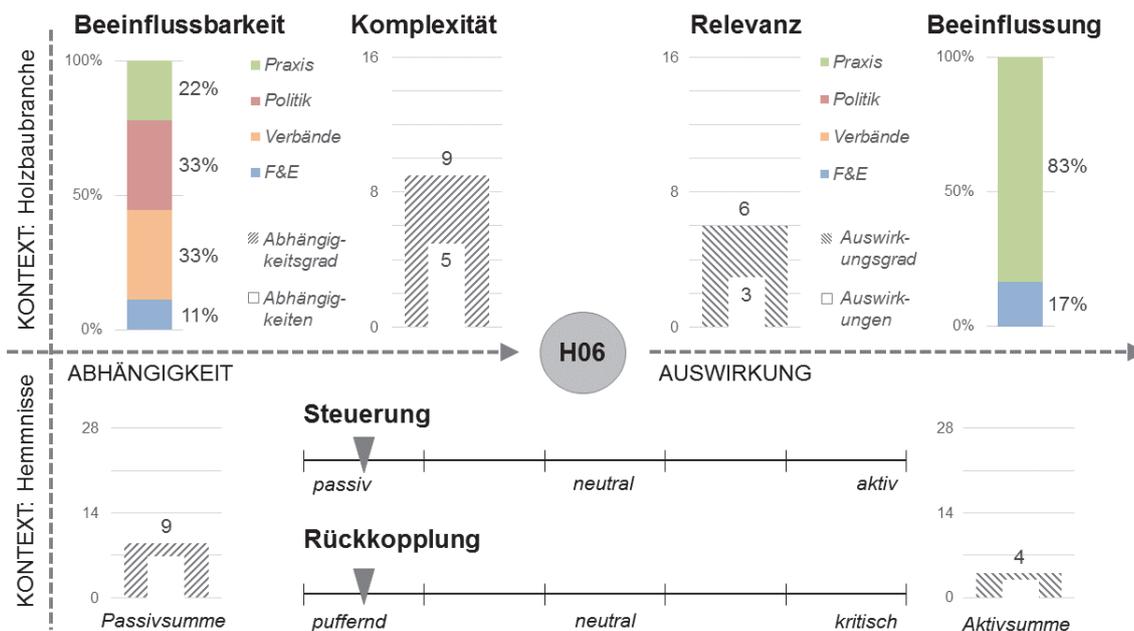


Abbildung 81:  
Analyseergebnisse Hemmnis 6 - Integration der TGA

Die Problematik einer teilweise fehlenden Integration der TGA liegt an dem erhöhten Abhängigkeitsgrad dieses Hemmnisses (Komplexität) und der sehr interdisziplinären Verantwortlichkeit (Beeinflussung). Diesem steht eine verhältnismäßig geringe Relevanz gegenüber, weshalb sich kein Akteur zu Beginn für diese Thematik verantwortlich fühlt. Gleichzeitig steht dieses Hemmnis anderen Hemmnissen eher schwerfällig gegenüber. Mithilfe einer Integration der TGA können nicht nur wenig andere Hemmnisse beeinflusst werden (passiv), sondern auch im Gesamtkontext scheint diese Problematik eine eigenständige Position inne zu haben (puffernd).

Handlungsansätze für den Cluster „Praxis“:

- Aspekt der technischen Gebäudeausrüstung als fester Bestandteil des Planungsprozesses.

Handlungsansätze für den Cluster „Politik und Gesellschaft“:

- Verstärkte Umschichtung von Honorarleistungen der technischen Gebäudeausrüstung aus der Leistungsphase der Objektüberwachung in die Leistungsphase der Vorplanung.

Handlungsansätze für den Cluster „Verbände“:

- Miteinbeziehen von Ausbildungsinhalten der integralen Planung in die Handwerks- / Meisterausbildung.

Handlungsansätze für den Cluster „F&E“:

- Stärkere Einbindung gebäudetechnischer Aspekte und Schnittstellen in die Lehre und Ausbildung.
- Miteinbeziehen der Thematik der technischen Gebäudeausrüstung innerhalb der Erarbeitung von Forschungsergebnissen (Bauteilkatalogen, Standardisierungen etc.).

## H9: Muster-Holzbaurichtlinie – Einschränkungen und Unzulässigkeiten durch die M-HFH HolzR

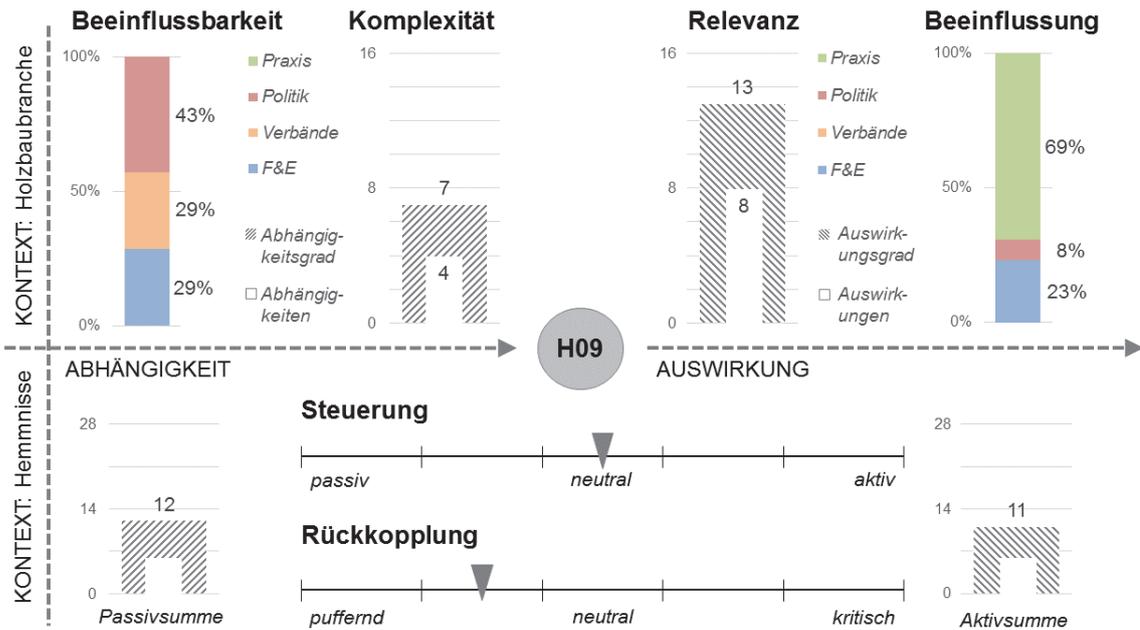


Abbildung 82:  
Analyseergebnisse Hemmnis 9 - Muster-Holzbaurichtlinie

Im Kontext der Holzbaubranche stellt sich das Hemmnis als äußerst relevant dar, da die M-HFH HolzR als maßgebliches gesetzliches Element geschaffen wurde, um zu einem weitreichenden Einsatz von Holz zu führen. Hauptsächlich erfährt die Praxis, auf die Änderungen der M-HFH HolzR unmittelbaren Einfluss hinsichtlich der Durchführbarkeit von Holzbauten erhalten.

Im Kontext zu den weiteren Hemmnissen verhält sich H9 in Steuerung und Rückkopplung neutral, d.h. die Lösung des Hemmnisses, die in erster Linie auf politischer Ebene initiiert werden muss, hat auf andere Hemmnisse keine substantiell verändernden Einwirkungen.

### Szenario 1: Anpassungen der M-HFH HolzR

Handlungsansätze für den Cluster „Politik und Gesellschaft“:

- Kontinuierliche Fortführung und Aktualisierung der M-HFH HolzR in festgeschriebenen Intervallen, um den aktuellen Stand der Technik bzw. der Forschung widerzuspiegeln.

Handlungsansätze für den Cluster „F&E“:

- Schaffung von Grundlagen für Anpassungen der M-HFH HolzR durch Forschung und Entwicklung sowie kontinuierliche Informationsweitergabe an politische Entscheidungsträger (Entscheidungskompetenz auf fachlicher Ebene / Fachkommission) sicherstellen.

Handlungsansätze für den Cluster „Verbände“:

- Als Bindeglied zwischen den Clustern „Politik und Gesellschaft“ und „F&E“ agieren, d.h. relevante Forschung initiieren sowie Ergebnisse in den entsprechenden Gremien platzieren.

### Szenario 2: Wegfall der M-HFH HolzR

- Die Abschaffung der ‚fachspezifischen‘ Sonderlösung M-HFH HolzR erfordert die Einordnung des Materials in die Reihe aller anderen marktüblichen Bauprodukte mit dem Ziel einer Gleichbehandlung.
- Dazu ist ein hoher Anpassungs- sowie Aktualisierungsbedarf insbesondere in der Gesetzgebung sowie Normierung von Nöten, um eine gleichberechtigte Auseinandersetzung mit und somit dem Einsatz von dem Material Holz zu gewährleisten.

## H14: Fachkräftemangel – Spezifischer Fachkräftemangel aufgrund geringer Ausbildungsangebote für Architekten und Fachplaner im Holzbau

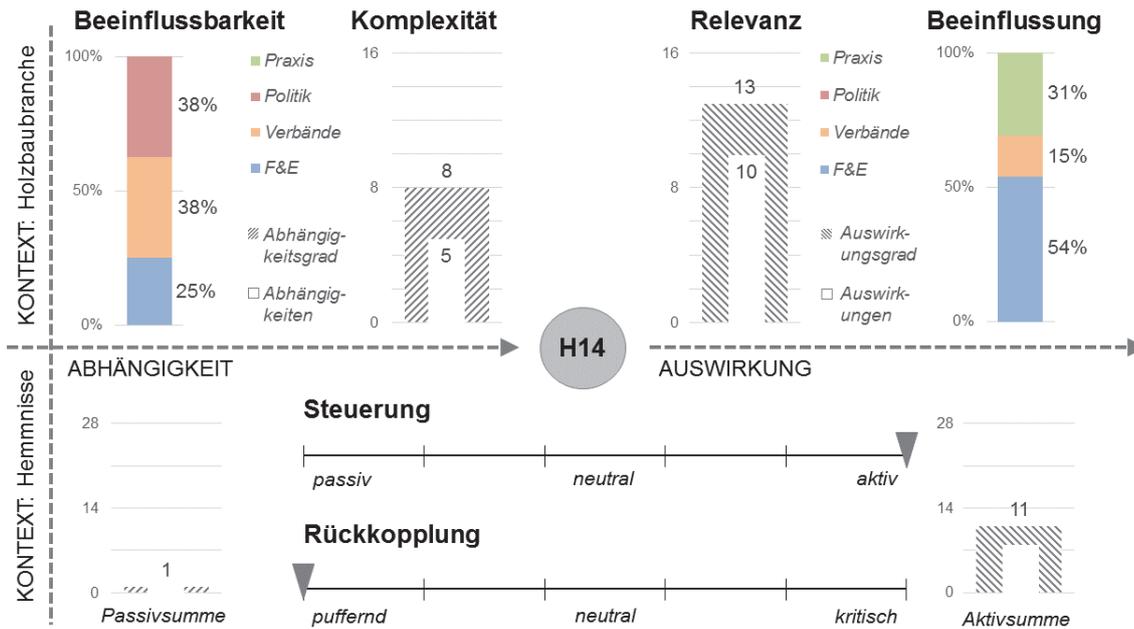


Abbildung 83:  
Analyseergebnisse Hemmnis 14 - Fachkräftemangel

Die Herausforderung, die mit einem spezifischen Mangel geeigneter Fachkräfte im Holzbau einhergeht weist zwar auf der einen Seite keinen besonders hohen Abhängigkeitsgrad (Komplexität) auf, auf der anderen Seite allerdings eine starke Relevanz, da eine Vielzahl an Fachbereichen von mehr Fachpersonal profitieren können und auch langfristig dadurch andere Probleme abgebaut und angegriffen werden können (aktiv). Außerdem kann dieses Hemmnis ohne die Gefahr einer Rückkopplung (puffernd) direkt gesteuert werden, allerdings mit der Notwendigkeit eines Eingriffes von außen, da die Steuerbarkeit innerhalb des Systems der Gesamtproblematik nicht gegeben ist.

Handlungsansätze für den Cluster „Politik und Gesellschaft“:

- Berücksichtigung des Mehraufwands der Planungsleistungen aufgrund der industriellen Vorfertigung in der Kosten- und Vergabestruktur (Vergleich H1).
- Schaffen von Anreizen zur gleichwertigen Berücksichtigung des Holzbaus gegenüber anderen konstruktiven Fachrichtungen in der Ausbildung von Fachplanern.

Handlungsansätze für den Cluster „Verbände“:

- Wahrnehmung des Holzbaus in der Öffentlichkeit verbessern und Hilfestellung und Informationsangebot zu möglichen Ausbildungswegen für Interessenten bieten.
- Weiterbildungs- und Fortbildungsangebote für interessierte Planer aus der Praxis möglichst leicht zugänglich anbieten und attraktiv gestalten.

Handlungsansätze für den Cluster „F&E“:

- Gleichstellung und Etablierung von Holzbau an Hochschulen als zentrales konstruktives Pflichtfach in der Ausbildung von Architekten und Ingenieuren.
- Abgleich und ggf. Anpassung der Lehrinhalte mit den in Zukunft erforderlichen Anforderungsprofil in Bezug auf Vorfertigung, Detailtiefe und interdisziplinärer Kompetenz.

## H19: Rohstoffverfügbarkeit – Unsichere Rohstoffverfügbarkeit aufgrund von Fehlallokation, geringer Kaskadennutzung und Transformation von Forst und Markt

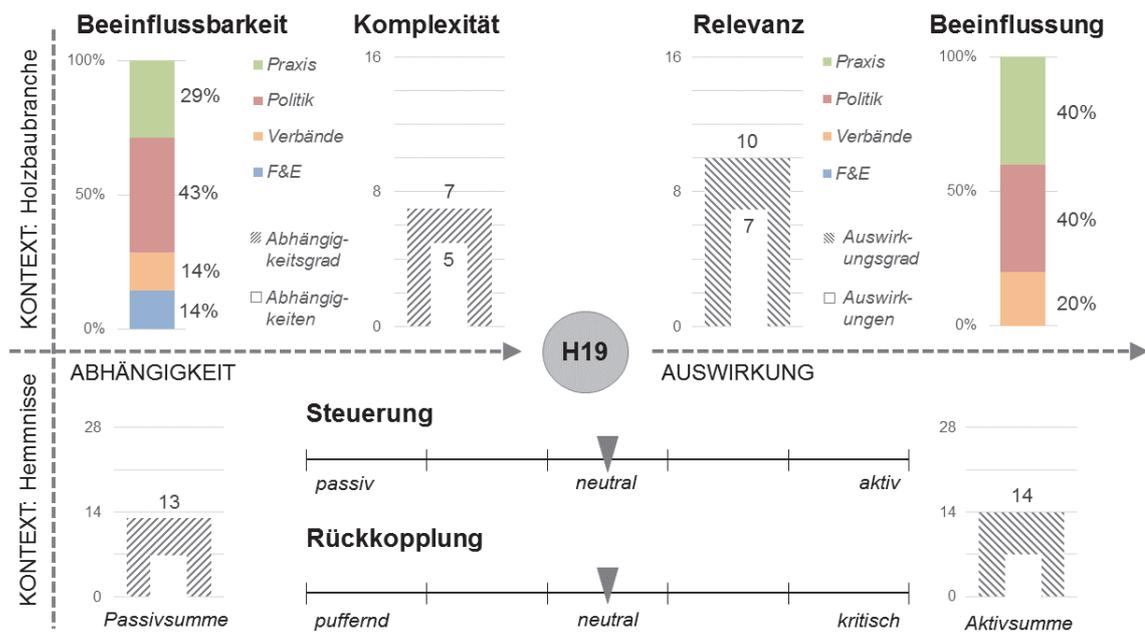


Abbildung 84:  
Analyseergebnisse Hemmnis 19 - Rohstoffverfügbarkeit

Innerhalb der Herausforderung, die Stoffströme in der Forst-Holz-Kette optimal zu verteilen und zu nutzen, sind alle verschiedenen Cluster gefragt, was sich in einer homogenen Verteilung der Abhängigkeiten (Komplexität) und Auswirkungen (Relevanz) widerspiegelt. Darin zeigt sich die Schwierigkeit der Abstimmung und die Notwendigkeit von allen Seiten für den jeweiligen Verantwortungsbereich Initiative zu ergreifen. Innerhalb der Gesamtproblematik weist dieses Hemmnis ebenso ähnlich viele Abhängigkeiten wie Auswirkungen auf andere Hemmnisse auf, weshalb weder eine hohe Steuerbarkeit noch ein hohes Rückkopplungsrisiko oder -potential besteht (neutral).

Handlungsansätze für den Cluster „Praxis“:

- Entwicklung und Integration geeigneterer Maßnahmen zur Kaskadennutzung in Form von Rückbau, Rücknahme von gebrauchten Bauelementen, Wiederverwendung und stoffliche oder energetische Rückgewinnung (wie teilweise in der Produktion bereits umgesetzt).
- Mitwirken und gemeinsame Umsetzung von Maßnahmenentwicklungen aus dem Bereich Forschung und Entwicklung.

