Nachhaltigkeit von mehrgeschossigen Wohngebäuden aus Mauerwerk

Fachgebiet Massivbau, Univ.-Prof. Dr.-Ing. C.-A. Graubner

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Studie

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Prof. Dr.-Ing. C.-A. Graubner
Institut für Massivbau

Fachgebiet Massivbau

Fachbereich 13
Bau- und Umweltingenieur-
wissenschaften

Franziska-Braun-Straße 3
64287 Darmstadt
Telefon (06151) 16 2144
Telefax (06151) 16 3044
graubner@massivbau.tu-darmstadt.de

Studie

Projekt	**Nachhaltigkeit von mehrgeschossigen Wohngebäuden aus Mauerwerk**
beauftragt durch	Deutsche Gesellschaft für Mauerwerks- und Wohnungsbau e.V. Dr.-Ing. Ronald Rast Kochstraße 6-7 10969 Berlin
ausführende Stellen	Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Massivbau, Dr.-Ing. Sebastian Pohl

Darmstadt, im August 2014

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

Inhaltsverzeichnis

1 Motivation - Kontextualisierung - Vorgehensweise

2 Nachhaltigkeit als strategischer Ansatz

3 Das Bauwesen im Zentrum einer nachhaltigen Entwicklung

4 Die Rohstoffe - Wiege des Lebenszyklus

5 Die Produktion - Von den Rohstoffen zum fertigen Mauerstein

6 Die Bauwerkserstellung - Aus Steinen werden Bauteile

7 Die Nutzungsphase - Bedeutung des Faktors *Mensch*

8 Durch Cradle-to-Cradle zum geschlossenen Kreislauf

9 Resümee - Nachhaltigkeitsbilanz von Mehrfamilienhäusern

Literaturverzeichnis

Anhang

1 Motivation - Kontextualisierung - Vorgehensweise

Eine Einführung zur Nachhaltigkeit ist Teil des Kapitels 2 wie auch der Vorgängerstudie zur Nachhaltigkeitsqualität von Ein- und Zweifamilienhäusern aus Mauerwerk.

Bedeutung des Mauerwerksbaus für Nachhaltigkeit

Eine nachhaltige gesellschaftliche und wirtschaftliche Entwicklung gilt als zentrale Antwort auf globale Zukunftsfragen wie Ressourcenknappheit und Klimawandel. Eine Schlüsselrolle kommt dabei allgemein der Bau- und Immobilienwirtschaft als material- und energieintensiver Branche und im Speziellen Wohnbauten als wichtiger Gebäudetypologie zu.

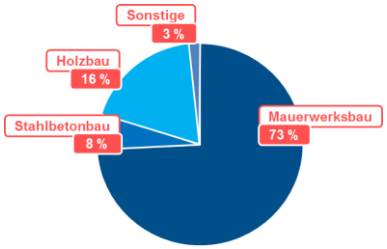


Abb. 1: Marktanteile des Mauerwerks im Wohnungsbau (2009/10) [1]

Innerhalb dieses Gebäudesegments weist die Bauweise Mauerwerk traditionell den mit Abstand größten Marktanteil auf (Abb. 1). Insoweit kann und muss die Mauerwerksindustrie einen eigenen signifikanten Beitrag für eine nachhaltige Gesellschaft leisten. In diesem Zusammenhang soll die vorliegende Studie eine fundierte Untersuchung und Beurteilung der Nachhaltigkeitsqualität von Wohngebäuden aus Mauerwerk vornehmen.

Kontextualisierung und Vorgehensweise der Studie

Basis: Untersuchungen der Vorgängerstudie zu *Ein- und Zweifamilienhäusern*

Ziel: Berücksichtigung von maßgeblichen Besonderheiten bei *Mehrfamilienhäusern*

Die Untersuchungen basieren auf einer Vorgängerstudie zur Nachhaltigkeitsqualität von Ein- und Zweifamilienhäusern aus Mauerwerk auf [2] und ergänzen diese um analoge weiterführende Analysen zur Nachhaltigkeitsqualität von Mehrfamilienhäusern unter Berücksichtigung der dort maßgeblichen nachhaltigkeitsrelevanten Besonderheiten.

Allerdings wird im vorliegenden Fall ein anderes Bewertungs- und Zertifizierungssystem einschlägig sein, als in der Vorgängerstudie. Denn das dort referenzierte DGNB-Nutzungsprofil Neubau Kleine Wohngebäude, Version 2012 (kurz: NKW12) ist auf Mehrfamilienhäusern nicht anwendbar.

Auch die Fortsetzungsstudie nimmt bei ihren Analysen eine ganzheitliche, den kompletten Lebenszyklus eines Gebäudes umfassende Perspektive ein und wählt als Betrachtungsrahmen sowohl qualitative als auch quantitative Aspekte der *drei fundamentalen Nachhaltigkeitszieldimensionen Ökologie, Ökonomie und Soziokultur/Funktionalität* sowie der *bauspezifischen Querschnittsqualitäten Technik* und *Prozesse* (der Planung und Bauausführung). Wird ein entsprechend in der Studie untersuchter Nachhaltigkeitsaspekt von Mehrfamilienhäusern gleichsam im Bewertungsregime von Zertifizierungssystemen adressiert, erfolgt parallel eine bewertungstechnische Einordnung des jeweiligen Nachhaltigkeitsaspekts.

2 Nachhaltigkeit als strategischer Ansatz

Grenzen des Wachstums und nachhaltige Entwicklung

Die überblickshafte Retrospektive zur historischen Entwicklung des Nachhaltigkeitsansatzes in der Vorgängerstudie hat gezeigt, dass dieser zum originären Weltkulturerbe gehört und mitnichten als neuartige und kurzfristige Modeerscheinung zu titulieren ist [2]. Richtig ist, dass die strategische Vision der *Nachhaltigkeit* für eine resiliente Zukunft nach einer langen Zeit des Nischendaseins Ende des 20 Jahrhunderts auf die Weltbühne zurückgekehrt ist und den globalen wissenschaftlichen, politischen und gesellschaftlichen Diskurs seit Beginn des neuen Jahrtausends entscheidend mitprägt [3].

Kern der Studie war die Simulation verschiedener Szenarien. Das hierzu konzipierte Weltmodell untersuchte dabei die global wirkenden Wechselbeziehungen zwischen fünf wichtigen „Trends" [4]: Industrialisierung, Bevölkerungswachstum, Unterernährung, Ausbeutung von Rohstoffreserven und Zerstörung des Lebensraums.

Oft zitierte Meilensteine der *wissenschaftlichen* Auseinandersetzung mit Anforderungen einer zukunftsfähigen Entwicklung markieren die Studie *Die Grenzen des Wachstums* des Club of Rome sowie der *Brundtland-Bericht* der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung (WCED). Durch die Untersuchungen der von einer Forschergruppe um den Ökonom Dennis L. Meadows erstellten Studie aus dem Jahr 1972 wurde die zerstörerische Problematik einer allgemeinen Wachstumsdoktrin angesichts der natürlichen Grenzen des verfügbaren Umweltraums unserer Erde thematisiert und erstmals mit einer wissenschaftlichen und computergestützten Methodik analysiert [4]. Die Problemstellung der Überforderung und devastiven Ausbeutung der Erde wurde auch vom Brundtland-Bericht 1987 aufgegriffen und ins Zentrum der Bestrebungen für eine nachhaltige Entwicklung gestellt. Der Bericht wird deshalb als so bedeutend für den Nachhaltigkeitsdiskurs angesehen, weil mit ihm erstmalig eine ganzheitliche Strategie einer zukunftsfähigen globalen Entwicklung skizziert wurde. Er gilt mithin als moderne Definition des Nachhaltigkeitsbegriffs [5].

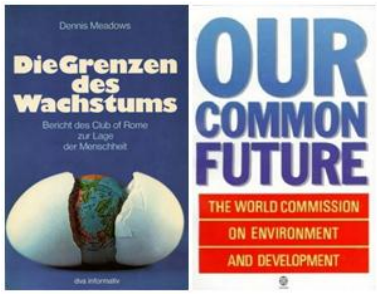


Abb. 2: Literaturempfehlung

Meilensteine des wissenschaftlichen Diskurses [4][5].

Die Zieltrias Ökologie - Ökonomie - Soziokultur

Wichtig für die Verankerung des Nachhaltigkeitsansatzes in der globalen *politischen* Debatte waren insbesondere die Umwelt- und Klimakonferenzen der Vereinten Nationen. So verpflichtete etwa die auf der UN-Konferenz in Rio de Janeiro 1992 beschlossene *Agenda 21* alle Unterzeichnerstaaten zur Erarbeitung nationaler Strategien für eine nachhaltige Entwicklung und prägte ganz entscheidend das Leitbild der Nachhaltigkeit als Drei-Säulen-Modell bestehend aus ökologischen, ökonomischen und soziokulturellen Zielsetzungen. Gleichwohl ist und bleibt dieses Leitbild Gegenstand einer stetigen Diskussion und Fortentwicklung. Eine wichtige Kontroverse besteht beispielsweise ob der korrekten hierarchischen Ordnung der Zieldimensionen [6].

Dazu, welche Wertigkeit den Zieldimensionen zuzuordnen sind, gibt es im Wesentlichen vier abgrenzbare Positionen, die sich in *Nachhaltigkeitsgrade* übersetzen lassen [6].

Eine umfassende Darstellung dieses politischen Prozesses der supranationalen und nationalen Operationalisierung findet sich etwa in [7].

Die *Agenda 21* gilt jedenfalls als wesentliche Basis aller zeitlich nachfolgenden supranationalen, nationalen und lokalen Ansätze zur Konkretisierung und Umsetzung des bis dahin abstrakten Nachhaltigkeitsgedankens. Für den europäischen bzw. bundesdeutschen Hoheitsbereich erfolgte diese Operationalisierung durch die Lissabon-Strategie der EU bzw. die Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung, die Arbeit und Ergebnisse eines langjährigen Entwicklungs- und Konsultationsprozesses bündelt und die Konzeption des Drei-Säulen-Modells der Nachhaltigkeit ausdrücklich festschreibt [7]. Damit hat sich auch Deutschland zu einem strategischen Umdenken unter Berücksichtigung des Lebenszyklusgedankens verpflichtet [8].

Die Umsetzung, Fortschreibung und Kontrolle der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie obliegt in Deutschland insbesondere dem Staatssekretärausschuss, der als *Green Cabinet* vor allem auch die Bau- und Immobilienwirtschaft in den Fokus seines Nachhaltigkeitsmanagements gerückt hat.

Aufgrund der beschriebenen Entwicklungen hat sich das Drei-Säulen-Modell als Dreiklang aus Ökologie, Ökonomie und Soziokultur (Abb. 3) zwischenzeitlich weltweit zumindest als Grundfigur und erste Konkretisierungsstufe des zunächst abstrakten Nachhaltigkeitsansatzes des Brundtland-Berichts etabliert.

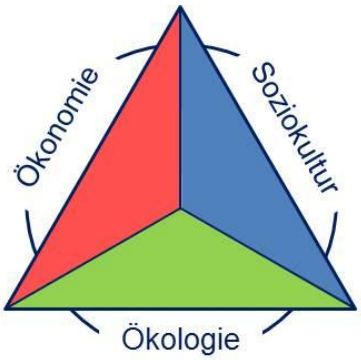


Abb. 3: Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit

3 Das Bauwesen im Zentrum einer nachhaltigen Entwicklung

Beyond Green - Nachhaltiger Wohnraum

In der soeben als Teil des Operationalisierungsprozesses genannten nationalen Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung kommt dem Bauwesen eine Schlüsselrolle zu. Die bereits zitierte Vorgängerstudie hat hierzu richtigerweise ausgeführt, dass dieser bau- und immobilienwirtschaftlichen Schwerpunktsetzung die Tatsache und Erkenntnis der enormen Umweltwirkungen der Bau- und Immobilienwirtschaft zugrunde liegt [2][3].

In analoger Weise lässt sich die Bedeutung des Bauwesens u.a. auch mit der sozioökonomischen Relevanz und Wichtigkeit von Bauwerken wie beispielsweise Wohngebäuden fundieren, etwa was den zunehmenden Bedarf an nachhaltigem - im Sinne von: umweltverträglichem, bezahlbarem und unter Komfortaspekten hochwertigem - Wohnraum in städtischen Ballungszentren (vor allem im Geschosswohnungsbau) angeht.

Weitere Nachhaltigkeitsaspekte und -kennzahlen werden z.B. in der Umweltökonomischen Gesamtrechnung des Statistischen Bundesamts veröffentlicht [9].

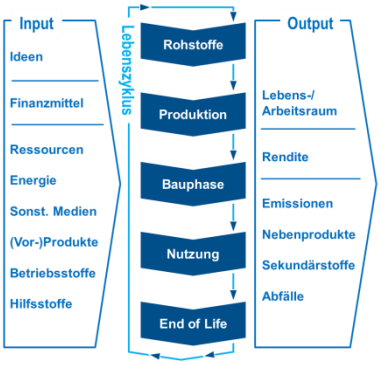


Abb. 4: Lebenszyklusphasen von Bauwerken

Auch dieses ergänzende Beispiel für die Nachhaltigkeitsbedeutung des Bauwesens verdeutlicht einmal mehr, dass Gebäude nicht nur bei Konzeption, Planung und Erstellung, sondern über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg zu betrachten sind, wenn es um deren Nachhaltigkeit geht. Abb. 4 zeigt einen sozioökonomisch erweiterten Überblick über die einzelnen Lebenszyklusphasen und deren Nachhaltigkeitswirkungen getrennt nach In- und Output-Seite. Der für die Umsetzung der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie verantwortliche Staatssekretärausschuss sieht eine forcierte lebenszyklusorientierte Betrachtung von Gebäuden unter Einbeziehung ökologischer, ökonomischer und sozialer Aspekte denn auch als wichtigen Baustein einer nachhaltigen Entwicklung.

Für eine Systematisierung der Nachhaltigkeitsbetrachtung von Gebäuden über den Lebenszyklus ist es jedoch erforderlich, Nachhaltigkeit als abstrakte Begrifflichkeit transparent und messbar zu machen. Das heißt, das Drei-Säulen-Modell muss weiter konkretisiert und auf Gebäudeebene objektiviert werden [10].

Meilenstein Deutsche Zertifizierungssysteme

Speziell für die deutsche Bau- und Immobilienwirtschaft wurde mit der Entwicklung des *Deutschen Gütesiegels Nachhaltiges Bauen* im Rahmen der Aktivitäten des Gremiums *Runder Tisch Nachhaltiges Bauen* und unter maßgeblicher Beteiligung des Instituts für Massivbau der TU Darmstadt die grundlegende Voraussetzung dazu geschaffen [11]. Das Deutsche Gütesiegel stellt eine ganzheitliche - lebenszyklusbasierte und mehrdimensionale - Weiterentwicklung internationaler Systeme dar und bewertet Gebäude auf Basis einer wissenschaftlich fundierten und planungsbasierten Methodik aus ökologischen, ökonomischen und soziokulturell-funktionalen Kriterien unter bauspezifischer Einbeziehung technischer und prozessqualitativer sowie standortbezogener Aspekte (Abb. 5).

Umfangreiche Informationen zu den deutschen Nachhaltigkeitszertifizierungssystemen DGNB und BNB sind über den jeweiligen Internetauftritt der Systemträger unter www.dgnb.de und www.nachhaltigesbauen.de verfügbar.

Abb. 5: Bewertungsmethodik des DGNB-Systems [12]

Gemeinsam mit dem vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) getragenen hoheitlichen *Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen des Bundes (BNB)* bildet das privatwirtschaftliche System der *Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen* (*DGNB-System*) die deutsche Systemlandschaft zur Nachhaltigkeitsbewertung und -zertifizierung von Gebäuden. Beide Systeme wurden 2008 als *gemeinsames Basissystem* Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen entwickelt.

Bereits seit den 1990er Jahren gibt es die internationalen Bewertungssysteme BREEAM und LEED. Allerdings sind beide durch eine ökologische Fokussierung und Schwerpunktsetzung gekennzeichnet und entsprechen damit nicht dem anerkannten Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit. Sie gelten daher als reine Green-Building-Systeme [10][13].

Die Systeme BNB und DGNB repräsentieren einen Meilenstein der Verankerung von Grundsätzen nachhaltigen Bauens in der Bau- und Immobilienwirtschaft und haben sich seit ihrer Praxiseinführung im Jahr 2009 zunehmend bei der Realisierung von Bauvorhaben etabliert [13]. Mittlerweile geht ihr Portfolio an *Systemvarianten* bzw. *Nutzungsprofilen* weit über die ursprünglich abbildbare Typologie Büro- und Verwaltung hinaus. Heute können alle wichtigen Gebäudetypologien bewertet werden, wobei speziell für Wohngebäude auch das System **NaWoh** anwendbar ist. (Tab. 1).

Zusätzlich umfasst das DGNB- bzw. BNB-Systemportfolio auch Systemvarianten bzw. Nutzungsprofile zur Bewertung und Zertifizierung von Bestandsgebäuden und ganzen Quartieren.

Gebäudetypologien für Neubauten	BNB	DGNB	NaWoh
Büro- und Verwaltungsgebäude	✓	✓	-
Bildungsbauten	✓	✓	-
Handelsbauten	-	✓	-
Hotelgebäude	-	✓	-
Industriebauten	-	✓	-
Gesundheitsbauten	-	✓	-
Laborgebäude	✓	✓	-
Wohngebäude (größer 6 WE)	-	✓	✓
Kleine Wohngebäude (bis 6 WE)	-	✓	-
Versammlungsstätten	-	✓	-
Außenanlagen	✓	-	-

Tab. 1: DGNB-/BNB-Systemportfolio

Nachhaltigkeit im Wohnungsbau - Das System *NaWoh*

Einleitend wurde beschrieben, dass auch diese Fortsetzungsstudie die Nachhaltigkeitsqualität von Wohngebäuden - hier jedoch: Mehrfamilienhäuser - aus Mauerwerk *lebenszyklusorientiert* analysieren und betrachtete Nachhaltigkeitsaspekte dabei situativ ins Bewertungsregime eines Zertifizierungssystems einordnen soll. In diesem Kontext sind aus Tab. 1 - und in Abgrenzung zu den Untersuchungen der Vorgängerstudie für Ein- und Zweifamilienhäuser als Typenvertreter kleiner Wohngebäude - das DGNB-Nutzungsprofil *Neubau Wohngebäude (NWO)* sowie das System *NaWoh* relevant und passgenau, weil sie für Wohngebäude mit mehr als sechs Wohneinheiten bzw. für Mehrfamilienhäuser konzipiert worden sind.

Konkret sollen die nachfolgenden Untersuchungen zur Nachhaltigkeitsqualität von Mehrfamilienhäusern auf Basis des Systems NaWoh erfolgen. Dieses gehört de jure zwar nicht zur oben skizzierten BNB-Familie, ist de facto aber dennoch ein Bestandteil des hoheitlichen Systemstrangs des deutschen Bewertungsansatzes. Um die durch eine Zertifizierung ausgelösten Zusatzkosten zu minimieren und eine Breitenanwendung zu ermöglichen, wurde die Bewertungsmethodik des Systems NaWoh bei der Systementwicklung speziell für die Bedürfnisse der Wohnungswirtschaft angepasst, ohne jedoch die Grundstruktur der in Deutschland konzipierten Methode der Nachhaltigkeitsbewertung zu verändern (Abb. 6).

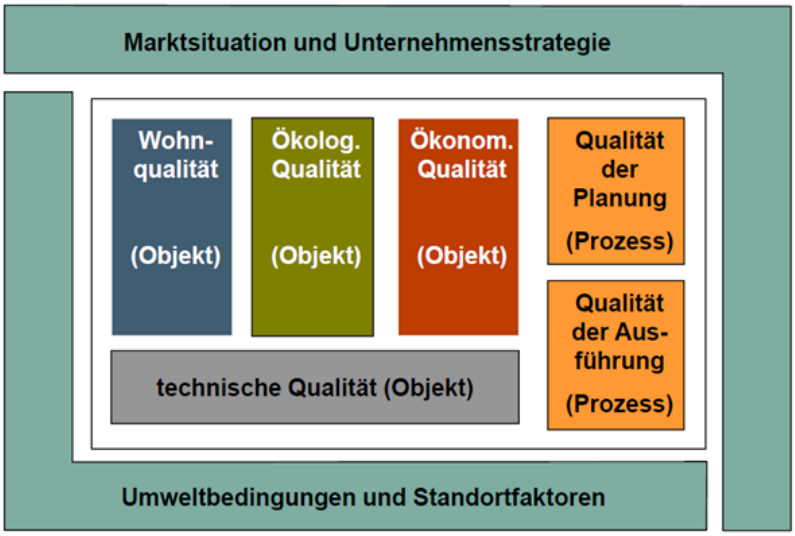


Abb. 6: Bewertungsmethodik des Systems NaWoh [14]

Eine weitere Besonderheit des Systems NaWoh liegt im Verzicht auf den Ausweis eines Gesamtzielerfüllungsgrads sowie auf die Vergabe von Qualitätsstufen oder Medaillen. Vielmehr wird der Ansatz eines Qualitätssiegels verfolgt, das als Signal für Nachhaltigkeit, Qualität und Transparenz fungieren soll [14].

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 und erleichtert diese Vorgehensweise und Struktur der Bewertungsmethodik die Durchführung einer NaWoh-Zertifizierung, vor allem im direkten Vergleich mit einer Zertifizierung nach dem vergleichbaren DGNB-Nutzungsprofil. Anhang A zeigt den Kriterienkatalog des System NaWoh [15].

4 Die Rohstoffe - Wiege des Lebenszyklus

Marktbestimmende Mauersteinarten im Überblick

Grundsätzlich unterscheiden sich die für die Errichtung von Mehrfamilienhäusern marktbestimmenden Mauersteinarten nicht von denen für Ein- und Zweifamilienhäuser. Daher gilt auch für die Fortsetzungsstudie, dass die Vielfalt der eingesetzten Mauersteinarten zu einer Vielfalt an verwendeten Rohstoffen führt. *Umweltproduktdeklarationen (EPD)* bleiben in diesem Kontext eine ideale Informationsbasis hinsichtlich der verwendeten Rohstoffe und Vorprodukte bei der Herstellung von Mauersteinen (Tab. 2) [16].

Ziegel

Kalksandstein

Porenbeton

Leichtbeton

Tab. 2: Exemplarische Umweltproduktdeklarationen (EPD) der marktbestimmenden Mauersteinarten

Marktführer für EPDs zu Baustoffen in Deutschland ist das Institut für Bauen und Umwelt e.V. (IBU). Als Systemträger eines EPD-Programms ist das IBU insbesondere verantwortlich für die Erstellung der erforderlichen Rahmendokumente (z.B. Konzeption und Erarbeitung der jeweiligen Produktgruppenregeln) sowie insbesondere die Verifizierung von EPDs und deren Revision nach Ablauf der Gültigkeitsdauer. Weitere grundlegende Erläuterungen zum Themenfeld der EPDs geben auch Graubner, Pohl [16]. Die in Tab. 2 dargestellten EPDs der marktbestimmenden Mauersteinarten sind über die Homepage des IBU unter www.bau-umwelt.de abrufbar [17][18][19][20].

Zudem haben aus diesem Grund die grundlegenden Ausführungen der Vorgängerstudie zu Nachhaltigkeitsaspekten der Lebenszyklusphase der Rohstoffgewinnung bzw. der Klassifizierung von Mauersteinen als Bauprodukt aus natürlichen Rohstoffen auch bei einer Nachhaltigkeitsbetrachtung von Mehrfamilienhäusern Bestand, sollen aber an dieser Stelle nicht wiederholt werden. Vielmehr sollen hier Besonderheiten der Mauerwerksbauweise im Vergleich mit anderen für Mehrfamilienhäuser maßgeblichen Bau- und Konstruktionsweisen untersucht und dargestellt werden.

Ausführliche Erläuterungen zu den verwendeten natürlichen Rohstoffen, deren Gewinnung sowie möglichen Umweltauswirkungen finden sich in der Vorgängerstudie unter Kapitel 2 ab Seite 11 [2].

Nachhaltigkeit notwendiger industrieller Vorprodukte

In der Bauindustrie wird grundsätzlich zwischen hydraulischen und nicht-hydraulischen Bindemitteln unterschieden.

Über die natürlichen Rohstoffe hinaus bestehen Mauersteine je nach Steinart aus verschiedenen industriellen Vorprodukten. Eine wichtige Gruppe dieser Vorprodukte stellen *Bindemittel* dar, die die Bildung des *Kunststeins Mauerwerk* erst ermöglichen und für die Festigkeit mitverantwortlich sind (Tab. 3). In Mauersteinen werden - mit Ausnahme der Mauersteinart Ziegel - als hydraulische Bindemittel Branntkalk und/oder Zement eingesetzt.

Bindemittel im Ziegel

Der Rohstoff Ton wirkt durch das Brennen der geformten Steine gleichsam als Bindemittel

Bindemittel im Kalksandstein

Im Kalksandstein sorgt Branntkalk als Bindemittel für die erhärtende chemische Reaktion der Steinrohmasse.

Bindemittel im Porenbeton

In Porenbetonsteinen werden Zement und Branntkalk als Bindemittel eingesetzt.

