

Nachhaltigkeit von Ein- und Zweifamilienhäusern 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
Bauingenieurwesen
und Geodäsie

Petersenstr. 12
64287 Darmstadt
Telefon (06151) 16 2144
Telefax (06151) 16 3044
graubner@massivbau.tu-darmstadt.de

Studie

Projekt **Nachhaltigkeit von Ein- und Zweifamilienhäusern 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,
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Sebastian Pohl

Darmstadt, im April 2013

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

Inhaltsverzeichnis

- 1 Motivation und Vorgehensweise
- 2 Nachhaltigkeit - Vision einer resilienten Zukunft
- 3 Das Bauwesen - Schlüsselbranche einer nachhaltigen Entwicklung
- 4 Rohstoffe - Die 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 Geschlossener Kreislauf - End of Life als Startpunkt eines neuen Lebenszyklus
- 9 Zusammenfassung - Ganzheitliche Nachhaltigkeitsbilanz

Literaturverzeichnis

Anhang

1 Motivation und Vorgehensweise

Eine Einführung in die Begrifflichkeit und den Ansatz der Nachhaltigkeit ist Teil der Kapitel 2 und 3.

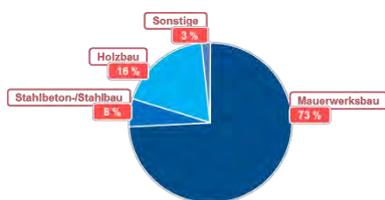


Abb. 1: Marktanteile des Mauerwerks im Wohnungsbau - Anteil am umbauten Raum [1]

Die Ausweitung auf Mehrfamilienhäuser erfolgt in einer späteren Fortsetzung der Studie.

Ein wichtiger Nachhaltigkeitsaspekt von Wohngebäuden ist ihr sommerlicher Wärmeschutz. Dieser wird auch in den deutschen Nachhaltigkeitszertifizierungssystemen adressiert. Bei der Beurteilung von Ein- und Zweifamilienhäusern aus Mauerwerk auf ihre Qualität hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes kann sodann auch eine Einschätzung zur absehbaren Bewertung im Rahmen einer Zertifizierung erfolgen.

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.

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

Ganzheitliche lebenszyklusorientierte Perspektive

Die Analysen der Studie fokussieren in einem ersten Schritt auf Ein- und Zweifamilienhäuser und nehmen dabei eine ganzheitliche, den kompletten Lebenszyklus umfassende Perspektive ein. Am Fachgebiet Massivbau wurden bereits verschiedene Untersuchungen zu Teilaspekten der Nachhaltigkeitsqualität von Gebäuden aus Mauerwerk durchgeführt [2][3][4].

Die aktuelle Studie setzt auf den vorliegenden Erkenntnissen auf und weitet den Betrachtungsrahmen aus, indem sie sowohl qualitative als auch quantitative Aspekte aller *drei klassischen Nachhaltigkeitsqualitäten Ökologie, Ökonomie und Soziokultur/Funktionalität* sowie die bauspezifischen *Querschnittsqualitäten Technik und Prozesse* (der Planung und Bauausführung) berücksichtigt. Sofern der in der Studie jeweils betrachtete Nachhaltigkeitsaspekt von Ein- und Zweifamilienhäusern im Bewertungsregime von Zertifizierungssystemen adressiert wird, erfolgt parallel eine entsprechende bewertungstechnische Einordnung dieses Nachhaltigkeitsaspekts.

2 Nachhaltigkeit - Vision einer resilienten Zukunft



Abb. 2: Literaturempfehlung

Nachhaltigkeit als originäres Weltkulturerbe: Eine detailreiche Darstellung der Kulturgeschichte des Begriffs gibt [5].

Der Brundtland-Bericht gilt deshalb als so bedeutend für den Nachhaltigkeitsdiskurs, weil mit ihm erstmalig eine ganzheitliche Strategie einer zukunftsfähigen globalen Entwicklung skizziert wurde. Der Brundtland-Bericht gilt als moderne Definition des Nachhaltigkeitsbegriffs.

Nachhaltigkeit als originäres Weltkulturerbe

Wenige Begriffe haben in der Vergangenheit eine solche Durchdringung des gesellschaftlichen Diskurses erreicht wie *Nachhaltigkeit*. Seine Verwendung erscheint heute beinahe inflationär und erzeugt bisweilen den Eindruck, es handle sich um eine inhaltsleere Worthülse und kurzfristige Modeerscheinung. Mit Blick auf die menschliche Entwicklungsgeschichte ist diese Einschätzung unzutreffend, denn der strategische Ansatz hinter dem Begriff Nachhaltigkeit zählt zum originären Weltkulturerbe. In wissenschaftlichen Beiträgen wird oft die europäische Forstwirtschaft des späten 17. Jahrhunderts als begrifflicher Ursprung zitiert, die Ahnenreihe der Nachhaltigkeit reicht jedoch deutlich weiter. Die Grundidee lässt sich in mittelalterlichen Schriften ebenso finden wie in der antiken Philosophie [5].

Gleichwohl ist der Verweis auf die Forstwirtschaft insoweit treffend, als diese eine Blaupause für Situationen darstellt, in denen ein Rückgriff auf die Idee der Nachhaltigkeit erfolgte. Führende europäische Staaten befanden sich Mitte des 17. Jahrhunderts in einer Krise, weil die primäre Ressourcenquelle Holz zu versiegen drohte und damit ihr tragendes wirtschaftliches Fundament ins Wanken geriet. Ein strategisches Umdenken hin zu einer nachhaltigen Bewirtschaftung von Wäldern wurde damals als zentraler Baustein einer dauerhaften Lösung der Ressourcenkrise erachtet.

Der Nachhaltigkeitsansatz heute

In der (post-)industriellen globalen Krisensituation einer zunehmenden Ausbeutung natürlicher Ressourcen und des damit einhergehenden Klimawandels erlebt der Nachhaltigkeitsbegriff seit Ende des 20. Jahrhunderts eine neuerliche Renaissance. Die Studie *Die Grenzen des Wachstums* des Club of Rome und der *Brundtland-Bericht* der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung markieren Meilensteine eines wissenschaftlichen Diskurses über Nachhaltigkeit als ganzheitlichem Ansatz einer resilienten globalen Entwicklung [6][7].

Eine umfassende Darstellung dieses politischen Prozesses der supranationalen und nationalen Operationalisierung findet sich etwa in [8].

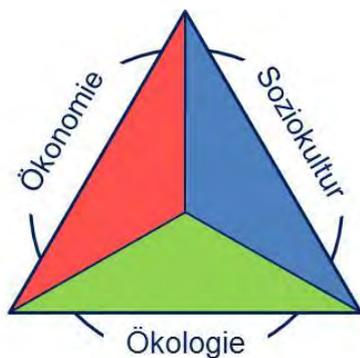


Abb. 3: Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit

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 gebildet aus ökologischen, ökonomischen und soziokulturellen Zielsetzungen. Die *Agenda 21* ist mithin die 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 [8]. Damit hat sich auch Deutschland zu einem strategischen Umdenken unter Berücksichtigung des Lebenszyklusgedankens verpflichtet [9].

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 als Grundfigur und Konkretisierungsstufe des zunächst abstrakten Nachhaltigkeitsansatzes des Brundtland-Berichts etabliert.

3 Das Bauwesen - Schlüsselbranche einer nachhaltigen Entwicklung

Umweltwirkungen der Bau- und Immobilienwirtschaft

In der einleitend erwähnten nationalen Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung kommt dem Bauwesen eine Schlüsselrolle zu. Dieser bau- und immobilienwirtschaftlichen Schwerpunktsetzung liegt die Tatsache und Erkenntnis zugrunde, dass bei der Erstellung von Gebäuden sowie im Verlauf der zeitlich stark ausgedehnten Nutzungsphase und beim Rückbau enorme Ressourcenentnahmen aus und Stoffeinträge in die Umwelt verursacht werden (Abb. 5).

Weitere Nachhaltigkeitskennzahlen werden z.B. in der Umweltökonomischen Gesamtrechnung des Statistischen Bundesamts veröffentlicht [13].



Abb. 5: Umweltwirkungen der Bau- und Immobilienwirtschaft

Die Bau- und Immobilienwirtschaft verantwortet beispielsweise über ein Drittel aller europäischen Energie- und Stoffströme [10]. Außerdem entfällt ein vergleichbarer Anteil der CO₂-Emissionen in Deutschland auf Wohn- und Gewerbeimmobilien [11] und bauwirtschaftliche Abfallfraktionen stehen für über 50% des gesamten deutschen Abfallaufkommens [12].

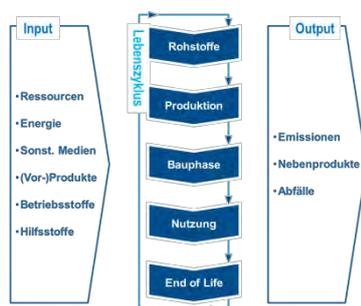


Abb. 4: Lebenszyklusphasen von Bauwerken

Die genannten Beispiele verdeutlichen jedenfalls, dass Gebäude über ihren gesamten *Lebenszyklus* und in jeder Lebenszyklusphase maßgebliche Umweltwirkungen entfalten. Abb. 4 gibt einen schematischen Überblick über die einzelnen Lebenszyklusphasen und deren Energie- und Stoffflüsse. Der für die Umsetzung der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie verantwortliche Staatssekretärausschuss sieht in diesem Sinne eine forcierte lebenszyklusorientierte Betrachtung von Gebäuden unter Einbeziehung ökologischer, ökonomischer und sozialer Aspekte (Drei-Säulen-Modell) als wichtigen Baustein einer nachhaltigen Entwicklung.

Die Systematisierung der Nachhaltigkeitsbetrachtung von Gebäuden über deren Lebenszyklus macht es

erforderlich, Nachhaltigkeit als abstrakte Begrifflichkeit transparent und messbar zu machen. Das heißt, das Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit muss weiter konkretisiert und auf Gebäudeebene objektiviert werden [14].