Handlungsansätze für den Cluster „Politik“:

- Regelung der stofflichen und energetischen Verwendung unter Berücksichtigung der langzeitlichen Effekte und Folgen; langfristig u.U. Forderung einer stofflichen Verwendung vor der Möglichkeit einer energetischen Verwendung.
- Förderung von Wiederverwendung und Weiterverwendung (Kaskadennutzung) insbesondere zwischen der stofflichen und energetischen Verwendung.

Handlungsansätze für den Cluster „Verbände“:

- Kommunikation und Verbreitung kritischer Erkenntnisse und möglicher Handlungsansätze.
- Bewusstseinsbildung für mögliche Verknappung innerhalb der Branche.

Handlungsansätze für den Cluster „F&E“:

- Analyse und Darstellung aktueller Stoffströme sowie Abschätzung und Szenarien-Entwicklung möglicher zukünftiger Verschiebungen.
- Identifizierung maßgebender, kritischer Handlungsfelder.
- Entwicklung realistischer Handlungsansätze für eine nachhaltige Verwendung unter Berücksichtigung einer effizienten Reihung und Kopplung der Verwendung von unterschiedlicher Nachfrageseite.

### 6.3.2 Handlungsempfehlungen für den Cluster „Forschung und Entwicklung“

Im Folgenden wird dargestellt, welche Herausforderungen im Wirkungsbereich des Clusters „Entwicklung und Forschung“ liegen. Die Fachbereiche, die dem Cluster „F&E“ zugeordnet sind, können dem Kapitel 6.1.3 entnommen werden. Um die Vielfalt der Relationen zwischen Abhängigkeiten und Auswirkungen zu verringern und klarer zu kommunizieren wurde im Folgenden ein Fokus auf die wesentlichen Hemmnisse gelegt, die eine deutliche Abhängigkeit von diesem Cluster aufweisen, weshalb allerdings die Vielzahl an interdisziplinären Themen, die dahinter steht, nicht vernachlässigt werden darf.

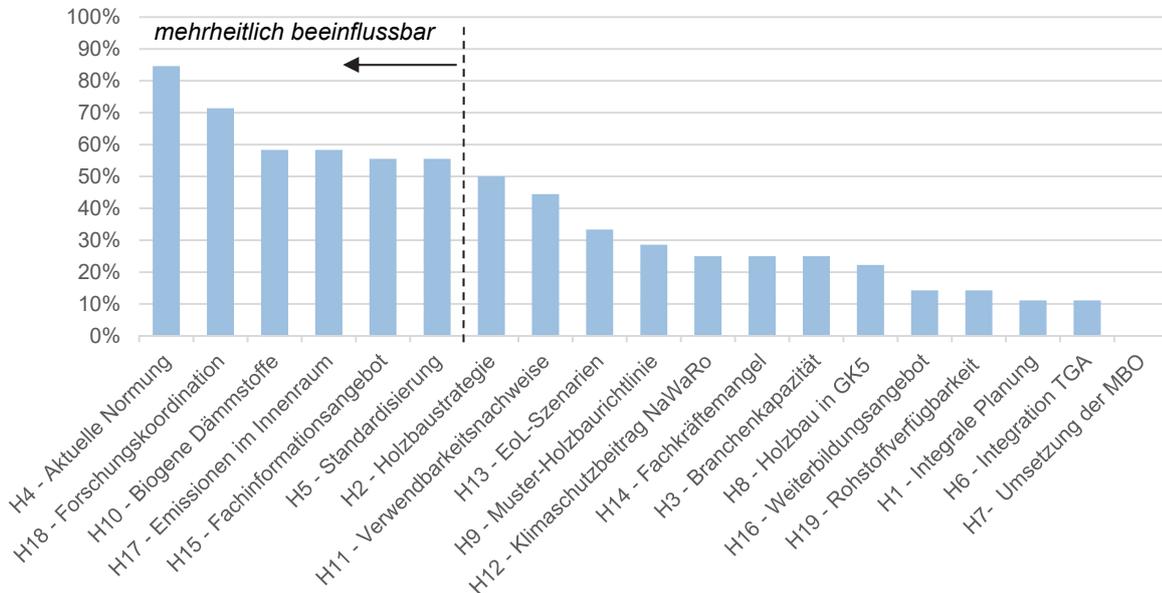


Abbildung 85:  
Vom Themen-Cluster "Forschung und Entwicklung" beeinflussbare Hemmnisse sortiert nach Beeinflussbarkeit

Aus dieser Grafik ist ersichtlich, dass eine Vielzahl der aktuellen Herausforderungen von dem Cluster „F&E“ beeinflusst werden können. Sechs der identifizierten Hemmnisse sind sogar mehrheitlich von diesem Cluster beeinflusst und fallen damit primär in dessen Verantwortungsbereich, diese pro-aktiv anzugehen:

- **H4 – Normung** | zu 85 % vom Cluster F&E beeinflussbar
- **H18 – Forschungskoordination** | zu 71 % vom Cluster F&E beeinflussbar
- **H10 – Biogene Dämmstoffe** | zu 58 % vom Cluster F&E beeinflussbar
- **H17 – Emissionen im Innenraum** | zu 58 % vom Cluster F&E beeinflussbar
- **H15 – Fachinformationsangebot** | zu 56 % vom Cluster F&E beeinflussbar
- **H5 – Standardisierung** | zu 56 % vom Cluster F&E beeinflussbar

Die Handlungsansätze, die im Folgenden entwickelt und dargestellt werden beziehen sich in erster Linie aufgrund der Notwendigkeit einer geeigneten Reduktion, auf den Themen-Cluster „Forschung und Entwicklung“.

#### H4: Aktuelle Normung – Widerspiegelung des neuesten Stands der Technik innerhalb der Normung

Für eine Abbildung des aktuellen Stands der Technik innerhalb der Normung, sind intensive Einflüsse insbesondere aus dem Bereich der Forschung von Nöten, weshalb eine hohe Komplexität bei geringer Diversität vorliegt. Der Auswirkungsgrad auf andere Fachbereiche ist zwar divers (Beeinflussung) aber insgesamt eher gering. Dieses Hemmnis besitzt im Gegenzug einen verstärkten Einfluss auf viele andere Hemmnisse, welche von einer koordinierten Einflussnahme auf die Normungsarbeit profitieren würden (aktiv). Die Gefahr einer Rückkopplung besteht hierbei nicht, da eine geringe Steuerbarkeit innerhalb der Gesamtproblematik gegeben ist (leicht puffernd).

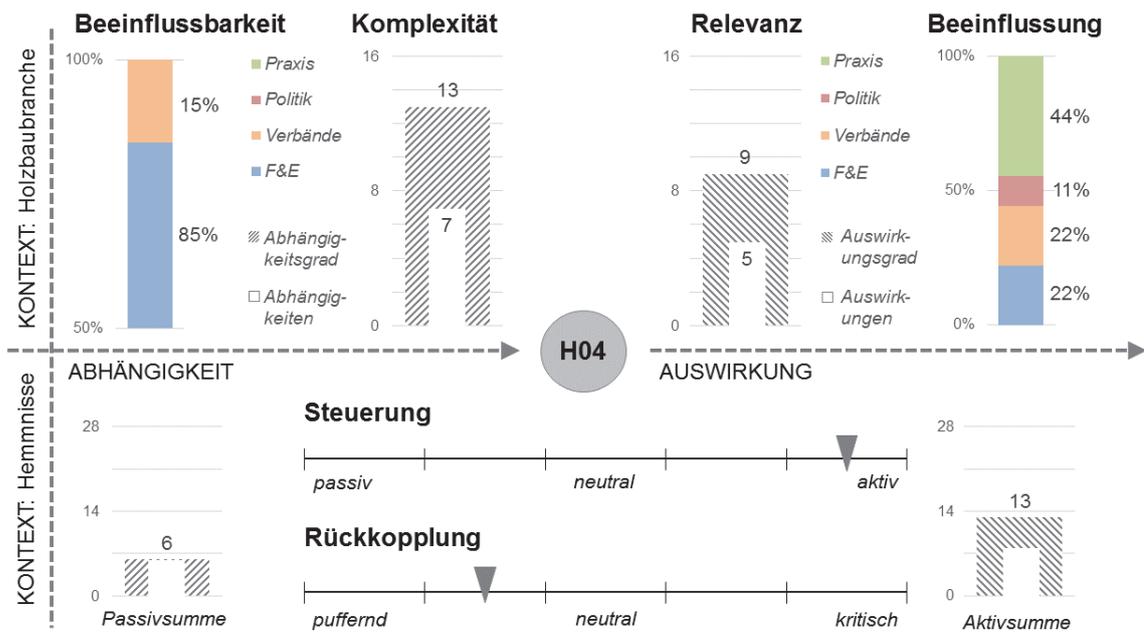


Abbildung 86: Analyseergebnisse Hemmnis 4 – Aktuelle Normung

Handlungsansätze:

- Koordinierte Einflussnahme zum Einbringen von Forschungsergebnissen zu entscheidenden Zeitpunkten.
- Aktive Mitarbeit der Forschung als interessierter Kreis innerhalb nationaler Normungsarbeit und somit nationaler Normungsgremien des Deutschen Instituts für Normung (DIN).

**H18: Forschungskoordination** – Das Fehlen einer übergeordneten Institution zur Förderung/Koordination der Wissenschaft und Forschung im Holzbau

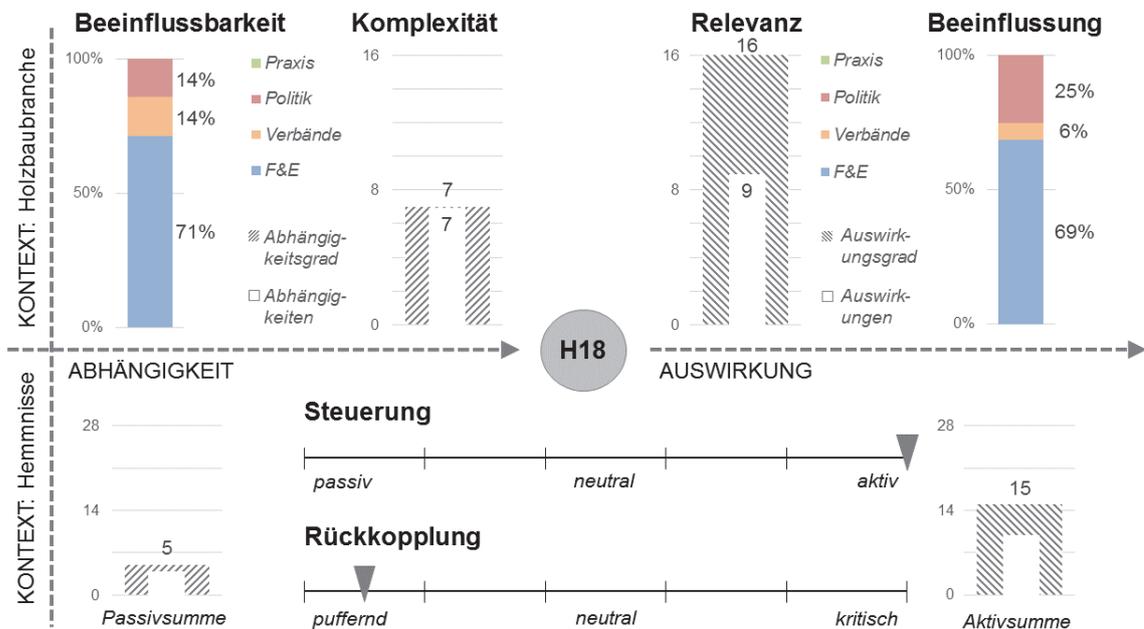


Abbildung 87: Analyseergebnisse Hemmnis 18 - Forschungskoordination

Die Herausforderung Forschung zu koordinieren und aufeinander aufzubauen sowie die Ergebnisse entsprechend passend zu kommunizieren ist ebenso abhängig von, wie dass es sich auswirkt auf den Cluster „F&E“ (Beeinflussbarkeit/Beeinflussung). Bei einem moderaten Abhängigkeitsgrad (Komplexi-

tät) birgt dieses Hemmnis einen außerordentlich hohen Auswirkungsgrad (Relevanz) auf viele verschiedene Fachbereiche und kann auch im Kontext der Hemmnisse andere Herausforderungen aktiv steuern (Steuerbarkeit), ohne dass ein hohes Risiko besteht von diesen Veränderungen wiederum beeinflusst zu werden (Rückkopplung).

Handlungsansätze:

- Langfristiger Aufbau einer einheitlichen Holzlobby (Dachverband), die sowohl Forschung und Entwicklung, als auch die Interessen der Vielzahl an mittelständischen Unternehmen und deren Verbände vereint und direkten Einfluss auf die Gesetzgebung ausüben kann.
- Kurz- und mittelfristig Bündelung von Wissen an einer zentralen Stelle zur Erstellung von Standards und Wissensdatenbanken (vgl. dataholz.com) mit einem Fokus auf die Gebäudeklasse 4 und 5.
- Aufstellen und Priorisieren eines Anforderungskatalogs von Forschungsthemen sowie Koordination und Harmonisierung aktueller Forschungsthemen durch gemeinsame Antragsstellungen und Intensivierung des interdisziplinären Arbeitens.

### H10: Biogene Dämmstoffe – Einschränkungen bei der Verwendbarkeit biogener Dämmstoffe

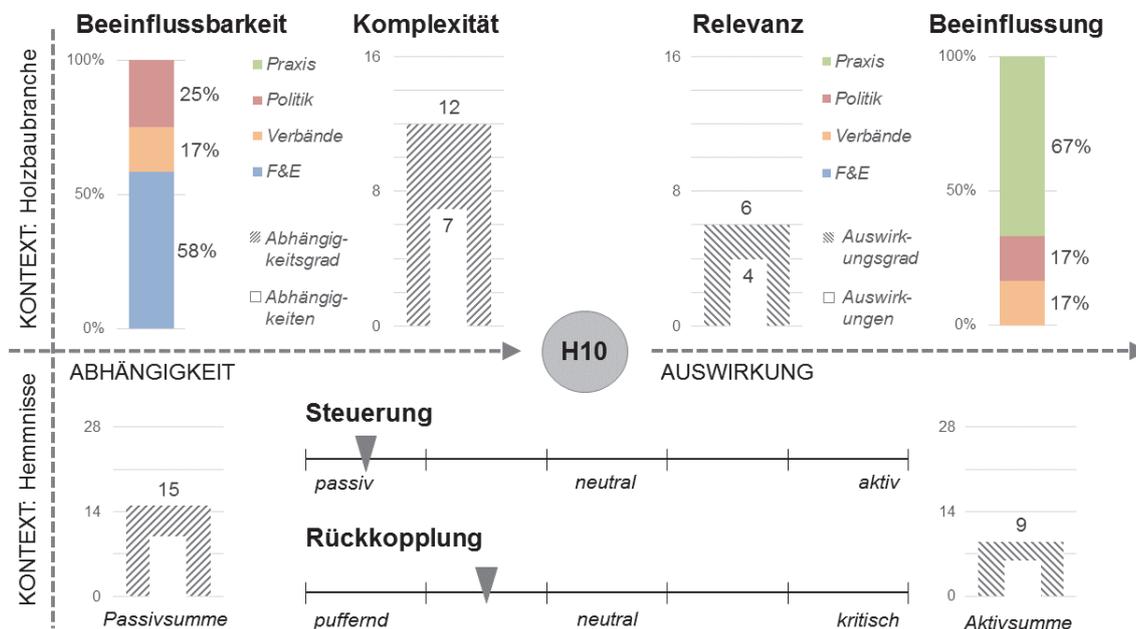


Abbildung 88: Analyseergebnisse Hemmnis 10 - Biogene Dämmstoffe

Da es sich bei dem Hemmnis um die gezielte Betrachtung eines Bauproduktes handelt, ist die Relevanz im Kontext der Holzbaubranche als gering einzuordnen. Gleichzeitig bestehen teils intensive Abhängigkeiten (Komplexität) zu unterschiedlichen thematischen Fachbereichen (Beeinflussbarkeit), welche eine Lösungsfindung erschweren. Dieses Verhalten spiegelt sich auch im Kontext zu anderen Hemmnissen wieder, da die Problematik eher von anderen Hemmnissen beeinflusst wird (passiv) und wenig Steuerungsmöglichkeiten aufweist sowie zugleich neutral in Bezug zu möglichen Rückkopplungen zu betrachten ist.

Handlungsansätze:

- Nachweisführung für Brandverhalten biogener Dämmstoffe als Ausgangspunkt.
- Entwicklung konstruktiv sinnvoller und den brandschutztechnischen Anforderungen genügender Einsatzmöglichkeiten.
- Aktualisierung der Gesetzgebung durch den Akteur Politik.
- Kontinuierliche Widerspiegelung aktueller Forschungsergebnisse in der Gesetzgebung z.B. Aktualisierung der M-HFHolzR.

