



LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH

Betrachtungen zur Nachhaltigkeitsqualität der Holzbauweise im Wohnungsbau

Studie

Studie

Projekt	Betrachtungen zur Nachhaltigkeitsqualität der Holzbauweise im Wohnungsbau
beauftragt durch	Deutsche Gesellschaft für Mauerwerks- und Wohnungsbau e.V. Dr.sc.techn. Ronald Rast Kochstraße 6-7 10969 Berlin
ausführende Stelle	LCEE Life Cycle Engineering Experts GmbH Dr.-Ing. Sebastian Pohl Berliner Allee 58 64295 Darmstadt

Darmstadt, 6. Juli 2017



Dr.-Ing. Sebastian Pohl



LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH

Inhaltsverzeichnis

- 1 Problemaufriss - Kontextualisierung - Zielsetzung**
- 2 Gesamtstudienrahmen und Vorgehensweise**
- 3 Teil A: Holzressourcen und ihre Verwendung in Deutschland**
- 4 Teil B: Nachhaltigkeitsbewertung von Wohngebäuden in
Holzbauweise mit und ohne Importholzwerkstoffen**
- 5 Teil C: Baukonstruktive Nachhaltigkeitsbewertung der
Holzbauweise**
- 6 Teil D: Ergänzende grundlegende Nachhaltigkeitsmerkmale
und die Holzbauweise**
- 7 Zusammenfassung**

Literaturverzeichnis

Anhang

1 Problemaufriss - Kontextualisierung - Zielsetzung

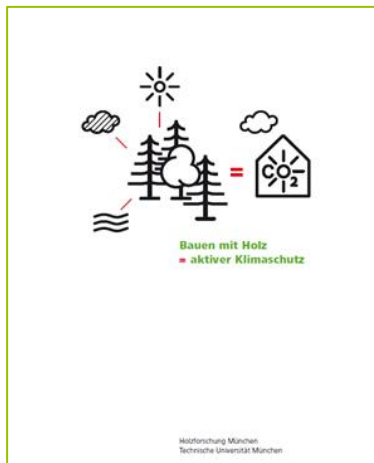


Abb. 1: Broschüre *Bauen mit Holz = aktiver Klimaschutz* [3]



Abb. 2: Broschüre Bayerischer Staatsministerien [4]

Die geltende Nachhaltigkeitsdefinition für die Bau- und Immobilienwirtschaft liefert der *Leitfaden Nachhaltiges Bauen* [6] (vgl. auch [7]-[9]).

Problemaufriss

Die Nachhaltigkeitsthematik ist ein ungebrochen prägender Trend der gesellschaftspolitischen wie wirtschaftlichen und dabei insbesondere der bau- und immobilienwirtschaftlichen Entwicklung, nicht zuletzt auch für die bzw. in der Baustoff- und Bauzulieferindustrie [1]. Hintergrund dessen ist im Kern eine sich wandelnde Qualitätsdefinition: Zu den klassischen Merkmalen Qualität und Preis tritt heute ergänzend die zusätzliche Dimension der Nachhaltigkeit hinzu [2].

Als gleichzeitig auch volkswirtschaftlich bedeutsame Branche ist die Baustoff- und Bauzulieferindustrie folgerichtig zu einem zentralen Aktionsfeld des Nachhaltigkeitslobbyismus und einer entsprechenden zielgerichteten Interessenvertretung durch Verbände avanciert. Gerade im Segment des Wohnungsbaus werden bezüglich der Nachhaltigkeit verwendeter Baustoffe und eingesetzter Konstruktionsweisen oftmals dogmatisch und emotional aufgeladene Diskussionen geführt, in denen die Holzbauweise - beispielsweise für den Mehrfamilienhaus-Bereich - durch entsprechende Marketingaktivitäten als Nachhaltigkeitsoptimum propagiert wird [3], aktuell nicht zuletzt auch durch staatliche Akteure [4]. Erklärtes Ziel dieser Kampagnen ist eine massive Ausweitung der Holzbauweise am Bausehen als (reklamierter) Beitrag zu einer nachhaltigen Bau-/Immobilienwirtschaft und unter Hinweis auf die (exklusive) Nachhaltigkeitsqualität des Baustoffs Holz.

Die für die Argumentation pro Holz notwendige Abgrenzung von den marktdominanten mineralisch basierten Bauweisen des Mauerwerks in punkto Nachhaltigkeit erfolgt allerdings mittels einer erkennbar ökologisch limitierten Sachverhaltsbetrachtung [5], konkret der Fokussierung auf eine CO₂-Betrachtung. Dahingegen ist in Deutschland allgemein - vor allem auch normativ - anerkannt, dass Nachhaltigkeit definitorisch mindestens ein Dreiklang und Ausgleich von Ökologie, Ökonomie und Soziokultur sein muss.



LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH



Abb. 3: Band I einer Studienreihe des Instituts für Massivbau der TU Darmstadt [7]

Eine weiterführende Darstellung zum bau- und immobilienwirtschaftlichen Zertifizierungsregime in Deutschland findet sich ebenfalls in [7]-[9] sowie unter nachhaltiges-bauen.de und www.dgnb.de.

Kontextualisierung

Mit [7]-[9] liegen wissenschaftliche Studien vor, die

- ▶ mittels einer *ganzheitlichen*, alle nachhaltigkeitsrelevanten Gesichtspunkte umfassenden
- ▶ d.h. *mehrdimensionalen* und insbesondere *lebenszyklusorientierten* Betrachtung
- ▶ und auf Basis einer grundsätzlich neutralen, *anerkannten Systematik und Methodik*

die Nachhaltigkeitsqualitäten aller (auch potentiell) marktrelevanten Bau- und Konstruktionsweisen (im Wohnungsbereich) analysiert haben.

Diese Analysen wählten als Betrachtungsrahmen sowohl qualitative als auch quantitative Aspekte der drei *fundamentalen Nachhaltigkeitsdimensionen Ökologie, Ökonomie und Soziokultur/Funktionalität* unter bau-spezifischer Erweiterung um die Elemente *Technik und Prozesse*. Dabei wurden identifizierte nachhaltigkeitsrelevante Aspekte, die gleichsam auch im Bewertungsregime maßgeblicher bau- und immobilienwirtschaftlicher Nachhaltigkeitszertifizierungssysteme (*Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen*) adressiert werden, simultan auch entsprechend bewertungs- und zertifizierungstechnisch eingeordnet. Abb. 4 zeigt eine schematische Darstellung des Untersuchungsansatzes aus [7]-[9].

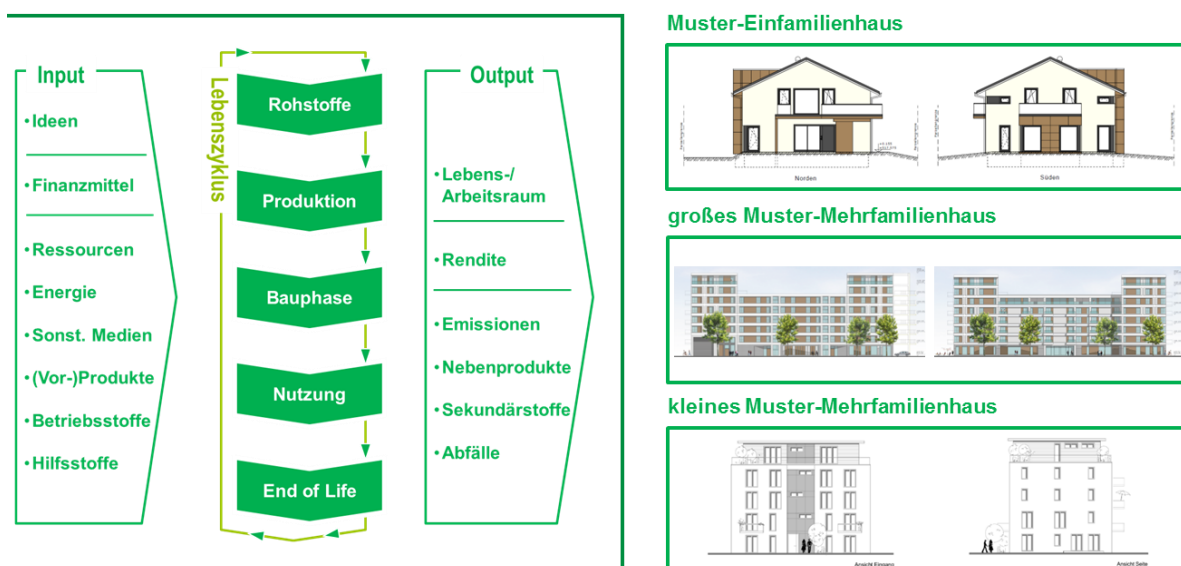


Abb. 4: Schematischer Untersuchungsansatz der Studienreihe [7]-[9]



Die anzuwendenden Zertifizierungssysteme grenzen sich dabei nach der Anzahl der Wohneinheiten eines Zertifizierungsobjekts ab. Bis 5 Wohneinheiten sind *DGNB Neubau kleine Wohngebäude (NKW)* und *Bewertungssystem Nachhaltige Kleinwohnbau-bauten (BNK)* anwendbar, ab 6 Wohneinheiten *DGNB Neubau Wohngebäude (NWO)* und *Bewertungssystem Nachhaltiger Wohnungsbau (Na-Woh)*.

Basis: Untersuchungen und Ergebnisse der Studienreihe zur Nachhaltigkeitsqualität der Mauerwerksbauweise [7]-[9].



Ziel: Perspektivwechsel und Verschiebung des Analysefokus hin zur Holzbauweise und deren (reklamierten) Nachhaltigkeitsattributen.

Analyseperspektive und -fokus dieser Studien lagen dabei auf den unterschiedlichen marktrelevanten Ausprägungen der Mauerwerksbauweise (Ziegel und Kalksandstein sowie Poren- und Leichtbeton) und einer situativen Gegenüberstellung zur Holzbauweise als Vergleichspunkt. Quintessenz der Studienergebnisse war jedenfalls, dass Wohnungsbauten aus Mauerwerk bei einer ganzheitlichen Nachhaltigkeitsbetrachtung keine signifikanten Nachteile gegenüber der Holzbauweise zu attestieren sind. Vielmehr zeichnet sich die Mauerwerksbauweise bei gegenüber der Holzbauweise vergleichbarer ökologischer Nachhaltigkeitsqualität insbesondere durch ökonomische und soziokulturelle Nachhaltigkeitsattribute aus.

Zielsetzung der aktuellen Studie

Über die flankierenden Betrachtungen der nachfolgend dargestellten aktuellen Studie erfolgt nunmehr eine Verschiebung des Analysefokus bzw. ein Perspektivwechsel hin zu einer dezidierten Auseinandersetzung mit den - beispielhaft in [3] und [4] reklamierten - ökologisch geprägten Nachhaltigkeitsqualitäten der Holzbauweise im Wohnungsbau. Insofern rücken gegenüber der oben skizzierten vorliegenden Studienreihe weitere zusätzliche Aspekte und Anforderungen nachhaltiger Wohngebäude im Speziellen bzw. auch einer nachhaltigen Bau- und Immobilienwirtschaft respektive Baustoff-/Bauzulieferindustrie allgemein ins Blickfeld.

Ziel der vorliegenden Studie ist es, insbesondere die aktuelle Diskussion um staatliche Förderprogramme einzelner Bau- und Konstruktionsweisen aufzugreifen und die propagierten *pauschalen* Nachhaltigkeitsvorteile des Baustoffs bzw. der Bauweise Holz aus unterschiedlichen Blickwinkeln zu analysieren. Im Kontext mit den vorliegenden Studien aus [7]-[9] soll so eine möglichst vollständige, wissenschaftlich fundierte und ganzheitliche *Nachhaltigkeitsinventur* aller (auch potentiell) marktrelevanten Bau- und Konstruktionsweisen entstehen, die eine belastbare Basis zielführender und zweckmäßiger strategischer Entscheidungen für das nachhaltige Bauen darstellen kann.

2 Gesamtstudienrahmen und Vorgehensweise

Gesamtstudienrahmen – Studienphasen und -teile

Das unter *Kapitel 1*, dort: *Zielsetzung der aktuellen Studie* skizzierte perspektivische Element der Analysen soll durch die Auftrennung der Gesamtstudie in zwei übergeordnete (Phasen 1 und 2) und weitere jeweils zwei untergeordnete Studienteile (A + B sowie C + D) realisiert werden. Ausgangsbasis der Gesamtstudie wie der einzelnen und insbesondere der nachfolgend in Rede stehenden Studienteile sind über die bereits genannten Untersuchungen aus [7]-[9] hinaus weitere Studien der *Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. (ARGE//eV)* [10]-[11] sowie zusätzliche Quellen gemäß *Literaturverzeichnis*, die im Rahmen der Analysen der aktuellen Studie gemeinsam mit weiterführenden eigenen Recherchen verwertet werden.

Vorgehensweise Studienphase 1 (Studienteile A + B)

Die inhaltlich-analytische Schwerpunktsetzung der beiden *Studienteile A + B* gestaltet sich folgendermaßen:

Die nachfolgend dargestellten Analysen beschränken sich als Umsetzung der *Phase 1* auf die *Studienteile A + B*.

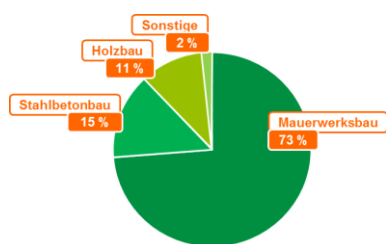


Abb. 5: Marktanteile Konstruktionsweisen in m³ u.R. im Wohnungsbau (2015) [12]

Weitere statistische Daten zu einzelnen Wohngebäudetypen stellt Abb. 6 ff. dar.

► Teil A: Holzressourcen und ihre Verwendung in Deutschland

Aktuell liegt der Anteil des Holzbaus im gesamten Wohnungsbau gemäß Diagramm aus Abb. 5 (nach Fertigstellungen) bei ca. 11 % [12]. In [3] wird demgegenüber die Vision eines 40 %-Anteils der Holzbauweise lanciert.

In der Diskussion um eine exorbitante Ausweitung des Anteils der Holzbauweise im Baugeschehen bzw. speziell im Wohnungsbau muss die grundsätzliche und die unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten tragfähige Verfügbarkeit des Roh- und Baustoffs Holz in Deutschland thematisiert werden.

Zentrale Fragestellungen sind, ob Deutschland einerseits über ausreichende Holzressourcen verfügt, die eine exorbitant ausgeweitete Nachfrage durch den Bausektor abdecken können, ohne andererseits von den Grundsätzen einer nachhaltigen Forst- und Waldwirtschaft abzurücken - d.h. ohne die Regenerationsrate dauerhaft zu überschreiten.

Entsprechend sind der aktuelle und mögliche künftige Verbrauch an Holzwerkstoffen und die dauerhaft, nachhaltig verfügbaren Holzressourcen in Deutschland zu analysieren.

Detailanalysen werden sich auch mit Import-/ Export-Daten zu hochwertigen Holzwerkstoffen für den Einsatz im Bausektor und möglichen Gefahren einer einseitigen Propagierung des Roh- und Bau- stoffs Holz für die einheimischen Wälder befassen.

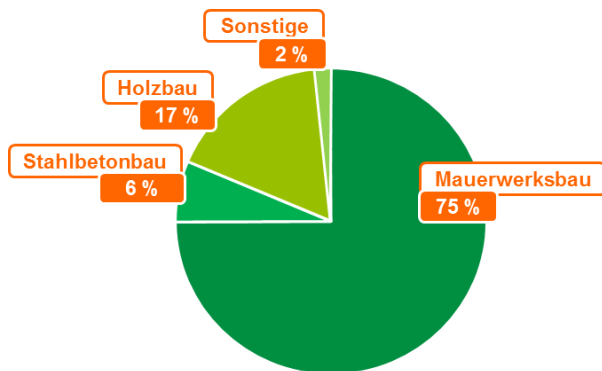


Abb. 6: Marktanteile Konstruktionsweisen in m³ u.R. nach Fertigstellungen für EFH

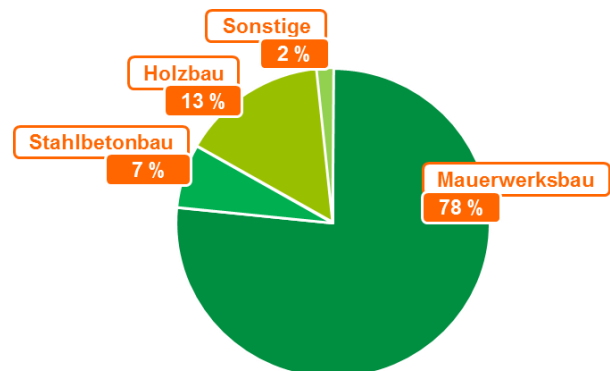


Abb. 7: Marktanteile Konstruktionsweisen in m³ u.R. nach Fertigstellungen für DH/RH

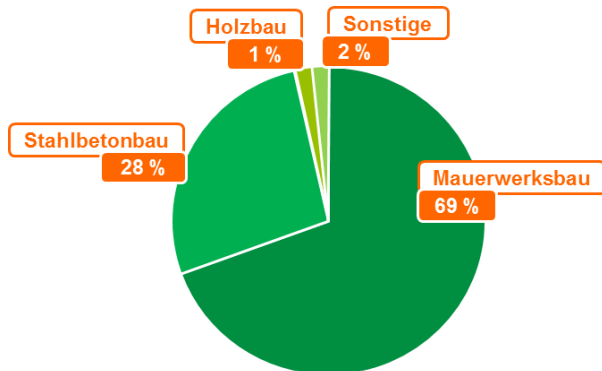


Abb. 8: Marktanteile Konstruktionsweisen in m³ u.R. nach Fertigstellungen für MFH

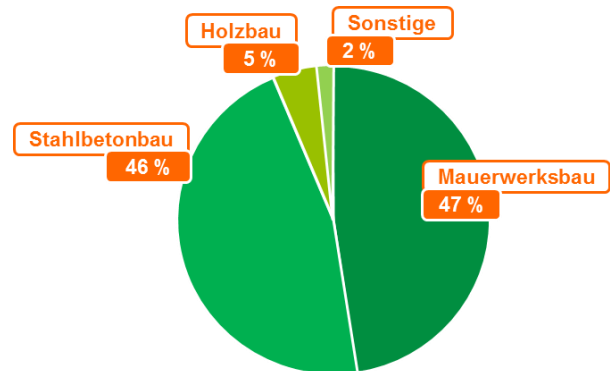


Abb. 9: Marktanteile Konstruktionsweisen in m³ u.R. nach Fertigstellungen für sonst. Wohnbauten¹

¹ Alten-, Studenten- und sonstige Wohnheime, Wohnungen in Nichtwohngebäuden und durch Sanierungen an Wohnungsmarkt zurückgegebene Wohneinheiten

► Teil B: Nachhaltigkeitsbewertung von
 Wohngebäuden in Holzbauweise mit und
 ohne Importholzwerkstoffe

In den unter *Kapitel 1*, dort: *Kontextualisierung* genannten Studien, die die Nachhaltigkeitsqualität von Ein- und Zwei- sowie Mehrfamilienhäusern auf Basis ihres ganzheitlichen Untersuchungsansatzes gemäß Abb. 4 analysierten, wurden für die bewertungs- und zertifizierungstechnische Einordnung identifizierter Nachhaltigkeitsaspekte exemplarische Musterhäuser verwendet, u.a. insbesondere für eine Beurteilung der ökobilanziellen Nachhaltigkeitsqualität.

Im *Studienteil B* sollen diese Analysen (Struktur, Vorgehensweise, Aspekte, etc.) bzw. deren exemplarische Musterhäuser (siehe exemplarisch Abb. 10) adaptiert werden für Szenarien der Verwendung ausländischer Importholzwerkstoffe und mit den vorliegenden Ergebnissen des Szenarios mit einheimischen Holzwerkstoffen abgeglichen werden.

Im Zentrum der Untersuchungen werden auch hier die ökobilanziellen Implikationen der Szenariobetrachtung stehen. Dies wird ergänzt um weitere Nachhaltigkeitsaspekte einer ganzheitlichen, lebenszyklusorientierten Betrachtung, die Abhängigkeiten vom geographischen Ursprung der Holzwerkstoffe aufweisen. *Vice versa* werden Nachhaltigkeitsaspekte, denen keine derartige Abhängigkeit innewohnt, die allerdings für die Nachhaltigkeit unterschiedlicher Bauweisen generell von Relevanz sind, in den *Studienteilen C + D* adressiert.



Abb. 10²: Musterhaus *Typengebäude MFH* aus [9] (vgl. auch [10])

² Bildnachweis: ARGE//eV



Lösung des geographischen Bezugs

- ▶ Ausprägungen der Holzbauweise am Markt
- ▶ Anteile der unterschiedl. Ausprägungen am Markt
- ▶ Anteile des Rohstoffs Holz je Ausprägung

- ▶ Bauzeiten
- ▶ Baukosten und Kosten über den Gebäudelebenszyklus

- ▶ Sicherheitsniveau und Resilienz der Holzbauweise
- ▶ Brandfall und weitere Schadensfallrisiken

Nutzung von Analysen und Erkenntnissen aus [7]-[9]

Vorgehensweise Studienphase 2 (Studienteile C + D)

Wie soeben geschildert befassen sich die Studienphase 1 bzw. die Studienteile A + B mit Nachhaltigkeitsaspekten der Holzbauweise im Kontext mit Ressourcenverfügbarkeit und -verwendung sowie im Zusammenhang mit dem Import von Hölzern/Holzwerkstoffen (geographischer Kontext). Dies stellt aber nur einen Teil einer ganzheitlichen Nachhaltigkeitsinventur der Holzbauweise dar und soll in Studienphase 2 bzw. den Studienteilen C + D komplettiert werden um all diejenigen Nachhaltigkeitsaspekte, die keine geographischen Abhängigkeiten aufweisen.

▶ Teil C: Baukonstruktive Nachhaltigkeitsbewertung der Holzbauweise

In Studienteil C soll dazu eine Nachhaltigkeitsbewertung aus fokussiert baukonstruktiver Perspektive realisiert werden.

Betrachtungsschwerpunkte sind dabei zunächst Untersuchungen zu den am Markt nennenswert identifizierbaren unterschiedlichen Ausprägungen der Holzbauweise und deren jeweiligen aktuellen Marktanteilen sowie den tatsächlichen Anteilen des Rohstoffs/der Ressource Holz/Holzwerkstoff.

In der Diskussion um die Nachhaltigkeitsqualität der Holzbauweise werden regelmäßig auch deren Vorteile hinsichtlich Bauzeit und Baukosten hervorgehoben. Ein weiterer Analysestrang wird sich deshalb mit der Frage nach tatsächlichen Bauzeiten und Kosten, insbesondere in der Ausprägung als Lebenszykluskosten, befassen.

Ferner wird Studienteil C das zentrale baukonstruktive Thema Sicherheitsniveau/Widerstandsfähigkeit (Resilienz), z.B. ggü. Brandschadensfällen oder anderen Schadensfallszenarien, adressieren.

▶ Teil D: Ergänzende grundlegende Nachhaltigkeitsmerkmale und die Holzbauweise

Teil D ergänzt die fokussiert baukonstruktiven Betrachtungen des *Studienteils C* um weitere grundlegende Nachhaltigkeitsmerkmale der Holzbauweise, nicht zuletzt i.Vgl. mit den anderen marktgängigen und -führenden mineralischen Bauweisen.



Abrundung Ökobilanz aus Studienphase 1/Studienteil B mit End of Life-Fokus.

Prozessqualitäten für nachhaltiges Bauen

Soziokulturell-funktionale Komfortaspekte

Bestandteil dessen wird zum einen eine abschließende ökobilanzielle Bewertung der Holzbauweise anhand des Muster-MFH aus Abb. 10 sein, im Vergleich der ökobilanziellen Ergebnisse mit den Resultaten von Muster-MFH-Varianten anderer marktgängiger Bauweisen und unter besonderer Berücksichtigung des letzten Lebenszyklusabschnitts des *End of Life* (Rückbau und Verwertung). Zum anderen sollen angesichts der technologischen Abläufe der Produktion und Erstellung von (Wohn-)Gebäuden in Holzbauweise auch die normierten Prozessqualitäten des nachhaltigen Bauens in den Blick genommen werden.

Des Weiteren runden Betrachtungen zu soziokulturell-funktionalen Komfortaspekten (u.a. thermischer Komfort, Raumluftqualität, etc.) den *Studienteil D* ab.

3 Teil A: Holzressourcen und ihre Verwendung in Deutschland

Status quo Deutscher Wald



Abb. 11: Waldgebiete und -flächen in Deutschland

Stichwort O₂: eine 30 m hohe Fichte erzeugt Sauerstoff für ca. 35 Menschen.

Besitzstruktur

Mehr als die Hälfte der Waldflächen und somit auch große Teile der verfügbaren Holzressourcen stehen in öffentlichem/staatlichem Eigentum und Besitz.

Waldfläche | Besitzstruktur | Verfügbare Ressourcen

Derzeit bedeckt der Wald mit ca. 32 % rund ein Drittel der gesamten Staatsfläche der Bundesrepublik Deutschland [13]. In veranschaulichter fiktiver Form entsprechen diese über 11 Mio. Hektar (ha) Wald ungefähr der Gesamtfläche aller ostdeutschen Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Berlin, Thüringen, Sachsen und Sachsen-Anhalt (siehe Abb. 11).

Neben der nachfolgend schwerpunktmäßig analysierten (bau-)wirtschaftlichen Nutzung als Rohstofflieferant hat der Wald insbesondere auch zahlreiche weitere (sozio-)ökologische Funktionen von herausragender Bedeutung: Er ist nicht nur ein schützenswertes Ökosystem, sondern gleichzeitig auch menschlicher Erholungsraum, dauerhafter Kohlenstoff-/CO₂-Speicher bzw. Sauerstoff-/O₂-Produzent und übernimmt Schutzfunktionen für Trinkwasser und Luftqualität sowie vor Bodenerosion durch Sturm-/Hochwasserereignisse [14].

Für ein Verständnis zu verfügbaren Holzressourcen und deren Verwendung – einschließlich entsprechender Interessen- und Motivationslagen bezüglich einer (bau-)wirtschaftlichen Nutzung – ist eine Kenntnis der Eigentums- und Besitzverhältnisse essentiell (siehe Abb. 12).

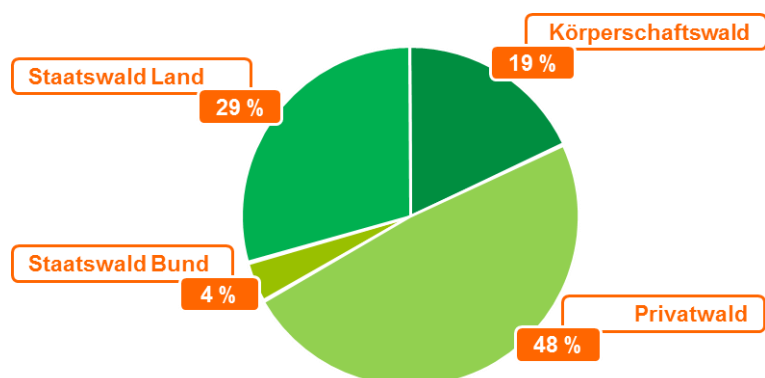


Abb. 12: Eigentumsstruktur des deutschen Forsts [13]



LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH

Privatwald: Wald im Eigentum von natürlichen/juristischen Personen inkl. Kirchenwald

Landeswald: Wald im Eigentum eines Bundesland

Körperschaftswald: Wald im Eigentum von Städten/Gemeinden

Bundeswald: Wald im Eigentum der Bundesrepublik Deutschland

Zentrale Analysegrößen

Definition Nutzbarer Zuwachs: Gesamter Zuwachs abzgl. abgestorbenen oder nicht verwertbaren Holzes sowie abzgl. desjenigen Holzes auf Flächen, die neu unter Schutz gestellt werden.

Ausnutzungsgrade ausgewählter Besitzgruppen

Privatwald: > 98 %

Landeswald: ca. 98 %

Die Waldbesitzstruktur in Deutschland teilt sich ca. hälftig zwischen privatem (48 %) und öffentlichem/staatlichem Besitz (52 %) auf, wobei im öffentlichen/staatlichen Bereich der Körperschafts- (19 %) und Staatswald der Länder (29 %) vorherrschen; der Staatswald des Bundes hat mit lediglich 4 % nur einen sehr geringen Anteil an der Gesamtwaldfläche von über 11 Mio. ha. Auf Seiten vor allem der öffentlichen Hand bestehen damit grundsätzlich – über den Erhalt der (sozio-) ökologischen Funktion des Waldes hinaus – auch Interessen an einer (bau-) wirtschaftlichen Nutzung der Ressource Wald.

Der größte Ertrag des „Wirtschaftsraums“ Wald wird durch den Einschlag von Holz generiert, wobei dies generell von allen Eigentümern aus Abb. 12 gleichermaßen betrieben wird [13]. Dabei sind die beiden zentralen Größen für eine Analyse zu verfügbaren Holzressourcen und deren Verwendung/Nutzung im Rahmen und innerhalb der Grenzen einer prinzipiell nachhaltigen Forstwirtschaft einerseits der *gesamte Holzeinschlag* und andererseits der *nutzbare Zuwachs*.

Die Volumina des Brutto- sowie des nutzbaren Zuwachses des deutschen Waldes waren in den letzten Jahren grundsätzlich relativ gleichbleibend. Der gesamte Holzeinschlag blieb dabei in den vergangenen Jahren unter dem nutzbaren Zuwachs; daher konnte der Holzvorrat über alle Baumarten insgesamt zunehmen. Allerdings lag die Ausnutzung des nutzbaren Zuwachses seit 2004 konstant bei über 80 %, im Jahr 2010 aufgrund einer Ausweisung neuer Schutzflächen [15] sogar deutlich darüber.

In den Jahren 2011 bis 2013 hat sich der Ausnutzungsgrad bei ca. 86 % stabilisiert und der stehende (nutzbare) Vorrat an Holz *über alle Baumarten* betrug im Jahr 2013 ca. 3,6 Mrd. m³ [16]. Der skizzierte Zusammenhang zwischen nutzbarem Zuwachs (sowie Bruttozuwachs als gesamter Zuwachs eines Jahres) und dem Anteil der Holzentnahme am nutzbaren Zuwachs bzw. deren zeitliche Entwicklung ist in Abb. 13 graphisch dargestellt.

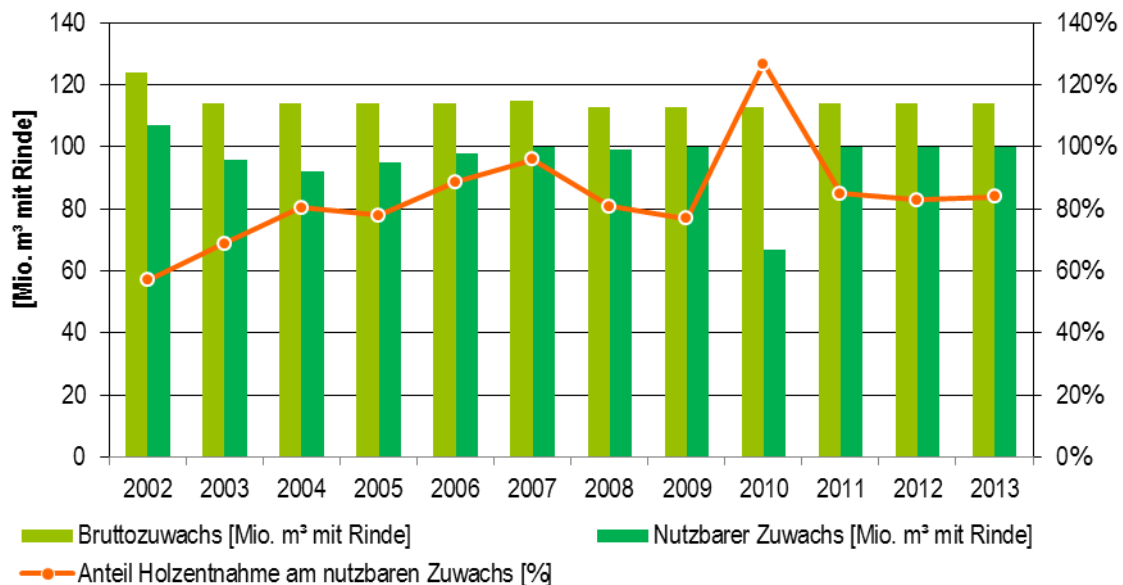


Abb. 13: Anteil Holzentnahme am nutzbaren Zuwachs [15]

Je nach Baumart – vor allem mit Blick auf bauwirtschaftlich relevante Holzsorten – können divergierende Zustände hinsichtlich Holzeinschlag, Zuwachsraten und Holzvorräten bestehen; beispielsweise wurde der Holzeinschlag der Baum-/Holzart Fichte in den letzten Jahren derart ausgeweitet, dass die Zuwachsraten heute um ca. 15 % überschritten und stehende Holzvorräte entsprechend massiv abgebaut werden (siehe dazu unten, u.a. Abb. 21).

Konkurrenz um Ressourcen

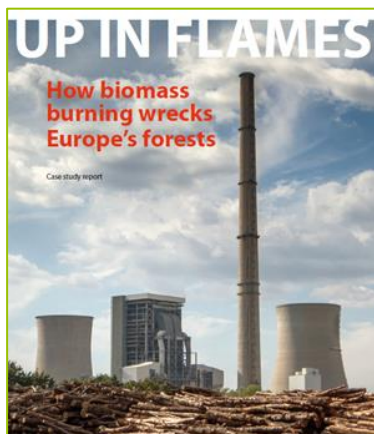


Abb. 14: Titelblatt eines Fallstudienberichts zu Holzpellets

Holzressourcen und ihre Verwendung im Bausektor

Für eine Analyse der unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten tragfähigen Verfügbarkeit des Roh- bzw. Baustoffs Holz in Deutschland muss berücksichtigt werden, dass auch in anderen Wirtschaftssektoren außer dem Baubereich eine erhebliche und in den letzten Jahren zunehmende Nachfrage nach der Ressource Holz besteht.

Neben der Möbel-, Papier- und Zellstoffindustrie ist in diesem Kontext insbesondere auch die Energie- bzw. Biomassebranche anzuführen (siehe Abb. 14), die eine nicht zu vernachlässigende Holznachfrage für die Wärme- und Stromerzeugung generiert – weitere detailliertere Erläuterungen zur Holznachfrage des Energiesektors folgen auf Seite 18.



Zur Konkurrenzsituation der auf die Ressource Holz angewiesenen Branchen und Wirtschaftszweige siehe Seite 18.

Die *FTP Deutschland* ist ein Zusammenschluss von Unternehmen, Verbänden und wissenschaftlichen Einrichtungen, die gemeinsam Forschungsfelder und Handlungsfelder im Bereich „ForstHolzPapier“ definieren.

m³ (b): Bezeichnet den ausgewiesenen Kubikmeter, den ein Produkt im Gebäude einnimmt (*Baukubikmeteräquivalent*).

Legt man die propagierten Zahlen aus [3] bzw. von FTP zugrunde, würde die Menge verbauter Holzprodukte auf über 35 bzw. fast 27 Mio. m³ (b) anwachsen – ca. 67 bzw. 52 % des gesamten Holzeinschlags.

Holz + Bausektor – *Status quo*

Nichtsdestotrotz repräsentiert die bauwirtschaftliche Nutzung von Holzressourcen in Form von z.B. Konstruktionshölzern oder Holzwerkstoffen mit ca. 25 %³ bereits heute einen maßgeblichen Anteil der gesamten Holznachfrage – und würde diesen Anteil unter Annahme des Zutreffens der im Problemaufriss (siehe Kapitel 1) skizzierten massiven Ausweitung der Holzbauweise freilich noch weiter steigern.

In [3] etwa wird die Vision einer 40 %-Holzbauquote für Neubauten lanciert, indem Vergleiche mit den Holzbauquoten anderer Länder gezogen werden, z.B. in Skandinavien oder den USA. Des Weiteren ist es auch erklärtes Ziel der *FTP Deutschland*, die Holzbauquote hierzulande zu verdoppeln, wobei die Holzressourcen u.a. durch eine Steigerung des Anbaus von schnell wachsenden Baumarten realisiert werden soll [17]. Allerdings verdeutlicht ein Blick auf Abb. 16, dass es sich selbst bei den sogenannten Umtriebszeiten vergleichsweise schnell wachsender Baumarten um relativ lange Zeiträume von nicht weniger als 30 Jahren handelt.

Jedenfalls gehen Schätzungen des (staatlichen) Thünen-Instituts [18] davon aus, dass der Holzverbrauch aufgrund verschiedener Initiativen der Bundesregierung sowie in den vergangenen Jahren geschaffener staatlicher Förderprogramme für den Holzbau (Holzcharta, Aktionsplan zur nachhaltigen Nutzung nachwachsender Rohstoffe, Waldstrategie 2020, Förderrichtlinie Waldklimafonds, etc.) insbesondere im Neubau in den kommenden Jahren steigen wird: im Wohnungsneubau könne für das Jahr 2018 im Vergleich zu 2012 mit einem Mehrbedarf von ca. 2 Mio. m³ (b) Holz gerechnet werden. Eine etwaige prognostizierte Verbrauchssteigerung im Bereich des Nichtwohnungsbaus wird demgegenüber viel geringer abgeschätzt [19].

In Deutschland werden p.a. ca. 15 % der Wohn- bzw. ca. 18 % der Nichtwohngebäude in Holzbauweise realisiert [20]. Allerdings erfolgt im Wohnungsbau der größte Materialeinsatz im Allgemeinen bzw. der größte Holzeinsatz im Speziellen bei Modernisierungen [19].

³ Als (theoretische) Ratio zwischen 13,4 Mio. m³ (b) verbauter Holzprodukte [19] und 52,3 Mio. m³ Holzeinschlag (ohne Rinde) [13].

Baumart	Umtriebsalter (in Jahren)	End-Baumhöhe (in Metern)	Natürliches Höchstalter (in Jahren)
Douglasie (Küsten-Douglasie)	60-100	55	400-700
Fichte (Rot-Fichte)	80-120	40	200-300
Kiefer (Wald-Kiefer)	80-140	36	200-300
Tanne (Weiß-Tanne)	90-130	40	500-600
Lärche (europäische Lärche)	100-140	30	200-400
Pappel (Schwarz-Pappel)	30-50	25	100-150
Birke (Sand-Birke)	60-80	25	100-120
Erlie (Schwarz-Erlie)	60-80	25	100-120
Buche (Hain-Buche)	60-100	20	150
Ahorn (Spitz-Ahorn)	100-120	25	150
Esche (Gemeine-Esche)	100-140	30	250-300
Ahorn (Berg-Ahorn)	120-140	35	400-500
Linde (Sommer-Linde)	120-140	35	900-1000
Linde (Winter-Linde)	120-140	24	700-800
Ulme (Berg-Ulme)	120-140	30	400-500
Buche (Rot-Buche)	120-160	35	200-300
Eiche (Stiel-Eiche)	180-300	25	500-800

Abb. 16: Umtriebszeiten verschiedener Baumarten

Insgesamt wurden in Deutschland im Jahr 2012 13,4 Mio. m³(b) Holzprodukte verbaut, wobei Nadelholz hierbei den weit überwiegenden Anteil aufweist (Abb. 17). Denn Nadelhölzer wie Fichten- und Kieferholz eignen sich durch ihre Eigenschaften sehr gut für die bauwirtschaftliche Nutzung und werden für viele Bauteile bevorzugt verwendet.



Abb. 15: Thünen Report 9 [19]

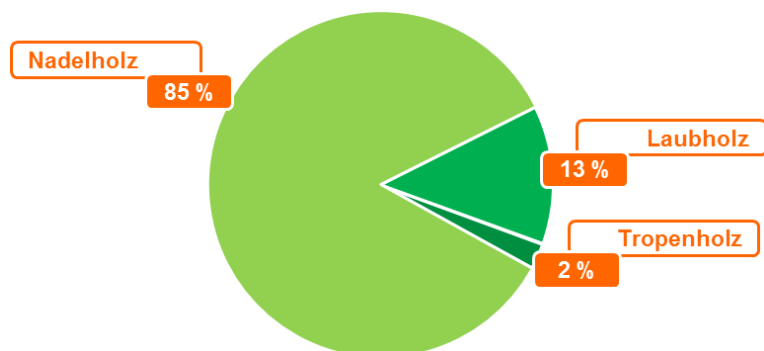


Abb. 17: Einsatz verschiedener Holzarten im Bausektor [19]

Beispielsweise ist der Einsatz von Laubholz in den für die Holzbauindustrie maßgebenden Außen- bzw. Innenwandbereichen mit ca. 3 % (Abb. 18) bzw. ca. 6 % (Abb. 19) faktisch vernachlässigbar.

Auch bei den meisten anderen relevanten Bauteilgruppen wie Außen- und Innentüren oder Treppen ist das Substitutionspotential von Laubholz für Nadelholz bereits weitestgehend ausgeschöpft. Größeres Potential für den Einsatz von Laubholz ist lediglich im Bereich von Fußböden sowie im Außenbereich zu sehen. Insgesamt zeigt Laubholz aber im Vergleich zu Nadelholz bislang eindeutig begrenzte Verwendungsmöglichkeiten im Bausektor [19].

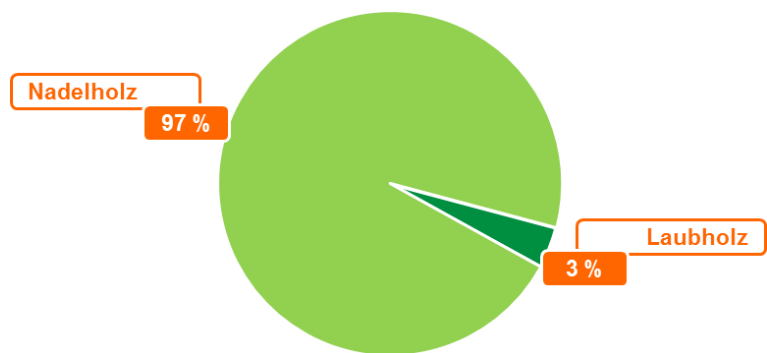


Abb. 18: Einsatz verschiedener Holzarten für Außenwände [19]

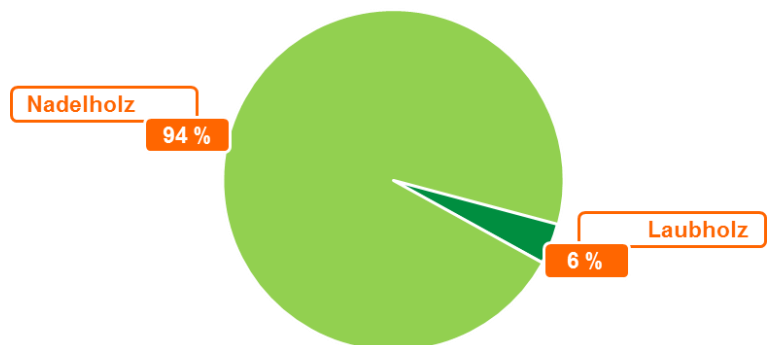


Abb. 19: Einsatz verschiedener Holzarten für Innenwände [19]

Diese Unterscheidung in Nadel- und Laubholz ist für eine bewirtschaftliche Betrachtung zur Verfügbarkeit von Holzressourcen deshalb von Relevanz, weil der – für den Bausektor prioritäre – Nadelholzbereich Entwicklungen unterliegt, die zu einer voranschreitenden Ausschöpfung der Regenerationsrate und zur Ausweitung der – ohnehin schon zu konstatierenden (siehe Seite 18) – Importabhängigkeit führen.



Zwischenfazit zum Status quo für Holz + Bausektor

Der Einsatz von Holz im Bausektor steht vor allem für die Verwendung von Nadelhölzern. Für diese lässt sich bereits heute eine (unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten) angespannte Rohstoffsituation konstatieren, in der die Regenerationsraten z.B. von deutschen Fichtenbeständen deutlich überschritten werden, d.h. mehr Fichtenholz eingeschlagen wird, als im selben Zeitraum nachwachsen kann, - und gleichzeitig auf Importhölzer zurückgegriffen werden muss (siehe Seite 18).

Die Umsetzung des von der Holzlobby propagierten (Mindest-)Ziels einer Verdopplung der Holzquote im Bauwesen würde die devastative Nutzung der Nadelholzbestände verschärfen und/oder zur weiteren Steigerung der Importe führen (müssen); jedenfalls besteht zwischen den zur Zielerreichung nötigen Holzressourcen und einer nachhaltigen Ressourcenverfügbarkeit eine deutliche Lücke.

Holz + Bausektor – *Pro futuro*

Gemäß der dritten Bundeswaldinventur von 2012 machen die im Bausektor schwerpunktmäßig eingesetzten Fichten und Kiefern zusammen mit Buchen und Eichen den größten Teil (ca. 73 %) des deutschen Waldbestandes aus (siehe Abb. 20) [13].

Strategische Reduzierung des Nadelholzanteils

Die besagte Bundeswaldinventur zeigt des Weiteren, dass der Nadelbaumanteil flächenmäßig gegenüber 2002 um 4 % gesunken ist, während die Laubbaumfläche um 7 % gestiegen ist. Diese Entwicklung geht mit dem erklärten Zielen der Waldstrategie 2020 einher, in der ein Umbau der Rein- in Mischbestände als Ziel festgelegt wurde. Zur Zielerreichung wurde die Jungbestockung der Nadelbäume im Vergleich zur Altbestockung von 62 % auf 29 % stark reduziert [21].

Derzeit teilt sich die Holzverwendung in Deutschland zwischen Nadel- und Laubbäumen in etwa im Verhältnis 75 % zu 25 % auf.

Obgleich Mischbestände eine höhere Biodiversität befördern und somit die Widerstandsfähigkeit gegen Schädlinge erhöhen und die Sturmanfälligkeit verringern, stellt dies insbesondere die auf das Nadelholz angewiesene Holzbauindustrie vor Schwierigkeiten. Denn die Reduktion der Nadelbaumbestockung in deutschen Wäldern hat im Zusammenspiel mit der zunehmenden Nachfrage und dem steigenden Bedarf auch bedeutende Folgen für den Nadelholzbestand bzw. -vorrat.



LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH

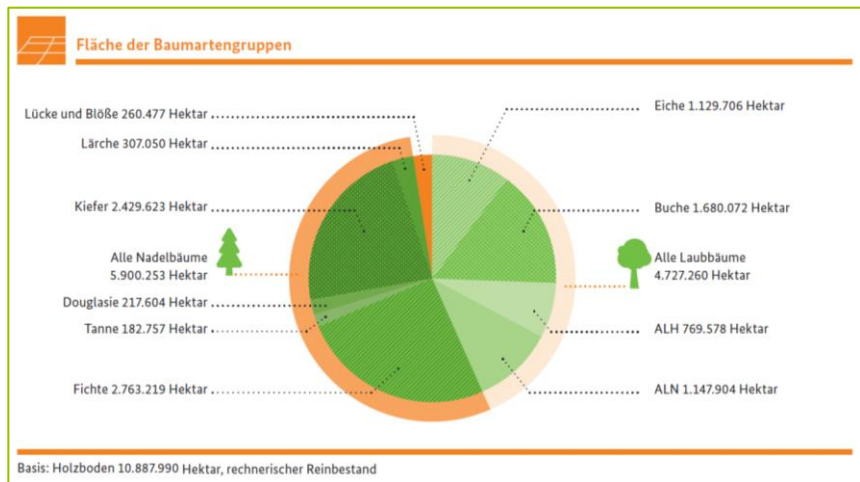
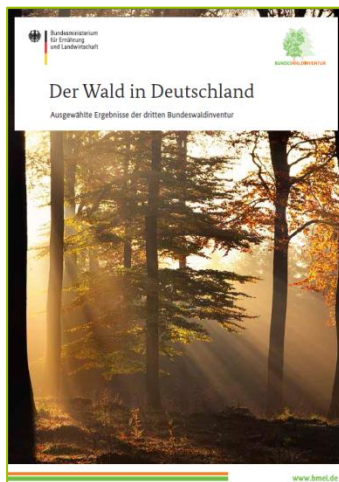


Abb. 20: Auszug Dritte Bundeswaldinventur 2012 [13]

Holzvorrat vs. Holzfläche

Holzvorrat: Die im Wald vorhandene Holzmenge.



Holzfläche: Die von einer Baumart bewachsene Fläche.

Dies zeigt sich heute schon deutlich im Fichtenbestand. Der gesamte Holzvorrat im deutschen Wald ist zwischen den Jahren 2002 und 2012 zwar um 7 % gestiegen. Die Vorräte der Fichte aber haben in diesem Zeitraum um 4 % abgenommen, während die Vorräte anderer Baumarten zugenommen haben (Abb. 21) [13].

Der genutzte Anteil des Fichtenbestandes überstieg den Zuwachs um ca. 15 % [13]. Diese Entwicklung steigender Holzeinschlagszahlen – über der nutzbaren Zuwachsrate – spiegelt sich auch in der abnehmenden Fichtenfläche wider. Zwischen 2013 und 2014 stiegen über alle Holzartengruppen gesehen einzig die Einschläge von Fichten und machen mit knapp 50 % auch den größten Anteil des Gesamteinschlags aus [22].

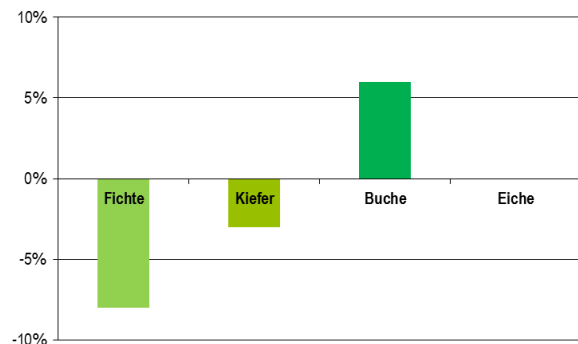
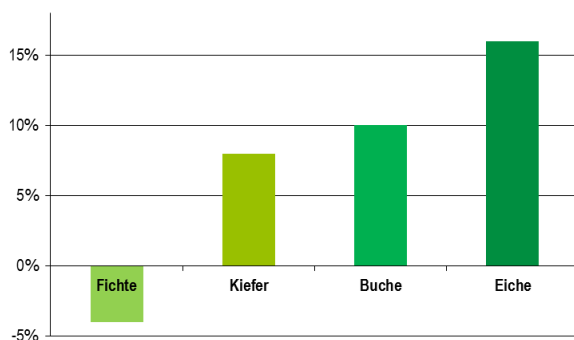


Abb. 21: Veränderungen der Vorräte (links) und Flächen (rechts) zwischen 2002 und 2012 gemäß Bundeswaldinventur [13]



Abhängigkeit von Importen

Diese vorratsabbauende Nutzung von Fichtenholzressourcen oberhalb des nutzbaren Zuwachses ist auch deshalb forstwirtschaftlich so bedeutsam, weil Fichtenholz mit einem Anteil von 33 % am Gesamtholzvorrat (bislang) entscheidend zur forstwirtschaftlichen Wertschöpfung beigetragen hat [13].

Der aktuelle – und angenommene bzw. entsprechend propagierte künftig zunehmende, weil durch die Ausweitung des Holzbaus getriebene – Holzverbrauch kann bereits heute nicht allein durch inländische Holzressourcen gedeckt werden [18].

Ausdrücken lässt sich diese Statusbeschreibung und -prognose durch die volkswirtschaftliche Kennzahl des Handelsbilanzsaldos als Differenz aus Exporten und Importen von Waren und Gütern, hier: von Holz. Dabei steht ein positiver Handelsbilanzsaldo (Exporte übersteigen Importe) für Netto-Exporte bzw. ein negativer Saldo (Importe übersteigen Exporte) für Netto-Importe. Insgesamt weist der deutsche Außenhandel mit Holz und holzbasierten Produkten im Jahr 2013 Netto-Importe i.H.v. 4,6 Mio. m³ (r) aus. Allerdings ist dieser Saldo über alle statistisch erfassten Warenobergruppen (Fertigwaren, Halbwaren und Roh- und Restholz) und im Übrigen auch alle Holzarten nur wenig aussagekräftig hinsichtlich der Frage einer Importabhängigkeit der bauwirtschaftlichen Holznutzung. Denn gemäß obiger Darstellung zu *Holz + Bausektor – Status quo* sind hierfür primär einerseits die Warengruppen Roh-/Schnittholz und andererseits Nadelhölzer maßgeblich.

Gemäß dieser Kategorisierung ergeben sich die Handelsbilanzsaldi aus Abb. 22, die nach Nadel-/Laub- sowie nach Roh-/Schnittholz untergliedert sind. Es wird erstens ersichtlich, dass Deutschland zwar für Laubroh- und Laubschnittholz ein Netto-Exporteur ist. Allerdings zeigen die Hintergrunddaten gemäß Holzmarktbericht 2014 [22], dass das für die bauwirtschaftliche Nutzung prioritäre Nadelholz gegenüber dem nachrangigen Laubholz mengenmäßig signifikant höhere Handelsvolumina (Summe aus Export und Import) aufweist.



Zweitens wird erkennbar, dass Deutschland zwar Nadel-schnittholz netto exportiert (zur Darstellung der Saldi ausgewählter Handelspartner- bzw. Export-/ Importländer vgl. Abb. 23), jedoch in noch größerem (betragsmäßigem) Umfang Nadelrohholz netto importiert (zur Darstellung der Saldi ausgewählter Handelspartner- bzw. Export-/ Importländer vgl. Abb. 24), wobei die Nadelrohholzimporte die -exporte um das Vierfache übersteigen [22].

Bei jeweils in etwa gleich großen Handelsvolumina für Nadel-schnitt- und Nadelrohholz führt dies letztendlich dazu, dass Deutschland für die in der bauwirtschaftlichen Nutzung besonders bedeutsame und auch handelsbilanziell gegenüber Laubhölzern deutlich voluminösere Holzart der Nadelhölzer gemäß Holzmarktbericht 2014 ein Netto-Importeur ist (siehe Abb. 25), d.h. zur Deckung seines (insbesondere auch bauwirtschaftlichen) Nadelholzbedarfs heute bereits auf ausländische Ressourcen angewiesen ist.

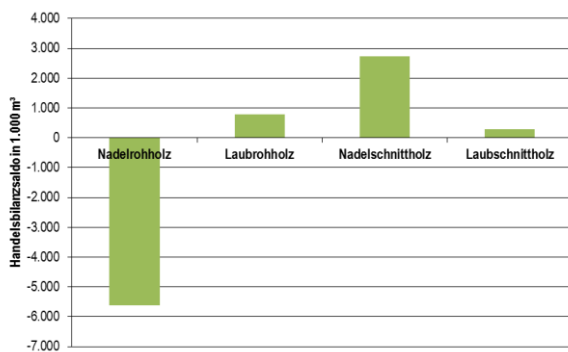


Abb. 22: Außenhandelssaldi 2014 für Nadelroh-/ -schnittholz und Laubroh-/ -schnittholz

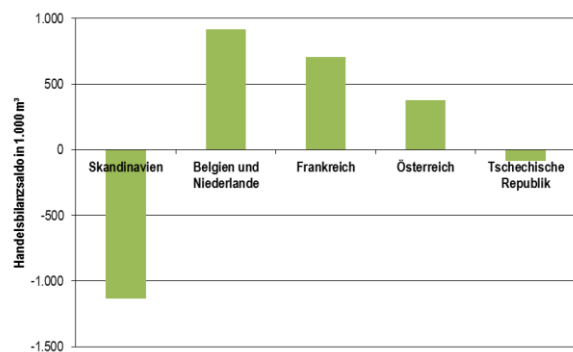


Abb. 23: Außenhandelssaldi 2014 mit ausgewählten Ländern für Nadelschnittholz

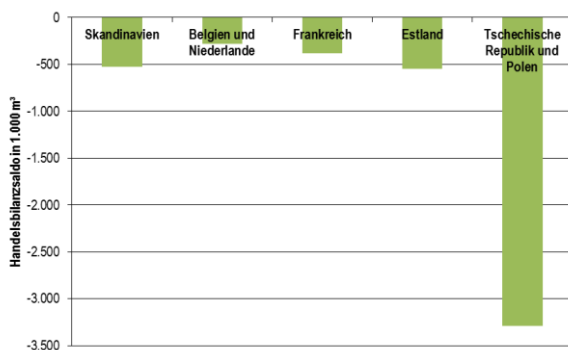


Abb. 24: Außenhandelssaldi 2014 mit ausgewählten Ländern für Nadelrohholz

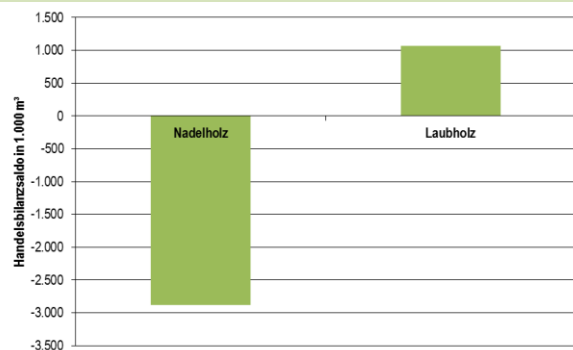


Abb. 25: Außenhandelssaldi 2014 für Nadel- und Laubholz



Konkurrenzsituation mit Energiebranche

Flankiert und verstärkt werden die soeben beschriebenen Effekte für die Verfügbarkeit von Holzressourcen für den Bausektor dadurch, dass auch in anderen Wirtschaftsbereichen eine in den letzten Jahren steigende Nachfrage nach Holz feststellbar ist – zugleich machen die seit 2010 anziehenden Holzrohstoffpreise es auch für die Forstbesitzer lukrativer, ihren Holzabsatz zu steigern [23].

Exemplarisch für diese Zunahme der Holznachfrage ist der durch die Energiewende bedingte Einsatz von Holzpellets zur Wärme- und Stromerzeugung sowohl in privaten Haushalten als auch in gewerblichen Anlagen zu nennen [24]. Die Produktion von Holzpellets ist weltweit von 2 Mio. t in 2001 auf 15 Mio. t in 2010 angestiegen [25] (siehe Abb. 26). Um den zunehmenden Bedarf zu decken, werden Pellets vermehrt aus Übersee, insbesondere den USA und Kanada, sowie Osteuropa importiert. In diesen Regionen wiederum sind häufig schrumpfende Waldflächen zu verzeichnen [24]. Trotz dieses Imports von Pellets ist in den letzten Jahren dennoch auch eine Verschiebung der Nutzung des heimischen Holzes in Deutschland hin zum Energieholz zu erkennen (vgl. Abb. 27). Für den Zeitraum von 2005 bis 2014 war ein Anstieg von 87 % der Energieholzmenge zu verzeichnen [26]. Über alle Baumarten hinweg wurden 2014 ca. 20 % des Holzeinschlages zur Energiegewinnung verwendet, bei Laubbäumen gar ca. 41 % [27].

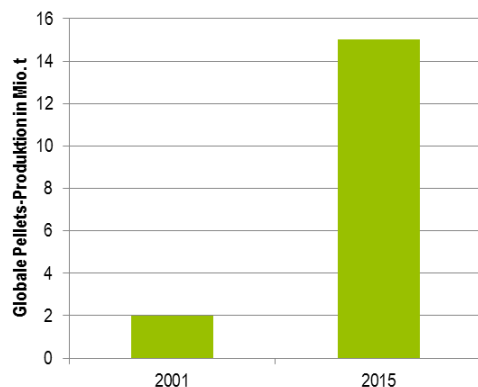


Abb. 26: Globale Pellets-Produktion

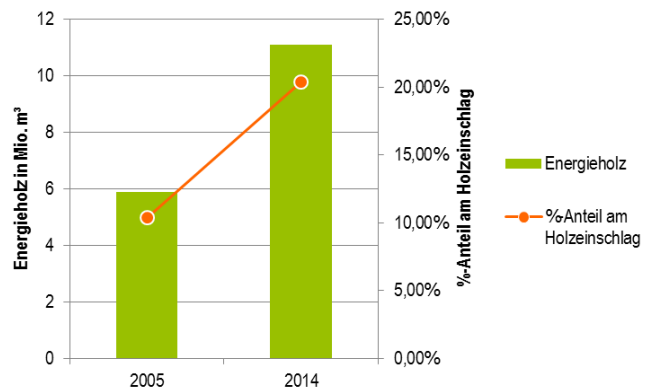


Abb. 27: Energieholz in Deutschland

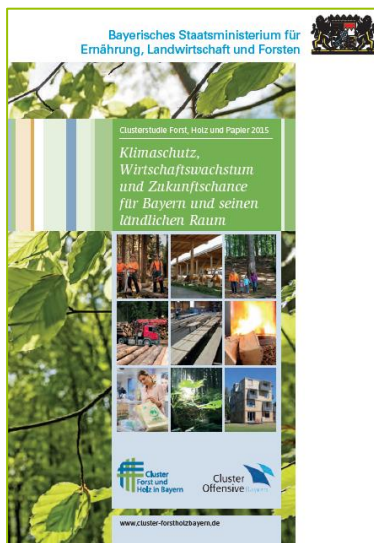


Abb. 28: Clusterstudie Forst, Holz und Papier in Bay. [28]

In besonders waldreichen bzw. solchen Bundesländern mit einer tragenden volkswirtschaftlichen Rolle des Forstens liegt der Anteil der energetischen Holzverwendung noch deutlich über dem durchschnittlichen Verhältniswert aus Abb. 27: in Bayern werden gemäß Clusterstudie aus Abb. 28 bezogen auf die endgültige Holzverwendung (Anteil der Primärfasern bzw. inkl. der energetischen Verwertung von Produktionsresten der Holzverarbeitung) gar 60 % des Holzeinschlags energetisch verwertet (siehe).

Damit ist Holz in Bayern der mit Abstand wichtigste erneuerbare Energieträger mit einem Anteil von fast 6 % an der Primärenergieverbrauchsdeckung (siehe); das (thermische) Verwerten von Altholz deckt dabei nur einen marginalen Anteil ab [28].

Gegenüber dem Jahr 2005 hat sich die energetische Verwendung bzw. Verwertung von Holz in Bayern damit in Analogie zur bundesdeutschen Entwicklung gemäß Abb. 27 verdoppelt [28]. Entsprechend fürchten andere maßgebliche holzverarbeitenden Branchen wie die Papier- und Möbelindustrie um ihre eigene Rohstoffversorgung mit (einheimischen) Holzressourcen bzw. müssen ihre Positionierung am Holzrohstoffmarkt verteidigen. Dies führt insgesamt zu einer verschärften Konkurrenzsituation am Holzrohstoffmarkt, die unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten einer aktiven Steuerung unterliegen sollte.

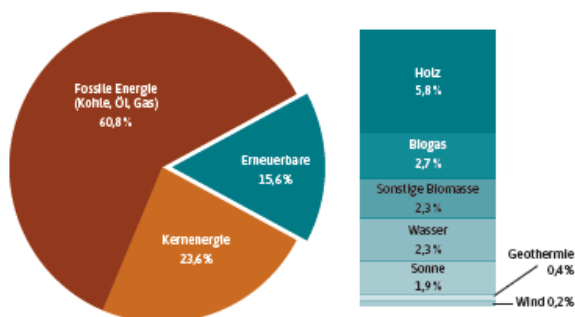


Abb. 29: Primärenergieverbrauch nach Quellen in Bayern 2012 [28]

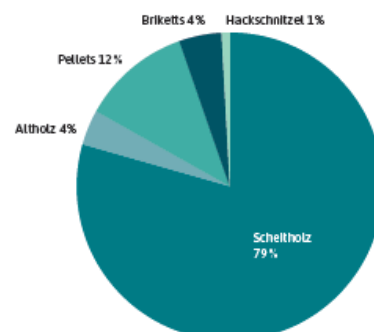
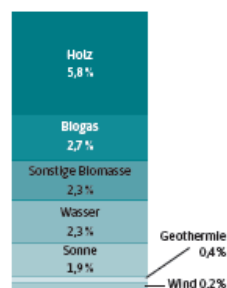


Abb. 30: Energieholzverbrauch nach Sortimenten in bayerischen Privathaushalten 2012 [28]

Fazit und Ausblick

Als zentrale Größen für eine Analyse zu verfügbaren Holzressourcen und deren Verwendung/Nutzung im Rahmen und in den Grenzen einer prinzipiell nachhaltigen Forstwirtschaft wurden im *Studienteil A* der Holzeinschlag einerseits und der nutzbare Zuwachs andererseits identifiziert.

Die vorstehenden Auswertungen und Erläuterungen des *Studienteils A* haben hierzu gezeigt,

- ▶ dass grundsätzlich über alle Baumarten hinweg bzw. für den gesamten deutschen Wald – trotz sehr hoher Ausnutzungsgrade über 80 % - die Zuwachsrate über dem Holzeinschlag liegt,
- ▶ dass allerdings in der Bauwirtschaft, die ca. 25 % Anteil an der Holzressourcennutzung hat, nicht alle Baumarten gleichermaßen zum Einsatz kommen, sondern prioritär Nadelhölzer eingesetzt werden,
- ▶ dass bereits heute ein sinkender Fichtenbaumanteil im deutschen Wald, ein Fichtenholzeinschlag von 115 % der Zuwachsrate, verbunden mit einer abnehmenden Fichtenfläche und eine Importabhängigkeit für Nadelhölzer zu konstatieren ist,
- ▶ dass diese Importabhängigkeit bei nachhaltiger Nutzung von Nadelwäldern in den Grenzen der nutzbaren Zuwachsrate (max. 100 %) eigentlich noch deutlich höher abzuschätzen ist und
- ▶ dass *ceteris paribus*, d.h. bei konstanten politischen/strategischen Rahmenbedingungen für die Waldbewirtschaftung, bei konstanter Konkurrenzsituation für Holzressourcen mit anderen Wirtschaftsbereichen und bei konstanter baukonstruktiver Praxis (Holzbau = Bau mit Nadelholz), eine Ausweitung des Holzbaus diesen Trend weiter verschärfen und insbesondere die Importabhängigkeit steigern wird.

Ob die theoretische Annahme einer konstanten Konkurrenzsituation um die Ressource Holz allerdings praktisch Bestand haben kann, ist angesichts der soeben oben skizzierten Entwicklung rund um die Ressource Holz fraglich. Als wahrscheinlicher kann gelten, dass alle maßgeblichen holzverarbeitenden/-verwendenden



Branchen (Energie, Papier, Möbel, Bau) mehr an Holzressourcen für sich beanspruchen und verwenden wollen, was den Trend zu Holzeinschlägen oberhalb der Regenerationsrate und/oder steigenden Importquoten – mit bisweilen offenen Fragestellungen hinsichtlich einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung (siehe dazu unter Studienteil B) – verstärken wird.

In diesem Kontext ist weiterhin festzustellen, dass die Holzbaubranche ihre Ziele einer massiven Ausweitung der Holzbauquote mit einem Beitrag zum Klimaschutz durch eine CO₂-Einsparung bzw. –Speicherung begründet. Die CO₂-Speicherwirkung des Baustoffs Holz in seiner originären Ausgangsgestalt als Baum ist allgemein be- und anerkannt. Allerdings ist diese Speicherwirkung nur temporär. Denn erstens kann der gefällte Baum als „toter“ Werkstoff Holz kein weiteres CO₂ mehr einspeichern. Bis ein zum gefällten Baum vergleichbares Pendant nachgewachsen ist, vergehen bei den baukonstruktiv nahezu überwiegend eingesetzten Nadelbaumarten wie Kiefer oder Fichte bis zu 120 oder 140 Jahre (siehe Abb. 16). Dieser Zeitraum liegt deutlich sowohl über der durchschnittlichen Lebensdauer eines Wohngebäudes von 80 Jahren als auch über der (fiktiven) zeitlichen Systemgrenze von nur 50 Jahren, wie sie etwa im Leitfaden Nachhaltiges Bauen oder im Deutschen Gütesiegel Nachhaltiges Bauen standardmäßig fixiert ist. Und zweitens ist die Öko- bzw. CO₂-Bilanz des Werkstoffs Holz im wahren (=quantitativen!) Wortsinn keineswegs einseitig positiv in Form stets negativer CO₂-Emissionen, d.h. in Form einer ausschließlichen Speicherwirkung von Holzwerkstoffen. Vielmehr ist zutreffend, dass der Baustoff Holz einen zeitlich begrenzten, temporären Zwischenspeicher darstellt. Dies resultiert daraus, dass Holzwerkstoffe – gerade im bzw. aus dem Baubereich – am Ende des Lebenszyklus der aus ihnen hergestellten Bauteile bzw. Bauwerke zum weit überwiegenden Teil thermisch verwertet werden (müssen) und bei diesem Verbrennungsprozess wieder CO₂ freigesetzt wird.



Zur Thematik Ökobilanzielle Datensätze und deren Unterschiede je nach Herkunftsland trotz Vereinheitlichung und Normkompatibilität siehe unter Studienteil B.

In diesem Zusammenhang ist ferner zu konstatieren, dass die ökobilanziellen Basisdatensätze für Holz in Deutschland (z.B. für Konstruktionsvollholz) so modelliert sind, dass Holzwerkstoffe - wiederum in Form der originären Ausgangsgestalt eines Baums/des Waldes - mehr CO₂ einspeichern als im Zuge der Herstellprozesse der Holzbauteile und insbesondere der thermischen Verwertung am Ende des Lebenszyklus wieder freigesetzt werden, wobei von einer Substitution fossiler Brennstoffe ausgegangen wird. Dieses Detail ist deshalb erwähnenswert, weil die ökobilanziellen Datensätze von Holzwerkstoffen anderer Staaten, z.B. der Schweiz (siehe Tab. 1 in Studienteil B), deutlich unterschiedliche Kalibrierungen und keine (nennenswerten) gesamtlebenszyklusbezogenen (d.h. inkl. thermischer Verwertung) CO₂-Speicher-effekte aufweisen.

Insofern wäre eine weitergehende Ausweitung des Ausnutzungsgrads der Ressource Holz durch eine massive Steigerung des Anteils an Holzbauten in ihrer Tendenz für den Klimaschutz längerfristig kontraproduktiv: die temporäre CO₂-Speicherwirkung würde damit der dauerhaften Wirkung des Waldes als CO₂-Senke und -Speicher vorgezogen bzw. diese durch eine nicht nachhaltige (= über der Regenerationsrate liegende) Waldnutzung einer kurzfristigen CO₂-Reduktion geopfert. Die Verwendung ausländischer Hölzer zur Deckung eines gesteigerten nationalen Bedarfs kann unter Berücksichtigung der damit verbundenen Emissionen für deren Transport nicht als a priori nachhaltig bezeichnet werden, zumal nur bestimmte Holzsorten und Holzqualitäten für den Wohnungsbau geeignet sind und zudem die Herkunft ausländischer Hölzer aus nachhaltigen Quellen nicht per se sichergestellt ist.