Meilenstein Deutsche Zertifizierungssysteme

Speziell für die deutsche Bau- und Immobilienwirtschaft wurde mit der Entwicklung des *Deutschen Gütesiegels Nachhaltiges Bauen (DGNB)* die grundlegende Voraussetzung dazu geschaffen. Das Deutsche Gütesiegel stellt eine ganzheitliche - lebenszyklusbasierte und mehrdimensionale - Weiterentwicklung internationaler Nachhaltigkeitsbewertungssysteme 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. 6).

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. 6: Bewertungsmethodik des DGNB-Systems [15]

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 Nachhaltigkeitszertifizierung von Gebäuden. Beide Systeme wurden 2008 als *gemeinsames Basissystem* entwickelt.

Bereits seit den 1990er Jahren gibt es die internationalen Systeme BREEAM und LEED. Allerdings sind beide durch eine ökologische Fokussierung gekennzeichnet und entsprechen nicht dem Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit. Sie gelten daher als reine Green-Building-Systeme [14][16].

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

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 [16]. Mittlerweile geht ihr Portfolio an *Systemvarianten* weit über die ursprünglich abbildbare Typologie Büro- und Verwaltung hinaus. Heute können alle wichtigen Gebäudetypologien bewertet werden, wobei für Wohngebäude auch das System **NaWoh** (Nachhaltigkeit im Wohnungsbau) anwendbar ist (Tab. 1).

| Gebäudetypologien für Neubauten | DGNB | BNB | 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

Einleitend wurde beschrieben, dass diese Studie die Nachhaltigkeitsqualität von *Ein- und Zwei-Familienhäusern* aus Mauerwerk *lebenszyklusorientiert* analysieren und betrachtete Nachhaltigkeitsaspekte dabei situativ auch ins Bewertungsregime eines Zertifizierungssystems einordnen soll.

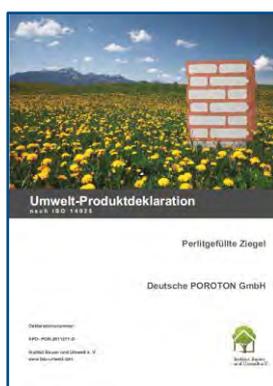
Die DGNB-Systemvariante Neubau Kleine Wohngebäude in der (Erst-)Version 2012 befindet sich aktuell in der Pilotphase. Der zugehörige Kriterienkatalog kann Anhang A entnommen werden [17].

In diesem Kontext ist aus Tab. 1 lediglich die Systemvariante *Neubau Kleine Wohngebäude (NKW)* relevant und passgenau, weil sie für Wohngebäude mit bis zu sechs Wohneinheiten konzipiert worden ist. Die DGNB-Systemvariante *Neubau Wohngebäude (NWO)* sowie das öffentliche System *NaWoh* sind erst auf Wohngebäude größer sechs Wohneinheiten anwendbar.

4 Rohstoffe - Die Wiege des Lebenszyklus

Vielfalt der Mauersteinarten - Vielfalt an Rohstoffen

Der Mauerwerksbau ist die nach Marktanteilen führende Konstruktionsweise für Wohngebäude in Deutschland. Gleichzeitig ist diese Konstruktionsweise gekennzeichnet durch eine Vielfalt verschiedener Mauersteinarten, die in der Baupraxis zum Einsatz kommen. Die marktbestimmenden Mauersteinarten unterscheiden sich teilweise deutlich in ihrer stofflichen Zusammensetzung. Eine gute Informationsbasis zu den verwendeten Rohstoffen und Vorprodukten der Mauersteinarten bieten sogenannte *Umweltproduktdeklarationen (EPD)* [18], die allgemein öffentlich über das Internet abrufbar sind (Tab. 2).



- Ziegel**
(-22 bis 100 M-%)
- ▶ Ton/Lehm/Mergel
 - ▶ Gesteinsmehl
 - ▶ Porosierungsstoffe (Papier/Sägespäne)
- Option. Kerndämmung**
(-78 bis 0 % M-%)
- ▶ Perlite
 - ▶ Mineralwolle



- Kalksandstein**
- ▶ Sand (65-85 M-%)
 - ▶ Brechsand (0-10 M-%)
 - ▶ Kies (0-45 M-%)
 - ▶ Gesteinsmehl (0-2 M-%)
 - ▶ Branntkalk (5-12 M-%)



- Porenbeton**
- ▶ Sand (60-70 M-%)
 - ▶ Zement (15-30 M-%)
 - ▶ Branntkalk (10-20 M-%)
 - ▶ Porenbetonmehl (5-7 M-%)
 - ▶ Gips/Anhydrit (2-5 M-%)
 - ▶ Aluminium (0,05-0,1 M-%)



- Leichtbeton**
- ▶ Bims (11-77 M-%)
 - ▶ Basaltsplitt (11-80 M-%)
 - ▶ Schaumlava (0-25 M-%)
 - ▶ Zement (8-23 M-%)
 - ▶ Flugasche (bis 1 M-%)
- Ggf. nach Herstellregion**
- ▶ Industrielle Zuschläge, z.B. Blähton (bis ca. 10 M-%)

Tab. 2: Rohstoffe und Vorprodukte 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 [18]. Die in Tab. 2 dargestellten EPDs der marktbestimmenden Mauersteinarten sind über die Homepage des IBU unter www.bau-umwelt.de abrufbar [19][20][21][22].

Unter dem Sammelbegriff *Steine und Erden* werden nicht-metallische, mineralisch-anorganische und mineralisch-organogene Rohstoffe zusammengefasst [23].

Eine umfassende Darstellung zur Rohstoffsituation in Deutschland bietet das Geologische Jahrbuch der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe [24].



Abb. 7: Studien zur Steine- und Erden-Rohstoffen

2009 wurden in Deutschland über 550 Mio. Tonnen an Steine- und Erden-Rohstoffen produziert, ein Großteil davon für die Verwendung in der Bauindustrie [24].

Mauersteine - Bauprodukt aus natürlichen Rohstoffen

Aus der Gegenüberstellung der Zusammensetzung der Mauersteinarten wird deutlich, dass in der Mauerwerksindustrie eine Vielzahl verschiedener Rohstoffe zum Einsatz kommt. Diesen ist gemein, dass es sich als sogenannte Steine und Erden um *natürliche Rohstoffe* handelt.

Steine- und Erden wie beispielsweise Kiese und Sande, Ton oder vulkanische Gesteine (z.B. Bims, Basalt) stellen nicht-regenerative Rohstoffe dar, die sich in geologischen Zeiträumen gebildet haben und nicht durch menschliche Einwirkung erneuerbar sind. Die umfangreichen Steine- und Erden-Rohstoffpotentiale in Deutschland erlauben jedoch auch langfristig eine sichere und ortsnahe Rohstoffversorgung der Mauerwerksindustrie. Diese Verfügbarkeit an Steine- und Erden-Rohstoffen macht Deutschland bei den meisten Rohstoffen zum Selbstversorger [24]. Eine graphische Übersicht zu allen Steine- und Erden-Rohstoffvorkommen der Bundesrepublik Deutschland ist in den Anlagen zu dieser Studie enthalten.

Eine ortsnahe Rohstoffversorgung ist vor allem unter ökologischen Gesichtspunkten von Bedeutung. Die beschriebenen Rohstoffe werden überwiegend im Tagebau gefördert. Dies ist mit enormen Masseströmen verbunden. Insofern ist es unter Nachhaltigkeitsaspekten sehr vorteilhaft, dass die Produktionsstandorte der Mauersteinhersteller in der Regel in unmittelbarer Nähe zur Lagerstätte der Rohstoffe liegen. Dadurch werden energie- und emissionsintensive Transporte minimiert. Die Graphik in Abb. 8 zeigt für die Mauersteinarten Ziegel, Kalksandstein, Poren- sowie Leichtbeton eine geographische Auswahl zu Förderstätten von Steine- und Erden-Rohstoffen und der Ansiedlung von Produktionsstandorten für Mauerwerk in direkter Umgebung.

Abbaugelände für Steine- und Erden-Rohstoffe werden nicht auf Dauer in Anspruch genommen, sondern mit Ende des Rohstoffabbaus durch gesetzlich vorgeschriebene Rekultivierungs- oder Renaturierungsmaßnahmen an Gesellschaft und Natur zurückgegeben.



Abb. 8: Förderstätten und Produktionsstandorte für Mauerwerk in Deutschland (Auswahl)

Beispiel Leichtbeton - Ein wesentlicher Teil der deutschen Rohstoffvorkommen an vulkanischem Gestein lagert im sogenannten *Neuwieder Becken* in der Region Koblenz (vgl. Anlage F sowie [23][24]). Hier hat sich eine Vielzahl von Herstellern von Leichtbetonmauersteinen angesiedelt oder zu Herstellerverbänden zusammengeschlossen. Die Entfernungen von der Rohstofflagerstätte zum Herstellerwerk betragen daher selten mehr als 20 Kilometer und die entsprechenden Transporte verursachen nur geringfügige Umweltwirkungen (z.B. Treibhauspotential in kg CO₂-Potential). Dies wird u.a. in den Umweltproduktdeklarationen der Mauersteine aus Leichtbeton dokumentiert [22].

Diese Feststellung gilt im Übrigen auch für die anderen marktbestimmenden Mauersteinarten Ziegel, Kalksandstein und Porenbeton [19][20][21].