## H17: Emissionen im Innenraum – Fehlende Differenzierung zwischen natürlichen und synthetischen Emissionen aus Holzprodukten

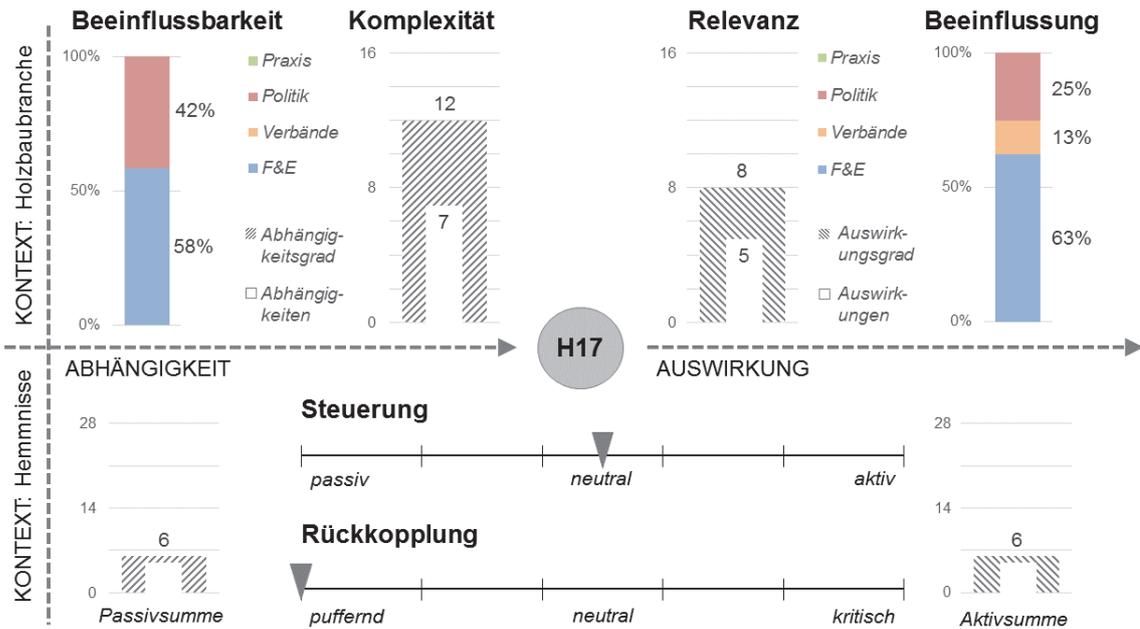


Abbildung 89:  
Analyseergebnisse Hemmnis 17 - Emissionen im Innenraum

Relativ viele Fachbereiche beeinflussen die Problematik einer differenzierteren Unterscheidung von Innenraum-Emissionen durchaus intensiv (Komplexität). Hierbei ist erkennbar, dass Fachbereiche aus der Forschung den größten Einfluss ausüben, jedoch politische Kreise die Entwicklungen ebenfalls entscheidend mitbestimmen (Beeinflussung). Die Herausforderung, Emissionen aus Holzprodukten differenzierter zu betrachten, liegt in der wenig aktiven jedoch stark puffernden Wirkung dieses Hemmnisses. Dieses Hemmnis kann andere Problemstellungen weder beeinflussen noch können Problemlösungen anderer Hemmnisse diese Herausforderung maßgeblich prägen, weshalb es eine gewisse isolierte Stellung im Verhältnis zu anderen Hemmnissen besitzt (neutral). Gleichzeitig kann dieses Hemmnis ein „Wolf-im-Schafspelz“ Verhalten aufweisen (Vester 1999, S.235).

### Handlungsansätze:

- Verstärkte Forschung im Bereich der Interaktion von Holz, Mensch und Raum.
- Wissenschaftliche Untersuchung unmittelbarer Auswirkungen von Holz und holzbasierten Produkten auf die menschliche Gesundheit zur belastbaren Datenerhebung.
- Entwicklung einer interdisziplinären Handlungsstrategie zur Verknüpfung technischer, medizinischer und materialwissenschaftlicher Aspekte.

**H15: Fachinformationsangebot** – Geringe Informations-/Beratungsangebote zu Detail- und Ausführungslösungen für Fachplaner

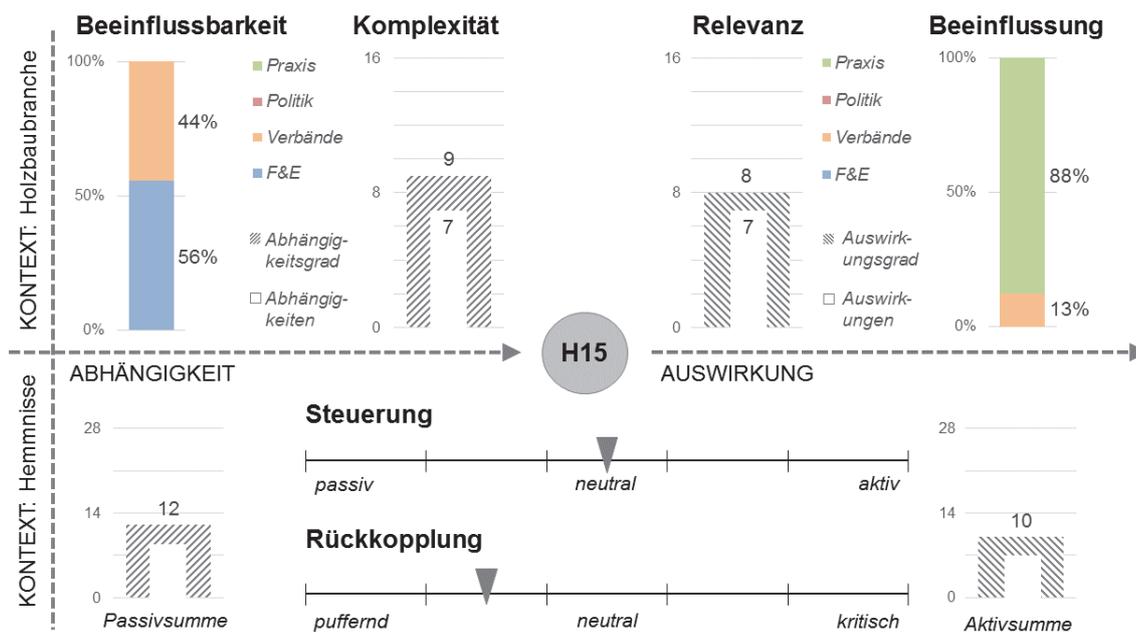


Abbildung 90:  
Analyseergebnisse Hemmnis 15 - Fachinformationsangebot

Das Hemmnis bzgl. des geringen Informations- und Beratungsangebot für Fachplaner stellt sich durchgehend sehr neutral dar, da Abhängigkeiten und Auswirkungen auf beiden Kontextebenen sehr ausgewogen sind. Deutlich zu erkennen ist die Abhängigkeit von wissensgenierenden Einrichtungen (F&E) mit der primären Auswirkung auf die Praxis (Beeinflussung). Dennoch besteht durchaus die Möglichkeit andere Fachbereiche (Relevanz) und Hemmnisse (Aktivsumme) durch ein verbessertes Angebot positiv zu prägen.

**Handlungsansätze:**

- Kontinuierliche Generierung und Erarbeitung von Detail- und Bauteilkataloge sowie bemessungstechnische Hilfestellungen in Anlehnung an konkrete Anforderungen aus der Praxis.
- Verbesserung der Zugänglichkeit und Kommunikation von Projektergebnissen aus Forschungsberichten in Form von komprimierten Zusammenfassungen, Fact-Sheets oder erneuter Aufbereitung durch Zwischenstellen.
- Konkretes und kurzfristig erreichbares Beratungsangebot schaffen durch gemeinsam getragene Ansprechstellen, um vorhandene, spezifische Wissenslücken zu schließen.

## H5: Standardisierung – Fehlende Standardisierung innerhalb der Holzbauweise

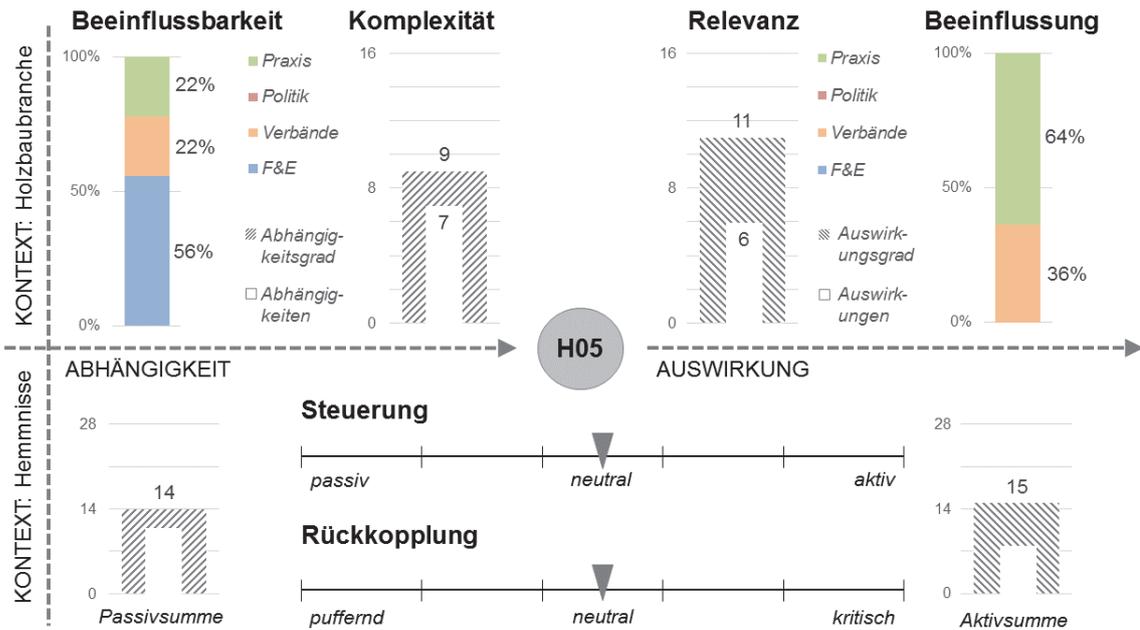


Abbildung 91:  
Analyseergebnisse Hemmnis 5 - Standardisierung

Die Herausforderung, die mit einer fehlenden Standardisierung innerhalb der Holzbauweise einhergeht, weist einen vergleichsweise moderaten Abhängigkeitsgrad (Komplexität) bei einer gleichzeitigen relativ starken Relevanz auf. Mehrere Themenbereiche beeinflussen die Entwicklung dieses Prozesses (Beeinflussbarkeit) auch wenn von einem erfolgreichen Abbau des Hemmnisses primär die Interessenvertretungen und die Praxis langfristig profitieren können (Beeinflussung). Innerhalb des Systems der Gesamtproblematik liegt dieses Hemmnis in einem neutralen Bereich, weshalb weder eine hohe Steuerbarkeit noch ein hohes Rückkopplungsrisiko oder -potential auf die Gesamtproblematik besteht.

Handlungsansätze:

- Miteinbeziehung der Praxisexpertise mithilfe industriefinanzierter Drittmittelprojekte.
- Entwicklung projektbezogener Bauteilkataloge als Zusammenfassung der Projektergebnisse für die Praxis.
- Vorgabe einer Systematik zur Entwicklung von Standarddetails.
- Einführung einer zentralen Sammelstelle für Standardlösungen und Regelwerken.

### Kernaussage an den Themen-Cluster „Forschung und Entwicklung“

In den Hemmnissen, die dem Clusters „F&E“ zugeordnet wurden, spiegeln sich dessen Kernkompetenzen deutlich wieder. Neue Informationen zu generieren, zu erforschen und den Wissensstand zu erweitern geht einher mit der Aufgabe dieses Wissen auch entsprechend weiterzugeben und die Ausbildungssituation an Hochschulen entscheidend zu prägen und zu verbessern.

### 6.3.3 Handlungsempfehlungen für den Cluster „Interessensvertreter und Verbände“

Im Folgenden ist dargestellt welche Herausforderungen im Verantwortungsbereich des Clusters „Verbände und Vertreter“ liegen. Die Fachbereiche, die dem Cluster „Verbände“ zugeordnet sind können dem Kapitel 6.1.3 entnommen werden. Der Cluster „Verbände“ spielt dabei eine zentrale Vermittlerrolle in Form der Interessenvertretung mehrerer Seiten und zwischen thematischen Spannungsfeldern.

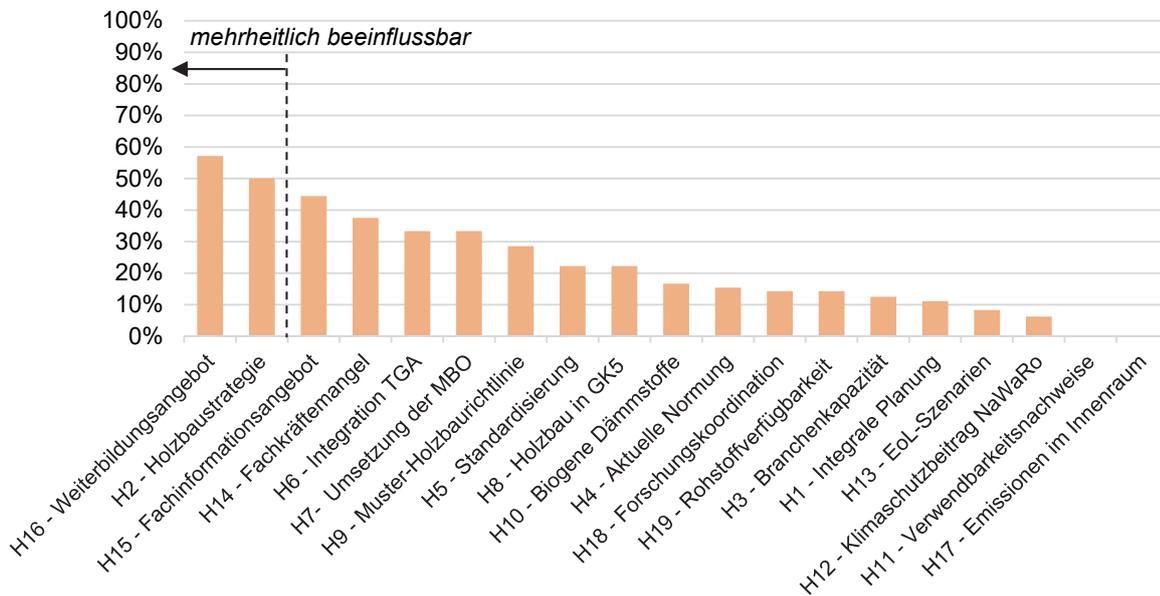


Abbildung 92: Vom Themen-Cluster "Verbände" beeinflussbare Hemmnisse sortiert nach Beeinflussbarkeit

Die obenstehende Grafik verdeutlicht, dass auf der einen Seite eine Vielzahl der aktuellen Herausforderungen von dem Cluster „Verbände“ beeinflusst werden kann, auf der anderen Seite allerdings lediglich zwei Herausforderungen mehrheitlich von der Beeinflussbarkeit des Clusters abhängen und damit in dessen primären Verantwortungsbereich fallen:

- **H16 – Weiterbildung** | zu 57 % vom Cluster „Verbände“ beeinflussbar
- **H2 – Holzbaustrategie** | (siehe Misch-Cluster)

**H16: Weiterbildung** – Geringe Informations-/Weiterbildungsmöglichkeiten für nicht fachspezifische Entscheidungsträger

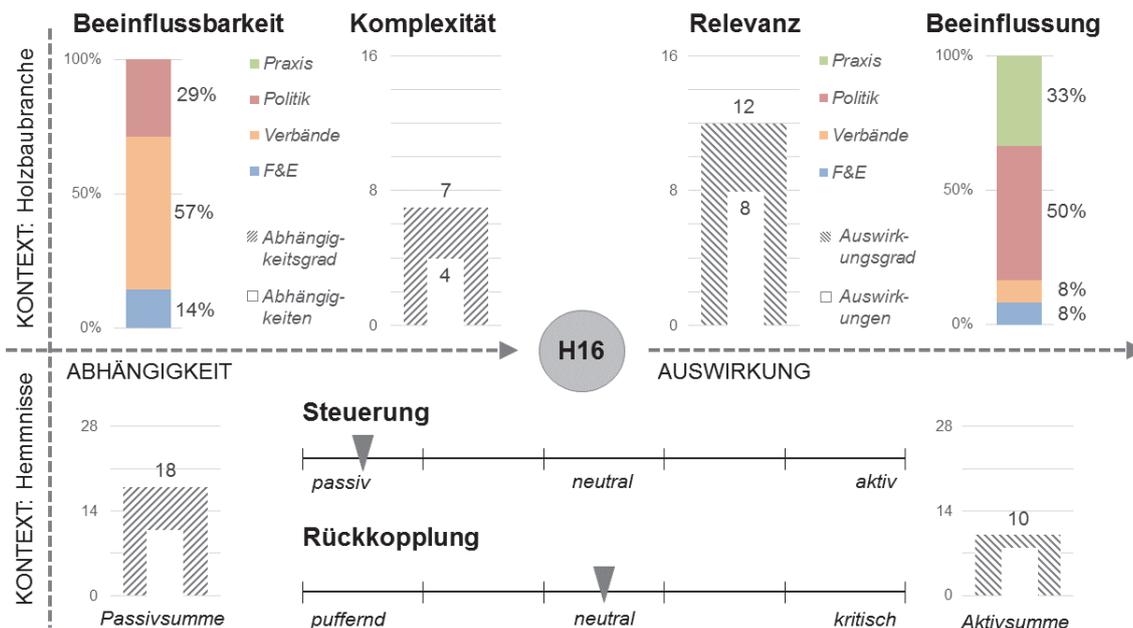


Abbildung 93: Analyseergebnisse Hemmnis 16 - Weiterbildungsangebote

Die Herausforderung den Wissensstand kontinuierlich anzupassen und dafür geeignete Angebote an unterschiedliche Adressaten bereitzustellen ist auf der einen Seite nicht sehr komplex, auf der anderen Seite impliziert es allerdings ein hohes Potential (hoher Auswirkungsgrad) in unterschiedlichsten Fachbereichen (Beeinflussung) Veränderungen anzustoßen. Im Kontext der Hemmnisse untereinander verhält sich diese Problematik passiv, da es sich auf wenig andere Hemmnisse auswirkt und gleichzeitig von vielen anderen abhängt (Steuerung). Dieses Hemmnis kann daher als Gradmesser herangezogen werden, inwiefern Maßnahmen innerhalb der Gesamtproblematik greifen und wirken.