Bindemittel im Leichtbeton

Neben Zement werden zunehmend auch Koppelprodukte wie Flugasche als Bindemittel verwendet.

Tab. 3: Mauersteinarten und verwendete Bindemittel

Hydraulische Bindemittel härten dabei sowohl an der Luft als auch unter Wasser aus und sind nach Erhärten wasserbeständig.

Beide werden durch das Vermahlen und Brennen von natürlichem Kalkstein bzw. natürlichem Kalkstein und Ton hergestellt. Aufgrund dieses mechanisch-thermisch dominierten und daher energieintensiven Herstellprozesses sind Branntkalk und Zement Vorprodukte mit im Vergleich zu den oben beschriebenen Rohstoffen nicht unerheblichen Umweltwirkungen.

Die Kalksandsteinindustrie verzichtet bewusst auf eine Verwendung von Substituten für die von ihrem *Reinheitsgebot* umfassten Primärrohstoffe Kalk, Sand und Wasser.

Die Hersteller optimieren ihre Mauersteine deshalb kontinuierlich hinsichtlich des Gehalts an industriellen Bindemitteln bzw. des Energieeinsatzes. Eine wichtige Strategie ist dabei z.B. bei der Herstellung von Leichtbetonsteinen die Substitution des Zements durch industrielle Koppelprodukte sowie durch natürliche Rohstoffe (z.B. Trass), die wie Zement eine hydraulische Bindewirkung und Festigkeitsbildung erzeugen. Dadurch können die aus den Bindemitteln resultierenden Umweltwirkungen erheblich reduziert werden.

Diese Unterschiede hinsichtlich der Bindemittelgehalte werden auch im Rahmen ökobilanzieller Auswertungen in den Kapiteln 5 und 6 erneut thematisiert.

Ohnehin zeichnen sich die betrachteten Mauersteinarten im Vergleich mit anderen mineralischen Baustoffen (wie etwa (Stahl-)Beton) durch einen relativ geringen Bindemittelgehalt aus. Die nachfolgende Tab. 4 zeigt eine Auswertung von Umweltproduktdeklarationen des IBU-EPD-Programms hinsichtlich des *absoluten* Gehalts an Bindemitteln in kg für die Mauersteinarten Kalksandstein, Poren- und Leichtbeton sowie für Beton C25/30 und C30/37 je m³ des jeweiligen Baustoffs.

Baustoff	Spezifikation	Rohdichte [kg/m³]	Eingesetzte(s) Bindemittel	Bindemittelgehalt in [M-%]	Bindemittelgehalt in [kg je m³]
Kalksandstein	Durchschnittliches KS-Mauerwerk, max. Bindemittelgehalt	1800	Branntkalk	9,0%	162,0
	Durchschnittliches KS-Mauerwerk, min. Bindemittelgehalt	1800	Branntkalk	5,0%	90,0
	Durchschnittliches Xella-KS-Mauerwerk, max. Bindemittelgehalt	1800	Branntkalk	13,0%	234,0
	Durchschnittliches Xella-KS-Mauerwerk, min. Bindemittelgehalt	1800	Branntkalk	4,0%	72,0
Porenbeton	Durchschnittliches Xella-PB-Mauerwerk, max. Bindemittelgehalt	445	Zement, Branntkalk	50,0%	222,5
	Durchschnittliches Xella-PB-Mauerwerk, min. Bindemittelgehalt	445	Zement, Branntkalk	25,0%	111,3
	Durchschnittliches H+H Celcon-PB-Mauerwerk, max. Bindemittelgehalt	460	Zement, Branntkalk	50,0%	230,0
	Durchschnittliches H+H Celcon-PB-Mauerwerk, min. Bindemittelgehalt	460	Zement, Branntkalk	25,0%	115,0
Leichtbeton	natürliche Zuschläge, Vollblock Vbl. leicht	450	Zement	23,0%	103,5
	natürliche Zuschläge, Vollstein Vbl. schwer	1800	Zement	8,0%	144,0
	natürliche Zuschläge, Hohlblock Hbl.	800	Zement	11,0%	88,0
	natürliche Zuschläge mit Trass, Vollblock Vbl. leicht	450	Zement, Trass	18,0%	81,0
	natürliche Zuschläge mit Trass, Vollstein Vbl. schwer	1800	Zement, Trass	7,0%	126,0
	natürliche Zuschläge mit Trass, Hohlblock Hbl.	800	Zement, Trass	8,0%	64,0
Beton	C25/30	2400	Zement, Flugasche	15,0%	360,0
	C30/37	2400	Zement, Flugasche	17,1%	410,4
	Betonlichtschächte	2717	Zement, Kalksteinmehl	18,1%	491,8

Tab. 4: Art und Gehalte von Bindemitteln in mineralischen Baustoffen

Basis der Auswertungen in Tab. 4 sind diverse Umweltproduktdeklarationen des IBU-EPD-Programms für die Baustoffkategorien Mauerwerk (http://bau-umwelt.de/hp547/Mauerwerk.htm) und Beton (http://bau-umwelt.de/hp4379/Beton.htm)[1] [21][22]. Es wird deutlich, dass bezogen auf die Kubatur der Baustoffe Beton deutlich höhere Bindemittelgehalte aufweist.

Am Institut für Angewandte Bauforschung in Weimar werden derzeit z.B. Verfahren entwickelt, um aus Mauerwerkbruch geblähte Leichtzuschläge für Mauersteine im industriellen Maßstab herzustellen (siehe dazu auch in Kapitel 8).

Auch für andere Vorprodukte wie Blähton als industriellem Zuschlagstoff werden künftig zunehmend Substitute mit reduzierten Umweltwirkungen verfügbar sein, die z.B. aus dem Recycling von Mauerwerksschutt stammen. Im Übrigen haben andere industrielle Vorprodukte wie Aluminium als Porosierungsstoff nur vernachlässigbar kleine Massenanteile und stammen oftmals ebenfalls bereits aus Recyclingprozessen.

[1] Eigenständige EPDs für Stahlbeton existieren abgesehen von Umweltproduktdeklarationen für Sonderbauteile wie Lichtschächte oder Lärmschutzwände nicht.

Mauerwerk als *Verbundwerkstoff*

Weiterer (industrieller) Vorprodukte bedarf es rohstoffseitig für die Herstellung von Mauersteinen grundsätzlich nicht (siehe dazu auch Kapitel 5). Jedoch wird Mauerwerk in der Anwendung für Wandbauteile von Gebäuden üblicherweise als *Verbundwerkstoff* aus Mauersteinen und Mörtelfugen ausgeführt. Ein Bauteil aus Mauerwerk benötigt demnach bei der Bauwerkserstellung eine zweite Materialkomponente (siehe dazu auch Kapitel 6). Allerdings ist die Klassifizierung als Verbundwerkstoff kein Alleinstellungsmerkmal der Mauerwerksbauweise, sondern gilt auch bei anderen massiven Bauweisen wie z.B. Bauteilen aus Stahlbeton.

Stahlbeton ist in diesem Sinne ein Verbundwerkstoff aus Beton als mineralischer Materialkomponente und Bewehrungsstahl.

Bewertungstechnische Abbildung der Rohstoffe

Im Kontext einer Nachhaltigkeitszertifizierung von Mehrfamilienhäusern aus Mauerwerk und mit Blick auf den Kriterienkatalog des relevanten Systems NaWoh spielen die ökobilanziellen Umweltwirkungen von Bauprodukten eine wichtige Rolle. Für die Lebenszyklusphase der Rohstoffe bedeutet dies eine Ökobilanzierung der sogenannten *Vorketten*, das heißt der Input- und Output-Flüsse im Rahmen des Abbaus oder der Gewinnung bzw. Herstellung der oben dargestellten Rohstoffe und Vorprodukte. Allerdings hält das relevante Bewertungssystem keine eigenständigen Anforderungswerte für die Umweltwirkungen der Rohstoffe und Vorprodukte vor, sondern beurteilt die ökobilanzielle Nachhaltigkeitsqualität im Gesamtzusammenhang eines Wohngebäudes über dessen Lebenszyklus hinweg.

5 Die Produktion - Von den Rohstoffen zum fertigen Mauerstein

EPDs - Transparente Darstellung des Herstellprozesses

In Kapitel 4 zu den Rohstoffen als Startpunkt des Lebenszyklus von Mauersteinen wurden Umweltproduktdeklarationen (EPD) bereits als gängige Informationsbasis für die verwendeten Rohstoffe von Bauprodukten allgemein bzw. Mauersteinen im Speziellen vorgestellt. Darüber hinaus ist ferner eine exakte Abbildung und Beschreibung der Herstellprozesse von den Rohstoffen zum fertigen Bauprodukt zentraler Bestandteil von EPDs. Abb. 7 zeigt eine Übersicht dieses und weiterer grundlegender Inhalte von EPDs sowie die Basisschritte im Prozess der EPD-Erstellung.

Welche Inhalte eine EPD je nach Bauproduktgruppe umfassen muss, legt die Produktgruppenregel (PCR) fest. Sie ist als Basisdokument Grundvoraussetzung und erster Schritt einer EPD-Erstellung. Weitere Details zur Thematik beschreiben Graubner, Pohl [23].

- **Produktdefinition**: Anwendung, Normen, Bauphysik, ...
- **Grundstoffe**: Rezeptur, Hilfsstoffe, Rohstoffgewinnung, ...
- **Produktherstellung**: Prozesse, Gesundheit/Arbeitsschutz, ...
- **Produktverarbeitung**: Restmaterial, Verfahren, ...
- **Nutzungszustand**: Beständigkeit, Umwelt/Gesundheit, ...
- **Außergewöhnliche Einwirkungen**: Brand, Hochwasser
- **Ökobilanz**: *verifizierte* Bilanzierung der Umweltwirkungen, u.a. nach Primärenergie, Treibhauspotential, etc.
- **Nachweise**: z.B. Radioaktivität, Auslaugung

Rahmensetzung	Datensammlung	Erstellung EPD-Texte	Ökobilanz + Bericht	Verifikation EPD
• Erarbeitung der Rahmenbedingungen	• Analyse des Herstellprozesses	• Erarbeitung der nötigen EPD-Texte:	• Modellierung der erforderlichen Prozesse	• Zusammenführung aller Unterlagen
• Verfügbarkeitsprüfung einer PCR	• Datensammlung zu Rohstoffen, etc.	• Produktdefinition + Grundstoffe	• Berechnung der Ökobilanzierung	• Übergabe an Programmhalter/Prüfer
• ggf. Erstellung einer PCR	• Begleitung der Datenerhebung	• Produktherstellung/ -verarbeitung	• Hintergrundbericht zur Ökobilanz	• ggf. Diskussion/ Abstimmung
		• etc.		

Abb. 7: Grundlegende Inhalte und Basisschritte der Erstellung einer EPD

Die Mauerwerksindustrie hat den Trend zur transparenten Darstellung ihrer Produkte früh aufgegriffen und veröffentlicht seit 2008 über das Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU) als Programmhalter EPDs für die marktbestimmenden Mauersteinarten. Zwischenzeitlich wurde das Portfolio an verfügbaren Umweltproduktdeklarationen für Mauersteine gegenüber dem in der

Vorgängerstudie dargestellten Stand nochmals erweitert und aktualisiert (siehe Tab. 5). Die Aktualisierung von EPDs betraf dabei auch die Normenumstellung auf die neue EN 15804 bei der Erarbeitung von Umweltproduktdeklarationen und zentraler Inhalte wie ökobilanzieller Berechnungen zu den Umweltwirkungen eines deklarierten Produkts.

Titel	Deklarationsnummer	Deklarationsinhaber
POROTON-Ziegel	EPD-POR-2008111-D	Deutsche POROTON GmbH
Perlitgefüllte Ziegel	EPD-POR-2011211-D	Deutsche POROTON GmbH
Mineralwollgefüllte Ziegel	EPD-POR-2011311-D	Deutsche POROTON GmbH
ThermoPlan-/ThermoBlock-Ziegel	EPD-MHZ-2008111-D	Mein Ziegelhaus GmbH & Co. KG
Außen- und Innenwand-Ziegel	EPD-THE-2008111-D	THERMOPOR
UNIPOR-Ziegel	EPD-UNI-2008111-D	UNIPOR-Ziegel Marketing GmbH
Kalksandstein	EPD-BKS-2009111-D	BV Kalksandsteinindustrie e.V.
Silka Kalksandstein	EPD-XEL-2008311-D	Xella Baustoffe GmbH
H+H Porenbeton	EPD-HHC-2010112-D	H+H Celcon GmbH
Ytong-Porenbeton	EPD-XEL-2012113-D	Xella Baustoffe GmbH
Mauersteine aus Leichtbeton aus natürlichen Zuschlägen	EPD-BVL-2013111-D	BV Leichtbeton e.V.
Mauersteine aus Leichtbeton aus natürlichen Zuschlägen mit Trass	EPD-BVL-2013121-D	BV Leichtbeton e.V.
Mauersteine aus Leichtbeton aus natürlichen Zuschlägen und […] industriell hergestellten Zuschlägen	EPD-BVL-20130079-IAG1-DE	BV Leichtbeton e.V.
KLB-Planblöcke mit integrierter Dämmung – KLB-ISOSTAR	EPD-KLB-20130162-IAC1-DE	KLB Klimaleichtblock GmbH
KLB-Planblöcke mit integrierter Dämmung – KLB-Kalopor	EPD-KLB-20130161-IAC1-DE	KLB Klimaleichtblock GmbH
KLB-Planblöcke mit integrierter Dämmung – KLB-SK	EPD-KLB-20130163-IAC1-DE	KLB Klimaleichtblock GmbH

Tab. 5: EPDs für Mauersteine im EPD-Programm des IBU

Herstellprozess: Mischen - Formgebung - Aushärtung

Aus diesem Grund gelten ferner auch die Feststellungen zum Bereich Umwelt- und Gesundheitsschutz sowie zum dichten Herstellernetz weiter fort [2].

In Kapitel 4 wurde ebenfalls bereits darauf hingewiesen, dass die für Ein- und Zwei- wie für Mehrfamilienhäuser marktbestimmenden Mauersteinarten dieselben sind. Insofern haben die Ausführungen der besagten Vorgängerstudie zum Herstellprozess von Mauersteinen analog Geltung [2]. Ein besonderer Hinweis soll an dieser Stelle jedoch bezüglich der Umweltwirkungen des Herstellprozesses von Mauersteinen gegeben werden. Denn diese werden - mit Ausnahme der Steinart Leichtbeton, die lediglich luftgetrocknet werden - maßgeblich mitbestimmt von den Energieverbräuchen für die Trocknung respektive Härtung der Steinrohlinge und die Sicherstellung der Materialfestigkeit. Dazu werden etwa Ziegel in Tunnelöfen gebrannt, während Kalksand- oder Porenbetonsteine in Autoklaven unter erhöhtem Druck ihre Festigkeit erhalten [17][18][19].[2]

[2] Zur Lufttrocknung von Leichtbetonsteine in Regallagern siehe [20].

Bei der Herstellung von Stahlbeton-Fertigteilen für Wandkonstruktionen kommt mit Blick auf die Umweltwirkungen hinzu, dass hier bereits die Materialkomponente des Bewehrungsstahls in das (Halb-) Fertigprodukt integriert wird.

Diesbezüglich bestehen jedoch für die drei genannten Steinarten (bis auf Leichtbeton) prinzipiell keine wesentlichen Unterschiede gegenüber anderen Halbfertigprodukten mineralischer Basis wie beispielsweise Stahlbeton-Fertigteilen. Auch diese sind - als alternative praxisübliche Konstruktionsvariante von Mehrfamilienhäusern oder zumindest Teilen derselben - im Rahmen der Fertigung einer entsprechenden thermischen Behandlung zu unterziehen.

Bewertungstechnische Abbildung der Produktion

Mit Blick auf die Herstellung von Mauersteinen spielen für die bewertungstechnische Abbildung im relevanten Zertifizierungssystem NaWoh wiederum die ökobilanziellen Umweltwirkungen die zentrale Rolle. In der Lebenszyklusphase der Produktion sind dabei prinzipiell insbesondere die Verbräuche an Energie und sonstigen Medien von Bedeutung (siehe oben unter Abschnitt Herstellprozess: Mischen - Formgebung - Aushärtung).

Jedoch gilt auch hier, dass das relevante Zertifizierungssystem keine Anforderungswerte für die Umweltwirkungen der Produktionsphase vorhält (siehe Abb. 8).

deutlich übererfüllt	≤ 12 kg CO_2-Äqu. / (m^2_{NGFa}*a) zusätzlich Angabe pro m² Wohnfläche (nachrichtlich, nicht bewertend) **siehe Anlage 1**
übererfüllt	≤ 17 kg CO_2-Äqu. / (m^2_{NGFa}*a) zusätzlich Angabe pro m² Wohnfläche (nachrichtlich, nicht bewertend) **siehe Anlage 1**
erfüllt	≤ 24 kg CO_2-Äqu. / (m^2_{NGFa}*a) zusätzlich Angabe pro m² Wohnfläche (nachrichtlich, nicht bewertend) **siehe Anlage 1**

Abb. 8: Gesamtgebäude- und lebenszyklusbezogene ökobilanzielle Benchmarks des Systems NaWoh [15]

Eine Einschätzung der ökobilanziellen Nachhaltigkeitsqualität kann nur im Kontext des gesamten Gebäudes und seines Lebenszyklus erfolgen, in die die Umweltwirkungen der Herstellung von Bauprodukten dann integriert werden.

6 Die Bauwerkserstellung - Aus Steinen werden Bauteile

Mauerwerk: Verbundwerkstoff aus Steinen + Mörtel

Mauerwerk aus natürlichen oder künstlichen Steinen gehört zu den ältesten Bauweisen überhaupt und weist eine mehrtausendjährige geschichtliche Entwicklung auf [24]. Dabei wurden die einzelnen Steine seit jeher unter Nutzung verschiedener Fugenmaterialien im Verbund verlegt (Abb. 9).

Heute wird die Bauweise weit überwiegend zur Herstellung vertikaler Bauteile wie Wandscheiben und Pfeilern aus künstlichen Steinen verwendet, während horizontale Tragglieder (z.B. Decken) vorwiegend aus (Stahl-)Beton, Stahl oder Holz hergestellt werden [25].

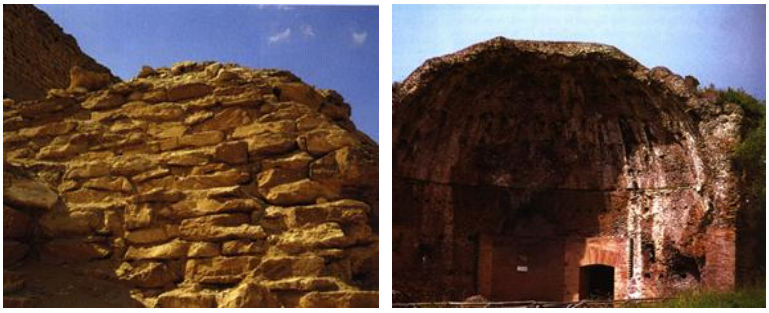


Abb. 9: Beispiele historischer Bauten aus Mauerwerk

Links: Stufenpyramide mit auf Kalk- und Gipsbasis vermörtelten Fugen | Rechts: Historischer Kuppelbau aus Mauerwerk

Aufgrund verfeinerter Herstellverfahren für Mauersteine waren in den vergangenen Jahren u.a. in der Verarbeitung von Mauersteinen entscheidende nachhaltigkeitsrelevante Optimierungen möglich, die insbesondere zu einer Materialeinsparung an Mörtel geführt haben. Einerseits hat hierzu beigetragen, dass moderne Mauersteine heute im Stoßfugenbereich mit einer Verzahnung versehen werden. Dies macht eine Vermörtelung der Stoßfuge überflüssig und die Mauersteine können *knirsch* in *Stumpfstoßtechnik* verlegt werden. Andererseits ermöglicht die Verfügbarkeit von Plansteinen ein Verlegen von Mauersteinen mit Dünnbettmörtel. Die Fugendicke beträgt dabei nur noch 1 bis 3 mm (demgegenüber Dickbettverfahren: ca. 12 mm) und erlaubt eine rationelle Reihenverlegung. Heute können alle marktbestimmenden Mauersteinarten mit dieser ressourcensparenden Verarbeitungstechnik ausgeführt werden (siehe Abb. 10). Weiterhin haben auch die Entwicklung größerer Steinformate in Verbindung mit einer maschinellen Versetztechnik sowie die Entwicklung ergonomisch geformter Griffhilfen zu einer nennenswerten Rationalisierung des Verarbeitungsprozesses beigetragen.

Die zweite wesentliche mineralisch basierte Massivbauweise des Stahlbetons unterscheidet sich deutlich in ihrer Verarbeitungstechnik. Einerseits wird Baustahl als ergänzende Materialkomponente des Verbundwerkstoffs benötigt, andererseits sind zur Bauwerks- bzw. Bauteilerstellung weitere Betriebsmittel (Schalung für Ortbetonbauteile, Hebezeuge, etc.) erforderlich.

Abb. 10: Materialeinsparung und Ressourcenschonung durch weiterentwickelte Mauertechniken

Normal- und Dünnbettmörtel weisen grundsätzlich eine sehr ähnliche stoffliche Zusammensetzung auf. Beim Dünnbettmörtel (DM) ist die Korngröße der Zuschläge allerdings auf 1 mm begrenzt. In punkto Nachhaltigkeit bzw. Ökologie wirkt sich zudem positiv aus, dass fugenwirksame Wärmebrücken erheblich reduziert werden.

Nachhaltigkeitswirkungen der Bauwerkserstellung

Ökologie

Daraus resultiert, dass eine Mauerwerkswand -obwohl als Bauteil aus Verbundwerkstoff klassifiziert - nahezu vollständig aus Mauerstein besteht und pro m² Wandfläche nur ca. 4 kg Mörtel zu verarbeiten sind [26]. Dies schlägt sich auch ökobilanziell nieder, etwa beim Vergleich einer (tragenden) Außenwand hergestellt aus verschiedenen mineralisch basierten Massivbaustoffen hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen im Zuge der Erstellungsphase. Abb. 11 zeigt entsprechende ausgewählte Ökobilanz-Ergebnisse verschiedener Ausführungsvarianten für eine massive Außenwand.

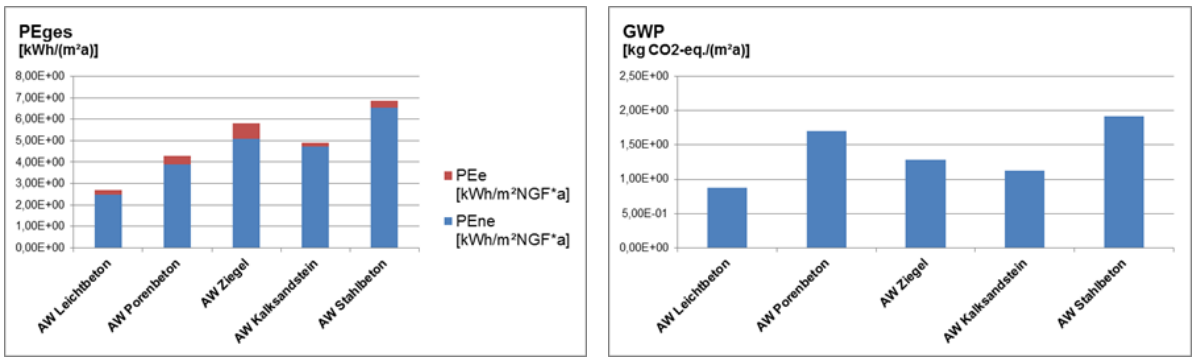


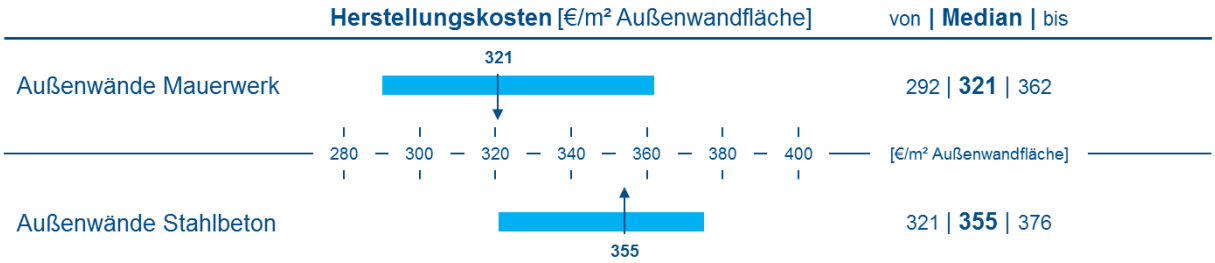
Abb. 11: Ausgewählte Ökobilanz-Ergebnisse von Ausführungsvarianten einer massiven Außenwand

Systemgrenzen und Berechnungsparameter: Bilanzierung einer Außenwand für Betrachtungszeitraum von 50 Jahren (gemäß System NaWoh), Lebenszyklusphase der Herstellung und Wirkungskategorien *Primärenergie gesamt/nicht erneuerbar/erneuerbar* ($PE_{ges}/PE_{ne}/PE_{e}$) und *Treibhauspotential* (*GWP*). Die verschiedenen Ausführungsvarianten der massiven Außenwand weisen vergleichbare Eigenschaften hinsichtlich Tragfähigkeit und insbesondere Wärmedurchgangskoeffizienten (hier: Passivhaus-Standard) auf. Die Betrachtung erfolgt also auf Basis eines funktionalen Äquivalents. Eine gesamthafte Darstellung aller Ökobilanz-Ergebnisse zeigt Anhang C dieser Studie.