Die Rohstoffgewinnung für die Mauerwerksindustrie ist daher grundsätzlich nicht mit einer direkten Zerstörung von Umwelt und Natur verbunden. Dieser wichtige Aspekt der Folgenutzung von Rohstoffgewinnungsflächen bleibt bei der Nachhaltigkeitsuntersuchung von Bau- und Konstruktionsmaterialien häufig unberücksichtigt, insbesondere bei der Diskussion um nachwachsende Rohstoffe wie beispielsweise Holz. Solche Rohstoffe können die Vorteile ihrer Regenerierbarkeit nur dann tatsächlich und dauerhaft realisieren, wenn die Bewirtschaftung der Gewinnungsflächen bzw. Nutzung der Ressource nachhaltig erfolgt. Wenn also über einen bestimmten Zeitraum nur so viel der Ressource verbraucht wird, wie im selben Zeitraum auch nachwachsen kann. Aus eben diesem Grund fragt beispielsweise das DGNB-System im Rahmen seiner Kriterien zur Bewertung der Ressourcenverwendung explizit nach der Herkunft verwendeter Holzwerkstoffe aus nachhaltiger Waldwirtschaft.

Bindemittel als notwendige industrielle Vorprodukte

Über die beschriebenen natürlichen Rohstoffe hinaus bestehen Mauersteine je nach Steinart auch aus verschiedenen industriellen Vorprodukten. Eine wichtige Gruppe dieser Vorprodukte stellen *Bindemittel* dar, die die Bildung des *Kunststeins Mauerwerk* erst ermöglichen und für die Festigkeit der Mauersteine mitverantwortlich sind (Tab. 3).



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

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

In Mauersteinen werden - mit Ausnahme der Mauersteinart Ziegel - als hydraulische Bindemittel Branntkalk und/oder Zement eingesetzt.

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 Hersteller optimieren ihre Mauersteine deshalb kontinuierlich hinsichtlich des Gehalts an industriellen Bindemitteln. Eine wichtige Strategie ist dabei deren Substitution durch industrielle Abfall- bzw. 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, wie Abb. 9 anhand eines Praxisbeispiels zeigt.

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 notwendige Vorprodukte wie etwa Blähton als industrieller Zuschlagsstoff werden künftig zunehmend Substitute mit reduzierten Umweltwirkungen verfügbar sein, die z.B. aus dem Recycling von Mauerwerksabfällen stammen. Im Übrigen haben andere industrielle Vorprodukte wie Aluminium als Porsierungsstoff nur vernachlässigbar kleine Massenanteile und stammen oftmals ebenfalls aus Recyclingprozessen.

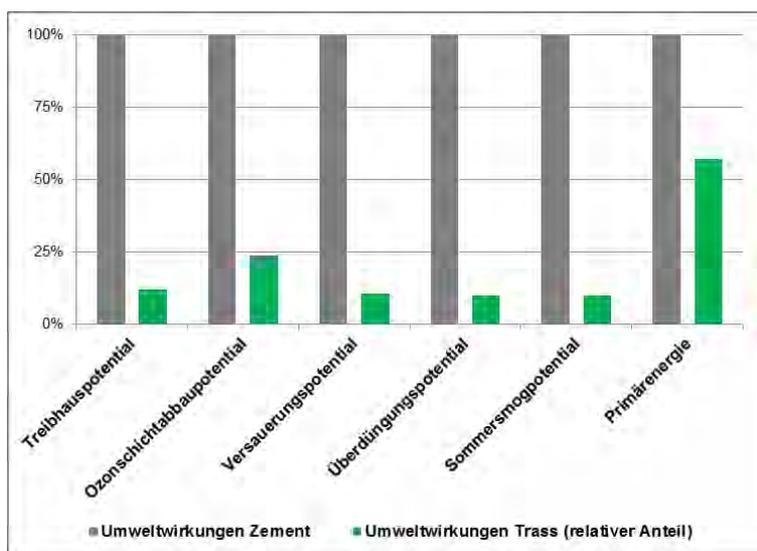


Abb. 9 zeigt die Umweltwirkungen eines durchschnittlichen Zements [25] und von Trass [26] für die Lebenszyklusphase der Herstellung als relativen Anteil bezogen auf die Umweltwirkungen des Zements.

Es wird deutlich, dass bei den überwiegenden Wirkungsindikatoren die Umweltwirkungen des Trass nur einen Bruchteil der Wirkungen eines durchschnittlichen Zements betragen und insbesondere des Weiteren nur die Hälfte der Primärenergie aufgewendet werden muss.

Abb. 9: Umweltwirkungen von Zement und Trass

Bewertungstechnische Abbildung der Rohstoffe

Im Kontext einer Nachhaltigkeitszertifizierung von Ein- und Zweifamilienhäusern aus Mauerwerk und mit Blick auf den Kriterienkatalog des relevanten DGNB-Bewertungssystems 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. 10 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 [27].



Abb. 10: 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 Mauersteine.

Mittlerweile gibt es eine große Vielzahl von EPDs für alle marktbestimmenden Mauersteinarten und verschiedene Herstellerunternehmen bzw. Herstellerverbände. Weitere EPDs befinden sich derzeit in Erstellung (Tab. 4).

| 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 |
| Leichtbeton Mauersteine | EPD-BVL-2008111-D | BV Leichtbeton e.V. |
| Mauersteine aus Leichtbeton aus natürlichen Zuschlägen | In Erstellung | BV Leichtbeton e.V. |
| Mauersteine aus Leichtbeton aus natürlichen Zuschlägen mit Trass | In Erstellung | BV Leichtbeton e.V. |

Tab. 4: EPDs für Mauersteine im EPD-Programm des IBU

Herstellprozess: Mischen - Formgebung - Aushärtung

Der Herstellprozess verläuft über die betrachteten Mauersteinarten hinweg in grundsätzlich ähnlicher Weise ab (Abb. 11). Zunächst werden die beschriebenen Rohstoffe und Vorprodukte gemäß Rezeptur der jeweiligen Steinart und -spezifikation dosiert und ggf. unter Zugabe von Wasser gemischt. Die entstehende Rohmasse der Mauersteine wird sodann einer Formgebung unterzogen, deren spezifische Technik in Abhängigkeit zu den Fließeigenschaften der Rohmasse steht.

So wird die zähe Rohmasse von Ziegel- oder Kalksandsteinen in Form gepresst, während Porenbeton- oder Leichtbetonsteine ihre Form durch das Gießen in eine Schalung erhalten.

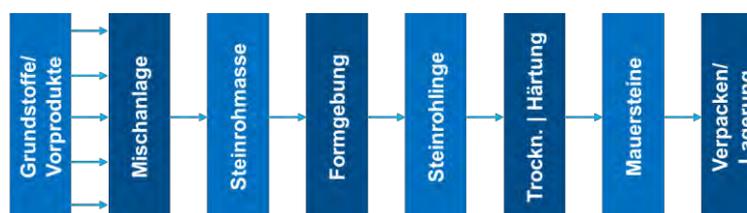


Abb. 11: Schematische Darstellung des Herstellprozesses

Abschließend müssen die Steinrohlinge getrocknet und/oder gehärtet werden. Dazu werden Ziegel beispielsweise nach einer ersten Trocknung in Tunnelöfen gebrannt, wohingegen Kalksand- oder Porenbetonsteine in Autoklaven unter hohem Druck ihre Festigkeit erhalten. Leichtbetonsteine werden lediglich in Regallagern getrocknet [19][20][21][22].

Umwelt- und Gesundheitsschutz in der Produktion

EPDs enthalten neben einer ökobilanziellen Erfassung der Herstellprozesse als Kernelement ferner auch weitere Informationen zur Produktionsphase, die zwar nicht ökobilanziell, das heißt quantitativ mittels Wirkungsindikatoren erfasst werden können, aber trotzdem eine hohe Relevanz für den Umwelt- und Gesundheitsschutz haben [18].

Dazu zählt einerseits, dass bei der Herstellung aller marktbestimmenden Mauersteinarten geschlossene Stoffkreisläufe realisiert werden. Dies gilt erstens für die Nutzung der Ressource Wasser. So werden Produktionsabwässer z.B. aus der Reinigung von Mischanlagen und Steinpressen bzw. -schalungen oder das Kondensat aus Autoklaven gesammelt und für den erneuten Einsatz als Produktions- oder sonstiges Brauchwasser aufbereitet und wiederverwendet. Zweitens fallen bei der Steinherstellung in der Regel keine Produktionsabfälle an. Etwaige im Teilprozess der Formgebung entstehende Rest-Rohstoffmassen gelangen direkt zurück in den Formgebungsprozess, bereits erhärteter Produktionsausschuss bzw. Trockenbruch wird zerkleinert in den Prozess der Rohmassenherstellung zurückgeführt.

Andererseits spielt der Gesundheitsschutz im Rahmen der Produktionsphase eine wichtige Rolle in den Herstellerwerken, um deren Mitarbeiter vor Emissionen wie (Fein-)Stäuben, Lärm oder Abgasen adäquat zu schützen. Entsprechende Maßnahmen sind hier die Befuchtung von Rohmateriallagerflächen und zugehörigen Fahrwegen, die Einhausung von staub- und/oder lärmintensiven Anlagen oder der Einbau von Absaugungs- bzw. Filteranlagen [28][29][30]. In vielen Herstellerwerken werden diese und weitere Umwelt- und Gesundheitsschutzaspekte in Qualitäts- und/oder Umweltschutzmanagementsysteme integriert.

Regionalität der Branche - Dichtes Herstellernetzwerk

Die deutsche Mauerwerksindustrie verfügt über eine starke regionale Prägung, da sich die produzierenden Werke in der Regel in unmittelbarer Nähe zu den Abbaugebieten der Rohstoffvorkommen befinden. Gleichzeitig liegen diese Vorkommen je nach Rohstoff in unterschiedlichen Regionen des Landes.

Einen Überblick über die Rohstoffsituation für Steine und Erden geben Abb. 8 sowie die Anhänge B bis F.

Daraus resultiert im gesamtdeutschen Kontext ein sehr dichtes Netzwerk an Herstellern von Mauersteinen (Abb. 12) verbunden mit einer unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten vorteilhaften Begrenzung erforderlicher Transportwege von Herstellerwerk zu potentiellen Baustellen von Ein- oder Zweifamilienhäusern.