Handlungsansätze:

- Zielgruppenspezifische Angebote, Veranstaltungen und Fortbildungsmöglichkeiten schaffen, um fachfremdes Publikum den Holzbau in ansprechender Art nahe zu bringen.
- Zusammenfassung, Reduktion und Identifikation relevanter Inhalte für spezifische Ansprechpartner sowie deren zeitgerechte und unkomplizierte Aufbereitung und Verfügbarkeit.
- spezifische Leitfäden und Vorgehenshilfen für Holzbauprojekte und deren Realisierung, die sich an entscheidungsrelevante Zielgruppen wie Bauherren oder Behörden richten.
- Zur Verfügung Stellung von Sammlungen, Datenbanken oder Listen an realisierten Projekten (Projektpool), für die Planer und Entscheidungsträger zur Referenz sowie zur Nachvollziehbarkeit der Machbarkeit und des Potentials.

#### **Kernaussage an den Themen-Cluster „Interessensvertreter und Verbände“**

Die Kernkompetenz des Clusters „Verbände“ liegt eindeutig in der Bündelung und Koordination verschiedenster Interessen. Aus diesem Grund ist eine Vereinheitlichung dieser Vielzahl an Interessen und eine konzentrierte, lautstarke Stellungnahme dringend erforderlich, die sich u.a. in einer gemeinsamen Holzbaustrategie äußert. Außerdem birgt die Mittlerrolle der Verbände die wichtige Kommunikationsaufgabe Wissen aus Forschung und Entwicklung an Fachplaner wie fachfremdes Publikum entsprechend zu transferieren, um es anschließend effektiv weiterzugeben.

#### **6.3.4 Handlungsempfehlungen für den Cluster „Politik und Gesellschaft“**

Nachfolgend werden die Hemmnisse erörtert, die eine primäre Abhängigkeit durch Fachbereiche des Clusters „Politik“ aufweisen. Die Fachbereiche, die dem Cluster „Verbände“ zugeordnet sind können dem Kapitel 6.1.3 entnommen werden.

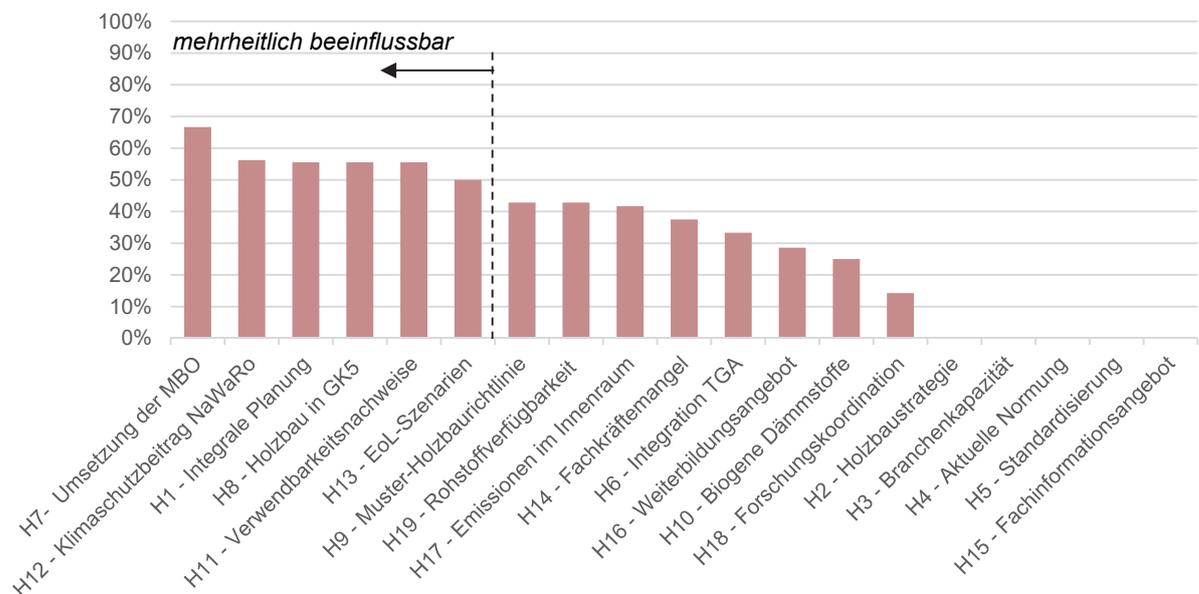


Abbildung 94:

Vom Themen-Cluster "Politik" beeinflussbare Hemmnisse sortiert nach Beeinflussbarkeit

Betrachtet man lediglich die Beeinflussbarkeit der Hemmnisse durch den Cluster „Politik“ fällt auf (s. Abbildung 94), dass zahlreiche Hemmnisse von der politischen und gesellschaftlichen Thematik abhängen und zudem sechs davon maßgeblich:

- **H7 – Umsetzung MBO** | zu 67 % vom Cluster „Politik“ beeinflussbar
- **H12 – Klimaschutzbeitrag Nawaro** | zu 56 % vom Cluster „Politik“ beeinflussbar
- **H1 – Integrale Planung** | zu 56 % vom Cluster „Politik“ beeinflussbar
- **H8 – Holzbau in GK5** | zu 56 % vom Cluster „Politik“ beeinflussbar
- **H11 – Verwendbarkeitsnachweise** | zu 56 % vom Cluster „Politik“ beeinflussbar
- **H13 – EoL-Szenarien** | zu 50 % vom Cluster „Politik“ beeinflussbar

### H7: Umsetzung der MBO – Fehlende einheitliche Umsetzung der Musterbauordnung (MBO)

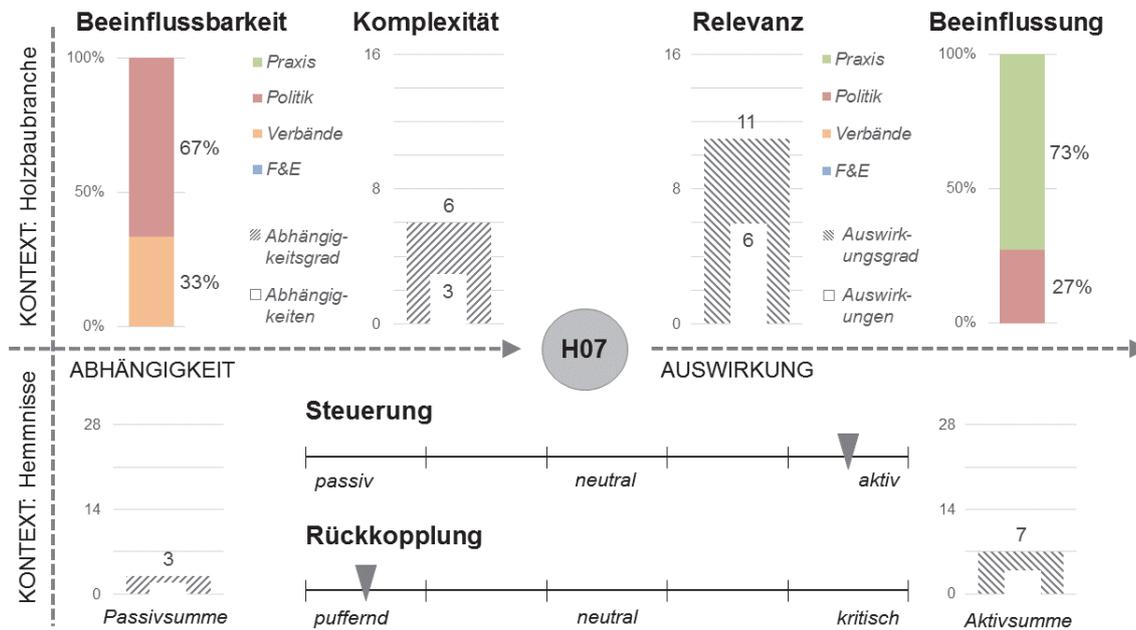


Abbildung 95:  
Analyseergebnisse Hemmnis 7 - Umsetzung der MBO

Die MBO als maßgebliches bauordnungsrechtliches Gestaltungsinstrument hat in der Holzbaubranche ausschlaggebenden Einfluss auf die Praxis. Auch wenn nur wenige Abhängigkeiten bestehen (Komplexität), sind diese besonders intensiv und dominiert von dem Themen-Cluster „Politik“ (Beeinflussbarkeit). Durch Ihre steuernde Wirkung kann eine Lösung der Problematik hinsichtlich der einheitlichen Umsetzung zu umfangreichen Änderungen in der Problematik vieler weiterer Hemmnisse führen (aktiv), ohne die Möglichkeit oder Gefahr einer potentiellen Rückkopplung (puffernd).

#### Handlungsansatz – Szenario 1: Anpassungen im Verfahren

- MBO dient als verbindliche länderübergreifende Festlegung der Mindestanforderungen.
- Zeitliche Festlegung zur Umsetzung in den Ländern bzw. Selbstverpflichtung der Länderparlamente zur zügigen Umsetzung der Mindestanforderungen sowie länderspezifischer Abweichungen, die eine Vereinfachung zum Ziel haben.

#### Handlungsansatz – Szenario 2: Änderungen in den Strukturen

- Erhöhung der Kompetenzen der Bauministerkonferenz bzw. Verlagerung der Entscheidungsbefugnis von den Länderparlamenten in die Bauministerkonferenz, d.h. die Musterbauordnung löst die länderspezifischen Bauordnungen ab.

## H12 | Klimaschutzbeitrag Nawaro – Geringe Berücksichtigung des klimapositiven Beitrags von nachwachsenden Rohstoffen (Nawaro) bei der Planung von Gebäuden

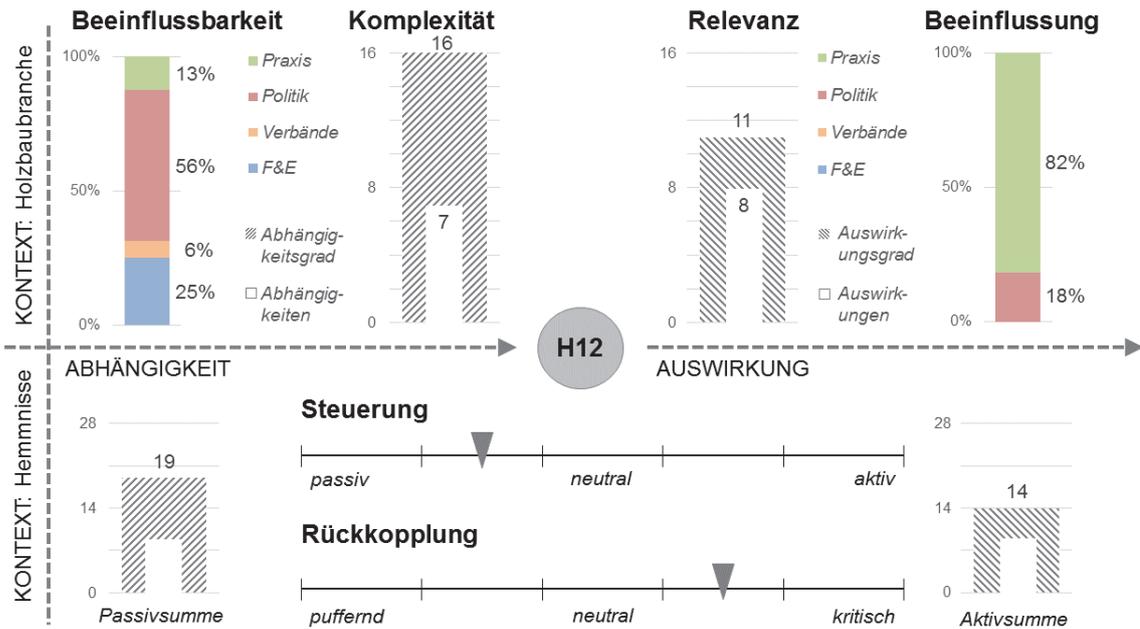


Abbildung 96:  
Analyseergebnisse Hemmnis 12 - Klimaschutzbeitrag Nawaro

Die Problematik, dass das klimarelevante Potential der nachwachsenden Rohstoffe auf Gebäudeebene und in der Planung aktuell nur geringfügig berücksichtigt wird, offenbart durch den hohen Abhängigkeitsgrad vor dem Hintergrund einer Vielzahl an Themen die höchste Komplexität im Vergleich zu anderen Hemmnissen. Demgegenüber birgt dieses Hemmnis gleichzeitig eine relativ hohe Relevanz, da es einen überdurchschnittlich hohen Auswirkungsgrad auf andere Fachbereiche aufweist (in erster Linie aus der Praxis). In Bezug zur Gesamtproblematik, ist dieses Hemmnis leicht kritisch, was bedeutet, dass es sowohl ein Potential als auch ein Risiko birgt andere Hemmnisse zu beeinflussen und dabei eine positive oder negative Rückkopplung im System erzeugen kann.

### Handlungsansätze:

- **Forderung:** Entwicklung von Zielwerten für THG-Emissionen auf Gebäudeebene über den gesamten Lebenszyklus (inklusive Herstellung und Rückbau) als Ergänzung zu bestehenden Systemen (EnEV) die sich bisher lediglich auf die Nutzung fokussieren. Darstellung und Berechnung durch Ökobilanzen.
- **Förderung:** Schaffung von Anreizen (z.B. im Rahmen der Gebäudezertifizierung seitens DGNB/BNB) zur frühzeitigen Berücksichtigung der Menge an gebundenen biogenen Kohlenstoffs in der Gebäudeplanung.
- **Aufbau und Weiterentwicklung** von Förderprogrammen zur Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen im Bauwesen angelehnt an das CO<sub>2</sub>-Bonusprogramm der LHS München (vgl. Kap. 6.1.5).
- **(Weiter-)Entwicklung** geeigneter Bewertungsmethoden und Leistungsindikatoren zur transparenten und effizienten Bewertung des Klimaschutzbeitrages auf Gebäudeebene durch die Nutzung von Nawaros.

# H1: Integrale Planung – Fehlender integraler Planungsprozess

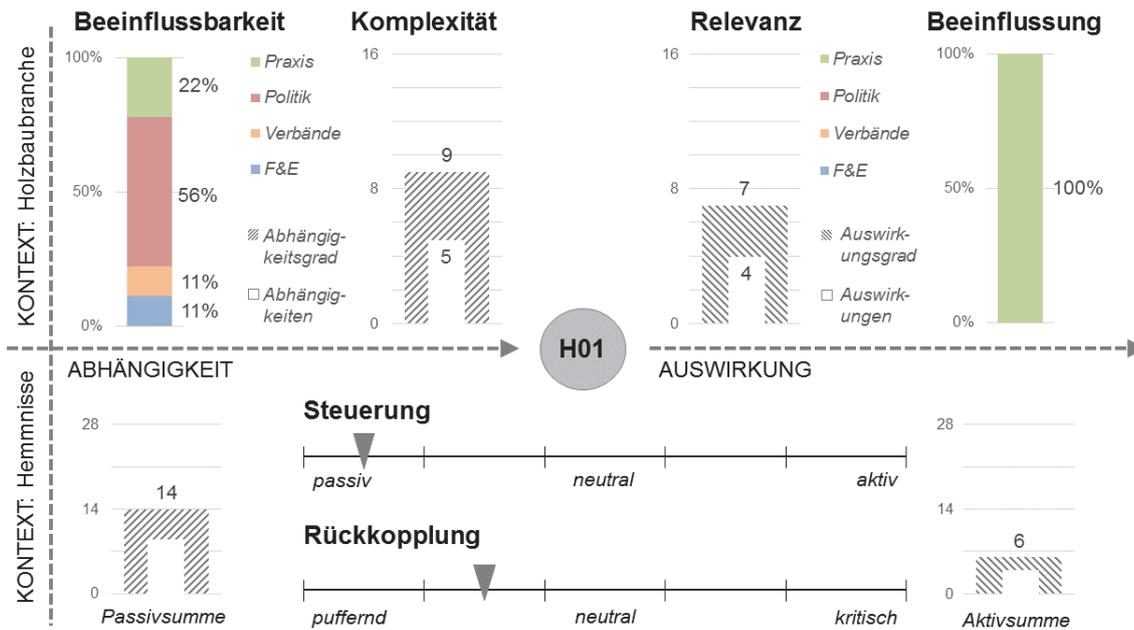


Abbildung 97:  
Analyseergebnisse Hemmnis 1 - Integrale Planung

Die Problematik eines fehlenden integralen Planungsprozesses weist eine höhere Komplexität mit Abhängigkeiten von verschiedenen Themen, als Relevanz auf, wodurch die erschwerte Koordinierung und Inangriffnahme erklärt werden können. Die Auswirkungen stellen sich unidirektional ausschließlich auf den Cluster Praxis dar. Im Kontext der Gesamtproblematik steht dieses Hemmnis anderen Hemmnissen passiv gegenüber, wird daher stärker beeinflusst, als dass es beeinflusst. Das Gelingen einer integralen Planung kann ähnlich der Problematik einer früheren Integration der TGA zwar nur wenig andere Hemmnisse beeinflussen (passiv), dient aber gut als Indikator inwiefern sich das gesamte System verbessert, ohne die Gefahr einer Rückkopplung (puffernd).