Ökonomische Wirkungen der Bauwerkserstellung

Auch bei den ökonomischen Wirkungen der Erstellungsphase, d.h. den Herstellungskosten, unterscheiden sich die massiven Konstruktionsweisen teilweise deutlich. Dies liegt in erster Linie daran, dass Wände aus Mauerwerk verarbeitungstechnisch leichter herzustellen sind als etwa Wandbauteile aus Stahlbeton. Dort bestehen im Kontext mit der erforderlichen Bewehrung aus Baustahl z.B. gesteigerte Anforderungen zur Sicherstellung einer dauerhaften Funktionsfähigkeit und Standsicherheit (korrekte Bewehrungslage, ausreichende Betondeckung, Vorgang der Betonage, etc.). Außerdem erfordert diese Bauweise bzw. der entsprechende Bauablauf wie bereits zuvor geschildert über die Verbundkomponente des Baustahls hinaus weitere Betriebsmittel: Bei Ortbetonbauteilen muss beispielsweise eine Schalung zur Aufnahme und Formgebung der Frischbetonmasse hergestellt werden. Ferner erfordert das Einbringen des Frischbetons - wie auch der alternative Prozess bei Betonfertigteilkonstruktionen - die Vorhaltung ausreichend dimensionierter Hebezeuge (Kräne, Betonpumpen).

Im Ergebnis schlägt sich dies auch quantitativ in statistischen Kostenkennwerten der verschiedenen massiven Bau- und Konstruktionsweisen nieder. Tab. 6 zeigt hierzu eine entsprechende Auswertung einer Untersuchung der ARGE//eV [27]. Hier wird deutlich, dass sich Außenwände aus Mauerwerk mit geringeren Herstellungskosten realisieren lassen.



Tab. 6: Herstellungskosten massiver Außenwände gemäß ARGE//eV [27]

Sonstige Nachhaltigkeitswirkungen

Bei Ausführung entstehende *Staub- und Lärmemissionen* können durch eine entsprechende Ausgestaltung der Bauprozesse auf ein Mindestmaß reduziert werden.

Bei der Erstellung von Bauteilen aus Mauerwerk fällt in gewissem Umfang Rest- bzw. Bruchmaterial der Mauersteine an, das als Abfallfraktion *Bauschutt* zu entsorgen ist. Allerdings kann dieses Material grundsätzlich vollständig recycelt werden, indem es verschiedenen Verwertungspfaden zurückgeführt wird. Generelle Untersuchungen zu Recyclingpotentialen von Mauersteinen finden sich unter Kapitel 8.

Bewertungstechnische Abbildung der Erstellungsphase

Im Rahmen der vorstehenden Kapitel zu den Rohstoffen und der Produktion von Mauersteinen wurde bereits ausgeführt, dass die ökobilanzielle Analyse einen zentralen Bewertungsbestandteil der Nachhaltigkeitszertifizierung von Mehrfamilienhäusern darstellt. Für die Lebenszyklusphase der Bauwerkserstellung sind dazu - neben ausgewählten Elementen der technischen Gebäudeausrüstung (TGA) - alle konstruktiven Bauteile über ihren gesamten Schichtaufbau ökobilanziell zu erfassen. Für die Schicht Mauerwerk als Teil des konstruktiven Bauteils einer Wand sind hier die Umweltwirkungen der Rohstoffgewinnung und der Produktionsphase abzubilden und gemeinsam mit analogen Berechnungsergebnissen zu den übrigen Bauteilschichten zu aggregieren. Das relevante Zertifizierungssystem enthält zwar ökobilanzielle Benchmarks für die physische Substanz eines Wohngebäudes, allerdings wird darin der gesamte Lebenszyklus, das heißt auch die Umweltwirkungen der Instandhaltung und des End of Life gebündelt. Daher sind im Übrigen auch die Ergebnisse der beispielhaften Ökobilanz von Wandbauteilen (siehe Abb. 11) hier noch nicht bewertungstechnisch verwendbar.

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

Bewertungsaspekt *Vermeidung von Schadstoffen*

In der Nachhaltigkeitsbeurteilung von Mehrfamilienhäusern spielen zudem Risiken für die lokale Umwelt eine wesentliche Rolle. Vom entsprechenden Kriterium des relevanten Systems NaWoh [15] wird mit Blick auf die Phase der Verarbeitung von Materialien bewertet, ob die verwendeten Bauprodukte bestimmte Material- und Stoffgruppen enthalten, die eine Gefahr für Boden, Luft, Grund- und Oberflächenwasser sowie die Gesundheit von Mensch, Flora und Fauna darstellen.

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

Die gesamte Kriterienmatrix wird in Anhang B der Studie dargestellt.

Dabei werden insbesondere (teil-)halogenierte Treib- und Kältemittel, Schwermetalle sowie organische Lösungsmittel und Weichmacher betrachtet. Alle für die Bewertung bzw. die Einhaltung der Qualitätsanforderungen des Kriteriums relevanten Bauteile und -materialien werden mittels einer Anforderungsmatrix dargestellt (Abb. 12).

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: **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, lösemitttelhaltig, 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). ☐ Produkte zur Belegung / Beschichtung der **mineralischen** Oberflächen, mit ei-

Abb. 12: Anforderungsmatrix des Kriteriums 3.2.4 Vermeidung von Schadstoffen (Auszug) [15]

Das Kriterium *2.3.4 Vermeidung von Schadstoffen* prüft anhand der in Abb. 12 dargestellten Matrix die Einhaltung spezifischer Anforderungen an unterschiedlichste Baumaterialien und -produkte. Allerdings gibt es anders als bei der Kriterienentsprechung im DGNB-Nutzungsprofil NWO nicht mehrere Qualitätsstufen, sondern es handelt sich vielmehr 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. Zudem werden vom Kriterium 2.3.4 anders als im DGNB-System allein Risiken der verwendeten Produkte und Materialien im Zuge der Verarbeitung adressiert und nicht etwaige Wirkungen in der Nutzungsphase [15].

Die finale Gesamtbewertung des Kriteriums hängt jedoch von einer analogen Bewertung aller weiteren verwendeten Baumaterialien ab.

Das Baumaterial Mauerwerk stellt über den gesamten Lebenszyklus und insbesondere die Erstellungsphase kein Risiko für Umweltmedien oder die Gesundheit von Mensch, Flora und Fauna dar. Auch etwaige Beschichtungsstoffe im Kontext eines gesamthaften Schichtaufbaus (Anstriche, etc.) können mittlerweile so beschafft werden, dass die Anforderungen des Kriteriums erfüllt werden. Insgesamt stellt die Bauweise Mauerwerk damit eine wichtige Voraussetzung für eine Erfüllung des Kriteriums im Rahmen der Nachhaltigkeitsbewertung sicher.

Bewertung der Raumluftqualität

Der soeben beschriebene Aspekt der Emittierung von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) durch verwendete Baumaterialien wird zusätzlich auch im Rahmen eines Kriteriums zur Bewertung der *Raumluftqualität* analysiert [15].

Zur Erfüllung des zugehörigen Indikators *Konzentration an VOC/Schadstoffen* muss grundsätzlich spätestens vier Wochen nach Fertigstellung eine Bestimmung der VOC-Konzentration der Raumluft inklusive zugehöriger chemischer Analyse auch hinsichtlich des Formaldehyd-Gehalts durchgeführt und die Ergebnisse dokumentiert werden (Abb. 13).

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

☐ 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:

Raumluftkonzentration TVOC der untersuchten Räume:

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

Raumluftkonzentration Formaldehyd der untersuchten Räume:

☐ ≤ 60 [µg/m³]
☐ ≤ 50 [µg/m³]

Bezeichnungen der Nachweisdokumente:.....

Abb. 13: Anforderungsmatrix des Kriteriums Raumluftqualität [15]

Aufgrund seiner Klassifizierung als mineralischer Baustoff bietet Mauerwerk ideale Voraussetzungen. Diese werden prinzipiell auch nicht von den je nach energetischen/innenraumgestalterischen Anforderungen benötigten Ergänzungsmaterialien einer Mauerwerkskonstruktion beeinträchtigt. Die Vielfalt und (ökologische) Qualität verfügbarer Baumaterialien ermöglicht ohne weiteres die Auswahl entsprechender emissionsarmer Produkte.

7 Die Nutzungsphase - Bedeutung des Faktors *Mensch*

Daseinszweck: Komfort | Sicherheit | Funktionalität

In der zitierten Vorgängerstudie wurde gezeigt, welche Bedeutung der Nutzungsphase von Gebäuden allgemein und von Wohnbauten im Speziellen angesichts der menschlichen Aufenthaltszeiten in geschlossenen Räumen und insbesondere den eigenen vier Wänden [13] soziokulturell beizumessen ist [2]. Jenseits einer monetären Perspektive muss der Daseinszweck von Gebäuden also primär darin liegen, für ihre Nutzer Komfort, Sicherheit und Funktionalität zu stiften.

Komfortbildende soziokulturelle Gebäudemerkmale

Heute wird das Komfortniveau einer Umgebungssituation üblicherweise durch die Parameter des *thermischen*, *visuellen* und *akustischen Komforts* sowie der *Innenraumluftqualität* konkretisiert.[3] Das Empfinden des thermischen Komforts eines Raums durch die Nutzer wird - neben individuellen Faktoren wie Bekleidung, körperlicher Aktivität oder Gesundheitszustand - unabhängig von der Gebäudetypologie im Wesentlichen von den Faktoren operative Temperatur, Zugluft, Strahlungstemperaturasymmetrie und Luftfeuchte ab. Auch in den deutschen Nachhaltigkeitsbewertungssystemen für Gebäude haben sich diese Indikatoren als Bewertungsgrundlage etabliert (Abb. 14).[4]

Der *Wärmedurchgangskoeffizient* - nach seinem Formelzeichen als *U-Wert* bezeichnet - ist ein spezifischer Kennwert für die Wärmedämmeigenschaft eines Bauteils. Er hängt von der Wärmeleitfähigkeit λ [W/(mK)] und der Dicke d [m] der verwendeten Materialien ab.

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 Wärmedämmeigenschaften des Wandaufbaus bestimmt, zusammengefasst in der Kennzahl des U-Werts.

[3] Der visuelle Komfort wird determiniert von Grundrissgestaltung und Dimensionierung der Fensteröffnungen sowie technischen Anlagen wie Blend- und Sonnenschutzsystemen. Er ist unspezifisch hinsichtlich des Konstruktionsmaterials und wird nachfolgend nicht betrachtet.

[4] Von der Konstruktionsweise der gebäudeumhüllenden Bauteile werden die Kriterien *Operative Temperatur* und *Strahlungstemperaturasymmetrie* beeinflusst. Die beiden übrigen Indikatoren weisen primär Abhängigkeiten von und zu der Anlagentechnik, insbesondere raumlufttechnischer Anlagen, auf und sollen hier daher nicht weiter verfolgt werden [28][34].

Soziokulturelle und funktionale Qualität
Thermischer Komfort

Seite 2 von 21

METHODE

Der thermische Komfort in der Heiz- und Kühlperiode wird über mehrere Einzelindikatoren bewertet. Grundlage der Beurteilung sind die Vorgaben von DIN EN 15251, DIN EN ISO 7730, VDI2078, VDI 3804, DIN EN 12831, DIN 33403, ASR und VBG.

Im Rahmen der Bewertung werden die folgenden Indikatoren beurteilt:

(1) Operative Temperatur/ Raumlufttemperatur / Heizperiode (quantitativ)
(2) Zugluft / Heizperiode (qualitativ)
(3) Strahlungstemperaturasymmetrie und Fußbodentemperatur / Heizperiode (qualitativ)
(4) Relative Luftfeuchte / Heizperiode (quantitativ)
(5) Operative Temperatur/ Raumlufttemperatur / Kühlperiode (quantitativ)
(6) Zugluft / Kühlperiode (qualitativ)
(7) Strahlungstemperaturasymmetrie und Fußbodentemperatur / Kühlperiode (qualitativ)
(8) Relative Luftfeuchte / Kühlperiode (quantitativ)

Als *operative Temperatur* wird die vom Menschen empfundene Raumtemperatur bezeichnet. Sie ist ein Mittelwert aus der Lufttemperatur eines Raums und der mittleren Strahlungstemperatur der Raumbegrenzungen.

Die *Strahlungstemperaturasymmetrie* dient der Beurteilung asymmetrischer Strahlungsverhältnisse, z.B. aufgrund kalter Flächen (z.B. Wände, Fenster).

Abb. 14: Bewertungsmethodik zum thermischen Komfort im DGNB-System [28]

Thermischer Komfort im Winter

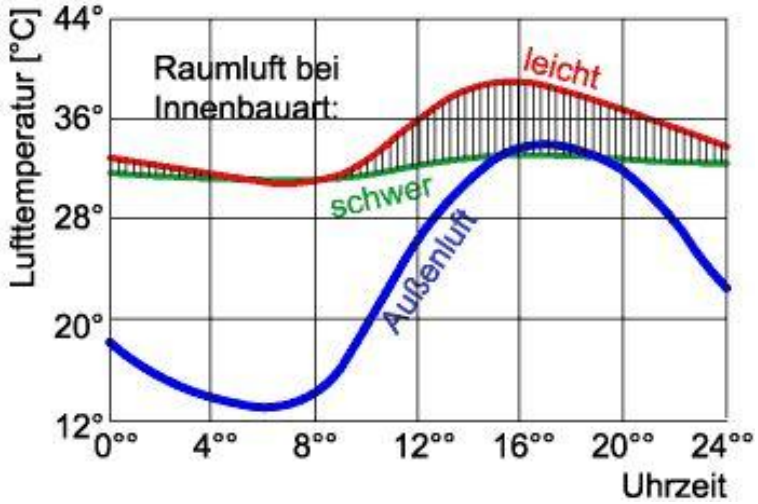
Eine entsprechende energetische Qualität der Gebäudehülle lässt sich auch mit Wandbauteilen aus Stahlbeton realisieren. Allerdings ist dabei prinzipiell ein höherer Materialeinsatz an Dämmstoff erforderlich, weil Stahlbeton im direkten Vergleich mit Mauerwerk schlechtere U-Werte aufweist.

Mit massiven Wandkonstruktionen aus Mauerwerk können mit üblichen Wandstärken - je nach Mauersteinart im Verbund mit anderen Dämmmaterialien - U-Werte bis zum Passivhaus-Standard erreicht werden. Außenwandkonstruktionen aus Kalksandstein werden z.B. mit einem Wärmedämmverbundsystem versehen, die Steinarten Ziegel oder Leichtbeton sind alternativ als Mauersteine verfügbar, deren Hohlkammern mit Dämmstoffen ausgefüllt sind. Im Zusammenspiel mit hochwärmegedämmten Fenstern/Türen und einer hohen energetischen Qualität anderer raumbegrenzender Bauteile (Bodenplatte, oberste Geschossdecken oder Dachflächen) lassen sich mit Außenwänden aus Mauerwerk auch Temperaturasymmetrien vermeiden.

Vom System NaWoh wird der thermische Komfort im Winter nicht unmittelbar durch ein eigenes Kriterium abgebildet, sondern implizit von einem Kriterium zur Bewertung der energetischen Qualität eines Mehrfamilienhauses miterfasst. Allerdings beinhaltet das System Nawoh ein gesondertes Kriterium hinsichtlich des thermischen Komforts im Sommer. Für einen guten sommerlichen Wärmeschutz ist - über aktive anlagentechnische Maßnahmen wie die Ausführung von Sonnenschutzsystemen hinaus - auch die Wärmespeicherfähigkeit von Außenbauteilen entscheidend.

Thermischer Komfort im Sommer

Aufgrund ihrer großen Masse und hohen Trägheit bei Temperaturänderungen (Abb. 15) sind massive Bauteile wie Außenwände aus Mauerwerk in der Lage, Wärme aufzunehmen und erst stark zeitverzögert wieder abzugeben, die Wärme also zu *puffern*. Im bauordnungsrechtlichen Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes [29] wird die Wärmespeicherfähigkeit der Baukonstruktion explizit berücksichtigt.



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. Mauerwerk wirkt im Hinblick auf den sommerlichen Wärmeschutz also positiv.

Abb. 15: Temperaturverläufe Sommer ohne Verschattung für leichte und schwere Bauweise [30]

Nach DIN 4108-2 kann vereinfachend von einer mittleren bzw. schweren Bauweise ausgegangen werden, wenn massive Innen - und Außenwände mit flächenanteilig gemittelten Rohdichten von größer 600 kg/m³ bzw. 1.600 kg/m³ in Verbindung mit Stahlbetondecken ausgeführt werden. Außerdem dürfen keine innenliegende Wärmedämmung an Außenbauteilen, (thermisch) abgehängten Decken und Raumhöhen größer 4,50 m vorliegen.

Wegen der funktionalen Abhängigkeit von Raumvolumen und Oberflächenmaterialien ist die *Nachhallzeit* kein Aspekt einer Nachhaltigkeitsanalyse des konstruktiven Materials Mauerwerk.

Hinsichtlich des akustischen Komforts für den Nutzer bestehen prinzipiell zweierlei Anforderungsbereiche. Zum einen muss ein Gebäude seinem Nutzer eine der jeweiligen 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 seine Nutzer vor Schallbelästigungen von außen oder aus anderen - fremden wie eigenen - Wohnbereichen schützen (*Schallschutz*).

Schallschutztechnische Anforderungskategorien für MFH

Im Kontext einer Nachhaltigkeitsbeurteilung von Mehrfamilienhäusern aus Mauerwerk sind diesbezüglich in erster Linie Anforderungen an den *Luftschallschutz von Trennwänden* (gegenüber fremden Wohneinheiten bzw. Wohnbereichen) und *Außenwänden* (gegenüber Außenlärm) sowie von *Innenwänden gegenüber anderen eigenen Wohnbereichen* einschlägig.[5] Entsprechende Anforderungswerte an die schallschutztechnische Qualität von Wandkonstruktionen werden einerseits in der DIN 4109 [31] und dem zugehörigen Beiblatt 2 [32] sowie andererseits ergänzend z.B. in der der DEGA-Empfehlung 103 [33] festgelegt. Als Kenngröße zur Einschätzung der schallschutztechnischen Qualität wird für die o.g. Anforderungen insbesondere das *bewertete Bau-Schalldämm-Maß* R'_w herangezogen (siehe Tab. 7). Diese Kenngröße beschreibt gemäß ihrer Namensgebung die Fähigkeit eines Bauteils, den Schall zu dämpfen 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. 7: Schallschutz-Anforderungen mit Relevanz für Wandkonstruktionen

Die DIN 4109 legt lediglich Mindestanforderungen an den Schallschutz zwischen fremden Wohnbereichen und gegenüber Außenlärm fest. Das Beiblatt 2 zur DIN 4109 enthält hierzu einerseits Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz und andererseits Empfehlungen für den normalen und erhöhten Schallschutz im eigenen Wohnbereich. Die DEGA-Empfehlung 103 bündelt die verschiedenen Anforderungen der DIN 4109 und des Beiblatts 2, verschärft punktuell Anforderungswerte und ergänzt den Gesamtumfang an Schallschutzanforderungen ferner um weitere Geräuscharten (z.B. Nutzergeräusche). Ziel ist die Erstellung eines Schallschutzausweises, vergleichbar mit dem bereits gängigen Energieausweis.

[5] Anforderungen hinsichtlich Trittschallschutz und Geräuschen aus Wasserinstallationen/haustechnischen Anlagen als weitere schallschutztechnisch relevante Aspekte werden wesentlich auch von anderen Faktoren außer der Wandkonstruktion beeinflusst und können hier unberücksichtigt bleiben.

Gleichwohl Mauerwerkskonstruktionen je nach Mauersteinart im direkten Vergleich zu Wänden aus Stahlbeton über eine geringere flächenbezogene Masse verfügen, reicht diese in aller Regel aus, um die Anforderungen hinsichtlich des Schallschutzes gegenüber Außenlärm und eigenen Wohnbereichen einzuhalten. Mit der Anwendung von Mauerwerkssteinen hoher Rohdichten oder Verfüllsteinen können auch höhere Schallschutzempfehlungen wie z.B. nach DIN 4109, Beiblatt 2 realisiert werden.

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

Informationen zu möglichen Schadstoffen und dem Emissionsverhalten von Baumaterialien liefern z.B. Produkt- und Sicherheitsdatenblätter der Hersteller oder insbesondere auch die bereits beschriebenen EPDs. Die emissionsökologische Qualität von Bauprodukten wird z.B. auch durch Produktsiegel wie dem *Blauen Engel* dokumentiert.

Ein erheblicher Teil an potentiellen Schadstoffquellen in Gebäuden kann bereits in der Planungsphase vermieden werden, indem bei der Auswahl von Baumaterialien emissionsarme Produkte den Vorzug bekommen. Mineralische Baumaterialien wie Mauerwerk stellen in der Regel keine Schadstoffquellen dar und legen damit hervorragende Voraussetzungen für eine hohe Innenraumluftqualität. Insbesondere auch deshalb, weil für die im Kontext einer gesamthaften Mauerwerkskonstruktion ggf. erforderlichen Ergänzungsmaterialien (Grundierungen, Voranstriche, Spachtelmassen, Anstriche, etc.) heute am Markt vielfältige emissionsarme Produkte verfügbar sind.[7]

Sicherheitsniveau massiver Gebäudekonstruktionen

Das subjektive Sicherheitsempfinden wird dabei u.a. beeinflusst von technischen Sicherheitseinrichtungen.[6] Derartige Aspekte werden nicht vom Konstruktionsmaterial determiniert und daher nachfolgend nicht betrachtet.

Auch das Sicherheitsniveau eines Gebäudes gehört thematisch in den Kontext soziokultureller Gebäudequalitäten. Diesbezüglich wird in den deutschen Nachhaltigkeitsbewertungssystemen wie DGNB und BNB[8] üblicherweise zwischen der subjektiv von den Nutzern *empfundenen Sicherheit* und der *objektiven Sicherheit des Gebäudes* differenziert.

[6] Anders als im DGNB-Nutzungsprofil NWO fließt im System NaWoh das Sicherheitsniveau eines Gebäudes nicht in die Nachhaltigkeitsbewertung ein. Auch im thematisch zugehörigen Kriterium Brandschutz findet der Aspekt keine Berücksichtigung.
[7] Siehe dazu bereits Erläuterungen zu Bewertungsaspekt Vermeidung von Schadstoffen sowie Bewertung der Raumluftqualität in Kapitel 6.
[8] Siehe Fn. 6

Objektive Sicherheit ist dann gegeben, wenn reale Gefahrensituationen bestmöglich vermieden werden bzw. im Fall des Schadenseintritts eine weitestgehende Sicherheit gewährleistet und das Schadensausmaß weitest möglich begrenzt wird [28][34].

Beim komplementären *abwehrenden Brandschutz* handelt es sich um die Brandbekämpfung.

In der zitierten Vorgängerstudie wurden der - den relativ hohen Eintrittswahrscheinlichkeiten eines Brandfalls geschuldete - hohe Stellenwert des *vorbeugenden baulichen Brandschutzes* und die Vorzüge von Wandkonstruktionen von Ein- und Zweifamilienhäusern aus Mauerwerk hinsichtlich Brandverhalten und Feuerwiderstand bereits ausführlich dargestellt [2]. Einerseits tragen Mauersteine als *nicht brennbare* mineralische Baustoffe (beste *Brandklasse A1*) nicht selbst zu einem Brand bei und verfügen aufgrund regelmäßig bestehender Tragreserven über einen hohen Feuerwiderstand, durch den die bauordnungsrechtlich/normativ geforderten Feuerwiderstandsklassen automatisch bereits übererfüllt werden. Diese Vorzüge gelten grundsätzlich auch für die hier maßgeblichen Mehrfamilienhäuser aus Mauerwerk oder andere mineralisch basierte Konstruktionsmaterialien wie Stahlbeton, wobei dieser je nach Bauteil und Ausführung noch höhere Feuerwiderstandsdauern aufweisen kann.

Vorhandene Tragreserven von Bauteilen erhöhen deren Feuerwiderstand. Diese Tragreserven bestehen z.B. in Außenwänden aus Mauerwerk, weil die Wandstärken eher an wärme- und/oder schallschutztechnischen Randbedingungen orientiert werden.

Statistisch resultieren 95 % der Todesfälle bei Bränden aus einer Rauchgasvergiftung.

In der Vorgängerstudie wurde ebenfalls betont, dass beim *Eintritt des Brandschadensfalls* Sicherheit und Unversehrtheit der Nutzer in vielen Fällen vom Ausmaß der Entwicklung von Rauchgasen abhängen. Wichtig ist hier, dass das Rauchgaspotential über die besondere Gefährdung durch die Innenausstattung hinaus nicht durch konstruktive Materialien unnötig erhöht wird. Nicht umsonst fragt das entsprechende Kriterium des BNB-Basissystems für Büro- und Verwaltungsgebäude explizit das Risiko der Entwicklung ätzender oder zersetzender Rauchgase durch die verwendeten Baustoffe ab [34]. Insofern wirken sich auch hier die mineralischen Materialeigenschaften des Baustoffs Mauerwerk positiv auf das Sicherheitsniveau von Gebäuden aus.