Damit liegt nunmehr der thematisch-inhaltliche Brückenschlag zum *Studienteil B* vor, um dort die Auswirkungen von Importholzwerkstoffen auf die Nachhaltigkeitsqualität von Wohngebäuden in Holzbauweise zu analysieren und einzuschätzen.

4 Teil B: Nachhaltigkeitsbewertung von Wohngebäuden in Holzbauweise mit und ohne Importholzwerkstoffe

Adaption vorliegender Studien

Vorgehensweise

Wie unter *Kapitel 2*, dort: *Vorgehensweise in Studienphase 1 (Studienteile A + B)* beschrieben sollen in *Teil B* der aktuellen Studie die Analysen aus [7]-[9] strukturell und methodisch fortgeführt, aber gleichzeitig inhaltlich adaptiert werden auf Szenarien der Verwendung ausländischer Importholzwerkstoffe zwecks Abgleich mit den (bereits vorliegenden) Ergebnissen des Szenarios mit einheimischen Holzwerkstoffen aus [9].

Diese Adaption bezieht sich sowohl auf eine Spezifikation und Anpassung ökobilanzieller Basisdaten (für ausländische Importholzwerkstoffe) für die exemplarische Ökobilanzierung eines Musterhauses als auch auf eine Identifikation derjenigen Nachhaltigkeitsaspekte einer ganzheitlichen, lebenszyklusorientierten Betrachtung, die Abhängigkeiten von geographischem Ursprung und Herkunft der Holzwerkstoffe aufweisen.

Für einheimische Holzwerkstoffe ist in den einschlägigen Nachhaltigkeitsdatenbanken eine mittlere Transportentfernung im Rahmen der Herstellungsphase holzbasierter Baustoffe von 175 km hinterlegt.

Denn bislang sind die fachlichen Diskussionen ausgerichtet auf die ökobilanziellen und weiteren Nachhaltigkeitsmerkmale eines Wohngebäudes bei der Verwendung einheimischer Holzwerkstoffe. Ein zentraler Betrachtungsgegenstand wird hierbei eine Nachhaltigkeitsanalyse der mit dem Import von Holzwerkstoffen verbundenen Transportentfernungen sein.

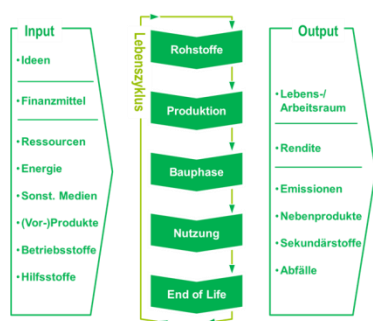


Abb. 31: Schematischer Ansatz

Generell werden dabei sowohl entsprechende qualitative als auch quantitative Aspekte aller drei klassischen Nachhaltigkeitsdimensionen Ökologie, Ökonomie und Soziokultur/Funktionalität sowie die bauspezifischen Querschnittsdimensionen Technik und Prozesse berücksichtigt (siehe Abb. 31). Sofern ein jeweils identifizierter Nachhaltigkeitsaspekt (der betrachteten Szenarien und/oder des verwendeten Musterhauses) im Bewertungsregime eines einschlägigen Zertifizierungsregimes adressiert wird, erfolgt parallel eine entsprechende bewertungs- und zertifizierungstechnische Einordnung dieses Nachhaltigkeitsaspekts.

Als Musterhaus wird dabei das exemplarische Vergleichsgebäude aus [9] gemäß Abb. 10 herangezogen. Es ist dies ein Mehrfamilienhaus mit 12 Wohneinheiten, das aufgrund seiner Größe und Geschossigkeit heute in Holzbauweise realisiert werden kann [10]. Weiterführende Informationen zu diesem Musterhaus können Anhang A entnommen werden.

Relevante Zertifizierungssysteme

Im deutschen Regime an Nachhaltigkeitszertifizierungssystemen sind für Mehrfamilienhäuser zwei Systeme einschlägig. Es sind dies das System *Neubau Wohnen (NWO)* der *Deutschen Gesellschaft Nachhaltiges Bauen (DGNB)* und das System *Nachhaltigkeit im Wohnungsbau (NaWoh)* des *Vereins zur Förderung der Nachhaltigkeit im Wohnungsbau*.⁴

In Analogie zur Systemwahl in [9] sollen auch hier die Untersuchungen zur Nachhaltigkeitsqualität des Musterhauses (im Rahmen der definierten Szenarien) sowie insbesondere die bewertungs- und zertifizierungstechnische Einordnung identifizierter Nachhaltigkeitsaspekte auf Basis des Systems *NaWoh* erfolgen.

Die *NaWoh*-Bewertungsmethodik (Abb. 32) wurde bei der Systementwicklung aus dem seinerzeit bereits bestehenden *Deutschen Gütesiegel Nachhaltiges Bauen* heraus speziell auf die Bedürfnisse der Wohnungswirtschaft angepasst, um durch eine Zertifizierung ausgelöste Kosten zu minimieren und eine Breitenanwendung zu ermöglichen, ohne die Grundstruktur des *Deutschen Gütesiegels* zu verändern.



Abb. 32: Bewertungsmethodik des Systems *NaWoh* [29]

Eine weitere Besonderheit des Systems *NaWoh* liegt im Verzicht auf den Ausweis einer Gesamtbewertung sowie auf die Vergabe von Qualitätsstufen oder Medaillen. Vielmehr wird der Ansatz eines Qualitätssiegels verfolgt, das als Signal für Qualität und Transparenz fungieren soll [29].

Die Besonderheit des Systems *NaWoh* - insbesondere gegenüber dem *DGNB*-Nutzungsprofil *NWO* als gebäudetypologischer Entsprechung - liegt u.a. in der Unterscheidung zwischen bewertenden und lediglich beschreibenden Kriterien. Im Ergebnis vereinfacht diese Vorgehensweise und Struktur der Bewertungsmethodik die Durchführung einer *NaWoh*-Zertifizierung, vor allem im direkten Vergleich mit einer Zertifizierung nach dem vergleichbaren *DGNB*-Nutzungsprofil [9]. Anhang B zeigt den Kriterienkatalog des Systems *NaWoh* [30].

⁴ Weiterführende Erläuterungen zu den Systemen des deutschen bau- und immobilienwirtschaftlichen Nachhaltigkeitszertifizierungsregimes, dem Portfolio an Systemvarianten und Nutzungsprofilen und der Organisation in privatwirtschaftlichen und öffentlichen Systemsträngen finden sich in [7]-[9].



Zweckdienliche und zielführende
Szenarien für *Studienteil B*

Wie unter *Kapitel 2* dargelegt liegt der Schwerpunkt des *Studienteils B* darauf, Auswirkungen der Herkunft von Holzwerkstoffen auf die Nachhaltigkeitsbewertung von Wohngebäuden in Holzbauweise zu identifizieren.

Wie bereits in den genannten vorliegenden Studien gemäß [7]-[9] liegt auch hier ein Fokus auf einer ökobilanziellen Betrachtung und Bewertung, nunmehr hier unterschiedlicher Szenarien. Bei quantitativen Analysemethoden wie einer Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040/44 kann es als Pendant zum bereits vorliegenden Szenario mit einheimischen Holzwerkstoffen (im Nachfolgenden: *Basis-Szenario*) naturgemäß nicht ein solitäres (reales) Szenario für Verwendung und Einsatz von Importholzwerkstoffen geben; prinzipiell ließe sich eine Unzahl von Varianten für Herkunftsländer und/oder korrelierende Transportentfernungen definieren.

Zweckdienlichkeit: Realitätsnähe
und Normkompatibilität

Für diesen *Studienteil B* respektive insbesondere die anvisierte ökobilanzielle Gegenüberstellung muss es aber darum gehen, diejenigen Szenarien zu identifizieren und auszuwählen, die eine ausreichende Realitätsnähe besitzen respektive für die insbesondere kompatible ökobilanzielle Basisdaten verfügbar sind, um die ökobilanziellen Berechnungen durchführen zu können.

Das Wesensmerkmal der Realitätsnähe trifft dabei sicherlich auf Szenarien bzw. vielmehr Herkunftsländer eines Importszenarios zu, mit denen bereits Handelsbeziehungen hinsichtlich Holzwerkstoffen bestehen.

Für die ökobilanziellen Berechnungen der o.g. vorliegenden Studien aus [7]-[9] – und damit auch die ökobilanziellen Berechnungen des Basis-Szenarios dieser Studie – wurde auf die *Ökobau.dat* sowie das Umweltproduktdeklarationsprogramm (kurz: EPD-Programm) des Instituts für Bauen und Umwelt (kurz: IBU),⁵ mithin das Normungsregime der (DIN) EN 15804 abgestellt.

Das Wesensmerkmal der Kompatibilität verfügbarer ökobilanzieller Basis-Daten erfordert daher die Identifikation der Länder bzw. Handelspartner, für die entsprechende (DIN) EN 15804-konforme ökobilanzielle Basisdaten – z.B. im Rahmen von EPDs – verfügbar sind, und zwar für die maßgeblichen holzbasierten Konstruk-

⁵ Siehe dazu auch ausführlicher [7]-[9], dort jeweils Kapitel 4 f.

Zielführung: Aussagegehalt und Erkenntnisbeitrag von Szenarien

Tab. 1 gibt einen ersten Überblick und Tab. 3 detailliertere Einsichten zum Einfluss ausländischer ökobilanzieller Basisdaten auf Ökobilanzergebnisse; als Exkurs sind auch die ohne biogenes CO₂-Speicherpotential kalibrierten Datensätze der Schweiz ausgewiesen.

Import-Szenario
„Importholzwerkstoffe mit Import-Transportentfernungen“

tionsmaterialien, die in dem der Betrachtung des *Studianteils B* zugrunde liegenden Muster-MFH (vgl. Abb. 10 und Anhang A) Verwendung finden. Vorliegend sind dies – und sollen Basis der Szenario-Betrachtung sein – zuvorderst die Materialgruppen von Schnitt- und Konstruktionsvollhölzern (gemäß vorliegendem Basis-Szenario).

Eine detaillierte Gegenüberstellung aktuell verfügbarer (DIN) EN 15804-konformer EPDs bzw. ökobilanzieller Basisdaten für die genannten maßgeblichen Materialgruppen wird zeigen (siehe Tab. 1 und Tab. 3), dass sich diese ökobilanziellen Basisdaten – je nach ökobilanzieller Wirkungskategorie zum Teil deutlich – bereits ohne die Berücksichtigung von Transportentfernungen des Materialimports von den ökobilanziellen Basisdaten des Basis-Szenarios (*Ökobau.dat* respektive EPD-Programm des IBU) unterscheiden. Entsprechend unterscheiden sich die mit diesen ökobilanziellen Basisdaten kalibrierten Szenarien des Imports von Holzwerkstoffen implizit zwangsläufig auch hinsichtlich ihres prinzipiellen Aussagegehalts und ihres Erkenntnisbeitrags *en détail*.

Konstruktions(-voll-)holz nicht keilgezinkt	Lebenszyklusmodule A1 bis A3 (Produktionsstadium) je m ³ (deklierte Einheit)		
	erneuerbare Primärenergie in Megajoule	nicht erneuerbare Primärenergie in Megajoule	Treibhauspotential in kg CO ₂
Land			
Deutschland	9,96E+03	1,18E+03	-7,30E+02
Norwegen	9,77E+03	9,02E+02	-6,07E+02
Frankreich	1,01E+04	2,84E+03	-6,45E+02
Exkurs: Schweiz	9,63E+03	1,57E+03	5,76E+01

Tab. 1: Überblick zum Einfluss ausländischer LCA-Basisdaten

Bei der Umsetzung einer formell korrekten⁶ Ökobilanz für das betrachtete Muster-MFH mit Importholzwerkstoffen sind einerseits die – (DIN) EN 15804-konformen – ökobilanziellen Basisdaten der maßgeblichen Importholzwerkstoffe zu verwenden und andererseits zusätzlich die Import-Transportentfernungen anzusetzen. Die Ergebnisdifferenzen eines solchen Import-Szenarios vom Basis-Szenario (mit einheimischen Holzwerkstoffen der maßgeblichen Holzwerkstoffe) können daher sowohl aus Unterschieden in den verwendeten ökobilanziellen Basisdaten als auch den ökologischen Wirkungen der zusätzlichen Transportentfernungen resultieren.

⁶ Gemäß Norm (DIN) EN 15804 i.V.m. DIN EN ISO 14040/44



Auf Gesamtergebnisebene ist dieses – formell korrekte – Import-Szenario deshalb hinsichtlich der zentralen Fragestellung nach den Auswirkungen des Imports von Holzwerkstoffen auf die Nachhaltigkeitsbewertung von Wohngebäuden grds. nicht geeignet, die Effekte der ausländischen ökobilanziellen Basisdaten und die der (zusätzlichen) Import-Transportentfernungen separiert aufzuzeigen. Um eine entsprechende Differenzierung zwischen beiden Effektebenen herbeizuführen, sind verschiedene Variationen an Import-Szenarien nötig.

Szenario-Variation:

„Importholzwerkstoffe ohne Import-Transportentfernungen“

Die erste (zusätzliche!) Variation besteht in der ausschließlichen Verwendung der ökobilanziellen Basisdaten des Importholzwerkstoffs unter bewusster und expliziter Vernachlässigung der Import-Transportentfernungen bzw. der korrelierten ökobilanziellen Wirkungen. Aus einem solchen variierten Szenario wird bei Gegenüberstellung mit dem Basis-Szenario der Einfluss ausländischer ökobilanzieller Basisdaten auf die Ökobilanz-Gesamtergebnisse erkennbar.

Szenario-Variation:

„Einheim. Holzwerkstoffe mit Import-Transportentfernungen“

Die zweite (zusätzliche!) Variation besteht *vice versa* darin, ausschließlich die (zusätzlichen) Import-Transportentfernungen zu erfassen und die Unterschiedlichkeit ökobilanzieller Basisdaten bewusst und explizit zu vernachlässigen, indem mit (fiktiven) ökobilanziellen Basisdaten für die Holzwerkstoffe der maßgeblichen Materialgruppen gerechnet und bilanziert wird, die keine Differenz zu den Datensätzen der einheimischen Holzwerkstoffe aufweisen, faktisch also die einheimischen ökobilanziellen Basisdaten verwendet werden.

Eine weiterführende Detaillierung und Konkretisierung entsprechender Import-Szenarien (Überlegungen zu Import-Ländern, -Transportentfernungen und -Transportmittelmixen) erfolgt im weiteren Verlauf dieses *Studienteils B* dort, wo erstmalig eine bewertungstechnische ökobilanzielle Abbildung von Wohngebäuden bzw. einzelnen Bauteilen aus Holzwerkstoffen einschlägig wird.⁷

⁷ Für alle nachfolgenden qualitativen (i.S.v. prinzipiellen) Betrachtungen zu Auswirkungen des Imports von Holzwerkstoffen auf die Nachhaltigkeitsbewertung von Wohngebäuden in Holzbauweise ist eine Szenario-Unterscheidung in „einheimische vs. Importholzwerkstoffe“ grds. ausreichend.



Die Rohstoffe

Szenariobetrachtung für die Wiege des Lebenszyklus

In den o.g. vorliegenden Studien [7]-[9], die wie beschrieben die strukturelle und methodische Basis auch der aktuellen Studie bzw. dieses *Studienteils B* bilden, war im Zuge der Betrachtung und Analyse der ersten Lebenszyklusphase der Rohstoffe die *Rohstoffversorgung* und *Naturraumbeanspruchung* sowie die *Nachhaltigkeit notwendiger industrieller Vorprodukte* zu thematisieren. Diese Aspekte stehen grds. auch für die Adaption im *Studienteil B* im Fokus.

Rohstoffversorgung

Die Analysen in *Studienteil A* haben gezeigt, dass die deutschen Ressourcen an Holzrohstoffen bereits heute – d.h. unter Zugrundelegung der aktuellen Marktanteile des Holzbaus (im Wohnungsbereich) – nicht ausreichen, um den Bedarf an – bauwirtschaftlich relevanten – Holzwerkstoffen zu decken; entsprechend können die verfügbaren relevanten Holzressourcen naturgemäß auch nicht genügen, um die ambitionierten zukünftigen Marktziele der bauwirtschaftlichen Holzbranche zu realisieren. Vielmehr müssen bereits heute – und müssten in gesteigertem Maße künftig – Holzressourcen in nennenswertem Umfang importiert werden, d.h. die Rohstoff-/Materialversorgung kann grundsätzlich nur im internationalen Kontext als gesichert betrachtet werden.

Insofern besteht für die Holzbauweise (im Wohnungsbereich) das – für die Rohstoffe bzw. Rohstoffversorgung von Mauerwerk in [7]-[9] angeführte – Nachhaltigkeitsmerkmal bzw. der Nachhaltigkeitsvorteil einer (langfristig sicheren) ortsnahen Rohstoffversorgung nicht. Denn der Import von Holzwerkstoffen geht freilich mit der Notwendigkeit der Überbrückung von Transportentfernungen einher, was Nachhaltigkeitswirkungen, insbesondere ökologischer Ausprägung, verursacht.

Zur quantitativen Abbildung dieser Nachhaltigkeitswirkungen von Import-Transporten vgl. v.a. unten *Zusammenfassung* innerhalb dieses *Studienteils B*.

Naturraumbeanspruchung

Im Kontext mit dem Bezug von ausländischen Holzroh- und -werkstoffen schließt sich der Aspekt an, ob es zwischen Deutschland und maßgeblichen Bezugsländern für Importe Unterschiede bzgl. der Naturraumbeanspruchung für den Rohstoff Holz, hier konkret im Sinne einer nachhaltigen Forstwirtschaft, gibt.



LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH



Abb. 33: Beispiel für eine Folgenutzung des Tontagebaus

Der Flächenbedarf für den Abbau von Baustoffen (inkl. Industriemineralen) liegt bei ca. 0,004% der deutschen Gesamtfläche (ca. 1.500 ha) [31].

Prinzipien, Anforderungen und Kriterien der Systeme PEFC und FSC sind auch über

- www.pefc.de und
- www.fsc-deutschland.de

einsehbar.

Grundsätzlich ist der Aspekt der Naturraumbeanspruchung, d.h. die (befristete oder dauerhafte/ permanente) Nutzung und ggf. Folgenutzung von Rohstoffgewinnungsflächen, z.B. für nicht erneuerbare Steine- und Erden-Rohstoffe der Mauerwerksindustrie oder erneuerbare/nachwachsende Rohstoffe wie Holz, bedeutsam für eine Nachhaltigkeitsbetrachtung. Dies gilt insbesondere für erneuerbare/nachwachsende Rohstoffe.

Denn anders als etwa bei Abbaugeländen für Steine- und Erden-Rohstoffe, die zwar unumstritten einen (temporären) Eingriff in Natur und Landschaftsbild darstellen, allerdings eben nicht auf unbegrenzte Dauer beansprucht, sondern mit Ende des Rohstoffabbaus durch gesetzlich geforderte Rekultivierungs- oder Renaturierungsmaßnahmen an Gesellschaft und Natur zurückgegeben werden (müssen), können erneuerbare/nachwachsende Rohstoffe die Vorteile ihrer Regenerierbarkeit nur dann auch tatsächlich und dauerhaft realisieren, wenn die Bewirtschaftung der Gewinnungsflächen nachhaltig erfolgt, zumal etwa für die Gewinnung des Rohstoffs Holz mit ca. 9,9 Mio. ha wirtschaftlich genutzter Waldfläche große Anteile der deutschen Gesamtfläche beansprucht werden [13].

Ein Indiz für das Ausmaß nachhaltiger Waldbewirtschaftung kann über den Anteil *zertifizierter* Wälder in Deutschland wie in etwaigen Bezugsländern für Importholzwerkstoffe abgeleitet werden.

Weltweit existiert mittlerweile eine große Zahl verschiedener forstwirtschaftlicher Zertifizierungssysteme, mit denen wirtschaftlich, sozial und ökologisch nachhaltig erzeugte Produkte des Waldes durch ein Gütesiegel gekennzeichnet und synchron ein Prozess der Nachhaltigkeitsorientierung/-optimierung initiiert werden soll. Die Mehrzahl dieser Systeme verfolgt einen regionalen oder nationalen Ansatz; in Deutschland sind die Systeme PEFC und FSC führend und haben auch global gesehen die höchsten Marktanteile. Die nachfolgenden Auflistungen geben einen Einblick in die Nachhaltigkeitskriterien der Systeme PEFC und FSC.



PEFC-Standards

- ▶ Gesetzliche und andere Anforderungen (Einhaltung internationaler Konventionen sowie nationaler Gesetze und vertraglicher Verpflichtungen)
- ▶ Forstliche Ressourcen (z.B. Bewirtschaftungspläne, dauerhafte Bewaldung)
- ▶ Gesundheit und Vitalität des Waldes (z.B. Verzicht auf Pflanzenschutz- und Düngemittel, Vermeidung von Waldschäden)
- ▶ Produktionsfunktion der Wälder (z.B. Wertschöpfung und wirtschaftlicher Erfolg, Holzqualität, bedarfsgerechte Erschließung)
- ▶ Biologische Vielfalt im Waldökosystem (z.B. Mischbestände/Standortgerechtigkeit, Förderung seltener Arten, keine Gentechnik)
- ▶ Schutzfunktionen der Wälder (z.B. keine Gewässerbeeinträchtigung, keine flächige Bodenbearbeitung)
- ▶ Sozioökonomische Funktionen der Wälder (z.B. Qualifikation von Arbeitern, Zertifizierung von Unternehmen)

FSC-Prinzipien

- ▶ Einhaltung der Gesetze und FSC-Prinzipien
- ▶ Besitzansprüche, Landnutzungsrechte und Verantwortlichkeiten (Dokumentation und rechtliche Verankerung)
- ▶ Rechte indigener Völker (Anerkennung und Respektierung gewohnheitsmäßiger Rechte)
- ▶ Beziehungen zur lokalen Bevölkerung und Arbeitnehmerrechte (soziales und ökonomisches Wohlergehen im Wald Beschäftigter)
- ▶ Nutzen aus dem Walde (Förderung der effizienten Nutzung der Produkte und Leistungen des Waldes)
- ▶ Auswirkungen auf die Umwelt (Erhaltung von biologischer Vielfalt, Wasserressourcen, etc.)
- ▶ Bewirtschaftungsplan (Erstellung, Anwendung und Aktualisierung)
- ▶ Kontrolle & Bewertung (Angemessenen Dokumentation und Bewertung)
- ▶ Erhaltung von Wäldern mit hohem Schutzwert (vorbeugende Herangehensweise)
- ▶ Bewirtschaftung von Plantagen (gemäß Prinzipien)

Zur besonderen Problematik in der Bewirtschaftung und bei der Nutzung einzelner Baum- bzw. Holzarten – z.B. die Überschreitung von natürlichen Zuwachsraten – vgl. ebenfalls *Studienteil A*.

Die Systeme PEFC bzw. FSC stehen in Deutschland für ca. 7,3 Mio. bzw. 1,1 Mio. ha zertifizierter Waldfläche, wodurch rund 75 % bzw. 10 % der deutschen Waldfläche⁸ – aggregiert über alle Baumarten und Eigentümergruppen hinweg (vgl. *Studienteil A*) – nach den Prinzipien, Anforderungen und Kriterien eines der beiden Systeme bewirtschaftet werden [32][33].

Im europäischen Kontext mit den entsprechenden länderspezifischen Anteilen (nach *PEFC* oder *FSC*) zertifizierter Waldflächen zeigt sich ein differenziertes Bild. Einige Länder (z.B. Österreich, Finnland/Norwegen/Schweden, Tschechische Republik) liegen hierbei im Bereich oder oberhalb des deutschen Anteils zertifizierter Wälder, andere (etwa Frankreich, Belgien/Niederlande, Dänemark, Italien) weisen zum Teil deutlich geringere Anteile auf (siehe Tab. 2 sowie gesamthaft in Anhang C) [34][35][36].

Land	Waldfläche [Tausend ha]	PEFC-zertifizierte Fläche [Tausend ha]	Anteil PEFC-zertifiziert [%]	FSC-zertifizierte Fläche [Tausend ha]	Anteil FSC-zertifiziert [%]
Belgien	683,4	300	43,9%	23	3,4%
Tschechische Republik	2.667,4	1.800,00	67,5%	50	1,9%
Dänemark	612,2	257	42,0%	212	34,6%
Deutschland	11.419,0	7.325,00	64,1%	1.054,00	9,2%
Frankreich	16.989,0	8.139,00	47,9%	31	0,2%
Italien	9.297,0	829	8,9%	94	1,0%
Niederlande	376,0	-	-	136	36,2%
Österreich	3.869,0	2.946,00	76,1%	587	15,2%
Finnland	22.218,0	17.583,00	79,1%	1.234,00	5,6%
Schweden	28.073,0	11.355,00	40,4%	12.217,00	43,5%
Norwegen	12.112,0	9.143,00	75,5%	418	3,5%

Tab. 2: Anteile zertifizierter Waldflächen ausgewählter europäischer Staaten [34][35][36]

⁸ ohne Berücksichtigung etwaiger Überschneidungen bzw. Waldflächen, die nach beiden Systemen zertifiziert sind.



Bewertungstechnische Abbildung der Rohstoffe

Entsprechend ist beim Bezug von Import-Holzwerkstoffen – unter Annahme einer Zielsetzung zur Beschaffung aus nachhaltigen Bezugsquellen – je nach Bezugsland individuell und situativ zu klären, ob grundsätzlich zertifizierte Waldflächen in nennenswertem Umfang vorliegen und inwiefern der in Rede stehende jeweilige Importholzwerkstoff nachweislich über eine Zertifizierung verfügt [37].

Im Kontext einer bewertungs- und zertifizierungstechnischen Einordnung von Nachhaltigkeitsaspekten der Szenariobetrachtung von Holzrohstoffen und mit Blick auf den Kriterienkatalog des relevanten Systems *NaWoh* spielen wiederum die ökobilanziellen Umweltwirkungen – hier: der Rohstoffgewinnung sowie der nötigen Transportaufwendungen des Imports – eine wichtige Rolle.

Angesichts der allgemeinen Überlegungen zu zweckdienlichen und zielführenden Szenarien gemäß *Vorgehensweise* dieses *Studienteils B* macht es allerdings Sinn, diese ökobilanziellen Wirkungen im Kontext aller Lebenszyklusabschnitte bis zur Gebäudefertigstellung (Rohstoffe – Baustoffproduktion – Bauwerkserstellung) zu betrachten und zu bewerten; es wird daher hier auf die entsprechenden Ausführungen des Abschnitts *Baustoffproduktion und Bauwerkserrichtung* verwiesen.

Ohnehin wurde außerdem bereits in den genannten Vorgängerstudien [7]-[9] dargelegt, dass das relevante Bewertungssystem keine eigenständigen Anforderungswerte für die Umweltwirkungen der Rohstoffe und etwaiger (Import-)Transporte vorhält, sondern die ökobilanzielle Nachhaltigkeitsqualität (eines Konstruktionsmaterials) im Gesamtzusammenhang eines Wohngebäudes über dessen Lebenszyklus hinweg beurteilt. Insofern muss eine abschließende ökobilanzielle bewertungstechnische Abbildung wiederum gesamthaft am Ende des *Studienteils B* (Abschnitt *Zusammenfassung*) erfolgen.



Baustoffproduktion und Bauwerkserrichtung

Nachhaltigkeitswirkungen der Transporte

Hinsichtlich der konkreten Kalibrierung der Transporte der Import-Szenarien sei hier auf Seite 36 ff. verwiesen.

Konkretisierung der Szenario-Varianten

Namentlich sind dies die Regionen bzw. Länder Skandinavien, Belgien/Niederlande, Frankreich, Estland und Tschechische Republik/Polen.

Szenarioeffekte bei Transport | Produktion | Montage

Ausgehend von den Erkenntnissen zur bauwirtschaftlichen Notwendigkeit des Imports von Holzwerkstoffen und zu entsprechenden Bezugsländern (vgl. *Studienteil A*) sowie den (allgemeinen) Überlegungen zu zweckdienlichen und zielführenden Import-Szenarien (vgl. *Vorbemerkungen zum Studienteil B*) sollen nachfolgend unter Berücksichtigung des Kriterienkatalogs des relevanten Systems *NaWoh* Auswirkungen von Import-holzwerkstoffen auf die Nachhaltigkeitsqualität daraus errichteter Wohngebäude analysiert werden.

Über hier nicht weiter thematisierte sozio-ökonomische Auswirkungen von Transporten hinaus führen diese insbesondere zu ökologischen Nachhaltigkeitswirkungen. Je nach Bezugsland müssen die Importholzwerkstoffe über entsprechende Entfernungen und mittels unterschiedlicher Transportmittel (Lkw, Zug, Schiff) zum Ort der Weiter-/Endverarbeitung verbracht werden, wodurch Energieressourcen verbraucht und korrelierende Umweltemissionen verursacht werden. Eine Ökobilanzierung bietet diesbezüglich eine wissenschaftlich anerkannte Methodik, diese Umweltwirkungen zu quantifizieren [38].

Dazu müssen die bisherigen allgemeinen Überlegungen zu etwaigen zweckdienlichen und zielführenden Szenarien des Imports von Holzwerkstoffen allerdings weiter konkretisiert werden. Die Zweckdienlichkeit wurde dabei einerseits als *Realitätsnähe* einer Szenario-Variante und andererseits als *Normkompatibilität* verfügbarer ökobilanzieller Basis-Daten definiert.

Erstens – Realitätsnahe Szenario-Varianten liegen dann vor, wenn mit einem zugehörigen Bezugsland von Importholzwerkstoffen tatsächlich entsprechende Handelsbeziehungen vorliegen. Mögliche Bezugsländer für Szenario-Varianten ergeben sich demnach unmittelbar aus den Ergebnissen des *Studienteils A* bzw. aus Abb. 23 und Abb. 24 sowie den dort referenzierten Literaturquellen.



Ferner liegen auch schwedische EPDs für spanische und deutsche EPDs für österreichische Holzwerkstoffe vor; diese adressieren aber nicht die maßgeblichen Konstruktionsmaterialien. Die ebenfalls im schwedischen EPD-Programm integrierten australischen Holzwerkstoffe werden nicht als realistische Szenario-Variante gesehen.

Gemäß Tab. 3 bestehen bspw. zwischen den Datensätzen zum Treibhauspotential GWP aus Deutschland, Norwegen und Frankreich Unterschiede von über 20 %.

Die Normkompatibilität für eine Szenario-Variante ist dann gegeben, wenn für ein Bezugsland (DIN) EN 15804-konforme ökobilanzielle Basis-Daten verfügbar sind. Eine entsprechende europaweite Analyse verfügbarer EPD-Programme (*ECO Platform*, internationale Kooperationen des *IBU*) lieferte für die maßgeblichen holzbasierten Konstruktionsmaterialien (Schnitt- und Konstruktionsvollholz) die zweckdienlichen Bezugsländer Norwegen und Frankreich – auf Basis der statistischen Auswertungen aus Studienteil A stehen diese beiden Länder für über 17 % der deutschen Importe.

Zweitens – Zielführende Szenario-Varianten liegen dann vor, wenn diese eine Unterscheidung ermöglichen zwischen den ökobilanziellen Ergebniseinflüssen, die – trotz Normkompatibilität – aus ausländischen ökobilanziellen Basis-Daten einerseits (siehe Tab. 3), und denen, die aus den Transportentfernungen der Szenario-Varianten andererseits resultieren. Entsprechend sind je (zweckdienlichem) Bezugsland drei abgrenzbare Szenario-Varianten zu kalibrieren, wobei

- ▶ die erste Variante eine formell korrekte Ökobilanz-Variante mit den originären ökobilanziellen Basis-Daten des Bezugslands und unter Berücksichtigung der Transportentfernungen des Imports darstellt,
- ▶ die zweite Variante nur die originären ökobilanziellen Basis-Daten des Bezugslands abbildet und die Transportentfernungen des Imports explizit vernachlässigt und
- ▶ die dritte Variante *vice versa* ausschließlich die Transportentfernungen des Imports abbildet und die Ergebniswirkung unterschiedlicher ökobilanzieller Basis-Daten vernachlässigt, indem (fiktiv) einheimische Basis-Daten verwendet werden.

Tab. 4 fasst diese konkretisierenden Überlegungen überblickshaft zusammen; darin ist auch ein weiteres fiktives Import-Szenario enthalten, mit dem der durchschnittliche ökobilanzielle Einfluss von Transportentfernungen des Imports eruiert und der Einfluss ausländischer ökobilanzieller Basis-Daten durch die (fiktive) Verwendung einheimischer ökobilanzieller Basis-Daten eliminiert werden kann.

**Konstruktions(-voll-)holz
nicht keilgezinkt**

EPD-Nr.	Land	Lebenszyklusmodule A1 bis A3 (Produktionsstadium) je m ³ (deklarierte Einheit)						
		PE _e [MJ]	PE _{ne} [MJ]	GWP [kg CO ₂ -eq.]	ODP [kg CFC11-eq.]	AP [kg SO ₂ -eq.]	EP [kg PO ₄ -eq.]	POCP [kg Ethen-eq.]
EPD-ÜKH-2012111-DE	GER	9,96E+03	1,18E+03	-7,30E+02	9,65E-06	3,97E-01	8,19E-02	9,76E-02
NEPD-308-179-NO	NOR	9,77E+03	9,02E+02	-6,07E+02	6,60E-06	4,10E-01	8,99E-02	2,65E-02
n.a.	FRA	1,01E+04	2,84E+03	-6,45E+02	3,60E-05	2,24E+00	1,53E-01	6,45E-02

Schnittholz getrocknet

EPD-Nr.	Land	Lebenszyklusmodule A1 bis A3 (Produktionsstadium) je m ³ (deklarierte Einheit)						
		PE _e [MJ]	PE _{ne} [MJ]	GWP [kg CO ₂ -eq.]	ODP [kg CFC11-eq.]	AP [kg SO ₂ -eq.]	EP [kg PO ₄ -eq.]	POCP [kg Ethen-eq.]
EPD-EGG-20140247-IBA1-DE	GER	9,49E+03	3,30E+02	-7,84E+02	4,97E-10	2,42E-01	4,93E-02	8,25E-02
NEPD-307-179-NO	NOR	9,68E+03	1,92E+02	-6,72E+02	5,51E-06	3,39E-01	7,52E-02	2,03E-02

PE _e [MJ]	Primärenergiebedarf, erneuerbar (in Megajoule)
PE _{ne} [MJ]	Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar (in Megajoule)
GWP [kg CO ₂ -eq.]	Treibhauspotential (in CO ₂ -Äquivalenten)
ODP [kg CFC11-eq.]	Ozonschichtabbaupotential (in CFC11-Äquivalenten)
AP [kg SO ₂ -eq.]	Versauerungspotential (in SO ₂ -Äquivalenten)
EP [kg PO ₄ -eq.]	Überdüngungspotential (in PO ₄ -Äquivalenten)
POCP [kg Ethen-eq.]	Sommersmogpotential (in Ethen-Äquivalenten)

Tab. 3: Ökobilanzielle Basis-Daten für Bezugsländer realitätsnaher Szenario-Varianten

Nr.	Bezeichnung	Beschreibung	Aussagegehalt Erkenntnisbeitrag
1	Basis-Szenario	▶ einheimische Holzwerkstoffe ▶ ökobilanzielle Basisdaten gemäß Ökobau.dat ▶ keine Import-Transportentfernungen	(Vergleichsbasis)
2	Import-Szenario NOR _{real}	▶ Importholzwerkstoffe aus Norwegen ▶ norwegische ökobilanzielle Basisdaten ▶ mit Import-Transportentfernungen	formell korrekte ökobilanzielle Abbildung von Importholzwerkstoffen aus Norwegen
2a	Import-Szenario NOR _{Var a}	▶ Importholzwerkstoffe aus Norwegen ▶ norwegische ökobilanzielle Basisdaten ▶ ohne Import-Transportentfernungen	ökobilanzieller Einfluss von ökobilanziellen Basisdaten für Importholzwerkstoffe aus Norwegen
2b	Import-Szenario NOR _{Var b}	▶ einheimische Holzwerkstoffe ▶ ökobilanzielle Basisdaten gemäß Ökobau.dat ▶ mit Import-Transportentfernungen	ökobilanzieller Einfluss von Import-Transportentfernungen bei Importholzwerkstoffen aus Norwegen
3	Import-Szenario FRA _{real}	▶ Importholzwerkstoffe aus Frankreich ▶ französische ökobilanzielle Basisdaten ▶ mit Import-Transportentfernungen	formell korrekte ökobilanzielle Abbildung von Importholzwerkstoffen aus Frankreich
3a	Import-Szenario FRA _{Var a}	▶ Importholzwerkstoffe aus Frankreich ▶ französische ökobilanzielle Basisdaten ▶ ohne Import-Transportentfernungen	ökobilanzieller Einfluss von ökobilanziellen Basisdaten für Importholzwerkstoffe aus Frankreich
3b	Import-Szenario FRA _{Var b}	▶ einheimische Holzwerkstoffe ▶ ökobilanzielle Basisdaten gemäß Ökobau.dat ▶ mit Import-Transportentfernungen	ökobilanzieller Einfluss von Import-Transportentfernungen bei Importholzwerkstoffen aus Frankreich
4	Import-Szenario fiktiv	▶ einheimische Holzwerkstoffe ▶ ökobilanzielle Basisdaten gemäß Ökobau.dat ▶ mit durchschnittlichen Import-Transportentfernungen (gemäß Außenhandelsbeziehungen Holz/Holzwerkstoffen)	durchschnittlicher ökobilanzieller Einfluss von Import-Transportentfernungen bei Importholzwerkstoffen

Tab. 4: Konkretisierte Szenario-Varianten

Weiterhin erfordert die Konkretisierung der Szenario-Varianten aus Tab. 4 eine Konfiguration von entsprechenden Transportentfernungen und Transportmittelzusammensetzungen (sog. *Modal Split*).



Basis-Szenario

Im Vgl.: die durchschnittliche Transportentfernung für Steine-Erden-Rohstoffe in Deutschland liegt bei ca. 50 km [41].

Dabei ist insbesondere zu beachten, dass in den zu verwendenden EPDs bzw. ökobilanziellen Basis-Daten gemäß Tab. 3 bereits Transportentfernungen des Lebenszyklusmoduls A2 (Transporte im Produktionsstadium) berücksichtigt und erfasst sind.

Für das Basis-Szenario mit einheimischen Holzwerkstoffen und den ökobilanziellen Basis-Daten gemäß der einschlägigen deutschen EPDs [39] bzw. der offiziellen Ökobilanz-Datenbank *ökobau.dat* [30] sind keine zusätzlichen Import-Transportentfernungen abzubilden und die in den ökobilanziellen Basis-Daten integrierten Wirkungen der Transporte im Rahmen des Produktionsstadiums (Modul A2) sind beizubehalten. In [38] sind mittlere Transportdistanzen (A2) der Holzrohstoffe von ca. 175 km integriert [40].

Import-Szenarien Norwegen

Für die norwegischen Import-Szenarien gelten die nachstehenden Konfigurationen:

- ▶ Zielgebiet in Deutschland: Rhein-Main-Metropolregion
- ▶ Holzabbauggebiet und Weiterverarbeitung in Mittelnorwegen (mit Transportdistanzen (A2) von ca. 50 km Landweg)
- ▶ Skandinavischer Modal Split (Stand 2007) mit 85 % Lkw | 10 % Bahn | 5 % Wasser [42]
- ▶ Transportetappen: Mittelnorwegen nach Oslo Hafen 400 km (Landweg) | Oslo Hafen nach Hamburg Hafen 850 km (reiner Seeweg) | Hamburg Hafen nach Zielgebiet 500 km (Landweg)

Import-Szenarien Frankreich

Für die französischen Import-Szenarien gelten die folgenden Konfigurationen:

- ▶ Zielgebiet in Deutschland: Rhein-Main-Metropolregion
- ▶ Holzabbauggebiet und Weiterverarbeitung in der Region Rhône-Alpes (mit Transportdistanzen (A2) von bis zu 60 km Landweg)
- ▶ Französischer Modal Split (Stand 2007) mit 90 % Lkw | 10 % Bahn [42]
- ▶ Transportetappen: Region Rhône-Alpes nach Zielgebiet 1000 km (Landweg)

Fiktives Import-Szenario

Für das fiktive Import-Szenario gilt weiterhin diese Konfiguration (siehe auch Tab. 5):

- ▶ Mittlere (gemäß Importvolumen gewichtete) Transportentfernungen der vier größten Bezugsländer (Frankreich, Estland, Polen, Tschechische Republik) [22]: ca. 950 km
- ▶ Zielgebiet in Deutschland: Rhein-Main-Metropolregion
- ▶ Annahme zum Modal Split für Landweg: 85 % Lkw | 10 % Bahn | 5 % Wasser

Bezugsland	Importvolumen [in 1.000m ³]	Länderspez. Anteil [%]	Transportentfernung zum Zielgebiet
Frankreich	436	10%	1.000
Estland	555	13%	2.000
Polen	1.601	36%	1.000
Tschechische Rep.	1.846	42%	600
Summe	4.438	100%	Gewichteter Ø Transportentfernung 950

Tab. 5: Bestimmung Transportentfernungen für fiktives Szenario

Wie sich die beschriebenen Szenario-Varianten und ihre Detail-Konfigurationen auf die ökobilanziellen Ergebnisse eines Wohngebäudes in Holzbauweise bzw. dessen Lebenszyklusabschnitte bis einschließlich der Bauwerkserstellung auswirken, zeigt die (vorläufige) bewertungstechnische Einordnung zum aktuellen Abschnitt *Szenarioeffekte bei Transport / Produktion / Montage* (siehe unten Seite 43).

Wie sich die Import-Transportentfernungen für sich genommen ökobilanziell und im Vergleich zu einheimischen Holzwerkstoffen oder zu einheimischen Steine-erden-Rohstoffen auswirken, lässt sich allerdings bereits jetzt analysieren.

Erwartungsgemäß haben die o.g. erheblichen Unterschiede in den durchschnittlichen Transportentfernungen – ca. 50 km für Steine-erden-Rohstoffe | ca. 175 km für einheimische Hölzer | ca. 950 für fiktives Import-Szenario – massive Auswirkungen auf die Ökobilanz-Ergebnisse des Transports.

Exkurs: ökobilanzielle Wirkungen der Import-Transporte



Die Umweltwirkungen (am Beispiel des Ökobilanz-Indikators des CO₂-Äquivalents (GWP)) des fiktiven Import-Szenarios und dessen ca. 950 km-Entfernung liegen um den Faktor 5,4 höher als diejenigen des Transports einheimischer Hölzer bzw. um den Faktor 19 höher als diejenigen des Transports mineralischer Baustoffe wie Mauerwerk (siehe Abb. 34).

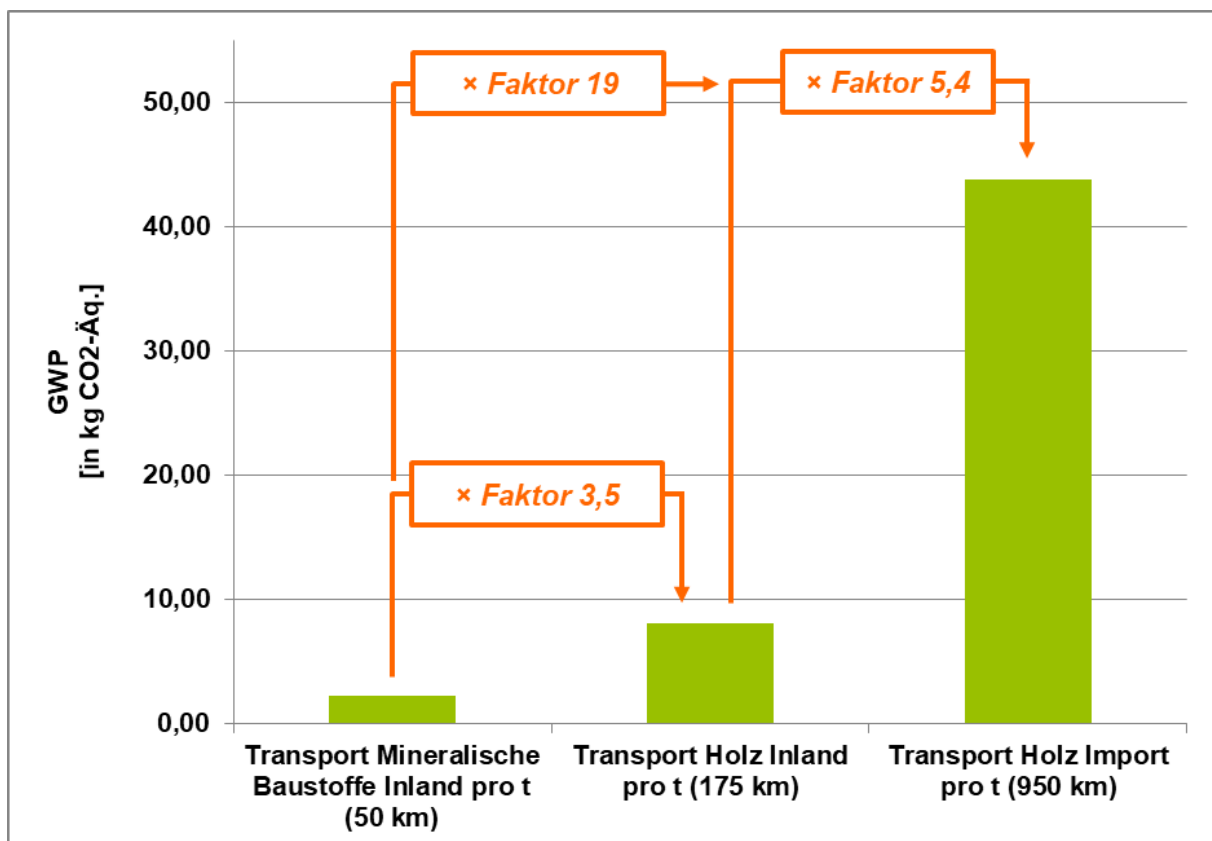


Abb. 34: Auswirkungen des Holzimports auf ökobilanzielle Wirkungen des Transports

Nachhaltigkeitsaspekte
der Baustoffproduktion

Hinsichtlich einer Szenariobetrachtung von Nachhaltigkeitsaspekten der Baustoffproduktion ist zunächst zu differenzieren, ob es sich bei den importierten Holzwerkstoffen um Rohhölzer oder (holzbasierende) Halbferzigerzeugnisse handelt.

Für den Fall des Rohholzimports (vgl. *Studienteil A* bzw. Abb. 22 bis Abb. 25) bewegen sich die importbezogenen Nachhaltigkeitsaspekte der Baustoffproduktion (abgesehen von den Transportwirkungen; siehe oben) allein im Bereich der Waldbewirtschaftung; dies wurde bereits im Zuge der „Szenariobetrachtung für die Wiege des Lebenszyklus“ adressiert.



Mithin muss zur Einschätzung hinsichtlich dem Vorliegen einer Beschaffung nachhaltiger holzbasierter Baustoffe je nach Bezugsland und entsprechendem Betrieb individuell untersucht werden, ob z.B. deutsche Umwelt- und Sozialstandards eingehalten werden. Eine pauschale Aussage dazu ist hier nicht möglich.

Nachhaltigkeitswirkungen
der Bauwerkserstellung

Denn die Weiterverarbeitung des importierten Rohholzes zu (bauwirtschaftlich) genutzten Erzeugnissen erfolgt für diesen Fall ohne weitere Szenarioeffekte in Deutschland und in analoger Weise zur Verarbeitung inländischer Rohhölzer.

Für den Fall des Imports von Halbfertigerzeugnissen allerdings ist aus Nachhaltigkeitsperspektive je nach Bezugsland zu beachten, ob zu Deutschland vergleichbare Schutzniveaus für Umwelt (ökologische Perspektive) und Menschen (z.B. Mitarbeiter verarbeitender Betriebe; soziale Perspektive) vorherrschen.

Generell enthalten die bereits genannten EPDs gemäß [7]-[9] neben einer ökobilanziellen Erfassung der Herstellprozesse ferner auch weitere neutrale und verifizierte Informationen zur Produktionsphase, die zwar nicht ökobilanziell, d.h. quantitativ mittels Wirkungsindekatoren erfasst werden können, aber trotzdem eine Relevanz für den Umwelt- (z.B. Verwendung von Holzschutzmitteln, Klebstoffen, etc.) und Gesundheitsschutz (z.B. Schutz vor Emissionen wie (Fein-) Stäuben, Lärm, Abgasen) haben [43]. Diesen Informationsgehalt weisen zumindest EPDs im deutschen Programm etwa des IBU auf; demgegenüber beinhalten etwa die norwegischen EPDs zu Konstruktionsvollhölzern (Tab. 3) ausschließlich die ökobilanzielle Thematik.

Im Rahmen der Vorgängerstudien aus [7]-[9] war im Kontext mit einer Nachhaltigkeitsbetrachtung der Rohstoffe bzw. Baustoffproduktion und Bauwerkserrichtung auch die Nachhaltigkeit notwendiger industrieller Vorprodukte und Ergänzungsmaterialien (für gesamt-hafte Bauteilaufbauten) zu adressieren. Dies gilt umso mehr auch für Betrachtungen zur Nachhaltigkeitsqualität der Holzbauweise bzw. diesen *Studienteil B*, weil die Holzbauweise – zumindest in der Ausprägung als Ständer-/Rahmenbauweise (siehe Abb. 35) – als ausgesprochene Mischbauweise zu klassifizieren ist, in der Holz zwar einen wichtigen, aber bei weitem nicht alleinigen Anteil an der Gesamtmaterialität repräsentiert.

Das für die Analysen dieses Studienteils B verwendete Muster-MFH (vgl. Abb. 10) weist einen massebezogenen Anteil des Baustoffs Holz von ca. 5 % auf.



Abb. 35: Wandaufbau und Montagebeispiel Holzständer-/rahmenbauweise⁹

Die Thematik der Vermeidung von Schadstoffen bzw. Risiken für die lokale Umwelt ist insbesondere auch von Relevanz für die Nutzungsphase von Wohngebäuden (siehe Abschnitt *Auswirkungen der Szenarien für die Nutzungsphase*).

Bewertungstechnische
Abbildung

Es gilt weiterhin auch hier die Differenzierung innerhalb der Szenariobetrachtung, ob Rohhölzer oder holzbasierte Halbfertigerzeugnisse, z.B. Wandfertigteil, importiert werden. Für letzteren Differenzierungsfall ist wiederum je nach Bezugsland und industriellem Vorprodukt bzw. Ergänzungsmaterial (z.B. Abdichtungsfolien, Dichtungsmassen, Dämmstoffe, etc.) zu betrachten, ob relevante Nachhaltigkeitsunterschiede zu Vorprodukten/Ergänzungsmaterialien deutscher Herkunft und Herstellung zu konstatieren sind.

Dies spielt konkret primär eine Rolle hinsichtlich einer Vermeidung von Schadstoffen als Risiken für die lokale Umwelt, d.h. hier vor allem zunächst auf der Baustelle für die Bautätigen und als bauökologischer Rucksack für die Raumluftqualität bzw. Wohngesundheit der Nutzer im fertigen Objekt (z.B. Flüchtige organische Verbindungen aus Lösemitteln oder Formaldehyd); beides wird auch im für diese Studie einschlägigen Nachhaltigkeitszertifizierungssystem *NaWoh* thematisiert – es wird diesbezüglich auf die Ausführungen des nachfolgenden Unterabschnitts *Bewertungstechnische Abbildung* verwiesen

Im Rahmen der bewertungstechnischen Abbildung der Rohstoffe wurde bereits ausgeführt, dass die ökobilanzielle Analyse einen zentralen Bewertungsbestandteil der Nachhaltigkeitszertifizierung von MFH darstellt. Auf Basis der oben definierten und konfigurierten Szenario-Varianten lassen sich nunmehr hier für die Le-

⁹ Bildnachweise: holzbau-dachdecker-metzigen | Wolf-Haus



Lebenszyklusabschnitte Rohstoffe, Baustoffproduktion und Bauwerkserstellung erste ökobilanzielle Ergebnisse und Unterschiede der Szenario-Varianten darstellen (siehe Tab. 6) – Basis ist dabei das bereits in Abb. 10 auf Seite 5 vorgestellte Muster-MFH, das im Übrigen auch für die gesamthafte *NaWoh*-Nachhaltigkeitsbewertung am Ende des *Studienteils B* herangezogen wird.

Mit Blick auf die Definition und Konfiguration der Szenario-Varianten werden aus den Varianten 2b und 3b sowie 4 die ökobilanziellen Auswirkungen der Import-Transporte ersichtlich, während die Varianten 2a und 3a die ökobilanziellen Auswirkungen der ausländischen ökobilanziellen Basis-Daten hervorheben.

Es fällt erstens auf, dass die Import-Transporte die LCA-Ergebnisse (gegenüber dem Basis-Szenario) nur im niedrigen einstelligen Prozentbereich verändern, wobei zwischen den einzelnen Wirkungsindikatoren erhebliche Unterschiede bestehen können. Zweitens wird ersichtlich, dass die LCA-Ergebnisse in deutlich größerem Maße von den ausländischen Datensätzen geprägt werden, auch hier mit erkennbaren Unterschieden zwischen den einzelnen Indikatoren. Hintergrund für die Abweichungen insbesondere beim Wirkungsindikator des Treibhauspotentials (GWP) sind jeweils andere Ausmaße der biogenen Einspeicherung von CO₂ beim Wachstum des Ausgangsrohstoffs eines Baumes.

Insofern kann die Ableitung einer ökobilanziellen Bewertung für MFH aus Mauerwerk erst im Kontext des gesamten Lebenszyklus am Ende der Studie erfolgen.

Allerdings gilt nach wie vor, dass die gezeigten Ökobilanz-Ergebnisse für die Lebenszyklusabschnitte Rohstoffe, Baustoffproduktion und Bauwerkserstellung bzw. die Bauteile Außen- und Innenwand hier noch nicht bewertungstechnisch verwendbar sind. Denn das relevante Zertifizierungssystem enthält wie zuvor bereits geschildert zwar ökobilanzielle Benchmarks eines Wohngebäudes, allerdings werden darin der gesamte Lebenszyklus, d.h. auch die Umweltwirkungen der Instandhaltung und des End of Life sowie des Wärme-/Strombedarfs der Nutzungsphase, gebündelt.



Wirkungskategorien [pro (m²/a)] → Szenario-Varianten ↓	GWP [kg CO₂-eq]	ODP [kg R11-eq]	POCP [kg C₂H₄-eq]	AP [kg SO₂-eq]	EP [kg PO₄-eq]	PE _{ne} [kWh/(m²a)]	PE _e [kWh/(m²a)]	PE _{ges} [kWh/(m²a)]
1								
Herstellung	6,657E-01	9,157E-09	5,188E-04	3,922E-03	5,783E-04	4,997E+00	2,540E+00	7,537E+00
Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
gesamt	6,657E-01	9,157E-09	5,188E-04	3,922E-03	5,783E-04	4,997E+00	2,540E+00	7,537E+00
Anteil Transport Import an Herstellung	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Anteil Transport Import an gesamt	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
2								
Herstellung	7,382E-01	7,355E-09	4,768E-04	3,929E-03	5,830E-04	4,952E+00	2,509E+00	7,461E+00
Transport Import	1,130E-02	6,814E-14	-4,249E-06	5,782E-05	1,048E-05	4,251E-02	3,348E-03	4,586E-02
gesamt	7,495E-01	7,355E-09	4,726E-04	3,987E-03	5,935E-04	4,994E+00	2,513E+00	7,507E+00
Anteil Transport Import an Herstellung	1,53%	0,00%	0,89%	1,47%	1,80%	0,86%	0,13%	0,61%
Anteil Transport Import an gesamt	1,51%	0,00%	0,90%	1,45%	1,77%	0,85%	0,13%	0,61%
%Veränderung von gesamt zu 1	12,59%	-19,68%	-8,91%	1,67%	2,62%	-0,05%	-1,10%	-0,41%
2a								
Herstellung	7,382E-01	7,355E-09	4,768E-04	3,929E-03	5,830E-04	4,952E+00	2,509E+00	7,461E+00
Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
gesamt	7,382E-01	7,355E-09	4,768E-04	3,929E-03	5,830E-04	4,952E+00	2,509E+00	7,461E+00
Anteil Transport Import an Herstellung	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Anteil Transport Import an gesamt	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
%Veränderung von gesamt zu 1	10,89%	-19,68%	-8,09%	0,19%	0,81%	-0,91%	-1,23%	-1,01%
2b								
Herstellung	6,657E-01	9,157E-09	5,188E-04	3,922E-03	5,783E-04	4,997E+00	2,540E+00	7,537E+00
Transport Import	1,319E-02	7,950E-14	-4,957E-06	6,746E-05	1,222E-05	4,960E-02	3,906E-03	5,350E-02
gesamt	6,789E-01	9,157E-09	5,139E-04	3,989E-03	5,906E-04	5,047E+00	2,544E+00	7,591E+00
Anteil Transport Import an Herstellung	1,98%	0,00%	0,96%	1,72%	2,11%	0,99%	0,15%	0,71%
Anteil Transport Import an gesamt	1,94%	0,00%	0,96%	1,69%	2,07%	0,98%	0,15%	0,70%
%Veränderung von gesamt zu 1	1,98%	0,00%	-0,96%	1,72%	2,11%	0,99%	0,15%	0,71%
3								
Herstellung	7,157E-01	2,472E-08	4,993E-04	5,008E-03	6,204E-04	5,269E+00	2,556E+00	7,825E+00
Transport Import	1,421E-02	9,013E-14	-8,750E-06	3,631E-05	9,860E-06	5,398E-02	4,619E-03	5,860E-02
gesamt	7,299E-01	2,472E-08	4,905E-04	5,044E-03	6,303E-04	5,323E+00	2,560E+00	7,883E+00
Anteil Transport Import an Herstellung	1,99%	0,00%	1,75%	0,72%	1,59%	1,02%	0,18%	0,75%
Anteil Transport Import an gesamt	1,95%	0,00%	1,78%	0,72%	1,56%	1,01%	0,18%	0,74%
%Veränderung von gesamt zu 1	9,64%	169,95%	-5,45%	28,63%	8,98%	6,52%	0,79%	4,59%
3a								
Herstellung	7,157E-01	2,472E-08	4,993E-04	5,008E-03	6,204E-04	5,269E+00	2,556E+00	7,825E+00
Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
gesamt	7,157E-01	2,472E-08	4,993E-04	5,008E-03	6,204E-04	5,269E+00	2,556E+00	7,825E+00
Anteil Transport Import an Herstellung	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Anteil Transport Import an gesamt	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
%Veränderung von gesamt zu 1	7,50%	169,95%	-3,77%	27,70%	7,28%	5,44%	0,60%	3,81%
3b								
Herstellung	6,657E-01	9,157E-09	5,188E-04	3,922E-03	5,783E-04	4,997E+00	2,540E+00	7,537E+00
Transport Import	1,379E-02	8,745E-14	-8,490E-06	3,523E-05	9,567E-06	5,237E-02	4,482E-03	2,705E-02
gesamt	6,795E-01	9,157E-09	5,104E-04	3,957E-03	5,879E-04	5,049E+00	2,545E+00	7,565E+00
Anteil Transport Import an Herstellung	2,07%	0,00%	1,64%	0,90%	1,65%	1,05%	0,18%	0,36%
Anteil Transport Import an gesamt	2,03%	0,00%	1,66%	0,89%	1,63%	1,04%	0,18%	0,36%
%Veränderung von gesamt zu 1	2,07%	0,00%	-1,64%	0,90%	1,65%	1,05%	0,18%	0,36%
4								
Herstellung	6,657E-01	9,157E-09	5,188E-04	3,922E-03	5,783E-04	4,997E+00	2,540E+00	7,537E+00
Transport Import	1,267E-02	8,284E-14	-7,450E-06	3,350E-05	9,058E-06	4,813E-02	4,112E-03	5,224E-02
gesamt	6,784E-01	9,157E-09	5,114E-04	3,955E-03	5,874E-04	5,045E+00	2,545E+00	7,590E+00
Anteil Transport Import an Herstellung	1,90%	0,00%	1,44%	0,85%	1,57%	0,96%	0,16%	0,69%
Anteil Transport Import an gesamt	1,87%	0,00%	1,46%	0,85%	1,54%	0,95%	0,16%	0,69%
%Veränderung von gesamt zu 1	1,90%	0,00%	-1,44%	0,85%	1,57%	0,96%	0,16%	0,69%

Tab. 6: LCA-Ergebnisse Konstruktion Wandkonstruktion (Außen-/Innenwände) Muster-MFH - Lebenszyklusphase Herstellung

Systemgrenzen und Berechnungsparameter: Bilanzierung aller Wandbauteile (Außen-/Innenwände) für einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren (gemäß Vorgaben des Systems *NaWoh*) und die Lebenszyklusphase der Herstellung. Vom Bewertungssystem werden ferner die zu bilanzierenden Wirkungsindikatoren vorgegeben, hierzu zählen das Treibhauspotential (engl.: Global Warming Potential; kurz: GWP) und der Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PE_{ne}) und erneuerbar (PE_e) bzw. der Gesamtprimärenergiebedarf (PE_{ges}). Zusätzlich werden Ergebnisse zu den Indikatoren Ozonschichtabbaupotential (engl: Ozone Depletion Potential; kurz: ODP), Ozonbildungspotential (engl: Photochemical Ozone Creation Potential; kurz: POCP), Versauerungspotential (engl: Acidification Potential; kurz: AP) und Überdüngungspotential (engl: Eutrophication Potential; kurz: EP) gefordert.



Glossar Wirkungsindikatoren

- ▶ **Treibhauspotential**
(engl.: *Global Warming Potential*, kurz: *GWP*)
Wirkungsmechanismus der teilweisen Reflexion eintreffender kurzwelliger Sonnenstrahlung als Infrarotstrahlung und Absorption dieser Infrarotstrahlung durch sogenannte Treibhausgase verbunden mit entsprechender Erwärmung der Atmosphäre. Das Treibhauspotential wird in Kohlendioxid-Äquivalenten angegeben: alle Emissionen werden bzgl. ihres potentiellen Treibhauseffekts zu CO₂ ins Verhältnis gesetzt.
- ▶ **Primärenergiebedarf**
(nach nicht erneuerbar/ erneuerbar/gesamt)
Der Summenwert Primärenergiebedarf nicht erneuerbar angegeben in Megajoule (MJ) charakterisiert den Einsatz der Energieträger Erdgas, Erdöl, Braunkohle, Steinkohle und Uran.
Der Summenwert Primärenergiebedarf erneuerbar (in MJ) wird in der Regel separat ausgewiesen und umfasst Wind- und Wasserkraft, Solarenergie und Biomasse.
Der Summenwert aus Primärenergiebedarf nicht erneuerbar und erneuerbar ergibt des Gesamtprimärenergiebedarf.
- ▶ **Ozonschichtabbaupotential**
(engl.: *Ozone Depletion Potential*, kurz: *ODP*)
Eine ozonabbauende Wirkung wird im Wesentlichen zwei Stoffgruppen zugeschrieben: Fluorkohlenwasserstoffe (FCKW) und Stickoxiden (NO_x). Ein Effekt des Ozonabbaus ist die Erwärmung der Erdoberfläche, zu beachten ist aber v.a. auch die Empfindlichkeit von Organismen gegenüber UV-B- und UV-A-Strahlung.
- ▶ **Ozonbildungspotential**
(engl.: *Photochem. Ozone Creat. Pot*, kurz: *POCP*)
Im Gegensatz zur Schutzfunktion der Ozonschicht ist bodennahes Ozon ein schädliches Spurengas (Sommersmog). Dieses Reaktionsprodukt entsteht unter Einwirkung von Sonnenstrahlung aus Stickoxid- und Kohlenwasserstoffemissionen. Es wird als Ethen-Äquivalent angegeben.



► *Versauerungspotential*

(engl.: *Acidification Potential*, kurz: *AP*)

Die Versauerung von Böden und Gewässern entsteht überwiegend durch die Umwandlung von Luftschadstoffen in Säuren – relevante Beiträge hierzu liefern Schwefeldioxid und Stickoxide. Direkte und indirekte Schädigungen entstehen vor allem in Ökosystemen (Stichwort Waldsterben).

Das Versauerungspotential wird in Schwefeldioxid-Äquivalent angegeben.

► *Überdüngungspotential*

(engl.: *Eutrophication Potential*, kurz: *EP*)

Unter Eutrophierung versteht man eine Anreicherung von Nährstoffen an einem bestimmten Standort; Beiträge hierzu stammen aus Luftschadstoffen, Abwässern und der agrarischen Düngung. Die Folgen für Gewässer sind beispielsweise ein verstärktes Algenwachstum.

Das Eutrophierungspotential geht als Phosphat-Äquivalent in die Ökobilanz ein.

Bewertungsaspekt

Vermeidung von Schadstoffen

Ein Schwerpunkt der Bewertung ist u.a. der Anteil *flüchtiger organischer Verbindungen* in einem Bauprodukt (engl.: *Volatile organic compound*, kurz: *VOC*).

Die gesamte Kriterienmatrix wird in Anhang D der Studie dargestellt.

Ohnehin hängt die finale Gesamtbewertung jedwedes Gebäudes und seiner Konstruktionsweise von der Bewertung aller verwendeten Baumaterialien ab.

In der Nachhaltigkeitsbeurteilung von MFH spielen zudem Risiken für die lokale Umwelt eine wesentliche Rolle. Vom entsprechenden Kriterium des Systems *NaWoh* [30] wird mit Blick auf die Phase der Verarbeitung von Materialien bewertet, ob die verwendeten Bauprodukte bestimmte Material-/Stoffgruppen enthalten, die eine Gefahr für Boden/Luft/Grund-/Oberflächenwasser sowie die Gesundheit von Mensch/Flora/Fauna darstellen. Dabei werden neben halogenierten Kältemitteln und Schwermetallen insbesondere auch organische Lösungsmittel und Weichmacher sowie halogenierte Treibmittel in Dämmstoffen betrachtet. Alle für die Bewertung des Kriteriums relevanten Bauteile und Materialien werden mittels einer Anforderungsmatrix dargestellt (Abb. 36).

Gegenüber mineralisch basierten Baustoffen benötigen Holzkonstruktionen in vielen Fällen spezifische materialtechnische Maßnahmen zum Schutz vor Feuchte oder Brand, die auch dem Regime des in Abb. 36 auszugsweise dargestellten *NaWoh*-Kriteriums unterworfen sein können.

Speziell für ausländische Holzwerkstoffe – freilich insbesondere für Holzwerkstoffe unklarer Herkunft – kann die Nachweisführung zur Einhaltung der Anforderungen aus Abb. 36 erheblich erschwert sein, auch wenn nicht pauschaliert werden kann, dass ausländische Holzwerkstoffe grundsätzlich problematisch sind für eine Einhaltung des in Rede stehenden *NaWoH*-Kriteriums.

	nem VOC-Gehalt von max. 3 % ☐ Emissions- und lösemittelfrei ausgewiesene Beschichtungen zur Belegung der mineralischen Oberflächen von Wänden, Fußböden, Decken oder Dächern ☐ Chromoxidfreie Oberflächenveredelungen und Beschichtungen bei Aluminium- und Edelstahlbauteilen. Zu betrachten sind Aluminium- und Edelstahlbauteile der Gebäudehülle Korrosionsschutz-, Dichtungs-, Kleber- oder Versiegelungshilfsmittel ☐ Korrosionsschutz-, Dichtungs-, Kleber- oder Versiegelungshilfsmittel, die zur Bearbeitung der Oberflächen von Wänden, Fußböden, Decken oder Dächern sowie Stahlkonstruktionen im wettergeschützten Bereich verwendet werden, dürfen einem VOC-Gehalt von ☐ 10 % ☐ 3% nicht überschreiten. ☐ Verwendung von Bodenbelagsklebstoffen der Gruppen EmiCode EC 1 (sehr emissionsarm) oder RAL UZ 113 (emissionsarm). Zu betrachten sind mindestens 80 % Bodenbelagsflächen ☐ Korrosionsschutzbeschichtungen der Gruppen GISCODE BS 10 (wasserverdünnbar, Lösemittelgehalt < 5 %). Regenabwässerung ☐ Die Verwendung von bauartgeprüften Vorreinigungsanlagen für die unterirdische Regenabwässerung (Sickerschächte, Sickerrohre, Rigolen), wenn Metalldachflächen aus Kupfer oder Zink mehr als 50 qm betragen. Alternativ wird der Nachweis des witterungsbedingten Abtrages geneigter und senkrechter Bauteile entsprechend Leitfaden für das Bauwesen (Umweltbundesamt 17/05) gefordert. Kältemittel ☐ keine halogenierten oder teilhalogenierten Kältemittel Kunststoffe ☐ keine Kunststoffe mit Blei- Cadmium- und Zinnstabilisatoren Dabei werden Fenster, Fußbodenbeläge und Wandbekleidungen betrachtet. Holzschutz ☐ keine Verwendung von mit Holzschutzmitteln behandelter Holzprodukte, entsprechend dem GISCODE HSM-W 60-90 (Chrom- Kupferverbindungen) Zu betrachten sind mindestens 80 % der Bauelemente, Tragwerke, Fußböden und Wandverkleidungen ☐ In den Gefährdungsklassen (zukünftig: Gebrauchsklassen) 1 und 2 nach DIN 68800, erfolgt der vorbeugende Holzschutz ausschließlich konstruktiv oder durch artentypischen Resistenzen
--	--

Abb. 36: Anforderungsmatrix des Kriteriums 3.2.4 Vermeidung von Schadstoffen (Auszug) [30]

Das Kriterium *3.2.4 Vermeidung von Schadstoffen* prüft anhand der in Abb. 36 dargestellten Matrix die Einhaltung spezifischer Anforderungen an unterschiedlichste Baumaterialien und -produkte. Es handelt sich um ein beschreibendes Kriterium, das die Einhaltung von Mindeststandards kontrollieren und sicherstellen soll. Auch hier ist die Einhaltung der Anforderungen über Produkt-, technische oder Sicherheitsdatenblätter oder Umweltproduktdeklarationen nachzuweisen.

Bewertungsaspekt
Raumlufthqualität

Zur Erfüllung des zugehörigen Indikators *Konzentration an VOC/Schadstoffen* muss grds. spätestens vier Wochen nach Fertigstellung eine Bestimmung der VOC-Konzentration der Raumlufth inklusive zugehöriger chemischer Analyse auch hinsichtlich des Formaldehyd-Gehalts durchgeführt und die Ergebnisse dokumentiert werden (Abb. 37).

Der soeben beschriebene Aspekt der Vermeidung von Schadstoffen, dabei insbesondere die Eindämmung von VOC-Emissionen, wird zusätzlich auch im Rahmen eines *NaWoh*-Kriteriums zur Bewertung der *Raumlufthqualität* analysiert [30].