## Handlungsansätze:

- Rechtliche Verschiebung der Holzbaukompetenz in frühere Planungsphasen.
- Miteinbeziehen der Vergabe von Bauleistungen in frühere Leistungsphasen für eine planungsgerechtere Vergütung innerhalb der HOAI.

## H8: Holzbau in GK5 – Unzulässigkeit von Holzbau in GK5 innerhalb der meisten Landesbauordnungen (LBO)

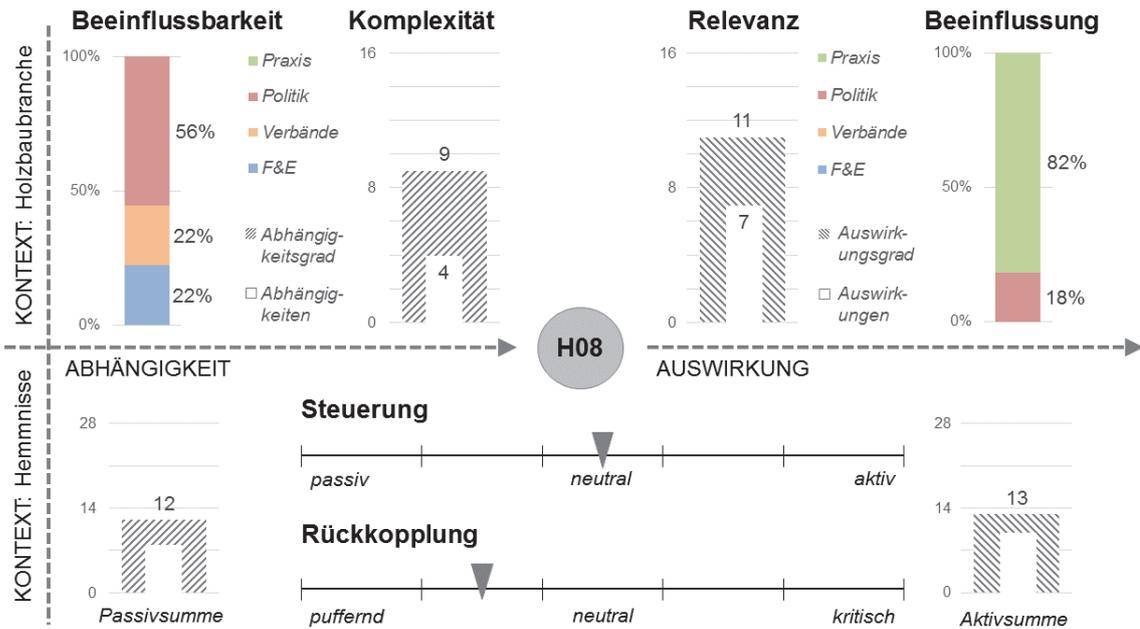


Abbildung 98:  
Analyseergebnisse Hemmnis 8 - Holzbau in GK5

Innerhalb der Holzbaubranche hat das Hemmnis neben einer moderaten Abhängigkeit von verschiedenen Thematiken eine erhebliche Relevanz für die Praxis, da es den Einsatzbereich des Holzbaus maßgeblich definiert. In Bezug zu den anderen Hemmnissen verhält es sich selbstregulierend und neutral.

### Handlungsansatz – Szenario 1: Anpassungen über die MBO

- Festgeschrieben Aktualisierungsintervalle der MBO, die den aktuellen Stand der Technik bzw. Forschung widerspiegeln.
- Informationsbedarf der Entscheidungsgremien muss durch F&E sowie Verbände befriedigt werden.
- Entscheidungskompetenz auf politischer Ebene.

### Handlungsansatz – Szenario 2: Anpassungen über die M-HFH HolzR

- Nutzung der bereits vorhandenen M-HFH HolzR als ‚holzspezifisches‘ Instrument.
- Erhöhung des kontinuierlichen Anpassungs- bzw. Aktualisierungsbedarfs an die M-HFH HolzR.
- Verlagerung der Entscheidungskompetenz auf die fachliche Ebene (Fachkommission).

## H11: Verwendbarkeitsnachweise – Notwendigkeit und Komplexität bei der Erstellung von Verwendbarkeitsnachweisen

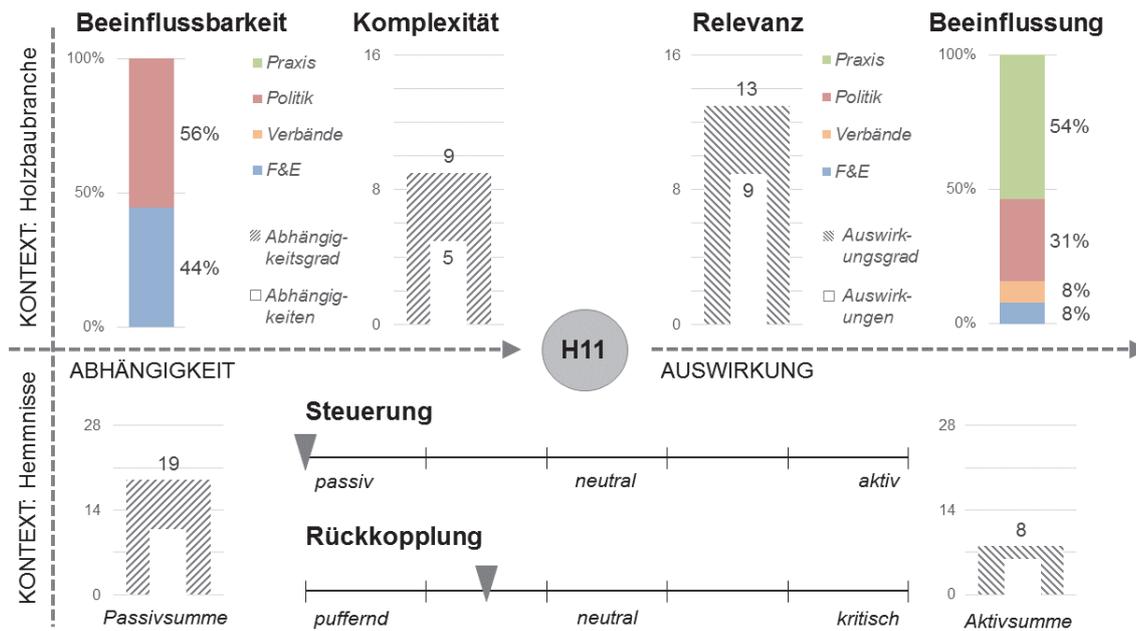


Abbildung 99: Analyseergebnisse Hemmnis 11 - Verwendbarkeitsnachweise

Im Kontext der Holzbaubranche stellt sich das Hemmnis als weitgehend unabhängig, in den Auswirkungen aber insbesondere für die Praxis als äußerst relevant dar. Das Hemmnis kann durch die Lösung anderer Hemmnisse, insbesondere im politischen Kontext, erheblich beeinflusst werden, hat aber selbst keine steuernde Wirkung (passiv).

### Handlungsansatz:

Durch das EuGH-Urteil C-100/13 ergibt sich eine neue Ausgangslage für das Hemmnis. Das Erfordernis zusätzlicher Anforderungen über die Bauregelliste hinaus, wozu die Verwendbarkeitsnachweise gehören, verstößt gegen europäisches Recht. Die gesetzgebenden Akteure haben auf dieses Urteil in Form einer Anpassung der MBO reagiert, durch die Verwendbarkeitsnachweise ergänzend zur CE-Kennzeichnung nicht mehr zulässig sind. Dies führt jedoch nicht zu einer Abschaffung des Hemmnisses, sondern vielmehr zu einer Verlagerung der Problematik in den Zuständigkeitsbereich der MBO, die auf Länderebene in die jeweiligen Bauordnungen umgesetzt werden muss (siehe hierzu Hemmnis H7).

### H13: EoL-Szenarien – Fehlende Szenarien-Entwicklung der weiteren Verwendung von Holzprodukten am Lebensende eines Gebäudes (EoL-Szenarien)

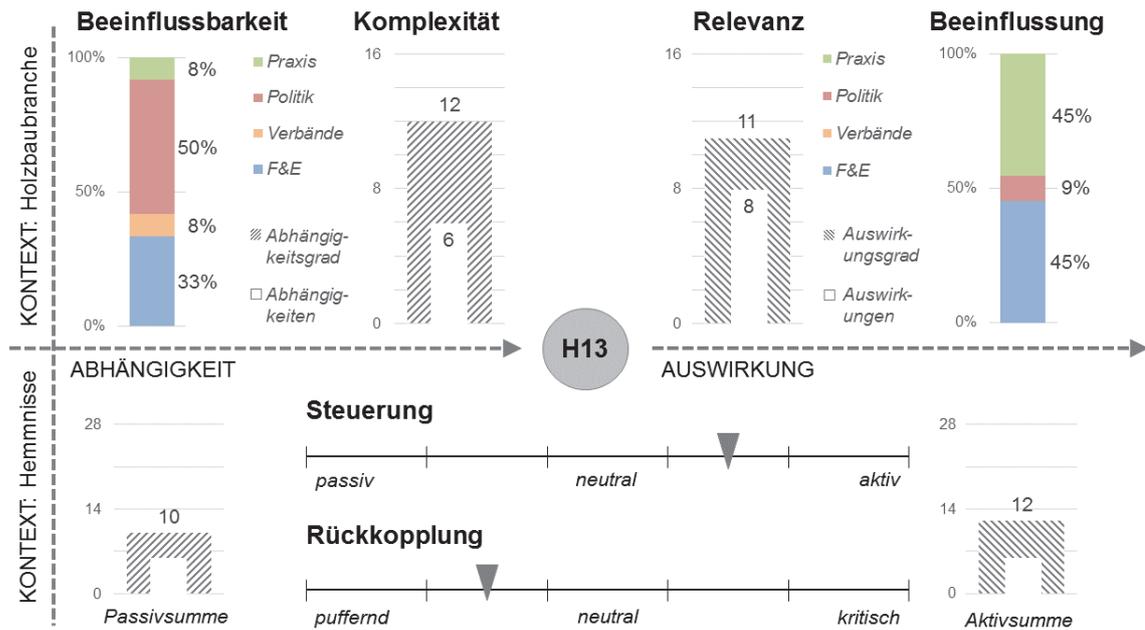


Abbildung 100:  
Analyseergebnisse Hemmnis 13 - EoL-Szenarien

Die Fragestellung, wie am Lebensende mit Gebäuden und insbesondere mit Holzprodukten aus Gebäuden zu verfahren ist, weist eine relativ große Vielfalt und Vielzahl an Abhängigkeiten auf (Beeinflussbarkeit / Komplexität), was auf einen interdisziplinären Lösungsansatz hinweist. Die leichte Aktivität dieses Hemmnisses im Kontext der Gesamtproblematik offenbart eine geringe Einflussmöglichkeit auf andere Herausforderungen, die auf die Vielzahl von offenen Fragestellungen und den ausstehenden Forschungsbedarf zurückzuführen ist.

Handlungsansätze:

- Aufstellung und Verstärkung spezieller Förderungsprogramme für die Analyse der EoL-Phase von Gebäuden und zur Entwicklung nachhaltiger Maßnahmen, vor dem Hintergrund einer Strategie zum Umgang mit stofflicher und energetischer Verwertung.
- Anrechenbarkeit oder Förderung der Rückbaukosten, um Kosten zu senken und um die Entwicklung zur Rückbaufähigkeit, Wiederverwendung und Recycling von Baustoffen voranzutreiben.
- Priorisierung eines allgemein integralen Planungsprozess zur Förderung einer frühzeitigen Gesamtbetrachtung von Gebäuden im Kontext des vollständigen Lebenszyklus, um Machbarkeit in der Praxis zu gewährleisten und Probleme durch mögliche Konsequenzen einer einseitigen Schwerpunktsetzung zu vermeiden.
- Optimierung und Weiterentwicklung bestehender Ansätze im Bereich der Fertighausindustrie (Beispiel Musterhäuser) zur Untersuchung von Themen der Trennbarkeit, Wiederverwendbarkeit und Resttragfähigkeit.

#### Kernaussage an den Themen-Cluster „Politik und Gesellschaft“

Die gemeinsame Botschaft der Handlungsempfehlungen der Hemmnisse, die dem Themen-Cluster „Politik“ zugeordnet werden können forciert primär eine Anpassung der gesetzlichen Anforderungen, die auch bereits wahrgenommen wurde und sich im Änderungsprozess befindet. Die vorhandenen Vergütungs- und Vergabestrukturen sowie die Bauordnungen, stellen sich teilweise hemmend für einen integralen Planungsprozess dar, vor dem Hintergrund einer industriellen Vorfertigung und einer nachhaltigen Berücksichtigung des vollständigen Lebenszyklus von Gebäuden und dessen Konsequenzen.

### 6.3.5 Handlungsempfehlungen für den Cluster „Wirtschaft und Ausführung“

Im Folgenden sind die Hemmnisse dargestellt, die in erster Linie von wirtschaftlichen und praxisbezogenen Themen- und Fachbereichen beeinflusst werden. Die Fachbereiche, die dem Cluster „Praxis“ zugeordnet sind können dem Kapitel 6.1.3 entnommen werden.

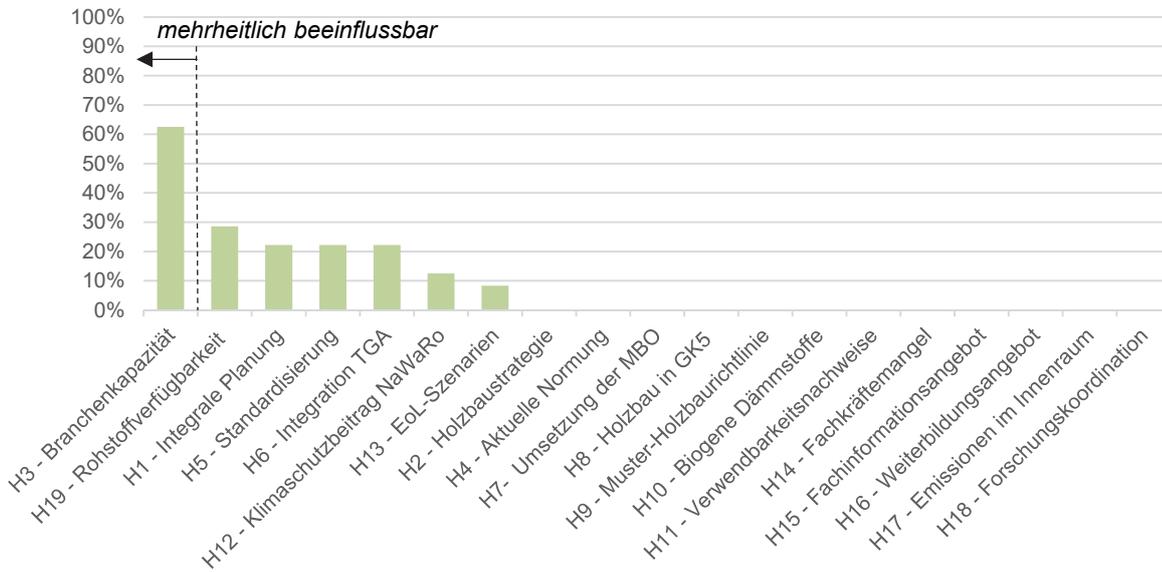


Abbildung 101: Vom Themen-Cluster "Praxis" beeinflussbare Hemmnisse sortiert nach Beeinflussbarkeit

Die Abbildung 101 offenbart, dass der Großteil der Hemmnisse thematisch nicht von dem Themen-Cluster „Praxis“ abhängt, aber dennoch in mehreren Herausforderungen diese prägen kann und sich daher auch beteiligen muss, um diese Hemmnisse abzubauen. Auffallend deutlich ist die Verantwortung in einem Hemmnis vorhanden:

- **H3 – Branchenkapazität** | zu 63 % vom Cluster „Praxis“ beeinflussbar

### H3: Branchenkapazität – Fehlende Kapazität der klein- und mittelständischen Unternehmen zur Realisierung des mehrgeschossigen Holzbaus

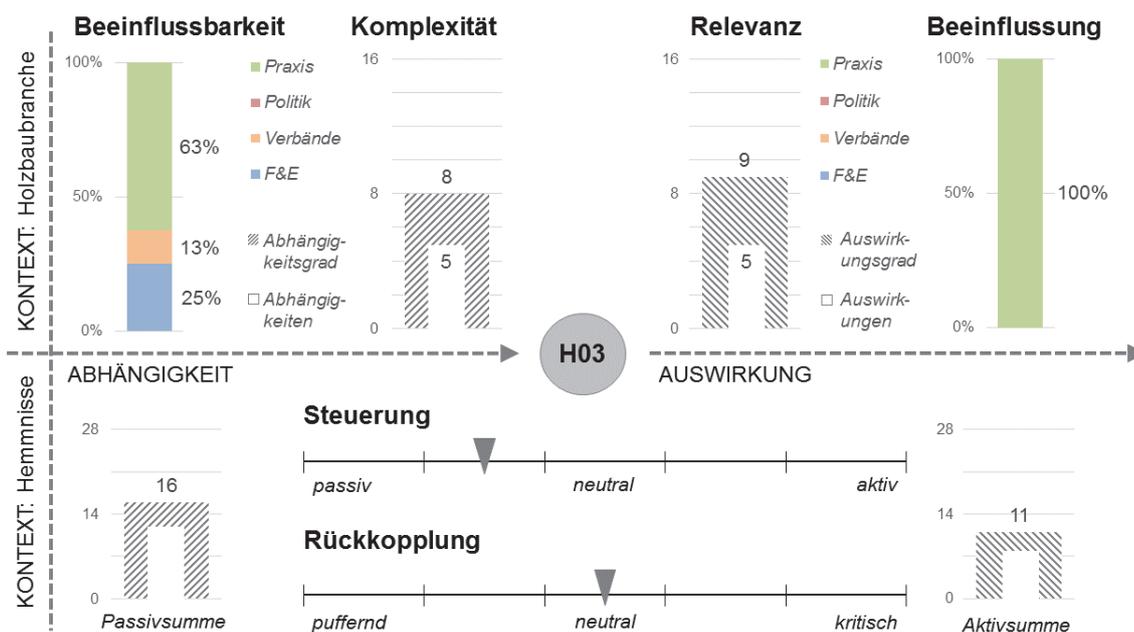


Abbildung 102: Analyseergebnisse Hemmnis 3 - Branchenkapazität

Die Herausforderung die Branchenkapazität zu steigern weist ein ausgeglichenes Verhältnis zwischen Abhängigkeits- und Auswirkungsgrad (Komplexität und Relevanz) auf. Fachbereiche aus dem Themen-Cluster Praxis beeinflussen die Entwicklung dieses Prozesses in erster Linie und werden gleichzeitig von ihrem Erfolg langfristig profitieren können. Innerhalb des Systems der Gesamtproblematik liegt dieses Hemmnis in einem eher passiven und neutralen Bereich, weshalb weder eine hohe Steuerbarkeit noch ein hohes Rückkopplungsrisiko oder -potential in Bezug auf die Gesamtproblematik besteht.