Abb. 12: Netzwerk von Herstellerwerken für Mauerwerk

Bewertungstechnische Abbildung der Produktion

Mit Blick auf die Herstellung von Mauersteinen spielen für die bewertungstechnische Abbildung im relevanten Zertifizierungssystem 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.

Jedoch gilt auch hier, dass das relevante Zertifizierungssystem keine Anforderungswerte für die Umweltwirkungen der Produktionsphase vorhält. 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

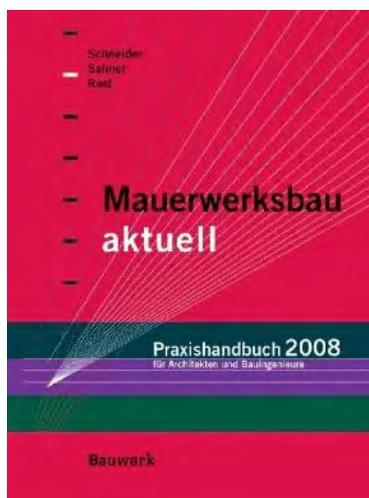


Abb. 13: Literaturempfehlung
Zur historischen Entwicklung
siehe Weickenmeier [31].

Die Bau- und Konstruktionsweise Mauerwerk

Mauerwerk aus natürlichen oder künstlichen Steinen gehört zu den ältesten Bauweisen überhaupt und weist eine mehrtausendjährige geschichtliche Entwicklung auf [31]. 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 [32]. Dementsprechend stellen Bauteile aus Mauerwerk einen wichtigen, aber abgegrenzten Bereich der Gesamtkonstruktion eines Ein- oder Zweifamilienhauses dar. Die einzelnen Mauersteine der genannten vertikalen Bauteile werden *im Verband verlegt* und dabei mit Mörtel untereinander verbunden.

Optimierte Verarbeitungstechnik von Mauersteinen

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.



Abb. 14: 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.

Zu Recyclingpotentialen von Mauersteinen siehe Kapitel 8. Bei Ausführung entstehende *Staub- und Lärmemissionen* können durch eine entsprechende Ausgestaltung der Bauprozesse auf ein Mindestmaß reduziert werden.

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

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 - nach entsprechender Zerkleinerung - direkt in den Produktionsprozess der Mauersteinherstellung zurückgeführt wird.

Bewertungstechnische Abbildung der Erstellungsphase

Im Rahmen der vorstehenden Kapitel zu den Rohstoffen und der Produktion von Mauersteinen wurde bereits ausgeführt, dass die ökobilanzielle Analyse ein zentraler Bewertungsbestandteil der Nachhaltigkeitszertifizierung auch von Ein- und Zweifamilienhäusern 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.

Bewertungsaspekt *Risiken für die lokale Umwelt*

In der Nachhaltigkeitsbeurteilung von Ein- und Zweifamilienhäusern spielen zudem *Risiken für die lokale Umwelt* - z.B. für die Gebäudenutzer - eine wesentliche Rolle. Vom gleichnamigen Kriterium des relevanten Nutzungsprofils *Neubau Kleine Wohngebäude* in der Version 2012 (NKW12) wird 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. Dabei werden insbesondere (teil-)halogenierte Treib- und Kältemittel, Schwermetalle sowie organische Lösungsmittel und Weichmacher betrachtet.

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 G der Studie dargestellt.

Alle für die Bewertung bzw. die Einhaltung der Qualitätsanforderungen des Kriteriums relevanten Bauteile und -materialien werden mittels einer Kriterienmatrix (Abb. 15) dargestellt.

ANLAGE 1

Kriterienmatrix

| RELEVANTE BAUTEILE / BAUMATERIALIEN / FLÄCHEN | BEREICH | BETRACHTETE STOFFE/ ASPEKTE | BEZUGSNORM | QUALITÄTS- STUFE 1 | QUALITÄTS- STUFE 2 | QUALITÄTS- STUFE 3 | QUALITÄTS- STUFE 4 | |
|---|---|---|------------|-----------------------------------|---|---|---|---|
| Wo gilt das dezidiert? | Produkttyp | Erfäuterung | Definition | Grenzwert – 10 CLP | Referenz – 50 CLP | Teilziel – 75 CLP | Zielwert – 100 CLP | |
| <small>Für alle in Folgenden aufgeführten Normen, Bezüge, Prüfverfahren, etc. wird auch ein rechtsverbindlicher Nachweis der Gleichwertigkeit in Bezug auf den betrachteten Stoff oder Aspekt (Spalte A) anerkannt.</small> | | | | | | | | |
| 1 | Beschichtungen auf nicht mineralischen Untergründen: Metalle, Holz, Kunststoffe | Gemeint sind flüssige Beschichtungsmittel: Dekorative Lacke/Lasuren mit Grundbeschichtungen. Ausgenommen sind Effektschichtungen (z.B. Metalllacke) | VOC | VOC-Definition nach RL 2004/42/EG | < 300 g/l - Kategorie D nach RL 2004/42/EG | Wasserverdünnbare Produkte gemäß aktueller Decopaint-RL | < 100 g/l oder RAL-UZ 12a | RAL-UZ 12a oder gleichwertig |
| 2 | Beschichtungen auf überwiegend mineralischen Untergründen wie z.B. Beton, Mauerwerk, Mörtel und Spachtel (auch Dispersionspachtel), Putzen sowie Tapeten, Vliese, Gipskartonplatten etc. Nicht betrachtet werden Bodenflächen und Verkehrswege wie Tiefgaragen, Zufahrten, etc. | Gemeint sind dekorative Farben, dekorative Spachtelmassen (inkl. Q-Spachtel), staubbindende Beschichtungen, Grundbeschichtungen (z.B. Tiefengrund), Bodenbeschichtungen ohne spezielle Beständigkeitsanforderungen, Betonschutzbeschichtungen | VOC | VOC-Definition nach RL 2004/42/EG | Wasserverdünnbare Produkte gemäß aktueller Decopaint-RL | < 30 g/l | lösemittelfrei und weichmachertfrei nach VdL-RL01 oder RAL-UZ 102 | lösemittelfrei und weichmachertfrei nach VdL-RL01 oder RAL-UZ 102 |

Abb. 15: Kriterienmatrix des Kriteriums *Risiken für die lokale Umwelt* (Auszug) [17]

Das Kriterium *Risiken für die lokale Umwelt* prüft anhand der in Abb. 15 dargestellten Kriterienmatrix die Einhaltung spezifischer Anforderungen an unterschiedlichste Baumaterialien und -produkte. Je nach Qualitätsstufe werden dabei unterschiedlich strenge Anforderungen an die entsprechenden Materialien gestellt, deren Einhaltung über Produkt-, technische oder Sicherheitsdatenblätter oder Umweltproduktdeklarationen nachzuweisen ist.

Massive Bauteile aus Mauerwerk haben gegenüber Stahl- oder Holzkonstruktionen den Vorteil, dass sie keine spezifischen materialtechnischen Maßnahmen (Beschichtung, Imprägnierung) zum Schutz vor Korrosion, Feuchte oder Brand erfordern.

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

| Raumluftkonzentration aller untersuchter Räume | | CLP |
|--|--|-----|
| TVOC [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] | Formaldehyd [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] | |
| ≤ 500 | ≤ 60 | 50 |
| ≤ 1000 | ≤ 60 | 25 |
| ≤ 3000 | ≤ 120 | 10 |
| > 3000 | > 120 | 0 |

Tab. 5: Bewertungstabelle für den Indikator Innenraumhygiene [17]

Das Baumaterial Mauerwerk stellt gemäß dieser Kriterienmatrix - über den gesamten Lebenszyklus und insbesondere die Erstellungsphase - grundsätzlich kein Risiko für Umweltmedien oder die Gesundheit von Mensch, Flora und Fauna dar. Auch etwaige Beschichtungsstoffe im Kontext eines gesamthaften Schichtaufbaus konstruktiver Bauteile aus Mauerwerk (Grundierungen, Voranstriche, Spachtelmassen, Anstriche, etc.) können mittlerweile herstellereinspezifisch so beschafft werden, dass die höchsten Anforderungen des Kriteriums (Zielwerte) erfüllt werden.

Insgesamt stellt die Konstruktions- bzw. Bauweise Mauerwerk damit eine wichtige Voraussetzung für eine bestmögliche Bewertung des hier betrachteten Kriteriums im Rahmen der Nachhaltigkeitsbewertung von Ein- und Zweifamilienhäusern sicher.

Bewertung der Innenraumhygiene

Der bereits beschriebene Aspekt der Emittierung von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) durch verwendete Baumaterialien wird zusätzlich auch im Rahmen eines Kriteriums zur Bewertung der *Innenraumhygiene* analysiert.

Zur Ableitung einer Bewertung für den zugehörigen Indikator *Innenraumhygiene - flüchtige organische Verbindungen (VOC)* muss grundsätzlich spätestens vier Wochen nach Fertigstellung eine Bestimmung der VOC-Konzentration der Raumluft inklusive zugehöriger chemischer Analyse auch hinsichtlich des Formaldehyd-Gehalts durchgeführt werden. Je nach festgestellter vorhandener VOC- und Formaldehyd-Konzentration werden dann Bewertungspunkte vergeben (Tab. 5).

Aufgrund seiner Klassifizierung als mineralischer Baustoff bietet Mauerwerk wiederum ideale Voraussetzungen für eine optimale Bewertung dieses Indikators. Diese Voraussetzungen werden prinzipiell auch nicht von den je nach energetischen und/oder innenraumgestalterischen Anforderungen benötigten Ergänzungsmaterialien einer Mauerwerkskonstruktion (z.B. integrierte Kerndämmung, Innenwandfarben, etc.) beeinträchtigt. Die Vielfalt und (ökologische) Qualität am Markt verfügbarer Baumaterialien ermöglicht ohne weiteres die Auswahl entsprechender emissionsarmer Produkte.