Circa 4 Wochen nach Fertigstellung des Gebäudes (bautechnische Abnahme) sind die Innenräume auf die vorhandenen Immissionskonzentrationen an flüchtigen organischen Stoffen zu überprüfen.

☐ Es wurde nachgewiesen, dass für oberflächenbildende Stoffe ausschließlich als emissionsarm ausgewiesene Bauprodukte (z. B. geprüft nach AgBB oder „Blauer Engel“) zum Einbau gekommen sind. Einzubeziehen sind alle oberflächenbildenden Baustoffe inklusive Hilfsstoffe, d.h. Farben, Lacke, Beläge aller Art, Kleber.

Bezeichnungen der Nachweisdokumente:.....

ODER

☐ Es wurden stichprobenhafte Messungen durchgeführt und folgende Nachweise erbracht:

Raumlufthkonzentration TVOC der untersuchten Räume:

☐ ≤ 800 [µg/m³]
☐ ≤ 500 [µg/m³]
☐ ≤ 300 [µg/m³]

Raumlufthkonzentration Formaldehyd der untersuchten Räume:

☐ ≤ 60 [µg/m³]
☐ ≤ 50 [µg/m³]

Bezeichnungen der Nachweisdokumente:.....

Abb. 37: Anforderungsmatrix Kriterium Raumlufthqualität [30]

Wiederum anders als die mineralisch basierten Baustoffe können Holzwerkstoffe im Baubereich nicht von vorneherein als emissionsarm eingestuft werden; vielmehr erfordern individuelle Aussagen zum Emissionsverhalten eine Auswertung entsprechender Produkt-, technischer oder Sicherheitsdatenblätter wie z.B. einer EPD – in der deutschen EPD für Konstruktionsvollhölzer wird die Thematik VOC-/Formaldehyd-Emissionen explizit adressiert [39].

Komfort, Sicherheit
und Funktionalität

Auswirkungen der Szenarien für die Nutzungsphase

Im Rahmen der genannten Vorgängerstudien aus [7]–[9] wurden die für Wohngebäude relevanten Nachhaltigkeitsmerkmale der Nutzungsphase herausgearbeitet und ins Bewertungsregime der maßgeblichen Zertifizierungssysteme (*NaWoh*, *DGNB*) eingeordnet; es waren dies:



- Komfortbildende soziokulturelle Gebäudemerkmale (thermisch, akustisch, raumluftqualitativ)
- Sicherheitsniveau der Gebäudekonstruktion (Schadensfallszenarien Brand, Sturm, Hochwasser)
- Funktionale und ökonomische Gebäudequalitäten (Flexibilität, Werterhaltung, Lebenszykluskosten)

Für die Adaption der Analyseschwerpunkte aus [7]-[9] auf Szenarien der Verwendung ausländischer Importholzwerkstoffe zwecks Abgleich mit den vorliegenden Ergebnissen eines Szenarios mit einheimischen Holzwerkstoffen spielen diese Analyseschwerpunkte grundsätzlich – mit einer Ausnahme (siehe sogleich unten) – keine Rolle.¹⁰ Denn die Nachhaltigkeitsmerkmale werden allein konstruktionsspezifisch determiniert. Vielmehr sind sie für die zweite Studienphase bzw. die *Studienteile C + D* (vgl. *Kapitel 5*) bedeutsam, weil dort der Baustoff Holz aus einer allgemein baukonstruktiven Perspektive analysiert werden soll.

Ein Aspekt, der – wie angekündigt – dennoch im Zuge der Szenariobetrachtung von Importholzwerkstoffen gegenüber einheimischen Materialien für die Nutzungsphase von Belang sein kann, ist die Raumlufthqualität bzw. eine Belastung mit Schadstoffen, die aus Baumaterialien resultieren. Freilich können und sollen ausländische Importholzwerkstoffe nicht *per se* als kritisch oder problematisch für eine hohe Raumlufthqualität charakterisiert werden.

Bei Importholzwerkstoffen, die einem ausländischen normativ-regulatorischen Raum/Rahmen entstammen, insbesondere natürlich bei solchen Werkstoffen ungeklärter Herkunft, kann die Sicherstellung und entsprechende Nachweisführung und Dokumentation der Schadstofffreiheit aber erschwert sein; vor allem auch mit Blick auf die Klassifizierung von Holzkonstruktionen als Mischbauweise aus diversen Materialkomponenten und –schichten und das Erfordernis von Maßnahmen bzw. Stoffen zum Holzschutz.

Vgl. Bewertung der Aspekte Vermeidung von Schadstoffen und Raumlufthqualität im System *NaWoh* gemäß obiger Darstellung in Abschnitt *Szenarioeffekte bei Transport / Produktion / Montage*.

¹⁰ Ökobilanzielle Auswirkungen von Importholzwerkstoffen im Zusammenhang mit der Instandsetzung/Erneuerung von Bauteilen bzw. Bauteilkomponenten während der Nutzungsphase werden im Gesamtkontext der ökobilanziellen Bewertung im Abschnitt *Zusammenfassung* adressiert.



Kein neuer Lebenszyklus!

Szenarioneutralität am Ende des Lebenszyklus

Die obigen Feststellungen zur grundsätzlichen Szenarioneutralität gelten auch für das Ende des Lebenszyklus eines Wohngebäudes aus Holz. Prinzipiell spielt es für den Entsorgungs- oder ggf. Verwertungsweg keine Rolle, ob es sich um einheimische oder importierte Holzwerkstoffe handelt.¹¹

Allerdings kann auch für die sogenannte *End-of-Life*-Betrachtung eine mögliche Belastung von holzbasierenden Baumaterialien mit Schadstoffen von Belang sein und etwaige Entsorgungswege vorbestimmen bzw. Verwertungswege verschließen. So ist es zwar prinzipiell (technisch) möglich, Altholz stofflich zu verwerten (Recycling). Allerdings stellt diese Verwertungsoption heute ein Optimal-Szenario dar, das einen „rationellen Einsatz von Holzschutzmitteln und vor allem eine sorgfältige Trennung, Sammlung und Aufbereitung voraussetzt“. An und auf den Abbruch- und Baustellen stehen vielfach aber nicht die Systeme zur Verfügung, um das Potential faktisch realisieren zu können. Entsprechend wird Altholz überwiegend der (vergleichsweise) niedrigen Abfallhierarchiestufe der thermischen/ energetischen Verwertung zugeführt [44].

Weiterführende Überlegungen zu Entsorgungs- und Verwertungswegen bzw. entsprechende Nachhaltigkeitsmerkmale des Baustoffs Holz am Ende des Lebenszyklus eines Wohngebäudes sind inhaltlich der zweiten Studienphase respektive den *Studienteilen C + D* (vgl. *Kapitel 5 f.*) zuzuordnen.

Zusammenfassung

Bezugspunkt sind dabei grds. die bereits vorliegenden Ergebnisse eines Basis-Szenarios mit einheimischen Holzwerkstoffen aus [9].

NaWoh-Nachhaltigkeitsbewertung der Szenarien

Im vorliegenden *Studienteil B* erfolgte eine inhaltliche Adaption von Struktur und Methodik der genannten Vorgängerstudien [7]-[9], um Unterschiede in der Nachhaltigkeitsqualität von Wohngebäuden in Holzbauweise zwischen einheimischen und importierten Holzwerkstoffen zu identifizieren.

Diese Adaption bezog sich sowohl auf eine Spezifikati-

¹¹ Ökobilanzielle Auswirkungen von Importholzwerkstoffen im Zusammenhang mit End of Life von Bauteilen bzw. Bauteilkomponenten am Ende der Nutzungsdauer werden im Gesamtkontext der ökobilanziellen Bewertung im Abschnitt *Zusammenfassung* adressiert.



on und Anpassung ökobilanzieller Basisdaten (für ausländische Importholzwerkstoffe) als auch eine Identifikation derjenigen Nachhaltigkeitsaspekte einer ganzheitlichen, lebenszyklusorientierten Betrachtung, die Abhängigkeiten von geographischem Ursprung und Herkunft der Holzwerkstoffe aufweisen.

Für in dieser Weise betrachtete Aspekte, die auch vom als relevant identifizierten Nachhaltigkeitsbewertungssystem *NaWoh* adressiert werden, erfolgte soweit möglich parallel eine entsprechende bewertungstechnische Einordnung.

In diesem zusammenfassenden Abschnitt des *Studienteils B* werden nun die einzelnen identifizierten Bewertungsaspekte aufgegriffen und in den Kontext einer Nachhaltigkeitsbewertung von MFH mit dem System *NaWoh* integriert. Eine zentrale Rolle spielen dabei u.a. die ökobilanziellen Ergebnisse der definierten und konfigurierten Szenarien in Anwendung auf ein exemplarisches Muster-MFH (vgl. bereits unter Kapitel 2 sowie Abb. 10).

Aufgrund seiner gesamtgebäudebezogenen Methodik umfasst das System *NaWoh* einige Kriterien, bei denen sich für einzelne Bauteile wie z.B. Wandkonstruktionen isoliert betrachtet keine trennscharfen Nachhaltigkeitsbewertungsergebnisse – weder quantitativer Natur noch als qualitative Tendenzaussage – ableiten lassen. Ein Beispiel hierfür ist die ökobilanzielle Bewertung: Für Wandkonstruktionen lassen sich zwar ökobilanzielle Ergebnisse berechnen. *NaWoh* hält aber keine eigenständigen Vergleichswerte zur Ableitung eines Bewertungsergebnisses vor. Vielmehr gibt es diese *Benchmarks* nur für die aggregierten Umweltwirkungen aus Herstellung, Instandhaltung und Rückbau sowie Versorgung des Bauwerks mit Wärme- und Strom (Energieversorgung).

Zur Erstellung einer Nachhaltigkeitsbewertung für MFH im Rahmen einer Anwendung des Bewertungssystems *NaWoh* ist es demnach erforderlich, dies anhand eines exemplarischen Vergleichsgebäudes zu tun. Im vorliegenden Fall der Fortsetzungsstudie wurde hierfür das bereits genannte Muster-MFH aus Abb. 10 verwendet.

Bewertung eines Muster-MFH
als Vergleichsobjekt der Studie.

Weitere Informationen zum
Vergleichsobjekt können An-
hang A entnommen werden.



Ökobilanzielle Bewertung

Die Variantenuntersuchung des Muster-MFH und der Szenario-Varianten erfolgte unter jeweils identischen Randbedingungen hinsichtlich energetischer Qualität, Gestaltung und Konstruktion des Muster-MFH (sog. *funktionales Äquivalent*)

Ökobilanzielle Ergebnisse der Wandkonstruktionen für die Herstellungsphase

Eine tabellarische und graphische Ergebnisdarstellung zur Lebenszyklusphase Herstellung findet sich auch in Anhang E.1.

Ökobilanzielle Ergebnisse der Wandkonstruktionen über den gesamten Lebenszyklus

Hierfür wurde eine vollständige Ökobilanzierung gemäß den Anforderungen der entsprechenden Kriterien des Systems *NaWoh* durchgeführt. Dabei wurden die insgesamt acht Szenario-Varianten gemäß Tab. 4 bilanziert. Eine Gesamtübersicht der ökobilanziellen Ergebnisse des Vergleichsobjekts bzw. der acht Szenario-Varianten ist dieser Studie in den Anhängen E.1 bis E.5 beigelegt.

Für die Ergebnisdarstellung bzw. deren Auswertung sowie Gegenüberstellung zwischen den Szenario-Varianten wird hier ein stufenweises Vorgehen - entlang des gesamten Lebenszyklus - gewählt und mit der Ableitung einer ökobilanziellen Bewertung im gewählten Zertifizierungssystem *NaWoh* abgeschlossen.

Ein entsprechender Vergleich der Ökobilanzergebnisse der Wandkonstruktionen (Außen-/Innenwände) des Muster-MFH für die Lebenszyklusphase Herstellung (Rohstoffe, Baustoffproduktion, Bauwerkserstellung) war bereits Bestandteil der obigen Tab. 6. Zentrale Aussage auf Basis von Tab. 6 für die Lebenszyklusphase der Herstellung war, dass

- ▶ die Import-Transporte die Ergebnisse (gegenüber dem Basis-Szenario) nur im niedrigen einstelligen Prozentbereich verändern, wobei zwischen den einzelnen Wirkungsindikatoren erhebliche Unterschiede bestehen können und
- ▶ die Ergebnisse in deutlich größerem Maße von den ausländischen Datensätzen geprägt werden, auch hier mit erkennbaren Unterschieden zwischen den einzelnen Indikatoren.

An dieser Feststellung ändert sich auch bei einer Ökobilanzierung der Wandkonstruktionen über den gesamten Lebenszyklus, d.h. inkl. Umweltwirkungen aus der Instandhaltung von Bauteilen bzw. Bauteilkomponenten/Bauteilschichten und dem Rückbau (End of Life), grds. nichts (siehe bspw. Abb. 38 sowie gesamthafte Ergebnisdarstellung in Anhang E.2).



Ökobilanzielle Ergebnisse der gesamten Konstruktion für die Herstellungsphase

Allerdings reduziert sich der relative (prozentuale) Einfluss der Import-Transporte auf die Gesamtergebnisse, weil diese Gesamtergebnisse durch die Umweltwirkungen aus der Instandhaltung und dem End of Life erhöht werden, gleichzeitig aber keine weiteren Import-Transporte bzw. Umweltwirkungen daraus hinzukommen. Denn aufgrund von Vorgaben des einschlägigen *NaWoh*-Systems zu (rechnerischen) technischen Lebensdauern von Bauteilen bzw. Bauteilkomponenten/Bauteilschichten betrifft die Instandhaltung innerhalb eines Lebenszyklus des bilanzierten Muster-MFH von 50 Jahren keine Bauteilkomponenten/Bauteilschichten, für die im jeweiligen Import-Szenario Import-Transporte maßgeblich wären.

Dieser Effekt der Ergebnisanteilsreduzierung der Umweltwirkungen der Import-Transporte setzt sich auch bei einer Ökobilanzierung der Gesamtkonstruktion, d.h. über die Wände hinaus auch die Bauteile Dach, Decken, Bodenplatte und Türen sowie Anlage zur Wärmeversorgung, weiter fort (siehe exemplarisch Abb. 39 sowie gesamthafte Ergebnisdarstellung in Anhang E.3).

Dabei werden die ökobilanziellen Gesamtergebnisse dieser Aggregationsstufe über die Wandkonstruktionen hinaus allerdings freilich nicht von den Umweltwirkungen aus Instandhaltung und End of Life gesteigert (nur Herstellungsphase Gesamtkonstruktion bilanziert), sondern vielmehr durch die nun in der Ökobilanz adressierten weiteren konstruktiven (und anlagentechnischen) Bauteile/Komponenten. Neu Import-Szenario-relevant ist dabei allerdings nur das Bauteil Dach; bei allen anderen hinzukommenden Bauteilen sind keine holzbasierten Bauteilkomponenten bzw. kein entsprechender Import-Transport zu berücksichtigen.

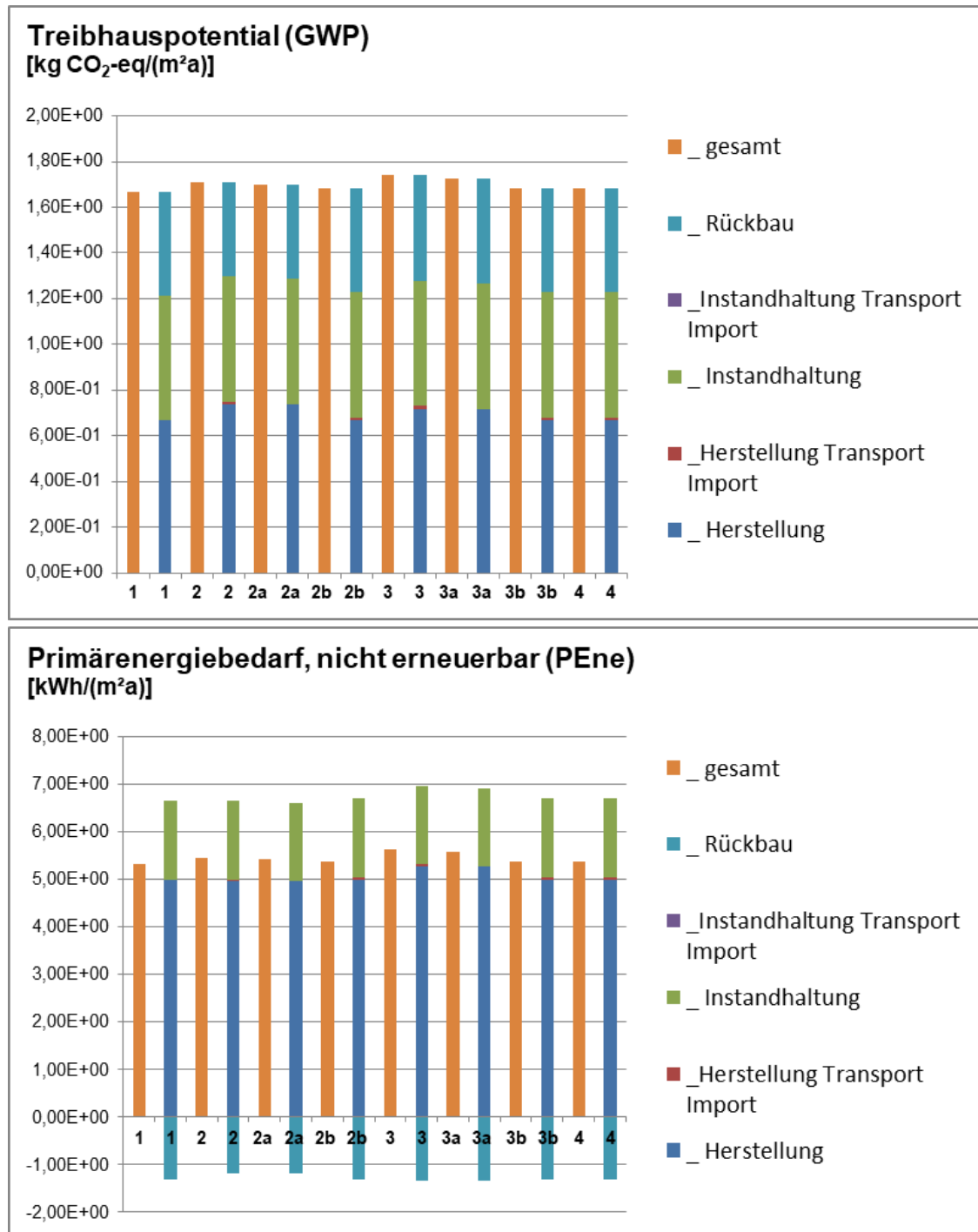


Abb. 38: LCA-Ergebnisse GWP und P_{ne} Konstruktion Wandkonstruktion (Außen-/Innenwände) Muster-MFH - Gesamter Lebenszyklus (Herstellung | Instandhaltung | Rückbau)

Im Rahmen der Lebenszyklusphase der Nutzung werden hierbei die Aufwendungen zur Instandhaltung der Bauteile erfasst und bilanziert. In diesem Zusammenhang sind insbesondere die Nutzungsdauern der jeweiligen Bauteile sowie der Betrachtungszeitraum der Bilanzierung relevant.

1: Basis-Szenario (Vergleichsbasis)

2: Import-Szenario Norwegen real

2a: Import-Szenario Norwegen Variante a

2b: Import-Szenario Norwegen Variante b

3: Import-Szenario Frankreich real

3a: Import-Szenario Frankreich Variante a

3b: Import-Szenario Frankreich Variante b

4: Import-Szenario fiktiv (Ø Import-Entfernungen)



LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH

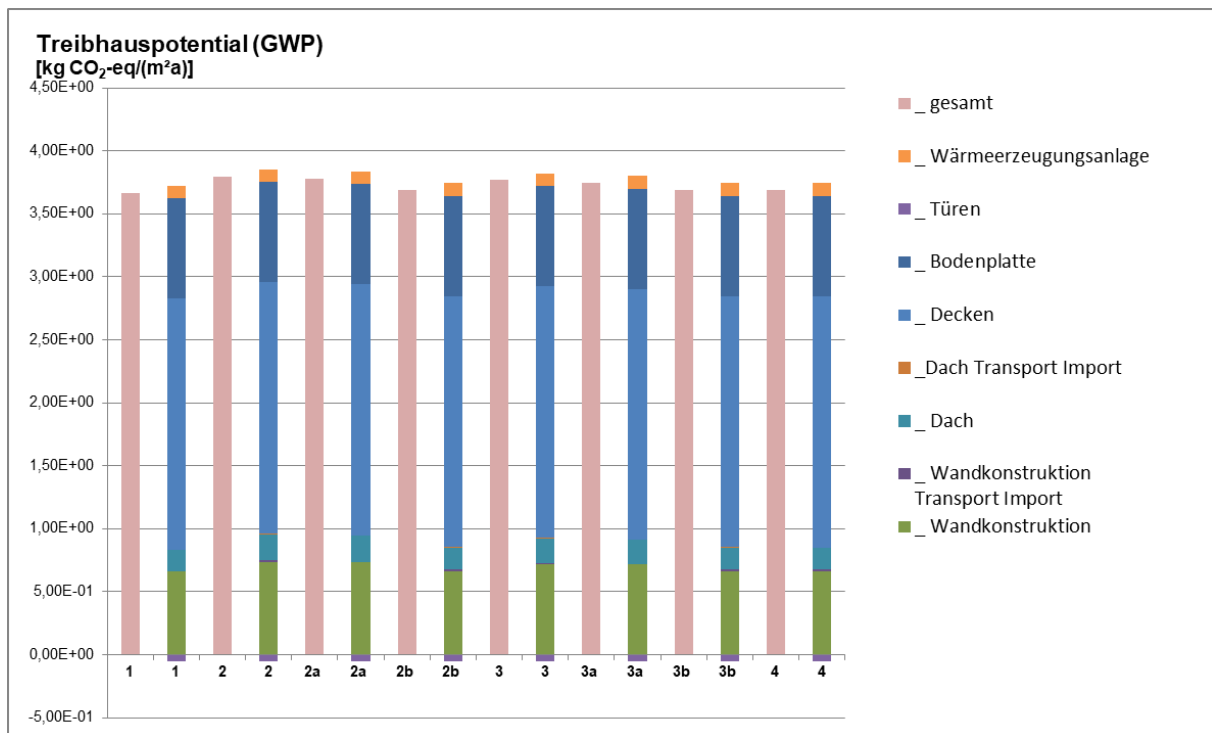


Abb. 39: LCA-Ergebnisse GWP Konstruktion Muster-MFH – Lebenszyklusphase Herstellung

Systemgrenzen und Berechnungsparameter: Bilanzierung aller Bauteile für einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren und die Lebenszyklusphase der Herstellung. Aus konstruktiver Sicht sind im Rahmen einer Ökobilanzierung folgende Bauteilgruppen zu erfassen: Außen- und Innenwände (Wandkonstruktion), Dach, Decken, Bodenplatte und ggf. Fundamente sowie Türen und die Wärmeerzeugungsanlage (als zentrales Element der TGA von MFH).

1: Basis-Szenario (Vergleichsbasis)

2: Import-Szenario Norwegen real

2a: Import-Szenario Norwegen Variante a

2b: Import-Szenario Norwegen Variante b

3: Import-Szenario Frankreich real

3a: Import-Szenario Frankreich Variante a

3b: Import-Szenario Frankreich Variante b

4: Import-Szenario fiktiv (Ø Import-Entfernungen)

Ökobilanzielle Ergebnisse der gesamten Konstruktion für den gesamten Lebenszyklus

und

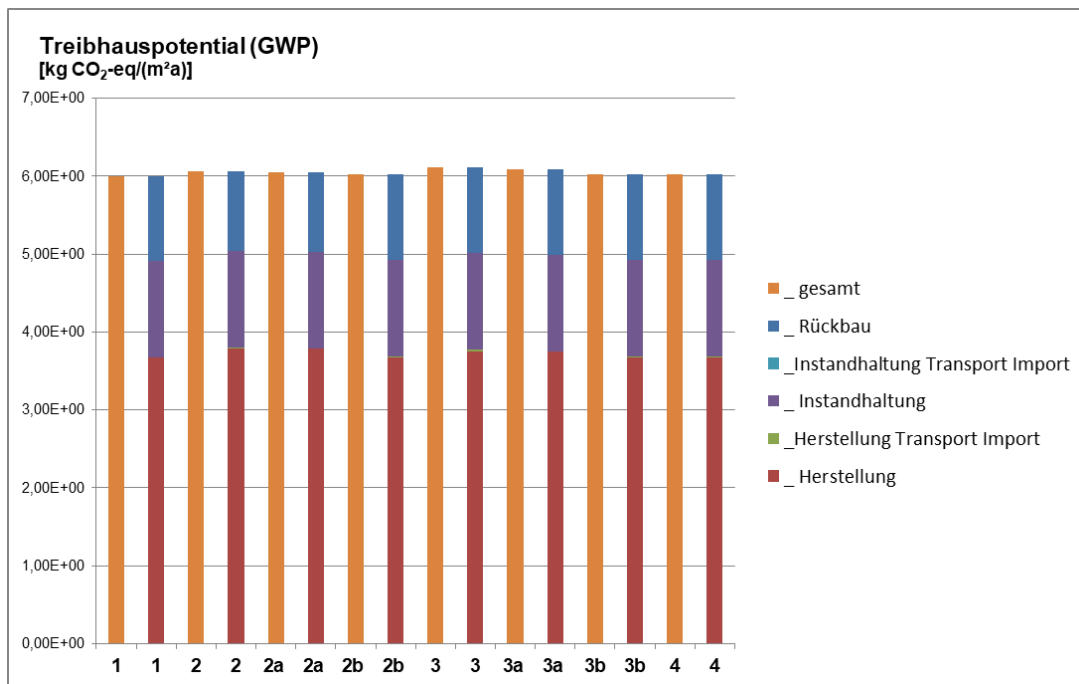
Ökobilanzielle Gesamtergebnisse

Bei einer Ausweitung der Betrachtung auf die ökobilanziellen Ergebnisse der gesamten Konstruktion für den gesamten Lebenszyklus sowie bei einer abschließenden Betrachtung der ökobilanziellen Gesamtergebnisse – d.h. einer Bilanzierung aller Bauteile des Muster-MFH über den Lebenszyklus inkl. des Wärme-/Stromverbrauchs während der Nutzungsphase – verfestigt sich dies für alle Wirkungsindikatoren (siehe exemplarisch Abb. 40 f. sowie gesamthafte Ergebnisdarstellungen der Anhänge E.4 f.). Der Ergebniseinfluss der Import-Transporte bewegt sich je nach Indikator im niedrigen einstelligen Prozent-, teilweise Promille-Bereich, während der Einfluss ausländischer ökobilanzieller Basis-Daten bei bis zu 10 % (für Indikator AP) bzw. 40 % (für Indikator ODP) auf Gesamtergebnisebene liegt.



LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH



**Abb. 40: LCA-Ergebnisse GWP Konstruktion Muster-MFH –
Gesamter Lebenszyklus (Herstellung | Instandhaltung | Rückbau)**

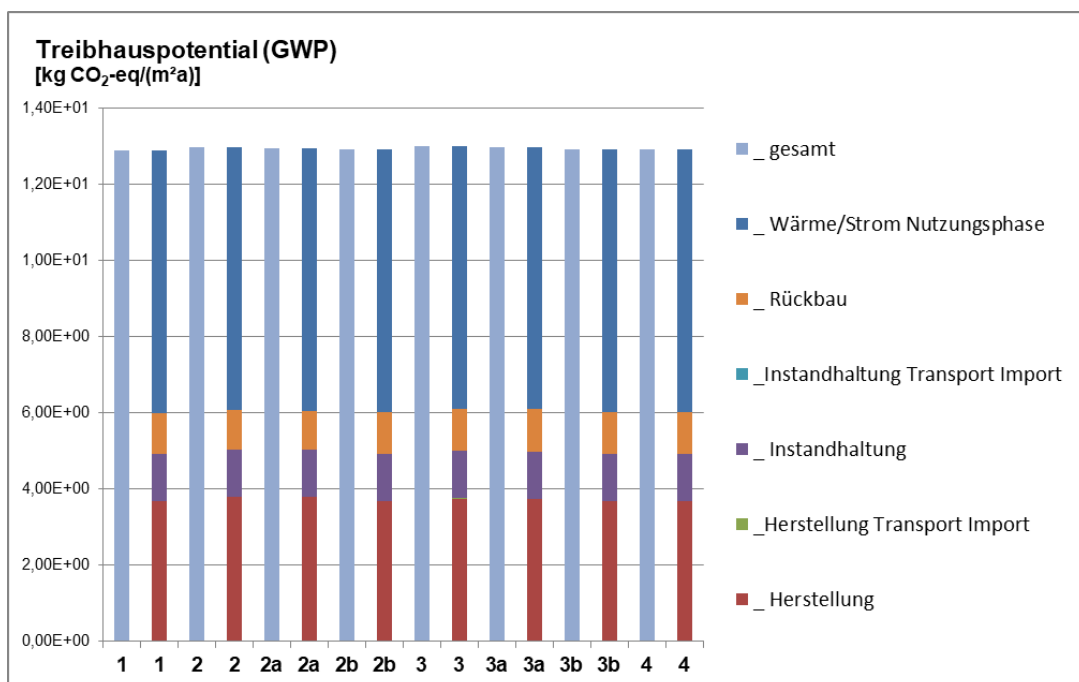


Abb. 41: LCA-Gesamtergebnisse GWP Muster-MFH

Systemgrenzen und Berechnungsparameter: Bilanzierung aller Bauteile sowie des Wärme- und Stromverbrauchs der Nutzungsphase für einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren und über den gesamten Lebenszyklus hinweg (Herstellung | Nutzung | Rückbau).

1: Basis-Szenario (Vergleichsbasis)

2: Import-Szenario Norwegen real

2a: Import-Szenario Norwegen Variante a

2b: Import-Szenario Norwegen Variante b

3: Import-Szenario Frankreich real

3a: Import-Szenario Frankreich Variante a

3b: Import-Szenario Frankreich Variante b

4: Import-Szenario fiktiv (Ø Import-Entfernungen)



NaWoh-Bewertung

Die konstatierten geringen Ergebniseinflüsse der Import-Transporte führen letztlich auch dazu, dass die abgeleiteten Bewertungen der zugrundeliegenden *NaWoh*-Kriterien *3.1.1 Ökobilanz - Teil 1* (Treibhauspotential) und *3.1.2 Primärenergiebedarf* für das Basis-Szenario und die Szenario-Varianten 2b, 3b und 4 gleich sind. Allerdings sind auch die Ergebniswirkungen der ausländischen ökobilanziellen Basis-Daten – im Übrigen auch in Kombination mit den Wirkungen der Import-Transporte – nicht derart groß, dass sich die entsprechenden *NaWoh*-Bewertungen der Szenario-Varianten 2a und 3a – bzw. 2 und 3 – von der Bewertung des Basis-Szenarios unterscheiden. Dies gilt jeweils auch für das beschreibende *NaWoh*-Ökobilanz-Kriterium *3.2.1 Ökobilanz - Teil 2*, das die anderen ökobilanziellen Wirkungsindikatoren über das Treibhauspotential und den Primärenergiebedarf hinaus zumindest nachrichtlich ausweist, ohne konkret eine Bewertung vorzunehmen.

Bewertung der Vermeidung von Schadstoffen

Das beschreibende Kriterium *3.2.4 Vermeidung von Schadstoffen* gehört zur *NaWoh*-Hauptkriteriengruppe *Ökologie* und ermittelt im Rahmen einer qualitativen Abfrage, ob die eingesetzten Bauprodukte bestimmte Material- und Stoffgruppen mit Risikopotential für Boden, Luft, Grund- und Oberflächenwasser sowie die Gesundheit von Mensch, Flora und Fauna enthalten [30]. Besondere Berücksichtigung dabei finden halogenierte Treib- und Kältemittel, Schwermetalle sowie organische Lösemittel/Weichmacher (Flüchtige organische Verbindungen; kurz: *VOC*). Entsprechende Qualitätsanforderungen werden in einer Kriterienmatrix fixiert (siehe Abb. 36 sowie Anhang D).

Holzkonstruktionen benötigen regelmäßig spezifische materialtechnische Maßnahmen zum Schutz vor Feuchte oder Brand, die auch dem Regime des hier in Rede stehenden *NaWoh*-Kriteriums unterworfen sein können. Speziell für ausländische Holzwerkstoffe – freilich insbesondere für Holzwerkstoffe unklarer Herkunft – kann die Nachweisführung zur Einhaltung der Anforderungen deutlich schwerer fallen, auch wenn hier nicht pauschal resümiert werden kann und soll, dass



Bewertung der Raumluftqualität

ausländische Holzwerkstoffe grundsätzlich problematisch sind für eine Einhaltung des Kriteriums *3.2.4 Vermeidung von Schadstoffen*. Ohnehin hängt die finale Bewertung eines Gebäudes und seiner Konstruktionsweise von der Bewertung aller verwendeten Baumaterialien ab.

Das beschriebene Nachhaltigkeitsmerkmal der Vermeidung von Schadstoffen, dabei vor allem die Reduzierung von VOC-Emissionen, wird ferner auch in einem weiteren *NaWoh*-Kriterium der *wohnqualitativen* Hauptkriteriengruppe analysiert [30]. Das beschreibende Kriterium *1.2.2 Raumluftqualität* fordert eine Überprüfung vorhandener VOC-/Formaldehyd-Konzentrationen in der Innenraumluft mittels Raumluftmessungen und labortechnischer Analyse spätestens vier Wochen nach Gebäudefertigstellung. Vom Kriterium wird dabei lediglich abgefragt, ob Konzentrationen an VOC/Formaldehyd bestimmt und dokumentiert werden, und nicht, wie hoch die Konzentrationen liegen.

Gleichwohl werden emissionsarme Bauprodukte und -materialien einen wichtigen Beitrag für entsprechende niedrige Konzentrationen leisten. Dies wird vom Kriterium auch ausdrücklich anerkannt.

Holzwerkstoffe im Baubereich können diesbezüglich nicht von vorneherein als emissionsarm eingestuft werden; vielmehr erfordern individuelle Aussagen zum Emissionsverhalten eine Auswertung entsprechender Produkt-, technischer oder Sicherheitsdatenblätter wie z.B. einer EPD – in der deutschen EPD für Konstruktionsvollhölzer wird die Thematik VOC-/Formaldehyd-Emissionen explizit adressiert [39]. Außerdem wird die Raumluftqualität bzw. das etwaige Ausmaß von VOC/Formaldehyd natürlich auch von anderen – insbesondere innenraumgestalterischen – Bauprodukten und -materialien bestimmt.

5 Teil C: Baukonstruktive Nachhaltigkeitsbewertung der Holzbauweise

Marktrelevante Arten der Holzbauweise

Tatsächliche Marktanteile der Holzbauweise(n)

Die im Bauwesen marktrelevanten Arten an Holzbauweisen lassen sich aus baukonstruktiver Sicht zum einen nach (prozessualen!) Bauweisen und zum anderen nach (statischen!) Konstruktionsweisen unterscheiden.

Für die Differenzierung nach Bauweisen ist entscheidend, ob es sich um Fertig(-teil-)bauweisen mit hohem Vorfertigungsgrad oder um konventionelle Bauweisen vor Ort (Baustellenfertigung) handelt (siehe Abb. 51).

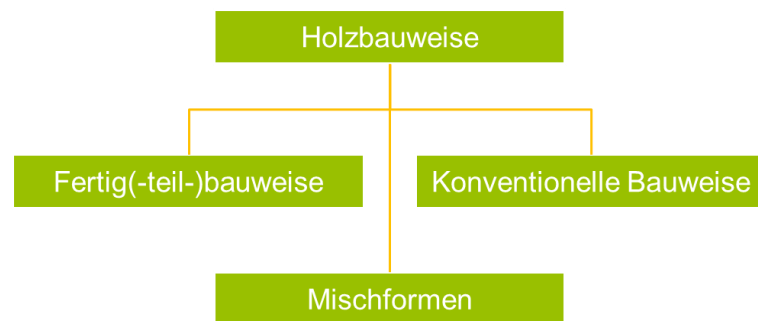


Abb. 51: Holzbauweisen nach (prozessualen!) Bauweisen

Allerdings ist diese Differenzierung für die Analysen zu tatsächlichen Anteilen des Baustoffs Holz in marktrelevanten Holzbauweisen nachrangig. Vorrangig entscheidend ist vielmehr die Trennung nach (statischen!) Konstruktionsweisen, die auf einer ersten Differenzierungsebene zwischen der Skelett- (stabförmige Holzquerschnitte) und der Massivbauweise (addierte Holzquerschnitte/flächige Bauteile) verläuft (siehe Abb. 52).

Abgesehen vom historischen Fachwerkbau (heute: Bestandssituation) wird der Oberbegriff der Skelettbauweise heute – insbesondere im Wohngebäudebereich – durch den Holzrahmen- und Holztafelbau (Leichtbausysteme) bestimmt. Diese sind gekennzeichnet durch stabförmige Querschnitte, die als Schwellen (unten), Ständer/Stiele (stehend) und Rähm (oben) das primäre Tragwerk bilden.



Abb. 42: Rohbau eines Fachwerkhauses¹²

¹² Bildnachweis: Richard Huber, veröffentlicht über wikipedia.org/wiki/Fachwerkhaus



Abb. 43: Holzrahmenelem.¹³

Statisch wirkt darüber hinaus als notwendige Ergänzung eine Beplankung aus Holzwerkstoff- oder Gipsplatten. Die Zwischenräume zwischen den Ständern/Stielen werden nach energetischen Anforderungen mit Dämmstoff ausgefüllt [45].

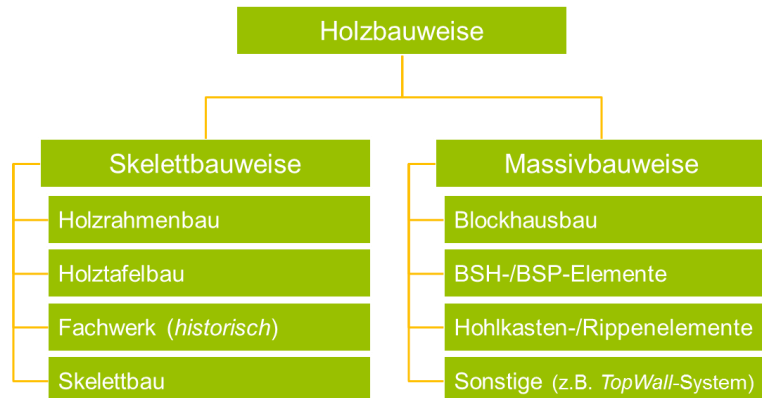


Abb. 52: Holzbauweisen nach (statischen!) Konstruktionsweisen



Abb. 44: Holztafelbauelem.¹⁴

Jeweils dasselbe Konstruktionsprinzip beschreibend unterscheiden sich Holzrahmen- und Holztafelbauweise primär im Grad der Vorfertigung: Der Holztafelbau zeichnet sich dadurch aus, dass die Bauelemente vollständig – inkl. aller Oberflächen und Einbauten – industriell vorgefertigt werden und auf der Baustelle als fertige Bauteilaufbauten lediglich montiert werden.



Abb. 45: Holzskelettbau¹⁵

Der Skelettbau wird auch als moderne Variante des historischen Fachwerkbau bezeichnet und besteht aus vertikalen Stützen und horizontalen Trägern (z.B. aus Brettschicht- (BSH) oder Konstruktionsvollholz (KVH)) sowie gesonderten Aussteifungssystemen. Wegen Vorgaben zum Witterungsschutz wird die Gebäudehülle hier geschlossen und ohne Durchdringungen vor das Tragwerk gesetzt [45].

Die Detailausprägungen des Oberbegriffs der Massivholzbauweise grenzen sich von den Skelettbauweisen vor allem dadurch ab, dass das Baumaterial Holz als flächiges System (für Tragwirkung und Raumbildung) eingesetzt wird.

¹³ Bildnachweis: Informationsdienst Holz, veröffentlicht über informationsdienst-holz.de

¹⁴ Bildnachweis: Fertighaus-Info.net, veröffentlicht über fertighaus-info.net

¹⁵ Bildnachweis: Huf Haus GmbH & Co. KG, veröffentlicht über wikipedia.org/wiki/Fachwerkhaus



Abb. 46: Blockhausbauweise¹⁶



Abb. 47: BSH-Element¹⁷



Abb. 48: BSP-Element¹⁸



Abb. 49: Hohlkastenelement¹⁹

Als traditionelle Ausprägung der Massivholzbauweise ist der Blockhausbau zu nennen. Der moderne Blockhausbau wird heute vor allem im Fertighausbau genutzt, wobei die prinzipielle Konstruktionsweise aus Wänden übereinandergelegter, roher oder bearbeiteter Baumstämme heute von klassischen Rundstämmen bis zu Vierkanthölzern oder mehrschichtig verleimten Einzellamellen variiert.

Brett-schichtholz-Elemente (BSH) stellen flächige, tragende Konstruktionselemente für Dach, Decke und Wand dar. Die Lamellen verlaufen hochkant nebeneinander und sind entweder über ihre gesamte Länge ungestoßen oder mittels Keilzinkung verbunden. Als luftdichte Ebene werden an der Gebäudehülle i.d.R. OSB-Platten aufgebracht. Diese Elemente werden oftmals auch als *Hybrid* im Verbund mit Ortbeton verwendet. Anders als BSH-Elemente bestehen Brett-sperrholz-Elemente (BSP) als eine zweite Variante von Massivholzplatten aus geschichteten und verklebten Brettlamellen aus Nadelhölzern, die kreuzweise übereinander angeordnet werden.

Insbesondere für Decken- und Dachkonstruktionselemente besteht auch die (massive) Ausführungsvariante in Hohlkasten- oder Rippenbauweise (als additive (massive) Querschnitte). Hohlkastenbauelemente (Kasten- oder Flächenelemente) werden dabei aus verschiedenen Nadelholzlamellen kombiniert und verklebt sowie die entstehenden Hohlräume ggf. mit Kerndämmung versehen. Die Tragkonstruktion von Rippenenlementen besteht aus in Abstand nebeneinander liegenden Stegen, die mittels Beplankung (Furnierschichtholz oder 3-Schicht-Platten) als Gurte statisch tragend verbunden sind; mit einer Beplankung der Unterseite können wiederum Kastenbauelemente hergestellt werden.

¹⁶ Bildnachweis: Fertighaus-Info.net, veröffentlicht über fertighaus-info.net

¹⁷ Bildnachweis: Informationsdienst Holz, veröffentlicht über informationsdienst-holz.de

¹⁸ Bildnachweis: Informationsdienst Holz, veröffentlicht über informationsdienst-holz.de

¹⁹ Bildnachweis: Lignatur AG, veröffentlicht über lignatur.ch



Abb. 50: TopWall-System²⁰

Marktanteile der Bauweise(n)

Referenzeinheit m³ u.R. sinnvoll wegen Bezug zu Materialverwendungskoeffizient (s.u.)

Ein vergleichsweise neues Massivholzsystem aus vertikalen Stäben, mit dem flächige Bauteile hergestellt werden, bildet das *TopWall*-System. Hierbei werden geschosshohe Bohlen aus maßgehobelten Fichtenkant-hölzern press nebeneinander in Schwellen auf der Geschossdecke fixiert und beidseitig gedämmt sowie mit z.B. Glasfaserbetonelementen bekleidet [45].

Unter Darstellung von *Gesamtstudienrahmen und Vorgehensweise* wurde bereits der Anteil des Holzbaus bzw. aller Holzbauweisen am gesamten Wohnungsbau skizziert: gegenüber der marktdominanten Bau- und Konstruktionsweise in Mauerwerk fällt der gesamte Holzbauanteil mit nur 11 % vergleichsweise gering aus (siehe oben Abb. 5). Nachstehende Tab. 7 (*dort*: Spalte Wohngebäude gesamt) zeigt die zugehörigen *absoluten Zahlen in 1.000 m³ umbautem Raum* aller relevanten Bau- und Konstruktionsweisen im gesamten Wohnungsbau.

1.000 m ³ u.R.	Wohngebäude gesamt	EFH	DH/RH	MFH	Wohnheime
Mauerwerk	92636	51505	8320	32107	702
Stahlbeton	18519	4129	759	12942	690
Holz	13716	11736	1375	530	75
Sonstige	2433	1439	238	719	36
alle Baustoffe	127305	68810	10693	46299	1503

Tab. 7: Fertigstellungen im Wohnungsbau in m³ u.R. nach Wohnungsart/-anzahl und Konstruktionsweisen (2015) [12]

Die dieser ersten Auswertung zugrunde liegende Bau-tätigkeitsstatistik des Statistischen Bundesamtes [12] ermöglicht darüber hinaus auch Marktanteilsanalysen zu den marktrelevanten Wohngebäudetypen und deren Konstruktionsweise i.S.d. überwiegend verwendeten Baustoffs (siehe oben Abb. 6 bis Abb. 9) - vorstehende Tab. 7 (*dort*: Spalten EFH | DH/RH | MFH | Wohnheime) zeigt die zugehörigen *absoluten Zahlen in 1.000 m³ umbautem Raum* aller relevanten Bau- und Konstruktionsweisen für die betrachten Wohngebäudetypen.

²⁰ Bildnachweis: pro:Holz, veröffentlicht über proholz.at

Es wird deutlich, dass die Holzbauweise(n) einzig im EFH- und DH-/RH-Segment (kleine Wohnhausbauten) mit 17 % und 13 % einen nennenswerten Marktanteil hat/haben, wohingegen die Holzbauweise(n) im MFH- und Wohnheim-Bereich (große Wohnhausbauten) mit 1 % und 5 % Marktanteil faktisch keine Rolle spielt/spielen.

Die Ist-Zustandsdiagnose gemäß [12] mit Zahlen des Jahres 2015 ist zudem nicht singulär, sondern passt in den langfristigen Trend der Marktanteile aller relevanten Bau- und Konstruktionsweisen im Wohnungsbau über die letzten 15 Jahre [46].



Abb. 53: Bautätigkeitsstatistik Destatis [46]

Abb. 54 bis Abb. 57 zeigen die langfristige zeitliche Marktentwicklung der relevanten Bau- und Konstruktionsweisen über alle Wohnungsbauten wie für die einzelnen Wohngebäudetypen zwischen den Jahren 2000 und 2015.

- ▶ Dabei oszilliert der Marktanteil der Holzbauweise im Gesamt-Wohnungsbau entlang des gesamten Betrachtungszeitraums seit 2000 um die 10 %-Marke bzw. für den MFH-Bereich um die 1 %-Marke.
- ▶ Im EFH- respektive DH-/RH-Bereich hat sich die Holzbauquote in den letzten Jahren knapp unterhalb der 20 %-Marke respektive knapp oberhalb 10 %-Marke eingependelt.

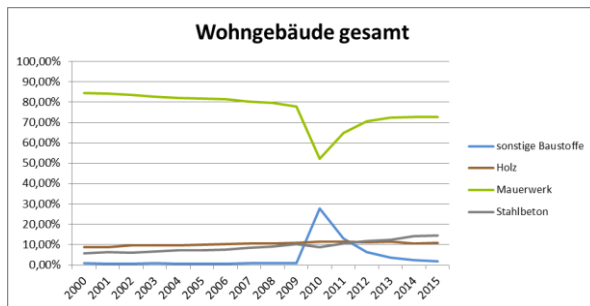


Abb. 54: Zeitliche Entwicklung der Marktanteile Konstruktionsweisen in m³ u.R. nach Fertigstellungen für Gesamt-Wohnungsbau [46]

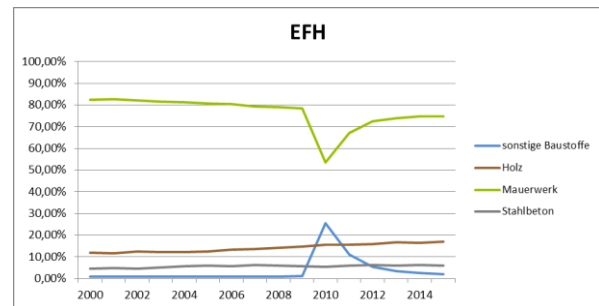


Abb. 55: Zeitliche Entwicklung der Marktanteile Konstruktionsweisen in m³ u.R. nach Fertigstellungen für EFH [46]

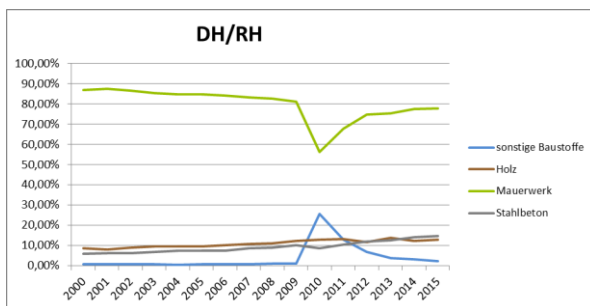


Abb. 56: Zeitliche Entwicklung der Marktanteile Konstruktionsweisen in m³ u.R. nach Fertigstellungen für DH/RH [46]

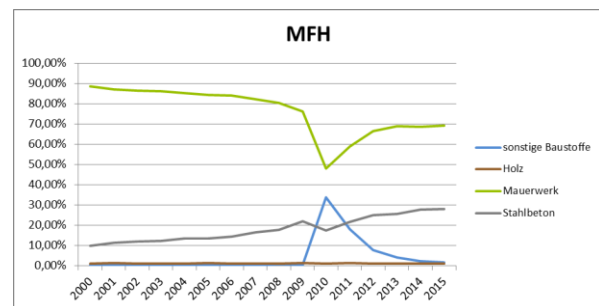


Abb. 57: Zeitliche Entwicklung der Marktanteile Konstruktionsweisen in m³ u.R. nach Fertigstellungen für MFH [46]

Die Ausschläge der Marktanteile für Mauerwerk und Sonstige Baustoffe für das Betrachtungsjahr 2010 sind laut Aussage des Statistischen Bundesamtes auf Veränderungen der statistischen Erfassungssystematik zurückzuführen: in 2010 erfolgte eine Umstellung der Unterscheidung von Mauerwerksarten von Ziegel | sonstige Mauerwerksarten | sonstige Baustoffe nach Ziegel | Kalksandstein | Porenbeton | Leichtbeton/Bims | sonstige Baustoffe, was in der Umstellungsphase offensichtlich zu Fehlerfassungen geführt hat.

„Ein Bauwerk gilt als Fertigteilbau, wenn Geschoss hohe oder Raum breite tragende Fertigteile für Außen- oder Innenwände verwendet werden. [...]“. Gemäß dieser Definition der (prozessualen!) Bauweise aus [12] können sowohl Skelett- als auch Massiv(-holz-)bauweisen (sowie grds. gleichsam mineralisch basierte (Massiv-)Bauweisen) im Fertigteilbau oder konventionell errichtet werden.

Zu den Marktanteilen der einzelnen oben skizzierten Holzbauweisen oder auch nur den Übergruppen Skelett- und Massiv(-holz-)bauweise liegen allerdings keine offiziellen statistischen Daten vor. Jedoch lassen sich mittels einer Differenzierung einerseits nach den (prozessualen!) Bauweisen (Fertigteilbau vs. konventionelle Bauweise) und andererseits nach Gebäudearten (Eigenheime (i.S.v. EFH und DH/RH) vs. MFH) Anhaltspunkte und Indizien für entsprechende grundlegende qualitative Aussagen identifizieren - diese Anhaltspunkte und Indizien werden analog im Übrigen auch in der Holzmarktstudie aus [47] beschrieben. Denn für die o.g. Differenzierung sind über die Bautätigkeitsstatistik des Statistischen Bundesamtes wiederum entsprechende Daten verfügbar (siehe Abb. 58).

Jahr	Eigenheime insgesamt		Fertigteilbau insgesamt		Holzhausbau insgesamt		Holzhausbau Fertigteilbau		Holzhausbau konventionell**)	
	Gebäude	Anteil	Gebäude	Anteil	Gebäude	Anteil	Gebäude	Anteil*)	Gebäude	Anteil*)
1990	130.925	100	9.458	7,2	7.935	6,1	7.624	96,1	311	3,9
1991	120.895	100	9.790	8,1	8.375	6,9	8.048	96,1	326	3,9
1992	141.500	100	13.359	9,4	11.678	8,3	11.146	95,5	531	4,5
1993	170.692	100	17.924	10,5	15.510	9,1	14.916	96,2	594	3,8
1994	197.392	100	21.069	10,7	18.042	9,1	17.313	96,0	729	4,0
1995	167.587	100	20.297	12,1	17.822	10,6	17.054	95,7	768	4,3
1996	180.226	100	22.821	12,7	20.107	11,2	18.961	94,3	1.146	5,7
1997	194.685	100	27.715	14,2	25.480	13,1	23.197	91,0	2.283	9,0
1998	210.552	100	31.247	14,8	27.479	13,1	24.939	90,8	2.540	9,2
1999	215.740	100	31.918	14,8	27.843	12,9	25.083	90,1	2.760	9,9
2000	179.325	100	23.942	13,4	21.916	12,2	19.709	89,9	2.207	10,1
2001	154.608	100	20.383	13,2	19.600	12,7	17.526	89,4	2.074	10,6
2002	154.563	100	20.792	13,5	20.327	13,2	17.258	84,9	3.069	15,1
2003	174.049	100	22.737	13,1	22.471	12,9	18.892	84,1	3.579	15,9
2004	150.994	100	19.682	13,0	19.449	12,9	16.260	83,6	3.189	16,4
2005	133.421	100	18.177	13,6	18.335	13,7	15.435	84,2	2.900	15,8
2006	133.250	100	18.949	14,2	18.711	14,0	15.609	83,4	3.102	16,6
2007	86.707	100	12.721	14,7	12.281	14,2	10.151	82,7	2.130	17,3
2008	80.791	100	12.140	15,0	12.529	15,5	10.261	81,9	2.268	18,1
2009	82.445	100	12.007	14,6	12.857	15,6	10.432	81,1	2.425	18,9
2010	86.625	100	13.102	15,1	14.480	16,7	11.638	80,4	2.842	19,6
2011	102.639	100	15.484	15,1	16.893	16,5	13.814	81,8	3.079	18,2
2012	98.062	100	14.931	15,2	16.285	16,6	13.376	82,1	2.909	17,9

**) Eigenheime mit überwiegend verwendetem Baustoff Holz in konventioneller Bauweise (Ständerwerk und Massivbau) (Holzhausbau – Holzfertigteilbau)

*) Anteil am Holzbau insgesamt

Abb. 58: Genehmigungen von Eigenheimen nach Bauweise und Baustoff Holz (2012) [47]²¹

Die Daten zeigen zunächst, dass der gesamte Fertigteilbau zu ca. 90 % vom Holzfertigteilbau bestimmt wird. Außerdem repräsentiert der Holzfertigteilbau auch zu 82 % den gesamten Holzbau.

Allerdings lag dieser Wert in den 1990er Jahren noch bei über 95 % bzw. *vice versa* der Anteil der konventionellen Holzbauweise am gesamten Holzbau bei unter 5 %. Bis zum Jahr 2010 steigerte sich dieser Anteil des konventionellen Holzbaus auf fast 20 % des gesamten Holzbaus, was in [47] mit einer Zunahme des massiven Holzbaus in Verbindung gesetzt wird. Dieser Anstieg der konventionellen Holzbauweise setzte sich allerdings nicht weiter fort, sondern pendelte sich bei ca. 18 % ein – in [47] wird als Hintergrund vermutet, dass in jüngster Vergangenheit zunehmend auch Fertigteilbauten in Massiv(-holz-)bauweise errichtet werden und es somit einen Trend zum massiven Holzhausbau zu geben scheine.

Die Daten der Bautätigkeitsstatistik können dies allerdings nicht unmittelbar bestätigen, weil keine Unterscheidung zwischen massivem oder leichtem Fertigteil- oder konventionellem Holzhausbau unterschieden wird.

²¹ aus: Destatis, Bauen und Wohnen, Baugenehmigungen/Baufertigstellungen nach der Bauweise, Lange Reihen z.T. ab 1960 [48] und Destatis, Bauen und Wohnen, Baugenehmigungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden nach überwiegend verwendetem Baustoff, Lange Reihen ab 1980 [49].

Referenzobjekte z.B. aus
www.informationsdienst-holz.de

Gleichwohl wird auch in [47] der allgemeinen Wahrnehmung des Fertighausmarktes entsprechend eingeräumt, dass die meisten Holzhäuser Fertigteilbauen in Skelettbauweise sind. Was die Daten der Bautätigkeitsstatistik aber ganz explizit erkennbar machen, ist die Bedeutung des Eigenheimbaus (EFH, DH/RH) oder anders ausgedrückt die konstante Unbedeutsamkeit des MFH-Baus für die Holzbauquote im Wohnungsbau (siehe bereits Abb. 8 und Abb. 57).

Richtigerweise wird in [47] angeführt, dass in den letzten Jahren (viele) *beispielhafte* MFH-Bauten errichtet wurden. Gleichzeitig wird dort aber auch klargestellt, dass diese prototypenhaften Referenzobjekte eben nicht die alltägliche Bauwirklichkeit darstellen.

Tatsächlicher Konstruktionsanteil des Baustoffs Holz

Neben der Differenzierung und Darstellung der unterscheidbaren (marktrelevanten) Holzbauweisen war Quintessenz des vorstehenden Abschnitts zu deren tatsächlichen Marktanteilen vor allem die, dass Holzbau im Wohngebäudesegment mehrheitlich Fertigteilbau in Skelettbauweise, konkret: Holzrahmen-/Holztafelbau, bedeutet. Deren qualitative Klassifizierung als ausgesprochene Mischbauweise, in der der Baustoff Holz einen wichtigen, bei weitem aber nicht den alleinigen Anteil an der Gesamtmaterialität repräsentiert (vgl. Abb. 35), geht mit vergleichsweise niedrigen tatsächlichen Anteilen des Baustoffs Holz einher; jedenfalls in Relation zu alternativen Massiv(-holz-)bauweisen, die allerdings bislang nur als prototypische Referenzen und nicht in der breiten Bauwirklichkeit anzutreffen sind.



Abb. 59: Wandaufbau und Montagebeispiel Holzständer-/rahmenbauweise²²

²² Bildnachweise: holzbau-dachdecker-metzigen | Wolf-Haus

Für das im Rahmen der Analysen der Studienteile A + B bzw. der Studienphase 1 herangezogene Muster-MFH (vgl. Abb. 10) lässt sich auf Basis der realisierten ganzheitlichen Ökobilanzierung ein exemplarischer Anteil des Baustoffs Holz an der Gesamtkonstruktion des Muster-MFH bestimmen.

Als massebezogene Materialverwendungskennziffer beträgt der Anteil des Baustoffs Holz ca. 5 % - wobei darauf hinzuweisen ist, dass die Geschossdecken als Stahlbetonbauteile modelliert wurden.

In einschlägigen holzstatistischen Veröffentlichungen wie z.B. [47] wird als weiterer/alternativer Material- bzw. Holzverwendungskoeffizient oftmals das verwendete Holzvolumen (m^3 (b)) im Verhältnis pro 1.000 m^3 umbauten Raums (m^3 u.R.) verwendet und ausgewiesen. Für das in Rede stehende Muster-MFH beträgt der Holzverwendungskoeffizient vorliegend ca. 16,7 m^3 (b) pro 1.000 m^3 u.R.

Im Vergleich mit Deutschland weiten Durchschnittswerten für den MFH-Bereich aus [47] (siehe Abb. 61) erscheint der Holzverwendungskoeffizient für das Muster-MFH absolut plausibel und repräsentativ.²⁴

	m ³ Holz/1.000 m ³ Rauminhalt				m ³ Holz/Mio. € Bauvolumen	
	Neubau				Modernisierung	
	EGH	MFH	WBG	IBG/LBG	WB	NWB
Nord	36,5	16,4	9,6	3,7	48,2	27,6
Süd	43,9	11,2	9,0	4,4	53,5	30,6
Ost	43,2	14,7	9,6	5,5	54,4	36,2
gesamt	42,4	13,2	9,2	4,1	52,8	29,3

EGH = Eigenheime; MFH = Mehrfamilienhäuser; WBG = wohnähnliche Betriebsgebäude; IBG = industrielle Betriebsgebäude
Süd (Bayern, Baden-Württemberg); Ost (neue Bundesländer und Berlin); Rest= Nord

Quelle: MANTAU ET AL. 2013

Abb. 61: Holzverwendungskoeffizienten im Neubau nach [47]

Erwartungsgemäß steigert sich der Holzverwendungskoeffizient erheblich, wenn das betrachtete Muster-MFH nicht mehr in Holzrahmen-/Holztafel-Bauweise, sondern in Massiv(-holz-)bauweise modelliert wird, z.B. mit Wand- und Dachkonstruktionen aus BSH-/BSP-Elementen (siehe Abb. 60).²⁵

²⁴ Auch wenn die Werte aus Abb. 61 einen Durchschnitt über alle MFH unterschiedlicher Bau- und Konstruktionsweisen darstellen. Denn der Anteil der Holzbauweise im MFH-Bereich liegt gemäß Abb. 8 und Abb. 57 nur bei um die 2 % Marktanteil.

²⁵ Unter Beibehaltung der Modellierung der Geschossdecken in Stahlbetonweise.

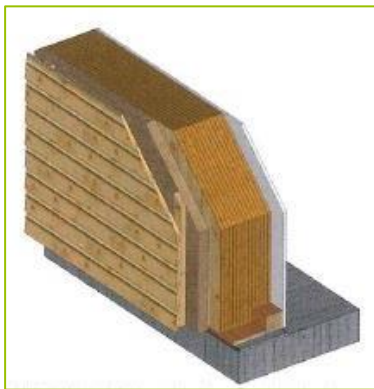
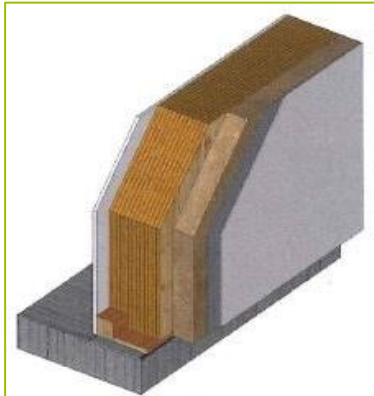


Abb. 60: Wandaufbauten in Massivholz²³

Für diese Variation des Muster-MFH in massiver Holzbauweise erhöht sich der Holzverwendungskoeffizient um mehr als den Faktor 5 auf ca. 90 m³ (b) pro 1.000 m³ u.R.

Aus der Gegenüberstellung der beiden exemplarischen Holzverwendungskoeffizienten für das Muster-MFH in Holzrahmen-/Holztafelbauweise einerseits und in Massiv(holz-)bauweise andererseits wird vor allem auch deutlich, welche prinzipiellen Auswirkungen eine Ausweitung massiver Holzbauweisen auf den Aspekt der Ressourcenverfügbarkeit des Rohstoffs Holz hätte (siehe Studienteil A, dort: Fazit und Ausblick).

Dort wurde festgestellt, dass bereits bei Beibehaltung der baukonstruktiven Praxis (Holzbau = Fertigteilbau mit Nadelholz) eine Ausweitung des Holzbaus eine massive Steigerung des Rohstoff- bzw. konkret Holzimports und weitere erhebliche Überschreitungen der natürlichen Holz-Zuwachsraten erfordern würde.

Würde die Ausweitung des Holzbaus darüber hinaus noch in den Massivholzbau kanalisiert, wären die genannten Auswirkungen – je nach Ausmaß bzw. Anteil des Massivholzbaus – naturgemäß noch deutlich höher einzuschätzen.

Tatsächliche (Lebenszyklus-)Kosten der Holzbauweise

Naturgemäß hat die Bau- und Konstruktionsweise einen erheblichen Einfluss auf die Baukosten eines (Wohn-)Gebäudes. In den Vorgängeruntersuchungen aus [7]-[9] erfolgte bereits eine Gegenüberstellung von Herstellungskosten von Außenwand-Konstruktionen auf Basis einer Studie der *Arbeitsgemeinschaft für Zeitgemäßes Bauen e.V. (ARGE Kiel)* [10] bzw. für das Muster-MFH aus Abb. 10.

Es konnte gezeigt werden, dass für Außenwände in Holzbauweise (für das Muster-MFH in Holzrahmen-/Holztafelbauweise) die im Vergleich mit Mauerwerks- und Stahlbetonbauweise höchsten Herstellungskosten zu veranschlagen sind, und dies sowohl bei unterer und oberer Grenze als auch Median-Wert der bestimmten Herstellungskosten-Bandbreite (siehe unten Abb. 66).

²³ Bildnachweis: massivholzmauer.de



Zu weiteren „Problemstellungen“ bzw. Tatsachen des prozessualen Bauablaufs der Holzbauweise siehe sogleich unten.

Methodischer Kern einer Lebenszykluskostenrechnung ist die Berücksichtigung von Nutzungskosten (Instandhaltung, Ver-/Entsorgung, etc.) inkl. Preissteigerungen sowie eine Diskontierung künftiger Zahlungsflüsse auf den aktuellen Betrachtungszeitpunkt.

Erst durch die Kalibrierung eines funktionalen Äquivalents an Vergleichsgebäuden bzw. Muster-MFH-Varianten wird eine Vergleichbarkeit der Nachhaltigkeitsanalyse des Muster-MFH ermöglicht.

Als Gründe wurden in [7]-[9] und in [10] verarbeitungstechnische/bauprozessuale Erschwernisse gegenüber der Mauerwerksbauweise (z.B. Erfordernis von besonderen Betriebsmitteln/Hebezeugen, höhere Transportkosten, Qualitätskontrollen in Fertigteilwerken) und die Klassifizierung als Mischbauweise mit einer Vielzahl notwendiger Materialien und Bauprodukte über den Baustoff Holz hinaus genannt.

Allerdings sind die Herstellungskosten der Außenwände bzw. Baukosten eines (Wohn-)Gebäudes aus Nachhaltigkeitsperspektive nicht der (alleinig) adäquate Betrachtungsgegenstand. Für eine – insbesondere auch zeitlich – ganzheitliche (ökonomische) Nachhaltigkeitsanalyse sind die Lebenszykluskosten eines Wohngebäudes bzw. hier konkret einer Außenwandkonstruktion in den Blick zu nehmen.

Dazu wurde im Rahmen der vorliegenden Studie eine Lebenszykluskostenbetrachtung von Außenwandkonstruktionen des genannten Muster-MFH bzw. dessen Ausführungsvarianten erstellt, und zwar auf Basis der Kostenkennwerte aus [7]-[9] bzw. [10] sowie unter Nutzung der Berechnungsmethodik des *Deutschen Gütesiegels Nachhaltiges Bauen* (namentlich der Systeme *DGNB, Neubau Wohngebäude (NWO)* und *NaWoh*).

Dabei wurden Lebenszykluskosten, die unabhängig von der Bau- und Konstruktionsweise über alle betrachteten Muster-MFH-Varianten identisch sind, aus der Betrachtung exkludiert; es waren dies:

- ▶ Kosten der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA; Muster-MFH-Varianten als anlagentechnische Äquivalente!)
- ▶ Kosten des Kellergeschosses (für alle Muster-MFH-Varianten: Außenwände in Stahlbeton, Innenwände in Kalksandstein)
- ▶ Kosten der Geschosdecken (für alle Muster-MFH-Varianten: Stahlbetondecken)
- ▶ Kosten der Ver-/Entsorgung (Energie + Wasser; Muster-MFH-Varianten als energetische und ausstattungsmäßige Äquivalente!)

Als Sensitivitätsparameter wurden daher ausschließlich die Herstellungskosten der Außenwände gemäß [10] sowie vor allem deren konstruktionsspezifische (technische) Lebens-/Nutzungsdauern berücksichtigt, die wiederum in direkter Verbindung zu Instandhaltungskosten stehen. Neben regelmäßigen Kosten für die Wartung und Inspektion der Außenwandkonstruktionen (als prozentuale pauschalierte Werte: 0,1 % der Herstellungskosten [50][30]) wurden – aus fokussiert baukonstruktiver Perspektive – allein Instandsetzungs-/Erneuerungskosten im Kontext mit der tragenden Konstruktion erfasst und berechnet; darüber hinaus gehende faktische Instandsetzungs-/Erneuerungskosten etwa für Fassadengestaltung, Wärmedämmung, etc. wurden mit Blick auf die Holzbauweise auf der sicheren Seite liegend explizit nicht betrachtet.

Als Lebenszyklusspanne wurde einerseits gemäß Vorgaben des *Deutschen Gütesiegels Nachhaltiges Bauen* respektive der o.g. Systeme *DGNB-NWO* und *NaWoh* ein Zeitraum von 50 Jahren gewählt, andererseits aber ergänzend auch ein Zeitraum von 80 Jahren als realitätsnäherer Ansatz für die Nutzungsdauer eines Wohngebäudes.

In Verbindung mit dem zu betrachtenden Lebenszykluszeitraum macht das *Deutsche Gütesiegel Nachhaltiges Bauen* auch dezidierte Vorgaben zu den (technischen) Lebens-/Nutzungsdauern von Bauteilen, indem auf die Nutzungsdauertabellen des *zuständigen Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)* verwiesen wird [51]. Diese Tabellen waren bis 2011 Bestandteil des gleichsam bis dahin gültigen Leitfadens *Nachhaltiges Bauen* in der Fassung 2001 [52] und wiesen (rechnerische) maximale/minimale und mittlere Lebensdauern von Bauteilen auch über den Gütesiegel-konformen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren hinaus.



Abb. 62: Leitfaden 2001 [52]



LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH

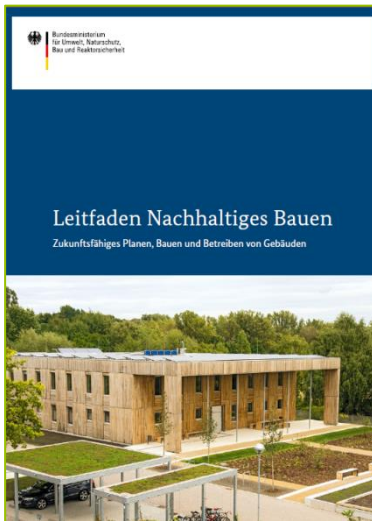


Abb. 63: Leitfaden 2015 [53]

Lebenszykluskosten 50 Jahre

Seit 2011 und einer Erweiterung/Umstrukturierung der Nutzungsdauertabellen sind die Angaben zu den (rechnerischen) Lebens-/Nutzungsdauern bei 50 Jahren gekappt (Maximal-Angabe: ≥ 50 Jahre; Abb. 64 [51]) mit der Begründung, der Betrachtungszeitraum des Deutschen Gütesiegels Nachhaltiges Bauen beschränke sich ohnehin auf 50 Jahre und darüber hinausgehende (technische) Lebens-/Nutzungsdauern hätten in den Systemen wie *DGNB-NWO* oder *NaWoh* keine Auswirkungen auf die Bewertung/Zertifizierung.