Funktionale und ökonomische Gebäudequalitäten

Nutzungsflexibilität

Die funktionale und ökonomische Qualität eines (Wohn-)Gebäudes wird maßgeblich von dessen Nutzungsflexibilität geprägt. Ein wichtiger Aspekt hierbei ist z.B. die Reaktionsfähigkeit eines Gebäudes bezüglich

künftiger Anforderungen an altersgerechte oder barrierefreie Gebäude und Grundrissgestaltungen. Hier ermöglichen Wandkonstruktionen aus Mauerwerk einen zweckmäßigen Ausgleich zwischen zwei übergeordneten nachhaltigkeitsrelevanten Eigenschaften.

Einerseits wird die Umnutzungsfähigkeit bzw. Nutzungsflexibilität begünstigt durch die bereits skizzierten statischen Reserven tragender Mauerwerkskonstruktionen in Verbindung mit den üblicherweise in Stahlbeton ausgeführten Geschossdecken. Andererseits sind gleichzeitig bauliche Grundrissänderungen (Mauerdurchbrüche, etc.) bei Mauerwerkswänden aus statischer und baupraktischer Sicht leichter umsetzbar als bei anderen massiven Konstruktionsweisen wie Stahlbeton.

Zwar wird dieser Aspekt in den entsprechenden Kriterien der deutschen Nachhaltigkeitsbewertungssysteme im Wesentlichen anhand der Grundrissgestaltung (Flexibilität der Grundrisse durch nicht tragende Wände, Raumhöhe, Möblierbarkeit, etc.) beurteilt [28][34], die grundsätzlich unabhängig von der Konstruktionsweise ist. Faktisch ist es unter funktionalen Gesichtspunkten aber auch von Relevanz, dass z.B. im Rahmen einer Nutzungsänderung (einzelner Raumbereiche) auftretenden modifizierten Grundrissanforderungen in (Wohn-)Gebäuden aus Mauerwerk relativ gut Rechnung getragen werden kann.

Werterhaltung und -stabilität

Der Wert eines Gebäudes stellt - unabhängig von der Gebäudetypologie - eine sehr volatile Größe dar. Er wird beeinflusst von einer Vielzahl von Faktoren, die insbesondere nicht konstruktiver oder bau- und materialtechnischer Natur sind. Vor allem der Standort bzw. die Lage eines Gebäudes, das heißt die individuelle Marktsituation, ist für den Immobilienwert von herausragender Bedeutung. Dennoch lassen sich eine Reihe konstruktiv-bautechnischer Charakteristika anführen, die prinzipiell zumindest mittelbar zu einer gewissen Wertstabilität beitragen können. Für Mehrfamilienhäuser zählt hierzu erstens eine hohe Nutzungsflexibilität hinsichtlich sich im Laufe des Lebenszyklus wandelnden Anforderungen an die Nutzung von Wohngebäuden. Diesbezüglich wurde bereits die entsprechende Qualität von vertikalen Bauteilen aus Mauerwerk dargestellt.

Zudem trägt zweitens auch ein hohes Sicherheitsniveau von Gebäuden zur Werterhaltung eines Wohngebäudes bei. Die entsprechenden Qualitäten von Wänden aus Mauerwerk wurden bereits im Unterkapitel zum Sicherheitsniveau massiver Gebäudekonstruktionen herausgearbeitet (siehe ebenfalls oben).

In den gängigen Bewertungssystemen ist ein Betrachtungszeitraum von 50 Jahren implementiert. In der Realität verfügen massive Bauteile aber über deutliche längere Lebensdauern von über 80 Jahren. Insofern sind diese Systeme bewertungstechnisch nur bedingt in der Lage, die beschriebene Qualität von Bauteilen aus Mauerwerk realitätsgetreu abzubilden.

Generell gilt des Weiteren, dass die massiven Bauteile von Wohngebäuden aus Mauerwerk über extrem hohe Lebensdauern verfügen. Aus diesem Grund bedürfen sie grundsätzlich keiner Instandhaltung, also keiner Inspektions-, Wartungs- und Instandsetzungsmaßnahmen. Dies wirkt sich einerseits positiv auf die Wertstabilität aus, weil der Zustand der Tragstruktur unabhängig von einer - für andere Konstruktionsweisen regelmäßig erforderlichen - Instandhaltungsstrategie per se erhalten bleibt. Andererseits trägt diese Instandhaltungsfreiheit auch zu niedrigen Lebenszykluskosten der Baukonstruktion bei. Im Übrigen sind die Lebenszykluskosten von Mauerwerkskonstruktionen tendenziell auch niedriger als die von Stahlbetonkonstruktionen, weil - bei gleichen Kosten in der Nutzungsphase aufgrund der festgestellten Instandhaltungsfreiheit - die Kosten für Herstellung (vgl. Tab. 6) und der Aufwand für Rückbau und Recycling (siehe Kapitel 8) niedriger sind.

Bewertungstechnische Abbildung

Ökobilanzielle Bewertung der Nutzungsphase

Eigenständige ökobilanzielle Benchmarks für die Nutzungsphase und die Ableitung einer entsprechenden Bewertung liegen im relevanten System NaWoh nicht vor. Die Ableitung einer ökobilanziellen Bewertung für Mehrfamilienhäuser erfolgt daher im Kontext des gesamten Lebenszyklus am Ende der Studie in Kapitel 0.

Bewertung des thermischen Komforts und der energetischen Qualität

Die Beurteilung des thermischen Komforts von Mehrfamilienhäusern (Kriterium 1.1.6) ist ein wesentlicher Bestandteil der (soziokulturell-funktionalen) Wohnqualität und wirkt sich durch die Wechselwirkung zum Wärmeschutz (Kriterium *2.1.2 Energetische Qualität*) gleichsam positiv auf dessen technische Qualität aus. Durch ihre Wärmedämmeigenschaften und vor allem die Wärmespeicherfähigkeit bieten Wandkonstruktionen aus Mauerwerk sehr gute Voraussetzungen für eine hohe Bewertung der genannten Kriterien.

Bewertung der Raumluftqualität

Die *Voraussetzungen* für eine zu erwartende gute Raumluftqualität in Mehrfamilienhäusern werden vom einschlägigen Zertifizierungssystem bzw. dem entsprechenden Kriterium *Raumluftqualität* im Kontext der Baufertigstellung bewertet. In Kapitel 6 wurde hierzu dargelegt, dass Mauerwerk aufgrund seiner mineralischen Stoffzusammensetzung ideale Voraussetzungen für eine optimale Bewertung dieses Kriteriums schafft.

Bewertung der Wertstabilität und Nutzungsflexibilität

Im Rahmen dieses Kapitels wurde u.a. auch der positive Beitrag von Konstruktionen aus Mauerwerk für die Wertstabilität von Mehrfamilienhäusern adressiert. Das entsprechende Kriterium des relevanten Systems NaWoh (*4.2.1 Langfristige Wertstabilität*) zieht allerdings für dessen Bewertung auch baustoff- bzw. materialunspezifische Indikatoren wie die Nutzungsneutralität oder die Flexibilität der Haustechnik heran. Die beschriebene hohe Qualität von Mehrfamilienhäusern aus Mauerwerk hinsichtlich des Erhalts ökonomischer Werte kann demnach vom Bewertungssystem NaWoh nur bedingt abgebildet werden.

Bewertung der schallschutztechnischen Qualität

Demgegenüber ist die schallschutztechnische Qualität von Mehrfamilienhäusern aus Mauerwerk zur Gänze im Bewertungssystem NaWoh abbildbar (Kriterium *2.1.1 Schallschutz*). Dabei basiert die schallschutztechnische Bewertung auf den Ergebnissen eines Schallschutznachweises nach DIN 4109. Zwar hängt das letztendliche Bewertungsergebnis eines Mehrfamilienhauses insbesondere auch von anderen Faktoren ab (z.B. schallschutztechnische Qualität von Geschossdecken). Für die Bewertungsaspekte Luftschallschutz Außenwände (*Luftschall Außenbauteile*), Trennwände (*fremde Wohnbereiche*) und Innenwände (*eigener Wohnbereich*) können prinzipiell aber abschließende Bewertungsergebnisse abgeleitet werden. In der Praxis übliche Wandstärken und -aufbauten von Mauerwerkskonstruktionen von Mehrfamilienhäusern können die Anforderungen des einschlägigen Kriteriums ohne weiteres einhalten und diese im Zuge einer Optimierung von Wandaufbauten ggf. auch deutlich übererfüllen.

8 Durch Cradle-to-Cradle zum geschlossenen Kreislauf[9]

End of Life als Startpunkt eines neuen Lebenszyklus

Zuvor wurde bereits mehrfach darauf hingewiesen, dass für Mehrfamilienhäuser dieselben Mauersteinarten marktbestimmend sind wie für Ein- und Zweifamilienhäuser. Insoweit haben die Ausführungen der Vorgängerstudie zu den anfallenden Abfallfraktionen und -mengen beim End of Life von Wohngebäuden aus Mauerwerk grundsätzlich weiterhin Gültigkeit.

Dazu zählt, dass die für Mauersteine maßgebliche Abfallfraktion des Bauschutts mit rund 53 Mio. Tonnen einerseits zwar für über 15 % des gesamtdeutschen Abfallaufkommens (ca. 350 Mio. Tonnen [35]) steht, andererseits aber fast vollständig einer Verwertung zugeführt wird, wobei für 78 % der Abfallmenge sogar die relativ hochwertige Abfallhierarchiestufe des *Recycling* realisiert werden kann.

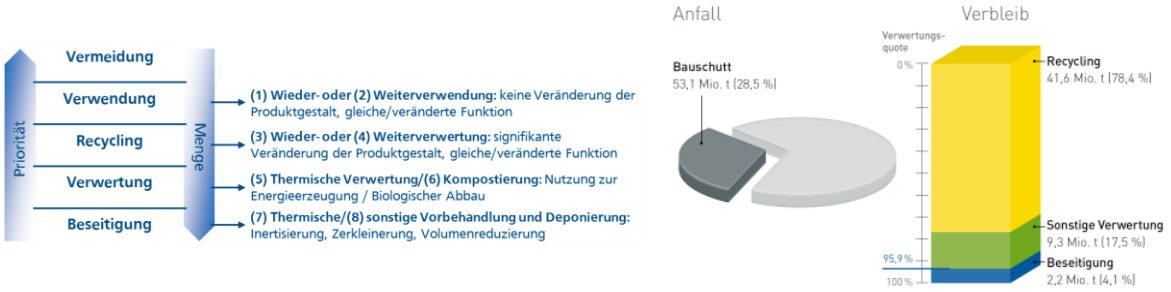


Abb. 16: Abfallhierarchie und ihre Entsorgungspfade sowie Recyclingquote der Abfallfraktion Bauschutt in Deutschland 2010 [36]

In Deutschland wird durch das *Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG)* heute eine fünfstufige *Abfallhierarchie* vorgegeben, die eine grundsätzliche Stufenfolge des Umgangs mit Abfällen festlegt. Diese Abfallhierarchie lässt sich weiterhin auftrennen in insgesamt acht *Abfall-Entsorgungspfade*, die das Stufenmodell maßnahmenorientiert präzisieren. Für mineralische Bau- und Abbruchabfälle sind die Entsorgungspfade der Wieder-/ Weiterverwertung von größter Relevanz. Dies zeigt sich auch an deren Recyclingquoten im rechten Teil der Abbildung.

Unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten sind Abfallströme in möglichst hohem Maße den Entsorgungspfaden der oberen Hierarchiestufen zuzuführen, um die Umwelt insgesamt möglichst wenig zu beeinträchtigen. Dies gilt in doppelter Hinsicht, denn einerseits führen hohe Wieder-/ Weiterverwendungs- und Recyclingquoten zu einer *verringerten Umweltbelastung* durch die andernfalls nötige Beseitigung (Deponierung) von Abfällen und andererseits zu einer *Umweltentlastung* durch die Substitution von (Primär-)Rohstoffen mittels der gewonnenen Recyclingstoffe. Dadurch werden Stoffkreisläufe geschlossen und das Ende eines Lebenszyklus (engl. *End of Life*; kurz: *EoL*) ist gleichsam der Startpunkt eines neuen Lebenszyklus.

[9] Cradle-to-Cradle = von der Wiege bis zur Wiege; Form der zyklischen Ressourcennutzung, bei der die Abfälle eines Produkts an seinem Lebenszyklusende gleichzeitig die Rohstoffe eines (entsprechenden) neues Produkts am Lebenszyklusanfang darstellen.

Down-/Upcycling

Stoffliche Ab-/ Aufwertung eines Abfallstoffs durch die Verwendung bei der Herstellung eines minder-/ höherwertigen Produkts verglichen mit dem Ausgangsprodukt.

Ohnehin wird ja mit dem skizzierten Downcycling von mineralischen Bauabfällen im Straßen- und Erdbau gegenüber der thermischen Verwertung (z.B. von Holzwerkstoffen) oder der Deponierung grundsätzlich bereits eine hochwertige Abfallhierarchiestufe eingehalten.

Unabhängig davon sind Konstruktionen und Bauteile aus Mauerwerk im Vergleich etwa mit einer massiven Bauweise aus Stahlbeton deutlich einfacher zurückzubauen.

Künftige Recyclingpotentiale für Mauerwerksschutt

Eine weitere wesentliche Feststellung der Vorgängerstudie in diesem Kontext war, dass die recycelten Baustoffe überwiegend im Straßen- und Erdbau *weiterverwendet* werden, wobei es sich in vielen Fällen um ein sogenanntes *Downcycling* von (höherwertigen) Ausgangsabfallstoffen handelt. Gleichwohl gibt es in der Branche vielversprechende Forschungsinitiativen, um die Potentiale für ein Upcycling oder zumindest für eine Produktion von Recycling-Baustoffen gleicher Funktionsstufe schrittweise zu erschließen. Dabei geht es vor allem um die Problematik einer schwankenden stofflichen Zusammensetzung der Abfallfraktion Mauerbruch bei der Herstellung von thermisch gebundenen leichten Gesteinskörnungen. Künftig sollen hierdurch Primärrohstoffe bei der Mauersteinproduktion zumindest partiell substituiert werden [37].

Auch im gemeinschaftlichen Forschungsprojekt „Stoffkreislauf im Mauerwerksbau - SiM“ befassen sich die relevanten Akteure der Mauersteinindustrie mit weiteren technischen Lösungsmöglichkeiten des Mauerwerksrecyclings, das angesichts des Spannungsfelds zwischen einschlägigen europäischen Normen des Baustoffrecyclings einerseits und zunehmend strengerer Umweltanforderungen andererseits eine außerordentliche Herausforderung darstellt [38][39]. Gleichwohl konnten im Rahmen des genannten Forschungsvorhabens auch zukünftig zielführende Verwertungspfade für Mauerwerk identifiziert und konkrete Handlungsempfehlungen für die Umsetzung des Stoffkreislaufs abgeleitet werden.

Weitere Forschungsschwerpunkte

Aufgrund der massiven Bauweise von Wohngebäuden aus Mauerwerk ist deren Rückbau und Demontage natürlich mit einem entsprechenden Aufwand sowie dem Einsatz von Maschinen verbunden. Die Mauerwerksindustrie nimmt sich jedoch auch dieser Problematik am Ende des Lebenszyklus von Gebäuden aus Mauerwerk an und forscht an Methoden und Verfahren zur Verbesserung der Rückbaufähigkeit von Mauerwerkskonstruktionen. Beispielhaft sei hier auf die Entwicklung voll-rezyklierbarer, modularer Wandsysteme hingewiesen [40].

Dies unterscheidet einen Wandaufbau aus Mauerwerk wiederum von einer massiven Bauweise aus Stahlbeton. Im Zuge des Rückbaus bzw. der Trennung unterschiedlicher Materialschichten bedarf es dort des Herauslösens und Abscheidens des Bewehrungsstahls.

Andere Forschungsansätze z.B. am Institut für Massivbau der TU Darmstadt befassen sich mit der Thematik der Trennbarkeit von Konstruktionen aus Mauerwerk hinsichtlich des in der Praxis relevanten gesamthaften Bauteilschichtaufbaus. Grundsätzlich kann ein Wandaufbau aus Mauerwerk und Putz-/Farbschichten als „homogenisiert" betrachtet werden, der beim Rückbau nicht zu trennen ist [28]. Mauerwerk wird aber zunehmend in Kombination mit Dämmmaterialien - als Wärmedämmverbundsystem oder integrierte Kerndämmung - ausgeführt. Hier werden hinsichtlich der Auswirkungen auf die Trennbarkeit von Bauteilen Schichten aktuell die wissenschaftlichen Grundlagen erschlossen [41].

Bewertungstechnische Abbildung

Bewertung des Recyclingpotentials von Mehrfamilienhäusern

Das als Bewertungsbasis ausgewählte System NaWoh beurteilt das Recyclingpotential von Mehrfamilienhäusern - im Gegensatz zur quantitativen Methodik des DGNB-Pendants - rein qualitativ mittels des Kriteriums *2.2.7 Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit [...]*. Hier werden verschiedene nachhaltigkeitsrelevante Merkmale eines Rückbaukonzepts abgefragt (siehe Abb. 17), wobei keine wertende Unterscheidung zwischen leichter/schwerer Rückbau- und Trennbarkeit erfolgt.

Im Zuge einer ökobilanziellen Erfassung und Bewertung des End of Life von Mauerwerkskonstruktionen (siehe auch Kapitel 9) besteht allgemein noch die Problematik einer nur rudimentären Grundlage an ökobilanziellen Basisdaten in der zu verwendenden offiziellen Datenbank Ökobau.dat. Mittels hersteller- und produktspezifischer Datensätze für die Aufbereitung mineralischen Bauschutts ließen sich hier deutliche Genauigkeitssteigerungen in der ökobilanziellen Erfassung und Bewertung herbeiführen.

- ☐ Es liegt ein Rückbaukonzept für die Primär- und Sekundärstruktur sowie der Technischen Anlagen vor.
- ☐ Das Konzept enthält eine Kurzübersicht über Grundstruktur und die wichtigsten baulichen Komponenten.
- ☐ Das Konzept enthält ein Rückbau und Recyclingkonzept pro Bauteil für:
  - ☐ Wände
  - ☐ Dach
  - ☐ Fußboden
  - ☐ weitere Bauelemente, nämlich:……..
- ☐ Die verwendeten Verbundstoffe sind aufgelistet.
- ☐ Die Stoffe sind nach leicht bzw. schwer recyclebaren Stoffen kategorisiert.
- ☐ Das Konzept erklärt, wie sich Einzelbestandteile voneinander trennen lassen, bzw. welche nicht getrennt werden können (inbes. Schichtentrennung).
- ☐ Das Konzept enthält Anweisungen und Vorschläge zum Umgang mit den getrennten Stoffen, z.B. Art der möglichen Weiterverwendung, Recycling/ Downcycling, Art der Entsorgung.
- ☐ Das Konzept enthält Hinweise auf Kontaminationen und Problemstoffe.
- ☐ Das Konzept erfasst den Rückbau der Technischen Anlagen, z.B. auch PV-Anlagen (einschließlich Rückbau bei Ersatzmaßnahmen während der Lebensdauer, z.B. Ersatz der Haustechnik nach 25 Jahren).

Abb. 17: Bewertungsmethodik des NaWoh-Kriteriums *2.2.7*

Konkret wurde in der Vorgängerstudie - im Vergleich mit anderen gängigen Wandkonstruktionen und unter Berücksichtigung von Erfahrungswerten aus abgeschlossenen Zertifizierungsprojekten - der Aufwand zur Demontage als *mittel* (24 von max. 38 Punkten) und der Aufwand zur Trennung von Mauerwerkswänden zumindest als *vertretbar* (24 von max. 38 Punkten) kategorisiert.

Die bestehenden Vorteile von Mauerwerkskonstruktionen gegenüber anderen massiven Bauweisen hinsichtlich Rückbau- und Trennbarkeit können vom System NaWoh bzw. dem maßgeblichen Kriterium also nicht herausgearbeitet werden. Vielmehr wäre dazu eine Bezugnahme auf das zweite für Mehrfamilienhäuser einschlägige DGNB-Nutzungsprofil Neubau Wohngebäude (NWO) nötig. Die Bewertung erfolgte dann analog zu der des Recyclingpotentials im Rahmen der Vorgängerstudie bzw. gemäß dem Kriteriensteckbrief des dort maßgeblichen DGNB-Nutzungsprofils Neubau Kleine Wohngebäude (NKW). Hier konnten Wandkonstruktionen aus Mauerwerk in Relation zu den maximal erreichbaren Punktzahlen und verglichen mit anderen massiven Konstruktionsweisen wie Stahlbeton verhältnismäßig hohe Bewertungen erreichen.

9 Resümee - Nachhaltigkeitsbilanz von Mehrfamilienhäusern

Ganzheitliche Lebenszyklusorientierte Perspektive

Bisherige Untersuchungen der Studie

In Analogie zu Ihrer Vorgängerstudie für Ein- und Zweifamilienhäuser wurden in den Untersuchungen der vorstehenden Kapitel 4 bis 8 auf Basis des Drei-Säulen-Modells die Nachhaltigkeitsqualitäten von Mehrfamilienhäusern aus Mauerwerk entlang des gesamten Lebenszyklus - von der Gewinnung der Rohstoffe bis zum End of Life - untersucht und sowohl qualitative als auch quantitative Aspekte berücksichtigt. Für in dieser Weise betrachtete Aspekte, die auch vom als relevant identifizierten Nachhaltigkeitsbewertungssystem NaWoh adressiert werden, erfolgte parallel eine entsprechende bewertungstechnische Einordnung.

In diesem Kapitel 0 werden nun die einzelnen Bewertungsaspekte aufgegriffen und in den Kontext einer Nachhaltigkeitsbewertung von Mehrfamilienhäusern aus Mauerwerk integriert. Eine zentrale Rolle werden dabei u.a. die ökobilanziellen Ergebnisse eines exemplarischen Muster-Mehrfamilienhauses diverser massiver Bauweisen spielen (siehe sogleich nachfolgend).

Nachhaltigkeitsbilanz von MFH aus Mauerwerk

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

Bewertung eines Muster-MFH als Vergleichsobjekt der Studie.

Weitere Informationen zum Vergleichsobjekt können Anhang D entnommen werden.

Zur Erstellung einer Nachhaltigkeitsbilanz für Mehrfamilienhäuser im Rahmen einer Anwendung des Bewertungssystems NaWoh ist es demnach erforderlich, dies anhand eines exemplarischen Vergleichsgebäudes zu tun. Im vorliegenden Fall wurde hierfür das Mehrfamilienhaus aus Abb. 18 verwendet.

Abb. 18: Ansichten des Vergleichsgebäudes

Ökobilanzielle Bewertung

Die Variantenuntersuchung erfolgte unter jeweils identischen Randbedingungen hinsichtlich energetischer Qualität, Gestaltung und Konstruktion.[10]

Für dieses Vergleichsobjekt wurde eine vollständige Ökobilanzierung gemäß den Anforderungen der entsprechenden Kriterien des Systems NaWoh durchgeführt. Dabei wurden ferner vier verschiedene Varianten für die marktbestimmenden Mauerwerksarten Ziegel, Kalksandstein, Poren- sowie Leichtbeton bilanziert. Des Weiteren wurde als zusätzliche Vergleichsvariante das o.g. Mehrfamilienhaus gleichsam in Stahlbetonbauweise modelliert und bilanziert. Eine Gesamtübersicht der ökobilanziellen Ergebnisse des Vergleichsobjekts bzw. der insgesamt fünf konstruktiven Ausprägungsarten ist dieser Studie in den Anhängen E bis H beigefügt.

Für die Ergebnisdarstellung bzw. deren Auswertung sowie Gegenüberstellung zwischen den Vergleichsobjekten aus Mauerwerk und der Vergleichsvariante in Stahlbetonbauweise wird hier ein stufenweises Vorgehen - entlang des gesamten Lebenszyklus - gewählt und mit der Ableitung einer ökobilanziellen Bewertung im gewählten Zertifizierungssystem NaWoh abgeschlossen.[11]

[10] Somit sind alle Varianten z.B. grundsätzlich identisch hinsichtlich Gründung, Dach sowie Boden-, Wand- und Deckengestaltung. Die entsprechenden Wandaufbauten können Anhang D entnommen werden.
[11] Entsprechend ist auch die Darstellung in den Anhängen E bis H sowie in Anhang I konzipiert.

Ökobilanzielle Ergebnisse der *Wandkonstruktionen*

Ein entsprechender Vergleich der Ökobilanzergebnisse der Wandkonstruktionen eines Mehrfamilienhauses für die Lebenszyklusphase Herstellung zeigt zunächst, dass sich über die verschiedenen zu betrachtenden Wirkungsindikatoren hinweg keine pauschalen Aussagen hinsichtlich der ökobilanziellen Qualität von Wandkonstruktionen der untersuchten Mauersteinarten ableiten lassen. Gleichwohl lässt sich konstatieren, dass die Wandkonstruktionen in allen Wirkungsindikatoren durchgängig bessere ökobilanzielle Ergebnisse erzielen als die Wandkonstruktionen der Vergleichsvariante aus Stahlbeton (siehe Abb. 19 sowie Anhang E).