7 Die Nutzungsphase - Bedeutung des Faktors *Mensch*

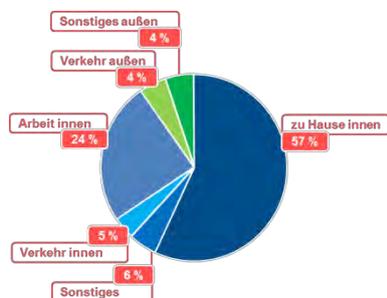


Abb. 16: Aufenthaltszeiten [33]

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

Wohnraum fürs Leben

In wirtschaftlich hoch entwickelten Gesellschaften verbringen Menschen statistisch gesehen je nach Alter bis zu 90 % ihrer Lebenszeit innerhalb von Gebäuden, einen Großteil davon zu Hause [16][33]. Insofern ist es elementar, dass Wohnraum eine Umgebung darstellt, in der ein möglichst hohes Maß an Nutzergesundheit, -behaglichkeit und -zufriedenheit gewährleistet wird.

Komfortbildende soziokulturelle Gebäudemerkmale

Einen wichtigen Beitrag hierzu leistet das Komfortniveau einer Umgebungssituation, das heute üblicherweise durch die gängigen Komfortparameter des *thermischen*, *visuellen* und *akustischen Komforts* sowie der *Innenraumluftqualität* konkretisiert wird.¹

Wie die Nutzer den thermischen Komfort eines Gebäudes bzw. eines Raums empfinden, hängt - neben individuellen Faktoren wie Bekleidung, körperlicher Aktivität oder Gesundheitszustand - im Wesentlichen von den Faktoren operative Temperatur, Zugluft, Strahlungstemperaturasymmetrie und der Luftfeuchte ab. Auch in den deutschen Nachhaltigkeitsbewertungssystemen für Gebäude haben sich diese Indikatoren als Bewertungsgrundlage etabliert (Abb. 17). Von der Konstruktionsweise der gebäudeumhüllenden Bauteile werden die Kriterien *Operative Temperatur* und *Strahlungstemperaturasymmetrie* beeinflusst.²

Gemäß Definition der operativen Temperatur (Abb. 17) genügt eine angemessene Lufttemperatur allein nicht, um behagliche thermische Bedingungen zu gewährleisten. Für eine als behaglich empfundene Raumtemperatur müssen z.B. auch die Außenwände ausreichende Oberflächentemperaturen aufweisen. Diese wiederum werden von den Wärmedämmeigenschaften der Wandkonstruktion bestimmt, zusammengefasst in der Kennzahl des *U-Werts*.

¹ Der visuelle Komfort wird determiniert von Grundrissgestaltung und Dimensionierung der Fensteröffnungen sowie technischen Anlagen wie Blind- und Sonnenschutzsystemen. Er ist unspezifisch hinsichtlich des Konstruktionsmaterials und wird nachfolgend nicht betrachtet.

² Die beiden übrigen Indikatoren weisen primär Abhängigkeiten von und zu der Anlagentechnik, insbesondere raumlufttechnischer Anlagen, auf und sollen hier daher nicht weiter verfolgt werden [17][34].

| | | | |
|---|--|------------------------|------------|
| Neubau Kleine Wohngebäude- Erstanwendungsphase | | Planung und Errichtung | 08/2012 |
| Steckbrief-Nr.: | NKW12-18 | System-Nr.: | Seite 2/ 9 |
| Bezeichnung | Thermischer Komfort im Winter | | |
| Beschreibung der Methode | <p>Für die Beurteilung des thermischen Komforts im Winter wurde eine Checkliste erarbeitet, die unterschiedliche Kriterien abbildet und am Ende eine Gesamtnote ergibt. Im Rahmen der Checkliste werden die folgenden Kriterien beurteilt:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Operative Temperatur (quantitativ) 2. Zugluft (qualitativ) 3. Strahlungstemperaturasymmetrie und Fußbodentemperatur (quantitativ) 4. Relative Luftfeuchte (qualitativ) 5. Vertikaler Temperaturgradient (noch nicht prüfbares Kriterium) <p>Es sind 95% der Aufenthaltsräume (Wohnzimmer, Kinderzimmer, Schlafzimmer, Arbeitszimmer, etc.) repräsentativ zu beschreiben. Auf diese Fläche ist der Nachweis anzuwenden. Die Gesamtbewertung ist als flächengewichteter Mittelwert aller Räume anzusetzen.</p> | | |

Abb. 17: Bewertungsmethodik zum thermischen Komfort im DGNB-Nutzungsprofil NKW12 [17]

Thermischer Komfort: Winter

Außenwandkonstruktionen aus Kalksandstein werden z.B. gemeinsam mit einem Wärmedämmverbundsystem ausgeführt, die Steinarten Ziegel oder Leichtbeton sind alternativ als Mauersteine verfügbar, deren Hohlkammern mit Dämmstoffen (z.B. Mineralwolle) ausgefüllt sind.

Thermischer Komfort: Sommer

Im bauordnungsrechtlichen Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes [35] wird die Wärmespeicherfähigkeit der Baukonstruktion explizit berücksichtigt.

Mit massiven Wandkonstruktionen aus Mauerwerk können mit üblichen Wandstärken - je nach Mauersteinart im Verbund mit anderen Dämmmaterialien - U-Werte nach Passivhaus-Standard erreicht werden. Im Zusammenspiel mit hochwärmegeprägten Fenstern/Türen und einer hohen energetischen Qualität anderer raumbegrenzender Bauteile (Bodenplatte, oberste Geschossdecken oder Dachflächen) lassen sich mit Außenwänden aus Mauerwerk auch Temperaturasymmetrien vermeiden.

Diese energetische Qualität der Gebäudehülle lässt sich heute grundsätzlich auch in Leichtbauweise erreichen. Allerdings hat die massive Konstruktionsweise z.B. in Mauerwerk bei hohen Außentemperaturen im Sommer einen wichtigen Vorteil. Für einen guten sommerlichen Wärmeschutz ist - über aktive anlagentechnische Maßnahmen wie die Ausführung von Sonnenschutzsystemen hinaus - insbesondere die Wärmespeicherfähigkeit von Außenbauteilen entscheidend. Aufgrund ihrer großen Masse und hohen Trägheit bei Temperaturänderungen (Abb. 18) sind massive Bauteile wie Außenwände aus Mauerwerk in der Lage, Wärme aufzunehmen und erst stark zeitverzögert wieder abzugeben, die Wärme also zu *puffern*.

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

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

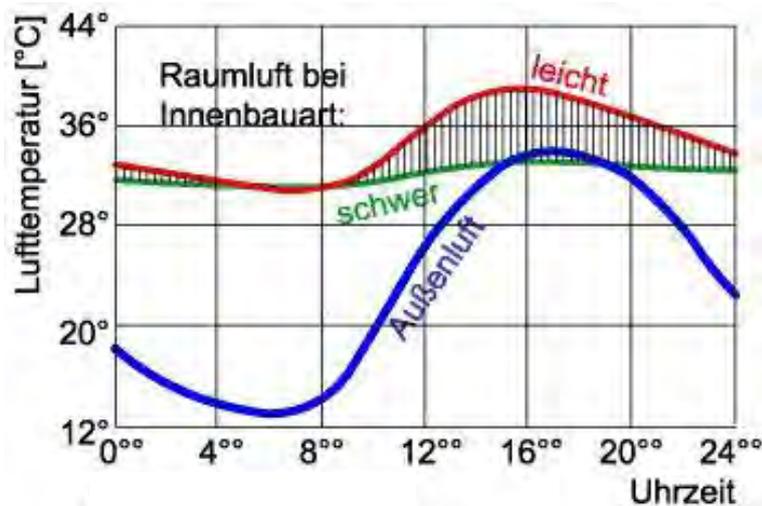


Abb. 18: Temperaturverläufe Sommer ohne Verschattung für leichte und schwere Bauweise [36]

Eine schwere Bauweise 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 ist im Hinblick auf den sommerlichen Wärmeschutz also äußerst vorteilhaft.

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 seinen Nutzer vor Schallbelastigungen von außen oder aus anderen - fremden wie eigenen - Wohnbereichen schützen (*Schallschutz*).

Im Kontext einer Nachhaltigkeitsbeurteilung von Ein- und Zweifamilienhäusern 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.³

³ 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.

Entsprechende Anforderungswerte an die schallschutztechnische Qualität von Wandkonstruktionen werden einerseits in der DIN 4109 [37] und dem zugehörigen Beiblatt 2 [38] sowie andererseits ergänzend z.B. in der DEGA-Empfehlung 103 [39] festgelegt. Als Kenngröße zur Einschätzung der schallschutztechnischen Qualität wird für die o.g. Anforderungen insbesondere das *bewertete Bau-Schalldämm-Maß R'_w* herangezogen (siehe Abb. 19).

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.

In diesem Zusammenhang wirkt sich die große Masse massiver Wandkonstruktionen im Vergleich zu Konstruktionen in Leichtbauweise unmittelbar positiv auf die schallschutztechnische Qualität hinsichtlich des Luftschallschutzes aus. Damit werden hervorragende Voraussetzungen für gute Bewertungsergebnisse im Zuge einer Nachhaltigkeitsbewertung von Ein- und Zweifamilienhäusern gelegt.

Insbesondere hinsichtlich des Schallschutzes gegenüber eigenen Wohnbereichen haben massive Konstruktionen hier im Vergleich mit einer Leichtbauweise klare Vorteile.

| Anforderung | DIN 4109 | DIN 4109, Beiblatt 2 | DEGA-Empfehlung 103 |
|--|--|---|--|
| Luftschallschutz Trennwände (ggü. fremden Wohnbereichen) | erf. $R'_w = 57$ dB | erf. $R'_w \geq 67$ 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) |

Die *DIN 4109* legt lediglich Mindestanforderungen an den Schallschutz zwischen fremden Wohnbereichen und gegenüber Außenlärm fest. Das *Beiblatt 2* zur *DIN 4109* enthält 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.