Für Lebenszyklusbetrachtungen wie eine hier in Rede stehende Lebenszykluskostenanalyse für andere – etwa realitätsnähere – Betrachtungszeiträume als 50 Jahre muss daher auf die vormaligen Tabellen des Leitfadens Nachhaltiges Bauen in der Fassung von 2001 zurückgegriffen werden (siehe Abb. 65 [52]).

Bei einer Lebenszykluskostenanalyse für 50 Jahre resultieren die Unterschiede der Muster-MFH-Varianten allein aus den pauschalierten prozentualen Kostenansätzen für regelmäßige Wartungs-/Inspektionsleistungen und damit letztlich aus den unterschiedlichen Herstellungskosten gemäß Tab. 8/Abb. 65 – denn die Prozent-Pauschalen beziehen sich exakt und ausschließlich darauf. Kosten für Instandsetzungen/Erneuerungen (der Außenwandkonstruktionen) fallen nicht an, weil die (technischen) rechnerischen Lebens-/Nutzungsdauern (der Außenwandkonstruktionen) den Betrachtungszeitraum für alle Muster-MFH-Varianten übersteigen.

Insofern stellen sich für die Lebenszykluskostenbetrachtung (der Außenwandkonstruktionen) über 50 Jahre keine grundlegenden Ergebnisverschiebungen zwischen Herstellungskosten und Lebenszykluskosten 50 Jahre der Muster-MFH-Varianten ein (siehe Tab. 9 und Abb. 67), wobei das Delta zwischen Herstellungs- und Lebenszykluskosten 50 Jahre für die Muster-MFH-Variante in Holz natürlich etwas höher ausfällt als bei den beiden anderen Muster-MFH-Varianten, weil die pauschalierten Prozentsätze für Wartung und Inspektion ja bereits auf höhere Herstellungskosten angewendet werden.

Herstellungskosten (HK)	€/m ² [Außenwandfläche Muster-MFH]		
	von	Median	bis
Mauerwerk	292,00	321,00	362,00
Stahlbeton	321,00	355,00	376,00
Holz	343,00	370,00	435,00

Tab. 8: Herstellungskosten Außenwände Muster-MFH nach [10]

Lebenszykluskosten 50 Jahre	€/m ² [Außenwandfläche Muster-MFH]		
	von	Median	bis
Mauerwerk	298,93	328,62	370,60
<i>Delta zu HK</i>	6,93	7,62	8,60
Stahlbeton	328,62	363,43	384,93
<i>Delta zu HK</i>	7,62	8,43	8,93
Holz	351,15	378,79	445,33
<i>Delta zu HK</i>	8,15	8,79	10,33

Tab. 9: Lebenszykluskosten Außenwände Muster-MFH 50 Jahre

Lebenszykluskosten 80 Jahre

Für Außenwandkonstruktionen in Holzbauweise wird nahezu ausschließlich Nadelholz (Weichholz) verwendet

Hier zeigt sich auch der Diskontierungseffekt im Rahmen der Methodik der Lebenszykluskostenbetrachtung (= Abzinsung künftiger Zahlungsströme auf aktuellen Bewertungszeitpunkt).

Im Rahmen einer realitätsnäheren 80-Jahre-Lebenszykluskostenbetrachtung ändert sich diese Einschätzung erheblich. Denn gemäß der hierfür zu verwendenden Tabellen zu (technischen) rechnerischen Lebens-/Nutzungsdauern sind die Außenwandkonstruktionen der Muster-MFH-Variante in Holzbauweise nach Ablauf von 70 Jahren zu erneuern, während dies für die Außenwandkonstruktionen der Muster-MFH-Varianten in Mauerwerksbauweise wegen der deutlich höheren (technischen) rechnerischen Lebens-/ Nutzungsdauer nicht der Fall ist.

Dies wiederum löst neuerliche Herstellungskosten aus und führt – über die regelmäßigen prozentual pauschalierten Aufwendungen für die Wartung und Inspektion – zu deutlich erhöhten Lebenszykluskosten, insbesondere auch im direkten Vergleich zur Muster-MFH-Variante aus Mauerwerk (siehe Tab. 10 und Abb. 68).

Oder anders ausgedrückt: die Muster-MFH-Variante in Holzbauweise weist einen erheblichen Unterschied zwischen den Lebenszykluskosten für 50 und für 80 Jahre auf, wohingegen dieser Unterschied für die anderen beiden Muster-MFH-Varianten als marginal betrachtet werden kann.



 Nutzungsdauern von Bauteilen Stand: 03.11.2011					
für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)					
Code Nr.	KG - 2. Ebene	KG - 3. Ebene	Bauteil / Material	a	Ersatz in 50a
	320 Gründung				
	320 Gründung	322 Flachgründungen			
322.111			Einzel- / Streifenfundamente	≥ 50	0
322.112			Fundamentplatten	≥ 50	0
	320 Gründung	323 Tiefgründungen			
323.111			Bohrpfähle, Presspfähle, Rammpfähle, Pfahlwände, Schlitzwände, Spundwände, Trägerbohlwände	≥ 50	0
	320 Gründung	324 Unterböden und Bodenplatten			
324.111			Bodenplatte	≥ 50	0
	320 Gründung	326 Bauwerksabdichtung			
326.111			Abdichtung gegen nichtdrückendes Wasser	35	1
	330 Außenwände				
	330 Außenwände	331 Tragende Außenwände			
331.111			Mauerwerkswand	≥ 50	0
331.211			Betonwand	≥ 50	0
331.311			Holzwand	≥ 50	0
331.411			Stahlbauwand	≥ 50	0
331.511			Lehmbauwand	≥ 50	0
331.611			Formsteine mit Betonfüllung	≥ 50	0
	330 Außenwände	333 Außenstützen			
333.111			Mauerwerksstütze	≥ 50	0
333.211			Betonstütze	≥ 50	0

Abb. 64: Nutzungsdauern von Bauteilen gemäß Leitfaden Nachhaltiges Bauen 2015 [51]

Bauteil / Bauteilschicht		Lebenserwartung von - bis [a]	mittlere Lebenserwartung [a]
Trag-konstruktion	1. Fundament Beton	80 - 150	100
	2. Außenwände / -stützen		
	Beton, bewehrt, bewittert	60 - 80	70
	Naturstein, bewittert	60 - 250	80
	Ziegel, Klinker, bewittert	80 - 150	90
	Beton, Betonstein, Ziegel, Kalksandstein, bekleidet	100 - 150	120
	Leichtbeton, bekleidet	80 - 120	100
	Verfugung, Sichtmauerwerk	30 - 40	35
	Stahl	60 - 100	80
	Weichholz, bewittert	40 - 50	45
	Weichholz, bekleidet, Hartholz, bewittert	60 - 80	70
	Hartholz, bekleidet	80 - 120	100

Abb. 65: Nutzungsdauern von Bauteilen gemäß Leitfaden Nachhaltiges Bauen 2001 [52]

Lebenszykluskosten 80 Jahre	€/m ² [Außenwandfläche Muster-MFH]		
	von	Median	bis
Mauerwerk	299,94	329,73	371,84
Delta zu HK	7,94	8,73	9,84
Delta zu LZK 50 Jahre	1,01	1,11	1,24
Stahlbeton	329,73	364,65	386,22
Delta zu HK	8,73	9,65	10,22
Delta zu LZK 50 Jahre	1,11	1,22	1,29
Holz	384,66	414,93	487,83
Delta zu HK	41,66	44,93	52,83
Delta zu LZK 50 Jahre	33,51	36,14	42,50

Tab. 10: Lebenszykluskosten Außenwände Muster-MFH 80 Jahre

Darüber hinaus gibt es weitere Spezifika der Holzbauweise, die in der Lebenszykluskosten-Methodik des Deutschen Gütesiegels Nachhaltiges Bauen nicht adressiert werden, gleichwohl qualitativ in eine (fokussiert baukonstruktive) Kostenanalyse der Holzbauweise einfließen können.

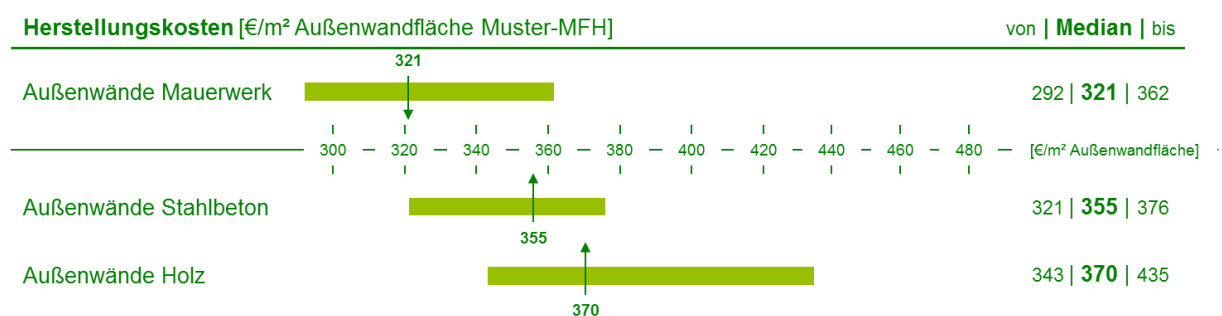


Abb. 66: Herstellungskosten Außenwände Muster-MFH nach [10]

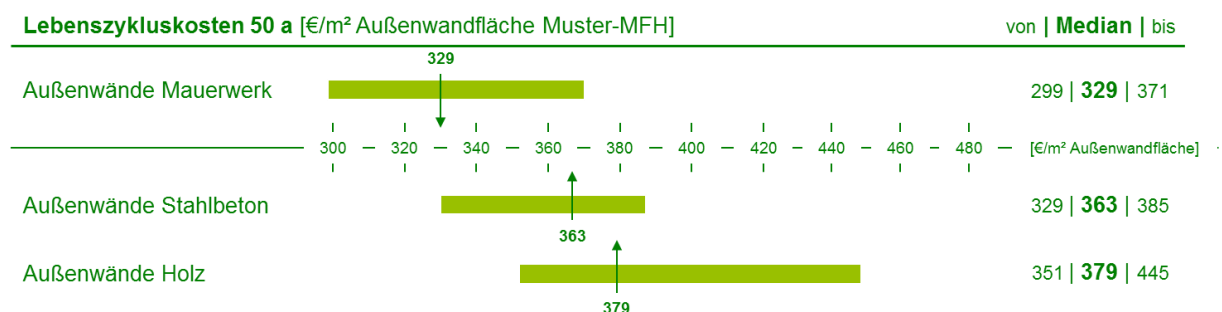


Abb. 67: Lebenszykluskosten Außenwände Muster-MFH 50 Jahre

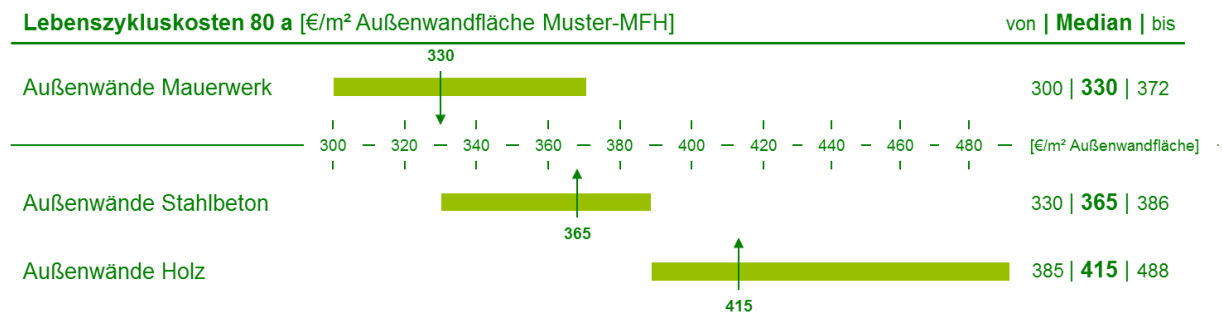


Abb. 68: Lebenszykluskosten Außenwände Muster-MFH 80 Jahre

Entsorgungsproblematik:

Diesbezüglich sei generell auch auf die Ausführungen zu baupraktischen und theoretischen End of Life-Szenarien in *Studienteil D* verweisen.

Beispielsweise *nicht* Teil der Lebenszykluskosten-Methodik ist die Bestimmung der Entsorgungskosten. Die Entsorgung von Konstruktionen aus Holz am Ende des Gebäudelebenszyklus (*End of Life*) bedeutet heute weit überwiegend eine *thermische Verwertung* von Altholz. Denn die Altholz-Fraktion beim Gebäuderückbau stellt zwar – zumindest teilweise (ca. zur Hälfte) – ein theoretisches Potential als Sekundärrohstoff dar; dieses kann aber (derzeit noch) nicht aktiviert werden (siehe *Studienteil D*).

Bislang gab es jedoch für Altholz als thermisches Verwertungsgut bzw. Sekundärbrennstoff zumindest einen (gewerblichen) Brennstoffbeschaffungsmarkt.

Ein aufkommender Mengenstau an Altholz bei den Entsorgungs-/Verwertungsbetrieben führt i.V.m. Auswirkungen der Novellierung des EEG nach Auffassung von Branchenverbänden allerdings mittlerweile dazu, dass sich das Altholzsegment zu einem Entsorgungsmarkt mit entsprechender Kostenstruktur wandelt und in letzter Konsequenz zu (zusätzlichen respektive steigenden) Kosten für den Rückbau von Holzkonstruktionen bzw. die Verwertung/Entsorgung der Fraktion Altholz [54].

Ein weiterer ökonomischer Lebenszyklusaspekt von Bau- und Konstruktionsweisen betrifft die Wertentwicklung bzw. den Wiederverkaufswert eines Gebäudes. Im Rahmen einer Studie zur Entwicklung von Marktwerten für Wohngebäude wurde u.a. die Wertrelevanz des Faktors Bauweise (Massivbau vs. Leicht-/Fertigbau) untersucht [55]. Basis der Studie waren umfängliche und für Deutschland grds. repräsentative Expertenbefragungen von Immobilienmaklern und -sachverständigen.

Wertentwicklung und
Wiederverkaufswert

Hinsichtlich Wertentwicklung und Wiederverkaufspreisen von Wohngebäuden ergab die Expertenbefragung das eindeutige Ergebnis, dass die Massivbauweise von 80 % der Befragten als vorteilhaft eingestuft wird (siehe Abb. 69).

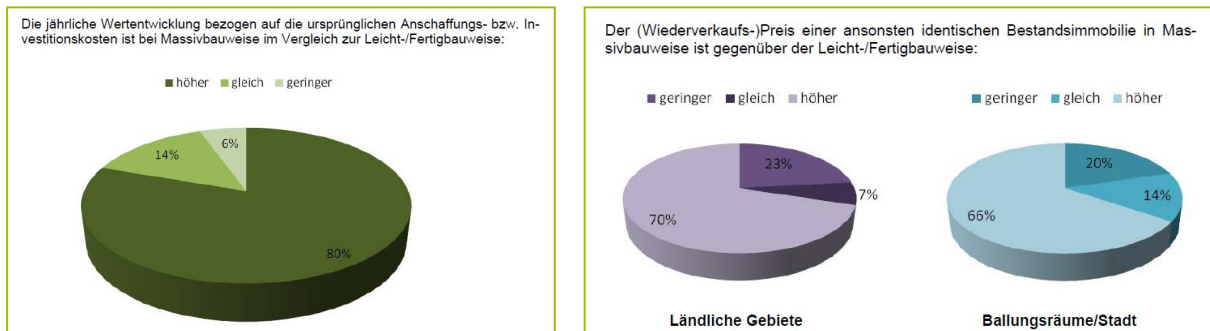


Abb. 69: Befragungsergebnisse zu Wertentwicklung | Wiederverkaufspreis der Massivbauweise [55]

Technologische (Bau-)Abläufe
im Fertigteilbau

Tatsächliche Bauzeiten der Holzbauweise

Im Zusammenhang mit den als Argument pro Holzhausbau fälschlicherweise (siehe soeben oben) angeführten niedrigen Baukosten werden oftmals die kurzen Bauzeiten von Holzhausbauten in Fertigteilbauweise genannt.

Auch hier lohnt sich – als Teil der ganzheitlichen Betrachtungen dieser Studie – ein kritischer Blick auf die Argumentationsketten zu den Bauzeiten des Holzfertigteilbaus (als maßgebliche und marktprägende Konstruktionsweise im Holzhausbau).

Die weit verbreitete, gleichwohl falsche Wahrnehmung der Holzfertigteilbauweise als Verfahren zur Errichtung von Wohnungsbauten in wenigen Tagen basiert im Wesentlichen auf zwei zentralen Fehlannahmen i.V.m. einer Außerachtlassung (zeit-)wesentlicher Bauprozessschritte.

Erstens wird die spezifische Rohbauphase, d.h. die Montage der Fertigteilelemente (Wände, Decken, Dach) weitestgehend mit der generellen Bauzeit eines Wohngebäudes gleichgesetzt. Damit werden aber dem Rohbau vor- und insbesondere auch nachgelagerte Bauprozessschritte wie die Bauplanung und -genehmigung, die Gründung (Fundamente und Bodenplatte, ggf. Unterkellerung) und der Innenausbau irrtümlicherweise gänzlich vergessen.



Dabei repräsentieren diese Schritte und Bauetappen den größten Anteil der gesamten Bauzeit und sind zudem für Fertigteil- und konventionelle Bau- und Konstruktionsweisen grds. identisch, wobei für die Vorfertigung von Wandelementen bei bestimmten Installationsarbeiten Vereinfachungs- und Beschleunigungseffekte eintreten können.

Und zweitens wird nicht berücksichtigt, dass die Fertigteil-Elemente, anders als ggf. die Bauplanung eines Wohnhauses, nicht auf Abruf verfügbar sind, weil die Fertigteil-Elemente eben nicht auf Halde vorproduziert werden. Vielmehr startet die Produktion erst nach Vertragsabschluss des Bauherrn mit dem Fertighaushersteller, was üblicherweise nach Erstellung der Gründung geschieht. Freilich kommt es dann für die letztendliche Wartezeit entscheidend auf die Produktionskapazitäten beim Hersteller und etwaige Engpässe oder Überhänge an. Im Schnitt gelten Wartezeiten von ca. 4 Wochen aber als erwartbar und üblich.

Dadurch wird der alleinige zeitliche Vorteil der Fertigteilbauweise im Zuge des Rohbaus faktisch aufgezehrt und Fertigteil- wie konventionelle Bauweise sind durch prinzipiell sehr ähnliche Gesamt-Bauzeiten charakterisiert.

Tatsächliche Resilienz von Holzkonstruktionen

Sicherheitsniveau und Widerstandsfähigkeit (*Resilienz*) repräsentieren wesentliche Aspekte einer baukonstruktiven Betrachtung von Wohngebäuden und insbesondere auch deren ganzheitlicher Nachhaltigkeitsbewertung und -zertifizierung, z.B. im Rahmend des *Deutschen Gütesiegels Nachhaltiges Bauen*.

Objektive Sicherheit eines Gebäudes in dann gegeben, wenn *erstens* reale Gefahrensituationen vermieden werden SOWIE wenn *zweitens* im Schadensfalleintritt aufgrund der Widerstandsfähigkeit der Konstruktion eine weitest gehende Sicherheit gewährleistet und das Schadensausmaß soweit wie möglich begrenzt wird.

Im Bewertungs- und Zertifizierungsregime des Deutschen Gütesiegels Nachhaltiges Bauen ist Sicherheit explizit als ein Schutzziel des nachhaltigen Bauens genannt [53].



Brandschutz

Als komplementäre Elemente des Brandschutzes sind zu nennen:

- Vorbeugender anlagen-technischer und organisatorischer Brandschutz
- Abwehrender Brandschutz

Zu den bauordnungsrechtlichen Erleichterungen für die Holzbauweise innerhalb der Gebäudeklasse 4 siehe sogleich unten.

Verglichen mit anderen möglichen Extremereignissen wie Sturm, Erdbeben oder Überflutungen ist der Brandfall ein Schadensszenario mit relativ hohen Eintrittswahrscheinlichkeiten. Entsprechend groß ist hier der Stellenwert des vorbeugenden – insbesondere auch: baulichen – Brandschutzes respektive der zugehörigen bauordnungsrechtlichen Normen, die sich insbesondere mit Anforderungen an das Brandverhalten von Baustoffen und an den Feuerwiderstand daraus erstellter Bauteile befassen.

Daher soll nachfolgend der Betrachtungsfokus auf brandschutztechnische Sicherheit und Widerstandsfähigkeit von Wohngebäuden in Holzbauweise gelegt werden.

Dabei bieten die kombinierten Sphären (vorbeugender baulicher) *Brandschutz* und *Holzbauweise*, dem Umstand geschuldet, dass Holz als brennbarer Baustoff zu klassifizieren ist, *per se* ein gewisses Problem- und Diskussionspotential. Befürworter wie Gegner der u.a. hinsichtlich der Zulässigkeit der Holzbauweise für größere Gebäudekomplexe angepassten *Musterbauordnung (MBO)* führen jeweils Untersuchungen, Analysen und Studien (vgl. Literaturverzeichnis; [56] bis [62]) zu brandschutztechnischen Qualitäten wie Defiziten der Holzbauweise an, die sich *en détail* bisweilen erheblich unterscheiden und in divergierenden Schlussfolgerungen münden.

Hier soll(en) nunmehr in Sinne und Art einer Meta-Studie einerseits eine Gegenüberstellung der Argumentationslinien erfolgen und andererseits dezidiert nur diejenigen brandschutztechnischen Charakteristika der Holzbauweise abschließend dargestellt werden, hinsichtlich derer grds. einheitliche Einschätzungen vorliegen. Dabei ist weiterhin zwischen verschiedenen inhaltlichen Aspekten des (vorbeugenden baulichen) Brandschutzes unterschiedlicher Bauweisen zu differenzieren; es sind dies:



- ▶ Brandschutztechnische normative Klassifizierung von Baustoffen und Bauteilen (DIN 4102, DIN EN 13501)
- ▶ Anpassung der *Musterbauordnung (MBO)* hinsichtlich des (vorbeugenden baulichen) Brandschutzes i.V.m. mit Einführung der *Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (M-HFHHolzR)*
- ▶ Analyse und Bewertung des Brandrisikos (der Massiv- und Holzbauweise) als Produkt aus Wahrscheinlichkeiten der Brandentstehung/-ausbreitung und Schadensausmaßen an Sachwerten und bei Personen
- ▶ Gängige Abweichungen von der *MBO* bzw. *M-HFHHolzR* und erforderliche Kompensationsmaßnahmen

Klassifizierung von Baustoffen und Bauteilen

Leicht entflammbare Baustoffe dürfen nach *MBO* grds. *nicht* eingesetzt werden.

Auf *stofflicher Ebene* werden Baumaterialien hinsichtlich ihrer Brenn- und Entflammbarkeit nach DIN 4102-1 (nationale Ebene) [63] bzw. DIN EN 13501-1 [64] (europäische Ebene) klassifiziert (siehe Tab. 11). Unstrittig ist, dass Holzbaustoffe zumeist als normal entflammbar (B2 bzw. D-s2, d0) zu klassifizieren sind, während mineralisch-basierte Massivbaustoffe generell als nicht brennbar (A1, ohne brennbare Bestandteile) gelten.

Bauteile werden gemäß ihrer Feuerwiderstandsdauer in Feuerwiderstandsklassen nach DIN 4102-2 (deutsche Norm) [65] bzw. nach DIN EN 13501-2 (europäische Norm) [66] kategorisiert. Nach DIN 4102-2 bezeichnet die Feuerwiderstandsklasse F_{xx} die bei Bauteilprüfungen ermittelte Feuerwiderstandsdauer in xx Minuten, gerundet auf die letzten vollen 30 Minuten (30, 60, 90, usw.). Nach DIN EN 13501-2 werden die Kriterien Tragfähigkeit (R), Raumabschluss (E) und Wärmedämmung (I) zur Beschreibung und Bewertung des Feuerwiderstands herangezogen (und erforderlichenfalls weitere Klassifizierungszusätze, z.B. für Mechanische Stabilität (M)). Die Leistungszeiten in Minuten je Kriterium werden ggü. der DIN 4102-2 verfeinert (15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240, 360), wodurch insgesamt eine genauere Einteilung ermöglicht wird.

Brandnebenerscheinungen nach DIN EN 13501-1

- s – Rauchentwicklung
(gering (1) bis hoch (3))
- d – brennendes Abtropfen
(kein (0) bis starkes (2))

DIN 4102-1	bauaufsichtliche Anforderung	DIN EN 13501-1	Zusatzanforderungen	
			kein Rauch	kein brennendes Abtropfen
A1	nicht brennbar	A1	x	x
A2		A2 - s1, d0	x	x
B1	schwer entflammbar	B - s1, d0 oder C - s1, d0	x	x
		A2 - s2, d0 oder A2 - s3, d0		
		B - s2, d0 oder B - s3, d0		x
		C - s2, d0 oder C - s3, d0		
		A2 - s1, d1 oder A2 - s1, d2	x	
		B - s1, d1 oder B - s1, d2		
		C - s1, d1 oder C - s1, d2		
		A2 - s3, d2		
		B - s3, d2		
		C - s3, d2		
B2	normal entflammbar	D - s1, d0 oder D - s2, d0		x
		D - s3, d0 oder E		
		D - s1, d1 oder D - s2, d1		
		D - s3, d1 oder D - s1, d2		
		D - s2, d2 oder D - s3, d2		
B3	leicht entflammbar	E - d2		
		F		

Tab. 11: Baustoffklassen nach DIN 4102-1 | DIN EN 13501-1

Diese Feuerwiderstandsklassen sind dann den bauordnungsrechtlichen/bauaufsichtlichen Brandschutzanforderungen der *MBO* [67] bzw. Landesbauordnungen (LBO) je nach *Gebäudeklasse* (Gebäudehöhe und Nutzungseinheitsgröße) gegenüberzustellen (siehe Tab. 12 f.); grds. wird dabei unterschieden zwischen den Bauteil-Anforderungen feuerhemmend (fh), hoch feuerhemmend (hfh) und feuerbeständig (fb).

Hier kommen nunmehr die – für die Ausweitung der brandschutzrechtlichen Zulässigkeit der Holzbauweise entscheidenden – Neuerungen der *MBO 2002* ins Spiel.

Bis dato war der bauordnungsrechtlich/bauaufsichtlich geregelte Einsatzbereich des Holzbaus limitiert gewesen auf Gebäude geringer Höhe [68]. Mit der *MBO 2002* wurde diese Beschränkung des Holzbaus deutlich reduziert, indem einerseits eine neue, feinere Kategorisierung von (jetzt) *Gebäudeklassen* (siehe Tab. 14 und Abb. 70) und andererseits die neue, zusätzliche Brandschutzanforderung hoch feuerhemmend (zwischen (nur) feuerhemmend und feuerbeständig) eingeführt wurde [67].

Neuerungen der *MBO 2002*

Die Gebäudeklassen lösen die zuvor verwendete Kategorisierung von *Gebäuden niedriger Höhe* (jetzt: GK 1 bis 3) und von *Hochhäusern* (jetzt: GK 5) sowie implizit von Gebäuden *mittlerer Höhe* (jetzt: GK 4) ab.



Hintergrund – Holzbauteile erreichen die Klassifizierung als hoch feuerhemmend nur durch eine zusätzliche Kapse- lung (K₂60), die das Holz als brennbaren Baustoff ausrei- chend lange vor einer Entzün- dung schützt. Damit soll für einen bestimmten Schutzzeit- raum ein Mehr-Komponenten- Bauteil geschaffen werden, das sich *für diese bestimmte Schutzzeit* insgesamt wie eine entsprechende Massivkon- struktion *verhält*.

Zelle	Bauaufsichtl. Anforderung nach MBO bzw. LBO	Feuerwider- standsklasse nach DIN 4102-2	Baustoffklasse nach DIN 4102-1 für		Benennung der Feuer- widerstandsfähigkeit	Kurz- zeichen
			westl. Teile	übrige Teile		
1			B	B	Feuerwiderstandsklasse F 30	F 30 B
2	feuerhemmend	F 30	A	B	Feuerwiderstandsklasse F 30 und in den wesentlichen Teilen aus nicht brennbaren Baustoffen	F 30 - AB
3			A	A	Feuerwiderstandsklasse F 30 und aus nicht brennbaren Baustoffen	F 30 - A
4	nicht hoch feuerhemmend		B	B	Feuerwiderstandsklasse F 60	F 60 - B
M-HFHolzR6 Pkt. 3.2	hoch feuerhemmend	F 60	B	B	Feuerwiderstandsklasse F 60, tragende und aussteifende Teile aus brennbaren Baustoffen mit einer allseitigen brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung aus nicht brennbaren Baustoffen (Brandschutzbekleidung), Dämmstoffe aus nicht brennbaren Baustoffen	F 60 - B K260
			A	B	Feuerwiderstandsklasse F 60 und in den wesentlichen Teilen aus nicht brennbaren Baustoffen	F 60 - AB
			A	A	Feuerwiderstandsklasse F 60 und aus nicht brennbaren Baustoffen	
7	nicht feuerbeständig		B	B	Feuerwiderstandsklasse F 90	F 90 - B
8	feuerbeständig	F 90	A	A	Feuerwiderstandsklasse F 90 und in den wesentlichen Teilen aus nicht brennbaren Baustoffen	F 90 - AB
9			A	A	Feuerwiderstandsklasse F 90 und aus nicht brennbaren Baustoffen	F 90 A

Tab. 12: Feuerwiderstandsklassen nach DIN 4102-2 und bauauf- sichtsliche Anforderungen [65]

Bauaufsichtliche Anforderung	Tragende Bauteile		Nicht- tragende Innen- wände	Nichttragende Außenwände	Doppel- böden	Selbst- ständige Unter- decken
	ohne Raumab- schluss	mit Raumab- schluss				
feuerhemmend	R 30	REI 30	EI 30	E 30 (i→o) und EI 30-ef (i→o)	REI 30	EI 30 (a↔b)
hoch feuerhemmend	R 60	REI 60	EI 60	E 60 (i→o) und EI 60-ef (i→o)		EI 60 (a↔b)
feuerbeständig	R 90	REI 90	EI 90	E 90 (i→o) und EI 90-ef (i→o)		EI 90 (a↔b)
Feuerwider- standsfähigkeit 120 Minuten	R 120	REI 120	–	–		–
Brandwand	–	REI 90-M	EI 90-M	–		–

(i→o)/(i←o) = Richtung der klassifizierten Widerstandsdauer (in - out)
(a↔b) = Richtung der klassifizierten Widerstandsdauer (above - below)
ef = Beanspruchung durch Außenbrand

Tab. 13: Feuerwiderstandsklassen nach DIN EN 13501-2 und bau- aufsichtsliche Anforderungen [66]

Dabei ergibt sich die Ausweitung des bauordnungsrechtlich/bauaufsichtlich geregelten Einsatzbereichs des Holzbaus konkret daraus, dass Gebäude der GK 4 bzw. deren tragende/Brandwände, Stützen und Decken nach *MBO 2002* (nur) hochfeuerhemmend, und nicht feuerbeständig ausgeführt sein müssen (vgl. Tab. 12 f.). Damit in direkter Verbindung steht die *Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (M-HFHolzR)*, die die brandschutztechnischen Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise fixiert und mittlerweile als technische Baubestimmung eingeführt wurde.

GK 1	a) frei stehende Gebäude	Höhe $\leq 7,00$ m ≤ 2 Nutzungseinheiten insgesamt ≤ 400 m ²	feuerhemmend
	b) frei stehende, land- oder forstwirtschaftlich genutzte Gebäude		
GK 2	Gebäude	Höhe $\leq 7,00$ m ≤ 2 Nutzungseinheiten insgesamt ≤ 400 m ²	feuerhemmend
GK 3	sonstige Gebäude	Höhe $\leq 7,00$ m	feuerhemmend
GK 4	Gebäude	Höhe $> 7,00$ m $\leq 13,00$ m Nutzungseinheit < 400 m ²	hoch feuerhemmend
GK 5	sonstige Gebäude, einschließlich unterirdischer Gebäude		feuerbeständig

Tab. 14: Gebäudeklassen (GK) nach *MBO 2002*

Faktisch bedurfte die Ausweitung des Einsatzbereichs des Holzbaus auf MFH als Gebäude nicht geringer Höhe bauordnungsrechtlicher/bauaufsichtlicher brandschutztechnischer Erleichterungen, da solche Gebäude (nicht geringer Höhe) bzw. deren relevante Bauteile vormals feuerbeständig sein mussten.

Da das Baurecht in den Kompetenzbereich der Bundesländer fällt, ist es für die bundeslandspezifische Wirksamkeit der Neuerungen der *MBO 2002* aber entscheidend, ob das jeweilige Bundesland die Begriffe der Einteilung von GK in seiner *Landesbauordnung (LBO)* übernommen und die neue, zusätzliche Brandschutzanforderung hochfeuerhemmend eingeführt hat.



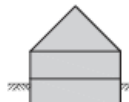
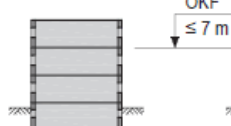
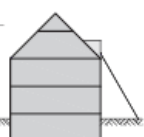
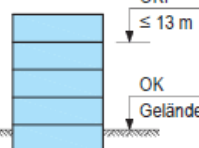
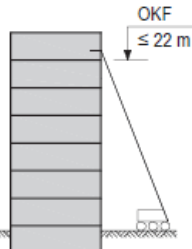
1	freistehend land- oder forstwirtschaftlich genutzt	freistehend und OKF ≤ 7 m und ≤ 2 NE und ≤ 400 m ² gesamt *)	2	nicht freistehend	OKF ≤ 7 m und ≤ 2 NE und ≤ 400 m ² gesamt *)	3	sonstige Gebäude	OKF ≤ 7 m	4	OKF ≤ 13 m und ≤ 400 m ² *) je NE	5	13 m < OKF ≤ 22 m oder > 400 m ² *) je NE		
														
Bauaufsichtliche Anforderungen nach MBO 2002 (tragende und aussteifende Wände, Stützen, Trennwände, Decken zwischen NE)														
keine Forderungen			feuerhemmend			hochfeuerhemmend			feuerbeständig					
Feuerwehreinsatz mit Steckleiter möglich						Drehleiter nötig								

Abb. 70: Gebäudeklassen (GK) nach MBO 2002²⁶

(Qualitative) Analyse und
Bewertung des Brandrisikos

Das Brandrisiko, dem u.a. durch den vorbeugenden baulichen Brandschutz ein ausreichendes Sicherheitsniveau entgegengestellt werden soll, setzt sich zusammen (als mathematisches Produkt) aus den Wahrscheinlichkeiten der Brandentstehung/-ausbreitung UND den Schadensausmaßen an Sachwerten und bei Personen.

Unabhängig von den *en détail* divergierenden Schlussfolgerungen in den bereits erwähnten Untersuchungen, Analysen und Studien aus [56] bis [62] ist es – *qua* bauordnungsrechtlicher/bauaufsichtlicher Definition – als unstrittig zu betrachten, dass in der GK 4 in Holzbauweise besondere/zusätzliche Risiken aus brandschutztechnischer Sicht zu berücksichtigen sind [62], weil die MBO 2002 i.V.m. der M-HFHolzR diesbezügliche besondere/zusätzliche Anforderungen an den Brandschutz formuliert und festschreibt (um das bisherige Brandschutzsicherheitsniveau in der GK 4 mineralisch basierter Massivbauweisen wie Mauerwerks- oder Stahlbetonkonstruktionen sicherzustellen/ aufrechtzuerhalten [56]).

Mögliche Risiken nach [62]:

- ▶ Zusätzliche Brandlasten
- ▶ Gefahr von Hohlraumbränden in der Konstruktion
- ▶ Gefahr von Vollbränden durch brennbare Oberfl.
- ▶ Gefahr Rauchausbreitung

²⁶ Bildnachweis: Knauf



Wahrscheinlichkeiten der Brandentstehung

Hinsichtlich der Einschätzung und Beurteilung zu Wahrscheinlichkeiten der Brandentstehung in Abhängigkeit von der Bauweise liegen in den o.g. Literaturquellen (v.a.: [56] vs. [57]) nur geringe Meinungsschnittmengen vor: während in [56] die Auffassung vertreten wird, dass immobile bzw. konstruktive, bauweisenspezifische Brandlasten wesentlichen Einfluss auf die Brandentstehung nehmen, herrscht in [57] die Meinung vor, dass die Brandentstehungswahrscheinlichkeit (im Wohnungsbau) zumindest *vorrangig* weder mit der mobilen noch der konstruktiven, bauweisenspezifischen Brandlast korreliert, sondern vielmehr von

- ▶ technischen Installationen (v.a. elektrisch),
- ▶ Nutzerverhalten,
- ▶ Einrichtungen (*Sicht*; = mobile Brandlast) sowie
- ▶ Objektstandort (Erdbebenzone, Waldbrandregion)

beeinflusst wird.

Wahrscheinlichkeiten der Brandausbreitung

Faktische Einigkeit besteht demgegenüber dahingehend, dass die Kritikalität eines Brandes grds. von der Gesamtbrandlast (siehe auch Abb. 71) abhängt und diese bzw. die konstruktiven bauweisenspezifischen Brandlasten im Holzbau – auch unter Berücksichtigung der Holzbauweise mit konsequent ausgeführter hochfeuerhemmender Bekleidung – de facto um ein Vielfaches höher sind als bei mineralischen Massivbauweisen.

Dies ist für die Wahrscheinlichkeitsbetrachtung der Brandausbreitung deshalb von Belang, weil Brandverläufe zwar ZUNÄCHST bauweisenunabhängig sein mögen, brennbare Baustoffe wie Holz, Holzwerk- und Dämmstoffe aber trotz brandschutztechnischer Bekleidung (Kapselung) jedenfalls nach einer zeitlichen Verzögerung grundsätzlich zu weiterem Brandgeschehen und -ausbreitung beitragen können und werden.

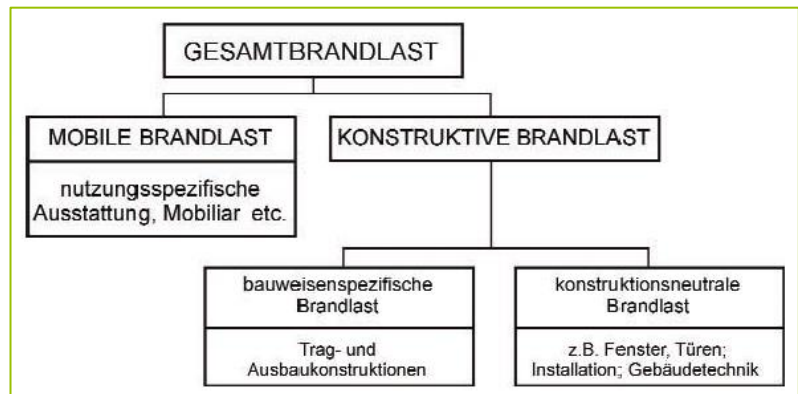


Abb. 71: Zusammensetzung Brandlastanteile in Gebäuden [56]

Schadensausmaße an Sachwerten und bei Personen

Bemerkenswerterweise wird in [57] auf schwedische Studien verwiesen, die mit der Gebäudegröße (!) zunehmende relative Schadensausmaße festgestellt haben.

Fazit zum Brandrisiko

Abweichungen und Kompensationsmaßnahmen im Holzbau

Bezüglich der „zweiten Hälfte“ des Brandrisikos, d.h. den Schadensausmaßen an Sachwerten und bei Personen, unterscheiden sich die o.g. Literaturquellen effektiv nur im Beurteilungsdetail, wie groß die Unterschiede und Differenzen von Brandschäden zwischen Holz- und mineralisch basierten Massivbauweisen tatsächlich sind.

Während in [56] für Brandschadensfälle an Wohngebäuden in Holzbauweise zweieinhalbfach so große Schadenssummen bzw. um 75 % erhöhte Brandopferzahlen aufgerufen werden wie an entsprechenden Gebäuden in Massivbauweise, wird in [57] von ca. 50 % höheren Schadenssummen bzw. ca. 6 % höheren Brandopferzahlen ausgegangen.

Im Ergebnis lässt sich jedenfalls als *qualitative* Aussage festhalten, dass die Holzbauweise auf beiden Seiten der brandschutztechnischen Risikobetrachtung – Wahrscheinlichkeiten UND Schadensausmaße – erkennbare Nachteile gegenüber den mineralisch basierten Massivbauweisen hat, und zwar auch und selbst dann, wenn die Vorgaben der *MBO 2002* bzw. *M-HFHolzR* eingehalten werden.

Dass diese Vorgaben in jedem Einzelfall eingehalten werden, ist allerdings gar nicht baupraktische Realität. Denn gemäß [59], [62] kann regelmäßig in im Geltungsbereich der *M-HFHolzR* liegenden Bauvorhaben den dortigen Vorgaben nicht vollumfänglich gefolgt werden, was die Beantragung von Abweichungen und die entsprechende Zustimmungserteilung erforderlich macht.



Dies ist nach [59], [62] einerseits auf gestalterische Wünsche und andererseits auch auf wirtschaftliche und baupraktische Gründe zurückzuführen. Unabhängig von den Hintergründen der Abweichungen ist grds. (vom Bauherrn) nachzuweisen, dass dem Zweck der technischen Regel, von der abgewichen werden soll/muss, im gebauten Ergebnis auf andere Weise (Kompensationsmaßnahme) entsprochen werden kann; es wird damit ein ganzheitliches Brandschutzkonzept erforderlich.

Jedenfalls betreffen entsprechende Abweichungen regelmäßig

- ▶ die Ausführung sichtbarer Holzoberflächen (d.h. einen Verzicht auf die erforderliche Kapselung),
- ▶ die Reduzierung der Kapselungsklasse,
- ▶ die Verwendung brennbarer Dämmstoffe oder
- ▶ die Verwendung tragender Massivholzbauteile.

Sichtbare Holzoberflächen

Das brandschutztechnische Problem sichtbarer Holzoberflächen besteht darin, dass die Anforderungen der *MBO 2002* und *M-HFH HolzR* nach einer brandschutztechnischen Kapselung von Holzbauteilen dadurch nicht eingehalten werden kann.

Hintergrund dieser Anforderung ist, dass sich die Gebäudestruktur (ohnehin ja nur) innerhalb der Schutzzeit nicht am Brandgeschehen beteiligt, mithin keine (zusätzlichen) immobilen Brandlasten eingebracht werden bzw. sich die Gebäudestruktur faktisch wie eine quasi-mineralische Massivbaustruktur verhält.

Als mögliche Kompensationsmaßnahmen werden in diesem Kontext

- ▶ eine Verkleinerung von Nutzungseinheiten oder
- ▶ der Einsatz einer vernetzten Brandmeldeanlage in Kombination mit transparenten Brandschutzbeschichtungen oder
- ▶ die Realisierung einer automatischen Löschanlage

Hier *kritisch*:
Brettsperrholzelemente

diskutiert, wobei eine hohlraumfreie Bauweise in jedem Fall eine weitere Voraussetzung zur Realisierbarkeit sichtbarer Holzoberflächen darstellt.



Holzbauweise wird für die GK 4 baufaktisch regelmäßig zu einer *Hybridbauweise* Holz | Massiv bzw. Holz | Stahlbeton.

Zudem sollten Fluchtwege sowie nötige Flure und Treppenhäuser stets mit nicht brennbaren Oberflächen ausgestattet sein. In baupraktischer Konsequenz führt dies zu einer Ausführung in Massivbauweise, z.B. in Stahlbeton als gleichzeitiges Gebäudeaussteifungssystem.

Reduzierung der Kapselklasse

Nach Auffassung in [59] und [69] geht die Anforderung der Kapselung von Holzbauteilen bzw. der Kapselklasse K₂60 für die GK 4 auf das Schutzziel zurück, eine wirkungsvolle und für die Löschkräfte gefährdungsreduzierte Brandbekämpfung zu ermöglichen. Sofern dieses Schutzziel mittels anlagentechnischer Komponenten auf ähnlichem Schutzniveau erreicht werden könne, wird in [59] und [69] eine Reduzierung der Kapselklasse als grds. möglich und sinnvoll eingestuft.

Als anlagentechnische Kompensationsmaßnahmen werden hier automatische Brandmeldeanlagen mit Aufschaltung zur Feuerwehr oder automatische Löschanlagen angeführt; beide allerdings verbunden mit hohen einmaligen Investitions- und weiteren laufenden Instandhaltungskosten, die den Einsparungen durch die Reduzierung der Kapselung gegenübergestellt werden müssen.

Brennbare Dämmstoffe

In [59] wird zunächst klargestellt, dass die *MBO 2002* grds. nicht brennbare Dämmstoffe respektive die *M-HFHolzR* zudem einen Schmelzpunkt der (nicht brennbaren) Dämmstoffe von mindestens 1000 °C vorschreibt.

Im Kontext einer angedachten abweichenden Verwendung brennbarer Dämmstoffe werden in [59] einerseits zum Nachweis der Verwendbarkeit Brandversuche zum Pyrolyse-Verhalten und andererseits flankierend die Ausstattung des betreffenden Bauvorhabens/Objekts mit Rauchmeldern als erforderliche Kompensationsmaßnahmen genannt; mit entsprechenden baupraktischen und kostenmäßigen Auswirkungen in Analogie zur Darstellung der Realisierung von Holzoberflächen als erstgenannte Abweichung von den Anforderungen der *M-HFHolzR*.



Verwendung von Massivholzbauweisen

Dadurch soll den Umständen entgegengewirkt werden, dass – abgesehen von der deutlichen Erhöhung der immobilen Brandlasten – das Rauchpotential gesteigert ist und brennbare Dämmstoffe zum Glimmen neigen; auf entsprechende Vorbehalte stoßen diese Dämmstoffe bei Bauaufsicht und Feuerwehr [62].

Die im Rahmen der Anwendungsbereichsausweitung elementare *M-HFHolzR* „gilt für Holzbauweisen, die einen gewissen Vorfertigungsgrad haben wie Holztafel-, Holzrahmen- und Fachwerkbauweise; sie gilt nicht für Holz-Massivbauweisen wie Brettstapel- und Blockbauweise, ausgenommen Brettstapeldecken“ [70].

Nach Auffassung in [59] „spricht allerdings nichts gegen die Verwendung von Massivholz als Tragstruktur, da [...] die brandschutztechnischen Eigenschaften der Bekleidung nicht verschlechtert werden.“ Nicht erwähnt werden in diesem Zusammenhang allerdings Hintergründe und Begründungen für den oben skizzierten Ausschluss von Holzmassivbauweisen aus der *M-HFHolzR*. Dieser steht insbesondere in dem Kontext, dass massive Holzbauteile oftmals als unbeschichtete flächige Bauteile realisiert werden (sollen); insofern liegt hier simultan auch der o.g. Ausnahmetatbestand sichtbarer Holzoberflächen vor.

Gründe für den Ausschluss von Holzmassivbauweisen waren zum einen, dass die Anwendungserweiterung des Holzbaus im mehrgeschossigen Bauen schrittweise unter Würdigung von Praxiserfahrungen vollzogen werden sollte und zum anderen, dass abschließende versuchsunterlegte Beurteilungen zum Brandverhalten der Bauteile fehlten.

Maßgebliche zu berücksichtigende Aspekte dabei sind

- ▶ die zusätzliche immobile Brandlast,
- ▶ erhöhte Brandausbreitungsgeschwindigkeiten auf brennbaren Oberflächen (i.V.m. einer Personengefährdung durch Temperatur und Rauchgase)
- ▶ sowie insbesondere die Fragestellung der Möglichkeit eines üblichen Feuerwehr-Löschangriffs nach einem Vollbrand von Massivholzbauteilen
- ▶ und die Sicherstellung einer ausreichenden Rauchdichtigkeit von Massivholzelementen [62].

Hintergrund: mögliche schlechtere Kühlwirkung des Löschwassers durch Holzkohleschicht insbesondere mit Blick auf etwaige Pyrolyse-Front.



Fazit zu Abweichungen und Kompensationsmaßnahme

Zusammenfassend lässt sich zur Realisierung von Bauvorhaben der GK 4 in Holzbauweise, d.h. im Regime der *M-HFHHolzR*, und mit Blick auf die regelmäßigen Abweichungen von der *M-HFHHolzR* und die daher erforderlichen Kompensationsmaßnahmen konstatieren, dass sich solche Bauvorhaben tendenziell baupraktisch und anlagentechnisch komplexer und anspruchsvoller, mithin letztlich auch teurer darstellen, um brandschutztechnische Sicherheitsniveaus zu gewährleisten, die den bauordnungsrechtlichen/ bauaufsichtlichen Anforderungen entsprechen und mit Bauvorhaben in Massivbauweise vergleichbar sind.

6 Teil D: Ergänzende grundlegende Nachhaltigkeitsmerkmale und die Holzbauweise

Image und baupraktische Wirklichkeit des Holzbaus

In der mehrheitlich sowohl bautechnisch als auch nachhaltigkeitsmäßig unbedarften öffentlichen Wahrnehmung ist der Holzbau mit einem bestimmten Image belegt: Holzhäuser werden bisweilen wahlweise mit idyllischen Bildern einer verschneiten Blockhütte, skandinavischer Ferienhäuser an (der) See(n) oder blumengeschmückter Bauernhäusern assoziiert (vgl. Abb. 72).

Die Untersuchungen des *Studienteils C* haben deutlich gezeigt, dass dieses Image (eines Massivholzbaus) nicht der baupraktischen Wirklichkeit entspricht. Hauptwahrheit dieser Wirklichkeit ist vielmehr, dass Holzhausbauten – vor allem im Wohngebäudesegment – weit überwiegend in Holzrahmen-/Holztafelbauweise erstellt werden und der Rohstoff Holz in dieser *Mischbauweise* eine wichtigen, aber längst nicht überwiegenden oder gar alleinigen Baustoff darstellt. Daher muss sich eine Betrachtung ergänzender grundlegender Nachhaltigkeitsmerkmale der (gängigen) Holzbauweise(n) auf die baupraktische Wirklichkeit beziehen.

Im Zuge dieses *Studienteils D* soll erstens unter Bezugnahme auf die Erkenntnisse und Ergebnisse des *Studienteils B* zu ökobilanziellen Auswirkungen der Verwendung von Import-Holzwerkstoffen eine abschließende ökobilanzielle Bewertung der Holzbauweise erfolgen, insbesondere auch im Vergleich mit den anderen marktrelevanten respektive marktführenden Bau- und Konstruktionsweisen für Wohngebäude.

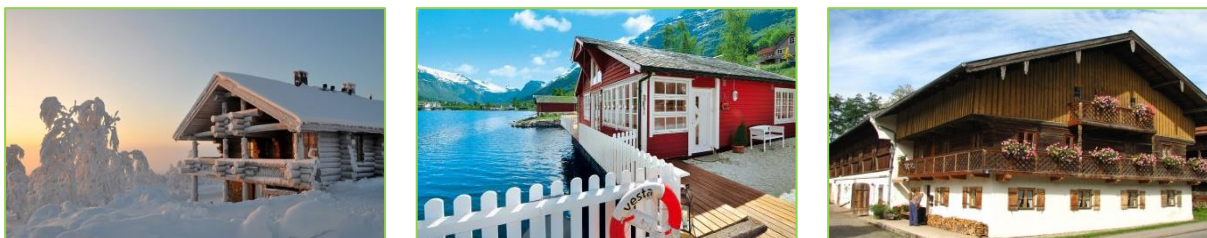


Abb. 72: Gängige Assoziationen der Holzbauweise²⁷

²⁷ Bildnachweise: tripodo | gateo | stadtbild-deutschland

Studienteil B: Analyse ökobilanzieller Effekte des Imports von Holz(-werkstoffen)

Zweitens soll(en) die gängige(n) Holzbauweise(n) auf soziokulturell-funktionale Komfortaspekte hin, wie sie z.B. in den Systemen des *Deutschen Gütesiegels Nachhaltiges Bauen* standardisiert sind, untersucht werden. Fragestellungen sind hier etwa die Gesundheit der Gebäudenutzer (Schadstoffemissionen, Raumluftqualität) oder der thermische und akustische Komfort.

Drittens soll ein besonderes Augenmerk auch auf prozessqualitative Aspekte der Systeme des *Deutschen Gütesiegels Nachhaltiges Bauen* gelegt werden, da die für den Holzhausbau maßgebliche Fertigteilbauweise hier spezifische Problemstellungen aufwirft.

Finale und vergleichende ökobilanzielle Betrachtung

Als strukturelle und methodische Fortführung sowie inhaltliche Adaption der Analysen aus [7]-[9] wurde in *Studienteil B* die Ökobilanzierung des Muster-MFH bzw. dessen Variante in Holzbauweise (mit einheimischen Holzwerkstoffen) ausgeweitet auf eine Betrachtung von Szenarien der Verwendung ausländischer Importholzwerkstoffe.

Dabei gestaltete sich die Szenarioidentifikation und -modellierung äußerst vielschichtig und komplex. Denn einerseits ließ sich naturgemäß nicht ein solitäres Importszenario identifizieren; prinzipiell hätte eine Unzahl von Varianten für Herkunftsländer und korrelierte Transportentfernungen definiert werden können.

Und andererseits sollten diejenigen Szenarien modelliert werden, die eine ausreichende Realitätsnähe besitzen und für die (norm-)kompatible ökobilanzielle Basisdaten verfügbar sind.

Zudem war letzters der Aussagegehalt und der Erkenntnisbeitrag modellierter Szenarien zu berücksichtigen. Denn eine Auswertung verfügbarer (norm-)kompatibler ökobilanzieller Basisdaten für ausländische Importholzwerkstoffe machte deutlich, dass sich diese bereits ohne eine Berücksichtigung von Importtransportentfernungen je nach Wirkungsindikator zum Teil massiv von den deutschen Basisdaten des Vergleichsszenarios einheimischer Holzwerkstoffe unterscheiden.

Differenzen in den Ökobilanz-Ergebnissen der Szenarien konnten sich mithin sowohl aus der Unterschiedlichkeit von ökobilanziellen Basisdaten als auch aus den ökologischen Wirkungen der Importtransporte ergeben. Im *Studienteil B* wurden unter Berücksichtigung der skizzierten Randbedingungen die Szenarien gemäß Tab. 15 identifiziert und modelliert.

Nr.	Bezeichnung	Beschreibung	Aussagegehalt Erkenntnisbeitrag
1	Basis-Szenario	▶ einheimische Holzwerkstoffe ▶ ökobilanzielle Basisdaten gemäß Ökobau.dat ▶ keine Import-Transportentfernungen	(Vergleichsbasis)
2	Import-Szenario NOR _{real}	▶ Importholzwerkstoffe aus Norwegen ▶ norwegische ökobilanzielle Basisdaten ▶ mit Import-Transportentfernungen	formell korrekte ökobilanzielle Abbildung von Importholzwerkstoffen aus Norwegen
2a	Import-Szenario NOR _{var a}	▶ Importholzwerkstoffe aus Norwegen ▶ norwegische ökobilanzielle Basisdaten ▶ ohne Import-Transportentfernungen	ökobilanzieller Einfluss von ökobilanziellen Basisdaten für Importholzwerkstoffe aus Norwegen
2b	Import-Szenario NOR _{var b}	▶ einheimische Holzwerkstoffe ▶ ökobilanzielle Basisdaten gemäß Ökobau.dat ▶ mit Import-Transportentfernungen	ökobilanzieller Einfluss von Import-Transportentfernungen bei Importholzwerkstoffen aus Norwegen
3	Import-Szenario FRA _{real}	▶ Importholzwerkstoffe aus Frankreich ▶ französische ökobilanzielle Basisdaten ▶ mit Import-Transportentfernungen	formell korrekte ökobilanzielle Abbildung von Importholzwerkstoffen aus Frankreich
3a	Import-Szenario FRA _{var a}	▶ Importholzwerkstoffe aus Frankreich ▶ französische ökobilanzielle Basisdaten ▶ ohne Import-Transportentfernungen	ökobilanzieller Einfluss von ökobilanziellen Basisdaten für Importholzwerkstoffe aus Frankreich
3b	Import-Szenario FRA _{var b}	▶ einheimische Holzwerkstoffe ▶ ökobilanzielle Basisdaten gemäß Ökobau.dat ▶ mit Import-Transportentfernungen	ökobilanzieller Einfluss von Import-Transportentfernungen bei Importholzwerkstoffen aus Frankreich
4	Import-Szenario fiktiv	▶ einheimische Holzwerkstoffe ▶ ökobilanzielle Basisdaten gemäß Ökobau.dat ▶ mit durchschnittlichen Import-Transportentfernungen (gemäß Außenhandelsbeziehungen Holz/Holzwerkstoffen)	durchschnittlicher ökobilanzieller Einfluss von Import-Transportentfernungen bei Importholzwerkstoffen

Tab. 15: Szenario-Varianten aus Studienteil B

Norwegen (NOR) und Frankreich (FRA) stellten die Länder dar, mit denen nennenswerte Holzimport-Beziehungen bestehen und für die gleichzeitig (norm-)kompatible ökobilanzielle Basisdaten verfügbar sind.

Die zielführende Eigenschaft der Szenarien kann der Beschreibung in der rechten Spalte „Aussagegehalt | Erkenntnisbeitrag“ entnommen werden.

Das fiktive Import-Szenario sollte ergänzend den durchschnittlichen ökobilanziellen Einfluss von Transportentfernungen des Imports aufzeigen, in dem der Einfluss ausländischer ökobilanzieller Basisdaten eliminiert wurde.

Ein zweiter Fokus der finalen, vergleichenden ökobilanziellen Betrachtung wird auf das *End of Life* bzw. die Verwertung/Beseitigung der Konstruktionsmaterialien zu legen sein.

In Richtung einer finalen, vergleichenden ökobilanziellen Betrachtung sollen die Ergebnisse aus *Studienteil B* nunmehr zum einen auch den entsprechenden Ergebnissen der Muster-MFH-Varianten in Mauerwerks- und Stahlbetonbauweise gegenübergestellt werden (unter Verwendung der jüngsten Ergebnisse aus [9]).



Für die Ergebnisdarstellung und -auswertung zwischen den Muster-MFH-Varianten aus einheimischen Hölzern/Holzwerkstoffen (Basis-Szenario) bzw. aus ausländischen Importholzwerkstoffen (Szenarien 2 bis 4) und den Muster-MFH-Varianten in Mauerwerks- und Stahlbetonbauweise werden die absoluten Ökobilanz-Ergebnisse normiert, wobei Stahlbeton den auf 1 normierten Bezugspunkt darstellt.

Über die divergierenden (absoluten wie normierten) Ökobilanz-Ergebnisse sowohl der Import-Szenarien als auch der Mauerwerks-Varianten hinweg wird zudem eine *Mediandarstellung* gewählt unter simultaner Ausweisung zugehöriger *Minimal- und Maximal*-Werte.

Ferner werden als wesentliche Wirkungsindikatoren das Treibhaus- (GWP, Global Warming Potential) und Versauerungspotential (AP, Acidification Potential) sowie der Primärenergiebedarf gesamt (PE_{ges}) herangezogen.

Bei einer entsprechenden Betrachtung der ökobilanziellen Gesamtergebnisse - d.h. einer Bilanzierung aller Bauteile der jeweiligen Muster-MFH-Variante über den gesamten Lebenszyklus *sowie* des Wärme- und Stromverbrauchs während der Nutzungsphase - zeigt sich *für alle betrachteten Wirkungsindikatoren*, dass (vgl. Abb. 73 und Abb. 74)

- ▶ die Muster-MFH-Variante in Stahlbeton generell die höchsten ökobilanziellen Ergebnisse, d.h. Umweltwirkungen, aufweist
- ▶ die Ergebnisse respektive Umweltwirkungen *aller* Muster-MFH-Varianten inkl. derjenigen in Holzbauweise(n) gleichwohl auf einem ähnlichen Niveau liegen *weil* die ökobilanziellen Gesamtergebnisse sehr stark von den entsprechenden Umweltwirkungen geprägt werden, die aus dem Wärme- und Stromverbrauch der Nutzungsphase resultieren
- ▶ der Medianwert der Importszenarien leicht über dem Wert für die Holzbauweise mit einheimischen Hölzern liegt, d.h. der Holzimport demnach zu einer tendenziellen Verschlechterung der Ökobilanz bzw. Erhöhung der ökobilanziellen Umweltwirkungen führt.

Max. Abweichungen vom normierten Wert der Stahlbeton-Variante

- ▶ GWP: minus 12 % (Holz)
- ▶ AP: minus 6 % (Mauerwerk)
- ▶ PE_{ges}: minus 5 % (Holz)

Abweichungen des Holz-Medianwerts der Importszenarien vom Wert des Basis szenarios

- ▶ GWP: plus 1 %
- ▶ AP: ± 0%
- ▶ PE_{ges}: plus 1 %



LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH

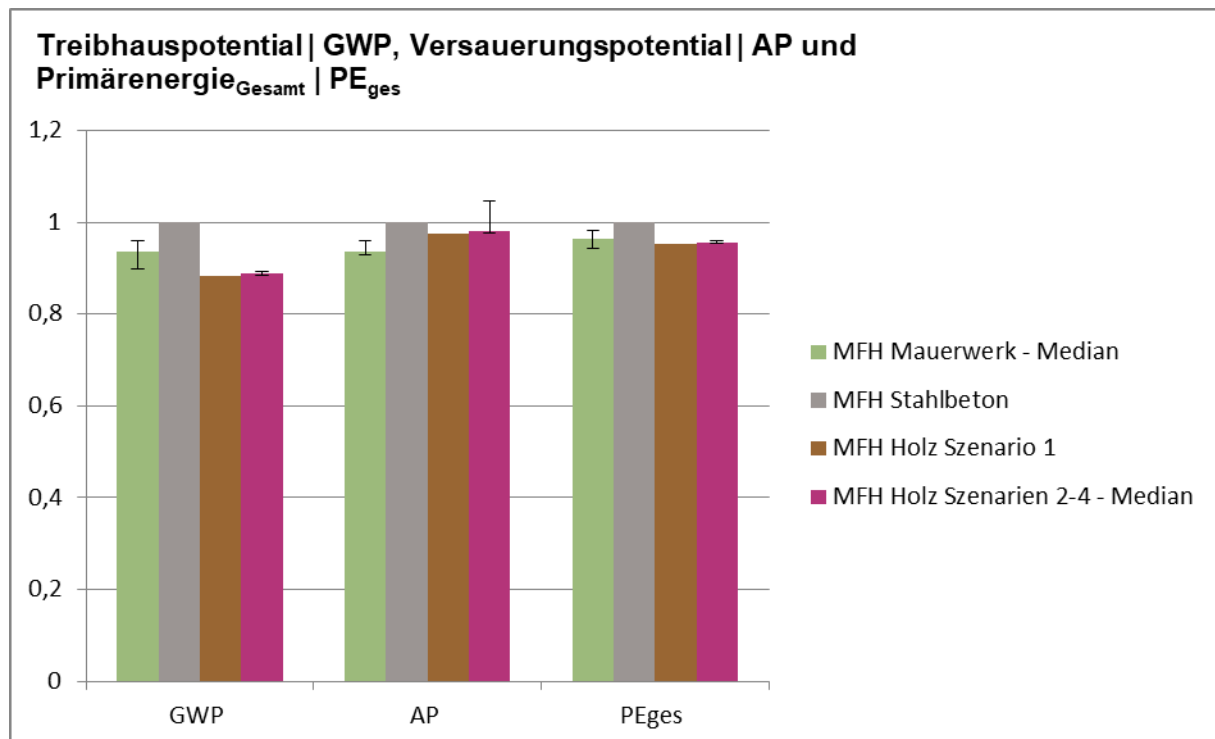


Abb. 73: Normierte ökobilanzielle Gesamtergebnisse der Muster-MFH-Varianten

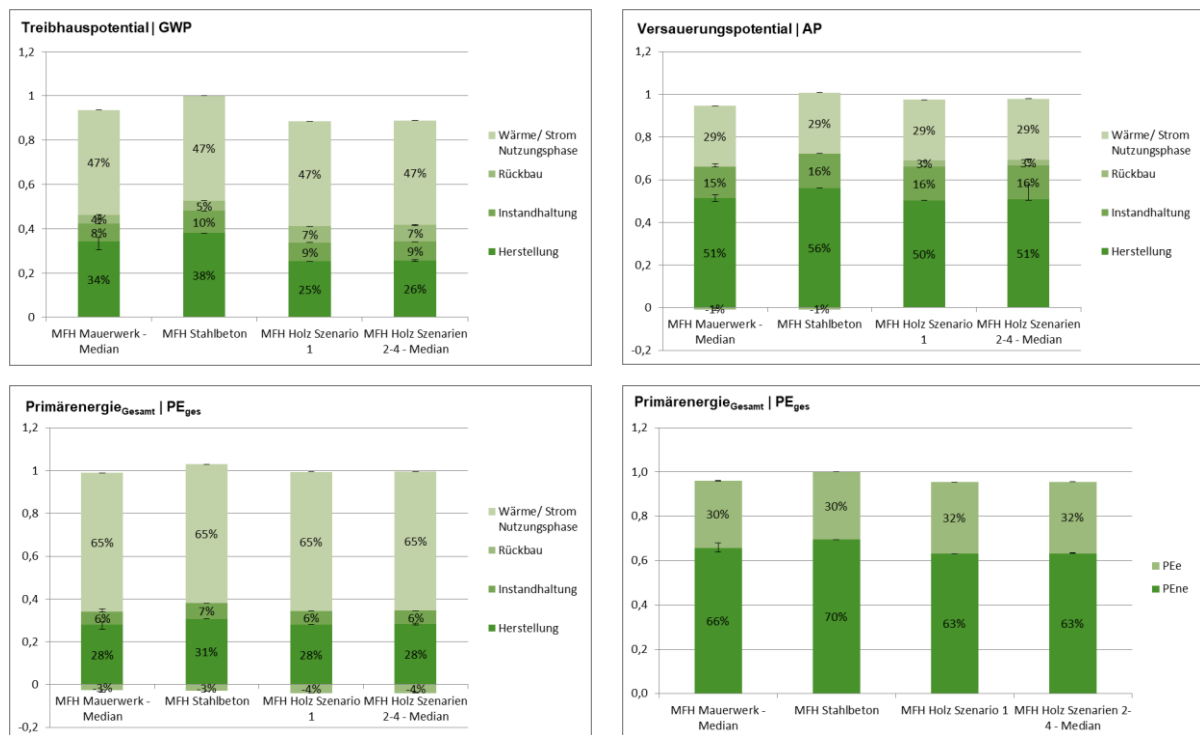


Abb. 74: Normierte ökobilanzielle Teil-Gesamtergebnisse der Muster-MFH-Varianten

Systemgrenzen und Berechnungsparameter: Bilanzierung aller Bauteile sowie des Wärme- und Stromverbrauchs der Nutzungsphase für einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren und über den gesamten Lebenszyklus hinweg (Herstellung | Nutzung | Rückbau).



Darüber hinaus zeigt sich speziell *für den Leitindikator GWP*, dass

- ▶ die maximalen Ergebnisse bzw. Umweltwirkungen der Importszenarien mit dem Medianwert der Mauerwerksvarianten des Muster-MFH gleichziehen bzw. sich der Abstand zum maximalen Wert der Mauerwerksvarianten verringert

bzw. speziell *für den Indikator AP*, dass

- ▶ sich der Abstand des Medianwerts der Importszenarien vom Medianwert der Mauerwerksvarianten des Muster-MFH vergrößert

Resümierend bedeuten diese Ergebnisse, dass der Import von Holz und Holzwerkstoffen sich auf die ökobilanziellen Ergebnisse respektive Umweltwirkungen (des betrachteten Muster-MFH) auswirkt.

Ein zweiter Fokus der finalen, vergleichenden ökobilanziellen Betrachtung soll zum anderen auf das *End of Life* bzw. die Verwertung/Beseitigung der Konstruktionsmaterialien und die Hintergründe der entsprechenden ökobilanziellen Teilergebnisse gelegt werden.

In der soeben dargestellten Ökobilanz des Muster-MFH wurde das End of Life der Varianten in Holzbauweise bzw. deren holzbasierten Konstruktions- und sonstigen Materialien als thermische Verwertung modelliert. Bei der entsprechenden Verbrennung des Altholzes wird naturgemäß beim Wachstum des Baumes (als Ausgangsgestalt des Holzes) gespeichertes (biogenes) CO₂ wieder frei. Per Saldo – d.h. unter Berücksichtigung einer Gutschrift (als negativer Wert) aufgrund der Substitution fossiler Brennstoffe – beträgt die CO₂-Emission pro kg thermisch verwertetem Altholz ca. 1 kg CO₂-Äquivalent [71].

Die prinzipiell denkbare Alternative des End of Life als stoffliche Verwertung des Altholzes wurde bewusst nicht betrachtet. Denn bei der stofflichen Verwertung von Altholz aus dem Rückbau von Gebäuden handelt es sich (derzeit noch) um ein theoretisches Optimal-Szenario, dessen Grundvoraussetzungen (Rationeller Einsatz von Holzschutzmitteln, sorgfältige Trennung,

In ähnlicher Weise erfolgt auch eine Gutschrift für die Ökobilanz-Indikatoren der Primärenergiebedarfe nicht erneuerbar und erneuerbar.

Sammlung und Aufbereitung des Altholzes) (noch) nicht erfüllt sind (siehe dazu überblicksweise bereits unter *Studienteil B*). Nachfolgend sollen die Hintergründe dieser Recycling-Restriktionen sowie auch die (theoretischen) Potentiale des Altholzrecyclings ausführlicher thematisiert werden.

Theorie + Wirklichkeit der Kaskadennutzung von Holz

Das o.g. End of Life-Szenario der thermischen Verwertung von Altholz ist mit Blick auf exemplarische statistische Zahlen der generellen Altholzverwendung in Bayern absolut realistisch. Wie aus Abb. 75 hervorgeht, werden fast 70 % des bayerischen Altholzaufkommens thermisch verwertet und lediglich 19,3 % einer stofflichen Verwertung zugeführt.

Dieser Fokus auf die thermische Verwertung gilt insbesondere auch für die Fraktion Altholz aus Gebäudeabbruch [72].