Handlungsansätze:

- Ausbau der Kapazität bestehender Holzbauunternehmen zur Ausführung von Projekten im mehrgeschossigen Holzbau.
- Aktiver Zusammenschluss von Holzbaubetrieben zu Arbeitsgemeinschaften.

#### **Kernaussage an den Themen-Cluster „Wirtschaft und Ausführung“**

Thematisch profitiert der Cluster „Praxis“ in erster Linie von effektiven Veränderungen im Abbau der Hemmnisse, wodurch auch die Verantwortung wächst die bestehenden Kapazitäten weiter auszubauen und Ressourcen gezielt in der eigenen und gemeinsamen Forschungsaktivität einzusetzen. Das geringe Potential dieses Themen-Clusters zur mehrheitlichen Beeinflussung ermöglicht es Akteuren, die in diesem Cluster primär aktiv sind, ihr Engagement in den anderen Themen-Clustern „F&E“, „Verbände“ und „Politik“ aktiv zu intensivieren und zu verstärken sowie die anstehenden Herausforderungen mit vollem Einsatz anzugehen.



## 7 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Annette Hafner, Sebastian Rüter, Samuel Ebert, Sabrina Schäfer

Das Forschungsprojekt THG-Holzbau stellt dar, welchen Einfluss Bauen mit Holz im Rahmen des Klimaschutzes auf nationaler Ebene haben kann. Hierzu verknüpft das Projekt die Erfassung der ökologischen Qualität von Holzhäusern mit Hilfe von Gebäudeökobilanzen mit den politischen Zielen des Klimaschutzes. Der mögliche Einfluss von Bauen mit Holz - durch die Substitution von mineralischen Gebäuden mit Holzgebäuden – kann so auf großer Maßstabsebene dargestellt werden. Durch die Anrechenbarkeit der stofflichen Nutzung von Holz unter der 2. Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls kann der Holzbau für den Klimaschutz interessant werden. Von einem momentanen Marktanteil des Holzbaus als Referenz ausgehend, werden die Ergebnisse auf nationale Ebene skaliert. Es wird die mit dem Holzeinsatz einhergehende Kohlenstoffspeicherwirkung und die damit verbundene Substitutionswirkung dargestellt. Des Weiteren werden die Herausforderungen für eine Vergrößerung des Holzanteils im Baubereich systematisch beschrieben und Strategien und Potentiale zur Überwindung der Hemmnisse der Verwendung von Holz im Baubereich herausgearbeitet.

Das Projekt THG-Holzbau wird auf unterschiedlichen Ebenen bearbeitet.

In einem Bottom-up Ansatz werden Ökobilanzen einzelner Gebäuden erstellt. Die Gebäudeökobilanzergebnisse stellen die Eingangsdaten für die Hochrechnungen des nationalen Kohlenstoffspeichers und des Substitutionspotentials, sowie den damit verbundenen Holzeinschlag dar. Auf Basis repräsentativer und funktionell äquivalenter Gebäudedaten wird der Ökobilanzvergleich normkonform nach DIN EN ISO 14044:2006 und DIN EN 15978:2012 zwischen mineralischen und Holzgebäuden durchgeführt. In einer Top-down Betrachtung werden nationale statistische Daten zur Gebäudefertigstellung mit den bereits erwähnten Daten auf Gebäudeebene über einen quantitativen Abgleich und eine differenzierte Gegenüberstellung zusammengeführt und daraus Szenarien abgeleitet, wie sich die Auswirkungen auf den Klimaschutz durch eine veränderte Holznutzung für das Segment EZFH und MFH bis 2030 entwickeln könnte. Die unterschiedlichen Szenarien der Holzbauquoten sind in einem dritten Teil verknüpft mit einer qualitativen Beurteilung, wie sich das Potential von vermehrtem Holzbau in der Praxis freisetzen lässt bzw. welche Hemmnisse hierfür zu überwinden sind.

Um die Potentiale der Holzverwendung für den Klimaschutz auf nationaler Ebene abschätzen zu können, ist der gesamte Bausektor relevant. Hierbei wird zwischen Neubau und Sanierung unterschieden, wobei nach BBSR (BBSR 2016) 70 % des zukünftigen Potentials in der Sanierung liegen. Weiter wird in Wohnungsbau und Nichtwohnungsbau unterschieden. Im Rahmen dieses Projektes wurde der Anteil Wohnungsneubau untersucht. Alle Hochrechnungen beziehen sich ausschließlich auf diesen Bereich. Weitere Kategorien – Nichtwohnungsbau und Sanierung – werden nun in einem separaten Projekt in analoger Vorgehensweise untersucht.

Die Ergebnisse des Projekts THG-Holzbau werden auf Gebäudeebene (Kapitel 4) und auf nationaler Ebene (Kapitel 5) dargestellt, sowie die Beeinflussbarkeit und Steuerbarkeit der Herausforderungen für eine verstärkte Holznutzung im Bausektor beschrieben (Kapitel 6).

Auf Gebäudeebene werden Substitutionsfaktoren für die Bereiche Neubau EZFH und MFH ermittelt. Diese werden auf Basis des Indikators *Treibhauspotential* berechnet. Hierzu werden Substitutionsfaktoren für funktionell äquivalente Gebäude unterschiedlicher Konstruktionen (Holzbau, mineralische Bauweise) über den Gebäudelebenszyklus dargestellt.

Substitutionspotentiale ergeben sich zum einen aus der Konstruktion (Fundamentplatte, Außenwände, Innenwände, Decken, Dach, Balkone) und zum anderen durch den Innenausbau (Fenster, Türen, Bodenbeläge, Dachbelag, Treppen, etc.) und die Fassadenbekleidung des Gebäudes. Ausschließlich über die Konstruktion wird ein Gebäude als Holzgebäude oder mineralisches Gebäude klassifiziert. Substitutionspotentiale durch den Innenausbau können unabhängig von der verwendeten Konstruktion entstehen. Die Berechnungen sind über eine begleitendes „critical review“ nach DIN EN ISO 14040:2009 und DIN EN ISO 14044:2006 verifiziert, um vergleichende Aussagen auf Grundlage einer Ökobilanz veröffentlichen zu können.

Auf Gebäudeebene zeigt sich, dass Substitutionspotential vorhanden ist, das sich in Konstruktion und Ausbau unterteilen lässt. Der Substitutionsfaktor Gebäude ( $SF_G$ ) bewegt sich für die Konstruktion der

EZFH zwischen 0,35 und 0,56 (pro m<sup>2</sup> BGF) und für MFH zwischen 0,09 und 0,48 (pro m<sup>2</sup> BGF). Das heißt es entstehen zwischen 35 und 56 % weniger THG-Emissionen beim Bau eines EZFH aus Holz anstelle eines mineralischen Gebäudes. Bei einem MFH lassen sich bei einem Gebäude vorwiegend aus Holzkonstruktion zwischen 9 und 48 % THG-Emissionen einsparen. Anders ausgedrückt: Im Gebäudevergleich (funktionelle Einheit 1m<sup>2</sup> BGF) zeigt sich eine nennenswerte Differenz der THG-Emissionen zwischen Gebäuden in mineralischer und Holzbauweise, die sich alleine durch das unterschiedliche Tragwerk ergibt. Der Wertekorridor für die Differenz der THG-Emissionen pro m<sup>2</sup> BGF liegt zwischen 77 bis 207 (EZFH) bzw. 18 bis 178 (MFH) kg CO<sub>2</sub> äq/m<sup>2</sup> BGF. Die angegebenen Werte berücksichtigen die Herstellungs- und Entsorgungsphase der Gebäude (Modul A+C).

Zusätzlich zum Substitutionspotential der Konstruktion ist Potential im Ausbau der Gebäude vorhanden, das in diesem Projekt beispielhaft ermittelt wurde und unabhängig vom verwendeten Material des Tragwerks ist. Der Ausbau beinhaltet vor allem Bodenbeläge, Fenster, Türen und eine mögliche Fassadenbekleidung in Holz. Der Substitutionsfaktor (SF<sub>G</sub>) für den Ausbau kann mit etwa 0,1 bis 0,25 (ohne Fassadenbekleidung) angenommen werden (Modul A+C). Ein Ausbau mit Holz kann somit 10 - 25 % Emissionen gegenüber einem Ausbau aus überwiegend mineralischen Bauteilen einsparen. Da der Ausbau im Lebenszyklus eines Gebäudes mehrfach anfällt, ist der Einfluss im Lebenszyklus groß. Die Austauschzyklen basieren auf den Angaben des BBSR (BMUB 2011). Das Potential des Ausbaus ist nicht zu vernachlässigen, da in jedem Gebäude, unabhängig von der Konstruktion, Holzprodukte im Ausbau eingesetzt werden können. Ein weiterer Pluspunkt des Ausbaus ist, dass dieses Potential auch in Bestandsgebäuden freigesetzt werden kann.

Auch mineralische Gebäude, zumindest im Bereich der EZFH, weisen oft einen Dachstuhl aus Holz auf. Über das gesamte Bauvolumen in Deutschland besteht auch in diesem Bereich ein nennenswerter Kohlenstoffspeicher.

Alle untersuchten Gebäude erzielten einen positiven Substitutionsfaktor bei normkonformer Berechnung nach DIN EN 15978:2012. Das heißt wird eine mineralische Konstruktion mit einer Konstruktion aus Holz ersetzt, kann zwischen 9 % und 56 % an THG-Emissionen für die Konstruktion eingespart werden und zusätzliches Potential aus dem Ausbau generiert werden. Dabei ist die Höhe des Substitutionsfaktors auf Gebäudeebene abhängig von den eingesetzten Baumaterialien, der Gestaltung der Gebäude, der Gebäudeklasse (Brandschutzanforderungen), der Art / des Ziels des Gebäudes (ökologisches Musterhaus, durchschnittlichen Wohnungsbau, etc.). Je materialähnlicher die Gebäude sind, d.h. je mehr mineralische Materialien im Holzgebäude vorhanden sind, desto geringer ist der Substitutionsfaktor SF<sub>G</sub> und die THG-Einsparpotentiale gegenüber dem mineralischen Pendant. Genau so gilt: je mehr Bauteile aus Holz im mineralischen Gebäude verbaut sind (z.B. Dachstuhl aus Holz) desto geringer fällt der Substitutionsfaktor aus.

Die Abschätzung des Klimaschutzbeitrags mittels Sachbilanz- und THG-Daten realer Gebäude aus normkonformen Ökobilanzen in Kombination mit Statistiken zu Baufertigstellungen und Holzhalbwerten stellt eine neue und abgesicherte Methode dar. Das vorgestellte Vorgehen legt die Basis für ein Monitoring indirekter THG-Effekte. Es werden in dem Projekt ein Referenzszenario festgelegt, sowie zwei Szenarien bis 2030 und darüber hinaus betrachtet.

Hoher zukünftiger Wohnungsbedarf ist dabei vor allem in Ländern mit bereits heute hoher Holzbauquote zu finden. Der Einfluss der projizierten Holzbauquote (55/15) auf den potentiellen Klimaschutzbeitrag ist maßgeblich davon abhängig, wie die aktuelle Holzbauquote im jeweiligen Bundesland ist und wie der prognostizierte Wohnungsbedarf im jeweiligen Bundesland hochgerechnet wurde. Bei den Berechnungen ist der Ausbau noch nicht mit in die Hochrechnungen einbezogen. Unter den dargestellten Parametern kann gezeigt werden, dass für das Segment Wohnungsneubau rund 60 % der Substitutionseffekte in vier Bundesländern erreicht werden. Gerade in NRW kann deshalb schon bei moderater Steigerung der Holzbauquote ein hohes Substitutionspotential freigesetzt werden. Bundesweit liegt das größte Potential im EZFH-Bereich, da hier die Einsparpotentiale am höchsten sind und mengenmäßig noch die größte Neubautätigkeit zu erwarten ist. Für relevante Effekte im Bereich der MFH müsste die Quote deutlich über 15 % gesteigert werden. Hier wird der Ausbau zusätzlich dann an Gewicht gewinnen. Insgesamt kann man zusammenfassen, dass die Abdeckung der vorgestellten Abschätzung eines möglichen Klimaschutzbeitrags der Holzverwendung im Wohnungsneubau bei ca. 2 % des Gesamtverbrauchs von Holzhalbwerten (Schnittholz und Holzwerkstoffe) liegt. Die Abschätzung beinhaltet bislang nur die Konstruktion von Wohngebäuden, da Zuordnung des Ausbaus (Fenster, Türen, Böden, Treppen, Fassadenbekleidung, etc.) unklar bzw. unabhängig von verwendetem

Baustoff in der Konstruktion ist. Durch eine Berücksichtigung kann sich der Klimaschutzbeitrag evtl. mehr als verdoppeln – hierzu ist weitere Forschung notwendig.

Den Szenarien und einer erhöhten Holznutzung stehen Herausforderungen der Holzbranche entgegen. Um die Potentiale der Holzverwendung umsetzen zu können, wurden Herausforderungen der Branche identifiziert und analysiert. Durch eine Betrachtung der jeweiligen Relationen und Wechselwirkungen der Hemmnisse auf unterschiedlichen Betrachtungsperspektiven ergibt sich ein differenziertes Gesamtbild der einzelnen Hemmnisse. Eine der Kernerkenntnisse der Bearbeitung ist die komplexe und dynamische Problematik, die einen hohen Grad an Transparenz, Struktur und stetiger Anpassung bedarf. Durch eine Zuordnung der Relationen zu unterschiedlichen Thematiken lassen sich weitere Kernaussagen ableiten. Die am vorrangigsten zu bearbeitenden Herausforderungen für das Cluster Verbände sind eine Holzbaustrategie aufzustellen und die Weiterbildung aktiv voranzubringen; für das Cluster Praxis Kapazitäten schnellstmöglich aufzubauen und sich aktiv an der Forschungsarbeit zu beteiligen; für das Cluster Forschung & Entwicklung belastbare Informationen zu veröffentlichen, Standards für den Holzbau zu harmonisieren und einen aktiven Wissenstransfer auf verschiedenen Ebenen umzusetzen; für das Cluster Politik die Bauordnungen zu harmonisieren und die HOAI anzupassen. Darüber hinaus bedürfen eine Vielzahl der einzelnen Herausforderungen konstruktive Kooperation und weiteren Forschungsbedarf zur Klärung offener technischer, organisatorischer und politischer und wirtschaftlicher Fragestellungen. Ein Abbau der Hemmnisse im Gesamtkontext lässt sich daher nur durch ein Engagement aller beteiligten Akteure erzielen, indem spezifische Kompetenzen gezielt eingesetzt, weitere Ressourcen freigesetzt und interdisziplinäre Zusammenarbeit forciert werden.

Es hat sich gezeigt, dass sich die Höhe der möglichen Klimaeinsparung aus dem spezifischen Einsparpotential und dem Marktvolumen zusammensetzt und deshalb auch Teilbereiche mit einer geringen spezifischen Einsparung eine große Wirkung entfalten können.

Durch das Projekt THG-Holzbau konnte exemplarisch für das Segment Wohnungsneubau gezeigt werden, dass vorrangig in den nächsten Jahren ein Potential für eine Erhöhung des Kohlenstoffspeichers besteht, sowie durch Substitution eines Teils der mineralischen Baustoffe ein großes Potential zur Reduktion der THG-Emissionen vorhanden ist. Dieses Potential kann dem Sektor Wald und Holz nur indirekt zugeordnet werden, da es Emissionen anderer Sektoren reduziert und im entsprechenden Sektor dargestellt wird.