Dies gilt insbesondere auch für den in der öffentlichen Diskussion oftmals fokussiert betrachteten Wirkungsindikator des *Treibhauspotentials*.

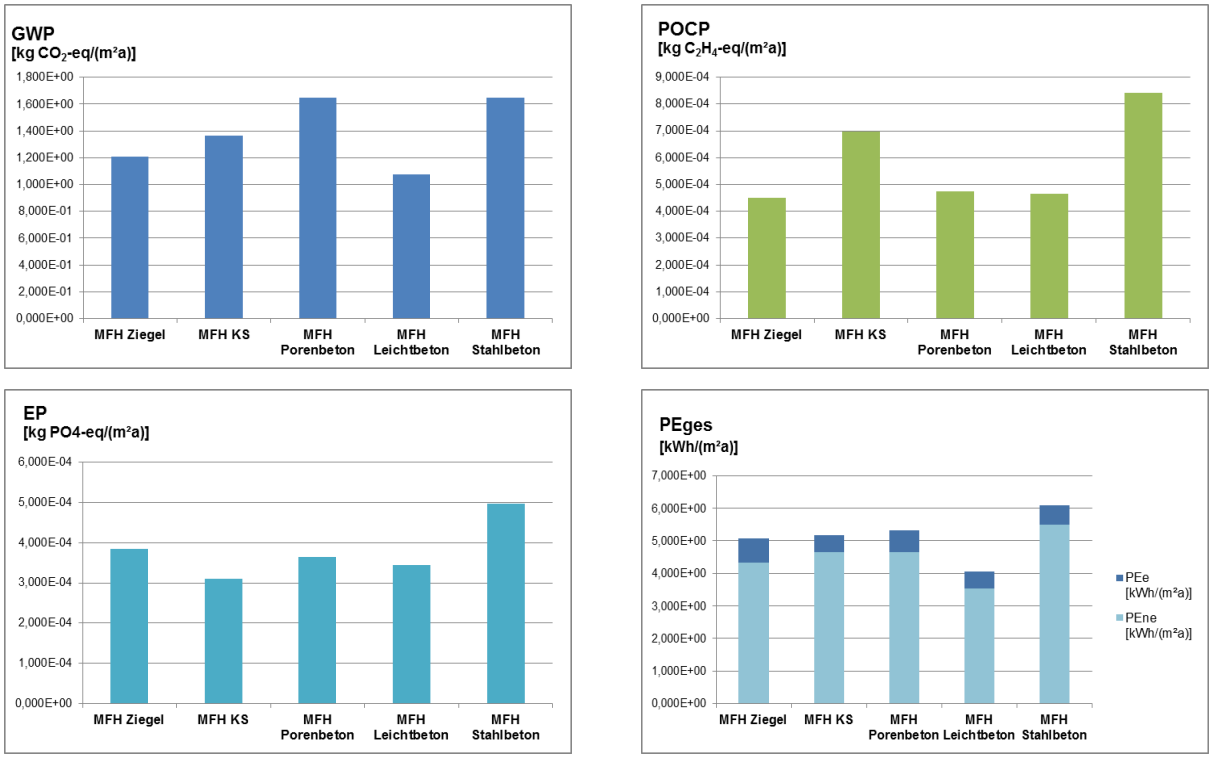


Abb. 19: Ausgewählte Ökobilanz-Ergebnisse der Wandkonstruktionen eines Muster-EFH

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.

Ökobilanzielle Ergebnisse der gesamten Konstruktion

Bei einer Betrachtung der ökobilanziellen Ergebnisse der gesamten Konstruktion für die Lebenszyklusphase der Herstellung ist einerseits festzustellen, dass sich die Ökobilanz-Ergebnisse der Vergleichsobjekte aus Mauerwerk einander annähern bzw. auf einem ähnlichen Niveau einpendeln. Gleichzeitig bleibt es dabei, dass die Ergebnisse zur Vergleichsvariante aus Stahlbeton die Resultate der Mauerwerksgebäude übersteigen. Zusätzlich ist zu konstatieren, dass die Umweltwirkungen aller Vergleichsobjekte - aus Mauerwerk wie aus Stahlbeton - maßgeblich nicht allein von den Wandkonstruktionen, sondern ganz wesentlich auch von den Bauteilen Decke und Bodenplatte beeinflusst werden (siehe Abb. 20 sowie Anhang F).

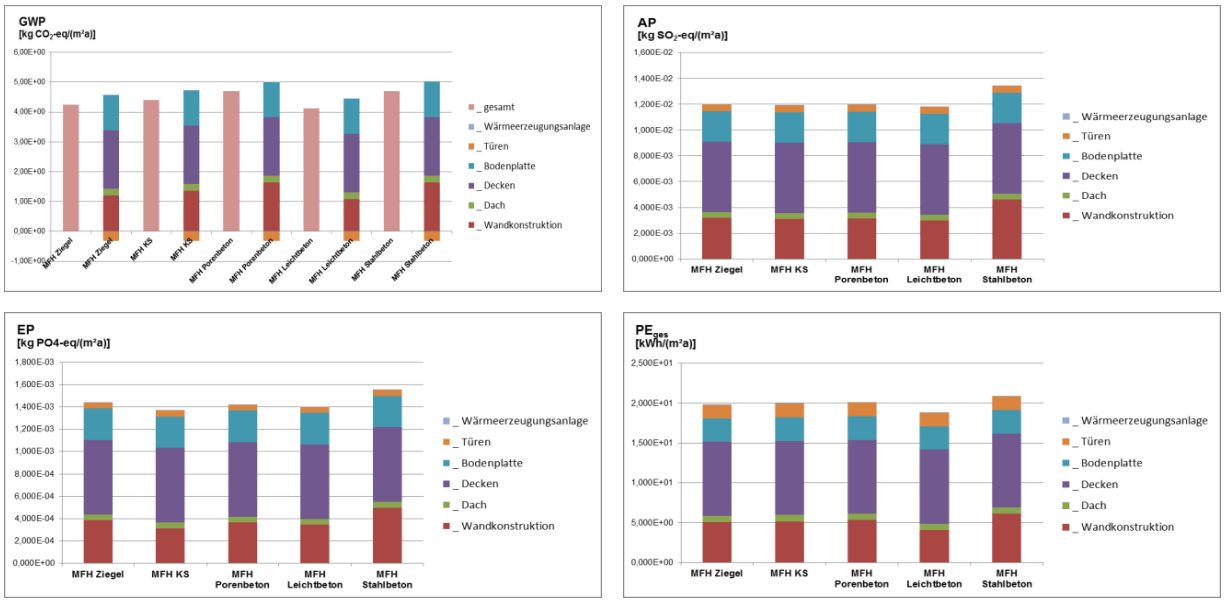


Abb. 20: Ausgewählte Ökobilanz-Ergebnisse der gesamten Konstruktion eines Muster-MFH

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 Wohngebäuden).

Ökobilanzielle Ergebnisse der Konstruktion über den gesamten Lebenszyklus

Weitet man die Betrachtung aus auf die ökobilanziellen Ergebnisse der Konstruktion eines Mehrfamilienhauses über den gesamten Lebenszyklus, d.h. von der Herstellung über die Nutzung (Instandhaltung) bis hin zum Rückbau des Gebäudes, können die obigen Feststellungen im Wesentlichen analog gelten (siehe Abb. 21 sowie Anhang G).

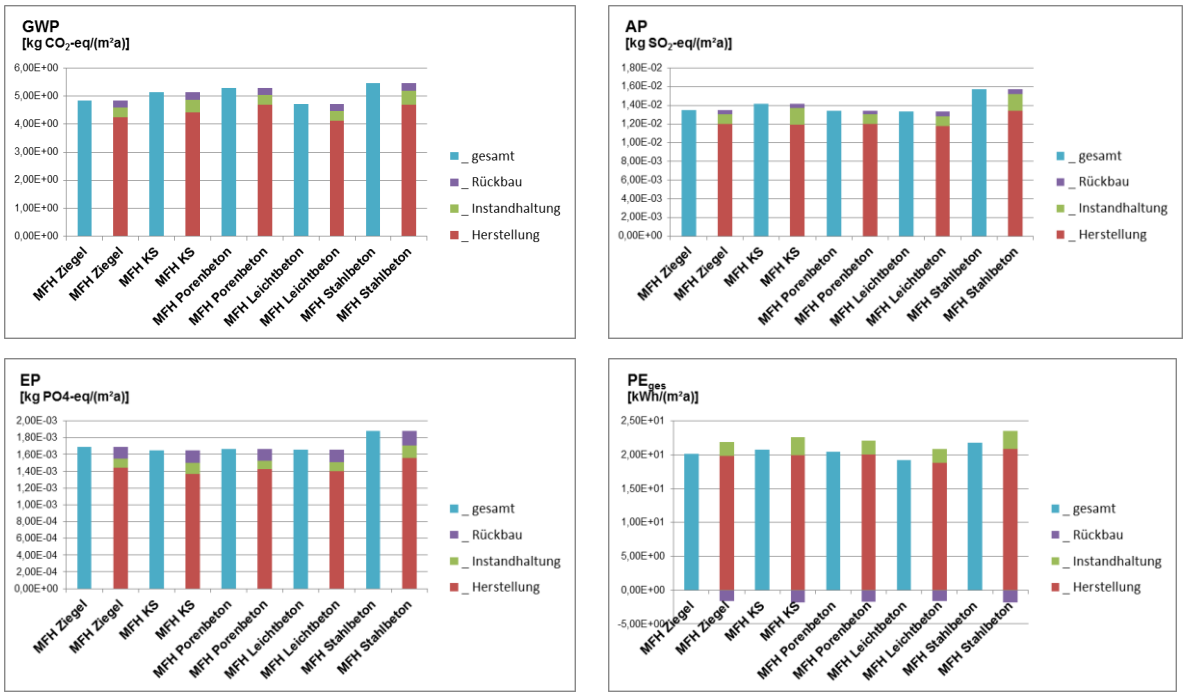


Abb. 21: Ausgewählte Ökobilanz-Ergebnisse der gesamten Konstruktion eines Muster-MFH über den gesamten Lebenszyklus

Systemgrenzen und Berechnungsparameter: Bilanzierung aller Bauteile für einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren und den gesamten Lebenszyklus (Herstellung | Nutzung | Rückbau). Im Rahmen der Lebenszyklusphase der Nutzung werden hierbei die Aufwendungen zur Instandhaltung der Bauteile des Muster-MFH erfasst und bilanziert. In diesem Zusammenhang sind insbesondere die Nutzungsdauern der jeweiligen Bauteile sowie der Betrachtungszeitraum der Bilanzierung relevant. Inkludiert sind ebenfalls etwaige Gutschriften im Rahmen des Rückbaus (End of Life), z.B. aus der thermischen Verwertung von Baumaterialien und Bauteilkomponenten.

Beispiel: Bei einer Nutzungsdauer einer massiven Mauerwerkskonstruktion von über 50 und einem Betrachtungszeitraum von exakt 50 Jahren fallen für diese Mauerwerkskonstruktion keine Instandhaltungsaufwendungen und folglich keine Umweltwirkungen an.

Dies ist kongruent zu der in Kapitel 7 beschriebenen Nachhaltigkeitsqualität einer Wartungs- und Instandsetzungsfreiheit massiver Konstruktionen aus mineralischen Baustoffen wie Mauerwerk und Stahlbeton.

Ökobilanzielle Gesamtergebnisse

Die Umweltwirkungen der Vergleichsobjekte aus Mauerwerk nivellieren sich weiter und behalten dabei ihren Ergebnisabstand zur Vergleichsvariante aus Stahlbeton weiter bei. Bemerkenswert ist, dass die (*konstruktiven*) Umweltwirkungen aller Vergleichsobjekte weit überwiegend von der Lebenszyklusphase der Herstellung geprägt werden und etwa die Instandhaltung im Zuge der Nutzungsphase eines Mehrfamilienhauses nur eine untergeordnete Rolle spielt.

Bei einer abschließenden Betrachtung der ökobilanziellen Gesamtergebnisse - d.h. einer Bilanzierung aller Bauteile des Muster-MFH über den gesamten Lebenszyklus *sowie* seines Wärme- und Stromverbrauchs während der Nutzungsphase - zeigt sich einerseits, dass sich die Ergebnisse aller Muster-MFH-Varianten

für die Wirkungskategorien des Treibhauspotentials und des Gesamtprimärenergieeinsatzes nahezu vollständig angenähert und auf einem ähnlichen Niveau stabilisiert haben. Maßgeblicher Hintergrund dessen ist, dass die ökobilanziellen Gesamtergebnisse hier sehr stark von den entsprechenden Umweltwirkungen geprägt werden, die aus dem Wärme- und Stromverbrauch der Nutzungsphase resultieren. Auch bei den übrigen Wirkungsindikatoren liegen die Resultate grundsätzlich in einem engen Ergebnisbereich, wobei allerdings die Vergleichsvariante aus Stahlbeton durch etwas höhere Umweltwirkungen charakterisiert werden kann (siehe Abb. 22 sowie Anhang H).

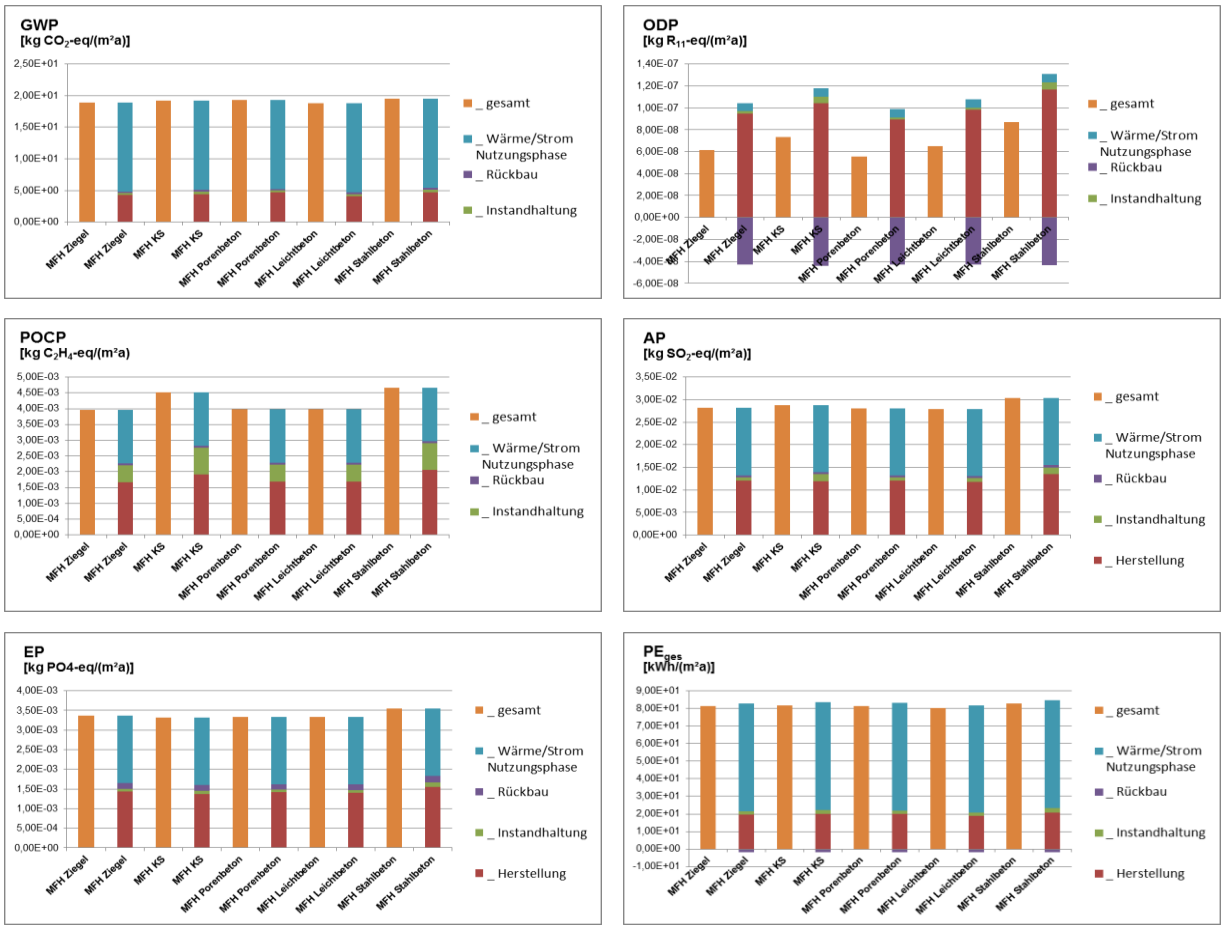


Abb. 22: Ausgewählte ökobilanzielle Gesamtergebnisse eines Muster-MFH

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).

GWP: Treibhauspotential in kg Co_2-eq

ODP: Ozonschichtabbaupotential in kg R_{11}-eq

POCP: Ozonbildungspotential in kg C_2H_4-eq

AP: Versauerungspotential in kg SO_2-eq

EP: Überdüngungspotential in kg PO_4-eq

PE_{ges}: Gesamtprimärenergie in kWh

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass den Muster-MFH-Varianten aus Mauerwerk eine - je nach Wirkungskategorie - mit der Variante aus Stahlbeton absolut vergleichbare bzw. teilweise bessere ökobilanzielle Qualität attestiert werden kann.

NaWoh-Bewertung

Dies schlägt sich folgerichtig auch in der Bewertung der zugrundeliegenden NaWoh-Kriterien *3.1.1 Ökobilanz - Teil 1* (Treibhauspotential) und *3.1.2 Primärenergiebedarf* nieder. Anders als sein Pendant NWO12 der DGNB-Systemfamilie vergibt das System NaWoh keine Bewertungspunkte, sondern kontrolliert die Einhaltung bzw. *Erfüllung* von Mindestanforderungen - z.B. an die Emissionsreduzierung von Treibhausgasen - und honoriert darüber hinaus eine Überfüllung (siehe Tab. 8). Über die bewertenden Kriterien hinaus weist das beschreibende Kriterium *3.2.1 Ökobilanz - Teil 2* zusätzliche Ökobilanz-Ergebnisse der übrigen Wirkungsindikatoren nachrichtlich aus, ohne konkret eine Bewertung vorzunehmen. Tab. 8 zeigt eine Gesamtübersicht zu den Bewertungsergebnissen der Muster-MFH-Varianten im einschlägigen System NaWoh.

Implizit lässt sich gleichwohl eine Art Ergebnisinterpretation vornehmen, da das Kriterium typische Werte für eine Plausibilitätsprüfung anführt [15].

Vergleichsobjekt	GWP	PE_{ne}	PE_e	ODP	POCP	AP	EP
MFH Ziegel	erfüllt	erfüllt	erfüllt	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
MFH Kalksandstein	erfüllt	erfüllt	erfüllt	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
MFH Porenbeton	erfüllt	erfüllt	erfüllt	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
MFH Leichtbeton	erfüllt	übererfüllt	erfüllt	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
MFH Stahlbeton	erfüllt	erfüllt	erfüllt	sehr gut	sehr gut	sehr gut	gut

Tab. 8: Bewertungsergebnisse der Muster-MFH-Varianten im System NaWoh

Ergänzung: Ableitung analoger DGNB-Bewertungen im Nutzungsprofil NWO12

Naturgemäß kann die relativ grobmaschige Bewertungsskala des Systems NaWoh (*erfüllt - übererfüllt - deutlich übererfüllt* bzw. *akzeptabel - gut - sehr gut*) keine ökobilanziellen Detailunterschiede der untersuchten Muster-MFH-Varianten erkenntlich machen. Deshalb wird hier ergänzend und informativ auch eine analoge ökobilanzielle Bewertung gemäß des für große Wohngebäude grundsätzlich ebenfalls anwendbaren DGNB-Nutzungsprofils NWO12 (Kriterien ENV1.1 und ENV2.1) dargestellt (siehe Abb. 23).

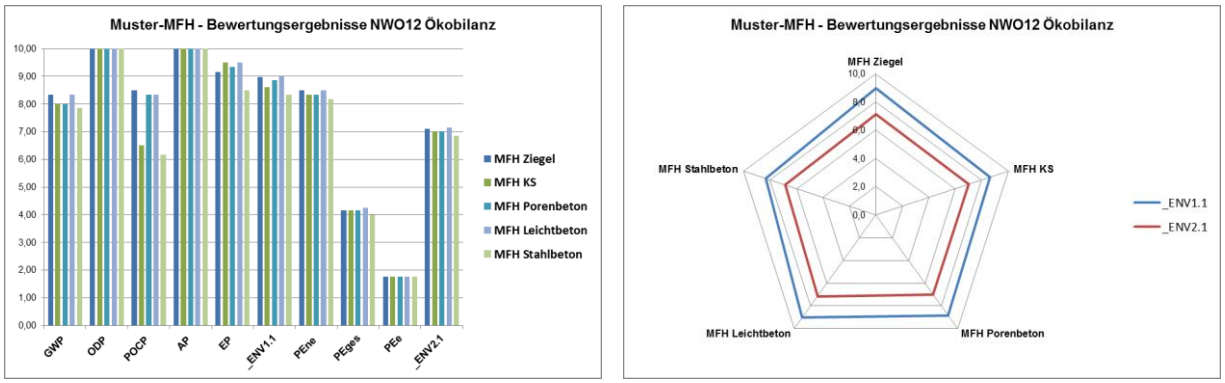


Abb. 23: Ökobilanzielle Bewertungsergebnisse der Muster-MFH-Varianten im DGNB-System NWO12

In ENV1.1 werden die Teil-Ergebnisse der Wirkungsindikatoren GWP (40 %) sowie ODP, POCP, AP und EP (je 15 %) gebündelt. Analog bündelt ENV2.1 die Teil-Ergebnisse der primärenergetischen Indikatoren, wobei PE_{ne} mit 60 %, PE_{ges} mit 40 % und der Anteil PE_e mit zusätzlichen 20 % in die Aggregation eingeht.

Einen besonderen Hinweis verdient der Umstand, dass die Ökobilanzergebnisse im Rahmen einer Anwendung der DGNB-NWO12-Kriterien auf eine abweichende Grundfläche (hier: Nettogrundfläche ohne Tiefgaragenflächen) zu beziehen sind. Allerdings ist dies freilich in den entsprechenden Benchmarks der Kriterien zur Ableitung der Bewertungspunktzahlen berücksichtigt.

In Abb. 23 wird deutlich, dass die Muster-MFH-Varianten aus Mauerwerk in keiner Wirkungskategorie schlechter zu bewerten sind als die Vergleichsvariante aus Stahlbeton bzw. im Gegenteil in einigen Wirkungskategorien gar deutlich bessere Bewertungen erzielen. Eine Gesamtübersicht zu den abgeleiteten DGNB-Bewertungsergebnissen findet sich auch in Anhang I.

Vermeidung von Schadstoffen

Das beschreibende Kriterium *3.2.4 Vermeidung von Schadstoffen* gehört zur Hauptkriteriengruppe der *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 [15]. Besondere Berücksichtigung dabei finden (teil-) halogenierte Treib- und Kältemittel, Schwermetalle sowie organische Lösemittel und Weichmacher (Flüchtige organische Verbindungen; kurz: *VOC*). Entsprechende Qualitätsanforderungen werden vom Kriterium in einer Kriterienmatrix fixiert (siehe Abb. 12 sowie Anhang B).

Das Baumaterial Mauerwerk ist bezüglich der zitierten Anforderungen als unkritisch zu klassifizieren. Diese Feststellung besteht auch mit Blick auf etwaige Beschichtungsstoffe zur Realisierung eines kompletten Schicht- bzw. Wandaufbaus fort: Für Grundierungen, Voranstriche, Spachtelmassen, Anstriche und ähnliche Baumaterialien sind mittlerweile am Markt verschiedenste Produkte verfügbar, die ebenfalls die Anforderungen des Kriteriums erfüllen. Da es sich allerdings hier um ein beschreibendes Kriterium handelt, lassen sich dieser ökologischen Qualität des Materials Mauerwerk keine Bewertungsstufen zuordnen.

Wertstabilität und Nutzungsflexibilität

Im Rahmen der Untersuchung der Nachhaltigkeitsqualität von Ein- und Zweifamilienhäusern aus Mauerwerk speziell in der Nutzungsphase wurde der positive Beitrag massiver Konstruktionen für die Wertstabilität und Nutzungsflexibilität dargelegt (siehe Kapitel 7). In diesem Zusammenhang wurde u.a. auf die hohen Lebensdauern in Verbindung mit einer Instandhaltungsfreiheit von Mauerwerkswänden sowie die aus statisch-baupraktischer Sicht einfache Realisierbarkeit von Mauerdurchbrüchen hingewiesen.

Der Fokus des Bewertungssystems liegt auf einer Beurteilung der Nachhaltigkeitsqualität eines Gebäudes und nicht auf der einer einzelnen Konstruktionsweise.

Allerdings bewerten die entsprechenden Kriterien des relevanten Bewertungssystems NaWoh beide Aspekte anhand anderer Indikatoren, die weitestgehend unabhängig von der Konstruktionsweise und der Baustoff-/Materialwahl sind. Insofern kann die beschriebene hohe Nachhaltigkeitsqualität von Mehrfamilienhäusern aus Mauerwerk vom anzuwendenden Bewertungssystem - bedingt durch dessen Systematik und Methodik - nicht vollumfänglich abgebildet werden.