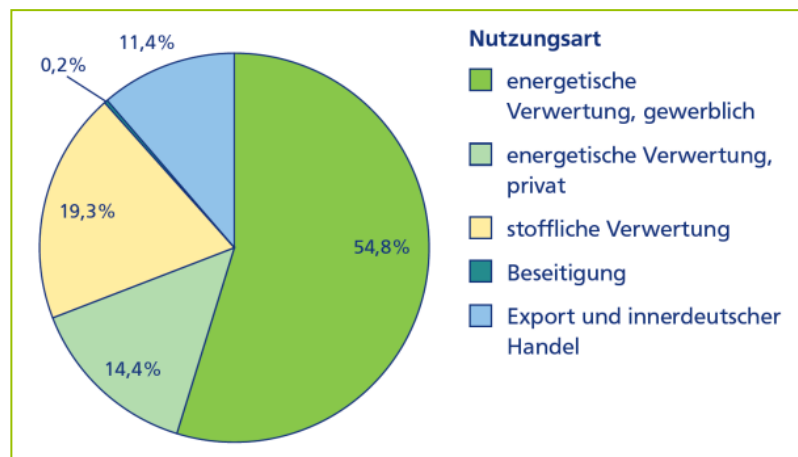


Abb. 75: Altholzverwendung in Bayern (2010) [72]

Darin sind allerdings insbesondere auch Altholzmengen aus anderen Wirtschaftsbereichen als dem des Rückbaus von Gebäuden enthalten, die im Übrigen zudem den weitaus größten Anteil an den Gesamtmengen haben: von der landesweiten Altholzmenge i.H.v. 1,25 Mio. t entfallen nur 35.000 t (bzw. 57.000 m³) auf den Rückbau/Abbruch von Gebäuden (ca. 3 % der Gesamtmenge in t) [73].

Allerdings ist die Frage nach dem mengenmäßigen stofflichen Verwertungspotential ohnehin überhaupt erst dann relevant, wenn die qualitativen Altholz-Voraussetzungen für eine stoffliche Verwertung erfüllt sind (siehe sogleich unten).

Mengenmäßiges stoffliches *Verwertungspotential* für Altholz aus Gebäudeabbruch damit im Vergleich zu übrigen Altholzmengen sehr gering.

Kaskadennutzung von Altholz

Nur geringe Anteile werden wieder derselben (hochwertigen) Produktkategorie zugeordnet.

Die thermische Verwertung gilt gemäß dem deutschen Kreislaufwirtschaftsgesetz nicht als Form des Recycling und stellt gegenüber den verschiedenen Ausprägungen der stofflichen Verwertung eine nachgeordnete Abfallhierarchie-Stufe dar.

Im Kontext einer stofflichen und energetischen Verwertung der Fraktion Altholz wird die sogenannte Kaskadennutzung i.S.e. sukzessiven mehrmaligen Nutzung eines (Roh-)Stoffs zur Herstellung von Produkten gefolgt von einer *abschließenden thermischen Verwertung* diskutiert (siehe Abb. 76).

Wie aus der exemplarischen Übersicht einer Holznutzungskaskade hervorgeht, handelt es sich bei den einzelnen Kaskaden stets überwiegend um ein sogenanntes *Downcycling*, da die Folgenutzung einer niedrigerwertigen Produktkategorie zugeordnet wird.

Ziel eines Projekts des Lehrstuhls für Holzwissenschaft der TU München war in diesem Zusammenhang jedenfalls zunächst, die potentielle (Menge und) Qualität des jährlichen aus dem bayerischen Gebäudebestand anfallenden Altholzes zu ermitteln [72]. Dabei wurde festgestellt, dass etwas weniger als die Hälfte des anfallenden Altholzes den gesetzlichen Anforderungen der Altholzverordnung (AltholzV; siehe Tab. 16) für eine stoffliche Verwertung entspricht (vgl. Abb. 77): 25 % könnten als Altvollholz für hochwertige Nachnutzungen verwendet werden, 19 % eignen sich nur als Rohstoff für span-/faserbasierte Holzwerkstoffe. Für 56 % des Altholzes aus Gebäudeabbruch kommt demgegenüber nur die energetische Verwertung in Frage.

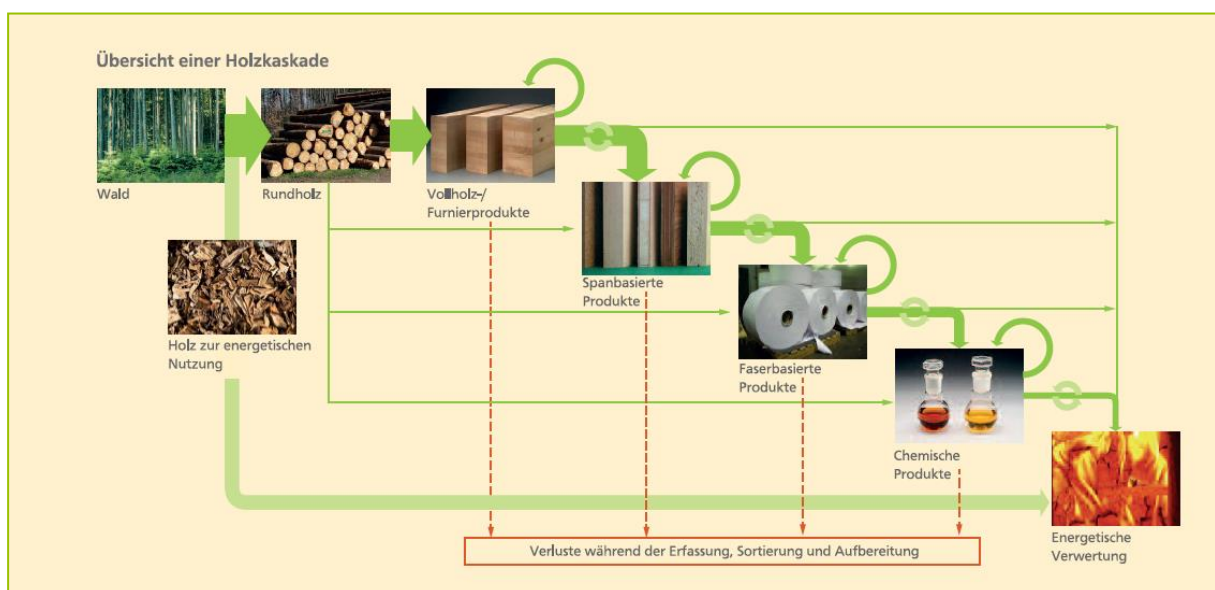


Abb. 76: Beispielhafte Holzkaskade [72]



Altholz-Kategorie:	A I	A II	A III	A IV
Definition gemäß §2 AltholzV	naturbelassenes oder lediglich mechanisch bearbeitetes Altholz, das bei seiner Verwendung nicht mehr als unerheblich mit holzfreien Stoffen verunreinigt wurde	Verleimtes, gestrichenes, beschichtetes, lackiertes oder anderweitig behandeltes Altholz ohne halogenorganische Verbindungen in der Beschichtung und ohne Holzschutzmittel	Altholz mit halogenorganischen Verbindungen in der Beschichtung ohne Holzschutzmittel	Mit Holzschutzmitteln behandeltes Altholz [...] sowie sonstiges Altholz, das auf Grund seiner Schadstoffbelastung nicht den Altholzkategorien A I, A II oder A III zugeordnet werden kann, ausgenommen PCBAtholz
Beispiele (vgl. Anhang III AltholzV)	Holzpackmittel wie Paletten aus Massivholz, ohne Farbbeschichtungen, Lasuren o.Ä.	Spanplatten, roh oder mit Furnier und Klarlack, Fußbodenelemente aus Laminat	Altmöbel mit Oberflächenbeschichtungen bzw. Kantenanleimern aus PVC	Bahnschwellen, Leitungsmasten, Hopfenstangen, Garten- und Rebpfähle sowie överschmutzte Holzpackmittel
Stoffliche Verwendung in Holzwerkstoffen	Zugelassen, es bestehen jedoch Schadstoffgrenzwerte für Holzhackschnittel und Holzspäne zur Herstellung von Holzwerkstoffen (vgl. Anhang II zu §3 Abs. 1 AltholzV)	Zugelassen, es bestehen jedoch Schadstoffgrenzwerte für Holzhackschnittel und Holzspäne zur Herstellung von Holzwerkstoffen (vgl. Anhang II zu §3 Abs. 1 AltholzV)	Die Aufbereitung von Altholz der Altholzkategorie A III ist nur zulässig, wenn Lackierungen und Beschichtungen durch eine Vorbehandlung weitgehend entfernt wurden oder im Rahmen des Aufbereitungsprozesses entfernt werden.	nicht zugelassen
Energetische Verwendung	Nicht auf Anlagentypen beschränkt	Beschränkt durch das BImSchG, auf Anlagen mit Genehmigung nach der 4. BImSchV, soweit schwermetalldfrei sowie nach der 1. BImSchV auf Anlagen ab 30 Kilowatt Nennwärmeleistung in Betrieben der Holzbe- oder -verarbeitung	Beschränkt durch das BImSchG auf Anlagen mit Genehmigung nach der 17. BImSchV	Beschränkt durch das BImSchG auf Anlagen mit Genehmigung nach der 17. BImSchV

Tab. 16: Übersicht Altholzkategorien gemäß AltholzV [73]

Das Potential kann aufgrund der Bau- und Abbruchpraxis derzeit (noch) nicht tatsächlich realisiert werden.

Zudem handelt es sich gemäß [72] bei den Anteilen für die kaskadierende stoffliche Holznutzung und -verwertung um ein Optimal-Szenario, „das einen rationalen Einsatz von Holzschutzmitteln und vor allem eine sorgfältige Trennung, Sammlung und Aufbereitung [...] voraussetzt“.

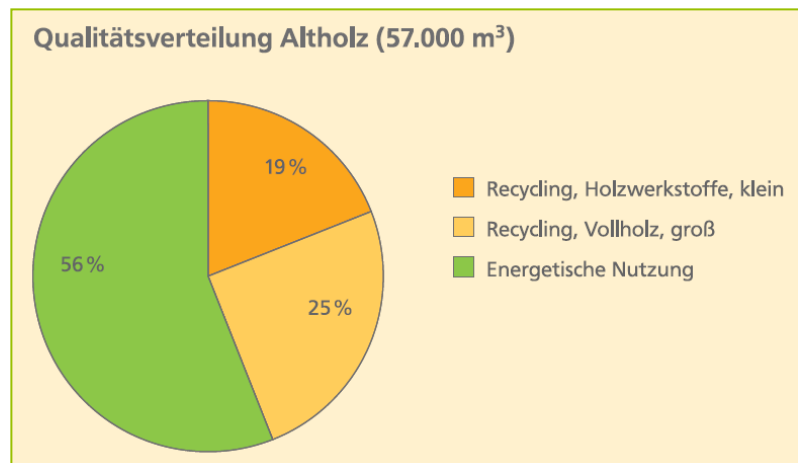


Abb. 77: Qualitätsverteilung Altholz aus Gebäudeabbrüchen [72]



So wird in der genannten Studie präzisierend ausgeführt, dass eine entsprechende effiziente Holzaufbereitung und -logistik die Grundvoraussetzung zur Erschließung des ohnehin „begrenzten Potentials“ der Holzkaskadennutzung sei. Außerdem trage die Verbrennung von Altholz zur Gewinnung von Prozesswärme (v.a. in der Spanplattenherstellung) zur Reduzierung der Holzmenge für Kaskadennutzungen bei.

Überhaupt wird die steigende Nachfrage nach Energieholz (siehe hierzu auch unter *Studienteil A*) i.V.m. der Kaskadennutzung kritisch betrachtet: Es müsse [...] darauf geachtet werden, dass der Ausbau der Kaskadennutzung nicht dazu führe, substituiertes Frischholz energetisch zu verwerten (ohne dass dieses Holz irgendwann im Stofflebenszyklus zumindest einmal eine nicht-energetische, stoffliche Funktion innehatte).

Derzeit lassen sich allerdings gleichzeitig auch Entwicklungen feststellen, die für erhebliche Probleme bei der thermischen Verwertung von Altholz sorgen können. Einerseits besteht auf dem Altholzmarkt ein Mengengestau bei der Altholzentorgung, was als ernsthafte Gefahr für das etablierte Entsorgungssystem gewertet wird [74]. Andererseits droht die Novellierung des EEG (Begrenzung des jährlichen Ausbaus entsprechender Bioenergie-Leistung, sukzessives Ausscheiden der Altholzverwertung aus EEG-Vergütung) diesen Zustand massiv zu verschärfen [75].

Diametral anders stellt sich die Verwertung der für Abbruch und Rückbau mineralisch basierter Bauweisen (Mauerwerk und Stahlbeton) relevanten Wertstofffraktion des Bauschutts dar. Mit ca. 13 % macht diese Fraktion einen erheblichen Anteil des jährlichen gesamtdeutschen Abfallaufkommens von an die 400 Mio. t aus, wird aber nahezu vollständig (ca. 95 %) stofflich verwertet; über 78 % davon sogar relativ hochwertig als Recycling [9].

Altholz könnte damit nach Auffassung von Fachverbänden der Entsorgungswirtschaft [74] zu einem Entsorgungsproblem von mehreren Mio. t werden.



Soziokulturell-funktionale Komfortaspekte

Angesichts der Bedeutung der Nutzungsphase von Gebäuden allgemein bzw. von Wohngebäuden im Speziellen [7]-[9] – letztlich induziert durch die menschlichen Aufenthaltszeiten in geschlossenen Räumen – sind soziokulturell-funktionale Komfortaspekte als ganz wesentliche Merkmale einer ganzheitlichen Nachhaltigkeitsqualität von (Wohn-)Gebäuden zu nennen.

Dabei wird das Komfortniveau einer Umgebungssituation, z.B. in einem Wohngebäude, aus baukonstruktiver bzw. konstruktionsspezifischer Perspektive durch den thermischen und akustischen Komfort sowie die Innenraumluftqualität determiniert.²⁸

Baukonstruktive Determinanten für das Komfortniveau

Thermischer Komfort

Auch im Deutschen Gütesiegel Nachhaltiges Bauen sind diese Indikatoren als Bewertungsbasis etabliert.

Das Empfinden des thermischen Komforts eines Raumes durch die Nutzer hängt – neben individuellen Faktoren wie Bekleidung, körperlicher Aktivität oder Gesundheitszustand – im Wesentlichen grundsätzlich von den Faktoren operative Temperatur, Zugluft, Strahlungstemperaturasymmetrie und Luftfeuchte ab. Allerdings weisen nicht alle der genannten Faktoren eine – hier maßgebliche – baukonstruktive bzw. konstruktionsspezifische Abhängigkeit auf. Vielmehr ist dies nur für die Faktoren der operativen Temperatur und Strahlungstemperaturasymmetrie der Fall, während die beiden anderen Faktoren primär Abhängigkeiten von und zu der Anlagentechnik aufweisen und hier nicht weiter betrachten werden sollen.

Thermischer Komfort Winter

Gemäß Definition der operativen Temperatur genügt eine angemessene Lufttemperatur allein nicht, um behagliche thermische Bedingungen sicherzustellen. Für eine als behaglich empfundene Raumtemperatur müssen z.B. auch die Außenwände ausreichende Oberflächentemperaturen aufweisen. Diese wiederum werden von den Dämmeigenschaften des Wandaufbaus bestimmt, zusammengefasst in der Kennzahl des U-Werts.

²⁸ Andere Komfortaspekte (visueller Komfort, Nutzereinflussnahme) werden konstruktionsunspezifisch durch Grundriss/ Fensterdimensionierung oder die anlagentechnische Ausstattung bestimmt.

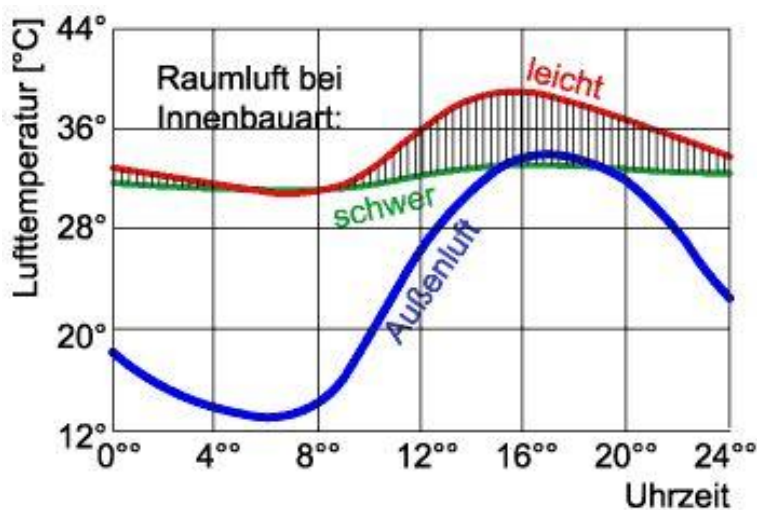


Thermischer Komfort Sommer

Mit Mauerwerkskonstruktionen können mit üblichen Wandstärken U-Werte bis zum Passivhaus-Standard erreicht und im Zusammenspiel mit hochwärmegedämmten Fenstern/Türen und einer hohen energetischen Qualität übriger außenraumbegrenzender Bauteile (Bodenplatte, oberste Geschossdecken/Dachflächen) auch Temperaturasymmetrien vermieden werden.

Diese energetische Qualität der Gebäudehülle lässt sich heute prinzipiell auch in Holzbauweise erreichen. Jedoch hat die leichte (standardmäßige) Konstruktionsart in Holzständer-/tafelbauweise bei hohen Außentemperaturen im Sommer einen zentralen Nachteil. Denn für einen guten sommerlichen Wärmeschutz ist – über aktive anlagentechnische Maßnahmen wie etwa die Ausführung von Sonnenschutzsystemen – auch die Wärmespeicherfähigkeit entscheidend.

Aufgrund ihrer niedrigeren Masse und vergleichsweise geringen Trägheit bei Temperaturänderungen sind leichten Holzkonstruktionen nicht im selben Ausmaß wie massive Mauerwerkswände in der Lage, Wärme aufzunehmen und erst zeitverzögert wieder abzugeben, die Wärme also zu puffern. Im bauordnungsrechtlichen Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes [76] wird die Wärmespeicherfähigkeit der Baukonstruktion explizit erfasst.



Eine mittlere und schwere Bauart wird beim Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 und der entsprechenden Berechnung des *zulässigen Sonneneintragskennwerts* positiv berücksichtigt. Dadurch wird die Speichermasse und Pufferwirkung massiver Wandkonstruktionen abgebildet. Mithin wirkt sich Mauerwerk im Hinblick auf den sommerlichen Wärmeschutz positiv aus.

Abb. 78: Temperaturverläufe Sommer ohne Verschattung für leichte und schwere Bauweise [77]



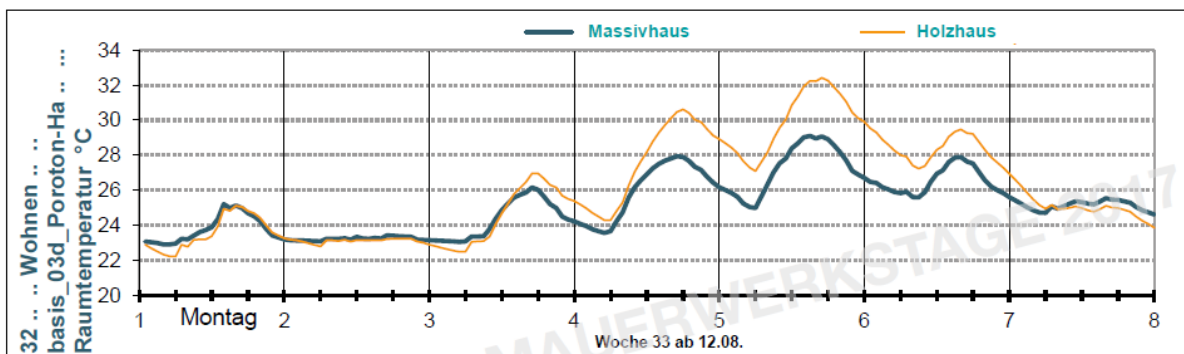
Die Simulationen aus [78] wurden durchgeführt an einem Musterhaus Typengebäude EFH der ARGE//eV (Schwestergebäude zum Musterhaus Typengebäude MFH aus Abb. 10).

Die Auswirkungen dieser Speichermassenunterschiede auf den thermischen Komfort z.B. in einem Wohngebäude lassen sich mittels thermischer Simulationen relativ exakt quantifizieren, mithin die Nachteile leichter Bauweisen wie der Holzbauweise entsprechend qualifizieren [78]; es sind dies die folgenden (siehe auch Abb. 79 bis Abb. 81):

- ▶ Schnellere Innenraumtemperaturerhöhung
- ▶ Höhere Spitzentemperaturen
Im Holzhaus um bis zu 2,8°C höher als im Massivhaus
- ▶ Höhere Überhitzungshäufigkeiten
Im Holzhaus fast doppelt so hoch wie im Massivhaus
- ▶ Längere Überhitzungszeiträume im Jahresverlauf
Im Holzhaus Überhitzungsfälle noch im September, im Massivhaus nur bis August

Die Speichermassen- bzw. Speicherfähigkeitsunterschiede wirken sich im Übrigen auch für den Heizfall aus. Denn der Heizenergiebedarf in Wohngebäuden in Holzbauweise ist ca. 6 % höher als in Mauerwerkspendents.

Insgesamt sind für das in [78] simulativ analysierte Musterhaus in leichter Holzbauweise ggü. der Massivbauweise demnach ein weniger träges Temperaturverhalten, ein schlechterer thermischer Komfort im Sommer und ein ungünstigeres Heizverhalten zu konstatieren.



▲ Gemittelte Raumtemperatur des Gesamtgebäudes in der extremen Sommerwoche für beide Bauweisen

Abb. 79: Vergleich Massivhaus vs. Holzhaus für extreme Sommerwoche – Verlauf Innentemperaturen

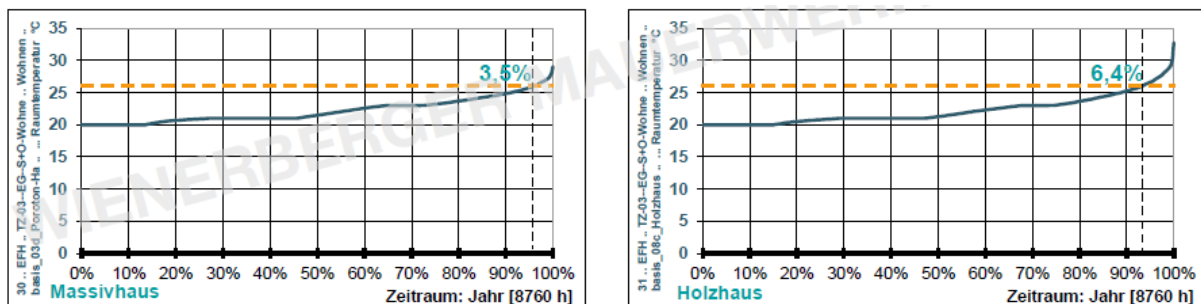


Abb. 80: Vergleich Massivhaus vs. Holzhaus für Überhitzungshäufigkeiten (Überschreitung 26°C-Grenze)

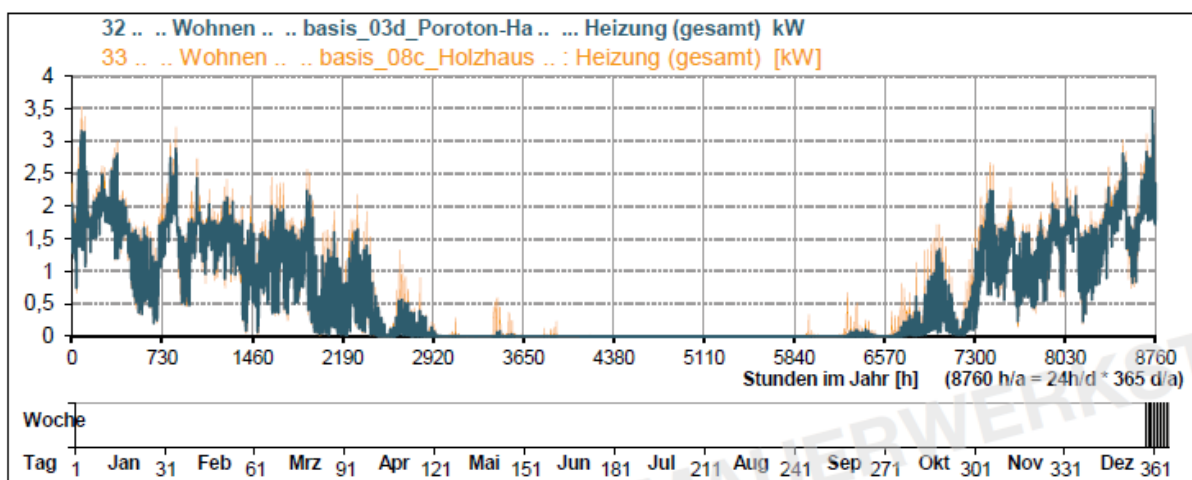


Abb. 81: Vergleich Massivhaus vs. Holzhaus für Heizleistungen im Jahresgang

Akustischer Komfort

Wegen der funktionalen Abhängigkeit von Raumvolumen und Oberflächenmaterialien ist die Nachhallzeit kein Aspekt einer baukonstruktiven/ konstruktions-spezifischen Nachhaltigkeits-analyse von (Wohn-)Gebäuden.

Hinsichtlich des akustischen Nutzerkomforts bestehen prinzipiell zweierlei Anforderungsbereiche. Zum einen muss ein Gebäude den Nutzern eine der Nutzung angemessene raumakustische Qualität bieten. Die wichtigste raumakustische Kennzahl - die *Nachhallzeit* - ist allerdings allein abhängig vom Raumvolumen und den Absorptionseigenschaften der umschließenden Oberflächen, das heißt den Oberflächenmaterialien.

Zum anderen muss ein Gebäude die Nutzer vor Schallbelästigungen von außen oder aus anderen - fremden wie eigenen - Wohnbereichen schützen (*Schallschutz*) [79]. Im Kontext einer Nachhaltigkeitsbeurteilung von Wohngebäuden sind diesbezüglich in erster Linie Anforderungen an den Luftschallschutz von Trenn- (gegenüber fremden Wohneinheiten bzw. Wohnbereichen), Außen- (gegenüber Außenlärm) und Innenwänden gegenüber anderen eigenen Wohnbereichen sowie – insbesondere für Holzbauten mit Geschossdecken als Holzkonstruktion – an den Trittschallschutz einschlägig.



Schallschutztechnische Anforderungskategorien für Wohngebäude

Anforderungswerte an die schallschutztechnische Qualität von Wandkonstruktionen werden einerseits in der DIN 4109 [80] und dem zugehörigen Beiblatt 2 [81] sowie andererseits ergänzend z.B. in der DEGA-Empfehlung 103 [82] festgelegt. Als Kenngröße zur Einschätzung der schallschutztechnischen Qualität wird insbesondere das bewertete Bau-Schalldämm-Maß R'_w herangezogen (siehe Tab. 17).

Diese Kenngröße beschreibt gemäß ihrer Namensgebung die Fähigkeit eines Bauteils, den Schall zu dämmen und steht in einem funktionalen Zusammenhang mit der flächenbezogenen Masse m' des Bauteils. Dabei gilt grundsätzlich, dass das bewertete Schalldämm-Maß mit der flächenbezogenen Masse zunimmt.

Anforderung	DIN 4109	DIN 4109, Beiblatt 2	DEGA-Empfehlung 103
Luftschallschutz Trennwände (ggü. fremden Wohnbereichen)	erf. $R'_w = 53$ dB	erf. $R'_w \geq 55$ dB	von erf. $R'_w \geq 50$ dB (Schallschutzklasse E) bis erf. $R'_w \geq 72$ dB (Schallschutzklasse A*)
Luftschallschutz Außenwände (ggü. Außenlärm)	erf. $R'_w = 40$ dB (z.B. für Lärmpegelbereich IV)	siehe DIN 4109	wie DIN 4109 (Schallschutzklassen D bis A) bzw. wie DIN 4109 + 5 dB (Schallschutzklasse A*)
Luftschallschutz Innenwände (ggü. eigenen Wohnbereichen)	keine	erf. $R'_w = 40$ dB (normaler Schallschutz) erf. $R'_w \geq 47$ dB (erhöhter Schallschutz)	erf. $R'_w \geq 42$ dB (Klasse EW1: keine Vertraulichkeit) erf. $R'_w \geq 47$ dB (Klasse EW2: Vertraulichkeit gegeben)

Tab. 17: Schallschutztechnische Anforderungen mit Relevanz für Wandkonstruktionen

Die DIN 4109 legt lediglich Mindestanforderungen an den Schallschutz zwischen fremden Wohnbereichen und gegenüber Außenlärm fest. Das Beiblatt 2 enthält hierzu Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz und Empfehlungen für den normalen und erhöhten Schallschutz im eigenen Wohnbereich. Die DEGA-Empfehlung 103 bündelt die Anforderungen der DIN 4109 und des Beiblatts 2 und ergänzt den Gesamtumfang an Schallschutzanforderungen um weitere Geräuscharten.

Die genannten Normen legen zudem auch die Anforderungswerte für Schallschutzgüte von Geschossdecken fest, die vor allem in der Geschossbauweise (nicht nur, aber insbesondere auch in Holzbauweise) als wichtiges Trennbau teil gelten [83][84][85] – sowohl hinsichtlich Luftschall- als insbesondere auch Trittschallschutz. Kenngröße für den Trittschallschutz ist dabei der bewertete Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$.



Anforderung	DIN 4109	DIN 4109, Beiblatt 2	DEGA-Empfehlung 103
Luftschallschutz Trenndecken	erf. $R'_w = 54$ dB	erf. $R'_w \geq 55$ dB	von erf. $R'_w \geq 50$ dB (Schallschutzklasse E) bis erf. $R'_w \geq 72$ dB (Schallschutzklasse A*)
Trittschallschutz Trenndecken	erf. $L'_{n,w} = 53$ dB	erf. $L'_{n,w} \leq 46$ dB	von erf. $L'_{n,w} \leq 60$ dB (Schallschutzklasse E) bis erf. $L'_{n,w} \leq 28$ dB (Schallschutzklasse A*)

Tab. 18: Schallschutztechnische Anforderungen mit Relevanz für Trenndecken

Erforderliche konstruktive
Lösungen für Wandbauteile

Prinzipiell lässt sich in Holzbauweise – auch für besonders lärmsensitive Mehrfamilienhäuser – eine hohe, mit Massivbauweisen vergleichbare schallschutztechnische Qualität realisieren [83][86]. Allerdings sind hierfür besondere Konstruktionsdetails und Materialkombinationen erforderlich. Denn die Materialien und Grundkonstruktionen des Holzbaus sind leichter als die des Massivbaus, haben mithin zunächst spürbare Nachteile aufgrund der deutlich geringeren, schallschutztechnisch aber maßgeblichen flächenbezogenen Masse [84].

Dieser zentrale Nachteil muss entsprechend kompensiert werden. Für Wandbauteile und -konstruktionen bedeutet dies, dass doppel- und mehrschalige Konstruktionen (mit idealerweise biegeweichen Schalen) notwendig werden – ggf. unter Ergänzung zusätzlicher schwerer Massen, weil einschalige, plattenförmige Holzbaulemente in annehmbarer Bauteildicke nicht die nötige schallschutztechnische Qualität liefern können [84]. Zudem sind bei solchen komplexen Wandaufbauten (siehe Abb. 82) auch ausführungstechnische Details wie etwa die Befestigung/Entkopplung der Beplankungen (Trennung vom Ständerwerk oder Beplankung auf Federschienen), die Hohlraumdämmung (positive Auswirkungen von masseerhöhenden Dämmstoffen) oder der Einfluss von Abständen/des Rasters des Ständerwerks (bei Rahmen-/Tafelbauweise) zu beachten, weil dort Einflüsse auf den Schallschutz bestehen [87].



Erforderliche konstruktive Lösungen für Trenndecken

Im Bereich der Geschoss-/Trenndecken in Holzbauweise gilt der Trittschall als „besonders kritischer Störschall-Erzeuger“, da diese leichten (Grund-)Konstruktionen aus Trockenestrichen und darunter liegenden Hohlraum-Holzdeckenelementen „zum Dröhnen und Poltern“ neigen (ungünstige Resonanzauswirkungen) [84].

Auch hier gilt, dass für schallschutztechnische Verbesserungen der (Grund-)Konstruktionen entweder eine Erhöhung der (Flächen-)Masse und/oder eine Verbesserung der Entkopplung nötig ist [54]. Die Erhöhung der (Flächen-)Masse – z.B. in Form einer Rohdeckenbeschwerung oder einer Beschwerung der Unterdecke – führt i.Erg. dazu, dass die Anregbarkeit (sog. *Admittanz*) der Deckenkonstruktion reduziert wird. Eine Entkopplung mittels schwimmenden Estrichs oder eine abgehängte (ggf. auf Federschienen gelagerten oder komplett entkoppelten) Unterdecke verringert die Übertragung der Bauteilschwingungen [83] (siehe Abb. 83).

Als Maßnahmen der Deckenbeschwerung mit möglichst massehaltigen und biegeweichen Lösungen kommen in der Praxis Beschwerungen aus Beton/Gehwegplatten, Kalksandsteinen, Vollziegeln oder Schüttungen aus Sand, Kalksplitt, Kies zur Anwendung (siehe Abb. 84).

Fazit zum Schallschutz im Holzbau

Zusammenfassend ist daher qualitativ zu konstatieren, dass schallschutztechnisch relevante Bauteile wie Wände und Decken in Holzbauweise ein normkonformes Niveau der schallschutztechnischen Qualität erreichen können, hierzu aber zwingend besondere Konstruktionsdetails und Materialkombinationen nötig werden, um den zentralen Nachteil der holzbasierten Grundkonstruktionen in punkto flächenbezogener Masse als maßgeblichem schallschutztechnisches Merkmal zu kompensieren.

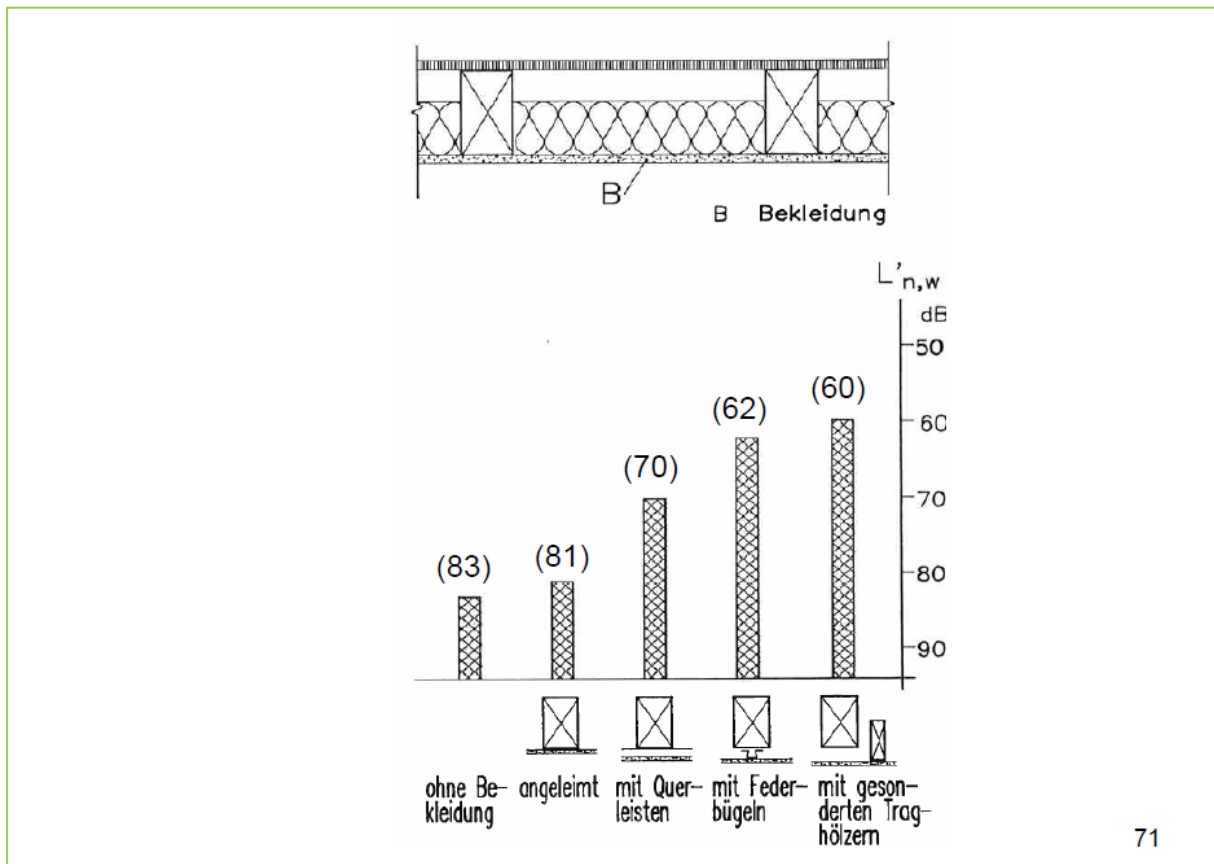


LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH

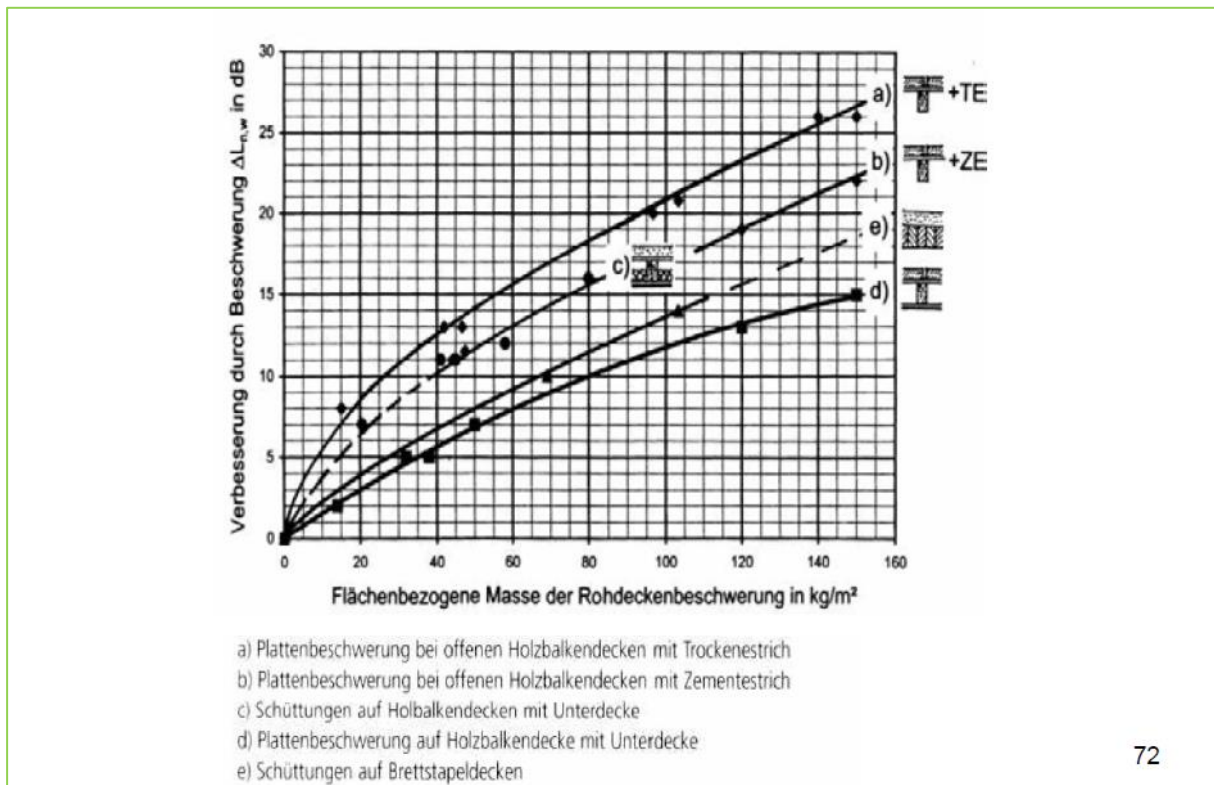
Lfd. Nr.	Konstruktion	Konstruktion (Angaben in mm)	Ständertiefe (mm)	Gesamtdicke (mm)	Rachenwert $R_{w,z}^{(2)}$
1		12,5 Gipskartonplatte GKB ⁽¹⁾ Holzständer 60/60 oder 60/140 ⁽¹⁾ mit Vordämmung ⁽¹⁾ in der Dicke der Ständer 12,5 Gipskartonplatte GKB ⁽¹⁾	60	85	36 dB
			140	165	40 dB
2		12,5 Gipsfaserplatte GF ⁽¹⁾ Holzständer 60/60 oder 60/140 ⁽¹⁾ mit Vordämmung ⁽¹⁾ in der Dicke der Ständer 12,5 Gipsfaserplatte GF ⁽¹⁾	60	85	41 dB
			140	165	42 dB
3		10 Gipsfaserplatte GF ⁽¹⁾ 12,5 Gipsfaserplatte GF ⁽¹⁾ Holzständer 60/60 oder 60/140 ⁽¹⁾ mit Vordämmung ⁽¹⁾ in der Dicke der Ständer 12,5 Gipsfaserplatte GF ⁽¹⁾ 10 Gipsfaserplatte GF ⁽¹⁾	60	105	46 dB
			140	185	46 dB
4		15 OSB-Platte OS ⁽¹⁾ Holzständer 60/60 oder 60/140 ⁽¹⁾ mit Vordämmung ⁽¹⁾ in der Dicke der Ständer 15 OSB-Platte OS ⁽¹⁾	60	90	33 dB
			140	170	36 dB
5		9,5 Gipskartonplatte GKB ⁽¹⁾ 15 OSB-Platte OS ⁽¹⁾ Holzständer 60/60 oder 60/140 ⁽¹⁾ mit Vordämmung ⁽¹⁾ in der Dicke der Ständer 15 OSB-Platte OS ⁽¹⁾ 9,5 Gipskartonplatte GKB ⁽¹⁾	60	109	38 dB
			140	189	40 dB
6		9,5 Gipskartonplatte GKB ⁽¹⁾ 15 OSB-Platte OS ⁽¹⁾ Holzständer 60/60 oder 60/140 ⁽¹⁾ mit Vordämmung ⁽¹⁾ in der Dicke der Ständer 12,5 Gipskartonplatte GKB ⁽¹⁾	60	97	37 dB
			140	177	40 dB
7		135 Brettsperrholzelement BS ⁽¹⁾ Holzständer 80/80 ⁽¹⁾ mit 80 Dämmung ⁽¹⁾ 12,5 Gipskartonplatte GKB ⁽¹⁾	80	228	43 dB
8		135 Brettsperrholzelement BS ⁽¹⁾ Holzständer 80/80 ⁽¹⁾ mit 80 Dämmung ⁽¹⁾ 27 Federschöne ⁽¹⁾ 12,5 Gipskartonplatte GKB ⁽¹⁾	80	255	49 dB
9		12,5 Gipskartonplatte GKF ⁽¹⁾ 12,5 Gipskartonplatte GKF ⁽¹⁾ Holzständer 60/60 ⁽¹⁾ mit 60 Dämmung ⁽¹⁾⁽⁷⁾ 30 Trennfuge ⁽¹⁾ Holzständer 60/60 ⁽¹⁾ mit 60 Dämmung ⁽¹⁾⁽⁷⁾ 12,5 Gipskartonplatte GKF ⁽¹⁾ 12,5 Gipskartonplatte GKF ⁽¹⁾		200	59 dB

Abb. 82 Exemplarische Wandaufbauten für Innenwandbauteile [87]



71

Abb. 83: Beispiele für schallschutztechnische Entkopplung durch Unterdeckenkonstruktionen [88]



72

Abb. 84: Beispiele für Rohdeckenbeschwerungen [88]



Innenraumlufthqualität

Für das Wohlbefinden und im Besonderen die Gesundheit der Nutzer ist außerdem die Innenraumlufthqualität in Gebäuden von entscheidender Bedeutung. Vor allem ältere Menschen und Kinder gelten als besonders empfindlich hinsichtlich einer Belastung der Innenraumlufth mit Schadstoffen biologischer (Schimmelpilze, Milben, etc.) oder chemisch-physikalischer Herkunft (Faserstäube, Lösungsmittel, Formaldehyd, Halogene, etc.).

Zentraler Aspekt Schadstoffe

Wiederum aus rein baukonstruktiver bzw. konstruktionspezifischer Sicht wird die Innenraumlufthqualität entscheidend von den verwendeten Baustoffen bzw. damit verbundenen potentiellen Schadstoffquellen bestimmt. Prinzipiell lässt sich die tatsächliche Innenraumlufthqualität hinsichtlich einer Belastung mit Schadstoffen, z.B. durch flüchtige organische Verbindungen (engl.: Volatile organic compound, kurz: VOC) aus Lösemitteln, durch Formaldehyd oder durch halogenierte Dämmstofftreibmittel, nur messtechnisch im Zuge einer Raumlufthmessung inkl. labortechnischer Probenauswertung bestimmen. Qualitative prognostische Aussagen sind nur bzgl. einer grundsätzlichen Vermeidung oder Nicht-Vermeidung potentieller Schadstoffquellen auf Basis einer bestimmten Bau- und Konstruktionsweise und den damit einhergehenden Baustoffen/-materialien möglich.

Qualitative Einschätzung der Holzbauweise

Anders als mineralisch basierte Baustoffe wie etwa Mauerwerk können Holzwerkstoffe im Baubereich nicht per se als emissionsarm eingestuft werden, weil sie in vielen Fällen materialtechnische Maßnahmen zur Formgebung und -stabilisierung (v.a. Bindemittel in Holzwerkstoffplatten) oder insbesondere zum Schutz vor Feuchte oder Brand benötigen. Individuelle qualitative und prognostische Aussagen zum Emissionsverhalten von Holzwerkstoffen erfordern Auswertungen entsprechender Produkt-, technischer oder Sicherheitsdatenblätter oder den Rückgriff auf Ergebnisse produktgruppenspezifischer VOC- und Formaldehyd-Messwerte (siehe Tab. 19). Solche Messwerte gemäß Tab. 19 zeigen sehr plastisch, wie stark das Potential an VOC- und Formaldehyd-Schadstofffrachten durch Holzwerkstoffe ggü. mineralisch basierten Baustoffen erhöht ist.

Erschwerte qualitative Einschätzung bei Importen

Bei Importholzwerkstoffen, die einem ausländischen normativ-regulatorischen Rahmen entstammen – insbesondere natürlich bei solchen ungeklärter Herkunft –, kann diese Nachweisführung und Dokumentation zudem deutlich erschwert sein, vor allem auch mit Blick auf die Klassifizierung von Holzkonstruktionen als Mischbauweise einer Vielzahl von Materialkomponenten und -schichten (Dämmstoffe, Abdichtungen, etc.).

Gleichwohl soll und kann hier nicht resümiert werden, dass ausländische Holzwerkstoffe grundsätzlich problematisch sind hinsichtlich einer Vermeidung von Schadstoffen. Ohnehin wird die Raumluftqualität bzw. das etwaige Ausmaß von VOC/Formaldehyd natürlich auch von anderen – insbesondere innenraumgestalterischen – Bauprodukten und -materialien, letztlich der Gesamtmaterialität eines Gebäudes bestimmt und abschließende Aussagen zur Qualität der Innenraumluftqualität können wie oben geschildert ohnehin nur auf Basis einer Raumluftmessung getroffen werden.

Messgröße	Messergebnisse [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] (Konzentration in Messkammer)					
	Ziegel mineralwollgefüllt	Ziegel perlitegefüllt	OSB-Platte	Kieferplatte	Spanplatte	Gipskartonplatte
TVOC_{3d}	5	25	400-2.900	370	1.610	60
TVOC_{28d}	20	10	170-680	210	790	10
Formaldehyd_{28d}	9	4	7-88		8	

Tab. 19: VOC- und Formaldehyd-Emissionen ausgewählter Bauproduktgruppen [89]

Prozessqualitäten und die Fertigteilbauweise

Ein zentrales Ergebnis des *Studienteils C* war die Feststellung zum überwiegenden Anteil des Fertigteilbaus am Holzhausbau (im Wohngebäudesegment; Holzrahmen-/Holztafelbauweise). Für diese Bauweise sind die Erstellung von Prototypen/Musterhäusern und deren – bedarfsweise bzw. nachfragegesteuerte – Reproduktion von besonderer Bedeutung. Die entsprechenden fertigungs- und bautechnischen Abläufe wurden bereits im Kontext mit tatsächlichen Baukosten bzw. Bauzeiten der Holzbauweise im Rahmen von *Studienteil C* skizziert.

Kernpunkt: Sicherstellung der prototypischen Planungs- und Ausführungsqualität auch bei individuellen Bauvorhaben.

Insbesondere im privaten Bauherren-Segment spielen derartige „reproduzierte“ Prototypen/Musterhäuser eine wichtige Rolle. Da die „reproduzierten“ Ableger eines Prototyps/Musterhauses aber auf unterschiedlichen Grundstücken mit divergierenden Bodenverhältnissen, Wasserlastfällen, etc. zu realisieren sind, können faktisch standortspezifische Anpassungsbedarfe am Prototyp/Musterhaus entstehen, die im Rahmen einer individuellen Ausführungs-/Werkplanung und Bauausführung berücksichtigt werden müssen.

Insofern kommt der Qualität der Planungs- und Bauausführungsprozesse im Zuge der „reproduzierten“ Bauvorhaben eine hohe Bedeutung zu für die letztendliche Qualität der Bauwerke – eine einmalige Typenabnahme im Fertigteilwerk greift hier deutlich zu kurz.

Denn die kritischen Abschnitte des standort- und projektindividuellen Detailplanungs- und Bauausführungsprozesses werden davon überhaupt nicht abgedeckt.

Aus diesem Grund umfassen die Systeme des *Deutschen Gütesiegels Nachhaltiges Bauen* auch und vor allem für den Wohnungsbau explizit prozessqualitative Kriterien zur Steuerung und Bewertung der Bauplanung und Bauausführung. Abb. 86 zeigt eine Übersicht zu den prozessqualitativen Kriterien des – z.B. für das Muster-MFH dieser Studie einschlägigen – Systems *NaWoh* [20].

NaWoh Steckbriefe - Inhaltsverzeichnis		
Stand April 2013 - V 3.0		
5. PROZESSQUALITÄT		
Nummer	Steckbrief mit Teilindikatoren	Seite
3-stufig		
5.1.1	Qualität der Bauausführung / Messungen	1
Qualität der Bauausführung / Messungen		
beschreibend		
5.2.1	Qualität der Projektvorbereitung	3
5.2.1-1	Integraler Prozess	
5.2.1-2	Bedarfsplanung	
5.2.2	Dokumentation	10
5.2.2-1	Objektdokumentation	
5.2.2-2	Produktdokumentation	
5.2.3	Übergabe / Einweisung	15
5.2.3-1	Einweisung Personal	
5.2.3-2	Bereitstellung von Informationen für Nutzer	
5.2.4	Inbetriebnahme / Einregulierung	20
5.2.5	Voraussetzung für Bewirtschaftung	22
5.2.6	Reinigungs- / Wartungs- / Instandhaltungsplan	25

Abb. 86: Prozessqualitative Kriterien des Systems NaWoh [30]



Abb. 85: Gütesicherung Holzhausbau [90]

Prozessqualitäten und Brandschutz im Holzbau

Zumal in Bauvorhaben regelmäßig von den Vorgaben der MBO2002/M-HFHHolzR abgewichen werden soll/muss und entsprechende (schwerpunktmäßig: anlagentechnische) Kompensationsmaßnahmen erforderlich werden [59].

Dies führt letztlich zu einer stark eingeschränkten Führung von Installationen innerhalb von Bauteilen bzw. der Notwendigkeit zusätzlicher Installationsbenen [59].

Das RAL-Gütezeichen Holzhausbau [90] – in Trägerschaft der *Gütegemeinschaften Montagebau und Fertighäuser (BMF)*, *Deutscher Fertigbau (GDF)* und *Holzbau – Ausbau – Dachbau (GHAD)* – geht grundsätzlich in die richtige prozessqualitative Richtung. Denn damit wird nicht nur die Herstellung vorgefertigter Bauprodukte (im Werk; Teil 1 der Gütesicherung), sondern auch die Errichtung/Montage von Fertig-/ Holzhäusern (Teil 2 der Gütesicherung) abgedeckt (siehe Abb. 85).

Allerdings adressiert das *Gütezeichen Montage* über eine Eigen-/Selbstüberwachung durch die ausführenden Betriebe hinaus lediglich stichprobenartige Fremdüberwachungen vor Ort auf den Baustellen (maximal zweimal pro Ausführungsbetrieb und Jahr).

Von besonderer Bedeutung und Relevanz ist das Thema der Prozessqualitäten der Bauplanung und v.a. der Bauausführung bzgl. des Brandschutzes im Holzbau bzw. für den konkreten Fall von MFH der GK4. Dabei liegt der prozessqualitative Fokus hier nicht auf den kritischen Aspekten der Fertigteilbauweise (Gebäude dieses Segments werden schwerpunktmäßig nicht in klassisch reproduzierender Fertigteilbauweise realisiert), sondern vielmehr auf der Komplexität von Konstruktionsdetails der Holzbauweise zur Einhaltung der Anforderungen der MBO2002 bzw. M-HFHHolzR [59][62] – im Kern: Realisierung einer quasi-mineralischen Konstruktion durch brandschutztechnische Kapselung, Bauteilabschlüsse, etc (siehe dazu unter *Kapitel C*).

Als Beispiel der Komplexität sei exemplarisch genannt, dass Schwachstellen der Brandschutzbekleidung/ Kapselung (Steckdosen, Schalter, Verteilerdosen) durchgängig vermieden werden müssen (v.a. bei Verwendung brennbarer Dämmstoffe als eine mögliche Abweichung von MBO2002/M-HFHHolzR) oder dass keine ungekapselten elektrischen Leitungen vorhanden sein dürfen [62].



Naturgemäß steigt mit der Komplexität baukonstruktiver neuer Details das Risiko für Ausführungsfehler, dem etwa mit spezieller Schulung und Ausbildung Bauausführender begegnet werden muss. Gleichzeitig gestaltet sich die spätere Behebung von Ausführungsfehlern ebenfalls vergleichsweise komplex, weil eine Vielzahl von Bauteil-Komponenten „anzupacken“ ist.

Resümierend wird in [59] konstatiert, dass „Bauen mit Holz in Gebäudeklasse 4 [...] mehr als bei anderen Bauweisen eine [...] bis in alle Details vollständige Planung“ voraussetzt. Dies betreffe besonders das frühzeitige intensive Zusammenarbeiten von Tragwerks- und Brandschutzplanern, Überwachungsstellen und Ausführungsfirmen, wobei besonders zu beachten sei, „dass Ausbaugewerke wie Elektro- oder Sanitärinstallation nicht nach Fertigstellung des Rohbaus relativ unabhängig ihre Arbeit beginnen können, sondern ebenfalls frühzeitig in die Planung einzubeziehen sind.“ Das nachträgliche „ungeplante“ Einbauen von Elektroinstallationen führe in der Praxis zu großen Schwierigkeiten.

In analoger Weise ist der Aspekt der Prozessqualität von Bauplanung und -ausführung auch von erheblicher Relevanz für das Nachhaltigkeitsqualitätsmerkmal des Schallschutzes. Denn soeben wurde im Zuge der Analyse der Holzbauweise in punkto soziokulturell-funktionaler Komfortaspekte dieses *Kapitels D* gezeigt, dass sich auch in Holzbauweise hohe schallschutztechnische (als ein wesentlicher Komfortaspekt) Qualitäten realisieren lassen, dies aber besondere Maßnahmen in Planung und Ausführung erfordert, um den Nachteil der Holzbauweise v.a. bzgl. der flächenbezogenen Masse zu kompensieren, und insofern der planerischen und bauausführenden Prozessqualität eine besondere Bedeutsamkeit erwächst. Dies betrifft im Fertigteilhausbau etwa die Vermeidung bzw. Reduzierung von Fugenschall oder generell die Vermeidung von schallschutztechnischen Schwachstellen z.B. durch Installationsdosen, etc. [87].



7 Zusammenfassung

Holzressourcen und ihre Verwendung in Deutschland

Zusammenfassung Studienteil A

Für den Studienteil A lag der Analyseschwerpunkt auf der zentralen Fragestellung, ob Deutschland über ausreichende Holzressourcen verfügt, um eine exorbitant ausgeweitete bauliche Holznachfrage überhaupt abdecken zu können, und zwar ohne von den Grundsätzen einer nachhaltigen Waldwirtschaft abzurücken.

Betrachtungsschwerpunkte des Studienteils A waren die folgenden:

- ▶ Verfügbare Holzressourcen in Deutschland
- ▶ Im- und Export von Holz und Holzwerkstoffen nach und aus Deutschland
- ▶ Nachfragekonkurrenz mit anderen holzverarbeitenden Branchen

Verfügbare Holzressourcen in Deutschland

Zentrale Größen für eine Analyse zu verfügbaren Holzressourcen und deren Verwendung/Nutzung innerhalb der Grenzen einer prinzipiell nachhaltigen Forstwirtschaft sind zum einen der gesamte Holzeinschlag und zum anderen der nutzbare Zuwachs.

Für den Zeitraum der letzten Bundeswaldinventur (2002 bis 2012/13) war das Volumen des nutzbaren Zuwachses grds. relativ gleichbleibend und überstieg den gesamten Holzeinschlag, wodurch der Holzvorrat über alle Baum- und Holzarten insgesamt zunehmen konnte.

Allerdings lag die Ausnutzung des nutzbaren Zuwachses seit 2004 einerseits konstant bei über 80 %, in den Jahren 2011 bis 2013 stabil bei ca. 86 % über alle Baum- und Holzarten bzw. den gesamtdeutschen Wald hinweg. Dabei weisen die Besitzgruppen des Privat- und des Landeswalds mit ≥ 98 % nahezu maximale Ausnutzungsgrade des nutzbaren Zuwachses auf.

Und andererseits können je nach Baum- und Holzart divergierende Zustände hinsichtlich Holzeinschlag, Zuwachsraten und Holzvorräten bestehen. So wurde beispielsweise für die im Bauwesen besonders relevante



Im- und Export von Holz und Holzwerkstoffen nach und aus Deutschland

Baum- und Holzart der Fichte (für Außen- und Innenwände werden zu 94 bis 97 % Nadelhölzer wie z.B. Fichte verwendet) in den letzten Jahren der Holzeinschlag derart ausgeweitet, dass die Zuwachsraten heute um ca. 15 % überschritten und stehende Holzvorräte entsprechend massiv abgebaut werden.

Gleichzeitig ist Deutschland bereits heute für Nadelholz als Nettoimporteur zu klassifizieren. Denn obwohl Deutschland Nadelschnitthölzer exportiert, führt der volumenmäßig deutlich größere Import von Nadelrohholzlern – bei vergleichbaren gesamten Außenhandelsvolumina – faktisch dazu, dass Deutschland per Saldo ca. 3 Mio. m³ Nadelholz importiert.

Die Umsetzung des von der Holzlobby propagierten (Mindest-)Ziels einer Verdopplung der Holzquote im Bauwesen würde daher die devastative Nutzung der Nadelholzbestände verschärfen und/oder zur weiteren Steigerung der Importe führen (müssen); jedenfalls besteht zwischen den zur Zielerreichung nötigen Holzressourcen und einer nachhaltigen inländischen Ressourcenverfügbarkeit eine deutliche Lücke.

Zugleich besteht diese angespannte Situation inländischer Holzressourcen für die Bauwirtschaft vor dem Hintergrund, dass in Deutschland nur ca. 15 % der Wohn- und ca. 18 % der Nichtwohngebäude in Holzbauweise realisiert werden und dabei vorwiegend Rahmenbauweisen zum Einsatz kommen, die nur zu ca. 5-10 % überhaupt aus Holz als Konstruktions- und Baumaterial bestehen.

Nachfragekonkurrenz mit and. Holzverarbeitenden Branchen

Gründe für diese angespannte inländische Ressourcensituation liegen auch in einer steigenden Nachfrage nach (Frisch-)Holzressourcen in anderen Wirtschaftszweigen, v.a. im Energiesektor. Allein deren Anteil am Holzeinschlag ist zwischen 2005 und 2014 von 10 auf 20 % gestiegen; in Bayern als walddreichem Bundesland werden gar 60 % des Holzeinschlags energetisch verwertet.



Nachhaltigkeitsbewertung
der Holzbauweise mit und
ohne Importholzwerkstoff

Identifikation zweckdienlicher
und zielführender Import-
Szenarien

Konfiguration von Szenariova-
rianten

Zusammenfassung Studienteil B

In Studienteil B bestand die zentrale zu klärende Fragestellung darin, wie sich Szenarien der Verwendung ausländischer Importholzwerkstoffe auf die ökologische bzw. ökobilanzielle Qualität eines Gebäudes auswirken.

Zur Klärung dieser Fragestellung waren zunächst zweckdienliche und zielführende Import-Szenarien zu identifizieren, da es angesichts der Unzahl möglicher Varianten an Herkunftsländern für Importholzwerkstoffe und korrelierten Transportentfernungen naturgemäß nicht ein solitäres Szenario geben konnte.

Dabei stand das Merkmal der Zweckdienlichkeit für

- Realitätsnähe: Herkunftsländer eines Import-Szenarios, mit denen tatsächlich bereits entsprechende Handelsbeziehungen bestehen
- Normkompatibilität: Herkunftsländer eines Import-Szenarios, für die mit (DIN) EN 15804 (als maßgeblicher Norm) konforme ökobilanzielle Basisdaten verfügbar sind (zwecks Konsistenz mit vorliegenden Ergebnissen eines Basis-Szenarios einheimischer Holzwerkstoffe gemäß [7]-[9]).

und das Merkmal der Zielführung für

- Aussagegehalt und Erkenntnisbeitrag: Getrennte Abbildung von Szenarioeffekten auf Ökobilanz-Ergebnisse aus Transportentfernungen und aus Unterschieden in länderspezifischen (gleichwohl (DIN) EN 15804 konformen) Basisdaten

Unter diesen Restriktionen kamen als zweckdienliche Herkunftsländer Norwegen und Frankreich in Frage, für die zwecks Zielführung jeweils 3 Szenariovarianten konfiguriert wurden, um sowohl formell korrekte Ökobilanzen generieren (originäre ökobilanzielle Basisdaten des Bezugsland und Importtransportentfernungen) als auch getrennte Aussagen zu Ergebniseinflüssen ausländischer ökobilanzieller Datensätze (originäre Basisdaten des Bezugslands, keine Importtransportentfernungen) und von Importtransporten (Importtransportentfernungen i.V.m. einheimischen ökobilanziellen Basisdaten) ableiten zu können.



Auswirkungen auf die Transport-Ökobilanz

Zusätzlich wurde ein weiteres fiktives Importszenario konfiguriert, mit dem der durchschnittliche ökobilanzielle Einfluss von Importtransporten ermittelt werden konnte und in dem der Einfluss ausländischer ökobilanzieller Basisdaten durch die (fiktive) Verwendung einheimischer Datensätze eliminiert wurde.

Ausgehend von weiteren Detailkonfigurationen zu landesspezifischen sog. Modal Splits und entsprechenden Transportetappen hin zu einem definierten Zielgebiet in Deutschland (hier: Rhein-Main-Metropolregion) konnten in einem ersten Schritt ökobilanzielle Auswirkungen der Importtransporte im direkten Vergleich zu den Transporten einheimischer Hölzer/Holzwerkstoffe (im Durchschnitt ca. 175 km) und zu Transporten einheimischer Steine-Erden-Rohstoffe (im Durchschnitt ca. 50 km) bestimmt werden.

Die Umweltwirkungen (am Beispiel des Ökobilanz-Indikators des CO₂-Äquivalents (GWP)) des oben skizzierten fiktiven Import-Szenarios und dessen ca. 950 km-Entfernung liegen um den Faktor 5,4 höher als diejenigen des Transports einheimischer Hölzer bzw. um den Faktor 19 höher als diejenigen des Transports mineralischer Baustoffe wie Mauerwerk.

Auswirkungen von Import- transporten auf eine Gebäu- deökobilanz

Die in einem zweiten Schritt durchgeführte Integration von Importtransporten in die gebäudebezogene Ökobilanz eines MFH-Typengebäudes verdeutlichte allerdings, dass der Ergebniseinfluss der Importtransporte sich je nach Ökobilanz-Indikator im niedrigen einstelligen Prozentbereich, teilweise Promillebereich, bewegt, während der Einfluss ausländischer ökobilanzieller Basisdaten bei bis zu 10 % (für Indikator AP) bzw. 40 % (für Indikator ODP) auf ökobilanzieller Gesamtergebnisebene liegt.



Baukonstruktive Nachhaltigkeitsbewertung

Tatsächliche Marktanteile der
Holzbauweise(n)

Ggü. der marktdominanten
Mauerwerksbauweise fällt der
Holzbauanteil im Wohnungs-
bau mit 11 % vergleichsweise
gering aus.

Zusammenfassung Studienteil C

Entsprechende Betrachtungsschwerpunkte des Studienteils C waren die folgenden:

- ▶ Tatsächliche Marktanteile der Holzbauweise(n)
- ▶ Tatsächlicher Konstruktionsanteil des Baustoffs Holz
- ▶ Tatsächliche (Lebenszyklus-)Kosten der Holzbauweise
- ▶ Tatsächliche Bauzeiten der Holzbauweise
- ▶ Tatsächliches Sicherheitsniveau und Resilienz der Holzbauweise

Der Begriff Holzbauweise steht baupraktisch stellvertretend für eine Vielzahl von Bauweisensausprägungen, die sich zum einen nach prozessualen Bauweisen (Fertigteilbauweise vs. konventionelle Bauweise) und zum anderen nach statischen Konstruktionsweisen (Skelett- vs. Massivbau) clustern lassen (siehe in Kapitel 3 Abb. 51 und Abb. 52).

Leider liegen für die einzelnen dieser Holzbauweisen und ihre Marktanteile keine offiziellen statistischen Daten vor – anders als für den aggregierten Anteil des Holzbaus z.B. am gesamten Wohnungsbau (siehe dazu in Kapitel 3 Tab. 7 und Abb. 6 bis Abb. 57).

Allerdings ermöglicht die Differenzierung nach prozessualen Bauweisen einerseits (Fertigteilbauweise vs. konventionelle Bauweise) und nach Gebäudearten andererseits (Eigenheim vs. MFH) die Ableitung von Indizien für Marktanteile einzelner Holzbauweisen, weil hierfür statistische Daten verfügbar sind.

Diese Daten zeigen, dass

- ▶ 90 % des Fertigteilbaus vom Holzfertigteilbau und
- ▶ Wiederum 82 % des gesamten Holzbaus vom Holzfertigteilbau bestimmt werden

bzw. verdeutlichen

- ▶ die Bedeutung des Eigenheimbaus oder vice versa
- ▶ die konstante Unbedeutsamkeit des MFH-Baus für die Holzbauquote im Wohnungsbau.



Tatsächlicher Konstruktionsanteil des Baustoffs Holz

Diese Feststellung, dass Holzbau im Wohngebäudebereich v.a. Fertigteilbau in Skelettbauweise, konkret: Holzrahmen-/tafelbau, bedeutet, hat auch Konsequenzen für den Anteil des Baustoffs Holz im Wohngebäudebereich und letztlich die Fragestellungen zur Ressourcenverfügbarkeit gemäß Studienphase 1 bzw. Studienteil A.

Dieser Anteil liegt als massebezogene Materialverwendungskennziffer bei ca. 5 % bzw. als Holzverwendungskoeffizient bei ca. 16,7 % m³ (b) pro 1.000 m³ u.R. für das Muster-MFH aus Abb. 10. Relevant für den Gesamtstudienrahmen ist dies deshalb, weil in Studienphase 1 bzw. Studienteil A ja festgestellt werden musste, dass die Ressourcenfrage Holz im Bauwesen bereits heute bei diesen geringen Materialverwendungskennziffern/-koeffizienten sehr angespannt ist. Insofern hätte eine Ausweitung der Massivholzbauweise weitere darüber hinausgehende negative Folgen für die Ressourcenverfügbarkeit bzw. die Nachhaltigkeit der Waldnutzung sowie die Importabhängigkeit.

Tatsächliche Lebenszykluskosten der Holzbauweise

Untersuchungen der Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen aus Kiel (ARGE//eV) haben gezeigt, dass Außenwände in Holzbauweise die im Vergleich mit Mauerwerks- und Stahlbetonbauweise höchsten Herstellungskosten verursachen (+ 20 % ggü. Mauerwerk; siehe in Kapitel 3 Tab. 8 und Abb. 66).

Methodischer Kern einer Lebenszykluskostenrechnung ist die Berücksichtigung von Nutzungskosten (Instandhaltung, Ver-/Entsorgung, etc.) inkl. Preissteigerungen sowie eine Diskontierung künftiger Zahlungsflüsse auf den aktuellen Betrachtungszeitpunkt.

Diese Kostenunterschiede pflanzen sich auch bei einer Betrachtung von Lebenszykluskosten fort bzw. werden durch die Nachteile der Holzbauweise bei Dauerhaftigkeit respektive technischen Lebens-/Nutzungsdauern deutlich verstärkt: die Lebenszykluskosten über 80 Jahre für Außenwände in Holzbauweise liegen um bis zu 30 % höher als für die Mauerwerksbauweise (siehe in Kapitel 3 Tab. 10 und Abb. 68).

Tatsächliche Bauzeiten der Holzbauweise

Auch beim baukonstruktiven Thema der Bauzeiten lohnt sich ein kritischer Blick auf die tatsächliche Faktelage. Denn die Wahrnehmung der Holzfertigteilbauweise als Verfahren zur Errichtung von Wohnungsbauten in wenigen Tagen basiert auf zwei zentralen Fehlannahmen, konkret:



Tatsächliche Resilienz von Holzkonstruktionen

Mögliche Risiken:

- ▶ Zusätzliche Brandlasten
- ▶ Gefahr von Hohlraumbränden in der Konstruktion
- ▶ Gefahr von Vollbränden durch brennbare Oberfl.
- ▶ Gefahr Rauchausbreitung

- ▶ Gleichsetzung der Rohbauphase mit genereller Bauphase, d.h. Außerachtlassung vor- und nachgelagerter Bauprozessschritte (Gründung, Innenausbau, etc.) und
- ▶ Außerachtlassung der Produktionsphase der Fertigteillemente im Fertigteilwerk (eben nicht auf Halde, sondern nur auf vertraglicher Bestellung!)

Unter Berücksichtigung aller (zeit-)wesentlichen Bauprozessschritte wird der alleinige zeitliche Vorteil der Fertigteilbauweise beim Rohbau aufgezehrt und Fertigteil- wie konventionelle, z.B. Mauerwerksbauweisen haben grds. sehr ähnliche Gesamtbauzeiten.

Mit Blick auf die Resilienz (Sicherheitsniveau und Widerstandsfähigkeit) von Konstruktionen (im Wohngebäudesegment) ist der Brandfall das Schadensszenario mit den relativ höchsten Eintrittswahrscheinlichkeiten und entsprechend großem Stellenwert des vorbeugenden baulichen Brandschutzes. Damit soll dem Brandrisiko, das sich aus Wahrscheinlichkeiten der Brandentstehung/-ausbreitung und den Schadensausmaßen an Personen und Sachwerten zusammensetzt, ein ausreichendes Sicherheitsniveau entgegengestellt werden.