Insgesamt ist eine massive Steigerung der Holzbauquote ab sofort notwendig, um die Potentiale ausschöpfen zu können. Das hier dargestellte Vorgehen legt eine Basis für das Monitoring der indirekten Treibhausgasemissionen des Sektors Wald und Holz. Gerade vor dem Hintergrund der ambitionierten Klimaschutzziele können über die Materialwahl relativ einfach und ab sofort Einsparpotentiale erhoben werden.

Die Zahlen können dazu beitragen über die Bautätigkeit in Deutschland realistische Potentiale zu entwickeln.



## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Einteilung der Lebenszyklusinformation in Module nach DIN EN 15978/ DIN EN 15804 (Rüter 2012) .....	13
Abbildung 2: Zuordnung der Zielsetzung des Projekts zu den Arbeitspaketen .....	15
Abbildung 3: Vorgehen auf Gebäudeebene .....	16
Abbildung 4: Verknüpfung der Bearbeitungsebenen und methodische Vorgehensweise .....	17
Abbildung 5: Abdeckung des Projekts: Teilbereich des Bausektors (BBSR 16) .....	18
Abbildung 6: Modulare Struktur der umweltbezogenen Informationen über den Lebenszyklus eines Gebäudes nach DIN EN 15978 :2012. Die rot umrandeten Module werden im Rahmen des Projekts bilanziert, wobei Modul D separat ausgewiesen wird .....	30
Abbildung 7: LCA-Ergebnisse (Indikator THG) für Gebäude 1.2 (EFH): Konstruktion .....	44
Abbildung 8: LCA-Ergebnisse (Indikator THG) für Gebäude 1.2 (EFH): Konstruktion, unterteilt in fossile und biogene THG-Emissionen .....	45
Abbildung 9: LCA-Ergebnisse (Indikator THG) für Gebäude 1.2 (EFH): Konstruktionen im Vergleich nach Bauteilen (Modul A+C) .....	45
Abbildung 10: LCA-Ergebnisse (Indikator THG) für Gebäude 2.7 (MFH): Konstruktion .....	46
Abbildung 11: LCA-Ergebnisse (Indikator THG) für Gebäude 2.7 (MFH): Konstruktion unterteilt in fossile und biogene THG-Emissionen .....	46
Abbildung 12: LCA-Ergebnisse (Indikator THG) für Gebäude 2.7 (MFH): Konstruktionen im Vergleich nach Bauteilen (Modul A+C) .....	47
Abbildung 13: LCA-Ergebnisse (Indikator THG) für Gebäude 1.2 (EFH): Ausbau .....	48
Abbildung 14: LCA-Ergebnisse (Indikator THG) für Gebäude 1.2 (EFH): Ausbau, unterteilt in fossile und biogene THG-Emissionen .....	48
Abbildung 15: LCA-Ergebnisse (Indikator THG) für Gebäude 1.2 (EFH): Ausbauten im Vergleich nach Bauteilen (Modul A+C) .....	49
Abbildung 16: LCA-Ergebnisse (Indikator THG) für Gebäude 2.7 (MFH): Ausbau .....	49
Abbildung 17: LCA-Ergebnisse (Indikator THG) für Gebäude 2.7 (MFH): Ausbau, unterteilt in fossile und biogene THG-Emissionen .....	50
Abbildung 18: LCA-Ergebnisse (Indikator THG) für Gebäude 2.7 (MFH): Ausbauten im Vergleich nach Bauteilen (Modul A+C) .....	50
Abbildung 19: THG-Differenzen („Original“-Pendant) für Konstruktion aller EZFH mit Wertekorridor für Modul A+C .....	52
Abbildung 20: Substitutionsfaktoren für Konstruktion aller EZFH mit Wertekorridor für Modul A+C .....	52
Abbildung 21: THG-Differenzen („Original“-„Pendant“) für Konstruktion aller MFH mit Wertekorridor für Modul A+C .....	53
Abbildung 22: Substitutionsfaktoren für Konstruktion aller MFH mit Wertekorridor für Modul A+C .....	54
Abbildung 23: Substitutionsfaktoren für Ausbau aller EZFH mit Wertekorridor .....	56
Abbildung 24: Substitutionsfaktoren für Ausbau aller MFH mit Wertekorridor .....	56
Abbildung 25: THG-Differenzen („Original“-„Pendant“) für Konstruktion aller EZFH für Modul D .....	57
Abbildung 26: THG-Differenzen („Original“-„Pendant“) für Konstruktion aller MFH für Modul D .....	58
Abbildung 27: Wertekorridore der Substitutionsfaktoren (Modul A+C) für EZFH und MFH im Vergleich .....	59

Abbildung 28: Prozentuale Abweichungen der Ergebnisse bei Verwendung des Durchschnittsdatensatzes anstelle des generischen Datensatzes .....	61
Abbildung 29: THG-Differenzen der Konstruktion mit Durchschnittsbetondatensatz (gestreift) und generischem Datensatz (ausgemalt) im Vergleich .....	62
Abbildung 30: Substitutionsfaktoren der Konstruktion mit Durchschnittsbetondatensatz (gestreift) und generischem Datensatz (ausgemalt) im Vergleich .....	63
Abbildung 31: Screenshot der Benutzeroberfläche des WoodCarbonMonitor (Rüter 2017) .....	65
Abbildung 32: Aktuelle Bautätigkeit und mittlerer Neubaubedarf differenziert nach Gebäudeart (BBSR 2015b).....	66
Abbildung 33: Historische und zukünftige Errichtung von Wohngebäuden nach überwiegend verwendetem Baustoff in Deutschland [in 1000 m <sup>3</sup> BRI] (nach BBSR 2015b und Statistisches Bundesamt 2016a) .....	68
Abbildung 34: Anteil des in der Studie abgedeckten rechnerischen Verbrauchs von Schnittholz und Holzwerkstoffen am Gesamtverbrauch dieser aus heimischem Rohholz hergestellten Produktkategorien für das Referenzszenario [in Mt C].....	69
Abbildung 35: Verteilung des im jährlichen Verbrauch von Holzbauprodukten gebundenen Kohlenstoffs auf Wohngebäude aus vorwiegend Holz und vorwiegend konventionellen Baustoffen [in kt C].....	69
Abbildung 36: Schematische Übersicht über die szenarienabhängige Veränderung des Anteils von Wohngebäuden aus Holz im Zeitraum 2010-2030 (vgl. Legende Abbildung 33).....	70
Abbildung 37: Projizierte Netto-Emissionen für die Szenarien ‚BL <sub>MAX</sub> steigend‘ und ‚55/15 steigend‘ [in Mt CO <sub>2</sub> ] .....	72
Abbildung 38: Projizierte Netto-Emissionen für die Szenarien ‚BL <sub>MAX</sub> ab sofort‘ und ‚55/15 ab sofort‘ [in Mt CO <sub>2</sub> ] .....	72
Abbildung 39: Projizierte THG-Emissionen und Substitutionswirkung für Szenario ‚BL <sub>MAX</sub> steigend‘ [in Mt CO <sub>2</sub> -äq].....	72
Abbildung 40: Projizierte THG-Emissionen und Substitutionswirkung für Szenario ‚BL <sub>MAX</sub> ab sofort‘ [in Mt CO <sub>2</sub> -äq].....	73
Abbildung 41: Projizierte THG-Emissionen und Substitutionswirkung für Szenario ‚55/15 steigend‘ [in Mt CO <sub>2</sub> -äq].....	73
Abbildung 42: Projizierte THG-Emissionen und Substitutionswirkung für Szenario ‚55/15 ab sofort‘ [in Mt CO <sub>2</sub> -äq].....	74
Abbildung 43: Projizierter Rohholzbedarf für Szenarien ‚BL <sub>MAX</sub> steigend‘ und ‚55/15 steigend‘ .....	74
Abbildung 44: Projizierter Rohholzbedarf für Szenarien ‚BL <sub>MAX</sub> ab sofort‘ und ‚55/15 ab sofort‘ (vgl. Abbildung 43 für Legende) .....	75
Abbildung 45: Verteilung des prognostizierten jahresdurchschnittlichen Neubaubedarfs von Wohnungen in EZFH und MFH bis 2030 auf Bundesländer basierend auf projiziertem Bruttorauminhalt der Gebäude [in %] .....	76
Abbildung 46: Jahresdurchschnittlicher Bedarf an Wohnungen in EZFH und MFH im Zeitraum 2016-2030 basierend auf BBSR-Wohnungsmarktprognose 2015 nach Bundesländern sowie durchschnittliche Holzbauquote der Jahre 2011-2015 [in Mm <sup>3</sup> BRI und %].....	76
Abbildung 47: Projizierte Substitutionswirkung für EZFH im Szenario ‚BL <sub>MAX</sub> ab sofort‘ nach Bundesländern in den Zeiträumen 2016-2030 und 2031-2080 sowie der jeweilige Anteil an der Gesamtwirkung [in Mt CO <sub>2</sub> -äq und %].....	77
Abbildung 48: Projizierte Substitutionswirkung für EZFH im Szenario ‚55/15 ab sofort‘ nach Bundesländern in den Zeiträumen 2016-2030 und 2031-2080 sowie der jeweilige Anteil an der Gesamtwirkung [in Mt CO <sub>2</sub> -äq und %].....	77

Abbildung 49: Projizierte Substitutionswirkung für MFH im Szenario ‚BL <sub>MAX</sub> ab sofort‘ nach Bundesländern in den Zeiträumen 2016-2030 und 2031-2080 sowie der jeweilige Anteil an der Gesamtwirkung [in Mt CO <sub>2</sub> -äq und %] .....	78
Abbildung 50: Projizierte Substitutionswirkung für MFH im Szenario ‚55/15 ab sofort‘ nach Bundesländern in den Zeiträumen 2016-2030 und 2031-2080 sowie der jeweilige Anteil an der Gesamtwirkung [in Mt CO <sub>2</sub> -äq und %] .....	78
Abbildung 51: Beispiel der Dimensionalität der Zuordnung der Cluster nach Akteuren und Thematik.....	83
Abbildung 52: Farbige Zuordnung der einzelnen Fachbereiche zu den Themen-Clustern .....	83
Abbildung 53: Fokussierung der Betrachtungsebene .....	84
Abbildung 54: Grafische Darstellung der Abhängigkeit und Auswirkung von H1 – Integrale Planung .....	87
Abbildung 55: Grafische Darstellung der Abhängigkeit und Auswirkung von H2 – Holzbaustrategie .....	88
Abbildung 56: Grafische Darstellung der Abhängigkeit und Auswirkung von H3 – Branchenkapazität.....	89
Abbildung 57: Grafische Darstellung der Abhängigkeit und Auswirkung von H4 – Aktuelle Normung.....	90
Abbildung 58: Grafische Darstellung der Abhängigkeit und Auswirkung von H5 – Standardisierung	91
Abbildung 59: Grafische Darstellung der Abhängigkeit und Auswirkung von H6 – Integration TGA..	92
Abbildung 60: Grafische Darstellung der Abhängigkeit und Auswirkung von H7 – Umsetzung der MBO .....	93
Abbildung 61: Grafische Darstellung der Abhängigkeit und Auswirkung von H8 – Holzbau in GK5...	95
Abbildung 62: Grafische Darstellung der Abhängigkeit und Auswirkung von H9 – Muster-Holzbaurichtlinie .....	96
Abbildung 63: Grafische Darstellung der Ursachen und Auswirkungen von H10 – Biogene Dämmstoffe .....	97
Abbildung 64: Grafische Darstellung der Ursachen und Auswirkungen von H11 – Verwendbarkeitsnachweise .....	99
Abbildung 65: Grafische Darstellung der Ursachen und Auswirkungen von H12 - Klimaschutzbeitrag Nawaro .....	100
Abbildung 66: Grafische Darstellung der Ursachen und Auswirkungen von H13 – EoL-Szenarien..	101
Abbildung 67: Grafische Darstellung der Ursachen und Auswirkungen von H14 – Fachkräftemangel.....	102
Abbildung 68: Grafische Darstellung der Ursachen und Auswirkungen von H15 – Fachinformationsangebot.....	103
Abbildung 69: Grafische Darstellung der Ursachen und Auswirkungen von H16 – Weiterbildungsangebot.....	104
Abbildung 70: Grafische Darstellung der Ursachen und Auswirkungen von H17 – Emissionen im Innenraum .....	105
Abbildung 71: Grafische Darstellung der Ursachen und Auswirkungen von H18 – Forschungskoordination .....	106
Abbildung 72: Grafische Darstellung der Ursachen und Auswirkungen von H19 – Rohstoffverfügbarkeit .....	107
Abbildung 73: Darstellung der Herleitungen einzelner Indikatoren der Hemmnis-Analyse .....	108
Abbildung 74: Indikator der Komplexität – Darstellung der Hemmnisse nach Abhängigkeitsgrad...	109

Abbildung 75: Darstellung der Beeinflussbarkeit der jeweiligen Hemmnisse durch Themen-Cluster.....	110
Abbildung 76: Indikator der Relevanz – Darstellung der Hemmnisse nach Auswirkungsgrad .....	110
Abbildung 77: Darstellung der Beeinflussung der jeweiligen Hemmnisse auf die Themen-Cluster .	111
Abbildung 78: Übersicht der Aktiv- und Passivsummen der einzelnen Hemmnisse.....	112
Abbildung 79: Wirkungsmatrix der Hemmnisse untereinander .....	113
Abbildung 80: Analyseergebnisse Hemmnis 2 – Holzbaustrategie.....	115
Abbildung 81: Analyseergebnisse Hemmnis 6 - Integration der TGA.....	116
Abbildung 82: Analyseergebnisse Hemmnis 9 - Muster-Holzbaurichtlinie.....	117
Abbildung 83: Analyseergebnisse Hemmnis 14 - Fachkräftemangel.....	118
Abbildung 84: Analyseergebnisse Hemmnis 19 - Rohstoffverfügbarkeit .....	119
Abbildung 85: Vom Themen-Cluster " Forschung und Entwicklung" beeinflussbare Hemmnisse sortiert nach Beeinflussbarkeit .....	120
Abbildung 86: Analyseergebnisse Hemmnis 4 – Aktuelle Normung .....	121
Abbildung 87: Analyseergebnisse Hemmnis 18 - Forschungskoordination .....	121
Abbildung 88: Analyseergebnisse Hemmnis 10 - Biogene Dämmstoffe.....	122
Abbildung 89: Analyseergebnisse Hemmnis 17 - Emissionen im Innenraum.....	123
Abbildung 90: Analyseergebnisse Hemmnis 15 - Fachinformationsangebot.....	124
Abbildung 91: Analyseergebnisse Hemmnis 5 - Standardisierung .....	125
Abbildung 92: Vom Themen-Cluster "Verbände" beeinflussbare Hemmnisse sortiert nach Beeinflussbarkeit .....	126
Abbildung 93: Analyseergebnisse Hemmnis 16 - Weiterbildungsangebote.....	126
Abbildung 94: Vom Themen-Cluster "Politik" beeinflussbare Hemmnisse sortiert nach Beeinflussbarkeit .....	127
Abbildung 95: Analyseergebnisse Hemmnis 7 - Umsetzung der MBO .....	128
Abbildung 96: Analyseergebnisse Hemmnis 12 - Klimaschutzbeitrag Nawaro.....	129
Abbildung 97: Analyseergebnisse Hemmnis 1 - Integrale Planung .....	130
Abbildung 98: Analyseergebnisse Hemmnis 8 - Holzbau in GK5 .....	131
Abbildung 99: Analyseergebnisse Hemmnis 11 - Verwendbarkeitsnachweise.....	132
Abbildung 100: Analyseergebnisse Hemmnis 13 - EoL-Szenarien.....	133
Abbildung 101: Vom Themen-Cluster "Praxis" beeinflussbare Hemmnisse sortiert nach Beeinflussbarkeit .....	134
Abbildung 102: Analyseergebnisse Hemmnis 3 - Branchenkapazität.....	134

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Beschreibung der Art der Gebäudedaten .....	24
Tabelle 2: Gebäudepool: „Original“-Gebäude und mineralische Pendants (EZFH) .....	25
Tabelle 3: Bauteillisten der Gebäudekonstruktion (EZFH).....	26
Tabelle 4: Gebäudepool: „Original“-Gebäude und mineralische Pendants (MFH).....	28
Tabelle 5: Bauteillisten der Gebäudekonstruktion (MFH) .....	29
Tabelle 6: Kostengruppen innerhalb der Systemgrenze.....	33
Tabelle 7: Lebenszyklusphasen und Umsetzung in LEGEP.....	35
Tabelle 8: Indikatoren nach DIN EN 15978:2012 und die betrachteten Indikatoren im Rahmen dieses Projekts .....	37
Tabelle 9: Bedingungen für die Berechnung des $SF_G$ der Konstruktion .....	39
Tabelle 10: Bedingungen für $SF_G$ Ausbau: Holzgebäude .....	40
Tabelle 11: Bedingungen für $SF_G$ Ausbau: mineralisches Gebäude .....	40
Tabelle 12: Gegenüberstellung Ausbau der EZFH, unterteilt in Bauteile .....	41
Tabelle 13: Gegenüberstellung Ausbau der MFH, unterteilt in Bauteile.....	42
Tabelle 14: Farblegende der Konstruktionsarten in den Abbildungen.....	43
Tabelle 15: Beispiel Ökobilanzergebnisse für 150 m <sup>2</sup> Bodenbelag, ermittelt in LEGEP (Indikator THG).....	51
Tabelle 16: Parameter für die Umrechnung der BBSR Prognosedaten zum Wohnungsbedarf auf Bruttorauminhalt der Gebäude basierend auf den Angaben zur Bautätigkeit des statistischen Bundesamtes von 2011 - 2015 (Statistisches Bundesamt 2016a) .....	67
Tabelle 17: Durchschnittliche Baustoffanteile für Ein- und Zweifamilienhäuser (EZFH) sowie für Mehrfamilienhäuser (MFH) in Deutschland bezogen auf m <sup>3</sup> BRI im Referenzzeitraum und im Jahr 2030 für das Referenzszenario [in %].....	68
Tabelle 18: Jahresdurchschnittliche Ergebnisse für den Szenarienzitraum von 2016 bis 2030 [in %]* .....	71
Tabelle 19: Summe der Ergebnisse für den gesamten Szenarienzitraum von 2016 bis 2030* .....	71
Tabelle 20: Ergebnis der Ermittlung von Hemmnissen:.....	85