MFH aus Mauerwerk	Kriterien *1.1.3* | *4.2.1* *Barrierefreiheit* | *Wertstabilität*

Bewertungsmethodik Kriterien

Bewertung der Wertstabilität und Nutzungsflexibilität von MFH anhand *konstruktions- und baustoff-/materialunabhängiger* Indikatoren (Architektonischer Grundrissgestaltung, lichter Raumhöhe, Nutzungsneutralität, Haustechnik, etc.).

Qualitätsmerkmale von Konstruktionen aus Mauerwerk (Tragreserven & Widerstandsfähigkeit, Lebensdauern & Wartungsfreiheit, einfache Realisierbarkeit von Grundrissänderungen) können mit diesen Indikatoren *nicht adäquat* abgebildet werden.

Faktische Nachhaltigkeitsqualität von MFH aus Mauerwerk

> Statische Tragreserven im Falle von veränderten Nutzungsanforderungen

> Widerstandfähigkeit beim Eintritt von Schadensereignissen i.V.m. Begrenzung des Schadensausmaßes

> Hohe Lebensdauern i.V.m. Instandhaltungsfreiheit der Wandkonstruktionen

> Baupraktisch einfache Realisierbarkeit von Grundrissänderungen (z.B. Mauerdurchbrüche, etc.)

> Anpassbarkeit hinsichtlich Anforderungen einer barrierefreien/altersgerechten Grundrissgestaltung

Abb. 24: Einschätzung zur faktischen Nachhaltigkeitsqualität hinsichtlich der Aspekte Wertstabilität und Nutzungsflexibilität

Thermischer Komfort Sommer

Der thermische Komfort im Winter wird implizit vom technischen Kriterium *2.1.2 Energetische Qualität* abgebildet (siehe dazu unten).

Das Kriterium *1.1.6 Thermischer Komfort* ist ein wichtiges Element der Hauptkriteriengruppe Wohnqualität. Dieser wird im System NaWoh wie bereits oben beschrieben auf Basis des Nachweises des sommerlichen Wärmeschutzes bzw. des Indikators des Sonneneintragskennwerts S bewertet.

Der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 erfolgt auf Basis der Gegenüberstellung des real vorhandenen Sonneneintragskennwerts S und einem höchsten zulässigen Sonneneintragskennwert [30].

Der vorhandene Sonneneintragskennwert S wird bestimmt von den Fensterflächen, dem Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung und der Nettogrundfläche des jeweiligen Raums [30]. Insoweit besteht kein Einfluss durch Wandkonstruktionen. Allerdings wird der zulässige Sonneneintragskennwert S_{zul} neben weiteren Faktoren beeinflusst von der Bauart: für eine mittlere und schwere Bauart (vgl. Abb. 15), z.B. in Mauerwerk, legt die DIN 4108-2 höhere zulässige Sonneneintragskennwerte fest. Hier können die Anforderungen einfacher eingehalten und leichter übererfüllt werden; Mehrfamilienhäuser aus Mauerwerk legen wesentliche Voraussetzungen für eine optimale Bewertung (Abb. 25).

MFH aus Mauerwerk	Kriterium 1.1.6 *Thermischer Komfort*

Anforderungen des Kriteriums

Mindestanforderung	Einhaltung DIN 4108-2
Übererfüllung	Sonneneintragskennwert S: $S_{vorh} \leq 0{,}95 * S_{zul}$
Deutliche Übererfüllung	Sonneneintragskennwert S: $S_{vorh} \leq 0{,}90 * S_{zul}$

Der vorhandene Sonneneintragskennwert S eines Gebäudes wird nach DIN 4108-2 determiniert von Fensterflächen, Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung sowie Nettogrundfläche des betrachteten Raums. Daher ist grundsätzlich keine Aussage zur Bewertungseinstufung für MFH aus Mauerwerk möglich.

Allerdings wird der höchstens zulässige Sonneneintragskennwert S_{zul} beeinflusst von der Bauart. Konkret schreibt die DIN 4108-2 für mittlere und schwere Bauarten (z.B. Mauerwerk) höhere zulässige Sonneneintragskennwerte S_{zul} fest.

Dadurch kann die strengere Anforderung des Zielwerts von MFH aus Mauerwerk bei sonst gleichen Randbedingungen (Fensterflächen, Verglasung, Grundrissflächen) einfacher erreicht werden. MFH aus Mauerwerk legen daher hervorragende Voraussetzungen für eine optimale Bewertung des Kriteriums.

Abb. 25: Einschätzung zur Bewertung des NaWoh-Kriteriums 1.1.6 Thermischer Komfort

Raumluftqualität

Einen weiteren Bestandteil der Hauptkriteriengruppe Wohnqualität stellt das beschreibende Kriterium *1.2.2 Raumluftqualität* dar. Hier sind die Innenräume vier Wochen nach Gebäudefertigstellung auf die vorhandenen Immissionskonzentrationen an VOC und Formaldehyd zu überprüfen, wozu eine Raumluftmessung inkl. chemisch-analytischer Untersuchung der Proben erforderlich ist. Vom Kriterium wird allerdings lediglich abgefragt, ob Raumluftkonzentrationen an VOC/Formaldehyd bestimmt und dokumentiert werden und nicht bewertet, 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.

Dieses Qualitätskriterium der Emissionsarmut trifft insbesondere auf mineralische Baumaterialien wie Mauerwerk zu. Wandkonstruktionen aus Mauerwerk bieten daher ideale Voraussetzungen für eine hohe Raumluftqualität. Diese Einschätzung gilt des Weiteren auch im Kontext mit je nach energetischen und/ oder innenraumgestalterischen Anforderungen notwendigen Ergänzungsmaterialien (z.B. integrierte Kerndämmung, Innenwandfarben, etc.). Die Vielfalt und (ökologische) Qualität lieferbarer Baumaterialien gewährleistet hier ohne weiteres die Verfügbarkeit entsprechender emissionsarmer Produkte.

Brandschutz

Im DGNB-Nutzungsprofil NWO wird im Rahmen des Kriteriums SOC1.7 Sicherheit und Störfallrisiken zumindest die Vermeidung von Rauchgasrisiken adressiert.

Im Zuge der Analyse der Nutzungsphase von Mehrfamilienhäusern wurde ausführlich das hohe Sicherheitsniveau massiver Gebäudekonstruktionen herausgearbeitet (siehe Kapitel 7). Leider wird dieser Nachhaltigkeitsaspekt im relevanten Bewertungssystem NaWoh weder im Rahmen eines eigenständigen Kriteriums noch innerhalb des thematisch zugehörigen Kriteriums *2.2.1 Brandschutz* adressiert. Nichtsdestotrotz soll das hohe Sicherheitsniveau massiver Konstruktionen gemäß Analyse aus Kapitel 7 in einer ganzheitlichen Nachhaltigkeitsbilanz von Mehrfamilienhäusern aus Mauerwerk Eingang finden (siehe Abb. 26).

MFH aus Mauerwerk	Kriterium 2.2.1 *Brandschutz*

Bewertungsmethodik Kriterium

Bewertung der Einhaltung bauordnungsrechtlicher Mindestanforderungen an den Brandschutz (gem. Landesbauordnungen) auf Basis eines Brandschutzgutachtens oder Nachweis alternativer Teilaspekte (Brandabschnitte, Fluchtwegplanung, Brandschutztechnik, etc.)

Qualitätsmerkmale von Konstruktionen aus Mauerwerk (Brandverhalten, Widerstandsfähigkeit beim Eintritt von Brandereignissen, etc.) können hiermit *nicht* abgebildet werden.

Faktische Nachhaltigkeitsqualität von MFH aus Mauerwerk

> In der Regel automatische (Über-)Erfüllung bauordnungsrechtlicher baustoffspezifischer Anforderungen an den Brandschutz (Brandverhalten, Feuerwiderstand) ohne weitere Maßnahmen

> Kein Beitrag zur Entwicklung von Rauchgasen im Brandfall

> Begrenzung des materiellen Schadensausmaßes beim Eintritt eines Brandfalls

Abb. 26: Einschätzung zur faktischen Nachhaltigkeitsqualität hinsichtlich des Brandschutzes

Schallschutz

Das Kriterium *2.1.1 Schallschutz* gehört wie der o.g. Aspekt Brandschutz zur technischen Qualität von Mehrfamilienhäusern. Die Bewertung der schallschutztechnischen Qualität erfolgt auf Basis eines Schallschutznachweises nach DIN 4109 (siehe dazu bereits in Kapitel 7). Im Kontext der in diesem Kapitel 0 avisierten exemplarischen Nachhaltigkeitsbeurteilung von Mehrfamilienhäusern (aus Mauerwerk) sind dabei gemäß Abb. 27 der Schallschutz gegen Außenlärm und der vertikale Luftschallschutz (Wände) relevant. Für diese Aspekte des Schallschutzes liegen im Kriteriensteckbrief *2.1.1* Schallschutz Anforderungswerte für das bewertete Bau-Schalldämm-Maß R'_w von Außenbauteilen (Mindestanforderung $R'_w \geq 40$ dB für Lärmpegelbereich IV) und Trennwänden (Mindestanforderung $R'_w \geq 55$ dB) vor (Abb. 27).

In der Praxis für Mehrfamilienhäuser übliche Wandstärken und -aufbauten von Mauerwerkskonstruktionen in Ziegel, Kalksandstein, Porenbeton oder Leichtbeton können diese schallschutztechnischen Anforderungen in der Regel einhalten bzw. (deutlich) übererfüllen. Das letztendliche schallschutztechnische Bewertungsergebnis eines Gebäudes hängt darüber hinaus aber auch ab von anderen Faktoren, z.B. der schallschutztechnischen Qualität der Geschossdecken (Luft- und Trittschall) oder der Dach- und Fensterflächen (Luftschall gegenüber Außenlärm).

MFH aus Mauerwerk | **Kriterium *2.1.1*** ***Schallschutz***

Bewertungsmethodik Kriterium

Abfrage zur Erfüllung, Übererfüllung oder deutlichen Übererfüllung von normativen Schallschutzanforderungen

Anforderungen an Schallschutz gegen Außenlärm

deutlich übererfüllt ✓*)	Auf Basis des aktuellen maßgeblichen Außenlärmpegels werden die Anforderungen des nächsthöheren Lärmpegelbereiches noch überschritten. ***siehe Anlage 1***
übererfüllt ✓*)	Auf Basis des aktuellen maßgeblichen Außenlärmpegels werden die Anforderungen des nächsthöheren Lärmpegelbereiches erfüllt. ***siehe Anlage 1***
erfüllt ✓*)	Auf Basis des aktuellen maßgeblichen Außenlärmpegels werden die Anforderungen des zutreffenden Lärmpegelbereiches erfüllt. ***siehe Anlage 1***

Tabelle Anforderungen an die Luftschalldämmung von Außenbauteilen:

Lärmpegelbereich	Maßgeblicher Außenlärmpegel L_{MAP}	Klassifizierung	DIN 4109
I	≤ 55 dB(A)	erf. $R'_{w,res}$ (Außenbauteil)	30 dB
II	56 - 60 dB(A)	erf. $R'_{w,res}$ (Außenbauteil)	30 dB
III	61 - 65 dB(A)	erf. $R'_{w,res}$ (Außenbauteil)	35 dB
IV	66 - 70 dB(A)	erf. $R'_{w,res}$ (Außenbauteil)	40 dB
V	71 - 75 dB(A)	erf. $R'_{w,res}$ (Außenbauteil)	45 dB
VI	76 - 80 dB(A)	erf. $R'_{w,res}$ (Außenbauteil)	50 dB

Anforderungen können von gängigen Wandkonstruktionen in Mauerwerk in Abhängigkeit vom maßgeblichen Lärmpegelbereich (deutlich) übererfüllt werden.

*) keine Betrachtung eines kombinierten Bauteils Wand – Fenster

Anforderungen an Luftschallschutz

deutlich übererfüllt ✓	Übererfüllung der Anforderungen entsprechend Niveau B der Anlage 1
übererfüllt ✓	Einhaltung der Anforderungen entsprechend Niveau B der Anlage 1
erfüllt ✓	Einhaltung der Anforderungen entsprechend Niveau A der Anlage 1

Tabelle Luft- und Trittschallschutz:

Luft- und Trittschallschutz	Klassifizierung	Niveau A [1)]	Niveau B [2)]
horizontaler Luftschallschutz (Decken) zwischen Aufenthaltsräumen und fremden Räumen	R'_w in dB	≥ 55	56
vertikaler Luftschallschutz (Wände) zwischen Aufenthaltsräumen und fremden Räumen	R'_w in dB	≥ 55	57
Luftschallschutz zwischen Aufenthaltsräumen und fremden Treppenhäusern bzw. Fluren	R'_w in dB	≥ 55	56

Anforderungen können von Wandkonstruktionen in Mauerwerk durch Verwendung hochdichter oder gefüllter Steine (deutlich) übererfüllt werden.

Abb. 27: Einschätzung zur Bewertung des Kriteriums *2.1.1 Schallschutz*

Wärmeschutz

Bei der Analyse der Lebenszyklusphase der Nutzung von Mehrfamilienhäusern wurde u.a. der thermische Komfort der Nutzer intensiv betrachtet. In diesem Zusammenhang wurden insbesondere Anforderungen an die energetische Qualität der Gebäudehülle herausgestellt. Diese Qualität wird vom relevanten Bewertungssystem NaWoh im Wesentlichen vom Kriterium *2.1.2 Energetische Qualität* adressiert. Allerdings fragt das Kriterium konstruktionsunspezifisch lediglich ab, welches Energieeffizienzniveau ein Wohngebäude aufweist (siehe Abb. 28). Mit üblichen Wandstärken für Außenwände lassen sich jedenfalls - je nach Wahl einer der marktbestimmenden Mauersteinarten im Verbund mit ergänzenden Dämmmaterialien (WDVS-Schale oder integrierte Kerndämmung) - entsprechende energetische Qualitätsniveaus eines Mehrfamilienhauses erreichen, die die Anforderungen des Kriteriums einhalten und (deutlich) übererfüllen.

MFH aus Mauerwerk | **Kriterium *2.1.2* *Energetische Qualität***

Bewertungsmethodik Kriterium

Abfrage zur Erfüllung, Übererfüllung oder deutlichen Übererfüllung von Energieeffizienzniveaus

Bewertungsstufen

deutlich übererfüllt ✓	Das Gebäude entspricht dem Energie-Plus-Standard nach Definition des BMVBS (siehe Broschüre „Wege zum Effizienzhaus Plus"). **siehe Anlage 1**
	Das Gebäude entspricht dem Niveau des KfW-Effizienzhaus 40 und benötigt maximal 40% des Jahres-Primärenergiebedarf Q_P im Vergleich zum Referenzgebäude nach EnEV 2009. **siehe Anlage 1**
übererfüllt ✓	Das Gebäude entspricht dem Niveau des KfW-Effizienzhaus 55 und benötigt maximal 55% des Jahres-Primärenergiebedarf Q_P im Vergleich zum Referenzgebäude nach EnEV 2009. **siehe Anlage 1**
	Das Gebäude entspricht dem Niveau des KfW-Effizienzhaus 70 und benötigt maximal 70% des Jahres-Primärenergiebedarf Q_P im Vergleich zum Referenzgebäude nach EnEV 2009. **siehe Anlage 1**
erfüllt ✓	Die aktuelle Energieeinsparverordnung (EnEV 2009) wird eingehalten.

Anforderungen zur Erreichung der KfW-Effizienzhausniveaus nach dem jeweils aktuellen Merkblatt [1].

	KfW-Effizienz-haus 70	KfW-Effizienz-haus 55	KfW-Effizienz-haus 40	Effizienz-haus Plus
ENTWEDER				
Jahres-Primärenergiebedarf Q_P im Vergleich zum Referenzgebäude nach EnEV 2009	max. 70 %	max. 55 %	max. 40 %	$Q_P < 0$
spezifische, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogene Transmissionswärmeverluste H'_T im Vergleich zum Referenzgebäude nach EnEV 2009	max. 85 %	max. 70 %	max. 55 %	*)
Einhaltung der Höchstwerte des spezifischen, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlustes aus EnEV 2009	Ja	Ja	Ja	Ja
ODER				
Jahres-Primärenergiebedarf Q_P pro m² Gebäudenutzfläche A_N nach PHPP	-	40 kWh/m²	30 kWh/m²	-
Jahres-Heizwärmebedarf Q_H pro m² Wohnfläche nach PHPP	-	15 kWh/m²	15 kWh/m²	-
UND				
verbindlicher Nachweis zur Planung und Baubegleitung durch einen Sachverständigen ist zu erbringen.	Nein -- aber: Bestätigung des Niveaus durch einen Sachverständigen	Ja	Ja	Ja

Anforderungen können von Wandkonstruktionen in Mauerwerk - je nach Wahl einer der marktbestimmenden Mauersteinarten im Verbund mit ergänzenden Dämmmaterialien (WDVS-Schale oder integrierte Kerndämmung) - (deutlich) übererfüllt werden.

Abb. 28: Einschätzung zur Bewertung des Kriteriums *2.1.2 Energetische Qualität*

Rückbau- und Demontagefreundlichkeit

Abschluss der technischen Hauptkriteriengruppe des einschlägigen Bewertungssystems NaWoh bildet das Kriterium *2.2.7 Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit der Baukonstruktion*. Hier erfolgt eine rein qualitative Abfrage zum Vorliegen eines Rückbaukonzepts sowie einzelner zentraler Inhalte (vgl. Abb. 17).

Leider werden dadurch der verhältnismäßig geringe Aufwand zur Demontage sowie die vertretbaren Möglichkeiten zur Trennung von Bauteilen und Bauteilschichten aus Mauerwerk von diesem Kriterium - jedenfalls quantitativ - nicht adressiert. Trotzdem sollen diese nachweislichen Qualitäten von Wänden aus Mauerwerk in dieser ganzheitlichen Nachhaltigkeitsbilanz von Mehrfamilienhäusern Eingang finden. Insbesondere deshalb, weil bei einer Anwendung des - typologisch verwandten - DGNB-Nutzungsprofils NWO und dessen Kriterium NWO12-TEC1.6 Rückbau- und Demontagefreundlichkeit für die relevanten Indikatoren *Aufwand zur Demontage* und *Aufwand zur Trennung* hohe bis optimale Bewertungsergebnisse erzielt werden können (siehe Abb. 29).

MFH aus Mauerwerk	Kriterium NWO12-42	*Rückbau- und Demontagefreundlichkeit*

Gewichtung Kriterium	4,1 % Anteil an der Gesamtnote

Relevante Indikatoren des Kriteriums und maximal erreichbare Checklistenpunkte

1. Aufwand zur Demontage des Bauteils	maximal 38 von insgesamt 100 Checklistenpunkten erreichbar
2. Möglichkeit zur Trennung von Bauteilschichten	maximal 38 von insgesamt 100 Checklistenpunkten erreichbar

Anforderungen der relevanten Indikatoren

Aufwand zur Demontage des Bauteils

Sehr hoch	Ausschließlich mit sehr hohem Aufwand zu demontieren	Übertrag aus Liste mit Einstufung der Bauteile	Max. 38	
Hoch	Mit hohem Aufwand zu demontieren z. B. Abschlagen von gut anhaftenden Beschichtungen	Dabei entsprechen die Kategorien folgender Bewertung		
Mittel	Mit mittlerem Aufwand zu demontieren z. B. Herauslösen von Fußböden, Entfernen von eingegossenen Folienelementen	Sehr hoch	0	erreicht ✓
Gering	Mit geringem Aufwand zu demontieren z. B. Absaugung von geschütteten Materialien, Demontieren von abschraubbaren Verschalungen	Hoch	8	erreicht ✓
Sehr gering	Sehr leicht zu demontieren z. B. Lösen geklemmter Verbindungen oder einfacher Klick- bzw. Schraubverbindungen, Entfernen loser Auflagen	Mittel	24	erreicht ✓
		Gering	32	nicht erreicht x
		Sehr gering	38	nicht erreicht x

Möglichkeit zur Trennung von Bauteilschichten

Nicht vertretbar	Beseitigung von Restanhaftungen auf Materialien wie Bodenbelägen oder Fensterrahmen, z. B. Estrich- oder Fugenmassenreste Trennverfahren, die nicht auf der Baustelle durchgeführt werden können	Übertrag aus Liste mit Einstufung der Bauteilschichten	Max. 38	
		Dabei entsprechen die Kategorien folgender Bewertung		
Vertretbar	Erfordert neben dem personellen Aufwand einen entsprechenden, baustellengeeigneten Maschineneinsatz: Abstemmen, Abfräsen, Abschleifen usw.	Nicht vertretbar	0	erreicht ✓
Leicht	Kann von Personen manuell oder mit einfachen Werkzeugen vorgenommen werden: Abziehen (z. B. Boden und Wandbeläge auf Trennlage), Abreißen, Abheben usw.	Vertretbar	24	erreicht ✓
		Leicht	38	bedingt erreicht ✓

Abb. 29: Exkurs - Einschätzung zur Bewertung der Rückbau- und Demontagefreundlichkeit von Mauerwerkskonstruktionen im DGNB-System Neubau Wohngebäude Version 2013 (NWO13)

Die finale Bewertung ist ferner von einer analogen Bewertung weiterer Bauteile abhängig.

Aus dieser Perspektive schafft die dargelegte Einschätzung zur Rückbau- und Demontagefreundlichkeit von Wandkonstruktionen aus Mauerwerk zumindest sehr gute Voraussetzungen für eine hohe Bewertung des Recyclingpotentials.

Unter Kapitel 8 wurde entsprechend gezeigt, dass - verglichen mit weiteren in der Baupraxis von Mehrfamilienhäusern gängigen Wandkonstruktionen und Wandaufbauten einerseits und insbesondere unter Einbeziehung eigener Erfahrungswerten aus realen Zertifizierungsprojekten andererseits - der Aufwand zur Demontage von Wandkonstruktionen aus Mauerwerk als *mittel* (24 von max. 38 Punkten) klassifiziert werden kann. Weiterhin kann der Aufwand zur Trennung von Bauteilschichten zumindest als *vertretbar* (24 von max. 38 Punkten) eingestuft werden.

Fazit

In Kapitel 0 wurden alle im Rahmen dieser Studie untersuchten Nachhaltigkeitsaspekte von Mehrfamilienhäusern aus Mauerwerk in den Kontext einer Nachhaltigkeitsbewertung im einschlägigen System NaWoh eingeordnet und für die relevanten Bewertungskriterien dieses Systems eine Einschätzung zur Bewertung des jeweiligen Kriteriums für ein exemplarisches Mehrfamilienhaus abgeleitet. Da die relevanten Kriterien aber nur einen Teil des gesamten Kriterienkatalogs des Systems repräsentieren, ist keine abschließende Gesamtbewertung möglich. Die Gesamtbewertung wird vielmehr von einer Vielzahl weiterer Gebäudecharakteristika und -parameter determiniert. Nichtsdestotrotz lassen sich aufgrund der vorstehenden Einschätzungen dieses Kapitels zu Bewertungsergebnissen einzelner Kriterien (vgl. Abb. 24 bis Abb. 29) qualitative Aussagen zum Einfluss der beschriebenen Nachhaltigkeitsqualität von Wandkonstruktionen aus Mauerwerk auf das spätere Gesamtergebnis machen.

Ausblick

Im Rahmen einer Weiterentwicklung der einschlägigen deutschen Zertifizierungssysteme könnten prinzipiell weitere spezifische Nachhaltigkeitsqualitäten von Mauerwerk adressiert werden, z.B. bezüglich einer verbreiterten Datenbasis für die ökobilanzielle Abbildung des End of Life.

Insgesamt zeigt die vorliegende Studie, dass Wandkonstruktionen aus Mauerwerk in von der Konstruktionsweise und/oder dem Baumaterial tangierten Kriterien des Systems NaWoh entweder unmittelbar zu hohen Bewertungsergebnissen beitragen oder zumindest mittelbar die dazu nötigen Voraussetzungen schaffen, damit letztlich die hohe Nachhaltigkeitsqualität von Mehrfamilienhäusern aus Mauerwerk objektiv und transparent dokumentiert werden kann.