Qua bauordnungsrechtlicher Definition sind für Bauvorhaben (der Gebäudeklasse 4) in Holzbauweise zusätzliche/besondere Risiken aus brandschutztechnischer Sicht zu berücksichtigen, weil die MBO2002 i.V.m. M-HFHolzR besondere/zusätzliche Anforderungen an den Brandschutz festschreibt – letztlich um ein zu mineralisch basierten Massivbauweisen vergleichbares Brandschutzniveau sicherzustellen bzw. eine - brandschutztechnisch – quasi-mineralische Holzbauweise zu generieren.

Bei Schadensausmaßen an Sachwerten und bei Personen als „zweiter Hälfte“ der Brandrisiko-Betrachtung besteht in der Literatur zumindest grundlegende Einigkeit insofern, als das Schadensausmaß bei Brandschadensfällen an Wohngebäuden in Holzbauweise gegenüber den mineralisch basierten Massivbauweisen einheitlich als höher eingestuft wird.



Im Ergebnis sind der Holzbauweise auf beiden Seiten der brandschutztechnischen Risikobetrachtung erkennbare Nachteile gegenüber den mineralisch basierten Massivbauweisen zu attestieren.

Ergänzende grundlegende
Nachhaltigkeitsmerkmale

Zusammenfassung Studienteil D

Ein Kernelement der Untersuchungen und Ergebnisse des Studienteils C ist die Tatsache, dass das Image des Holzbaus (= Massivholzbau) nicht der baupraktischen Wirklichkeit entspricht, die vielmehr weit überwiegend durch die Holzrahmen-/tafelbauweise als ausgesprochene Mischbauweise geprägt wird.

Hieran musste sich auch die Betrachtung ergänzender grundlegender Nachhaltigkeitsmerkmale des (nicht imaginären, sondern realen baupraktischen) Holzbaus in Studienteil D orientieren.

Entsprechende Betrachtungsschwerpunkte des Studienteils D waren die folgenden:

- ▶ Finale und vergleichende ökobilanzielle Betrachtung
- ▶ Theorie und Wirklichkeit der Kaskadennutzung von Holz
- ▶ Soziokulturell-funktionale Komfortaspekte
- ▶ Prozessqualitäten und die Fertigteilbauweise

Finale und vergleichende öko-
bilanzielle Betrachtung

In Studienphase 1 bzw. Studienteil B erfolgte bereits eine Analyse ökobilanzieller Effekte des Imports von Holz(-werkstoffen). In Richtung einer finalen, vergleichenden ökobilanziellen Betrachtung aller marktrelevanten Bauweisen (im Wohngebäudesegment) wurden diese Ergebnisse des Studienteils B nunmehr auch den entsprechenden Ökobilanz-Ergebnissen der Muster-MFH-Varianten in Mauerwerks- und Stahlbetonbauweise (siehe [9]) gegenübergestellt.

Bei einer Betrachtung ökobilanzieller Gesamtergebnisse zeigte sich für alle betrachteten ökobilanziellen Wirkungsindikatoren (siehe Abb. 73 und Abb. 74), dass



- ▶ einerseits die Ergebnisse aller Muster-MFH-Varianten inkl. derjenigen in Holz auf einem ähnlichen Niveau liegen,
- ▶ dabei aber andererseits der Medianwert der Importholzscenario-Varianten oberhalb des Ergebnisses für die Variante mit einheimischen Hölzern liegt, mithin der Holzimport zu einer tendenziellen Verschlechterung der Ökobilanz führt.

Per Saldo – d.h. inkl. Gutschrift (als negativer Wert) für die Substitution fossiler Brennstoffe – beträgt die CO₂-Emission pro kg thermisch verwertetem Altholz 1 kg CO₂-Äquivalent

Theorie + Wirklichkeit der Kaskadennutzung von Holz

Ausbau-Begrenzung Biomasse bzw. sukzessives Ausscheiden der thermischen Verwertung aus EEG.

Soziokulturell-funktionale Komfortaspekte

Zu diesen Ergebnissen der Holz-Varianten hat auch beigetragen, dass das End of Life deren holzbasierter Konstruktions- und sonstiger Materialien als thermische Verwertung modelliert wurde – was der heute absolut gängigen Entsorgungspraxis entspricht. Hintergründe für die Tatsache, dass eine stoffliche Verwertung von Altholz bislang nur eine – zumindest in baupraktischer Breite – theoretische Option darstellt, wurden unter Theorie + Wirklichkeit der Kaskadennutzung von Holz erläutert.

Ein wesentliches Hindernis für eine breite Anwendung der Kaskadennutzung von Bauholz besteht erstens darin, dass nur geringe Mengen an grds. kaskadierbarem Altholz aus dem Gebäudeabbruch anfallen, d.h. nur ein geringes stoffliches Verwertungspotential besteht. Zweitens sind nur ca. 44 % dieses Altholzes überhaupt qualitativ geeignet für eine Kaskadennutzung. Und drittens ist eine effiziente Holzaufbereitungsinfrastruktur/-logistik als zentrale Grundvoraussetzung derzeit nicht verfügbar/implementiert.

Gleichzeitig entwickelt sich aktuell auch bei der thermischen Altholz-Verwertung ein gewisses Problempotential. Denn einerseits besteht auf dem Altholzmarkt bereits ein Entsorgungsmengenstau, der andererseits durch die EEG-Novelle noch verschärft werden könnte.

Das Komfortniveau eines Gebäudes – als wesentliches Merkmal einer ganzheitlichen Nachhaltigkeitsqualität – wird baukonstruktiv durch den thermischen und akustischen Komfort sowie die Innenraumluftqualität determiniert.

Hinsichtlich des thermischen Komforts besteht der entscheidende Unterschied zwischen den (leichten) Holz-



bauweisen und den mineralisch basierten Massivbauweisen in den divergierenden verfügbaren thermischen Speichermassen der Konstruktionen für den Fall hoher Außentemperaturen im Sommer. Als Nachteil der Holzbauweise(n) resultieren daraus – über thermische Simulationen nachweisbar – eine schnellere Innentemperaturerhöhung, höhere Spitzentemperaturen und Überhitzungshäufigkeiten sowie längere Überhitzungszeiträume (siehe Abb. 79 bis Abb. 81).

Die soeben genannten Masseunterschiede zwischen Holz- und mineralisch basierten Massivbauweisen haben des Weiteren auch Wirkungen auf eine zweite soziokulturell-funktionale Sphäre, den akustischen Komfort bzw. – aus baukonstruktiver Perspektive – den Schallschutz.

Denn die schallschutztechnische Qualität einer Konstruktion wird insbesondere durch das bewertete Bau-Schalldämm-Maß beschrieben, die wiederum in direktem positiven Zusammenhang mit der Flächenmasse steht.

Zur Gewährleistung eines normkonformen Schallschutzes muss dieser Nachteil durch komplexe Konstruktionsdetails und Materialkomponenten kompensiert werden. Beispielsweise werden für Wandbauteile doppel-/mehrschalige Konstruktionen erforderlich, ggf. ergänzt um entkoppelte Beplankungen, schwere Hohlraumdämmungen oder optimierte Raster des Wand-Ständerwerks. Erforderliche Optimierungsmaßnahmen für Geschoss-/Trenndecken bestehen in einer künstlichen Erhöhung der Flächenmasse (Deckenbeschwerung durch z.B. Gehwegplatten oder mineralische Schüttungen) und/oder einer schalltechnischen Entkopplung durch Unterdeckenkonstruktionen.

Als dritter soziokulturell-funktionaler Nachhaltigkeitsaspekt war die Innenraumluftqualität Bestandteil der Untersuchungen des Studienteils D. Wiederum baukonstruktiv wird diese entscheidend von den verwendeten Baustoffen bzw. damit verbundenen potentiellen Schadstoffquellen (z.B. Flüchtige organische Verbindungen (VOC) oder Formaldehyd) bestimmt.



Allerdings lässt sich die tatsächliche Raumluftqualität bzgl. einer Schadstoffbelastung nur durch eine Raumluftmessung bestimmen, deren Ergebnisse auch von anderen – v.a. innenraumgestalterischen – Bauprodukten beeinflusst werden können.

Prozessqualitäten und die Fertigteilbauweise

Aus diesem Grund umfassen die Systeme des Deutschen Gütesiegels Nachhaltiges Bauen auch und vor allem für den Wohnungsbau explizit prozessqualitative Kriterien zur Steuerung und Bewertung der Bauplanung/-ausführung.

Anders als bei mineralisch basierten Baustoffen können Holzwerkstoffe nicht per se als emissionsarm eingestuft werden, da sie regelmäßig Materialien/Stoffe zur Formgebung/-stabilisierung (Bindemittel) oder zum Feuchte-/Brandschutz enthalten. Produktgruppenspezifische VOC- und Formaldehyd-Messwerte (z.B. für Spanplatten, etc.) verdeutlichen dieses Potential an entsprechenden Schadstofffrachten.

Gemäß Studienteil C wird der Holzbau im Wohngebäudebereich v.a. durch den Fertigteilbau bestimmt. Für diese Bauweise, d.h. die Erstellung von prototypischen Musterhäusern und deren bedarfsweise Reproduktion, sind die Prozessqualitäten in Planung und Ausführung von zentraler Bedeutung, weil für die reproduzierten Ableger eines Musterhauses standortspezifische Anpassungsbedarfe angezeigt sein können (divergierende Bodenverhältnisse, Wasserlastfälle, etc.) und eine einmalige Typenprüfung im Fertigteilwerk hier natürlich nicht greifen kann.

Das RAL-Gütezeichen Holzhausbau, das grds. auch die Errichtungs-/Montagephase auf der Baustelle umfasst, macht hier einen Schritt in die richtige Richtung. Allerdings werden lediglich stichprobenartige Fremdüberwachungen vor Ort auf der Baustelle von max. zwei Kontrollen pro Ausführungsbetrieb und Jahr vorgeschrieben.

Jenseits der Problematik der Fertigteilbauweise sind die Prozessqualitäten von besonderer Bedeutung bzgl. des Schall- und vor allem des Brandschutzes (für Gebäude der GK4). Denn diesbezüglich wurde in den Studienteilen C + D gezeigt, dass hohe (normkonforme) Schutzniveaus komplexe Konstruktionsdetails und Materialkombinationen erfordern und insofern der prozessualen Planungs- und Ausführungsqualität zur Reduzierung des Risikos von Fehlern eine immense Wichtigkeit zukommt.

Literaturverzeichnis

- [1] Graubner, C.-A. et al.: Masonry - fit for the future. In: Mauerwerk 20 (2016), Heft 1. Berlin: Ernst & Sohn 2016
- [2] Graubner, C.-A., Pohl, S.: Nachhaltigkeitsvorteile von Leichtbeton - Aktuelle Ergebnisse aus Forschung und Praxis. In: BFT International, Vol. 82 02/2016, Tagungsbandbeitrag 60. Ulmer BetonTage 2016
- [3] Holzforschung München [Hrsg.]: Bauen mit Holz = aktiver Klimaschutz. Online unter: www.cluster-forstholzbayern.de
- [4] Bayerisches Staatsministerium des Inneren, für Bau und Verkehr, Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten [Hrsg.]: Holz zeitlos schön. Online unter: www.holz-zeitlos-schoen.bayern.de
- [5] Graubner, C.-A., Pohl, S.: Nachhaltigkeit von Mauerwerk im Geschosswohnungsbau. In: Mauerwerksbau aktuell 2016. Berlin: Bauwerk Verlag 2016
- [6] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) [Hrsg.]: Leitfaden Nachhaltiges Bauen. 2. aktualisierte Auflage. Online unter www.nachhaltigesbauen.de
- [7] Graubner, C.-A., Pohl, S.: Nachhaltigkeit von Ein- und Zweifamilienhäusern aus Mauerwerk. Institut für Massivbau, Technische Universität Darmstadt, 2013
- [8] Graubner, C.-A., Pohl, S.: Nachhaltigkeit von mehrgeschossigen Wohngebäuden aus Mauerwerk. Institut für Massivbau, Technische Universität Darmstadt, 2014
- [9] Pohl, S.: Nachhaltigkeit von Mauerwerk im Geschosswohnungsbau. LCEE Life Cycle Engineering Experts GmbH, Darmstadt 2016
- [10] ARGE//eV: Massiv- und Holzbau bei Wohngebäuden - Vergleich von massiven Bauweisen mit Holzfertigbauten aus kostenseitiger, bautechnischer und nachhaltiger Sicht, Bauforschungsbericht Nr. 68, Kiel 2015
- [11] ARGE//eV: Optimierter Wohnungsbau – Untersuchung und Umsetzungsbeurteilung zum bautechnisch und kostenoptimierten Mietwohnungsbau in Deutschland, Bauforschungsbericht Nr. 66, Kiel 2014
- [12] Destatis[Hrsg.]: Bautätigkeit und Wohnungen (Fachserie 5, Reihe 1), Auswertungsreihen 3.2.2 Juni 2016
- [13] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft [Hrsg.]: Der Wald in Deutschland. Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur. Online unter: www.bundeswaldinventur.de

- [14] Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit [Hrsg.]: Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zum Erhalt und Ausbau des CO₂-Minderungspotenzials von Wald und Holz sowie zur Anpassung der Wälder an den Klimawandel. 2015
- [15] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit [Hrsg.]: Nachhaltige Waldwirtschaft. Holznutzung nahe am Zuwachs. Online unter: www.umweltbundesamt.de
- [16] Statistisches Bundesamt: Umweltnutzung und Wirtschaft. Bericht zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen, Wiesbaden 2014
- [17] FTP Deutschland [Hrsg.]: Deutsche Forschungsagenda ForstHolzPapier. Vollständiges Arbeitspapier. Online unter: www.forestplatform.de
- [18] Weimar, H.: Holzbilanzen 2012 und 2013 für die Bundesrepublik Deutschland, Hamburg: Johann Heinrich von Thünen-Institut 2014
- [19] Weimar, H., Jochem, D. [Hrsg.]: Holzverwendung im Bauwesen – Eine Marktstudie im Rahmen der „Charta für Holz“. Hamburg: Johann Heinrich von Thünen-Institut 2013
- [20] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft [Hrsg.]: Nachwachsender Rohstoff Holz. Online unter: www.bmel.de
- [21] Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz [Hrsg.]: Waldstrategie 2020. Nachhaltige Waldbewirtschaftung – eine gesellschaftliche Chance und Herausforderung. Online unter: www.bmel.de
- [22] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft [Hrsg.]: Holzmarktbericht 2014. Abschlussergebnisse für die Forst und Holzwirtschaft des Wirtschaftsjahres 2014. Online unter: www.bmel.de
- [23] Knauf, M. et al: Holzbau als Zugpferd des Clusters Forst und Holz. Ergebnisse der „Clusterstudie Forst, Holz und Papier in Bayern 2015“, Teil 1. In: Holz-Zentralblatt, 26.02.2016
- [24] Willinger, G.: Wie Holzpellets die Wälder ruinieren. In: Spektrum – Die Woche, Vol 05/2016
- [25] World Wide Recycling Group [Hrsg.]: The Wood Pellet Market. Online unter: www.wwrgroup.com
- [26] Statistisches Bundesamt: Holzeinschlag 2014: 54 Millionen Kubikmeter, Wiesbaden 2016
- [27] Statistisches Bundesamt: Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Forstwirtschaftliche Bodennutzung – Holzeinschlagstatistik, Wiesbaden 2015
- [28] Cluster-Initiative Forst und Holz in Bayern [Hrsg.]: Clusterstudie Forst, Holz und Papier 2015 – Klimaschutz, Wirtschaftswachstum und Zukunftschance für Bayern und seinen ländlichen Raum, Freising 2016

- [29] Lützkendorf, T.: BNW - Bewertungssystem Nachhaltiger Wohnungsbau. Ausgewählte Ergebnisse der Arbeitsgruppe Wohnen. Vortrag zum Symposium „Nachhaltig Bauen - Zukunft gestalten“. Berlin: 2013
- [30] Systembeschreibung und Kriterienkatalog des Systems NaWoh unter www.nawoh.de
- [31] BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe [Hrsg.]: Deutschland – Rohstoffsituation 2014. Hannover 2015
- [32] PEFC Deutschland e.V. [Hrsg.]: Präsenz verstärken – Jahresbericht 2015. Stuttgart 2016
- [33] FSC Deutschland [Hrsg.]: FSC-Magazin 2014. Freiburg 2015
- [34] Eurostat [Hrsg.]: Waldflächen (Stand Dezember 2015)
(online unter: <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do>)
- [35] PEFC International [Hrsg.]: PEFC Global Statistics: SFM & CoC Certification. Genf 2016
- [36] FSC International [Hrsg.]: FSC Facts & Figures. Bonn 2016
- [37] Umweltbundesamt [Hrsg.]: Umweltschutz, Wald und nachhaltige Holznutzung in Deutschland (Hintergrund // April 2016). Dessau 2016
- [38] Graubner, C.-A., Pohl, S.: Ist vereinfacht vollständig genug? – Spannungsfeld der Ökobilanzverfahren des Deutschen Gütesiegels Nachhaltiges Bauen. In: Bauingenieur, Band 90 Januar 2015, Springer VDI Verlag, Düsseldorf 2015
- [39] Institut Bauen und Umwelt e.V.: Umweltproduktdeklaration Konstruktionsvollholz KVH® (EPD-ÜKH-2012-111-D), Berlin 2015
- [40] Rüter, S.; Diederichs, S.: Ökobilanz-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz (Arbeitsbericht aus dem Institut für Holztechnologie und Holzbiologie Nr. 2012/1). Johann Heinrich von Thünen-Institut, Hamburg 2012
- [41] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung [Hrsg.]: Verkehr in Zahlen 2013/2014. Berlin 2014
- [42] Borchering, M.: Rundholztransporte in Deutschland – eine transaktionskostenorientierte empirische Analyse. Dissertation Universität Hamburg, Hamburg 2007
- [43] Graubner, C.-A., Pohl, S.: Umweltproduktdeklarationen für Bauprodukte - Ein Kommunikationskanal für ökologische Nachhaltigkeitsqualität. In: BetonWerk international, No. 3, 2012, S. 116-120
- [44] EUWID [Hrsg.]: EUWID Recycling und Entsorgung, Ausgabe 29.2016
- [45] Cheret, P., Schwaner, K.: Holzbausysteme – eine Übersicht. informationsdienst-holz
- [46] Destatis [Hrsg.]: Bauen und Wohnen, Baufertigstellungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden (Neubau) nach überwiegend verwendetem Baustoff, Lange Reihen ab 2000, August 2016

- [47] Mantau, U., Kaiser, C.: Konjunkturelle Entwicklungen im Bauwesen und künftige Marktchancen im Holzbau. In: Holzverwendung im Bauwesen – Eine Marktstudie im Rahmen der „Charta für Holz“. Hamburg: Johann Heinrich von Thünen-Institut 2013
- [48] Destatis [Hrsg.]: Bauen und Wohnen, Baugenehmigungen/ Baufertigstellungen nach der Bauweise, Lange Reihen z.T. ab 1960, August 2016
- [49] Destatis [Hrsg.]: Bauen und Wohnen, Baugenehmigungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden nach überwiegend verwendetem Baustoff, Lange Reihen ab 1980, August 2016
- [50] Systembeschreibung und Kriterienkatalog des Systems DGNB NWO unter www.dgnb.de
- [51] BMUB [Hrsg.]: Nutzungsdauern von Bauteilen (Stand Nov. 2011), online unter www.nachhaltigesbauen.de
- [52] BMUB [Hrsg.]: Leitfaden Nachhaltiges Bauen 2001, online unter www.nachhaltigesbauen.de
- [53] BMUB [Hrsg.]: Leitfaden Nachhaltiges Bauen 2015, online unter www.nachhaltigesbauen.de
- [54] BAV e.V. [Hrsg.]: Stellungnahme BMWi Referentenentwurf EEG-Novelle 2016, Berlin, 19.04.2016
- [55] Franke, H.-H., Moll-Amrein, M.: Ein- und Zweifamilienhäuser: Entwicklung von Marktwerten in Abhängigkeit von der Bauweise, der Existenz des Kellers sowie alternativen Heizungssystemen, Gutachten der DIA Consulting AG, Freiburg, 2009
- [56] Schneider, U., Oswald, M.: Brandschutztechnische Analyse von Massiv- und Holzbauweise. Brandschutz-Studie des Instituts für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz, Technische Universität Wien
- [57] Winter, S., Schmidt, D.: Brandschutz im Holzbau im Vergleich zu anderen Bauweisen. In: 10. Internationales Holzbau-Forum 2014
- [58] Holzabsatzfonds [Hrsg.]: Holzhäuser – Werthaltigkeit und Lebensdauer. In: holzbau handbuch, Reihe 0 (Grundlagen), Teil 5 (Werterhaltung und Lebensdauer), überarbeitete Fassung Januar 2008
- [59] Gräfe, M., Winter, S.: Baurechtliche Grundlagen für den mehrgeschossigen Holzbau. In: Informationsdienst Holz, Urbaner Holzbau, Kapitel 4: Der zeitgenössische Holzbau
- [60] Winter, S.: Brandschutz im Holzbau. In: Informationsdienst Holz, Urbaner Holzbau, Kapitel 4: Der zeitgenössische Holzbau
- [61] Hofmann, H., Schöneberger, K.: Sicherheitsniveau „hochfeuerhemmend“ – Brandschutz im mehrgeschossigen Holzbau. In: Deutsche Bauzeitung, Ausgabe 05/2011

- [62] Kampmeier, B.: Aktuelle Lösungen für den Brandschutz im mehrgeschossigen Holzbau. In: 5. Europäischer Kongress für effizientes Bauen mit Holz 2012
- [63] DIN 4102-1: 1998-05: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 1: Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen
- [64] DIN EN 13501-1: 2010-01: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten; Deutsche Fassung EN 13501-1: 2007+A1: 2009
- [65] DIN 4102-2: 1977-09: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen
- [66] DIN EN 13501-2: 2016-12: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen
- [67] Musterbauordnung (MBO), Fassung November 2002, zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 13.05.2016
- [68] Musterbauordnung (MBO), Fassung Dezember 1997
- [69] Dehne, M., Kurse, D.: Brandschutz bei mehrgeschossigen Holzbauten - Praxiserfahrungen und neue Entwicklungen. In: Bauingenieur, Band 81, März 2006
- [70] Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise – M-HFHolzR (Fassung Juli 2004)
- [71] BMUB [Hrsg.]: Baustoffdatenbank Ökobau.dat, online unter www.nachhaltigesbauen.de
- [72] Höglmeier, K., Weber-Blaschke, G., Richter, K.: Kaskadennutzung von Altholz in Bayern – Mengenpotentiale aus dem Gebäudebestand und ökologische Bewertung. In: LWF aktuell 2/2016
- [73] Hammert, R., Friedrich, S., Borchert, H., Schumann, C.: Altholz – LWF-Wissen 070
- [74] EUWID [Hrsg.]: [...] Altholzentsorgung gefährdet [...], In: EUWID Recycling und Entsorgung, Ausgabe 41.2016
- [75] EUWID [Hrsg.]: Referentenentwurf zur EEG-Novelle [...], In: EUWID Recycling und Entsorgung, Ausgabe 16.2016
- [76] DIN e.V.: DIN 4108-2 - Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin
- [77] Graubner, C.-A., Schneider, C.: Nachhaltigkeit von Mauerwerksbauten. In: Mauerwerksbau aktuell 2010. Berlin: Bauwerk Verlag 2010
- [78] Lahme, A.: Bauen mit dem Klimawandel – Wärmeschutz in Simulation und Praxis. In: Wienerberger Mauerwerkstage 2017. Fürth et al., Februar/März 2017

- [79] Winter, S., Kehl, D.: Holzhäuser – Werthaltigkeit und Lebensdauer. In: Informationsdienst Holz, holzbau handbuch Reihe 0 Teil 5 Folge 1
- [80] DIN e.V.: DIN 4109 - Schallschutz im Hochbau - Anforderungen und Nachweise, Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin
- [81] DIN e.V.: DIN 4109 Beiblatt 2- Schallschutz im Hochbau - Hinweise für Planung und Ausführung; Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz; Empfehlungen für den Schallschutz im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich, Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin
- [82] Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V.: DEGA-Empfehlung 103 - Schallschutz im Wohnungsbau - Schallschutzausweis, Berlin 2009
- [83] Rabold, A. et al.: Schallschutz im mehrgeschossigen Holzbau – Luft- und Trittschalldämmung von Trenndecken. In: Bauingenieur, Band 89, September 2014
- [84] Brüstle, K.: Schallschutz im Holzbau – Bauakustische Grundlagen. In: Zuschnitt Zeitschrift über Holz als Werkstoff und Werke in Holz, Nr. 18 Juni 2005
- [85] Guttmann, E.: Relevante Gefühle - Bewohnerbefragung. In: Zuschnitt Zeitschrift über Holz als Werkstoff und Werke in Holz, Nr. 18 Juni 2005
- [86] Ferik, H.J.: Schallschutz bei Wohnungstrennwänden – Holzbausysteme. In: Zuschnitt Zeitschrift über Holz als Werkstoff und Werke in Holz, Nr. 18 Juni 2005
- [87] Holtz, F. et al.: Schallschutz – Wände und Dächer. In: Informationsdienst Holz, holzbau handbuch Reihe 3 Teil 3 Folge 4
- [88] Künz, L.: Schallschutz im Holzbau – Anforderungen und Lösungen. In: Vortrag zum Workshop der Fa. Getzner vom 24.04.2008
- [89] UBA [Hrsg.]: Umwelt- und Gesundheitsanforderungen an Bauprodukte – Ermittlung und Bewertung der VOC-Emissionen und geruchlichen Belastungen. Forschungsbericht 202 62 320 UBA-FB 001002, Dessau, 2007
- [90] BMF | GDF | GHAD [Hrsg.]: Gütesicherung Holzhausbau – Güte- und Prüfbestimmungen, Mai 2003, online unter: www.rai-holzhaus.de

Anhang

Anhang A – Beschreibung und Planungsunterlagen des Muster-MFH

Anhang B – Kriterienkatalog System *NaWoh*

Anhang C – Anteile zertifizierter Waldflächen in Europa

Anhang D – Anforderungsmatrix Kriterium *3.2.4 Vermeidung von Schadstoffen*

Anhang E – Ökobilanzergebnisse des Muster-MFH

Anhang A – Beschreibung und Planungsunterlagen des Muster-MFH

Gebäudepass

Gebäudetypologie	Mehrfamilienhaus (MFH) mit 12 Wohneinheiten (WE)
Energiestandard	EnEV 2014 (inkl. Verschärfung 1. Januar 2016)
Wohnfläche	Ca. 880 m ²
Geschosse	6 (KG bis 4. OG)
Baukonstruktion	Außenwände (EG bis 4. OG) _ Holzständer d = 20 cm mit Holzfaserdämmstoff außen und zwischen Stielen, Putzoberfläche außen und innen Außenwände (KG) _ Stahlbeton, d = 20 cm, Perimeterabdichtung Innenwände (EG bis DG) _ Holzständer d = 15,5 cm mit Mineralwolldämmstoff, Putzoberfläche außen und innen Innenwände (KG) _ Kalksandstein Planstein d = 20 cm (tragend) bzw. d = 11,5 cm (trennend) mit Putzoberflächen Decken _ Stahlbetondecke, d = 20 cm Dach _ Sparrenflachdach mit Zwischensparrendämmung, bekiest Fenster _ Holz-Alu-Fenster (U = 1,05 W/m²K)

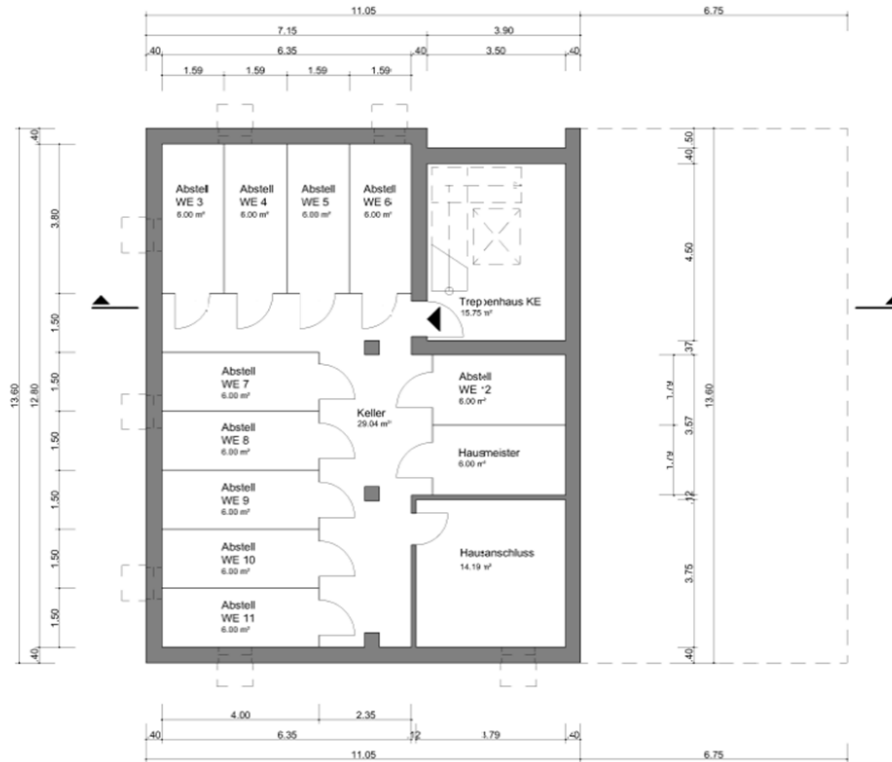
Schnitt



LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH

Grundriss KG



Kellergeschoss

Grundriss EG



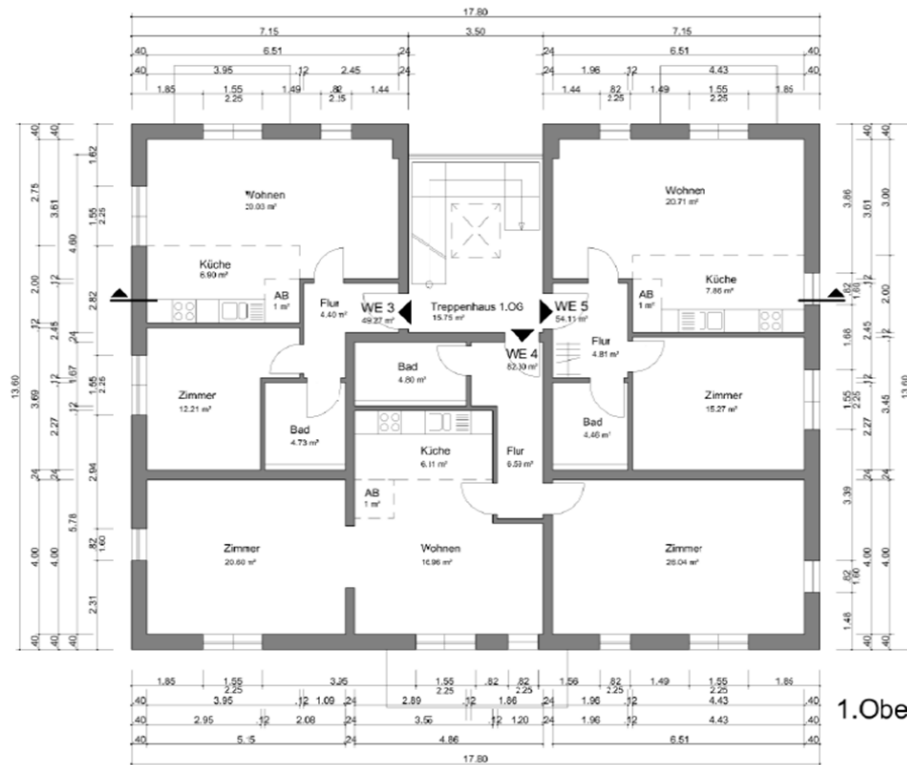
Erdgeschoss



LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH

Grundriss 1. OG



1. Obergeschoss

Grundriss 2. OG



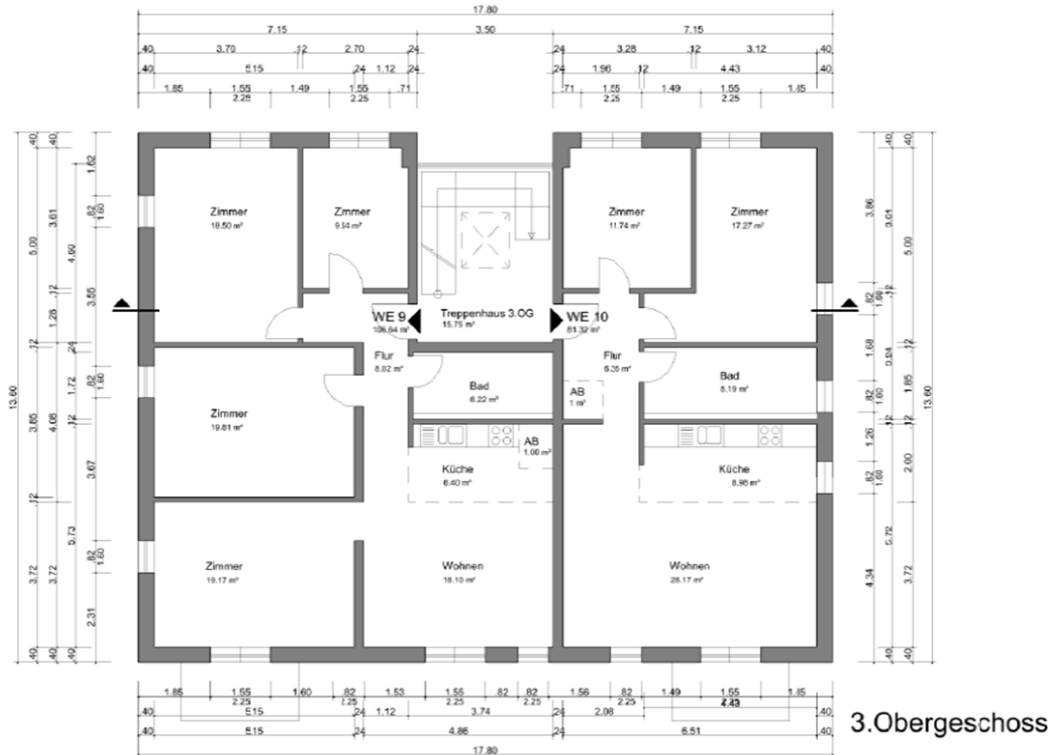
2. Obergeschoss



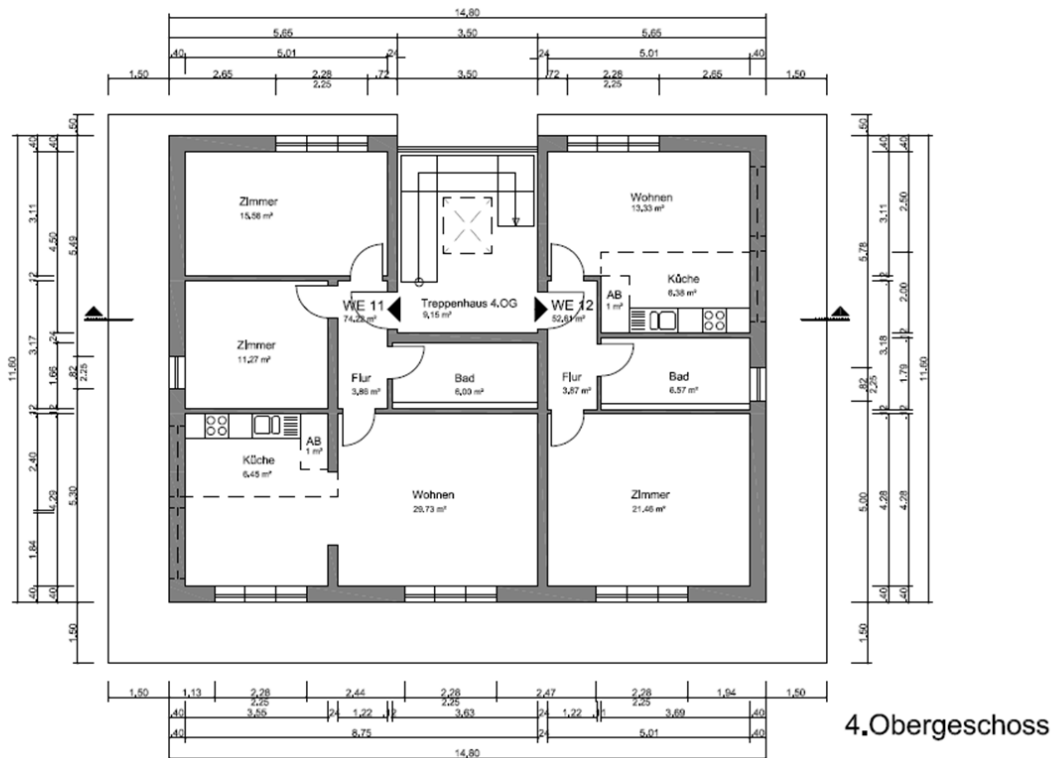
LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH

Grundriss 3. OG



Grundriss DG



Anhang B – Kriterienkatalog System NaWoh

1. WOHNQUALITÄT

Nummer	Steckbrief mit Teilindikatoren	Seite
3-stufig		
1.1.1	Funktionale Qualität der Wohnungen	1
1.1.1-1	Funktionalität der Wohnbereiche	
1.1.1-2	Funktionalität Koch- & Essbereiche	
1.1.1-3	Funktionalität Sanitärbereiche	
1.1.1-4	Vorhandensein von Stau- und Trockenraum	
1.1.2	Freisitze / Außenraum	13
	Vorhandensein von Balkon, Terrasse, Mietergärten	
1.1.3	Barrierefreiheit - Zugang und Wohnungen	15
1.1.3-1	Barrierefreiheit des Zugangs zum Gebäude	
1.1.3-2	Barrierefreiheit des Zugangs zu Wohnungen	
1.1.3-3	Grad der Barrierefreiheit von Wohnungen	
1.1.4	Stellplätze	26
1.1.4-1	Stellplätze für Fahrräder	
1.1.4-2	Stellplätze für Kinderwagen / Rollatoren	
1.1.4-3	Stellplätze für PKW / Mobilitätskonzept	
1.1.5	Freiflächen	35
1.1.5-1	Freiflächen für die Allgemeinheit	
1.1.5-2	Freiflächen für Kinder	
1.1.5-3	Freiflächen für Jugendliche	
1.1.6	Thermischer Komfort	44
	Thermische Behaglichkeit im Sommer	
beschreibend		
1.2.1	Visueller Komfort / Tageslichtversorgung	51
1.2.2	Raumluftqualität	55
1.2.3	Sicherheit	57
1.2.4	Flächenverhältnisse	61
1.2.5	Einrichtungen zum Müllsammeln und -trennen	63
1.2.6	Gestalterische und städtebauliche Qualität	65

2. TECHNISCHE QUALITÄT

Nummer	Steckbrief mit Teilindikatoren	Seite
3-stufig		
2.1.1	Schallschutz	1
2.1.1-1	Schallschutz gegen Außenlärm	
2.1.1-2	Luft- und Trittschallschutz	
2.1.1-3	Schallschutz gegen Körperschall / Installationen	
2.1.2	Energetische Qualität	11
	Effizienzniveau	
2.1.3	Effizienz der Haustechnik	15
	Effizienz der Haustechnik	
2.1.4	Lüftung	21
	Lüftung	
beschreibend		
2.2.1	Brandschutz	27
2.2.2	Feuchteschutz	31
2.2.3	Luftdichtheit der Gebäudehülle	37
2.2.4	Reaktion auf standortbezogene Gegebenheiten	40
2.2.4-1	Reaktion auf erhöhtes Radon-Vorkommen	
2.2.4-2	Reaktion auf erhöhtes Hochwasser-Risiko	
2.2.4-3	Reaktion auf erhöhtes Sturm-Risiko	
2.2.5	Dauerhaftigkeit	52
2.2.6	Wartungsfreundlichkeit / Nachrüstbarkeit TGA	54
2.2.7	Rückbau-/ Recyclingfreundlichkeit der Baukons.	56



3. ÖKOLOGISCHE QUALITÄT

Nummer	Steckbrief mit Teilindikatoren	Seite
3-stufig		
3.1.1	Ökobilanz – Teil 1 Treibhauspotenzial	1
3.1.2	Primärenergiebedarf	18
3.1.2-1	Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	
3.1.2-2	Primärenergiebedarf erneuerbar	
3.1.3	Flächeninanspruchnahme und Flächenversiegelung	23
3.1.3-1	Flächeninanspruchnahme	
3.1.3-2	Flächenversiegelung	
beschreibend		
3.2.1	Ökobilanz – Teil 2	31
3.2.2	Energiegewinnung für Mieter und Dritte	35
3.2.3	Trinkwasserbedarf	37
3.2.4	Vermeidung von Schadstoffen	40
3.2.5	Einsatz von zertifiziertem Holz	43

4. ÖKONOMISCHE QUALITÄT

Nummer	Steckbrief mit Teilindikatoren	Seite
3-stufig		
4.1.1	Lebenszykluskosten Ausgewählte Kosten im Lebenszyklus	1
4.1.2	Werthaltigkeit der Investition Investitionskosten / Marktwert	25
beschreibend		
4.2.1	Langfristige Wertstabilität	30

5. PROZESSQUALITÄT

Nummer	Steckbrief mit Teilindikatoren	Seite
3-stufig		
5.1.1	Qualität der Bauausführung / Messungen Qualität der Bauausführung / Messungen	1
beschreibend		
5.2.1	Qualität der Projektvorbereitung	3
5.2.1-1	Integraler Prozess	
5.2.1-2	Bedarfsplanung	
5.2.2	Dokumentation	10
5.2.2-1	Objektdokumentation	
5.2.2-2	Produktdokumentation	
5.2.3	Übergabe / Einweisung	15
5.2.3-1	Einweisung Personal	
5.2.3-2	Bereitstellung von Informationen für Nutzer	
5.2.4	Inbetriebnahme / Einregulierung	20
5.2.5	Voraussetzung für Bewirtschaftung	22
5.2.6	Reinigungs- / Wartungs- / Instandhaltungsplan	25
A1 - Standortsituation		
A2 - Hinweise und Prognosen		
B1 - Umweltmerkmale		
B2 - Trends und Prognosen		
C1 - Objektidentifikation		
C2 - Ausgewählte Kennwerte und Merkmale		
D1 - Konzept / Strategie zu wohnungswirtschaftlichen Zielen		
D2 - Sonstige Spezifika		

Anhang C – Anteile zertifizierter Waldflächen in Europa

Land	Waldfläche [Tausend ha]	PEFC-zertifizierte Fläche [Tausend ha]	Anteil PEFC-zertifiziert [%]	FSC-zertifizierte Fläche [Tausend ha]	Anteil FSC-zertifiziert [%]
Belgien	683,4	300	43,9%	23	3,4%
Bulgarien	3.823,0	-	-	790	20,7%
Tschechische Republik	2.667,4	1.800,00	67,5%	50	1,9%
Dänemark	612,2	257	42,0%	212	34,6%
Deutschland	11.419,0	7.325,00	64,1%	1.054,00	9,2%
Estland	2.232,0	1.028,00	46,1%	1.262,00	56,5%
Irland	754,0	376	49,9%	448	59,4%
Griechenland	4.054,0	-	-	-	-
Spanien	18.417,9	1.914,00	10,4%	226	1,2%
Frankreich	16.989,0	8.139,00	47,9%	31	0,2%
Kroatien	1.922,0	-	-	2.039,00	106,1%
Italien	9.297,0	829	8,9%	94	1,0%
Zypern	172,7	-	-	-	-
Lettland	3.356,0	1.683,00	50,1%	1.697,00	50,6%
Litauen	2.180,0	-	-	1.083,00	49,7%
Luxemburg	87,0	33	37,9%	22	25,3%
Ungarn	2.069,1	-	-	305	14,7%
Malta	0,4	-	-	-	-
Niederlande	376,0	-	-	136	36,2%



Land	Waldfläche [Tausend ha]	PEFC-zertifizierte Fläche [Tausend ha]	Anteil PEFC-zertifiziert [%]	FSC-zertifizierte Fläche [Tausend ha]	Anteil FSC-zertifiziert [%]
Österreich	3.869,0	2.946,00	76,1%	587	15,2%
Polen	9.435,0	7.278,00	77,1%	6.938,00	73,5%
Portugal	3.182,1	256	8,0%	367	11,5%
Rumänien	6.861,0	-	-	2.463,00	35,9%
Slowenien	1.248,0	32	2,6%	260	20,8%
Slowakei	1.940,0	1.248,00	64,3%	149	7,7%
Finnland	22.218,0	17.583,00	79,1%	1.234,00	5,6%
Schweden	28.073,0	11.355,00	40,4%	12.217,00	43,5%
Vereinigtes Königreich	3.144,0	1.410,00	44,8%	1.588,00	50,5%
Island	49,2	-	-	-	-
Liechtenstein	6,2	-	-	-	-
Norwegen	12.112,0	9.143,00	75,5%	418	3,5%
Schweiz	1.254,0	224	17,9%	606	48,3%
Montenegro	827,0	-	-	-	-
Mazedonien	998,0	-	-	-	-
Serbien	2.720,0	-	-	1.001,00	36,8%
Türkei	11.715,0	-	-	-	-

Anhang D – Anforderungsmatrix Kriterium

3.2.4 Vermeidung von Schadstoffen, System NaWoh

zu beschreibende Merkmale	Typ III Umweltproduktdeklarationen (EPD) die erforderliche Nachweise enthalten oder ein entsprechendes RAL UZ gelten automatisch als Erfüllungsnachweise. Ansonsten sind äquivalente Herstellernachweise oder Erklärungen vorzulegen. Zu betrachten sind mindestens 80% der Oberflächen. Zur Minimierung von Schadstoffen wurden folgende Qualitätskriterien für die eingesetzten Materialien und Produkte eingehalten: Kunstschaumdämmstoffe ☐ Verwendung von Kunstschaumdämmstoffen ohne halogenierte Treibmittel. Hierbei sind alle Dämmstoffe, die schon über die EnEV - Berechnungen erfasst sind, Wärmedämmung und die Hauptdämmmaterialien für die Haustechnik zu bewerten. Belegung von Oberflächen von Wänden, Fußböden, Decken oder Dächern ☐ Verwendung von Produkten zur Belegung von Oberflächen in großflächiger Anwendung der Oberflächen, die einen VOC-Gehalt von 25 % nicht überschreiten, ☐ VOC-Gehalt von max. 15%. ☐ Verwendung von Beschichtungen, Imprägnierungen, Klebern oder Schutzmitteln, die PU, Epoxidharz oder Bitumen enthalten, zur Belegung von Oberflächen, in großflächiger Anwendung (> 20 %), die keiner der folgenden GISCODEs und Produkt-Codes zuzurechnen sind: ☐ DD 1/2 (Polyurethansiegel für Fußbodenbeläge, stark lösemittelhaltig) ☐ PU 30/50/60 (Polyurethansysteme, lösemittelhaltig, gesundheitsschädlich) ☐ RE 2,5/4/5/6/7/8/9 4 – 9 (Epoxidharzsysteme, lösemittelhaltig bzw. sensibilisierend bis giftig und Krebs erzeugend) ☐ BBP 30-70 (Bitumenmassen, lösemittelhaltig, gesundheitsschädlich) ☐ D 6/7; RU 4; S 1 – S 6 (Verlegewerkstoffe, lösemittelhaltig bzw. stark lösemittelhaltig) ☐ Ö 60/70 Öle/ Wachse (stark lösemittelhaltig) ☐ Verwendung von Pigmenten und Sikkativen in Lacken ohne Blei, Cadmium, Chrom VI und deren Verbindungen (eingefärbt bzw. sikkativiert) ☐ Epoxidharzprodukte der Gruppen GISCODE RE 0 (Epoxidharzdispersionen). ☐ Reaktive 1 oder 2-K Polyurethan-Systeme der Gruppen GISCODE PU 10. ☐ Bitumenemulsionen der Gruppen GISCODE BBP 10. ☐ Epoxidharzprodukte der Gruppen GISCODE RE 1 (lösemittelfrei). ☐ Beschichtungen / Belegung der nicht mineralischen Oberflächen, deren VOC-Gehalt 3 % ☐ 10 % ☐ des eingebauten Produkts nach 2004/42/EG (Richtlinie über die Begrenzung der VOC-Emissionen) nicht überschreitet, z.B. in Deutschland: - GISCODE M DF 01 (lösemittelfreie Dispersionsfarben) - M GF 01 (wasserverdünnbare, farblose Grundanstrichstoffe) - Ö 10 (lösemittelfreie Öle/ Wachse) - PU 10 (lösemittelfreie PU-Systeme) ☐ Produkte zur Belegung / Beschichtung der mineralischen Oberflächen, mit ei-
--------------------------------------	--



	nem VOC-Gehalt von max. 3 % ☐ Emissions- und lösemittelfrei ausgewiesene Beschichtungen zur Belegung der mineralischen Oberflächen von Wänden, Fußböden, Decken oder Dächern ☐ Chromoxidfreie Oberflächenveredelungen und Beschichtungen bei Aluminium- und Edelstahlbauteilen. Zu betrachten sind Aluminium- und Edelstahlbauteile der Gebäudehülle Korrosionsschutz-, Dichtungs-, Kleber- oder Versiegelungshilfsmittel ☐ Korrosionsschutz-, Dichtungs-, Kleber- oder Versiegelungshilfsmittel, die zur Bearbeitung der Oberflächen von Wänden, Fußböden, Decken oder Dächern sowie Stahlkonstruktionen im wettergeschützten Bereich verwendet werden, dürfen einem VOC-Gehalt von ☐ 10 % ☐ 3% nicht überschreiten. ☐ Verwendung von Bodenbelagsklebstoffen der Gruppen EmiCode EC 1 (sehr emissionsarm) oder RAL UZ 113 (emissionsarm). Zu betrachten sind mindestens 80 % Bodenbelagsflächen ☐ Korrosionsschutzbeschichtungen der Gruppen GISCODE BS 10 (wasserverdünnbar, Lösemittelgehalt < 5 %). Regenabwässerung ☐ Die Verwendung von bauartgeprüften Vorreinigungsanlagen für die unterirdische Regenabwässerung (Sickerschächte, Sickerrohre, Rigolen), wenn Metalldachflächen aus Kupfer oder Zink mehr als 50 qm betragen. Alternativ wird der Nachweis des witterungsbedingten Abtrages geneigter und senkrechter Bauteile entsprechend Leitfaden für das Bauwesen (Umweltbundesamt 17/05) gefertigt. Kältemittel ☐ keine halogenierten oder teilhalogenierten Kältemittel Kunststoffe ☐ keine Kunststoffe mit Blei- Cadmium- und Zinnstabilisatoren Dabei werden Fenster, Fußbodenbeläge und Wandbekleidungen betrachtet. Holzschutz ☐ keine Verwendung von mit Holzschutzmitteln behandelter Holzprodukte, entsprechend dem GISCCODE HSM-W 60-90 (Chrom- Kupferverbindungen) Zu betrachten sind mindestens 80 % der Bauelemente, Tragwerke, Fußböden und Wandverkleidungen ☐ In den Gefährdungsklassen (zukünftig: Gebrauchsklassen) 1 und 2 nach DIN 68800, erfolgt der vorbeugende Holzschutz ausschließlich konstruktiv oder durch artentypischen Resistenzen
--	---



LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH

Anhang E.1 – Ökobilanz Muster-MFH – Ergebnisse Konstruktion Wandbauteile | Lebenszyklusphase Herstellung

Systemgrenzen und Berechnungsparameter

Räumliche Systemgrenze

Bilanzierung aller Wandbauteile, d.h.

_ Außenwände

_ Innenwände

Zeitliche Systemgrenze

Betrachtungszeitraum gemäß

Bewertungssystem *NaWoh*: 50 Jahre

Funktionelle Systemgrenze

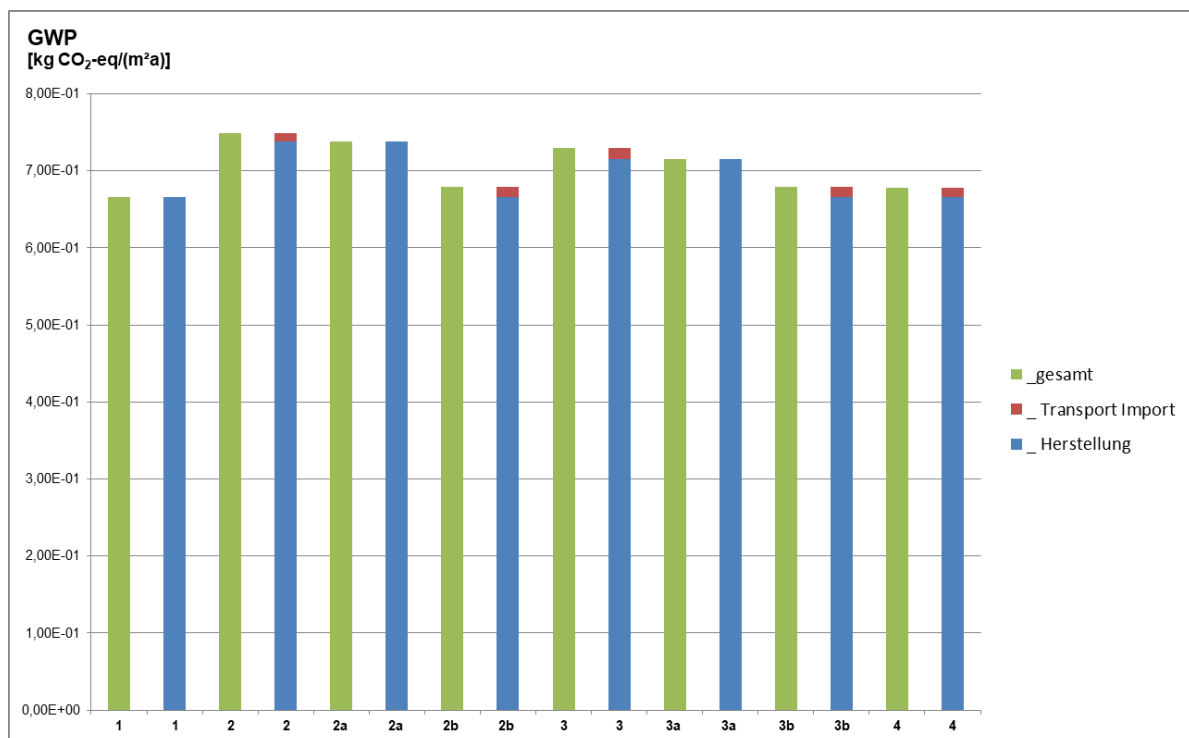
Bilanzierung für die Lebenszyklusphase der
Herstellung

Wirkungsindikatoren

_ Ökobilanzielle Indikatoren gemäß Bewertungs-
system *NaWoh*

_ Ergebnisse pro m² Nettogrundfläche und Jahr

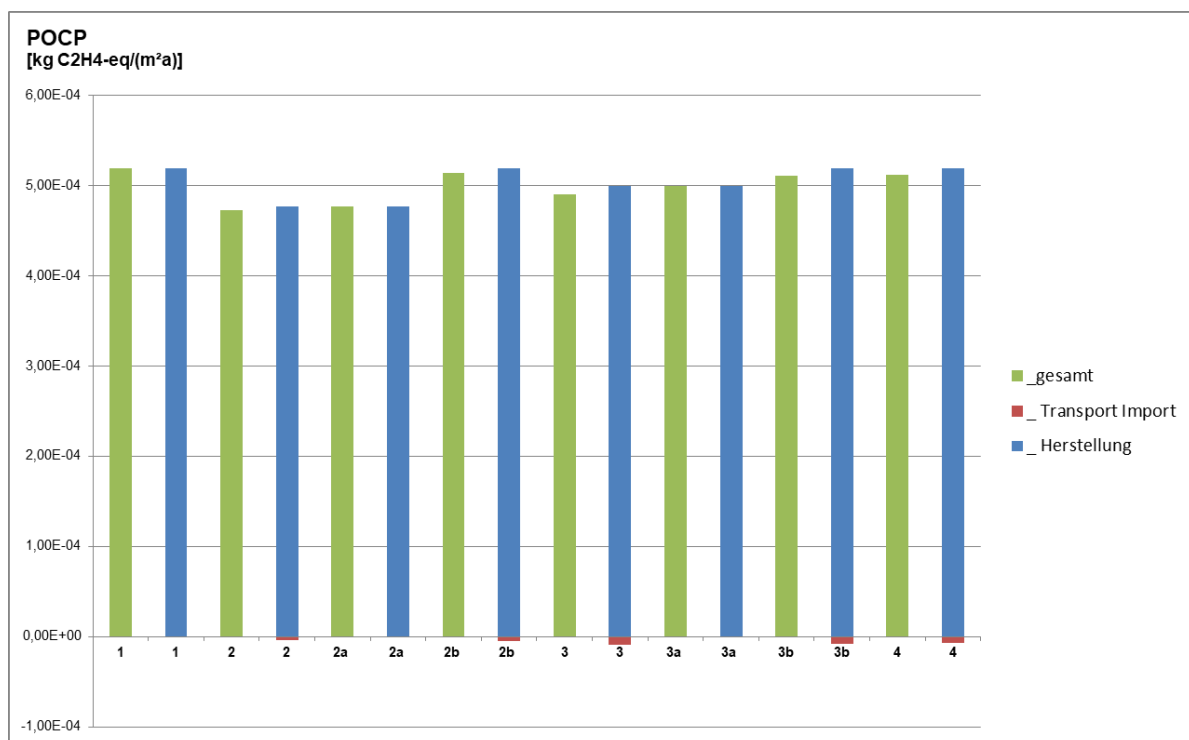
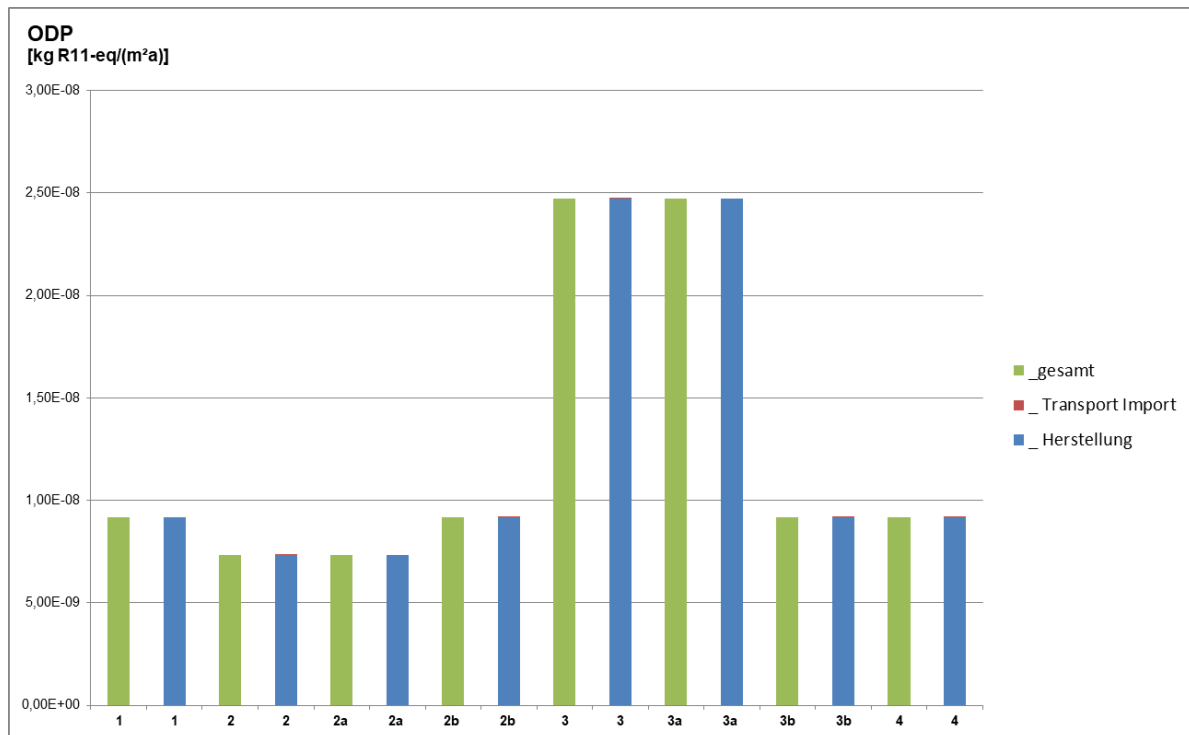
Graphische Darstellung

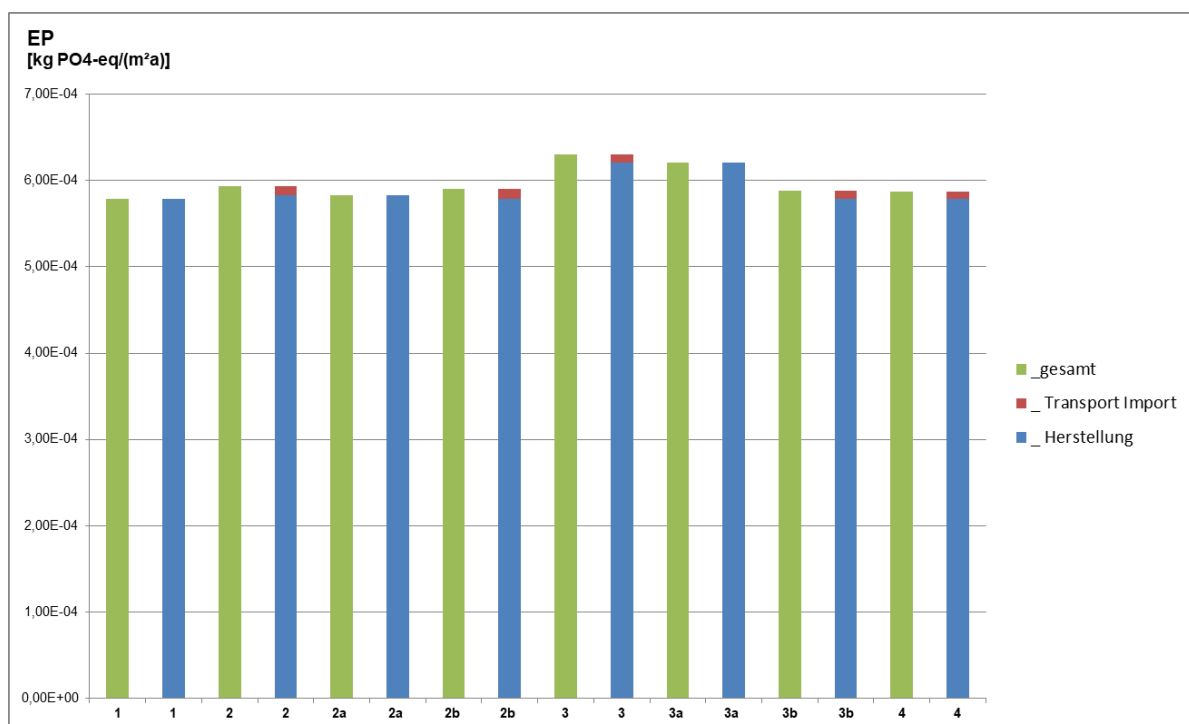
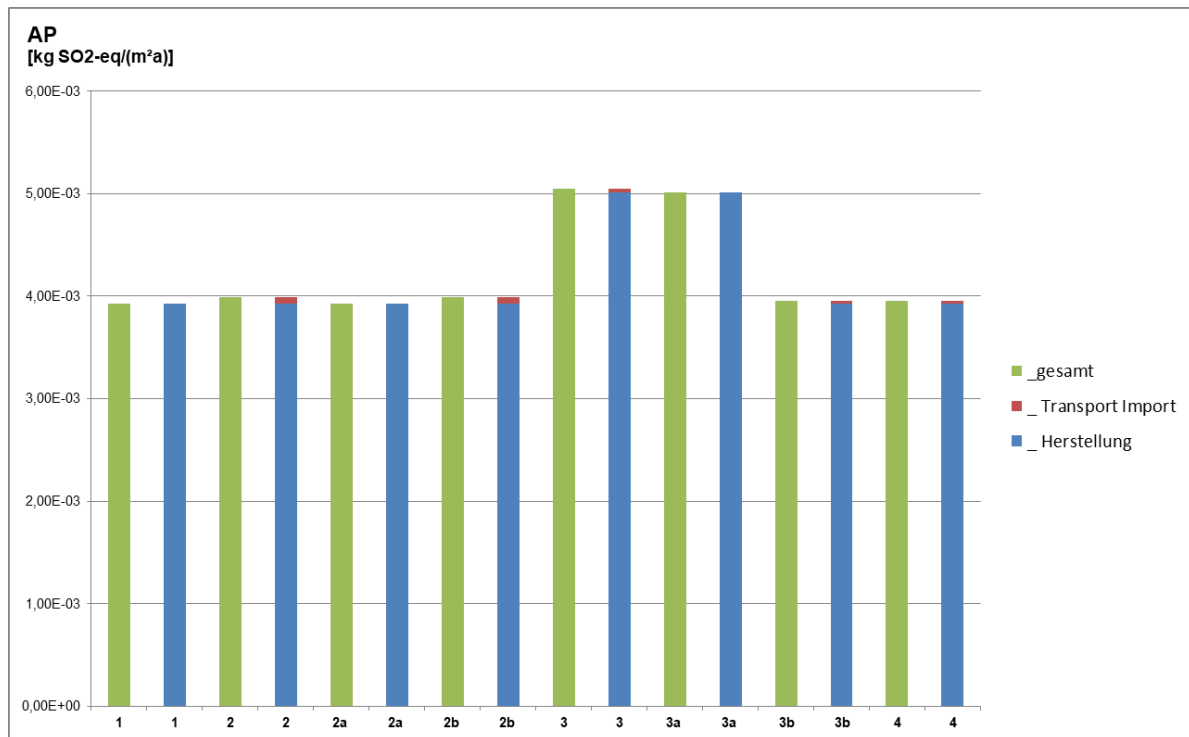


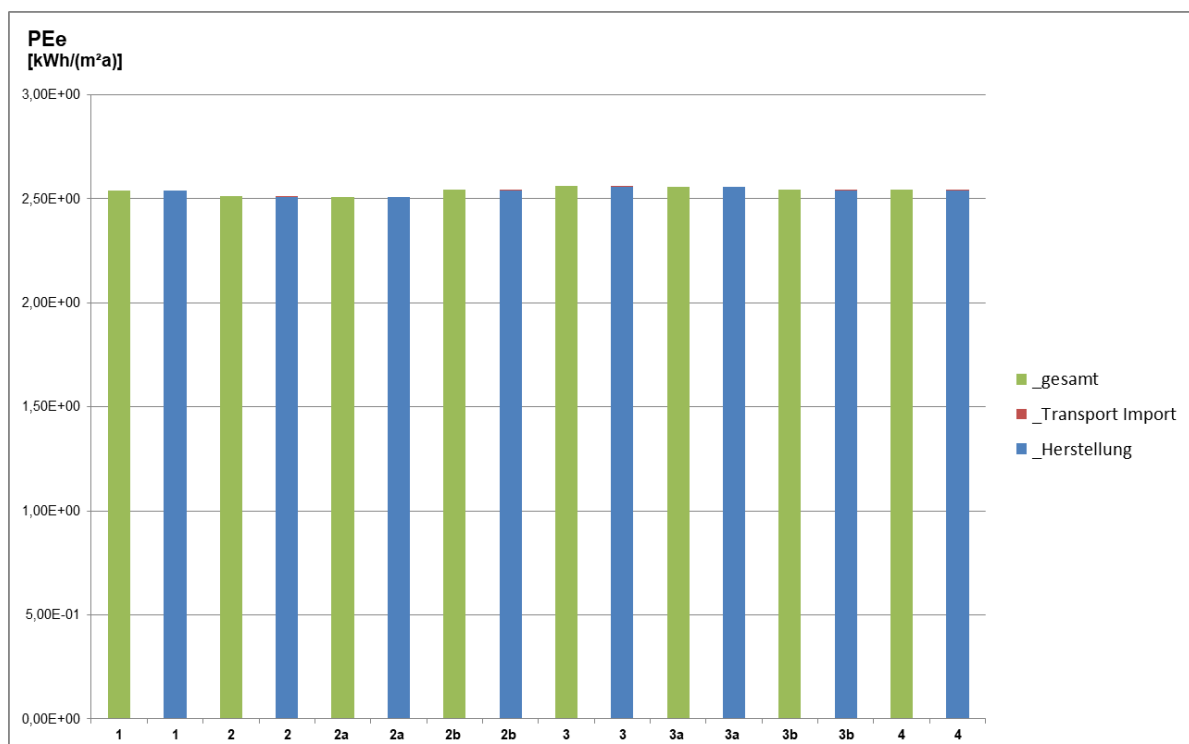
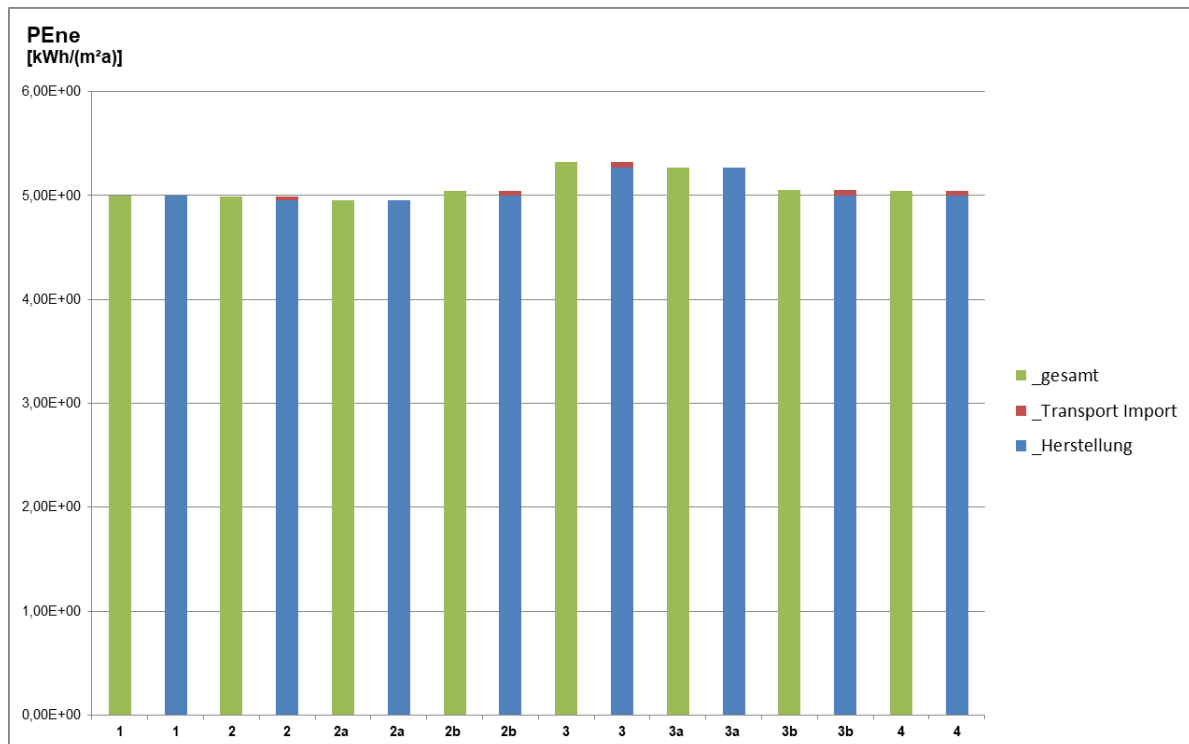


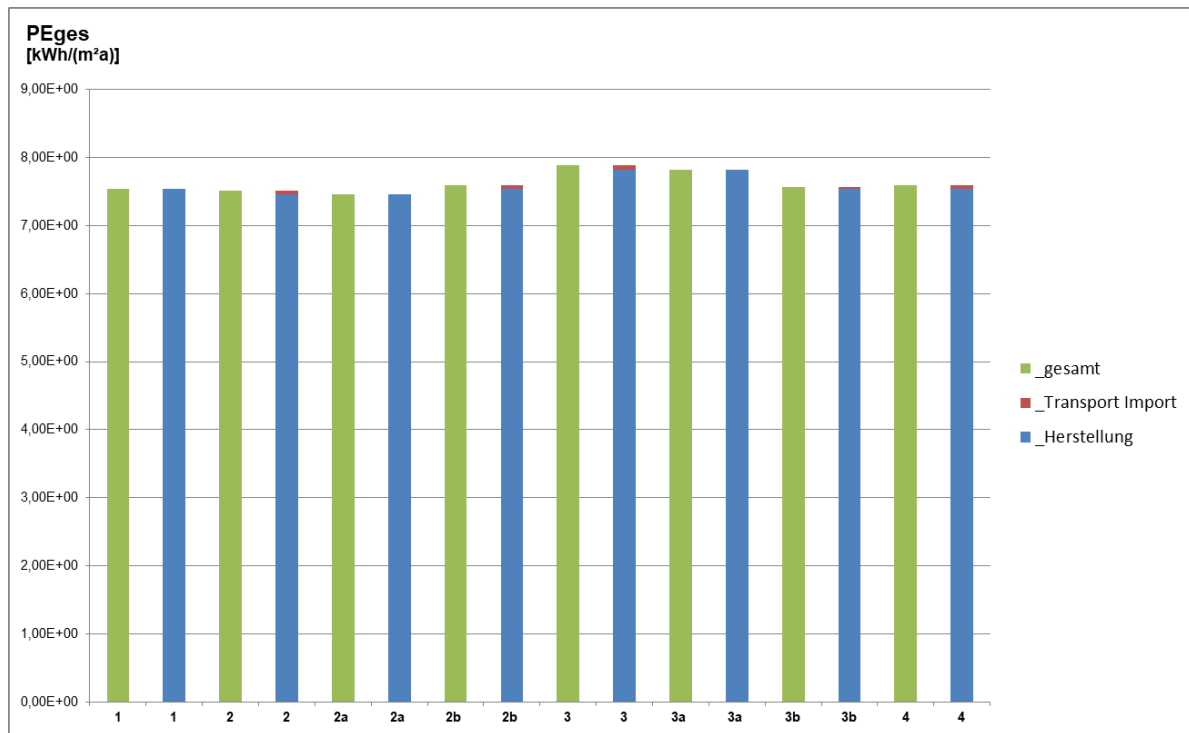
LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH











LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH

Tabellarische Darstellung

Wirkungskategorien [pro (m²a)] → Szenario-Varianten ↓	GWP [kg CO ₂ -eq]	ODP [kg R11-eq]	POCP [kg C ₂ H ₄ -eq]	AP [kg SO ₂ -eq]	EP [kg PO ₄ -eq]	PE _{ne} [kWh/(m²a)]	PE _e [kWh/(m²a)]	PE _{ges} [kWh/(m²a)]
1								
Herstellung	6,657E-01	9,157E-09	5,188E-04	3,922E-03	5,783E-04	4,997E+00	2,540E+00	7,537E+00
Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
gesamt	6,657E-01	9,157E-09	5,188E-04	3,922E-03	5,783E-04	4,997E+00	2,540E+00	7,537E+00
Anteil Transport Import an Herstellung	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Anteil Transport Import an gesamt	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
2								
Herstellung	7,382E-01	7,355E-09	4,768E-04	3,929E-03	5,830E-04	4,952E+00	2,509E+00	7,461E+00
Transport Import	1,130E-02	6,814E-14	-4,249E-06	5,782E-05	1,048E-05	4,251E-02	3,348E-03	4,586E-02
gesamt	7,495E-01	7,355E-09	4,726E-04	3,987E-03	5,935E-04	4,994E+00	2,513E+00	7,507E+00
Anteil Transport Import an Herstellung	1,53%	0,00%	0,89%	1,47%	1,80%	0,86%	0,13%	0,61%
Anteil Transport Import an gesamt	1,51%	0,00%	0,90%	1,45%	1,77%	0,85%	0,13%	0,61%
%-Veränderung von gesamt zu 1	12,59%	-19,68%	-8,91%	1,67%	2,62%	-0,05%	-1,10%	-0,41%
2a								
Herstellung	7,382E-01	7,355E-09	4,768E-04	3,929E-03	5,830E-04	4,952E+00	2,509E+00	7,461E+00
Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
gesamt	7,382E-01	7,355E-09	4,768E-04	3,929E-03	5,830E-04	4,952E+00	2,509E+00	7,461E+00
Anteil Transport Import an Herstellung	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Anteil Transport Import an gesamt	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
%-Veränderung von gesamt zu 1	10,89%	-19,68%	-8,09%	0,19%	0,81%	-0,91%	-1,23%	-1,01%
2b								
Herstellung	6,657E-01	9,157E-09	5,188E-04	3,922E-03	5,783E-04	4,997E+00	2,540E+00	7,537E+00
Transport Import	1,319E-02	7,950E-14	-4,957E-06	6,746E-05	1,222E-05	4,960E-02	3,906E-03	5,350E-02
gesamt	6,789E-01	9,157E-09	5,139E-04	3,989E-03	5,906E-04	5,047E+00	2,544E+00	7,591E+00
Anteil Transport Import an Herstellung	1,98%	0,00%	0,96%	1,72%	2,11%	0,99%	0,15%	0,71%
Anteil Transport Import an gesamt	1,94%	0,00%	0,96%	1,69%	2,07%	0,98%	0,15%	0,70%
%-Veränderung von gesamt zu 1	1,98%	0,00%	-0,96%	1,72%	2,11%	0,99%	0,15%	0,71%
3								
Herstellung	7,157E-01	2,472E-08	4,993E-04	5,008E-03	6,204E-04	5,269E+00	2,556E+00	7,825E+00
Transport Import	1,421E-02	9,013E-14	-8,750E-06	3,631E-05	9,860E-06	5,398E-02	4,619E-03	5,860E-02
gesamt	7,299E-01	2,472E-08	4,905E-04	5,044E-03	6,303E-04	5,323E+00	2,560E+00	7,883E+00
Anteil Transport Import an Herstellung	1,99%	0,00%	1,75%	0,72%	1,59%	1,02%	0,18%	0,75%
Anteil Transport Import an gesamt	1,95%	0,00%	1,78%	0,72%	1,56%	1,01%	0,18%	0,74%
%-Veränderung von gesamt zu 1	9,64%	169,95%	-5,45%	28,63%	8,98%	6,52%	0,79%	4,59%
3a								
Herstellung	7,157E-01	2,472E-08	4,993E-04	5,008E-03	6,204E-04	5,269E+00	2,556E+00	7,825E+00
Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
gesamt	7,157E-01	2,472E-08	4,993E-04	5,008E-03	6,204E-04	5,269E+00	2,556E+00	7,825E+00
Anteil Transport Import an Herstellung	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Anteil Transport Import an gesamt	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
%-Veränderung von gesamt zu 1	7,50%	169,95%	-3,77%	27,70%	7,28%	5,44%	0,60%	3,81%
3b								
Herstellung	6,657E-01	9,157E-09	5,188E-04	3,922E-03	5,783E-04	4,997E+00	2,540E+00	7,537E+00
Transport Import	1,379E-02	8,745E-14	-8,490E-06	3,523E-05	9,567E-06	5,237E-02	4,482E-03	2,705E-02
gesamt	6,795E-01	9,157E-09	5,104E-04	3,957E-03	5,879E-04	5,049E+00	2,545E+00	7,565E+00
Anteil Transport Import an Herstellung	2,07%	0,00%	1,64%	0,90%	1,65%	1,05%	0,18%	0,36%
Anteil Transport Import an gesamt	2,03%	0,00%	1,66%	0,89%	1,63%	1,04%	0,18%	0,36%
%-Veränderung von gesamt zu 1	2,07%	0,00%	-1,64%	0,90%	1,65%	1,05%	0,18%	0,36%
4								
Herstellung	6,657E-01	9,157E-09	5,188E-04	3,922E-03	5,783E-04	4,997E+00	2,540E+00	7,537E+00
Transport Import	1,267E-02	8,284E-14	-7,450E-06	3,350E-05	9,058E-06	4,813E-02	4,112E-03	5,224E-02
gesamt	6,784E-01	9,157E-09	5,114E-04	3,955E-03	5,874E-04	5,045E+00	2,545E+00	7,590E+00
Anteil Transport Import an Herstellung	1,90%	0,00%	1,44%	0,85%	1,57%	0,96%	0,16%	0,69%
Anteil Transport Import an gesamt	1,87%	0,00%	1,46%	0,85%	1,54%	0,95%	0,16%	0,69%
%-Veränderung von gesamt zu 1	1,90%	0,00%	-1,44%	0,85%	1,57%	0,96%	0,16%	0,69%



LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH

Anhang E.2 – Ökobilanz Muster-MFH – Ergebnisse Konstruktion Wandbauteile | Gesamter Lebenszyklus

Systemgrenzen und Berechnungsparameter

Räumliche Systemgrenze

Bilanzierung aller Wandbauteile, d.h.