Muster-Schallschutzausweis nach DEGA-Empfehlung 103⁴

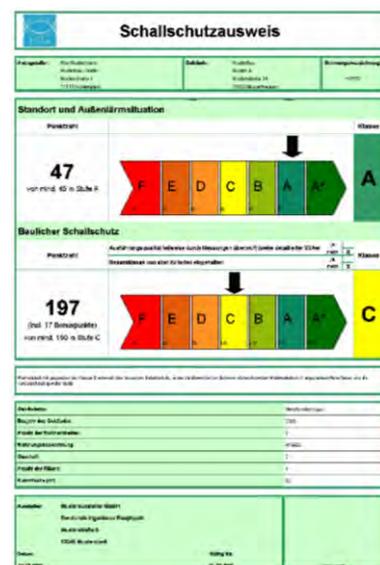


Abb. 19: Schallschutz-Anforderungen mit Relevanz für Wandkonstruktionen

⁴ Siehe dazu auch Anhang H

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 den *Blauen Engel* dokumentiert.

Das subjektive Sicherheitsempfinden wird dabei u.a. beeinflusst von Übersichtlichkeit und Ausleuchtung der Wegführung in und außerhalb eines Gebäudes oder technischen Sicherheitseinrichtungen.⁵ Derartige Aspekte werden nicht vom Konstruktionsmaterial determiniert und daher nachfolgend nicht betrachtet.

Pro Jahr sind in Deutschland ca. 600 Brandtote und Brandschäden in Milliardenhöhe zu beklagen. Rund 95 % der Brände entstehen in Privathaushalten.

Für das Wohlbefinden und im Besonderen die Gesundheit der Nutzer ist außerdem die *Innenraumlufqualität* 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.).

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 Innenraumlufqualität. 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.⁶

Sicherheitsniveau massiver Gebäudekonstruktionen

Auch das Sicherheitsniveau eines Gebäudes gehört thematisch in den Kontext soziokultureller Gebäudequalitäten. Diesbezüglich wird in den - für diese Studie maßgeblichen - deutschen Nachhaltigkeitsbewertungssystemen (DGNB, BNB)⁷ grundsätzlich zwischen der subjektiv von den Nutzern *empfundenen Sicherheit* und der *objektiven Sicherheit des Gebäudes* differenziert. 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 [34].

In Deutschland ist der Brandfall - im Vergleich zu Extremereignissen wie Sturm, Erdbeben oder Flutkatastrophen - ein Schadensszenario mit relativ hohen Eintrittswahrscheinlichkeiten [40].

⁵ Im als für Ein- und Zweifamilienhäuser relevant identifizierten Nutzungsprofil Neubau Kleine Wohngebäude Version 2012 (NKW12) fließt das Sicherheitsniveau eines Gebäudes nicht in die Nachhaltigkeitsbewertung ein. Auch im thematisch zugehörigen Kriterium Brandschutz findet der Aspekt keine Berücksichtigung.

⁶ Siehe dazu bereits Erläuterungen zu Bewertungsaspekt Risiken für die lokale Umwelt sowie Bewertung der Innenraumhygiene in Kapitel 6.

⁷ Siehe Fn. 5

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

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.

Entsprechend hoch ist in Deutschland der Stellenwert des *vorbeugenden baulichen Brandschutzes* und zugehöriger bauordnungsrechtlicher Normen. Als Oberbegriff für alle Maßnahmen, die eine Entstehung, Ausbreitung und Auswirkung von Bränden verhindern sollen, erstreckt sich dieser u.a. auf die Anforderungen an das *Brandverhalten von Baustoffen* und den *Feuerwiderstand* daraus bestehender *Bauteile*.

Für den Bereich vertikaler Bauteile bieten Mauerwerkswände diesbezüglich zwei spezifische Vorzüge. Einerseits sind Mauersteine wie auch der Mörtel mineralische Baustoffe und als *nicht brennbar* (beste *Brandklasse A1*) einzustufen und können damit selbst nicht zu einem Brand beitragen. Gleichzeitig wird die Tragfähigkeit von Konstruktionen aus Mauerwerk andererseits in der Regel nur teilweise ausgenutzt. Dies führt zu einem hohen *Feuerwiderstand*, mit dem die bauordnungsrechtlich/normativ geforderten Feuerwiderstandsklassen automatisch bereits übererfüllt werden, insbesondere bei Ein- und Zweifamilienhäusern, für die nach den Landesbauordnungen die geringsten Anforderungen gelten.

Beim *Eintritt des Brandschadensfalls* hängen Sicherheit und Unversehrtheit der Nutzer in vielen Fällen vom Ausmaß der Entwicklung von Rauchgasen ab. Zwar geht im Brandfall diesbezüglich zunächst eine besondere Gefahr von der Innenausstattung aus, allerdings kann das Rauchgaspotential im ungünstigen Fall durch konstruktive Materialien unnötig erhöht werden. 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 [35]. Insofern wirken sich auch hier die mineralischen Materialeigenschaften des Baustoffs Mauerwerk positiv auf das Sicherheitsniveau von Gebäuden aus.

Bei brandschutztechnischen Vergleichen verschiedener Konstruktionsweisen wird bisweilen die Ansicht vertreten, die Konstruktion spiele nur eine untergeordnete Rolle, da die größte Gefahr im Brandfall von der Innenausstattung ausgehe. Selbst wenn man dieser Argumentation zunächst angesichts der unbestrittenen Gefahren durch beim Brennen der Innenausstattung ent-

stehende Rauchgase (sieben soeben oben) folgte, so hat die Konstruktionsweise gleichwohl einen erheblichen Einfluss auf das materielle *Schadensausmaß* eines Brands.

Denn über die gesundheitliche bzw. körperlichen Folgen für die Gebäudenutzer hinaus stellt sich bei oder nach einem Brand die Frage, ob das Gebäude in seiner (tragenden) Struktur insoweit intakt bleibt oder geblieben ist, dass es nach entsprechenden Renovierungsmaßnahmen weiter genutzt werden kann oder ob Abriss und Neubau die einzig verbleibende Option ist. Da massive Bauteile wie Mauerwerkswände einerseits stofflich nicht selbst zu einem Brand beitragen können und andererseits in Verbindung mit ihrem Feuerwiderstand über nennenswerte Tragreserven verfügen, gewähren massive Gebäude in vielen Fällen - je nach absolutem Ausmaß eines Brandfalls - höhere Wahrscheinlichkeiten für die Möglichkeit einer Weiternutzung der Trag- und Gebäudestruktur.

Dieser positive Beitrag der massiven Bauweise auf das materielle Schadensausmaß lässt sich im Übrigen auch für andere Schadensszenarien anführen, etwa beim Eintritt eines Hochwasserereignisses. Hierbei ist die Wiederherstellung eines beschädigten Wandaufbaus einer Konstruktion in Leichtbauweise (Kompletterneuerung durchfeuchteter Verkleidungs- und Dämmmaterialien) mit erheblich mehr Aufwendungen verbunden als die bei massiven Konstruktionen erforderliche Trocknung betroffener Wandflächen.

Funktionale und ökonomische Gebäudequalitäten

Die bereits mehrfach beschriebenen statischen Reserven tragender Mauerwerkskonstruktionen begünstigen in Verbindung mit den üblicherweise ausgeführten Geschossdecken in Stahlbeton und deren eigenen Tragreserven auch die Umnutzungsfähigkeit bzw. Nutzungsflexibilität von massiven Ein- und Zweifamilienhäusern.

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 [17], die grundsätzlich unabhängig von der Konstruktionsweise ist. Faktisch ist es unter funktionalen Gesichtspunkten

Ein wichtiges Element mit Blick auf die Nutzungsflexibilität sind u.a. künftige Anforderungen an altersgerechte oder barrierefreie Grundrissgestaltung.

Werterhaltung und -stabilität

Im Kontext des Werterhalts lässt sich diese Betrachtung ferner ausweiten auf die Widerstandsfähigkeit mineralischer Baustoffe wie Mauerwerk hinsichtlich eines *Befalls durch Schädlinge*.

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.

aber auch von Relevanz, dass z.B. im Rahmen einer Nutzungsänderung (einzelner Raumbereiche) auftretende erhöhte Nutzlasten von den Tragreserven massiver Konstruktionen kompensiert werden können.

Zudem ist die Realisierung von Mauerdurchbrüchen regelmäßig aus statischer und baupraktischer Sicht einfacher umsetzbar als bei Ständerbauweisen, wo vertikale Lasten nicht linienförmig, sondern punktuell abgetragen werden. Dies ist insbesondere mit Blick auf mögliche künftige Anforderungen an eine altersgerechte oder barrierefreie Grundriss- bzw. Wohnraumgestaltung von Bedeutung.

Der Wert eines Gebäudes stellt - unabhängig von der Gebäudetypologie - grundsätzlich 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 Ein- und Zweifamilienhäuser 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 (siehe Seite 30). Zudem trägt zweitens auch ein hohes Sicherheitsniveau von Gebäuden allgemein bzw. speziell eine große Widerstandsfähigkeit der Baukonstruktion beim Eintritt von Schadensereignissen zur Werterhaltung eines Wohngebäudes bei. Die entsprechenden Qualitäten von Wänden aus Mauerwerk wurden bereits im Unterkapitel zum Sicherheitsniveau massiver Gebäudekonstruktionen herausgearbeitet (siehe Seite 28 f.).

Generell gilt, 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

Insofern sind diese Systeme bewertungstechnisch nur bedingt in der Lage, die beschriebene Qualität von Bauteilen aus Mauerwerk realitätsgetreu abzubilden.