Literaturverzeichnis

[1] Deutsche Gesellschaft für Mauerwerks- und Wohnungsbau e.V. [Hrsg.]: Jahresbericht 2009/10, Berlin 2011

[2] Deutsche Gesellschaft für Mauerwerks- und Wohnungsbau [Hrsg.]: Nachhaltigkeit von Ein- und Zweifamilienhäusern aus Mauerwerk. Online unter www.impulse-fuer-den-wohnungsbau.de

[3] Graubner, C.-A., Pohl, S.: Nachhaltigkeit von Mauerwerksbauten. In: Mauerwerksbau aktuell 2014. Berlin: Bauwerk Verlag 2013

[4] Meadows, D.L.: Die Grenzen des Wachstums. Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt 1972

[5] United Nations [Hrsg.]: Report of the World Commission for Environment and Development: Our common future, Genf 1987

[6] Rogall, H.: Ökologische Ökonomie. Eine Einführung. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften 2008

[7] Busco Ferber, E.: Nachhaltigkeit und Gebäudezertifizierung bei Bestandsbauten. In: Der Facility Manager, Ausgabe März 2011

[8] Die Bundesregierung: Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. 2002

[9] Statistisches Bundesamt: Test des OECD-Indikatorensets Green Growth in Deutschland 2012, Wiesbaden 2012

[10] Peters, H.R.: Bauprodukte für nachhaltiges Bauen. In: Mauerwerksbau aktuell 2009. Berlin: Bauwerk Verlag 2009

[11] Graubner, C.-A. et al.: Ausarbeitung des nationalen Nachhaltigkeitszertifizierungssystems. Erstellung von Kriteriensteckbriefen für ausgewählte Kriterien. Erarbeitung von Grundlagen für die Wichtung der Einzelkriterien. Endbericht des BBR Forschungsvorhabens. Berlin, 2008

[12] Homepage der Deutschen Gesellschaft für nachhaltiges Bauen e.V.: www.dgnb.de

[13] Graubner, C.-A. et al.: Beyond Platin - Nachhaltigkeitstrends in der Bau- und Immobilienwirtschaft. In: Mauerwerk 16 (2012), Heft 5. Berlin: Ernst & Sohn 2012

[14] Lützkendorf, T.: BNW - Bewertungssystem Nachhaltiger Wohnungsbau. Ausgewählte Ergebnisse der Arbeitsgruppe Wohnen. Vortrag zum Symposium „Nachhaltig Bauen - Zukunft gestalten". Berlin: 2013

[15] Systembeschreibung und Kriterienkatalog des Systems NaWoh unter www.nawoh.de

[16] Graubner, C.-A., Pohl, S.: Umweltproduktdeklarationen für Bauprodukte - Ein Kommunikationskanal für ökologische Nachhaltigkeitsqualität. In: BetonWerk international, No. 3, 2012, S. 116-120

[17] Institut Bauen und Umwelt e.V.: Umweltproduktdeklaration Perlitgefüllte Ziegel (EPD-POR-2011-211-D), Königswinter 2011

[18] Institut Bauen und Umwelt e.V.: Umweltproduktdeklaration Kalksandstein (EPD-BKS-2009-111-D), Königswinter 2009

[19] Institut Bauen und Umwelt e.V.: Umweltproduktdeklaration H+H Porenbeton (EPD-HHC-2010-112-D), Königswinter 2010

[20] Institut Bauen und Umwelt e.V.: Umweltproduktdeklaration Leichtbetonmauersteine aus natürlichem Zuschlag und Zumischungen von industriell hergestelltem Zuschlag (EPD-BVL-2008-111-D), Königswinter 2008

[21] Institut Bauen und Umwelt e.V.: Umweltproduktdeklaration Informations-Zentrum Beton - Beton C25/30 (EPD-IZB-2013421-D), Königswinter 2010

[22] Institut Bauen und Umwelt e.V.: Umweltproduktdeklaration Informations-Zentrum Beton - Beton C30/37 (EPD-IZB-2013431-D), Königswinter 2010

[23] Graubner, C.-A., Pohl, S.: Sustainability performance of lightweight aggregate concrete masonry. In: Tagungsband zur Nachhaltigkeitskonferenz SB 13 Munich. München: 2013

[24] Weickenmeier, N.: Grundlagen der Gestaltung; Stein auf Stein. In: Mauerwerksbau aktuell 2008. Berlin: Bauwerk Verlag 2008

[25] Graubner, C.-A., Schneider, C.: Nachhaltigkeit von Mauerwerksbauten. In: Mauerwerksbau aktuell 2010. Berlin: Bauwerk Verlag 2010

[26] BMVBS [Hrsg.]: Deutsche Baustoffdatenbank Ökobau.dat 2013 (www.nachhaltigesbauen.de)

[27] ARGE//eV: Kostenvergleiche - Studie zum Vergleich verschiedener Bauweisen im Wohnungsbau - Vorteile massiver Bauweisen. Statusbericht 07/2014, Berlin

[28] Kriterienkataloge des DGNB-Systems (www.dgnb.de)

[29] 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

[30] Graubner, C.-A., Schneider, C.: Nachhaltigkeit von Mauerwerksbauten. In: Mauerwerksbau aktuell 2010. Berlin: Bauwerk Verlag 2010

[31] DIN e.V.: DIN 4109 - Schallschutz im Hochbau - Anforderungen und Nachweise, Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin

[32] 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

[33] Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V.: DEGA-Empfehlung 103 - Schallschutz im Wohnungsbau - Schallschutzausweis, Berlin 2009

[34] Kriterienkataloge des BNB-Systems (www.nachhaltigesbauen.de)

[35] Statistisches Bundesamt: Umwelt - Abfallbilanz 2010, Wiesbaden 2012

[36] Bundesverband Baustoffe - Steine und Erden [Hrsg.]: Mineralische Bauabfälle, Monitoring 2010, Berlin 2013

[37] Müller, A. et al.: Aufbaukörnungen - Eine neue thermisch gebundene leichte Gesteinskörnung mit hoher Ressourceneffizienz. In: BFT International 02/2013. Gütersloh: Bauverlag 2013

[38] Forschungsvereinigung Kalk-Sand e.V.: Verwertungsoptionen für rezyklierte Gesteinskörnungen aus Mauerwerk in der Steine- und Erden-Industrie, AiF-Forschungsbericht Nr. 115, Hannover 2013

[39] Forschungsvereinigung Kalk-Sand e.V.: Vegetationssubstrate aus rezyklierten Gesteinskörnungen aus Mauerwerk, AiF-Forschungsbericht Nr. 116, Hannover 2014

[40] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) [Hrsg.]: Zukunft bauen - Das Magazin der Forschungsinitiative Zukunft Bau 2013, Berlin 2012

[41] Graubner, C.-A., Clanget-Hulin, M.: Analyse der Trennbarkeit von Materialschichten hybrider Außenbauteile bei Sanierungs- und Rückbaumaßnahmen. Erstellung einer praxisnahen Datenbank für die Nachhaltigkeitsbeurteilung, Abschlussbericht eines Projekts der Forschungsinitiative Zukunft Bau, Band F 2837, Fraunhofer IRB Verlag

Anhang

Anhang A - Kriterienkatalog System NaWoh

Anhang B - Anforderungsmatrix Kriterium 3.2.4 Vermeidung von Schadstoffen

Anhang C - Ökobilanz-Ergebnisse von Varianten einer massiven Außenwand

Anhang D - Beschreibung und Planungsunterlagen des Vergleichsgebäudes

Anhang E bis H - Ökobilanzergebnisse des Muster-MFH

Anhang I - Ökobilanz Muster-MFH - Bewertungsergebnisse im System NWO12

Anhang A – 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	1
	Treibhauspotenzial	
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	1
	Ausgewählte Kosten im Lebenszyklus	
4.1.2	Werthaltigkeit der Investition	25
	Investitionskosten / Marktwert	

beschreibend		
4.2.1	Langfristige Wertstabilität	30

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

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 B – Anforderungsmatrix Kriterium *3.2.4 Vermeidung von Schadstoffen*, System NaWoh [15]

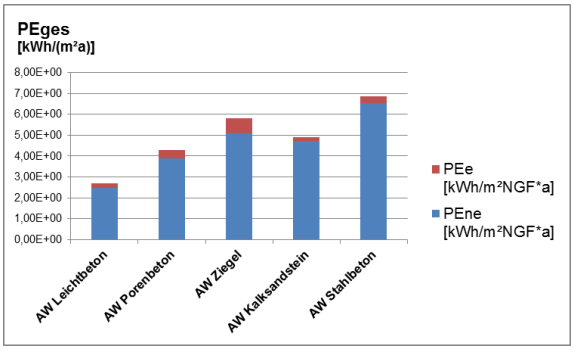
zu beschreibende Merkmale	**Typ III Umweltproduktdeklarationen (EPD) die erforderliche Nachweise enthalten oder ein entsprechendes RAL UZ gelten automatisch als Erfüllungsnachweise. Ansonsten sind äquivalente Herstellernachweise oder Erklärungen vorzulegen. Zu betrachten sind mindestens 80% der Oberflächen.** 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, lösemitttelhaltig, 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-

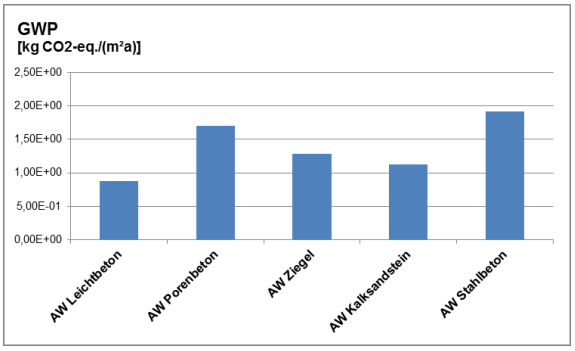
	nem VOC-Gehalt von max. 3 % ☐ Emissions- und lösemittel**frei** ausgewiesene Beschichtungen zur Belegung der **mineralischen** Oberflächen von Wänden, Fußböden, Decken oder Dächern ☐ Chromoxidfreie Oberflächenveredelungen und Beschichtungen bei Aluminium- und Edelstahlbauteilen. Zu betrachten sind Aluminium- 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 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

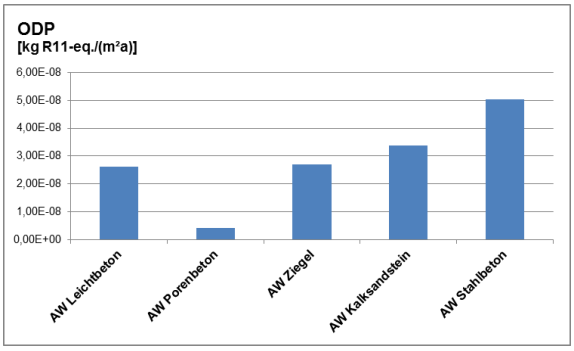
Anhang C – Ökobilanz-Ergebnisse von Varianten einer massiven Außenwand

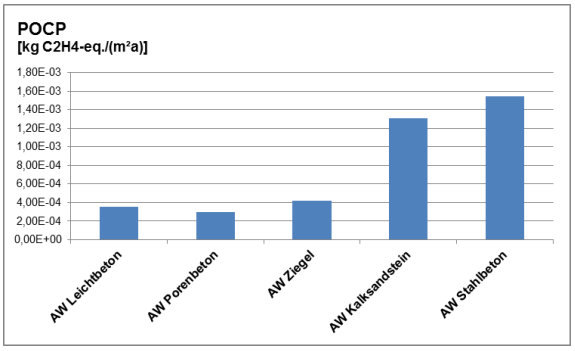
Systemgrenzen und Berechnungsparameter

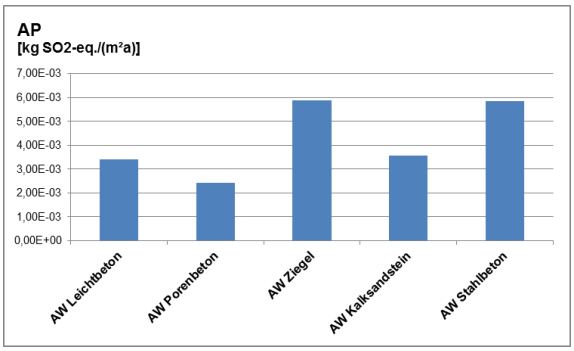
Räumliche Systemgrenze	Bilanzierung einer **Außenwand**
Zeitliche Systemgrenze	Betrachtungszeitraum gemäß System NaWoh: **50 Jahre**
Funktionelle Systemgrenze	Bilanzierung für die Lebenszyklusphase der **Herstellung**
Funktionelle Einheit	1 m² Außenwand vergleichbarer Eigenschaft (Tragfähigkeit, Energetische Qualität, etc.)
Wirkungsindikatoren	_ Ökobilanzielle Indikatoren gemäß System NaWoh (siehe nachfolgende Säulendiagramme) _ Ergebnisse **pro 1 m² Nettogrundfläche und Jahr**

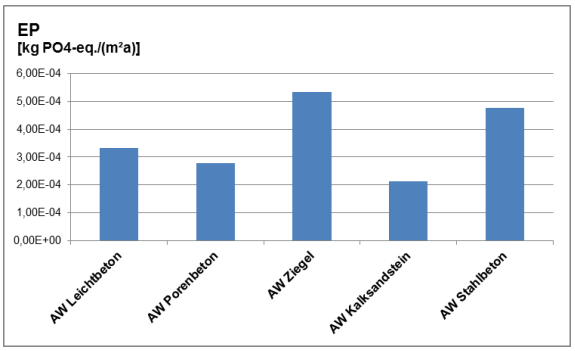












Anhang D – Beschreibung und Planungsunterlagen des Vergleichsgebäudes

Gebäudepass

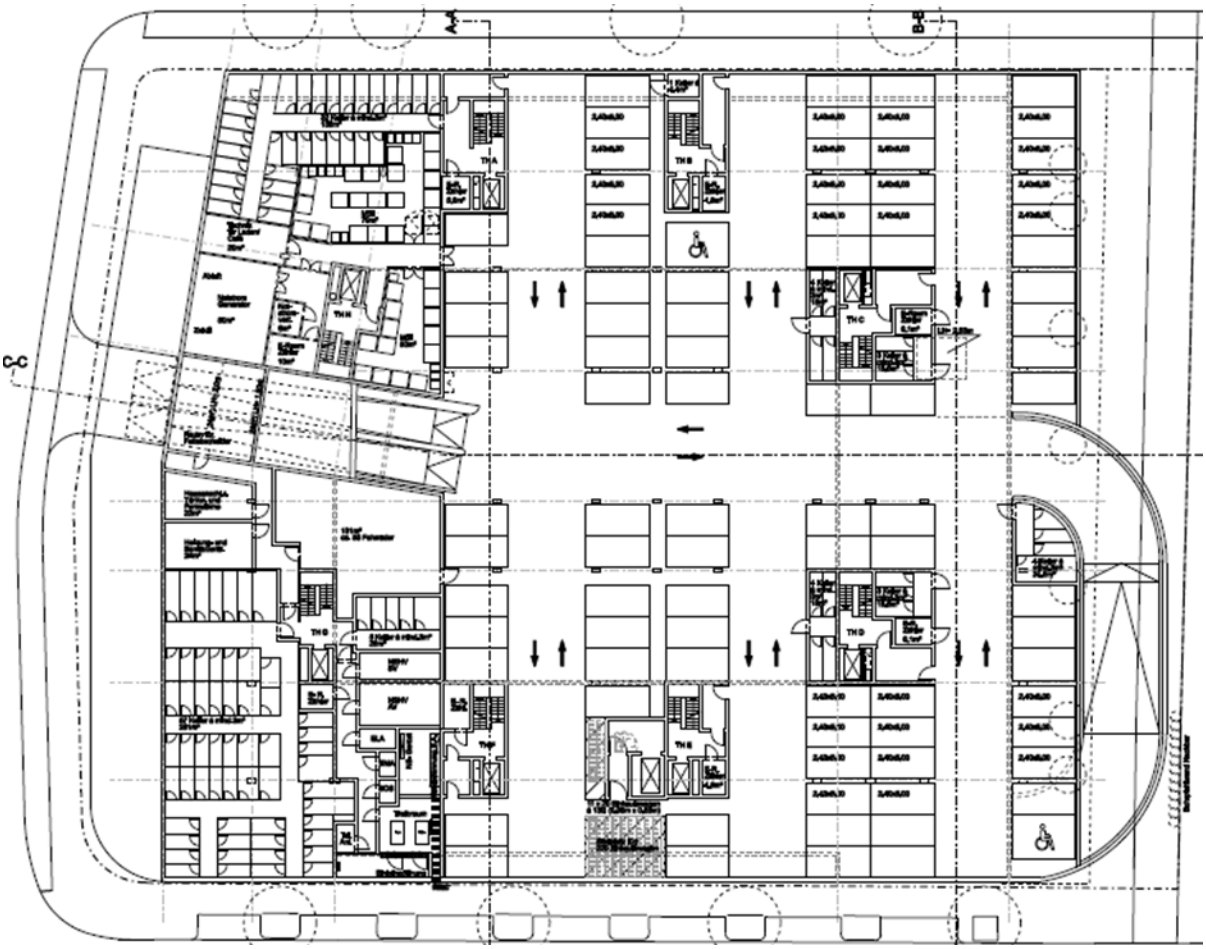
Gebäudetypologie	Mehrfamilienhaus (MFH) mit 147 Wohneinheiten (WE)
Energiestandard	EnEV 2009
Wohnfläche	Ca. 14.500 m² sowie ca. 3.300 m² Gewerbefläche (EG) und ca. 9.100 m² Parkfläche (Tiefgarage im UG)
Geschosse	10 (UG2 bis OG7)
Gründung	Elastisch gebettete Bodenplatte
Baukonstruktion	Außenwände (EG bisOG7) _ Variante 1: Hochlochziegel mit Mineralwoll-Füllung, d = 36,5 cm mit Putzoberfläche außen und innen _Variante 2: Kalksandstein Planstein d = 15 cm mit WDVS (18 cm) und Putzoberfläche außen und innen _ Variante 3: Porenbetonstein d = 42,5 cm mit Putzoberfläche außen und innen _ Variante 4: Leichtbeton-Hohlblock mit Mineralwoll-Füllung, d = 36,5 cm mit Putzoberfläche außen und innen Außenwände (UG) _ alle Varianten: Stahlbeton, d = 20 cm, Perimeterabdichtung Innenwände (EG bis OG7) _ Variante 1: Hochlochziegel d = 17,5 bis 24 cm (tragend) bzw. d = 11,5 cm (trennend) mit Putzoberflächen _ Variante 2: Kalksandstein Planstein d = 15 cm (tragend) bzw. d = 10 bis 11,5 cm (trennend) mit Putzoberflächen _ Variante 3: Porenbetonstein d = 17,5 bis 24 cm (tragend) bzw. d = 11,5 cm (trennend) mit Putzoberflächen _ Variante 4: Leichtbeton-Hohlblock d = 17,5 bis 24 cm (tragend) bzw. -Vollblock d = 11,5 cm (trennend) mit Putz-oberflächen _ alle Varianten: Stahlbetonstützen (UG, EG) sowie Treppenhaus-kerne als Stahlbetonkonstruktion Decken | Dach _ für alle Varianten: Stahlbetondecke, d = 25 bis 34 cm, bekiestes Flachdach Fenster _ Holz-Alu-Fenster (U = 1,05 W/m²K)

Technische Gebäudeausrüstung

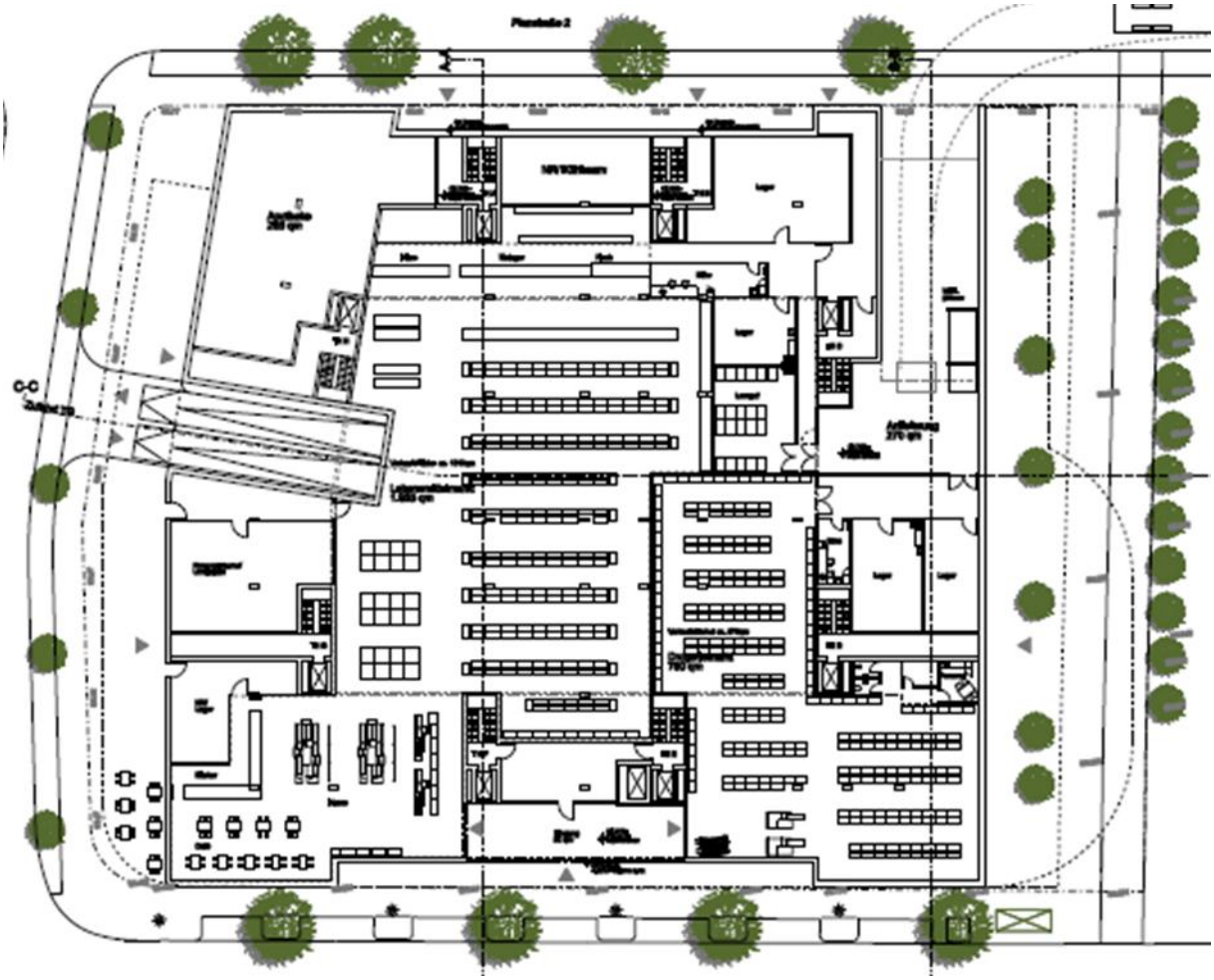
_ Fernwärmeversorgung (Heizung, Warmwasser)
_ Mechanische Lüftung mittels RLT-Anlage (ohne WRG)
_ Außenliegender Sonnenschutz