_ Außenwände

_ Innenwände

Zeitliche Systemgrenze

Betrachtungszeitraum gemäß

Bewertungssystem *NaWoh*: 50 Jahre

Funktionelle Systemgrenze

Bilanzierung des gesamten **Lebenszyklus**

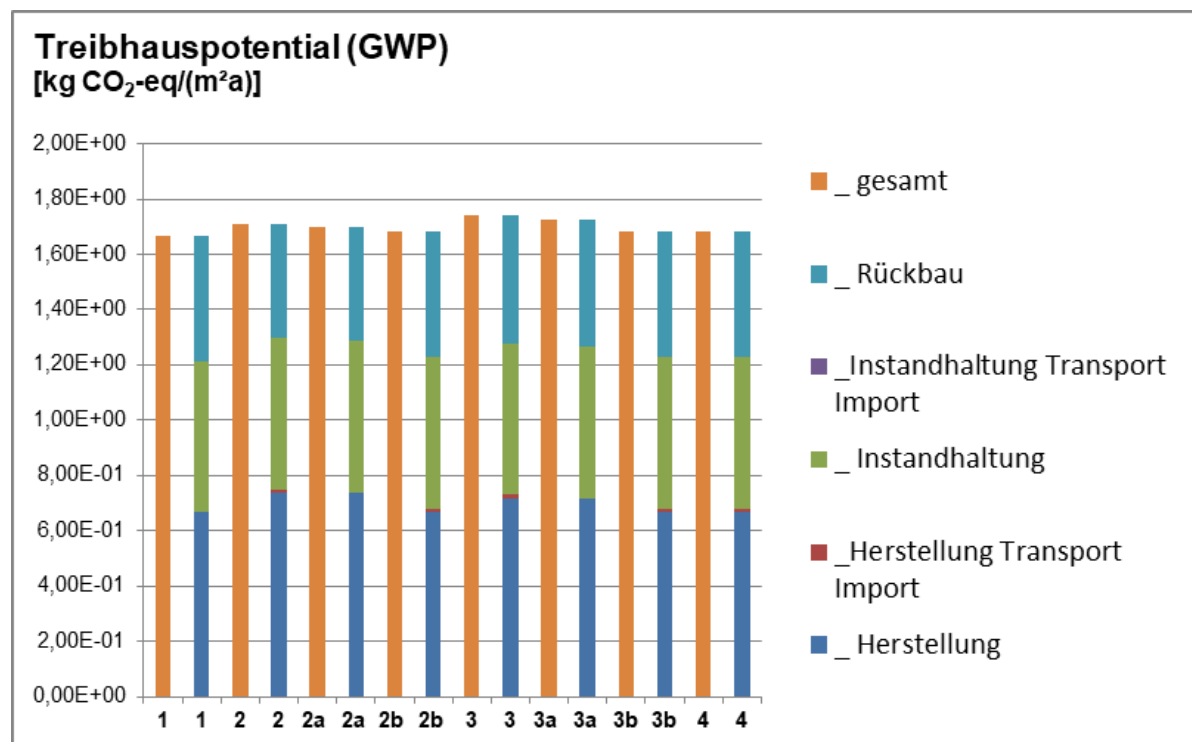
(Herstellung | Instandhaltung | Rückbau)

Wirkungsindikatoren

_ Ökobilanzielle Indikatoren gemäß Bewertungs-
system *NaWoh*

_ Ergebnisse **pro m² Nettogrundfläche und Jahr**

Graphische Darstellung

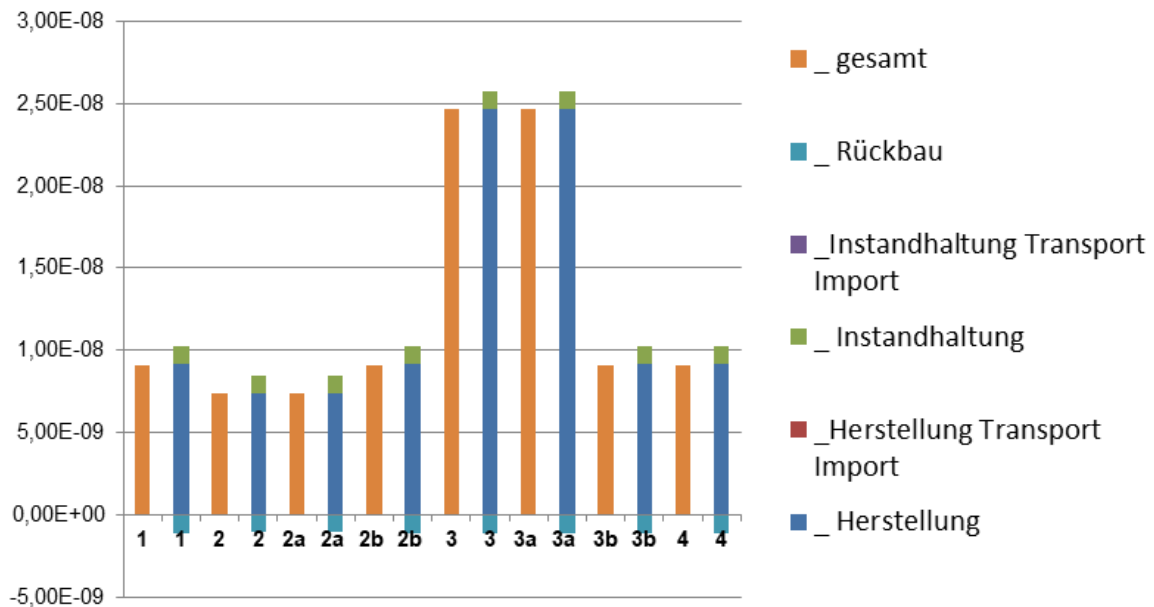




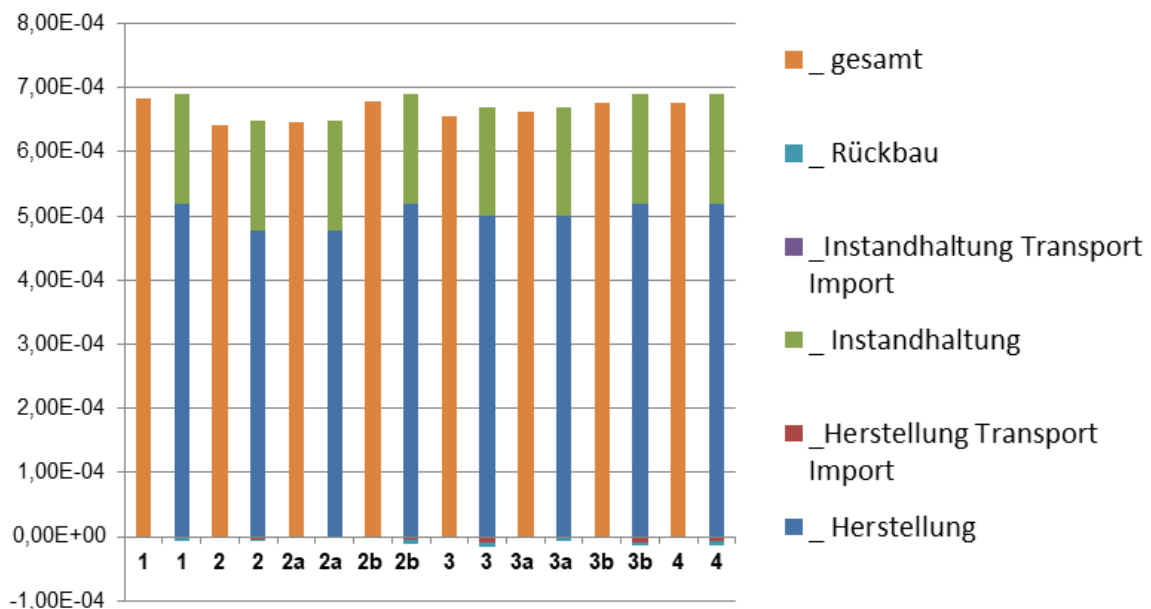
LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH

ODP [kg R11-eq/(m²a)]



POCP [kg C2H4-eq/(m²a)]

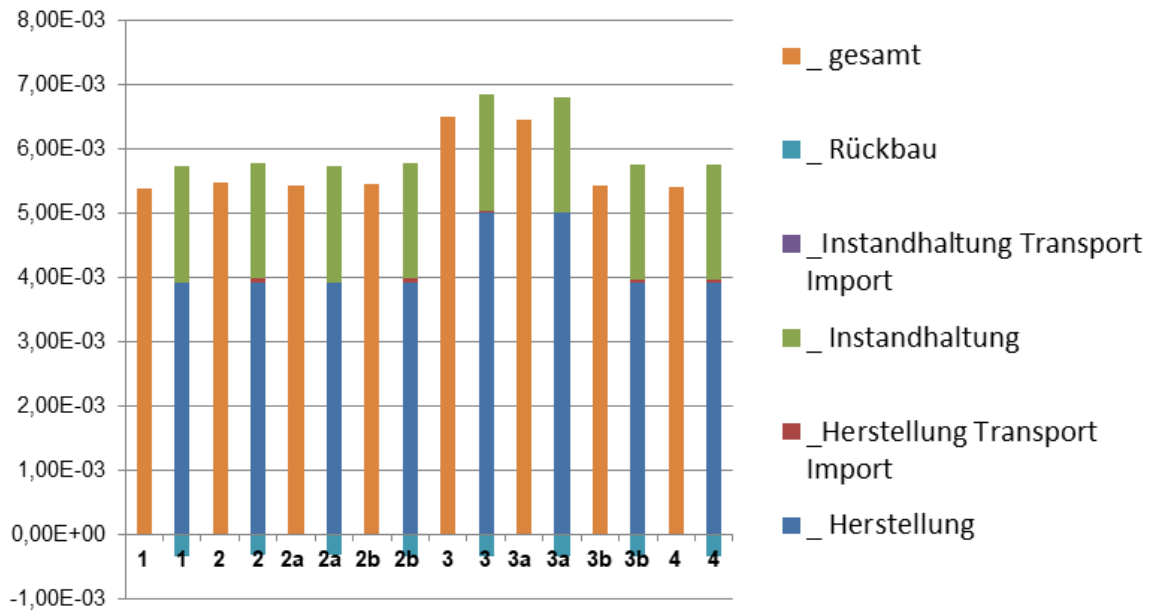




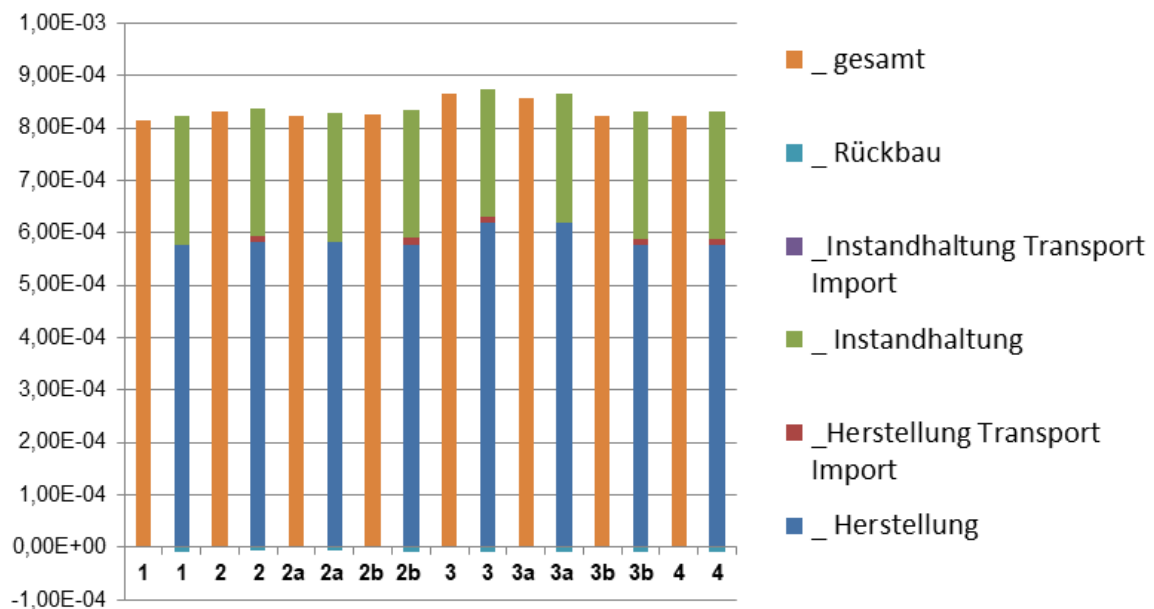
LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH

AP [kg SO₂-eq/(m²a)]



EP [kg PO₄-eq/(m²a)]

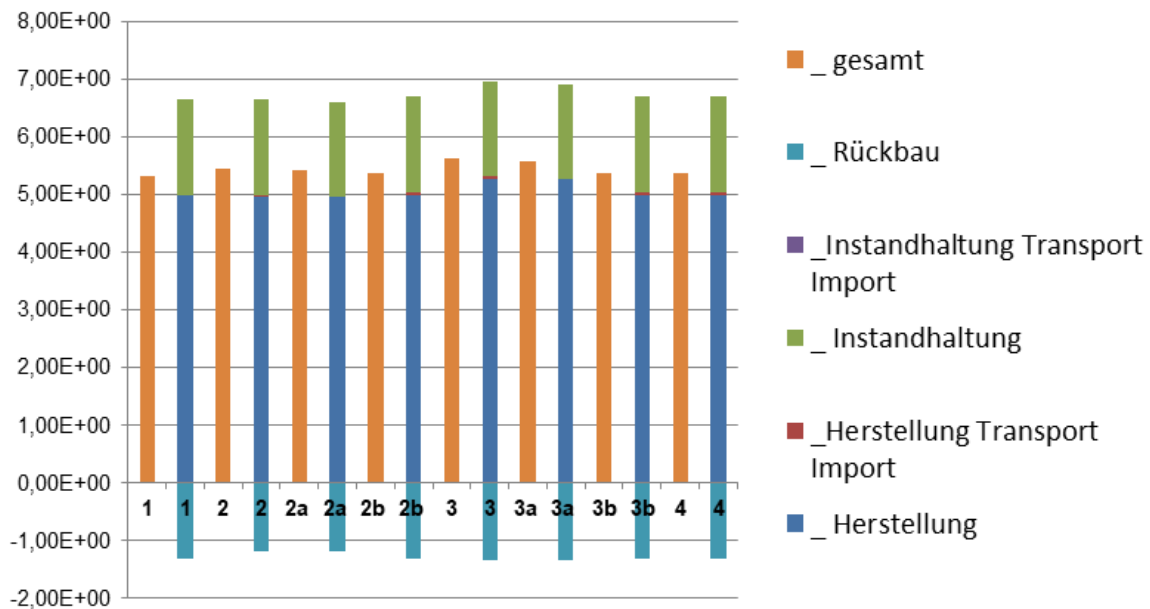




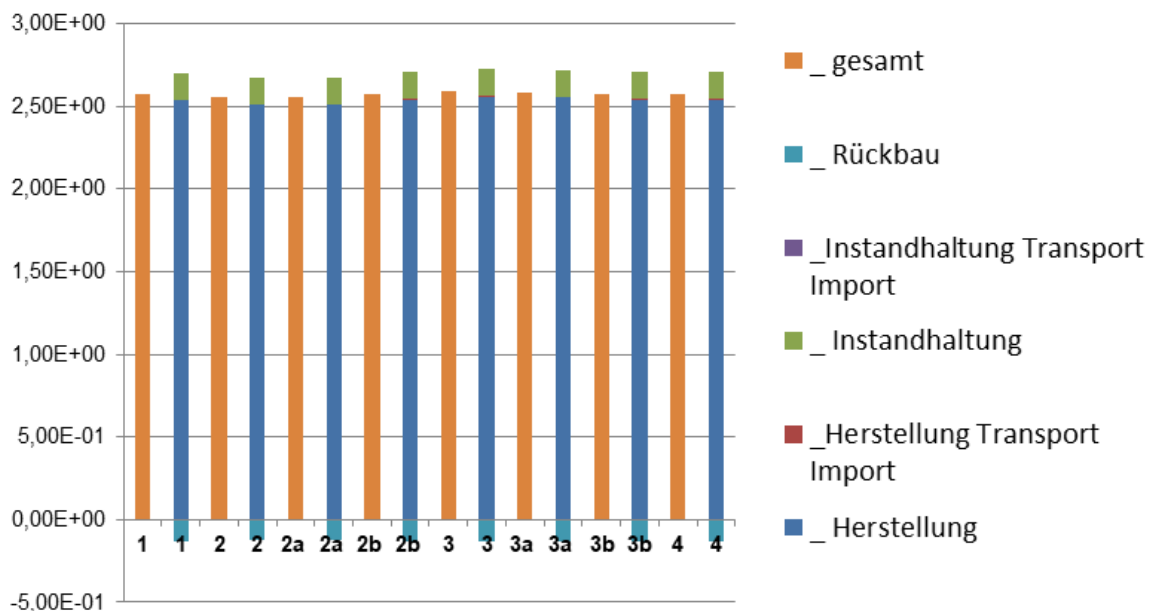
LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH

Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar (PEne) [kWh/(m²a)]



Primärenergiebedarf, erneuerbar (PEe) [kWh/(m²a)]

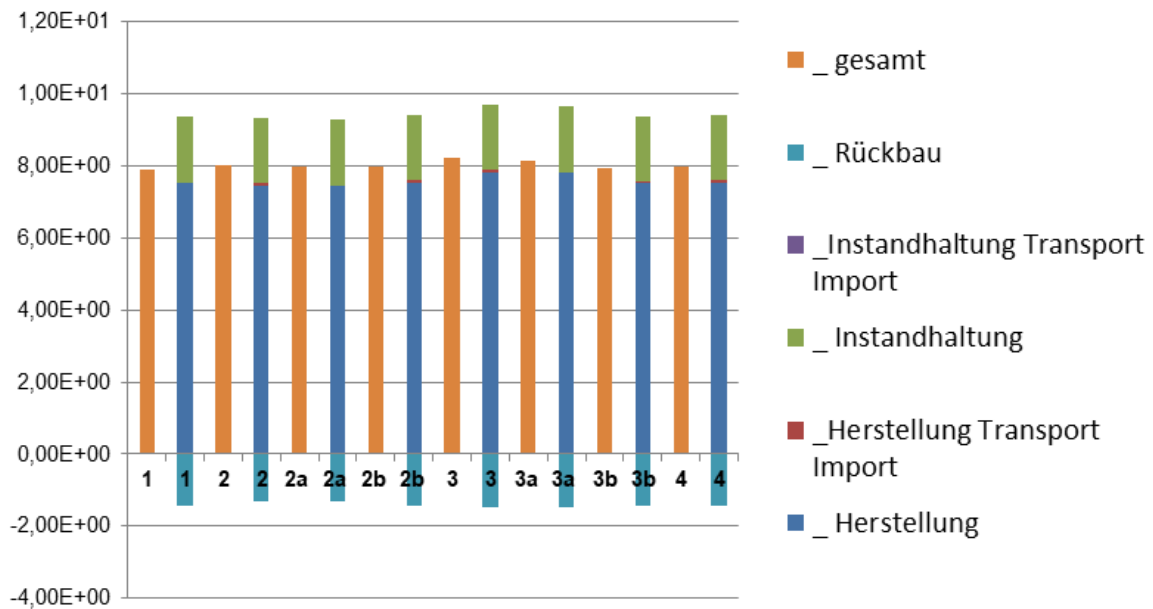




LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH

Primärenergiebedarf, gesamt (PEges) [kWh/(m²a)]





LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH

Tabellarische Darstellung

Wirkungskategorien [pro (m³a)] → Szenario-Varianten ↓	GWP [kg CO ₂ -eq]	ODP [kg R11-eq]	POCP [kg C ₂ H ₄ -eq]	AP [kg SO ₂ -eq]	EP [kg PO ₄ -eq]	PE _{ne} [kWh/(m³a)]	PE _s [kWh/(m³a)]	PE _{ges} [kWh/(m³a)]
1								
Herstellung	6,657E-01	9,157E-09	5,188E-04	3,922E-03	5,783E-04	4,997E+00	2,540E+00	7,537E+00
Herstellung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Instandhaltung	5,493E-01	1,063E-09	1,710E-04	1,801E-03	2,447E-04	1,653E+00	1,623E-01	1,815E+00
Instandhaltung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Rückbau	4,540E-01	-1,112E-09	-6,011E-06	-3,385E-04	-8,331E-06	-1,320E+00	-1,306E-01	-1,451E+00
gesamt	1,669E+00	9,107E-09	6,838E-04	5,384E-03	8,147E-04	5,330E+00	2,572E+00	7,902E+00
Anteil Transporte Import an Herstellung und Instandhaltung	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
2								
Herstellung	7,382E-01	7,355E-09	4,768E-04	3,929E-03	5,830E-04	4,952E+00	2,509E+00	7,461E+00
Herstellung Transport Import	1,130E-02	6,814E-14	-4,249E-06	5,782E-05	1,048E-05	4,251E-02	3,348E-03	4,586E-02
Instandhaltung	5,493E-01	1,063E-09	1,710E-04	1,801E-03	2,447E-04	1,653E+00	1,623E-01	1,815E+00
Instandhaltung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Rückbau	4,120E-01	-1,035E-09	-2,569E-06	-3,054E-04	-5,296E-06	-1,184E+00	-1,202E-01	-1,304E+00
gesamt	1,711E+00	7,382E-09	6,410E-04	5,483E-03	8,329E-04	5,463E+00	2,555E+00	8,018E+00
Anteil Transporte Import an Herstellung und Instandhaltung	0,88%	0,00%	0,66%	1,01%	1,27%	0,64%	0,13%	0,49%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,66%	0,00%	0,66%	1,05%	1,26%	0,78%	0,13%	0,57%
%-Veränderung von gesamt zu 1	2,50%	-18,94%	-6,26%	1,83%	2,24%	2,50%	-0,68%	1,47%
2a								
Herstellung	7,382E-01	7,355E-09	4,768E-04	3,929E-03	5,830E-04	4,952E+00	2,509E+00	7,461E+00
Herstellung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Instandhaltung	5,493E-01	1,063E-09	1,710E-04	1,801E-03	2,447E-04	1,653E+00	1,623E-01	1,815E+00
Instandhaltung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Rückbau	4,120E-01	-1,035E-09	-2,569E-06	-3,054E-04	-5,296E-06	-1,184E+00	-1,202E-01	-1,304E+00
gesamt	1,700E+00	7,382E-09	6,452E-04	5,425E-03	8,225E-04	5,421E+00	2,551E+00	7,972E+00
Anteil Transporte Import an Herstellung und Instandhaltung	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
%-Veränderung von gesamt zu 1	1,83%	-18,94%	-5,64%	0,76%	0,95%	1,71%	-0,81%	0,89%
2b								
Herstellung	6,657E-01	9,157E-09	5,188E-04	3,922E-03	5,783E-04	4,997E+00	2,540E+00	7,537E+00
Herstellung Transport Import	1,319E-02	7,950E-14	-4,957E-06	6,746E-05	1,222E-05	4,960E-02	3,906E-03	5,350E-02
Instandhaltung	5,493E-01	1,063E-09	1,710E-04	1,801E-03	2,447E-04	1,653E+00	1,623E-01	1,815E+00
Instandhaltung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Rückbau	4,540E-01	-1,112E-09	-6,011E-06	-3,385E-04	-8,331E-06	-1,320E+00	-1,306E-01	-1,451E+00
gesamt	1,682E+00	9,107E-09	6,788E-04	5,452E-03	8,270E-04	5,379E+00	2,576E+00	7,955E+00
Anteil Transporte Import an Herstellung und Instandhaltung	1,09%	0,00%	0,72%	1,18%	1,49%	0,75%	0,14%	0,57%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,78%	0,00%	0,73%	1,24%	1,48%	0,92%	0,15%	0,67%
%-Veränderung von gesamt zu 1	0,79%	0,00%	-0,73%	1,25%	1,50%	0,93%	0,15%	0,68%
3								
Herstellung	7,157E-01	2,472E-08	4,993E-04	5,008E-03	6,204E-04	5,269E+00	2,556E+00	7,825E+00
Herstellung Transport Import	1,421E-02	9,013E-14	-8,750E-06	3,631E-05	9,860E-06	5,398E-02	4,619E-03	5,860E-02
Instandhaltung	5,493E-01	1,063E-09	1,710E-04	1,801E-03	2,447E-04	1,653E+00	1,623E-01	1,815E+00
Instandhaltung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Rückbau	4,630E-01	-1,129E-09	-6,749E-06	-3,456E-04	-8,981E-06	-1,350E+00	-1,328E-01	-1,482E+00
gesamt	1,742E+00	2,465E-08	6,547E-04	6,500E-03	8,660E-04	5,626E+00	2,590E+00	8,216E+00
Anteil Transporte Import an Herstellung und Instandhaltung	1,12%	0,00%	1,31%	0,53%	1,14%	0,78%	0,17%	0,61%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,82%	0,00%	1,34%	0,56%	1,14%	0,96%	0,18%	0,71%
%-Veränderung von gesamt zu 1	4,38%	170,70%	-4,25%	20,72%	6,30%	5,56%	0,69%	3,98%
3a								
Herstellung	7,157E-01	2,472E-08	4,993E-04	5,008E-03	6,204E-04	5,269E+00	2,556E+00	7,825E+00
Herstellung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Instandhaltung	5,493E-01	1,063E-09	1,710E-04	1,801E-03	2,447E-04	1,653E+00	1,623E-01	1,815E+00
Instandhaltung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Rückbau	4,630E-01	-1,129E-09	-6,749E-06	-3,456E-04	-8,981E-06	-1,350E+00	-1,328E-01	-1,482E+00
gesamt	1,728E+00	2,465E-08	6,635E-04	6,464E-03	8,562E-04	5,572E+00	2,585E+00	8,158E+00
Anteil Transporte Import an Herstellung und Instandhaltung	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
%-Veränderung von gesamt zu 1	3,53%	170,70%	-2,97%	20,04%	5,09%	4,55%	0,51%	3,24%
3b								
Herstellung	6,657E-01	9,157E-09	5,188E-04	3,922E-03	5,783E-04	4,997E+00	2,540E+00	7,537E+00
Herstellung Transport Import	1,379E-02	8,745E-14	-8,490E-06	3,523E-05	9,567E-06	5,237E-02	4,482E-03	2,705E-02
Instandhaltung	5,493E-01	1,063E-09	1,710E-04	1,801E-03	2,447E-04	1,653E+00	1,623E-01	1,815E+00
Instandhaltung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Rückbau	4,540E-01	-1,112E-09	-6,011E-06	-3,385E-04	-8,331E-06	-1,320E+00	-1,306E-01	-1,451E+00
gesamt	1,683E+00	9,107E-09	6,753E-04	5,420E-03	8,243E-04	5,382E+00	2,577E+00	7,929E+00
Anteil Transporte Import an Herstellung und Instandhaltung	1,13%	0,00%	1,23%	0,62%	1,16%	0,79%	0,17%	0,29%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,82%	0,00%	1,26%	0,65%	1,16%	0,97%	0,17%	0,34%
%-Veränderung von gesamt zu 1	0,83%	0,00%	-1,24%	0,65%	1,17%	0,98%	0,17%	0,34%



LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH

Wirkungskategorien [pro (m²a)] → Szenario-Varianten ↓	GWP [kg CO ₂ -eq]	ODP [kg R11-eq]	POCP [kg C ₂ H ₄ -eq]	AP [kg SO ₂ -eq]	EP [kg PO ₄ -eq]	PE _{ne} [kWh/(m²a)]	PE _e [kWh/(m²a)]	PE _{ges} [kWh/(m²a)]
1								
Herstellung	6,657E-01	9,157E-09	5,188E-04	3,922E-03	5,783E-04	4,997E+00	2,540E+00	7,537E+00
Herstellung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Instandhaltung	5,493E-01	1,063E-09	1,710E-04	1,801E-03	2,447E-04	1,653E+00	1,623E-01	1,815E+00
Instandhaltung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Rückbau	4,540E-01	-1,112E-09	-6,011E-06	-3,385E-04	-8,331E-06	-1,320E+00	-1,306E-01	-1,451E+00
gesamt	1,669E+00	9,107E-09	6,838E-04	5,384E-03	8,147E-04	5,330E+00	2,572E+00	7,902E+00
Anteil Transporte Import an Herstellung und Instandhaltung	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
4								
Herstellung	6,657E-01	9,157E-09	5,188E-04	3,922E-03	5,783E-04	4,997E+00	2,540E+00	7,537E+00
Herstellung Transport Import	1,267E-02	8,284E-14	-7,450E-06	3,350E-05	9,058E-06	4,813E-02	4,112E-03	5,224E-02
Instandhaltung	5,493E-01	1,063E-09	1,710E-04	1,801E-03	2,447E-04	1,653E+00	1,623E-01	1,815E+00
Instandhaltung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Rückbau	4,540E-01	-1,112E-09	-6,011E-06	-3,385E-04	-8,331E-06	-1,320E+00	-1,306E-01	-1,451E+00
gesamt	1,682E+00	9,107E-09	6,763E-04	5,418E-03	8,238E-04	5,378E+00	2,576E+00	7,954E+00
Anteil Transporte Import an Herstellung und Instandhaltung	1,04%	0,00%	1,08%	0,59%	1,10%	0,72%	0,15%	0,56%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,75%	0,00%	1,10%	0,62%	1,10%	0,89%	0,16%	0,66%
%Veränderung von gesamt zu 1	0,76%	0,00%	-1,09%	0,62%	1,11%	0,90%	0,16%	0,66%

Anhang E.3 – Ökobilanz Muster-MFH – Ergebnisse Konstruktion

Systemgrenzen und Berechnungsparameter

Räumliche Systemgrenze

Zeitliche Systemgrenze

Funktionelle Systemgrenze

Wirkungsindikatoren

Bilanzierung aller konstruktiven Bauteile

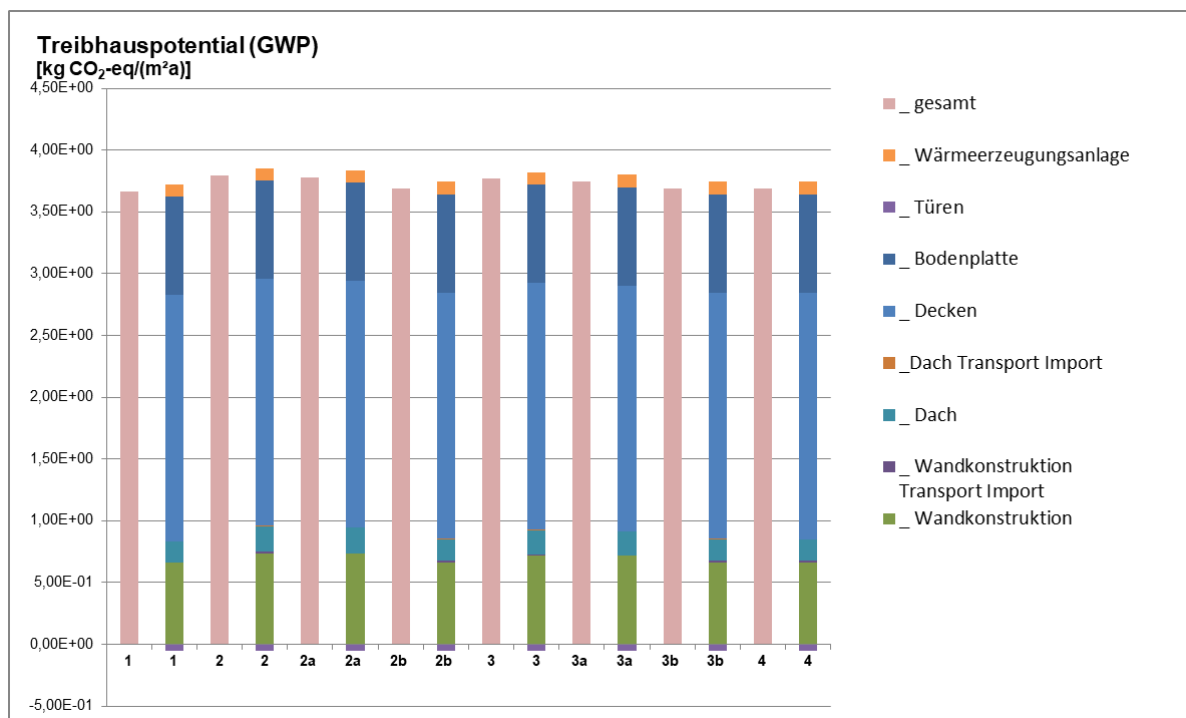
Betrachtungszeitraum gemäß
Bewertungssystem *NaWoh*: 50 Jahre

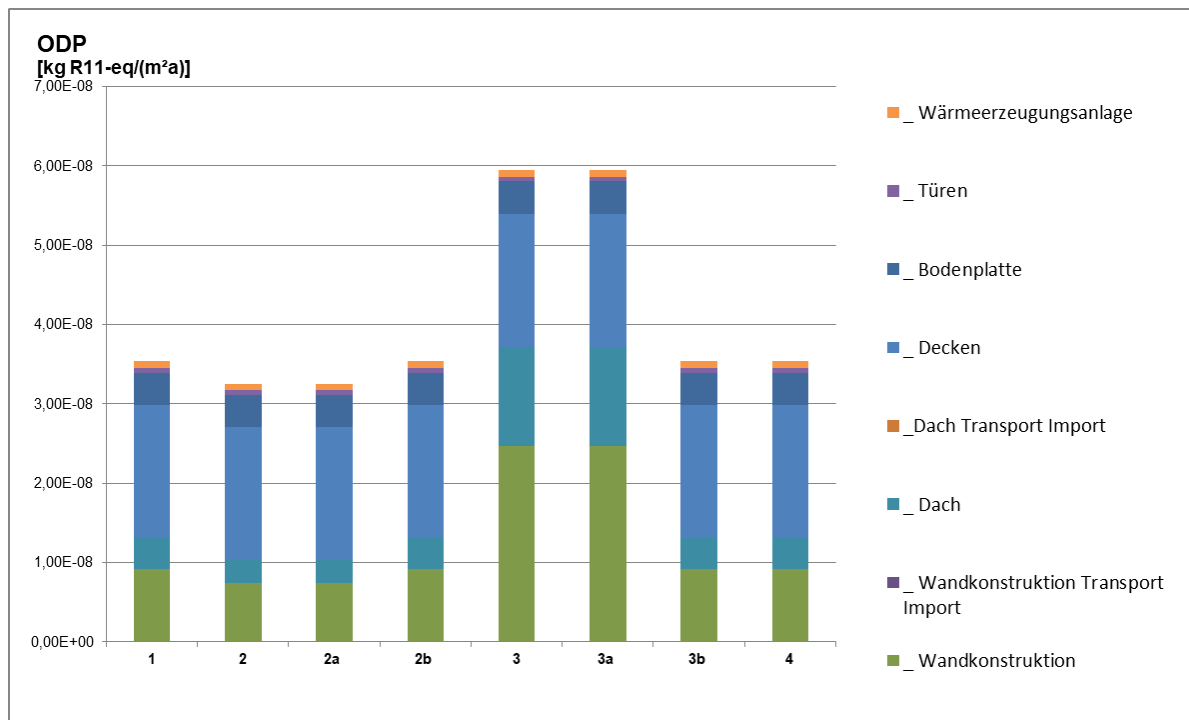
Bilanzierung für die Lebenszyklusphase der Herstellung

_ Ökobilanzielle Indikatoren gemäß Bewertungssystem *NaWoh*

_Ergebnisse pro m² Nettogrundfläche und Jahr

Graphische Darstellung

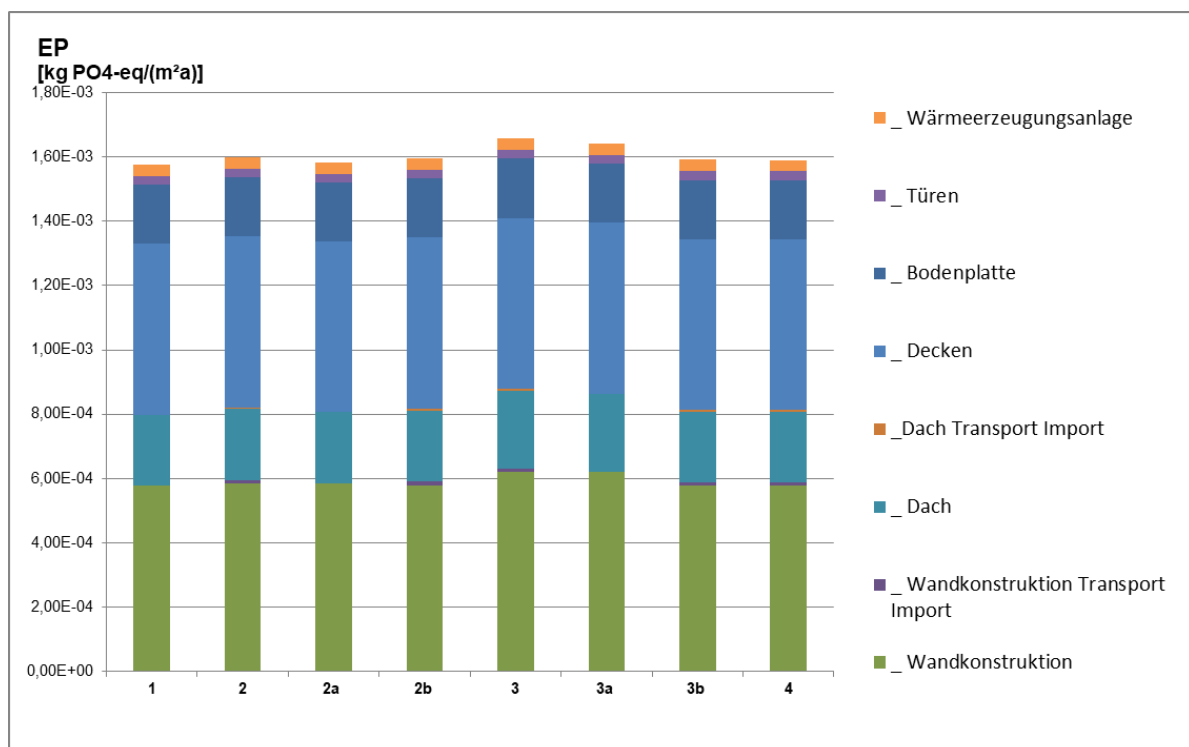
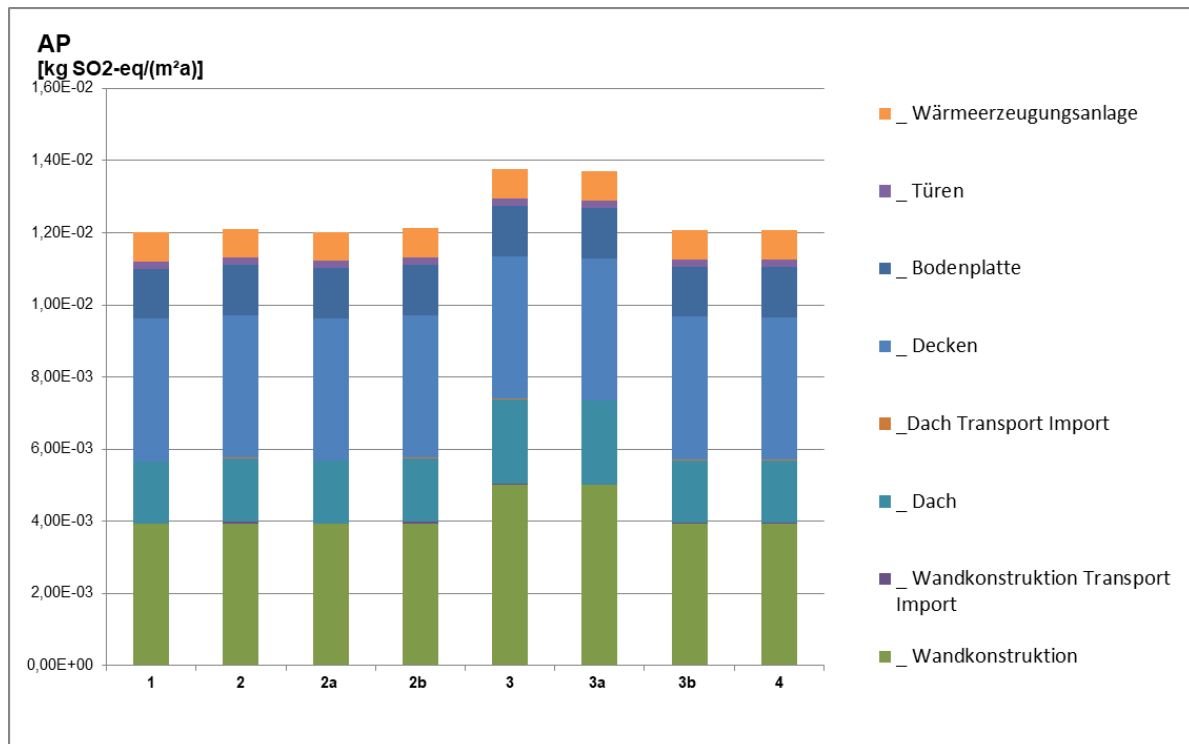






LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH

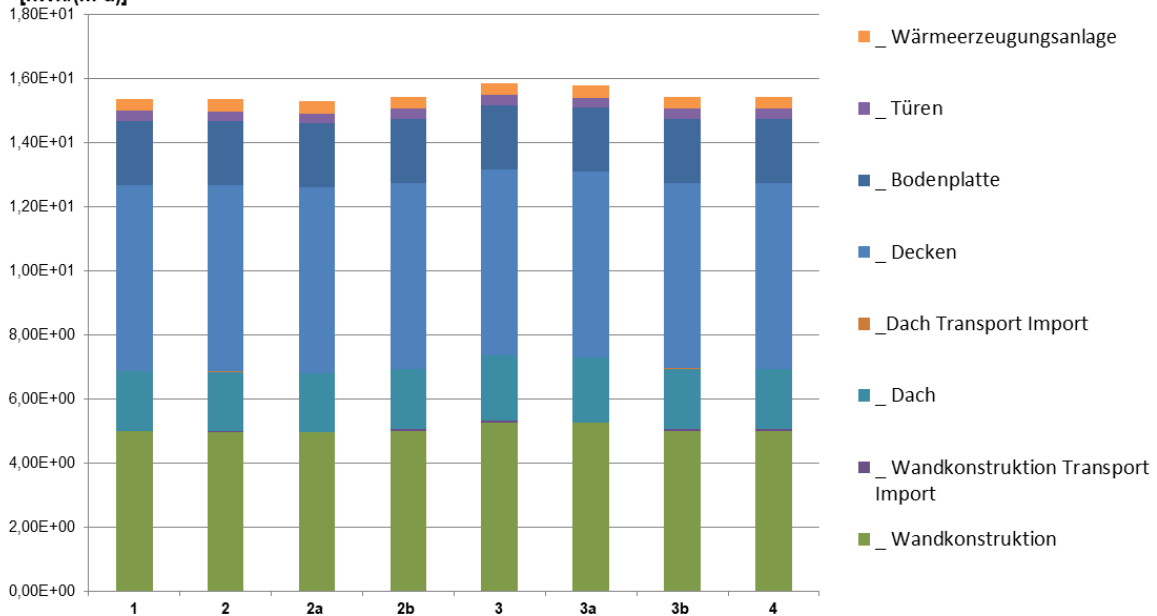




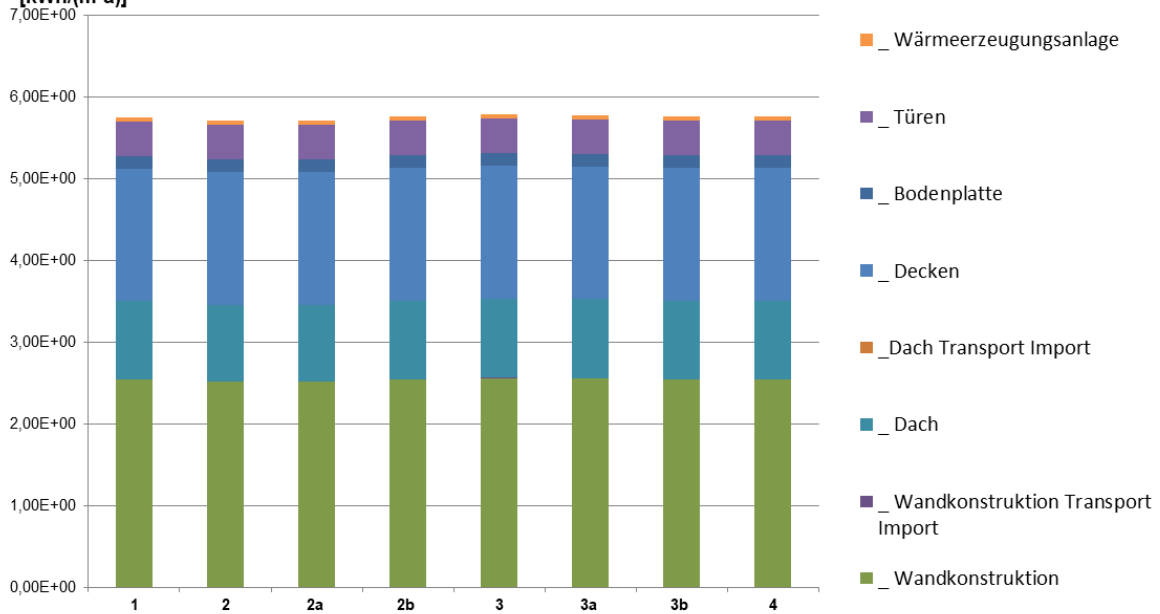
LCEE

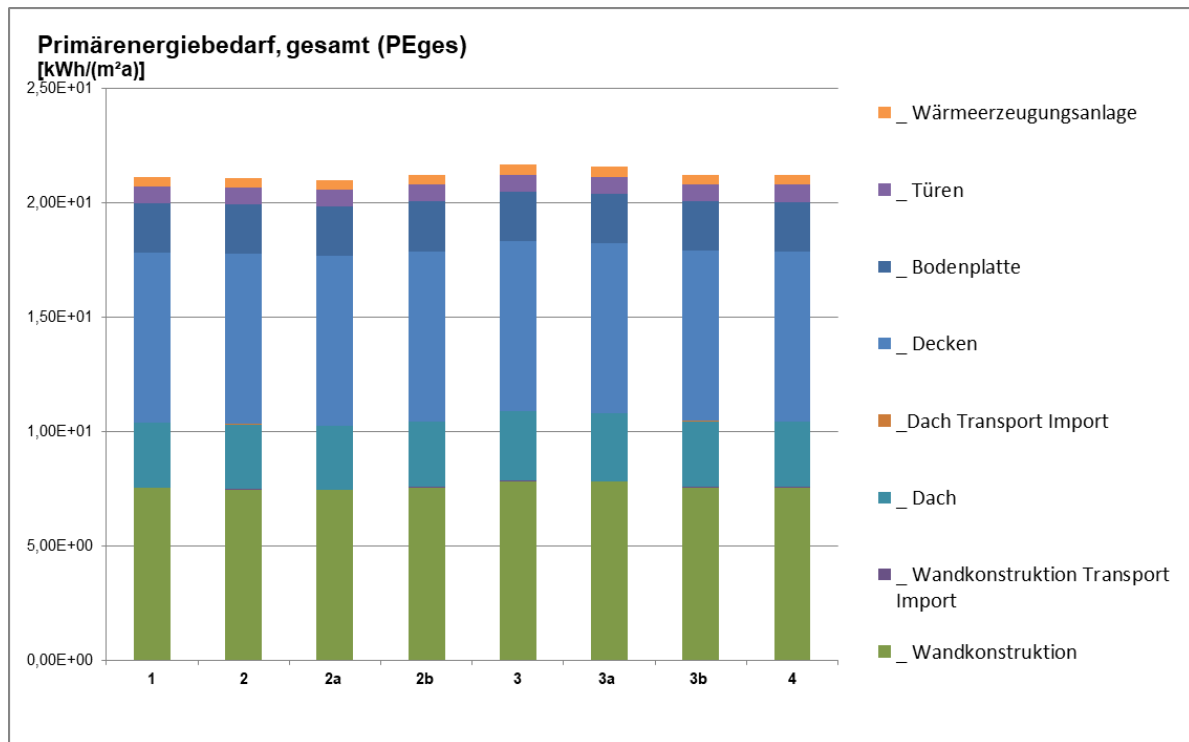
LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH

Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar (PEne) [kWh/(m²a)]



Primärenergiebedarf, erneuerbar (PEe) [kWh/(m²a)]







LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH

Tabellarische Darstellung

Wirkungskategorien [pro (m²a)] → Szenario-Varianten ↓	GWP [kg CO ₂ -eq]	ODP [kg R11-eq]	POCP [kg C ₂ H ₄ -eq]	AP [kg SO ₂ -eq]	EP [kg PO ₄ -eq]	PE _{ne} [kWh/(m²a)]	PE _s [kWh/(m²a)]	PE _{ges} [kWh/(m²a)]
1								
Wandkonstruktion	6,657E-01	9,157E-09	5,188E-04	3,922E-03	5,783E-04	4,997E+00	2,540E+00	7,537E+00
Wandkonstruktion Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Dach	1,672E-01	3,896E-09	2,364E-04	1,741E-03	2,200E-04	1,870E+00	9,575E-01	2,827E+00
Dach Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Decken	1,995E+00	1,678E-08	7,234E-04	3,950E-03	5,320E-04	5,800E+00	1,625E+00	7,425E+00
Bodenplatte	7,954E-01	4,104E-09	1,769E-04	1,392E-03	1,835E-04	2,003E+00	1,530E-01	2,156E+00
Türen	-5,425E-02	6,137E-10	7,252E-05	2,033E-04	2,725E-05	3,141E-01	4,217E-01	7,358E-01
Wärmeerzeugungsanlage	1,001E-01	7,990E-10	4,810E-05	8,068E-04	3,563E-05	3,720E-01	5,219E-02	4,242E-01
gesamt	3,669E+00	3,534E-08	1,776E-03	1,201E-02	1,577E-03	1,536E+01	5,750E+00	2,111E+01
Anteil Transporte Import an Wandkonstruktion und Dach	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
2								
Wandkonstruktion	7,382E-01	7,355E-09	4,768E-04	3,929E-03	5,830E-04	4,952E+00	2,509E+00	7,461E+00
Wandkonstruktion Transport Import	1,130E-02	6,814E-14	-4,249E-06	5,782E-05	1,048E-05	4,251E-02	3,348E-03	4,586E-02
Dach	2,069E-01	2,909E-09	2,134E-04	1,745E-03	2,225E-04	1,845E+00	9,404E-01	2,785E+00
Dach Transport Import	6,196E-03	3,735E-14	-2,329E-06	3,169E-05	5,742E-06	2,330E-02	1,835E-03	2,514E-02
Decken	1,995E+00	1,678E-08	7,234E-04	3,950E-03	5,320E-04	5,800E+00	1,625E+00	7,425E+00
Bodenplatte	7,954E-01	4,104E-09	1,769E-04	1,392E-03	1,835E-04	2,003E+00	1,530E-01	2,156E+00
Türen	-5,425E-02	6,137E-10	7,252E-05	2,033E-04	2,725E-05	3,141E-01	4,217E-01	7,358E-01
Wärmeerzeugungsanlage	1,001E-01	7,990E-10	4,810E-05	8,068E-04	3,563E-05	3,720E-01	5,219E-02	4,242E-01
gesamt	3,798E+00	3,256E-08	1,705E-03	1,212E-02	1,600E-03	1,535E+01	5,707E+00	2,106E+01
Anteil Transporte Import an Wandkonstruktion und Dach	1,85%	0,00%	0,95%	1,58%	2,01%	0,97%	0,15%	0,69%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,46%	0,00%	0,39%	0,74%	1,01%	0,43%	0,09%	0,34%
%Veränderung von gesamt zu 1	3,54%	-7,89%	-4,03%	0,84%	1,49%	-0,03%	-0,75%	-0,22%
2a								
Wandkonstruktion	7,382E-01	7,355E-09	4,768E-04	3,929E-03	5,830E-04	4,952E+00	2,509E+00	7,461E+00
Wandkonstruktion Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Dach	2,069E-01	2,909E-09	2,134E-04	1,745E-03	2,225E-04	1,845E+00	9,404E-01	2,785E+00
Dach Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Decken	1,995E+00	1,678E-08	7,234E-04	3,950E-03	5,320E-04	5,800E+00	1,625E+00	7,425E+00
Bodenplatte	7,954E-01	4,104E-09	1,769E-04	1,392E-03	1,835E-04	2,003E+00	1,530E-01	2,156E+00
Türen	-5,425E-02	6,137E-10	7,252E-05	2,033E-04	2,725E-05	3,141E-01	4,217E-01	7,358E-01
Wärmeerzeugungsanlage	1,001E-01	7,990E-10	4,810E-05	8,068E-04	3,563E-05	3,720E-01	5,219E-02	4,242E-01
gesamt	3,781E+00	3,256E-08	1,711E-03	1,203E-02	1,584E-03	1,529E+01	5,701E+00	2,099E+01
Anteil Transporte Import an Wandkonstruktion und Dach	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
%Veränderung von gesamt zu 1	3,06%	-7,89%	-3,66%	0,10%	0,46%	-0,46%	-0,84%	-0,56%
2b								
Wandkonstruktion	6,657E-01	9,157E-09	5,188E-04	3,922E-03	5,783E-04	4,997E+00	2,540E+00	7,537E+00
Wandkonstruktion Transport Import	1,319E-02	7,950E-14	-4,957E-06	6,746E-05	1,222E-05	4,960E-02	3,906E-03	5,350E-02
Dach	1,672E-01	3,896E-09	2,364E-04	1,741E-03	2,200E-04	1,870E+00	9,575E-01	2,827E+00
Dach Transport Import	7,229E-03	4,357E-14	-2,717E-06	3,697E-05	6,699E-06	2,718E-02	2,141E-03	2,933E-02
Decken	1,995E+00	1,678E-08	7,234E-04	3,950E-03	5,320E-04	5,800E+00	1,625E+00	7,425E+00
Bodenplatte	7,954E-01	4,104E-09	1,769E-04	1,392E-03	1,835E-04	2,003E+00	1,530E-01	2,156E+00
Türen	-5,425E-02	6,137E-10	7,252E-05	2,033E-04	2,725E-05	3,141E-01	4,217E-01	7,358E-01
Wärmeerzeugungsanlage	1,001E-01	7,990E-10	4,810E-05	8,068E-04	3,563E-05	3,720E-01	5,219E-02	4,242E-01
gesamt	3,689E+00	3,535E-08	1,769E-03	1,212E-02	1,596E-03	1,543E+01	5,756E+00	2,119E+01
Anteil Transporte Import an Wandkonstruktion und Dach	2,45%	0,00%	1,02%	1,84%	2,37%	1,12%	0,17%	0,80%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,55%	0,00%	0,43%	0,86%	1,19%	0,50%	0,11%	0,39%
%Veränderung von gesamt zu 1	0,56%	0,00%	-0,43%	0,87%	1,20%	0,50%	0,11%	0,39%



LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH

Wirkungskategorien [pro (m²a)] → Szenario-Varianten ↓	GWP [kg CO ₂ -eq]	ODP [kg R11-eq]	POCP [kg C ₂ H ₄ -eq]	AP [kg SO ₂ -eq]	EP [kg PO ₄ -eq]	PE _{ne} [kWh/(m²a)]	PE _e [kWh/(m²a)]	PE _{ges} [kWh/(m²a)]
1								
Wandkonstruktion	6,657E-01	9,157E-09	5,188E-04	3,922E-03	5,783E-04	4,997E+00	2,540E+00	7,537E+00
Wandkonstruktion Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Dach	1,672E-01	3,896E-09	2,364E-04	1,741E-03	2,200E-04	1,870E+00	9,575E-01	2,827E+00
Dach Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Decken	1,995E+00	1,678E-08	7,234E-04	3,950E-03	5,320E-04	5,800E+00	1,625E+00	7,425E+00
Bodenplatte	7,954E-01	4,104E-09	1,769E-04	1,392E-03	1,835E-04	2,003E+00	1,530E-01	2,156E+00
Türen	-5,425E-02	6,137E-10	7,252E-05	2,033E-04	2,725E-05	3,141E-01	4,217E-01	7,358E-01
Wärmeerzeugungsanlage	1,001E-01	7,990E-10	4,810E-05	8,068E-04	3,563E-05	3,720E-01	5,219E-02	4,242E-01
gesamt	3,669E+00	3,534E-08	1,776E-03	1,201E-02	1,577E-03	1,536E+01	5,750E+00	2,111E+01
Anteil Transporte Import an Wandkonstruktion und Dach	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
3								
Wandkonstruktion	7,157E-01	2,472E-08	4,993E-04	5,008E-03	6,204E-04	5,269E+00	2,556E+00	7,825E+00
Wandkonstruktion Transport Import	1,421E-02	9,013E-14	-8,750E-06	3,631E-05	9,860E-06	5,398E-02	4,619E-03	5,860E-02
Dach	1,946E-01	1,243E-08	2,257E-04	2,337E-03	2,430E-04	2,019E+00	9,659E-01	2,985E+00
Dach Transport Import	7,788E-03	4,940E-14	-4,796E-06	1,990E-05	5,404E-06	2,958E-02	2,532E-03	3,212E-02
Decken	1,995E+00	1,678E-08	7,234E-04	3,950E-03	5,320E-04	5,800E+00	1,625E+00	7,425E+00
Bodenplatte	7,954E-01	4,104E-09	1,769E-04	1,392E-03	1,835E-04	2,003E+00	1,530E-01	2,156E+00
Türen	-5,425E-02	6,137E-10	7,252E-05	2,033E-04	2,725E-05	3,141E-01	4,217E-01	7,358E-01
Wärmeerzeugungsanlage	1,001E-01	7,990E-10	4,810E-05	8,068E-04	3,563E-05	3,720E-01	5,219E-02	4,242E-01
gesamt	3,768E+00	5,944E-08	1,732E-03	1,375E-02	1,657E-03	1,586E+01	5,781E+00	2,164E+01
Anteil Transporte Import an Wandkonstruktion und Dach	2,42%	0,00%	1,87%	0,77%	1,77%	1,15%	0,20%	0,84%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,58%	0,00%	0,78%	0,41%	0,92%	0,53%	0,12%	0,42%
%-Veränderung von gesamt zu 1	2,71%	68,16%	-2,47%	14,47%	5,10%	3,28%	0,54%	2,54%
3a								
Wandkonstruktion	7,157E-01	2,472E-08	4,993E-04	5,008E-03	6,204E-04	5,269E+00	2,556E+00	7,825E+00
Wandkonstruktion Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Dach	1,946E-01	1,243E-08	2,257E-04	2,337E-03	2,430E-04	2,019E+00	9,659E-01	2,985E+00
Dach Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Decken	1,995E+00	1,678E-08	7,234E-04	3,950E-03	5,320E-04	5,800E+00	1,625E+00	7,425E+00
Bodenplatte	7,954E-01	4,104E-09	1,769E-04	1,392E-03	1,835E-04	2,003E+00	1,530E-01	2,156E+00
Türen	-5,425E-02	6,137E-10	7,252E-05	2,033E-04	2,725E-05	3,141E-01	4,217E-01	7,358E-01
Wärmeerzeugungsanlage	1,001E-01	7,990E-10	4,810E-05	8,068E-04	3,563E-05	3,720E-01	5,219E-02	4,242E-01
gesamt	3,746E+00	5,944E-08	1,746E-03	1,370E-02	1,642E-03	1,578E+01	5,773E+00	2,155E+01
Anteil Transporte Import an Wandkonstruktion und Dach	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
%-Veränderung von gesamt zu 1	2,11%	68,16%	-1,70%	14,00%	4,13%	2,74%	0,41%	2,11%
3b								
Wandkonstruktion	6,657E-01	9,157E-09	5,188E-04	3,922E-03	5,783E-04	4,997E+00	2,540E+00	7,537E+00
Wandkonstruktion Transport Import	1,379E-02	8,745E-14	-8,490E-06	3,523E-05	9,567E-06	5,237E-02	4,482E-03	5,686E-02
Dach	1,672E-01	3,896E-09	2,364E-04	1,741E-03	2,200E-04	1,870E+00	9,575E-01	2,827E+00
Dach Transport Import	7,557E-03	4,793E-14	-4,653E-06	1,931E-05	5,244E-06	2,871E-02	2,456E-03	3,116E-02
Decken	1,995E+00	1,678E-08	7,234E-04	3,950E-03	5,320E-04	5,800E+00	1,625E+00	7,425E+00
Bodenplatte	7,954E-01	4,104E-09	1,769E-04	1,392E-03	1,835E-04	2,003E+00	1,530E-01	2,156E+00
Türen	-5,425E-02	6,137E-10	7,252E-05	2,033E-04	2,725E-05	3,141E-01	4,217E-01	7,358E-01
Wärmeerzeugungsanlage	1,001E-01	7,990E-10	4,810E-05	8,068E-04	3,563E-05	3,720E-01	5,219E-02	4,242E-01
gesamt	3,690E+00	3,535E-08	1,763E-03	1,207E-02	1,592E-03	1,544E+01	5,757E+00	2,119E+01
Anteil Transporte Import an Wandkonstruktion und Dach	2,56%	0,00%	1,74%	0,96%	1,86%	1,18%	0,20%	0,85%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,58%	0,00%	0,75%	0,45%	0,93%	0,53%	0,12%	0,42%
%-Veränderung von gesamt zu 1	0,58%	0,00%	-0,74%	0,45%	0,94%	0,53%	0,12%	0,42%
4								
Wandkonstruktion	6,657E-01	9,157E-09	5,188E-04	3,922E-03	5,783E-04	4,997E+00	2,540E+00	7,537E+00
Wandkonstruktion Transport Import	1,267E-02	8,284E-14	-7,450E-06	3,350E-05	9,058E-06	4,813E-02	4,112E-03	5,224E-02
Dach	1,672E-01	3,896E-09	2,364E-04	1,741E-03	2,200E-04	1,870E+00	9,575E-01	2,827E+00
Dach Transport Import	6,943E-03	4,540E-14	-4,083E-06	1,836E-05	4,965E-06	2,638E-02	2,254E-03	2,863E-02
Decken	1,995E+00	1,678E-08	7,234E-04	3,950E-03	5,320E-04	5,800E+00	1,625E+00	7,425E+00
Bodenplatte	7,954E-01	4,104E-09	1,769E-04	1,392E-03	1,835E-04	2,003E+00	1,530E-01	2,156E+00
Türen	-5,425E-02	6,137E-10	7,252E-05	2,033E-04	2,725E-05	3,141E-01	4,217E-01	7,358E-01
Wärmeerzeugungsanlage	1,001E-01	7,990E-10	4,810E-05	8,068E-04	3,563E-05	3,720E-01	5,219E-02	4,242E-01
gesamt	3,688E+00	3,535E-08	1,765E-03	1,207E-02	1,591E-03	1,543E+01	5,756E+00	2,119E+01
Anteil Transporte Import an Wandkonstruktion und Dach	2,35%	0,00%	1,53%	0,92%	1,76%	1,08%	0,18%	0,78%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,53%	0,00%	0,65%	0,43%	0,88%	0,48%	0,11%	0,38%
%-Veränderung von gesamt zu 1	0,53%	0,00%	-0,65%	0,43%	0,89%	0,49%	0,11%	0,38%



LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH

Anhang E.4 – Ökobilanz Muster-MFH – Ergebnisse Konstruktion Muster-MFH | Gesamter Lebenszyklus

Systemgrenzen und Berechnungsparameter

Räumliche Systemgrenze

Bilanzierung **aller konstruktiven Bauteile**

Zeitliche Systemgrenze

Betrachtungszeitraum gemäß
Bewertungssystem *NaWoh*: **50 Jahre**

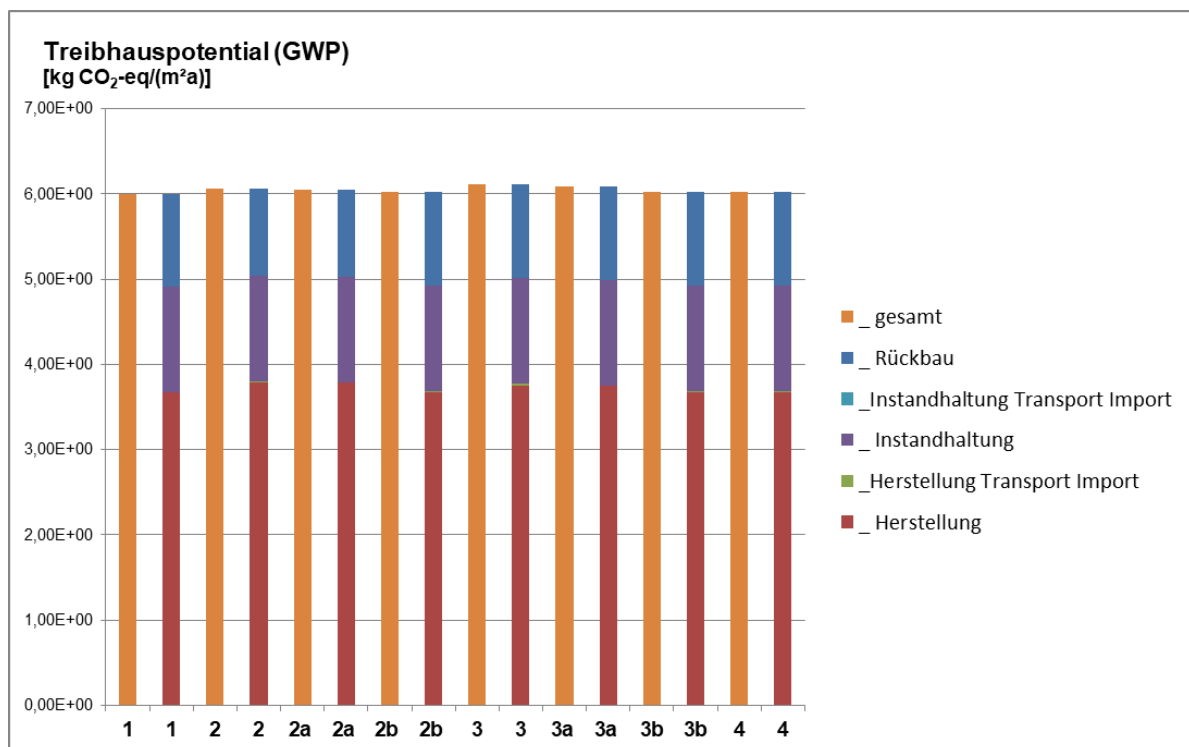
Funktionelle Systemgrenze

Bilanzierung des gesamten **Lebenszyklus**
(Herstellung | Instandhaltung | Rückbau)

Wirkungsindikatoren

_ Ökobilanzielle Indikatoren gemäß Bewertungs-
system *NaWoh*
_ Ergebnisse **pro m² Nettogrundfläche und Jahr**

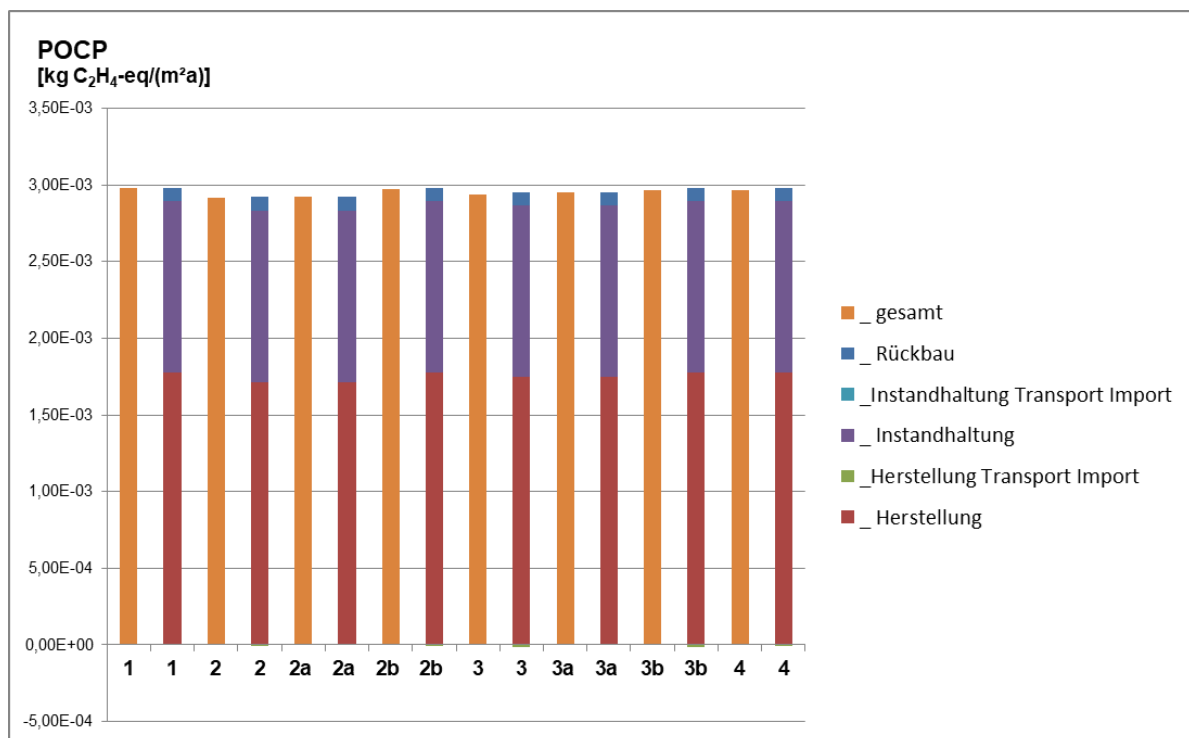
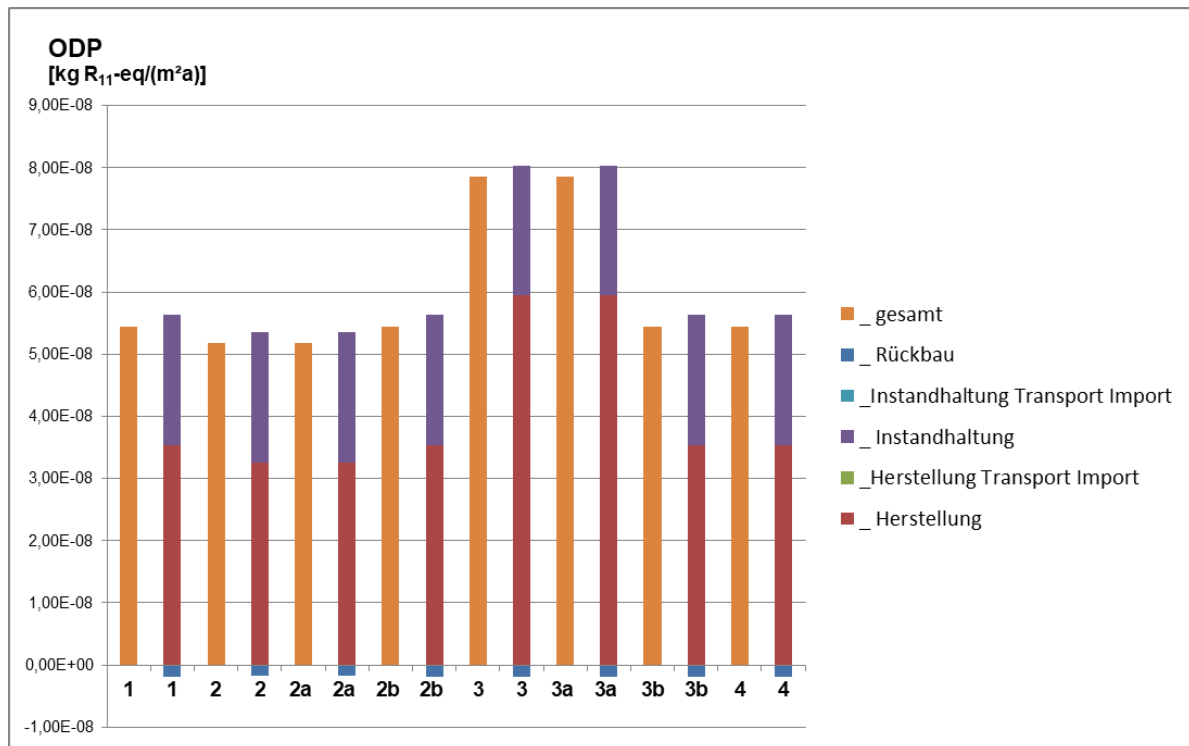
Graphische Darstellung





LCEE

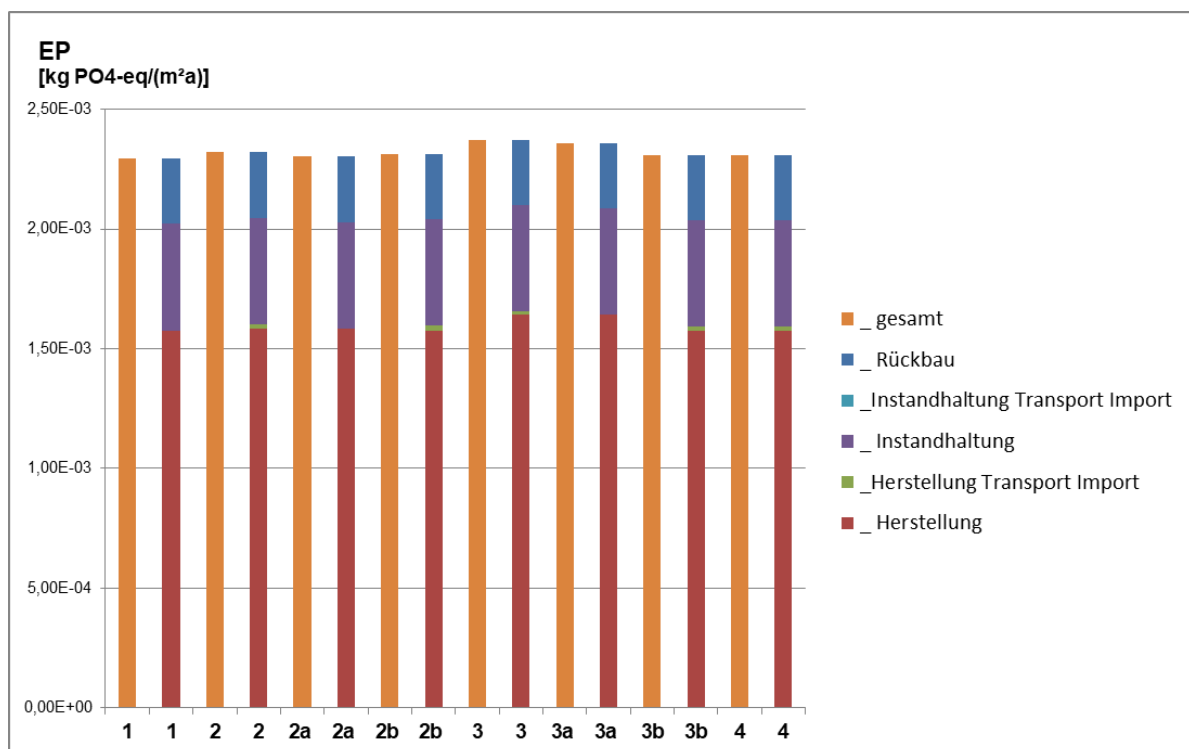
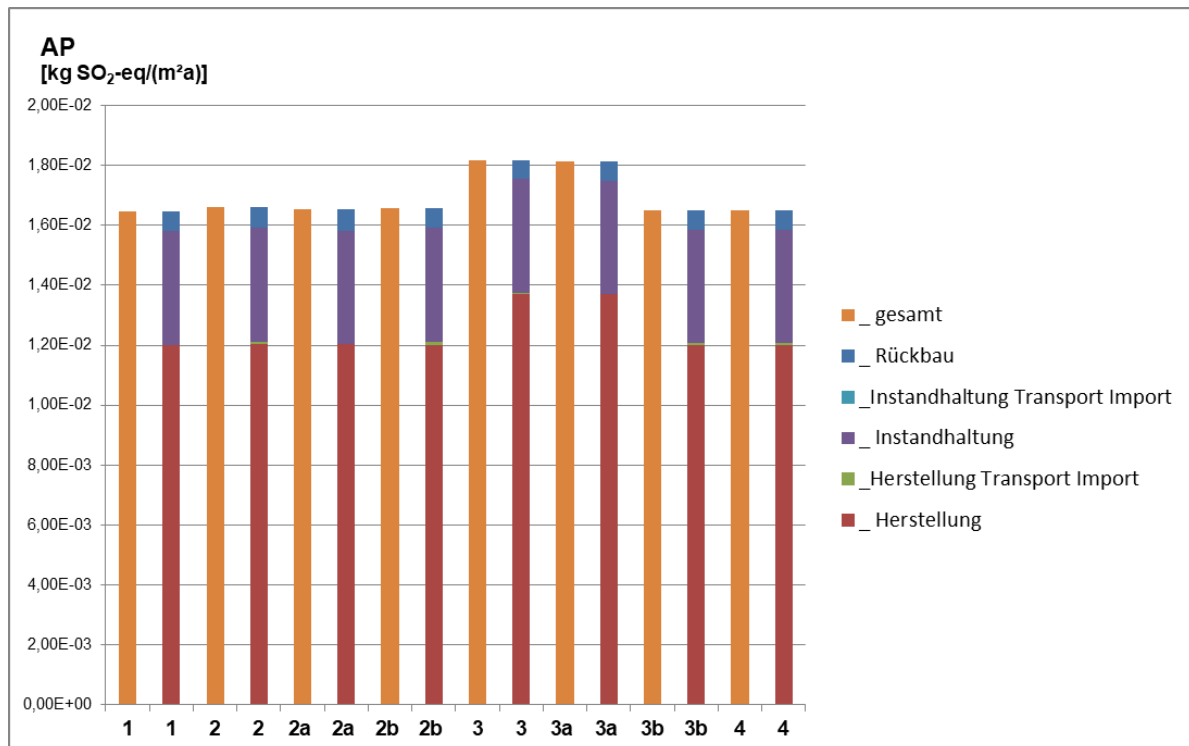
LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH

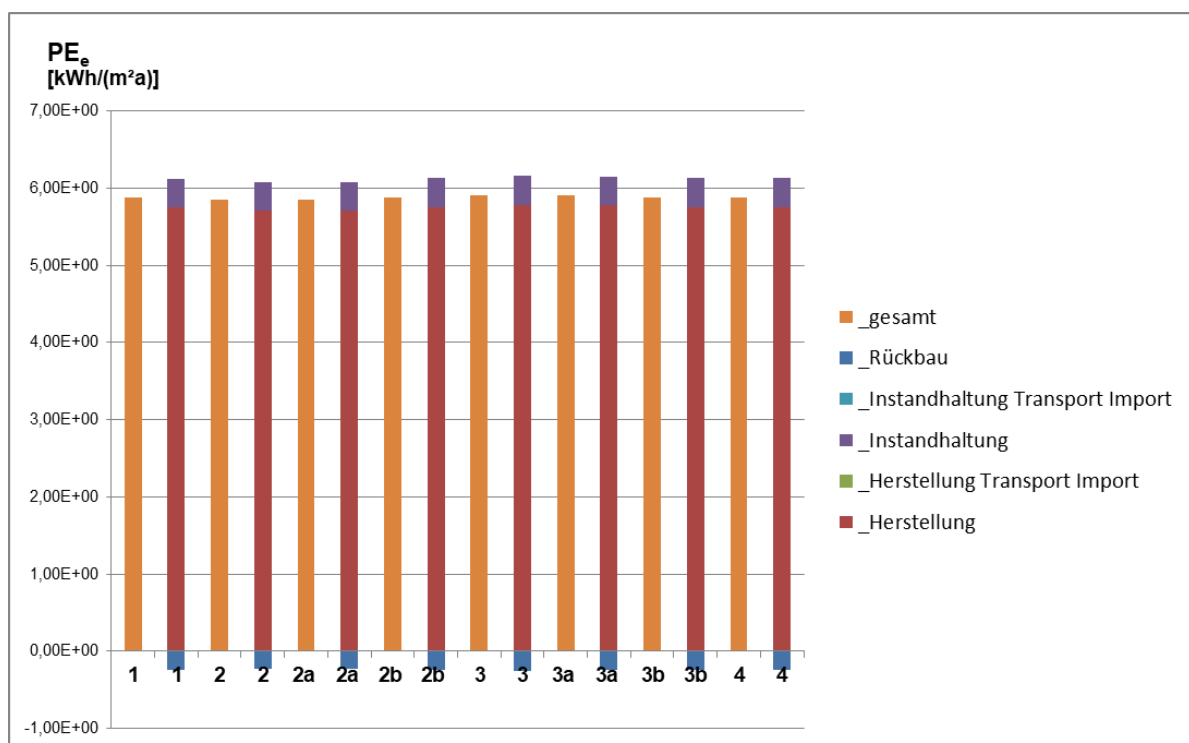
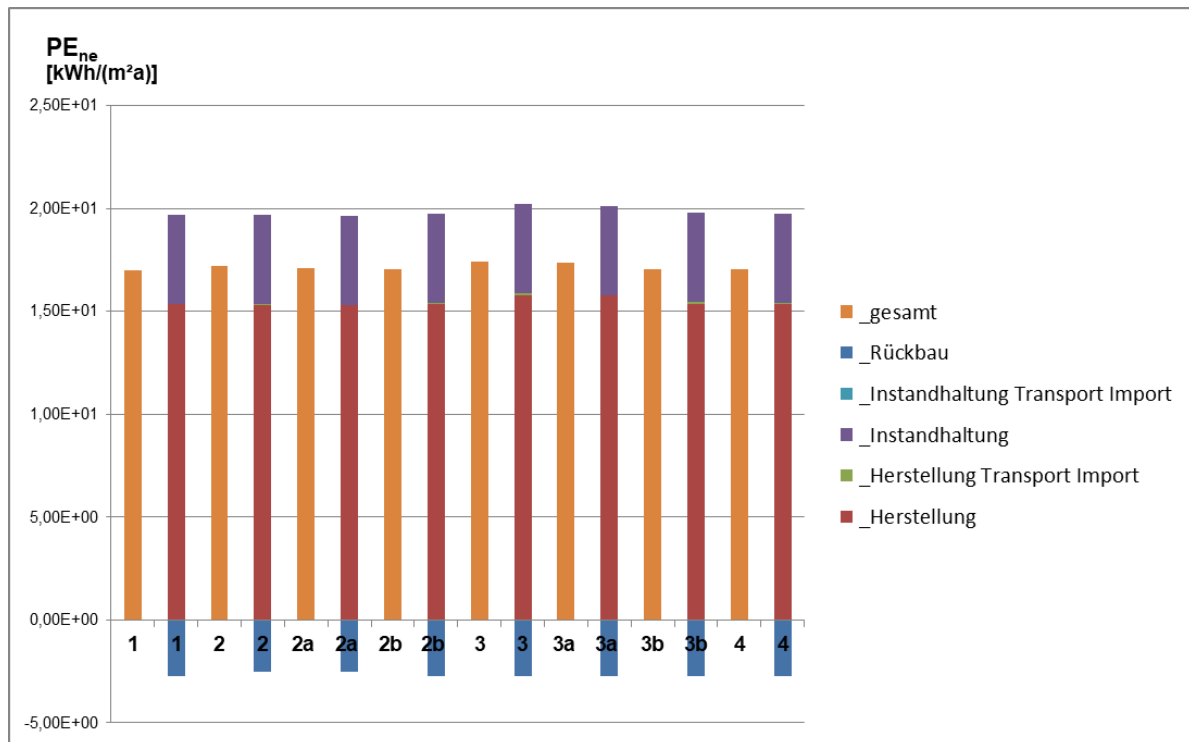


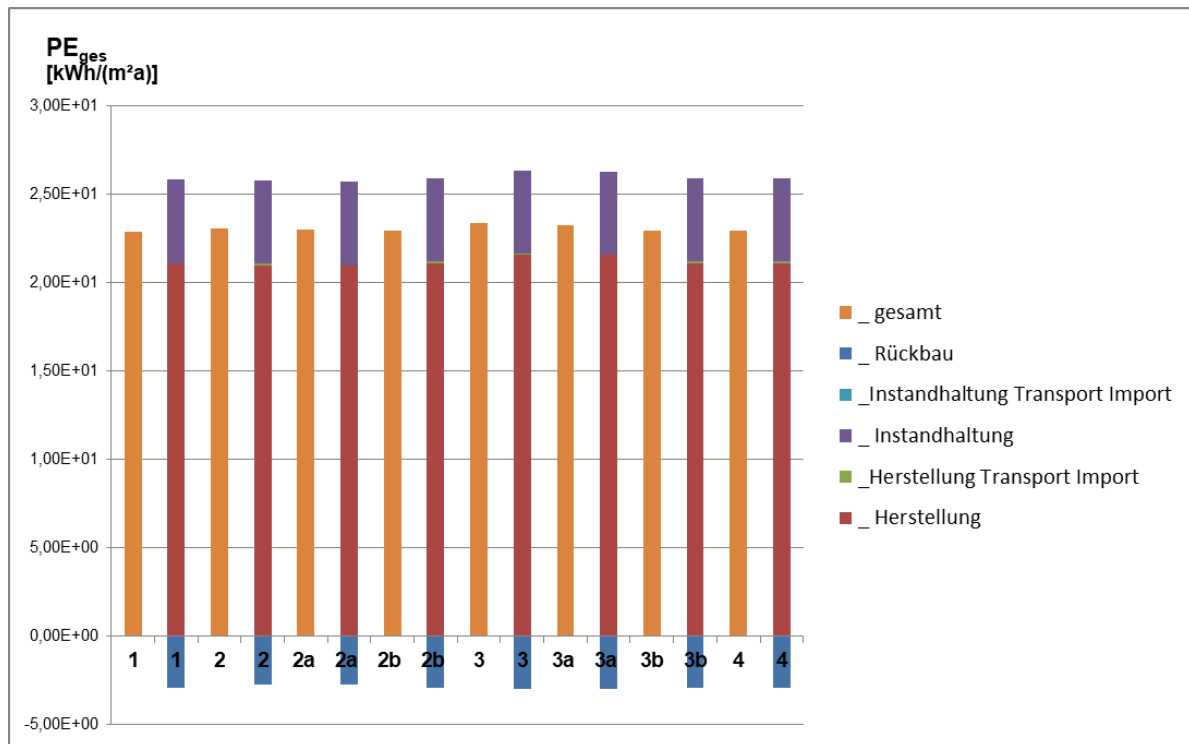


LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH









LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH

Tabellarische Darstellung

Wirkungskategorien [pro (m²a)] → Szenario-Varianten ↓	GWP [kg CO ₂ -eq]	ODP [kg R11-eq]	POCP [kg C ₂ H ₄ -eq]	AP [kg SO ₂ -eq]	EP [kg PO ₄ -eq]	PE _{ne} [kWh/(m²a)]	PE _s [kWh/(m²a)]	PE _{ges} [kWh/(m²a)]
1								
Herstellung	3,669E+00	3,534E-08	1,776E-03	1,201E-02	1,577E-03	1,536E+01	5,750E+00	2,111E+01
Herstellung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Instandhaltung	1,240E+00	2,093E-08	1,122E-03	3,789E-03	4,440E-04	4,332E+00	3,741E-01	4,706E+00
Instandhaltung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Rückbau	1,091E+00	-1,843E-09	8,163E-05	6,566E-04	2,723E-04	-2,705E+00	-2,465E-01	-2,952E+00
gesamt	5,999E+00	5,443E-08	2,980E-03	1,646E-02	2,293E-03	1,698E+01	5,877E+00	2,286E+01
Anteil Transporte Import an Herstellung und Instandhaltung	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
2								
Herstellung	3,781E+00	3,256E-08	1,711E-03	1,203E-02	1,584E-03	1,529E+01	5,701E+00	2,099E+01
Herstellung Transport Import	1,750E-02	1,055E-13	-6,578E-06	8,951E-05	1,622E-05	6,581E-02	5,183E-03	7,100E-02
Instandhaltung	1,240E+00	2,093E-08	1,122E-03	3,789E-03	4,440E-04	4,332E+00	3,741E-01	4,706E+00
Instandhaltung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Rückbau	1,026E+00	-1,723E-09	8,696E-05	7,080E-04	2,770E-04	-2,494E+00	-2,303E-01	-2,725E+00
gesamt	6,064E+00	5,176E-08	2,913E-03	1,661E-02	2,321E-03	1,719E+01	5,850E+00	2,304E+01
Anteil Transporte Import an Herstellung und Instandhaltung	0,35%	0,00%	0,23%	0,57%	0,80%	0,34%	0,09%	0,28%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,29%	0,00%	0,23%	0,54%	0,70%	0,38%	0,09%	0,31%
%-Veränderung von gesamt zu 1	1,08%	-4,90%	-2,22%	0,93%	1,23%	1,22%	-0,46%	0,79%
2a								
Herstellung	3,781E+00	3,256E-08	1,711E-03	1,203E-02	1,584E-03	1,529E+01	5,701E+00	2,099E+01
Herstellung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Instandhaltung	1,240E+00	2,093E-08	1,122E-03	3,789E-03	4,440E-04	4,332E+00	3,741E-01	4,706E+00
Instandhaltung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Rückbau	1,026E+00	-1,723E-09	8,696E-05	7,080E-04	2,770E-04	-2,494E+00	-2,303E-01	-2,725E+00
gesamt	6,047E+00	5,176E-08	2,920E-03	1,652E-02	2,305E-03	1,712E+01	5,845E+00	2,297E+01
Anteil Transporte Import an Herstellung und Instandhaltung	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
%-Veränderung von gesamt zu 1	0,79%	-4,91%	-2,00%	0,38%	0,52%	0,83%	-0,55%	0,48%
2b								
Herstellung	3,669E+00	3,534E-08	1,776E-03	1,201E-02	1,577E-03	1,536E+01	5,750E+00	2,111E+01
Herstellung Transport Import	2,042E-02	1,231E-13	-7,675E-06	1,044E-04	1,892E-05	7,678E-02	6,047E-03	8,283E-02
Instandhaltung	1,240E+00	2,093E-08	1,122E-03	3,789E-03	4,440E-04	4,332E+00	3,741E-01	4,706E+00
Instandhaltung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Rückbau	1,091E+00	-1,843E-09	8,163E-05	6,566E-04	2,723E-04	-2,705E+00	-2,465E-01	-2,952E+00
gesamt	6,020E+00	5,443E-08	2,972E-03	1,656E-02	2,312E-03	1,706E+01	5,883E+00	2,294E+01
Anteil Transporte Import an Herstellung und Instandhaltung	0,42%	0,00%	0,26%	0,66%	0,94%	0,39%	0,10%	0,32%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,34%	0,00%	0,26%	0,63%	0,82%	0,45%	0,10%	0,36%
%-Veränderung von gesamt zu 1	0,34%	0,00%	-0,26%	0,63%	0,83%	0,45%	0,10%	0,36%
3								
Herstellung	3,746E+00	5,944E-08	1,746E-03	1,370E-02	1,642E-03	1,578E+01	5,773E+00	2,155E+01
Herstellung Transport Import	2,200E-02	1,395E-13	-1,355E-05	5,621E-05	1,526E-05	8,356E-02	7,151E-03	9,071E-02
Instandhaltung	1,240E+00	2,093E-08	1,122E-03	3,789E-03	4,440E-04	4,332E+00	3,741E-01	4,706E+00
Instandhaltung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Rückbau	1,105E+00	-1,868E-09	8,049E-05	6,456E-04	2,713E-04	-2,750E+00	-2,499E-01	-3,000E+00
gesamt	6,113E+00	7,849E-08	2,935E-03	1,819E-02	2,372E-03	1,744E+01	5,905E+00	2,335E+01
Anteil Transporte Import an Herstellung und Instandhaltung	0,44%	0,00%	0,47%	0,32%	0,73%	0,42%	0,12%	0,35%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,36%	0,00%	0,46%	0,31%	0,64%	0,48%	0,12%	0,39%
%-Veränderung von gesamt zu 1	1,89%	44,22%	-1,51%	10,49%	3,46%	2,70%	0,47%	2,13%
3a								
Herstellung	3,746E+00	5,944E-08	1,746E-03	1,370E-02	1,642E-03	1,578E+01	5,773E+00	2,155E+01
Herstellung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Instandhaltung	1,240E+00	2,093E-08	1,122E-03	3,789E-03	4,440E-04	4,332E+00	3,741E-01	4,706E+00
Instandhaltung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Rückbau	1,105E+00	-1,868E-09	8,049E-05	6,456E-04	2,713E-04	-2,750E+00	-2,465E-01	-3,000E+00
gesamt	6,091E+00	7,849E-08	2,948E-03	1,813E-02	2,357E-03	1,736E+01	5,901E+00	2,326E+01
Anteil Transporte Import an Herstellung und Instandhaltung	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
%-Veränderung von gesamt zu 1	1,52%	44,22%	-1,05%	10,15%	2,80%	2,21%	0,40%	1,73%
3b								
Herstellung	3,669E+00	3,534E-08	1,776E-03	1,201E-02	1,577E-03	1,536E+01	5,750E+00	2,111E+01
Herstellung Transport Import	2,135E-02	1,354E-13	-1,314E-05	5,454E-05	1,481E-05	8,108E-02	6,938E-03	8,802E-02
Instandhaltung	1,240E+00	2,093E-08	1,122E-03	3,789E-03	4,440E-04	4,332E+00	3,741E-01	4,706E+00
Instandhaltung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Rückbau	1,091E+00	-1,843E-09	8,163E-05	6,566E-04	2,723E-04	-2,705E+00	-2,465E-01	-2,952E+00
gesamt	6,021E+00	5,443E-08	2,966E-03	1,651E-02	2,308E-03	1,706E+01	5,884E+00	2,295E+01
Anteil Transporte Import an Herstellung und Instandhaltung	0,43%	0,00%	0,45%	0,35%	0,73%	0,41%	0,11%	0,34%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,35%	0,00%	0,44%	0,33%	0,64%	0,48%	0,12%	0,38%
%-Veränderung von gesamt zu 1	0,36%	0,00%	-0,44%	0,33%	0,65%	0,48%	0,12%	0,39%



LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH

Wirkungskategorien [pro (m²/a)] → Szenario-Varianten ↓	GWP [kg CO ₂ -eq]	ODP [kg R11-eq]	POCP [kg C ₂ H ₄ -eq]	AP [kg SO ₂ -eq]	EP [kg PO ₄ -eq]	PE _{ne} [kWh/(m²a)]	PE _e [kWh/(m²a)]	PE _{ges} [kWh/(m²a)]
1								
Herstellung	3,669E+00	3,534E-08	1,776E-03	1,201E-02	1,577E-03	1,536E+01	5,750E+00	2,111E+01
Herstellung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Instandhaltung	1,240E+00	2,093E-08	1,122E-03	3,789E-03	4,440E-04	4,332E+00	3,741E-01	4,706E+00
Instandhaltung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Rückbau	1,091E+00	-1,843E-09	8,163E-05	6,566E-04	2,723E-04	-2,705E+00	-2,465E-01	-2,952E+00
gesamt	5,999E+00	5,443E-08	2,980E-03	1,646E-02	2,293E-03	1,698E+01	5,877E+00	2,286E+01
Anteil Transporte Import an Herstellung und Instandhaltung	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
4								
Herstellung	3,669E+00	3,534E-08	1,776E-03	1,201E-02	1,577E-03	1,536E+01	5,750E+00	2,111E+01
Herstellung Transport Import	1,961E-02	1,282E-13	-1,153E-05	5,186E-05	1,402E-05	7,450E-02	6,366E-03	8,087E-02
Instandhaltung	1,240E+00	2,093E-08	1,122E-03	3,789E-03	4,440E-04	4,332E+00	3,741E-01	4,706E+00
Instandhaltung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Rückbau	1,091E+00	-1,843E-09	8,163E-05	6,566E-04	2,723E-04	-2,705E+00	-2,465E-01	-2,952E+00
gesamt	6,019E+00	5,443E-08	2,968E-03	1,651E-02	2,307E-03	1,706E+01	5,884E+00	2,294E+01
Anteil Transporte Import an Herstellung und Instandhaltung	0,40%	0,00%	0,40%	0,33%	0,69%	0,38%	0,10%	0,31%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,33%	0,00%	0,39%	0,31%	0,61%	0,44%	0,11%	0,35%
%-Veränderung von gesamt zu 1	0,33%	0,00%	-0,39%	0,32%	0,61%	0,44%	0,11%	0,35%



LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH

Anhang E.5 – Ökobilanz Muster-MFH – Gesamtergebnisse Muster-MFH | Gesamter Lebenszyklus

Systemgrenzen und Berechnungsparameter

Räumliche Systemgrenze

Bilanzierung **aller konstruktiven Bauteile** sowie
des **Wärme-/Strombedarfs** der **Nutzungsphase**

Zeitliche Systemgrenze

Betrachtungszeitraum gemäß
Bewertungssystem *NaWoh*: **50 Jahre**

Funktionelle Systemgrenze

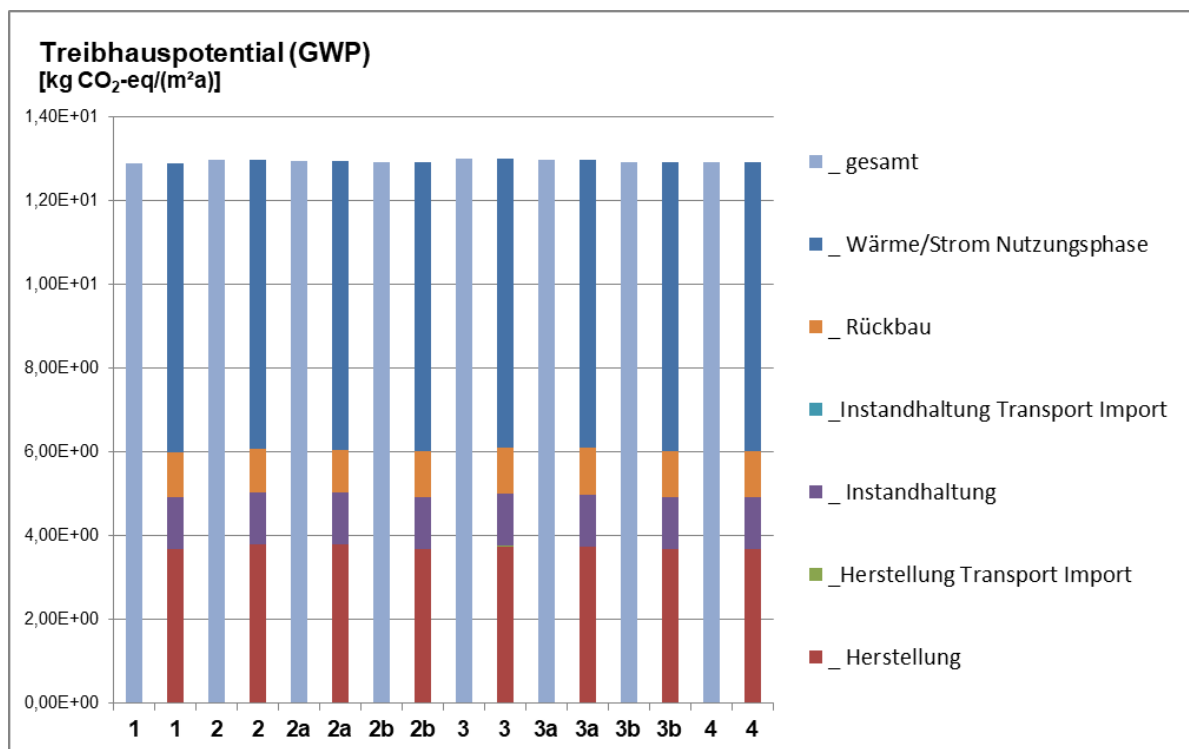
Bilanzierung des gesamten **Lebenszyklus**
(Herstellung | Instandhaltung | Rückbau)

Wirkungsindikatoren

_ Ökobilanzielle Indikatoren gemäß Bewertungs-
system *NaWoh*

_ Ergebnisse **pro m² Nettogrundfläche und Jahr**

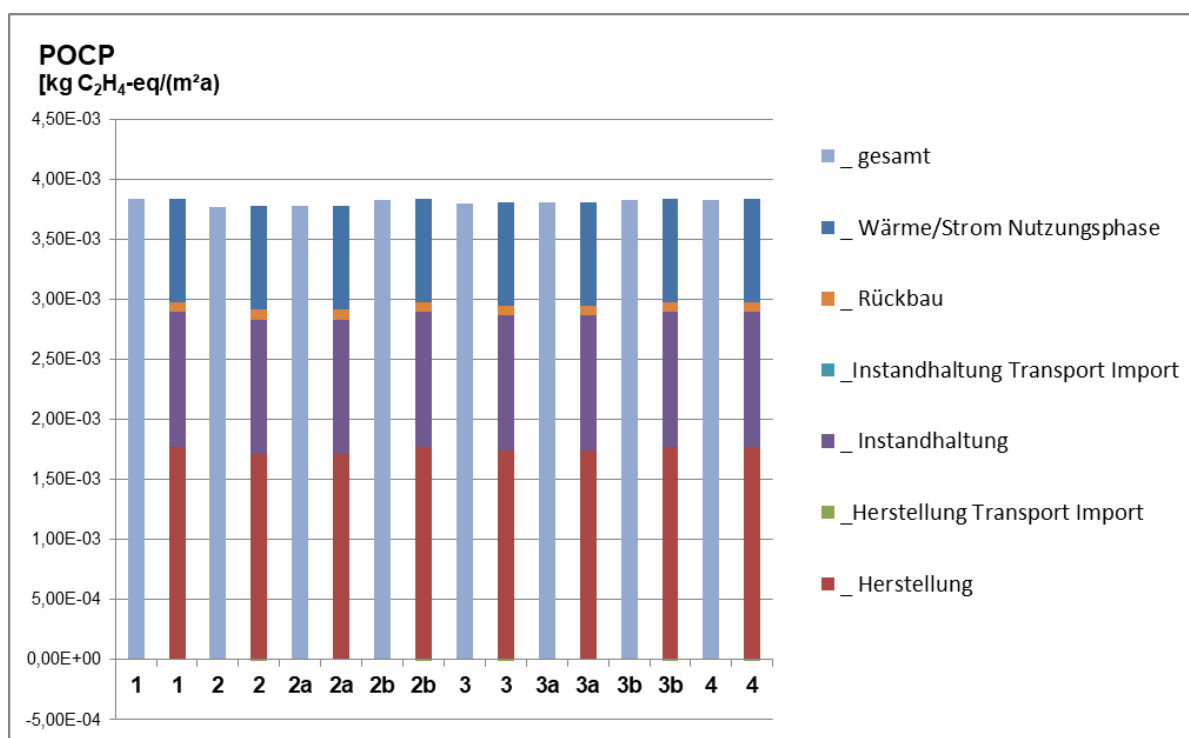
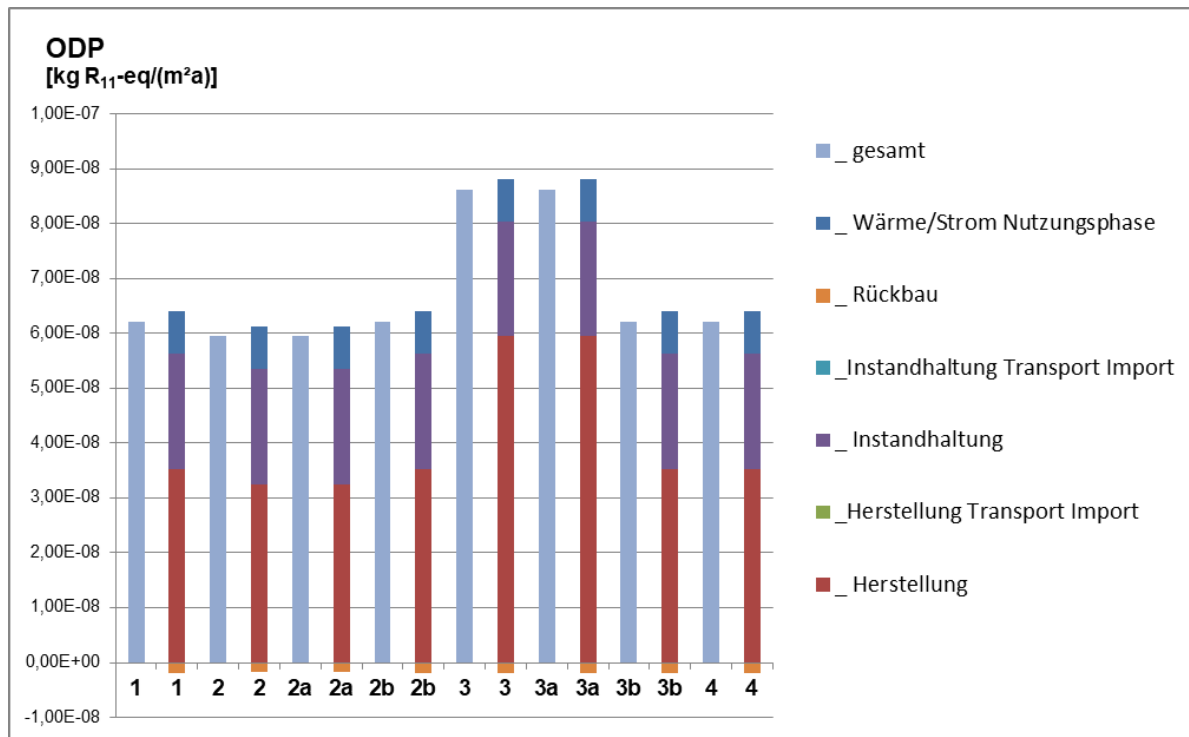
Graphische Darstellung





LCEE

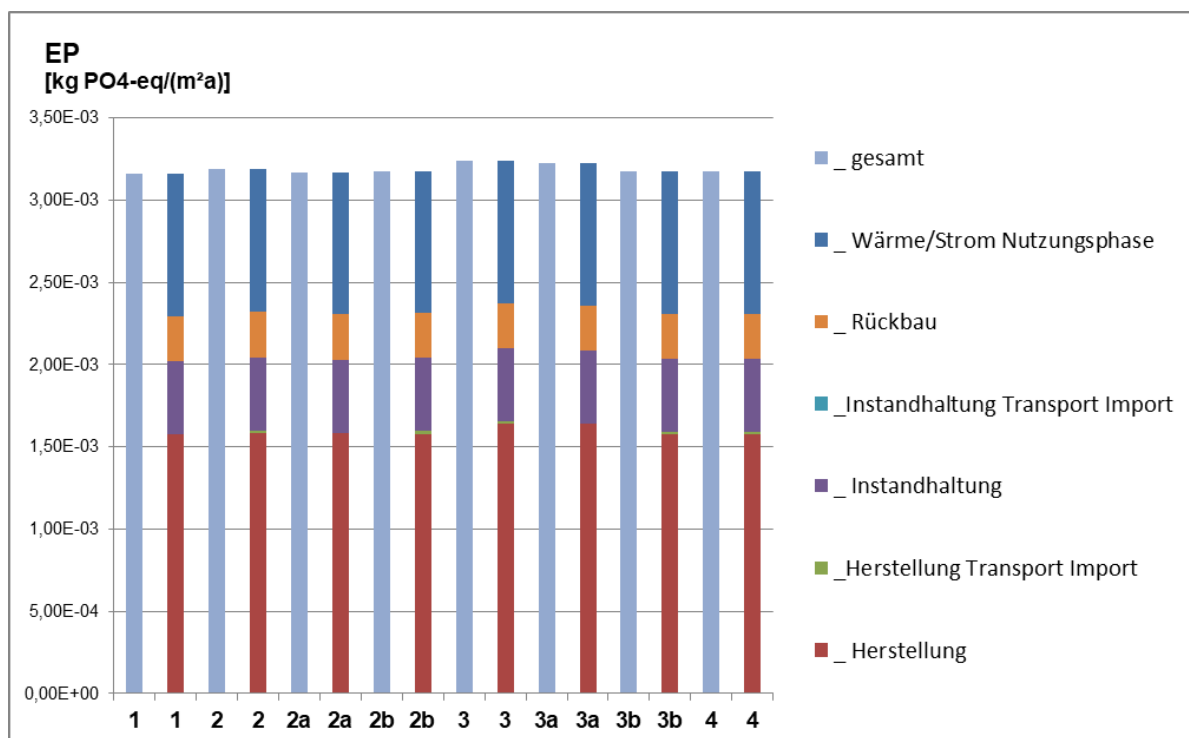
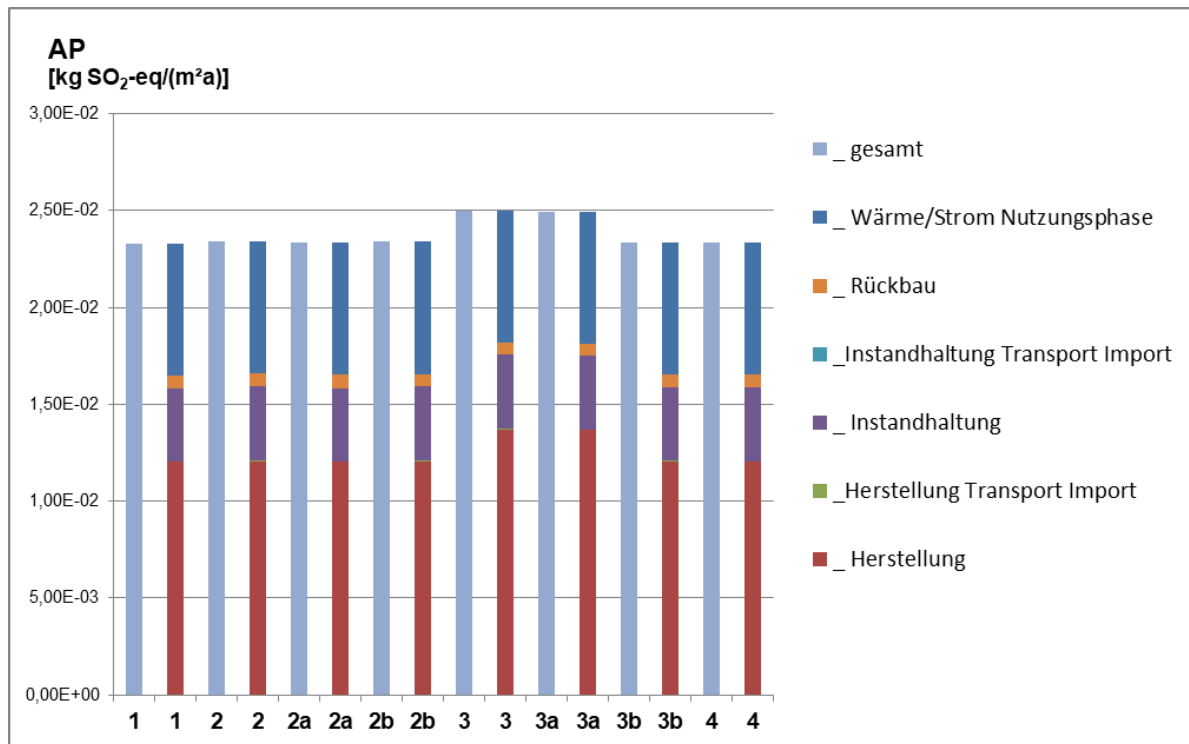
LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH





LCEE

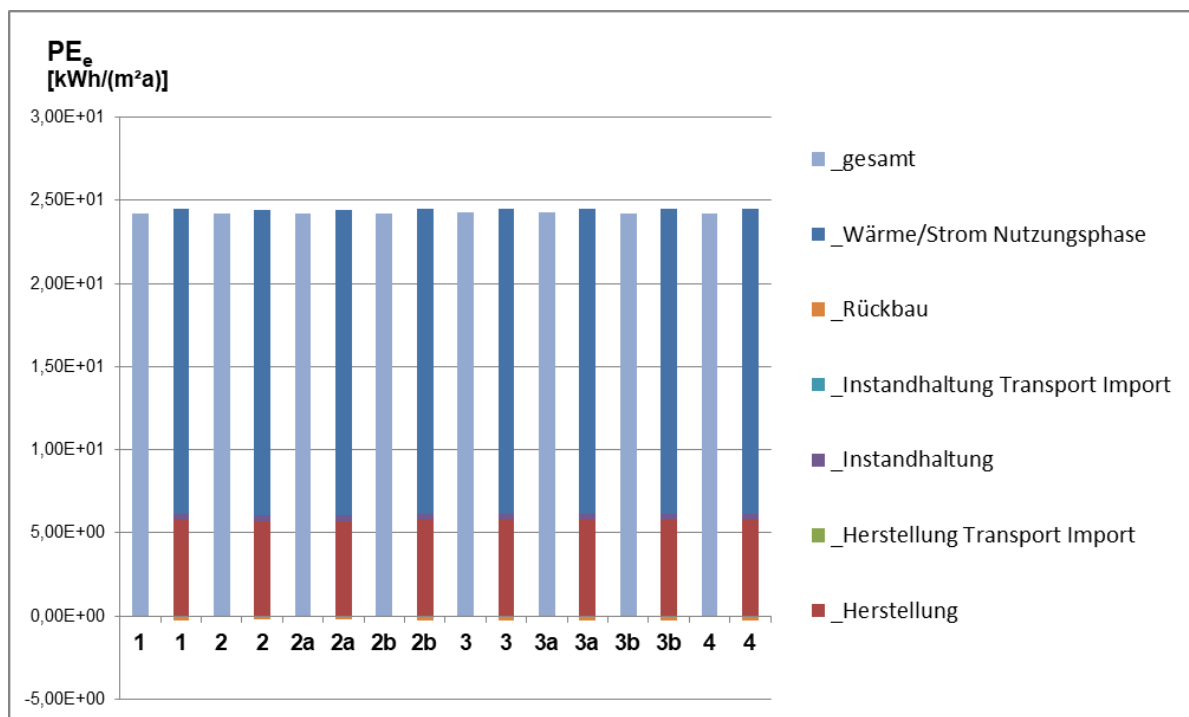
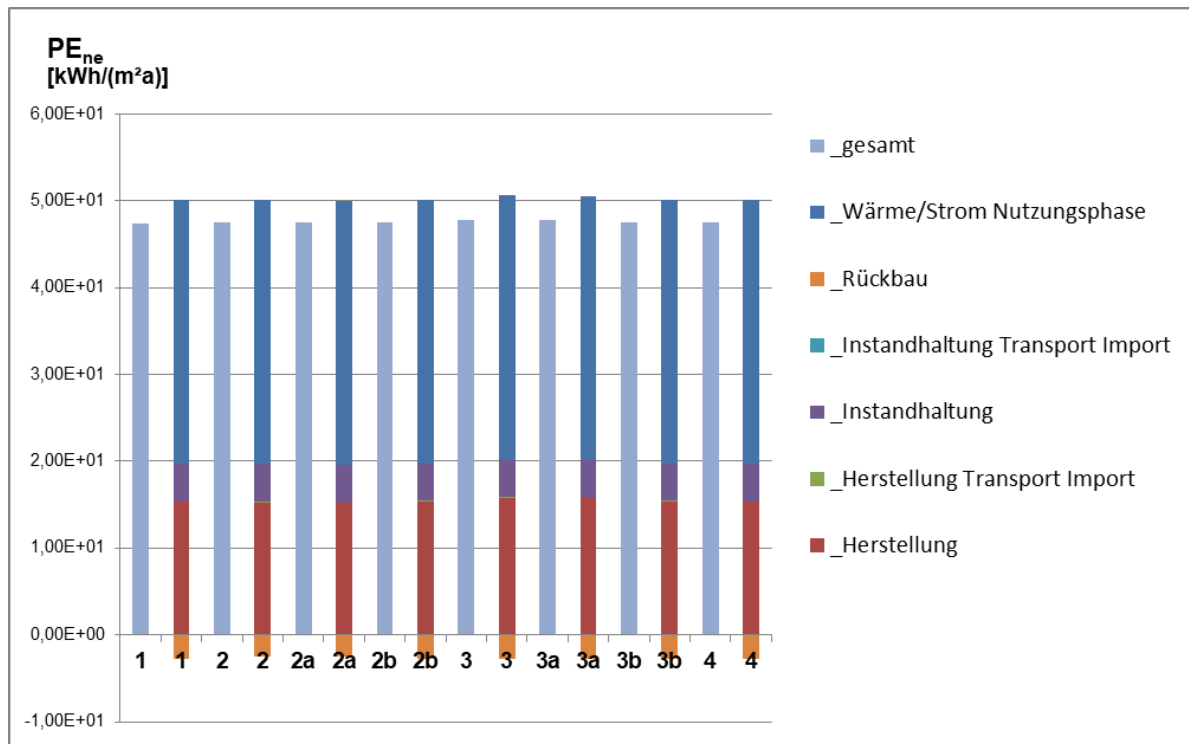
LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH





LCEE

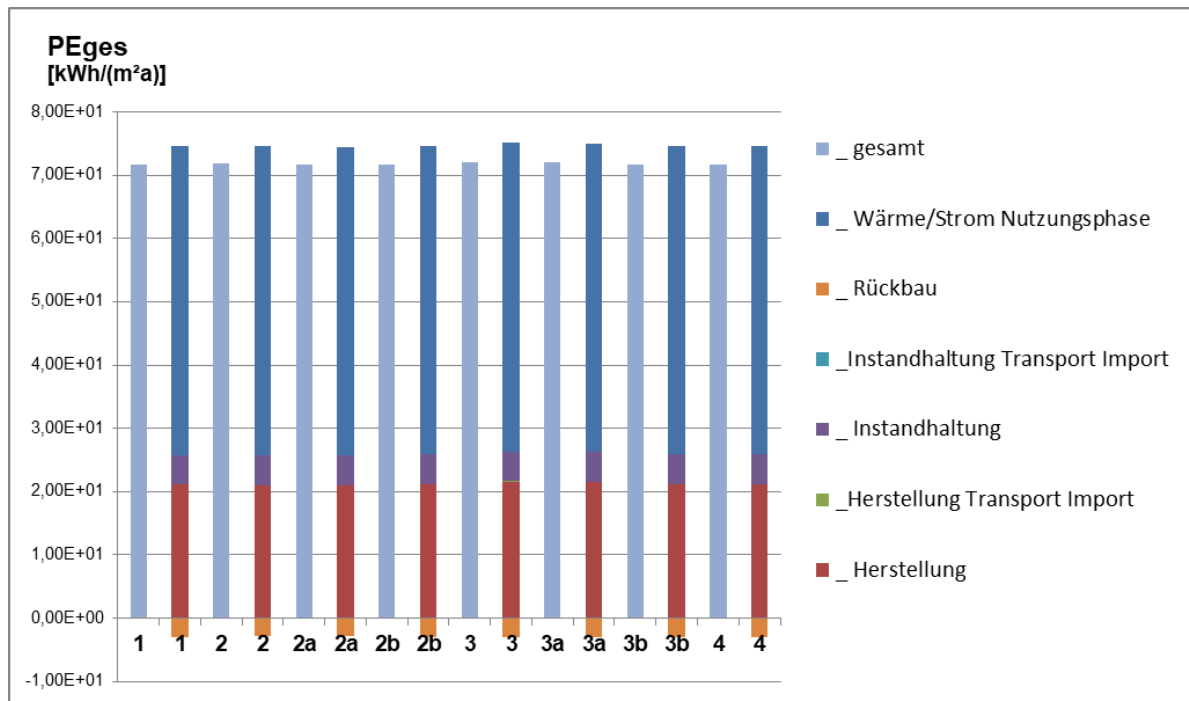
LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH





LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH



Tabellarische Darstellung

Wirkungskategorien [pro (m²a)] → Szenario-Varianten ↓	GWP [kg CO ₂ -eq]	ODP [kg R11-eq]	POCP [kg C ₂ H ₄ -eq]	AP [kg SO ₂ -eq]	EP [kg PO ₄ -eq]	PE _{ne} [kWh/(m²a)]	PE _s [kWh/(m²a)]	PE _{ges} [kWh/(m²a)]
1								
Herstellung	3,669E+00	3,534E-08	1,776E-03	1,201E-02	1,577E-03	1,536E+01	5,750E+00	2,111E+01
Herstellung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Instandhaltung	1,240E+00	2,093E-08	1,122E-03	3,789E-03	4,440E-04	4,332E+00	3,741E-01	4,706E+00
Instandhaltung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Rückbau	1,091E+00	-1,843E-09	8,163E-05	6,566E-04	2,723E-04	-2,705E+00	-2,465E-01	-2,952E+00
Wärme/Strom Nutzungsphase	6,896E+00	7,657E-09	8,614E-04	6,824E-03	8,642E-04	3,041E+01	1,835E+01	4,876E+01
gesamt	1,290E+01	6,208E-08	3,841E-03	2,328E-02	3,157E-03	4,740E+01	2,423E+01	7,162E+01
Anteil Transporte Import an Herstellung und Instandhaltung	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
2								
Herstellung	3,781E+00	3,256E-08	1,711E-03	1,203E-02	1,584E-03	1,529E+01	5,701E+00	2,099E+01
Herstellung Transport Import	1,750E-02	1,055E-13	-6,578E-06	8,951E-05	1,622E-05	6,581E-02	5,183E-03	7,100E-02
Instandhaltung	1,240E+00	2,093E-08	1,122E-03	3,789E-03	4,440E-04	4,332E+00	3,741E-01	4,706E+00
Instandhaltung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Rückbau	1,026E+00	-1,723E-09	8,696E-05	7,080E-04	2,770E-04	-2,494E+00	-2,303E-01	-2,725E+00
Wärme/Strom Nutzungsphase	6,896E+00	7,657E-09	8,614E-04	6,824E-03	8,642E-04	3,041E+01	1,835E+01	4,876E+01
gesamt	1,296E+01	5,941E-08	3,775E-03	2,344E-02	3,185E-03	4,760E+01	2,420E+01	7,180E+01
Anteil Transporte Import an Herstellung und Instandhaltung	0,35%	0,00%	0,23%	0,57%	0,80%	0,34%	0,09%	0,28%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,14%	0,00%	0,17%	0,38%	0,51%	0,14%	0,02%	0,10%
%Veränderung von gesamt zu 1	0,50%	-4,30%	-1,72%	0,66%	0,89%	0,44%	-0,11%	0,25%
2a								
Herstellung	3,781E+00	3,256E-08	1,711E-03	1,203E-02	1,584E-03	1,529E+01	5,701E+00	2,099E+01
Herstellung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Instandhaltung	1,240E+00	2,093E-08	1,122E-03	3,789E-03	4,440E-04	4,332E+00	3,741E-01	4,706E+00
Instandhaltung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Rückbau	1,026E+00	-1,723E-09	8,696E-05	7,080E-04	2,770E-04	-2,494E+00	-2,303E-01	-2,725E+00
Wärme/Strom Nutzungsphase	6,896E+00	7,657E-09	8,614E-04	6,824E-03	8,642E-04	3,041E+01	1,835E+01	4,876E+01
gesamt	1,294E+01	5,941E-08	3,781E-03	2,335E-02	3,169E-03	4,754E+01	2,419E+01	7,173E+01
Anteil Transporte Import an Herstellung und Instandhaltung	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
%Veränderung von gesamt zu 1	0,37%	-4,30%	-1,55%	0,27%	0,38%	0,30%	-0,13%	0,15%
2b								
Herstellung	3,669E+00	3,534E-08	1,776E-03	1,201E-02	1,577E-03	1,536E+01	5,750E+00	2,111E+01
Herstellung Transport Import	2,042E-02	1,231E-13	-7,675E-06	1,044E-04	1,892E-05	7,678E-02	6,047E-03	8,283E-02
Instandhaltung	1,240E+00	2,093E-08	1,122E-03	3,789E-03	4,440E-04	4,332E+00	3,741E-01	4,706E+00
Instandhaltung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Rückbau	1,091E+00	-1,843E-09	8,163E-05	6,566E-04	2,723E-04	-2,705E+00	-2,465E-01	-2,952E+00
Wärme/Strom Nutzungsphase	6,896E+00	7,657E-09	8,614E-04	6,824E-03	8,642E-04	3,041E+01	1,835E+01	4,876E+01
gesamt	1,292E+01	6,208E-08	3,833E-03	2,339E-02	3,176E-03	4,747E+01	2,423E+01	7,171E+01
Anteil Transporte Import an Herstellung und Instandhaltung	0,42%	0,00%	0,26%	0,66%	0,94%	0,39%	0,10%	0,32%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,16%	0,00%	0,20%	0,45%	0,60%	0,16%	0,02%	0,12%
%Veränderung von gesamt zu 1	0,16%	0,00%	-0,20%	0,45%	0,60%	0,16%	0,02%	0,12%



LCEE

LIFE CYCLE ENGINEERING EXPERTS GMBH

Wirkungskategorien [pro (m²a)] → Szenario-Varianten ↓	GWP [kg CO ₂ -eq]	ODP [kg R11-eq]	POCP [kg C ₂ H ₄ -eq]	AP [kg SO ₂ -eq]	EP [kg PO ₄ -eq]	PE _{ne} [kWh/(m²a)]	PE _e [kWh/(m²a)]	PE _{ges} [kWh/(m²a)]
1								
Herstellung	3,669E+00	3,534E-08	1,776E-03	1,201E-02	1,577E-03	1,536E+01	5,750E+00	2,111E+01
Herstellung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Instandhaltung	1,240E+00	2,093E-08	1,122E-03	3,789E-03	4,440E-04	4,332E+00	3,741E-01	4,706E+00
Instandhaltung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Rückbau	1,091E+00	-1,843E-09	8,163E-05	6,566E-04	2,723E-04	-2,705E+00	-2,465E-01	-2,952E+00
Wärme/Strom Nutzungsphase	6,896E+00	7,657E-09	8,614E-04	6,824E-03	8,642E-04	3,041E+01	1,835E+01	4,876E+01
gesamt	1,290E+01	6,208E-08	3,841E-03	2,328E-02	3,157E-03	4,740E+01	2,423E+01	7,162E+01
Anteil Transporte Import an Herstellung und Instandhaltung	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
3								
Herstellung	3,746E+00	5,944E-08	1,746E-03	1,370E-02	1,642E-03	1,578E+01	5,773E+00	2,155E+01
Herstellung Transport Import	2,200E-02	1,395E-13	-1,355E-05	5,621E-05	1,526E-05	8,356E-02	7,151E-03	9,071E-02
Instandhaltung	1,240E+00	2,093E-08	1,122E-03	3,789E-03	4,440E-04	4,332E+00	3,741E-01	4,706E+00
Instandhaltung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Rückbau	1,105E+00	-1,868E-09	8,049E-05	6,456E-04	2,713E-04	-2,750E+00	-2,499E-01	-3,000E+00
Wärme/Strom Nutzungsphase	6,896E+00	7,657E-09	8,614E-04	6,824E-03	8,642E-04	3,041E+01	1,835E+01	4,876E+01
gesamt	1,301E+01	8,615E-08	3,796E-03	2,501E-02	3,237E-03	4,786E+01	2,425E+01	7,211E+01
Anteil Transporte Import an Herstellung und Instandhaltung	0,44%	0,00%	0,47%	0,32%	0,73%	0,42%	0,12%	0,35%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,17%	0,00%	0,36%	0,22%	0,47%	0,17%	0,03%	0,13%
%-Veränderung von gesamt zu 1	0,88%	38,76%	-1,17%	7,42%	2,52%	0,97%	0,11%	0,68%
3a								
Herstellung	3,746E+00	5,944E-08	1,746E-03	1,370E-02	1,642E-03	1,578E+01	5,773E+00	2,155E+01
Herstellung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Instandhaltung	1,240E+00	2,093E-08	1,122E-03	3,789E-03	4,440E-04	4,332E+00	3,741E-01	4,706E+00
Instandhaltung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Rückbau	1,105E+00	-1,868E-09	8,049E-05	6,456E-04	2,713E-04	-2,750E+00	-2,465E-01	-3,000E+00
Wärme/Strom Nutzungsphase	6,896E+00	7,657E-09	8,614E-04	6,824E-03	8,642E-04	3,041E+01	1,835E+01	4,876E+01
gesamt	1,299E+01	8,615E-08	3,810E-03	2,496E-02	3,221E-03	4,777E+01	2,425E+01	7,202E+01
Anteil Transporte Import an Herstellung und Instandhaltung	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
%-Veränderung von gesamt zu 1	0,71%	38,76%	-0,82%	7,18%	2,03%	0,79%	0,10%	0,55%
3b								
Herstellung	3,669E+00	3,534E-08	1,776E-03	1,201E-02	1,577E-03	1,536E+01	5,750E+00	2,111E+01
Herstellung Transport Import	2,135E-02	1,354E-13	-1,314E-05	5,454E-05	1,481E-05	8,108E-02	6,938E-03	8,802E-02
Instandhaltung	1,240E+00	2,093E-08	1,122E-03	3,789E-03	4,440E-04	4,332E+00	3,741E-01	4,706E+00
Instandhaltung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Rückbau	1,091E+00	-1,843E-09	8,163E-05	6,566E-04	2,723E-04	-2,705E+00	-2,465E-01	-2,952E+00
Wärme/Strom Nutzungsphase	6,896E+00	7,657E-09	8,614E-04	6,824E-03	8,642E-04	3,041E+01	1,835E+01	4,876E+01
gesamt	1,292E+01	6,208E-08	3,828E-03	2,334E-02	3,172E-03	4,748E+01	2,423E+01	7,171E+01
Anteil Transporte Import an Herstellung und Instandhaltung	0,43%	0,00%	0,45%	0,35%	0,73%	0,41%	0,11%	0,34%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,17%	0,00%	0,34%	0,23%	0,47%	0,17%	0,03%	0,12%
%-Veränderung von gesamt zu 1	0,17%	0,00%	-0,34%	0,23%	0,47%	0,17%	0,03%	0,12%
4								
Herstellung	3,669E+00	3,534E-08	1,776E-03	1,201E-02	1,577E-03	1,536E+01	5,750E+00	2,111E+01
Herstellung Transport Import	1,961E-02	1,282E-13	-1,153E-05	5,186E-05	1,402E-05	7,450E-02	6,366E-03	8,087E-02
Instandhaltung	1,240E+00	2,093E-08	1,122E-03	3,789E-03	4,440E-04	4,332E+00	3,741E-01	4,706E+00
Instandhaltung Transport Import	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
Rückbau	1,091E+00	-1,843E-09	8,163E-05	6,566E-04	2,723E-04	-2,705E+00	-2,465E-01	-2,952E+00
Wärme/Strom Nutzungsphase	6,896E+00	7,657E-09	8,614E-04	6,824E-03	8,642E-04	3,041E+01	1,835E+01	4,876E+01
gesamt	1,291E+01	6,208E-08	3,829E-03	2,334E-02	3,171E-03	4,747E+01	2,423E+01	7,170E+01
Anteil Transporte Import an Herstellung und Instandhaltung	0,40%	0,00%	0,40%	0,33%	0,69%	0,38%	0,10%	0,31%
Anteil Transporte Import an gesamt	0,15%	0,00%	0,30%	0,22%	0,44%	0,16%	0,03%	0,11%
%-Veränderung von gesamt zu 1	0,15%	0,00%	-0,30%	0,22%	0,44%	0,16%	0,03%	0,11%