Ökobilanzielle Bewertung der Nutzungsphase

Bewertung des thermischen Komforts und der wärmetechnischen Qualität

Bewertung der Innenraumluftqualität

Bewertung der Wertstabilität und Nutzungsflexibilität

Zustand der Tragstruktur unabhängig von einer - für andere Konstruktionsweisen regelmäßig erforderlichen - Instandhaltungsstrategie per se erhalten bleibt. Andererseits trägt diese Wartungsfreiheit auch zu niedrigen Lebenszykluskosten der Baukonstruktion bei.

Bewertungstechnische Abbildung

Eigenständige ökobilanzielle Benchmarks für die Nutzungsphase und die Ableitung einer entsprechenden Bewertung liegen im relevanten DGNB-Nutzungsprofil Neubau Kleine Wohngebäude, Version 2012 (NKW12) nur für die Energieverbräuche aus Wärme und Strom vor. Diese sind grundsätzlich unabhängig vom Konstruktionsmaterial. Die Ableitung einer ökobilanziellen Bewertung für Ein- und Zweifamilienhäuser erfolgt daher im Kontext des gesamten Lebenszyklus am Ende dieser Studie in Kapitel 9.

Die Beurteilung des thermischen Komforts von Ein- und Zweifamilienhäusern (Kriterien *NKW12-18* und *-19*) ist ein wesentlicher Bestandteil der soziokulturellen Qualität eines Wohngebäudes und wirkt sich durch die Wechselwirkung zum Wärmeschutz (Kriterium *NKW12-35*) gleichsam positiv auf dessen technische Qualität aus. Durch ihre Wärmedämmeigenschaften und -speicherfähigkeit bieten Wandkonstruktionen aus Mauerwerk sehr gute Voraussetzungen für eine hohe Bewertung der genannten Kriterien.

Die *Voraussetzungen* für eine zu erwartende gute Innenraumluftqualität in Ein- und Zweifamilienhäusern werden vom einschlägigen Zertifizierungssystem bzw. dem entsprechenden Kriterium *Innenraumhygiene* 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.

Im Rahmen dieses Kapitels wurde u.a. auch der positive Beitrag massiver Konstruktionen für die Wertstabilität von Ein- und Zweifamilienhäusern adressiert. Das entsprechende Kriterium des relevanten Systems Neubau Kleine Wohngebäude, Version 2012 (*NKW12-17*) zieht allerdings für dessen Bewertung allein baustoff- bzw. materialunspezifische Indikatoren wie die Marktgängigkeit von Grundstücks- und Wohngebäude- bzw.

Bewertung der schallschutz- technischen Qualität

Wohnungsgröße oder die Grundrissgestaltung heran. Die beschriebene hohe Qualität von Ein- und Zweifamilienhäusern aus Mauerwerk hinsichtlich des Erhalts ökonomischer Werte kann demnach vom Bewertungssystem NKW12 nicht abgebildet werden.

Die Nutzungsflexibilität ist ein Teilaspekt der Wertstabilität. Auch diese wird vom Bewertungssystem NKW12 in erster Linie über Abfragen zur Grundrissgestaltung beurteilt. Insofern werden auch hier die faktischen Qualitäten von Ein- und Zweifamilienhäusern aus Mauerwerk in diesem Zusammenhang nicht erfasst.⁸

Demgegenüber ist die schallschutztechnische Qualität von Ein- und Zweifamilienhäusern aus Mauerwerk sehr wohl im Bewertungssystem NKW12 abbildbar. Dabei basiert die schallschutztechnische Bewertung auf den Ergebnissen des oben beschriebenen Schallschutzausweises der DEGA-Empfehlung 103. Zwar hängt das letztendliche Bewertungsergebnis etwa eines Einfamilienhauses insbesondere auch von anderen Faktoren ab (siehe detaillierter Muster-Schallschutzausweis in Anhang H). Für übliche Wandkonstruktionen in Mauerwerk (Ziegel/Kalksandstein/Porenbeton/Leichtbeton) können aber für die Bewertungsaspekte Luftschallschutz Außenwände (*Luftschall Außenbauteile*) und Luftschallschutz Innenwände (*eigener Wohnbereich*) prinzipiell abschließende Bewertungsergebnisse abgeleitet werden. In der Praxis übliche Wandstärken und -aufbauten von Mauerwerkskonstruktionen von Einfamilienhäusern erreichen hierbei durchgehend die beiden höchsten Schallschutzklassen gemäß DEGA-Empfehlung 103 (für EFH: *Schallschutzklasse B* i.V.m. *Klasse EW 1 bzw. EW 2*; vgl. Anhang H) und damit einhergehend sehr gute bis optimale Bewertungen im Rahmen des einschlägigen Kriteriums *NKW12-34 Schallschutz*.⁹

⁸ Eine analoge Feststellung gilt hinsichtlich des weiteren Teilaspekts einer barrierefreien und altersgerechten Wohnraumgestaltung.

⁹ Weitere Ausführungen dazu unter Kapitel 9

8 Geschlossener Kreislauf - End of Life als Startpunkt eines neuen Lebenszyklus



Abb. 20: Fraktionen und Mengen mineralischer Bauabfälle in Deutschland 2010 [41]

Aufkommen und Bedeutung von Bauabfällen

Pro Jahr fallen in Deutschland rund 350 Mio. Tonnen an Abfällen an. Allein die Fraktion der Bau- und Abbruchabfälle repräsentiert mit ca. 53 % den überwiegenden Teil dieses gesamtdeutschen Abfallaufkommens (Abb. 20) [12][41].

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 aufgliedern in insgesamt acht *Abfall-Entsorgungspfade*, die das Stufenmodell maßnahmenorientiert präzisieren (Abb. 21).

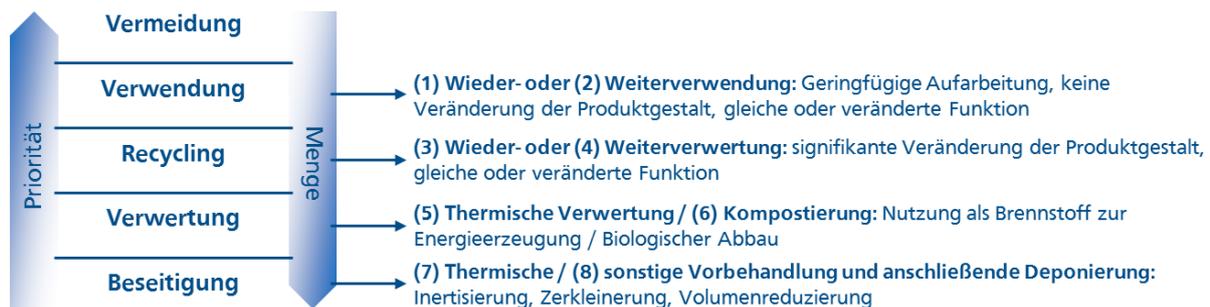


Abb. 21: Abfallhierarchie nach KrWg und zugehörige Entsorgungspfade

Für mineralische Bau- und Abbruchabfälle sind die Entsorgungspfade der Wieder- und Weiterverwertung von größter Relevanz. Dies zeigt sich auch an deren Recyclingquoten in Abb. 22.

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.

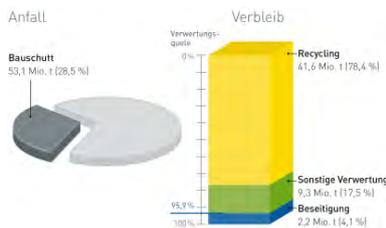


Abb. 22: Recyclingquote der Abfallfraktion Bauschutt in Deutschland 2010 [41]

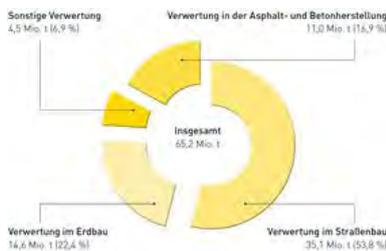


Abb. 23: Einsatzbereiche von Recycling-Baustoffen in Deutschland 2010 [41]

Down-/Upcycling

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

Beispiel

Porenbeton-Mauerstein erhält Cradle-to-Cradle-Zertifikat¹⁰ für geschlossenen Produktionskreislauf durch vollständige Wiederverwertung in neuem Porenbeton-Mauerstein [29].

Hohes Recyclingpotential für Abfallfraktion Bauschutt

Bei einer Beurteilung der Nachhaltigkeitsqualität von Ein- und Zweifamilienhäusern aus Mauerwerk hinsichtlich ihrer Lebenszyklusphase End of Life liegt der Betrachtungsfokus zwangsläufig auf der Abfallfraktion des Bauschutts.

Bei einer Auswertung dieser Abfallfraktion hinsichtlich anfallender Mengen und deren Verbleib kann festgestellt werden, dass Bauschutt in Deutschland mit einer Quote von fast 96 % mittlerweile nahezu vollständig einer Verwertung zugeführt wird. Hierbei ist hervorzuheben, dass für einen weit überwiegenden Anteil von ca. 78 % gar die relativ hochwertige Abfallhierarchiestufe des Recycling realisiert werden kann (Abb. 22).

Gemeinsam mit den Recyclingstoffen aus den übrigen mineralischen Bauabfallfraktionen konnten im Jahr 2010 insgesamt 65,2 Mio. Tonnen Recycling-Baustoffe hergestellt und damit rund 12 % des jährlichen bundesdeutschen Gesamtbedarfs an Gesteinskörnungen gedeckt werden [41].

Diese Recycling-Baustoffe werden überwiegend im Straßen- und Erdbau eingesetzt und nur zu einem kleineren Teil (erneut) als Zuschlagsstoff bei der Herstellung von Betonwerkstoffen verwendet (Abb. 23). Durch diese *Wieder-* oder *Weiterverwertung* wird zwar gegenüber der thermischen Verwertung (z.B. angewendet für Holzwerkstoffe) oder der Deponierung eine höherwertige Abfallhierarchiestufe eingehalten. Dennoch handelt es sich speziell beim Einsatz im Straßen- und Erdbau regelmäßig um ein *Downcycling* von Ausgangsabfallstoffen. Daher bestehen prinzipiell noch Potentiale, um die Produktion höherwertiger Recycling-Baustoffe auszuweiten, die dann im Sinne eines *Upcycling* oder zumindest wieder in gleicher Funktion eingesetzt werden können.