Ansichten

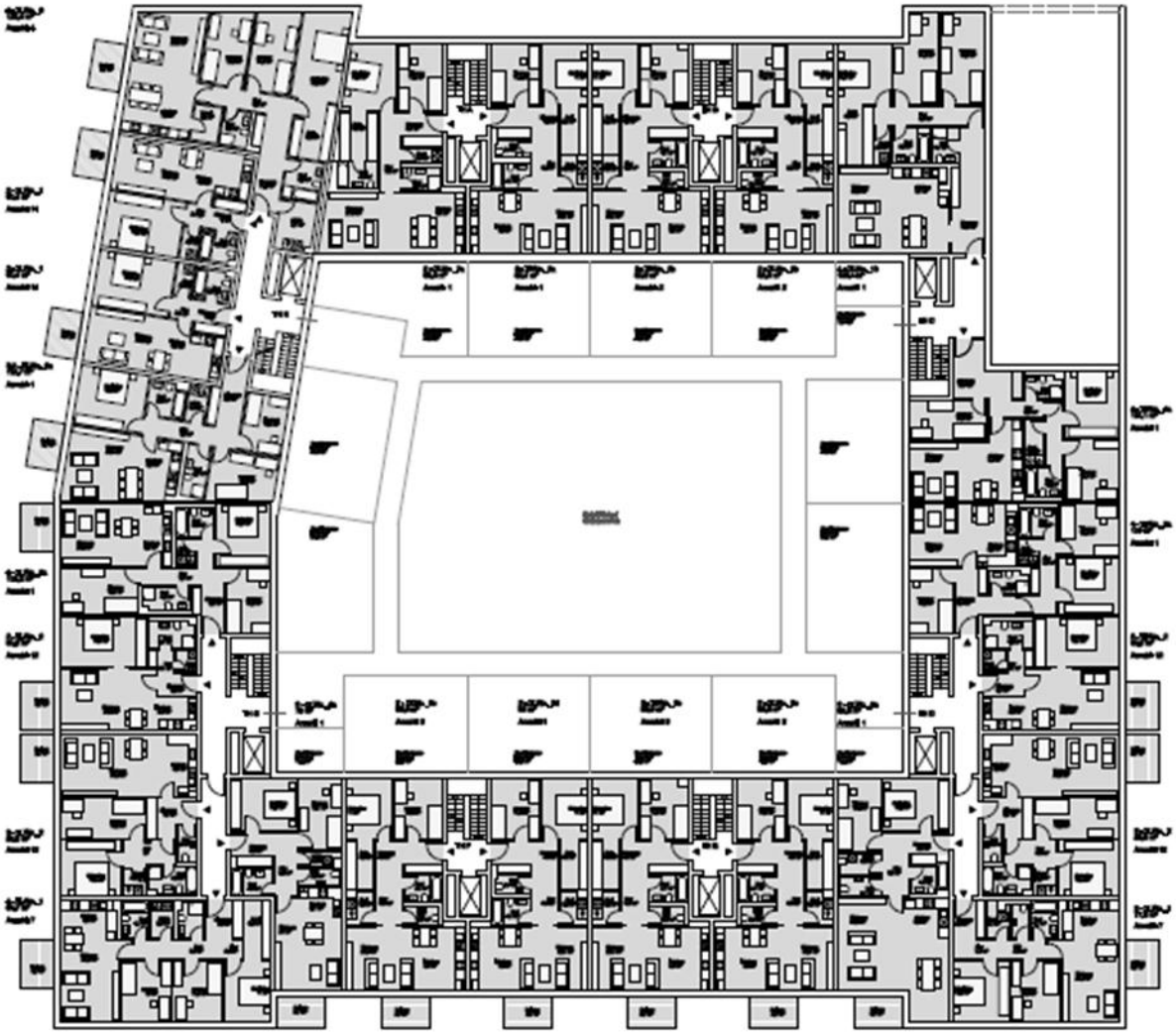
Exemplarisch: Grundriss UG



Grundriss EG



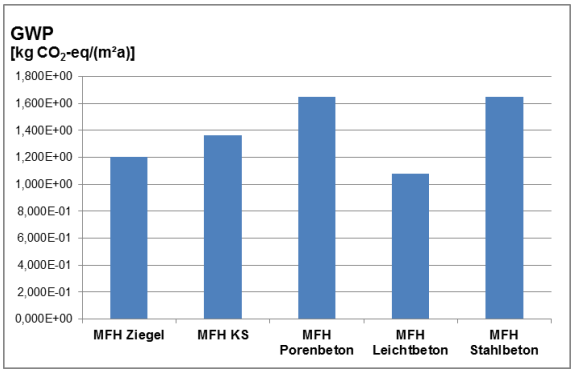
Exemplarisch: Grundriss OG1

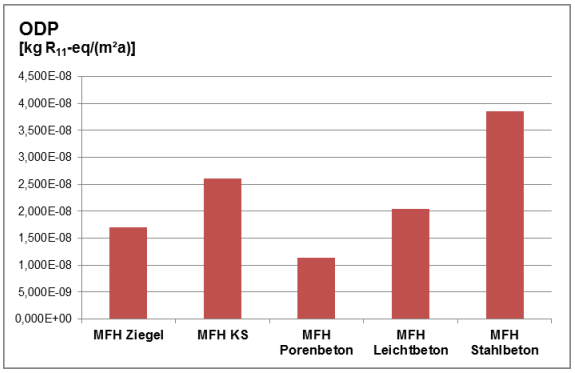


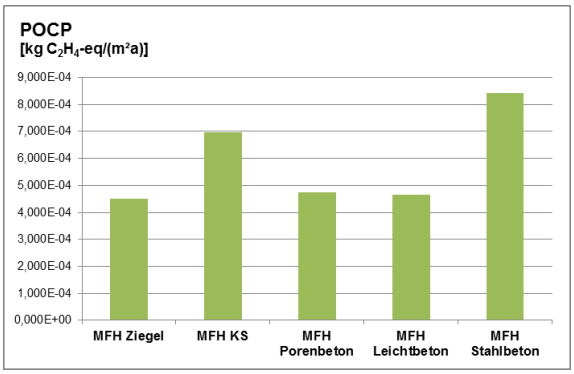
Anhang E – Ökobilanz Muster-MFH – Ergebnisse Konstruktion Wandbauteile | Lebenszyklusphase Herstellung

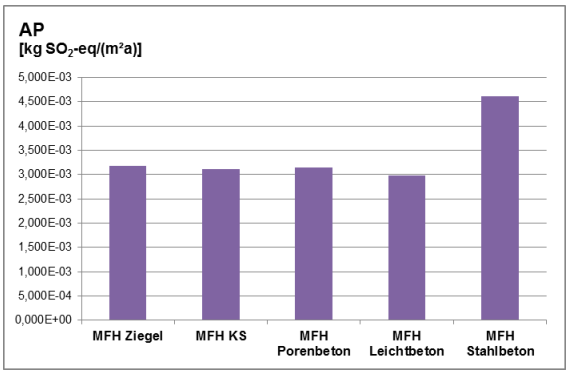
Systemgrenzen und Berechnungsparameter

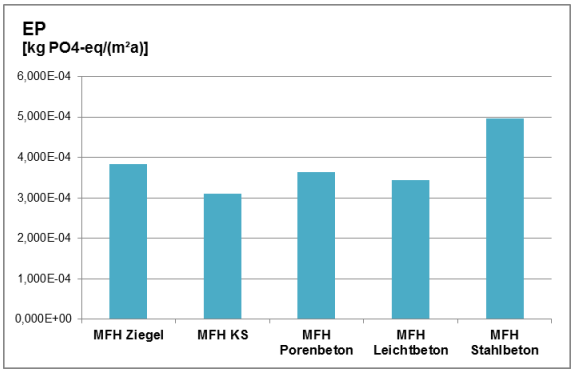
Räumliche Systemgrenze	Bilanzierung aller Wandbauteile, d.h. _ **Außenwände** _ **Innenwände**
Zeitliche Systemgrenze	Betrachtungszeitraum gemäß Bewertungssystem NaWoh: **50 Jahre**
Funktionelle Systemgrenze	Bilanzierung für die Lebenszyklusphase der **Herstellung**
Wirkungsindikatoren	_ Ökobilanzielle Indikatoren gemäß Bewertungssystem NaWoh _ Ergebnisse **pro m² Nettogrundfläche und Jahr**

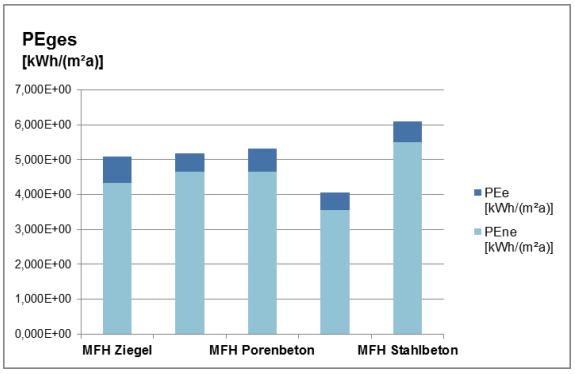








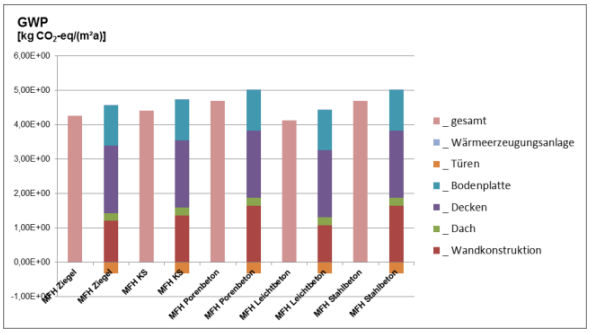


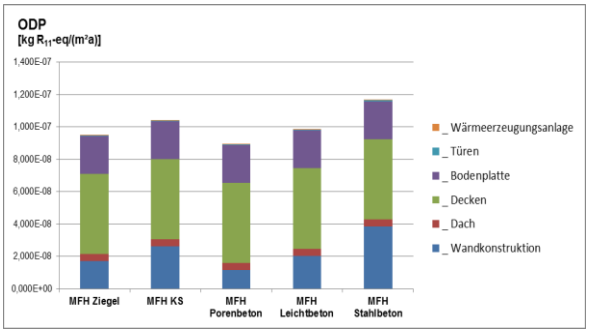


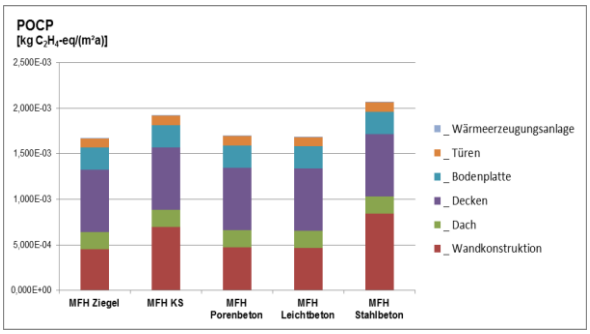
Anhang F – Ökobilanz Muster-MFH – Ergebnisse Konstruktion MFH | Lebenszyklusphase Herstellung

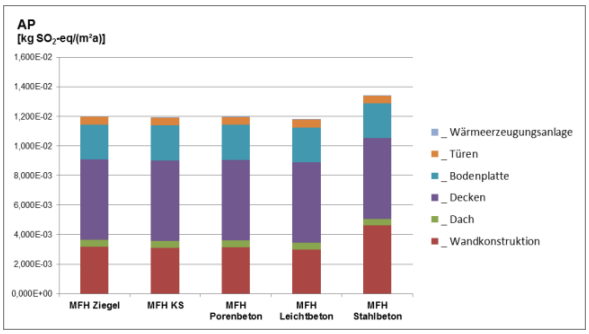
Systemgrenzen und Berechnungsparameter

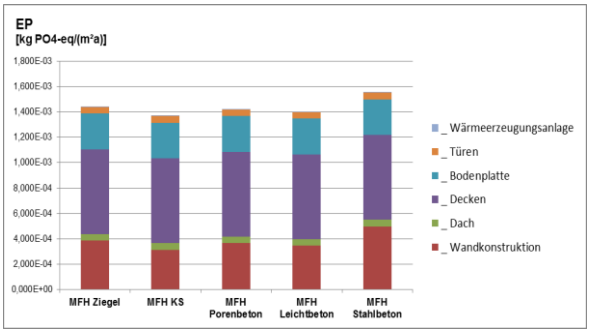
Räumliche Systemgrenze	Bilanzierung **aller konstruktiven Bauteile**
Zeitliche Systemgrenze	Betrachtungszeitraum gemäß Bewertungssystem NaWoh: **50 Jahre**
Funktionelle Systemgrenze	Bilanzierung für die Lebenszyklusphase der **Herstellung**
Wirkungsindikatoren	Analog zu Anhang E

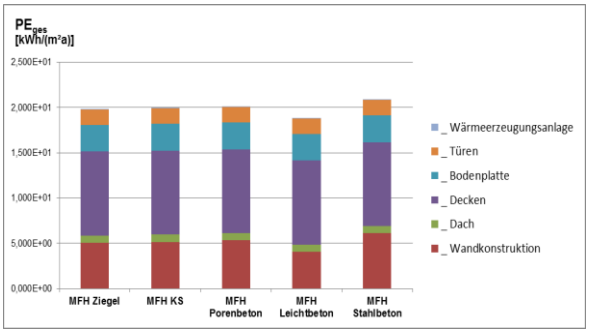








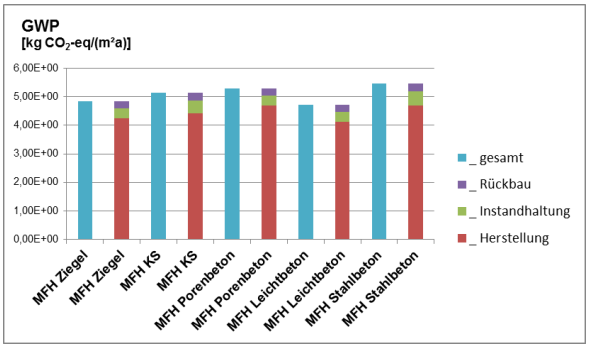


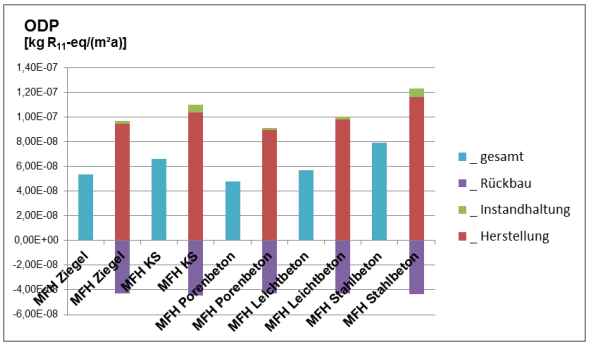


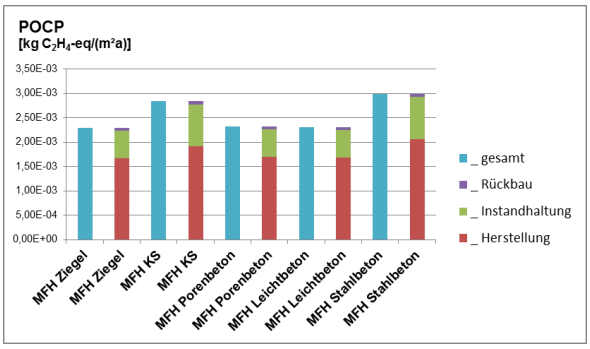
Anhang G – Ökobilanz Muster-MFH – Ergebnisse Konstruktion MFH | Gesamter Lebenszyklus

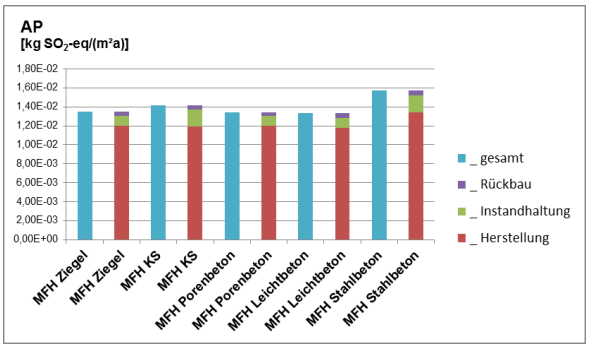
Systemgrenzen und Berechnungsparameter

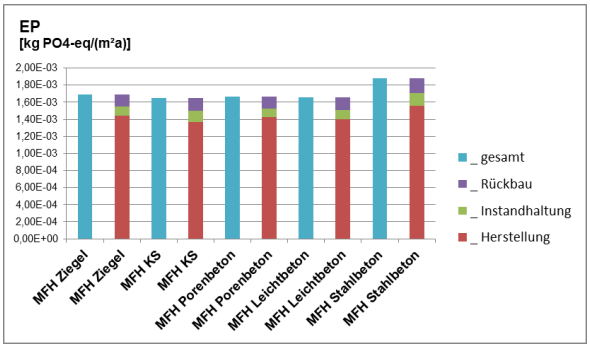
Räumliche Systemgrenze	Bilanzierung **aller konstruktiven Bauteile**
Zeitliche Systemgrenze	Betrachtungszeitraum gemäß Bewertungssystem NaWoh: **50 Jahre**
Funktionelle Systemgrenze	Bilanzierung des **gesamten Lebenszyklus** (Herstellung |Nutzung (Instandh.) | Entsorgung)
Wirkungsindikatoren	Analog zu Anhang E

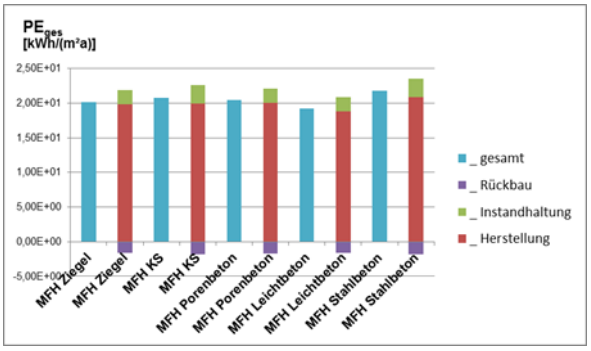








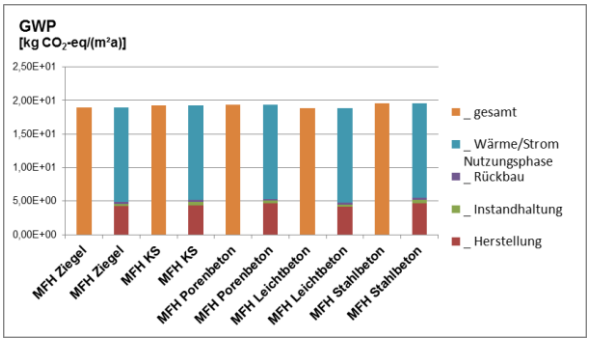


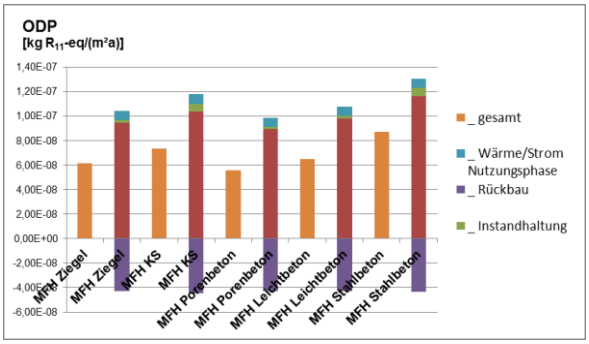


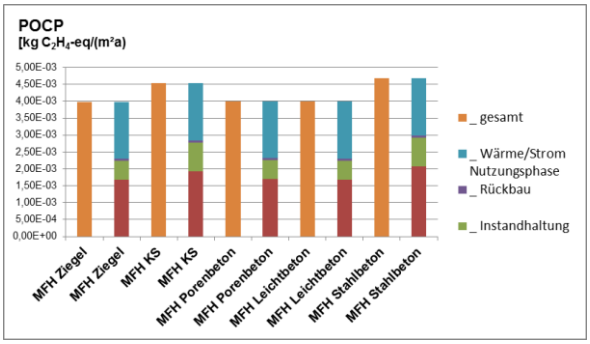
Anhang H – Ökobilanz Muster-MFH – Gesamtergebnisse MFH | Gesamter Lebenszyklus

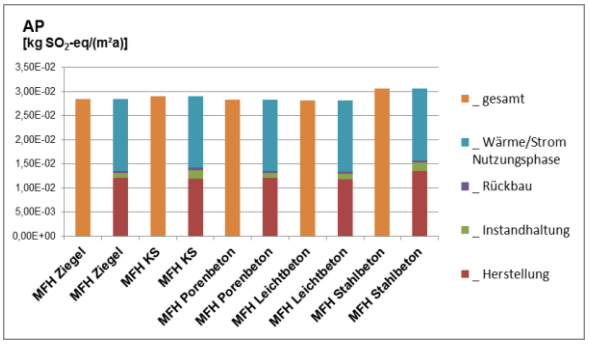
Systemgrenzen und Berechnungsparameter

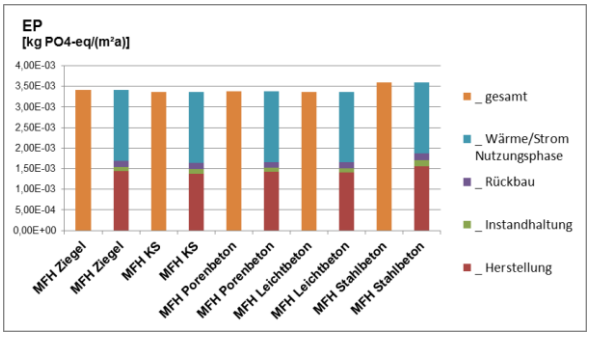
Räumliche Systemgrenze	Bilanzierung **aller konstruktiven Bauteile** sowie des **Wärme-/Strombedarfs** der **Nutzungsphase**
Zeitliche Systemgrenze	Betrachtungszeitraum gemäß Bewertungssystem NaWoh: **50 Jahre**
Funktionelle Systemgrenze	Bilanzierung des **gesamten Lebenszyklus** (Herstellung |Nutzung | Entsorgung)
Wirkungsindikatoren	Analog zu Anhang E

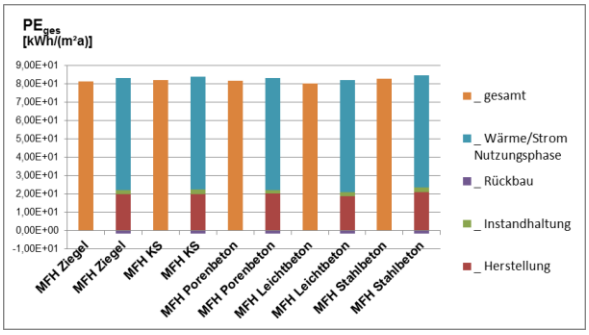








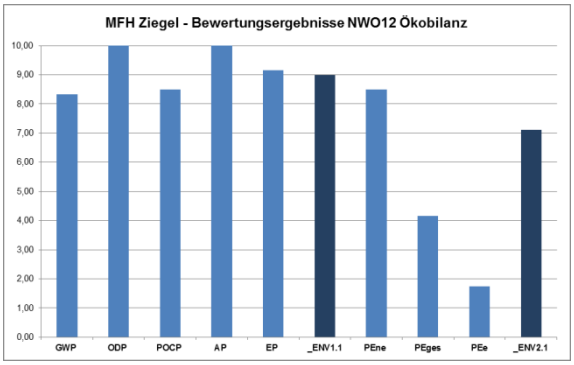


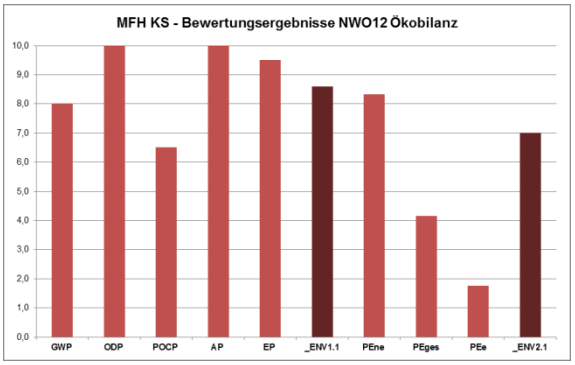


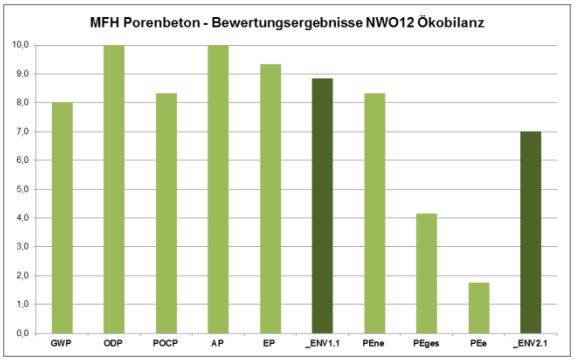
Anhang I – Ökobilanz Muster-MFH – Bewertungsergebnisse im Zertifizierungssystem DGNB NWO12

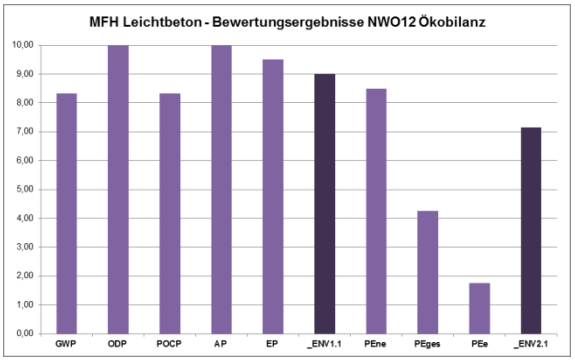
Systemgrenzen und Berechnungsparameter

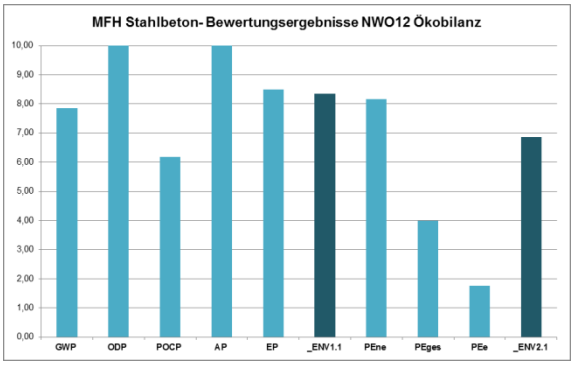
Räumliche Systemgrenze	Bilanzierung **aller konstruktiven Bauteile** sowie des **Wärme-/Strombedarfs** der **Nutzungsphase**
Zeitliche Systemgrenze	Betrachtungszeitraum: **50 Jahre**
Funktionelle Systemgrenze	Bilanzierung des **gesamten Lebenszyklus** (Herstellung |Nutzung | Entsorgung)
Bewertungsmaßstab	_ Grenzwert: 1,0 Bewertungspunkt _ Referenzwert: 5,0 Bewertungspunkte _ Zielwert: 10,0 Bewertungspunkte (**Optimum**)

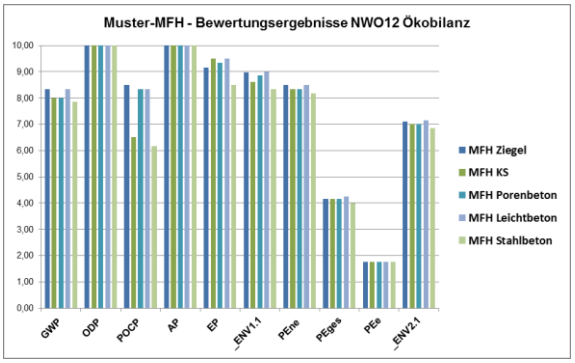












In ENV1.1 werden die Teil-Ergebnisse der Wirkungsindikatoren GWP (40 %) sowie ODP, POCP, AP und EP (je 15 %) gebündelt. Analog bündelt ENV2.1 die Teil-Ergebnisse der primärenergetischen Indikatoren, wobei PE_{ne} mit 60 %, PE_{ges} mit 40 % und der Anteil PE_e mit zusätzlichen 20 % in die Aggregation eingeht.