## QUELLENVERZEICHNIS

- Achenbach, H. und Rüter, S. (2016) Ökobilanz-Daten für die Erstellung von Fertighäusern in Holzbauweise. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 128 p, Thünen Rep 38
- Albrecht, S.; Rüter, S.; Welling, J.; Knauf, M.; Mantau, U.; Braune, A.; Baitz, M.; Weimar, H.; Sörgel, C.; Kreißig, J.; Deimling, S. und Hellwig, S. (2008) Ökologische Potenziale durch Holznutzung gezielt fördern. Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Arbeitsbericht aus dem Institut für Holztechnologie und Holzbiologie, No. 2008/5, 298 S.
- BBSR (2015a) Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung: Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) Neubau Büro- und Verwaltungsgebäude 2015
- BBSR (2015b) Wohnungsmarktprognose 2030. In: Held T, Waltersbacher M. Bonn, BBSR-Analysen KOMPAKT07
- BBSR (2016) Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) 2016: Struktur der Bestandsmaßnahmen im Hochbau. BBSR-Analysen KOMPAKT 01/2016.  
[http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/AnalysenKompakt/2016/ak-01-2016-dl.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/AnalysenKompakt/2016/ak-01-2016-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=2) (abgerufen am 05.12.16)
- BKI (2005) Baukosteninformationszentrum, Baukosten 2005, Stuttgart 2005
- BMUB (2011) Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) 2011: Nutzungsdauern von Bauteilen zur Lebenszyklusanalyse nach BNB. [http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/baustoff\\_gebauededaten/Erlaeuterungen\\_BNB-Tabelle\\_Nutzungsdauern\\_2011-07-07.pdf](http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/baustoff_gebauededaten/Erlaeuterungen_BNB-Tabelle_Nutzungsdauern_2011-07-07.pdf)
- BMUB (2012) Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) 2012: Der Leitfaden Nachhaltiges Bauen und das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)- Vertiefung zu Lebenszyklusanalysen: Ökobilanzierung, Unterlagen für Fort- und Weiterbildungsveranstaltungen. [http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/Netzwerk\\_NB/pdf/Men%C3%BCpunkt\\_Unterrichtsmaterialien/07\\_BNB\\_Seminar\\_Oekobilanz.pdf](http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/Netzwerk_NB/pdf/Men%C3%BCpunkt_Unterrichtsmaterialien/07_BNB_Seminar_Oekobilanz.pdf) (abgerufen am 11.05.16)
- BMUB (2015) Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau- und Reaktorsicherheit: Ökobaudat Informationsportal Nachhaltiges Bauen: Datenbank ökobaudat. <http://www.oekobaudat.de/datenbank/browser-oekobaudat.html>
- BMUB (2016) Ökobaudat 2016 [online]. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), <<http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebauededaten/oekobaudat.html>> am 25.07.2016.
- Brakus, A. (2015). Hemmnisse beim Planen und Bauen von mehrgeschossigen Gebäuden in Holzbauweise (Master Thesis). München: Technische Universität München, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion.
- Buchanan AH und Honey BG (1994) Energy and carbon dioxide implications of building construction. Energy Build 20(3):205-217
- Bundestag (2011) Sachstand und Perspektiven für den Holzbau im privaten Sektor. Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Fraktion der SPD, BT-Drs. 17/13099.
- BVerfG (2009) Pressemitteilung Nr. 57/2009 vom 5. Juni 2009. Verfassungsbeschwerde gegen Abgaben an den Forstabsatzfonds / Holzabsatzfonds erfolgreich. Karlsruhe: Bundesverfassungsgericht Beschluss vom 12. Mai 2009. 2 BvR 743/01
- CEN (2011) Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method. EN 15978:2011.
- CEN (2014) Round and sawn timber - Environmental Product Declarations - Product category rules for wood and wood-based products for use in construction. EN 16485:2014

- Dederich, L. (2013). Baurechtliche Hemmnisse und Ansatzpunkte zur Überwindung, aus Weimar, H. & Jochem (Hsg.), D. (2013). Holzverwendung im Bauwesen - Eine Marktstudie im Rahmen der "Charta für Holz" (Thünen Report 9). Hamburg: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 122p
- DGNB (2015) Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V.: Ökobilanz Steckbrief DGNB ENV 1.1 S.12, Stuttgart 2015
- DIN 4102-1. (1998). Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 1: Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen
- DIN EN 15804 (2014) Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; Deutsche Fassung EN 15804:2012+A1:2013. DIN EN 15804:2014
- DIN EN 15978 (2012) Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode, Beuth Verlag, Berlin
- DIN EN 1995-1-1. (2010). Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau. Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V.
- DIN EN ISO 14040 (2009) Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. DIN EN ISO 14040:2009-11
- DIN EN ISO 14044 (2006) Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen. DIN EN ISO 14044:2006-10
- Künniger, T. und Richter, K. (2014). Ökologische Bewertung von Fensterkonstruktionen, SZFF-EMPA (Eidgenössische Material- und Forschungsanstalt)-Forschungsprojekt.
- FAO (2016) FAOSTAT-Forestry Database [online]. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) <<http://faostat.fao.org/>> am 06 März 2016.
- Filippi, M. (2013a). Innenentwicklung von Städten als Marktperspektive für die Holzverwendung, aus Weimar, H. und Jochem (Hsg.), D. (2013). Holzverwendung im Bauwesen - Eine Marktstudie im Rahmen der "Charta für Holz" (Thünen Report 9). Hamburg: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 26p
- Filippi, M. (2013b). Marketingaspekte der Holzverwendung im Bauwesen, aus Weimar, H. und Jochem (Hsg.), D. (2013). Holzverwendung im Bauwesen - Eine Marktstudie im Rahmen der "Charta für Holz" (Thünen Report 9). Hamburg: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 51p
- FNR (2015) Ergebnisvermerk Runder Tisch „Ordnungsrechtliche Hemmnisse für das Bauen mit Holz und nachwachsenden Rohstoffen“. Berlin: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)
- Gräfe, M., Merk, M.; Werther, N.; Fülle, C.; Leopold, N.; Sprinz, D.; Busch, M. und Brunn, M. (2015) Regeldetailkatalog mehrgeschossiger Holzbau in Gebäudeklasse 4, basierend auf dem Schlussbericht zum Forschungsvorhaben: Erarbeitung weiterführender Konstruktionsregeln/-details für mehrgeschossige Gebäude in Holzbauweise der Gebäudeklasse 4. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben, Reihe Bauforschung für die Praxis, Band 111. 244p.
- Graubner, C.-A. und Pohl, S. (2013) Nachhaltigkeit von Ein- und Zweifamilienhäusern aus Mauerwerk. Deutsche Gesellschaft für Mauerwerks- und Wohnungsbau e.V.
- Gustavsson L, Pingoud K. und Sathre R (2006) Carbon Dioxide Balance of Wood Substitution: Comparing Concrete- and Wood-Framed Buildings. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 11(3):667-691
- Hafner, A.; Schäfer, S. und Krause, K., (2016): Environmental footprint of timber buildings and the implementation in city planning, Proceedings of the World Conference on Timber Engineering (WCTE 2016), August 22-25, 2016, Vienna, Austria, Eds.: J. Eberhardsteiner, W. Winter, A. Fadai, M. Pöll, Publisher: Vienna University of Technology, Austria, ISBN: 978-3-903039-00-1

- Holzbau Deutschland (2016) Lagebericht 2016 Zimmerer / Holzbau. Holzbau Deutschland – Bund Deutscher Zimmermeister im Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e.V., Berlin
- IPCC (2006) IPCC Guidelines for Greenhouse Gas Inventories - Vol 4 Agriculture, Forestry and other Land Use. In: Eggleston S, et al. (eds) Hayama, Kanagawa, Japan: IEA/OECD, IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, Technical Support Unit
- IPCC (2014) 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol. 268 p
- ISO/TS 14071 (2014) Umweltmanagement – Ökobilanz – Prozesse der Kritischen Prüfung und Kompetenzen der Prüfer: Zusätzliche Anforderungen und Anleitungen zu ISO 14044:2006, Vornorm, Beuth Verlag, Berlin
- Kaufmann, H. et al. (2012) Entwicklung eines integralen und zukunftsweisenden Planungsansatzes für den Neubau des Gymnasiums Diedorf bei Umsetzung des Plusenergiestandards in Holzbauweise und Entwicklung neuer Lösungen für offene Lernlandschaften mit umfassendem Monitoring und Dokumentation, Abschlussbericht DBU zur 1. Förderphase (AZ 29892), Augsburg/Abensberg
- Kellenberger, D. und Althaus, H.-J. (2009) Relevance of simplifications in LCA of building components (Building and Environment 44 (2009) 818–825
- Klöppfer, W. und Grahl, B. (2009) Ökobilanz (LCA). Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf. WILEY-VCH, Weinheim, 2009
- Kohaus, M. und König, H. (2017) Raumlufthqualität – Einflüsse des Holzbaus, Buchbeitrag in „Atlas Mehrgeschossiger Holzbau“, Detail-Verlag München, Erscheinungstermin Juni 2017
- König, H. (2011) Entwicklung von Grundlagen und Datensätzen für Orientierungs-, Grenz- und Zielwerte für die ökologische Bewertung von Gebäuden, DBU-Abschlussbericht (Az.: 25952)
- König, H. und Kreißig, J. (2010) Ökologische Bewertung der Haustechnik, Forschungsprojekt Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung -BBR-, Forschungsinitiative „Zukunft Bau“, Bonn (Auftraggeber), Leinfelden-Echterdingen: PE INTERNATIONAL GmbH, München: Ascona GbR
- Kotradnyova (2013) Visuelle und haptische Authentizität der Holzoberfläche, 11. Internationales Branchenforum für Frauen IBF 2013
- Kristof, K. (2008) – Erschließung nachhaltiger Märkte für das Bauen mit Holz. Holzwende 2020plus, Abschlussbroschüre des Verbundvorhaben im BMBF-Förderschwerpunkt: „Nachhaltige Waldwirtschaft“. Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie GmbH, 40p
- LHS München (2016) Münchner Förderprogramm Energieeinsparung. München: Landeshauptstadt München, Referat für Gesundheit und Umwelt, 42p
- Mantau et al. (2013). Das Bauwesen als Zugpferd der Holzverwendung - Resümee, aus Weimar, H. und Jochem (Hsg.), D. (2013). Holzverwendung im Bauwesen - Eine Marktstudie im Rahmen der "Charta für Holz" (Thünen Report 9). Hamburg: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 8p
- Mayr, J. (2013) Brandschutz in der Tasche. Feuertrutz GmbH Verlag für Brandschutzpublikationen, Köln 2013.
- MBO (2002). Musterbauordnung. Fassung November 2002
- M-HFFH HolzR (2004). Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise. Fachkommission Bauaufsicht der Bauministerkonferenz, DIBt-Mitteilungen 5/2004 S. 161
- Mittag, M. (2003) Kostenschätzung leicht gemacht, Kissing 2003
- NaWoh (2016) Verein zur Förderung der Nachhaltigkeit im Wohnungsbau, website: <http://www.nawoh.de/> abgerufen am 22.06.2016

- NHK (2000) Normalherstellungskatalog, Berlin 2000
- Petersen, A.K. und Solberg, B. (2005) Environmental and economic impacts of substitution between wood products and alternative materials: a review of micro-level analyses from Norway and Sweden. *Forest Policy and Economics* 7(3):249-259
- Preischi, A. (2015). Leistungsphasen der integralen Planung – Entscheidungsabhängigkeiten im Planungsprozess am Projektbeispiel eines mehrgeschossigen Bürogebäudes in Massivholzbauteilweise (Master Thesis). München: Technische Universität München, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion (auf Anfrage).
- Rüter, S. (2012) Umwelt-Produktdeklarationen für Bauprodukte nach EN 15804. *Holztechnologie* 53(4):56-57
- Rüter, S. (2013) Der Umweltbeitrag der Holznutzung. In: Cheret P., Schwaner K., Seidel A. (Eds). *Urbaner Holzbau - Chancen und Potenziale für die Stadt*. DOM Publishers, Berlin. S 86-97
- Rüter, S. (2016) Holzprodukte (4.G). In: Gniffke P. (Ed) *Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2016 - Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 - 2014*, Umweltbundesamt (UBA), *Climate Change 23/2016*, Dessau, Mai 2016, 650-654 S.
- Rüter, S. (2017) Der Beitrag der stofflichen Nutzung von Holz zum Klimaschutz – Das Modell WoodCarbonMonitor. Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Dissertation, 270 p.
- Rüter, S. und Diederichs, S. (2012) Ökobilanz-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz. Hamburg, 316 p, Thünen-Institute of Wood Research Report No: 2012/01
- Rüter, S.; Werner, F; Forsell, N; Prins, K; Vial, E; Levet, A-L (2016) *ClimWood2030: Climate benefits of material substitution by forest biomass and harvested wood products: Perspective 2030 - Final Report*. Braunschweig, 142 S, Thünen Rep 42
- Sathre, R. und O'Connor J. (2010a) *A Synthesis of Research on Wood Products & Greenhouse Gas Impacts*, 2nd Edition. Vancouver, B.C, Canada, 117 p, Technical Report No. TR-19R
- Sathre, R. und O'Connor, J. (2010b) *Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution*, Elsevier, Sweden
- Scheer, D. et al. (2008) *Mit Holz in die Zukunft? Eine Branche am Scheideweg*. Broschüre zum BMBF-Projekt Zukunftsmärkte der Forst-Holz-Kette (ZUFO) - Verbesserung der Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit am Beispiel des Holzbaus in der Region Allgäu. Berlin. 58p
- sirAdos (2016) *sirAdos 2016: SirAdos Baudaten und Software, Benutzerhandbuch*, WEKA Verlag 2016, Kissing
- Statistisches Bundesamt (2016a) *Bauen und Wohnen*. Wiesbaden 92 p, *Baufertigstellungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden (Neubau) nach überwiegend verwendetem Baustoff - Lange Reihen ab 2000*
- Statistisches Bundesamt (2016b) *Bautätigkeit und Wohnungen 2015*. Fachserie 5 Reihe 1. Wiesbaden 2016, 146p.
- Teischinger, A. et al. (2012) *Interaktion Mensch und Holz, Beiträge und Zusammenfassung des Workshops „Mensch und Holz“ im Rahmen „zukunftsforumholz 2012“*, Wien: Universität für Bodenkultur Wien
- TUM (2016). *HOMERA – Gesundheitliche Interaktion von Holz - Mensch – Raum*. Abgerufen am 13.09.2016 von <https://www.hb.bgu.tum.de/index.php?id=18>.
- Umweltbundesamt (2016) *Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2016 - Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 - 2014*. Dessau, 1040 p, *Clim Change 23/2016*
- Vester, F. (1999). *Die Kunst vernetzt zu Denken – Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität*. DTV, München. 372p

- Wegener, G. (2016) – Klimaschutz, Wirtschaftswachstum und Zukunftschance für Bayern und seinen ländlichen Raum basiert auf der Clusterstudie Forst, Holz und Papier in Bayern 2015: Knauf, M.; Hunkemöller, R.; Friedrich, S.; Borchert, H.; Bauer, J.; Mai, W. (2016): Clusterstudie Forst, Holz und Papier in Bayern 2015. Abschlussbericht. Februar 2016, Freising. 54p
- Wehinger et al. (2006) Neubau ökologisches Gemeindezentrum Ludesch, erschienen in „Berichte aus Energie- und Umweltforschung 51/2006“, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien
- Winter, S. (2016) Wood is good?! – Worldwide threats and consequent opportunities for building with wood. Wien: World Conference for Timber Engineering (WCTE)



## **8 ANHANG (AUF ANFRAGE)**

### **8.1 Critical review – Prüfbericht und Kommentartabelle**

### **8.2 Unterlagen zur Festlegung der Rahmenbedingungen der Ökobilanz**

#### **8.2.1 Dokument „Zuordnung von Modul C und D bei Unvollständigkeiten in der Öko- bau.dat“**

#### **8.2.2 BNB Tabelle Nutzungsdauer von Bauteilen**

#### **8.2.3 Berechnung Verpackung und Transport**

### **8.3 Gebäudeweise Ökobilanzergebnisse für alle LCA-Indikatoren**

### **8.4 Ergebnisse Expertenbefragung und Stakeholder-Workshop**

### **8.5 Anlage zur Identifikation und Analyse von Hemmnissen**