Bislang stellte die Heterogenität von Bauschutt in vielen Fällen ein Hindernis für ein hochwertiges Recycling dar. Aktuell bestehen aber Forschungsprojekte, um z.B. speziell die Abfallfraktion Mauerbruch - trotz schwankender stofflicher Zusammensetzung - für eine thermisch gebundene leichte Gesteinskörnung bei der

¹⁰ 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.

Herstellung von Leichtbeton-Mauersteinen zu nutzen. Die ersten Ergebnisse demonstrieren, dass bisher für untergeordnete Einsatzzwecke genutzte Bauabfälle alternativ auch für hochwertige Produkte wie Leichtbeton-Mauersteine eingesetzt werden können, um Primärrohstoffe zumindest partiell zu substituieren [42].

Ausblick

Aufgrund der massiven Bauweise von Ein- und Zweifamilienhäusern aus Mauerwerk (Vermörtelung der Mauersteine, Gewicht der Konstruktion, etc.) ist deren Rückbau/Demontage natürlich mit einem entsprechenden Aufwand und dem Einsatz von Maschinen verbunden. Die Mauerwerksindustrie nimmt sich jedoch zunehmend dieser Problematik am Ende des Lebenszyklus von Gebäuden aus Mauerwerk an und forscht an Methoden und Verfahren zur Verbesserung der Rückbaufähigkeit von Mauerwerkskonstruktionen.

Weitere Forschungsansätze z.B. am Institut und Fachgebiet für Massivbau der TU Darmstadt befassen sich zudem mit der Thematik der besseren Trennbarkeit von Konstruktionen aus Mauerwerk hinsichtlich des in der Praxis relevanten gesamthaften Bauteilschichtaufbaus. Grundsätzlich kann ein Wandaufbau aus Mauerwerk und innen- sowie außenliegenden Putz- und Farbschichten als „homogenisierter“ Aufbau betrachtet werden, der beim Rückbau nicht zu trennen ist [17]. Mauerwerk wird jedoch immer häufiger in Kombination mit zusätzlichen Dämmmaterialien - als vorgesetztes Wärmedämmverbundsystem (WDVS) oder integrierte Kerndämmung - ausgeführt. Hier werden hinsichtlich der Auswirkungen auf die Trennbarkeit von Bauteilen und ihrer Schichten aktuell erst die wissenschaftlichen Grundlagen erschlossen [44].

Bewertungstechnische Abbildung

Das einschlägige Bewertungssystem NKW12 bewertet das Recyclingpotential von Ein- und Zweifamilienhäusern im Wesentlichen auf Basis des Aufwands zur Demontage von Bauteilen sowie zur Trennung deren Schichten. Tragende und nicht tragende Rohbaukonstruktionen wie Wandbauteile stellen dabei nur zwei von insgesamt vier Bauteilbereichen dar.¹¹

So wird z.B. an der Entwicklung voll-rezyklierbarer, modularer massiver Wandsysteme geforscht [43].

Bewertung des Recyclingpotentials von EFH/ZFH

¹¹ Des Weiteren werden betrachtet: Technische Gebäudeausrüstung und nicht konstruktive Ausbauelemente

Bewertungsmethodik: Kategorisierung des Aufwands zur...

... Demontage von Bauteilen

| | |
|-------------|--|
| Sehr hoch | Ausschließlich mit sehr hohem Aufwand zu demontieren |
| Hoch | Mit hohem Aufwand zu demontieren z. B. Abschlagen von gut anhaftenden Beschichtungen |
| Mittel | Mit mittlerem Aufwand zu demontieren z. B. Herauslösen von Fußböden, Entfernen von eingegossenen Folienelementen |
| Gering | Mit geringem Aufwand zu demontieren z. B. Absaugung von geschütteten Materialien, Demontieren von abschraubbaren Verschalungen |
| Sehr gering | Sehr leicht zu demontieren z. B. Lösen geklemmter Verbindungen oder einfacher Klick- bzw. Schraubverbindungen, Entfernen loser Auflagen |

... 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 |
| Vertretbar | Erfordert neben dem personellen Aufwand einen entsprechenden, baustellengeeigneten Maschineneinsatz: Abstemmen, Abfräsen, Abschießen usw. |
| Leicht | Kann von Personen manuell oder mit einfachen Werkzeugen vorgenommen werden: Abziehen (z. B. Boden und Wandbeläge auf Trennlage), Abreißen, Abheben usw. |

Bewertungsmaßstäbe: Ableitung von Bewertungsergebnissen für die...

... Demontage von Bauteilen

| | |
|--|---------|
| Übertrag aus Liste mit Einstufung der Bauteile | Max. 38 |
| Dabei entsprechen die Kategorien folgender Bewertung | |
| Sehr hoch | 0 |
| Hoch | 8 |
| Mittel | 24 |
| Gering | 32 |
| Sehr gering | 38 |

... Trennung von Bauteilschichten

| | |
|--|---------|
| Übertrag aus Liste mit Einstufung der Bauteilschichten | Max. 38 |
| Dabei entsprechen die Kategorien folgender Bewertung | |
| Nicht vertretbar | 0 |
| Vertretbar | 24 |
| Leicht | 38 |

Tab. 6: Bewertungsmethodik und -maßstäbe für das Recyclingpotential im Bewertungssystem NKW12 (Auszug aus Kriteriensteckbrief NKW12-42 Rückbau- und Demontagefreundlichkeit)

Allerdings wird die letztendliche Bewertung eines EFH/ZFH hinsichtlich Kriterium NKW12-42 von der Gesamtheit aller vier Bauteilbereiche determiniert und berechnet sich zudem auch nach den Masseanteilen der Bauteile. Insofern legt die beschriebene Rückbau- und Demontagefreundlichkeit von Mauerwerkskonstruktionen zunächst nur gute Voraussetzungen für eine hohe Gesamtbewertung auf Gebäudeebene.

Im Vergleich mit anderen gängigen Wandkonstruktionen und unter Berücksichtigung von Erfahrungswerten der Bewertung aus abgeschlossenen Zertifizierungsprojekten kann der Aufwand zur Demontage von Mauerwerkswänden als *mittel* und der Aufwand zur Trennung von Bauteilschichten als *leicht* (Mauerwerkswände mit Putz- und Farbschichten können als eine einzige *homogenisierte* Schicht angesehen werden [17]) bzw. als *vertretbar* (für Mauerwerkswände mit WDVS) kategorisiert werden. Insofern können massive Wände aus Mauerwerk in Relation zu den maximal je Indikator erreichbaren Punkten verhältnismäßig hohe Bewertungen erreichen.

9 Zusammenfassung - Ganzheitliche Nachhaltigkeitsbilanz

Ganzheitliche Lebenszyklusori-
enterte Perspektive

Bisherige Untersuchungen der Studie

In der vorliegenden Studie wurden auf Basis des Drei-Säulen-Modells die Nachhaltigkeitsqualitäten von Ein- und Zweifamilienhäusern aus Mauerwerk entlang des gesamten Lebenszyklus - von der Gewinnung der Rohstoffe bis zum End of Life - untersucht und alle qualitativen wie quantitativen Aspekte berücksichtigt.

Für in dieser Weise betrachtete Aspekte, die auch vom als relevant identifizierten Nachhaltigkeitsbewertungssystem NKW12 adressiert werden, erfolgte soweit möglich parallel eine entsprechende bewertungstechnische Einordnung.

In diesem Kapitel 9 werden nun diese einzelnen Bewertungsaspekte aufgegriffen und in den Kontext einer Nachhaltigkeitsbewertung von Ein- und Zweifamilienhäusern aus Mauerwerk des relevanten Systems integriert. Eine zentrale Rolle werden dabei u.a. die ökobilanziellen Ergebnisse eines exemplarischen Muster-Einfamilienhauses aus Mauerwerk spielen (siehe sogleich nachfolgend).

Nachhaltigkeitsbilanz von EFH/ZFH aus Mauerwerk

Aufgrund seiner gesamtgebäudebezogenen Methodik umfasst das für hier einschlägige DGNB-System NKW12 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 Benchmarks nur für erstens die Umweltwirkungen aus Herstellung, Instandhaltung und Rückbau/Entsorgung des Bauwerks (als Substanz) sowie zweitens für die Umweltwirkungen aus dem Wärme- und Stromverbrauch im Verlauf der Nutzungsphase (Energieversorgung).

Bewertung eines Muster-EFH als Vergleichsobjekt dieser Studie.

Weitere Informationen zum Vergleichsobjekt können Anhang I entnommen werden.

Zur Erstellung einer Nachhaltigkeitsbilanz für Ein- oder Zweifamilienhäuser im Rahmen einer Anwendung des Bewertungssystems NKW12 ist es demnach erforderlich, dies anhand eines exemplarischen Vergleichsgebäudes zu tun. Im vorliegenden Fall wurde hierfür ein Einfamilienhaus gemäß Abb. 24 im Passivhausstandard verwendet. Das Gebäude weist gestalterisch und materialtechnisch einen gehobenen Standard auf.



Abb. 24: Ansichten Vergleichsgebäude

Ökobilanzielle Bewertung

Die Variantenuntersuchung erfolgte unter jeweils identischen Randbedingungen hinsichtlich energetischer Qualität, Gestaltung und Konstruktion.¹²

Für das soeben beschriebene Vergleichsobjekt wurde eine vollständige Ökobilanzierung gemäß den Anforderungen der relevanten Kriterien NKW12-01 bis -05 sowie -10 und -11 durchgeführt. Dabei wurden vier verschiedene Varianten für die marktbestimmenden Mauerwerksarten Ziegel, Kalksandstein, Poren- sowie Leichtbeton bilanziert. Des Weiteren wurde als zusätzliche Vergleichsvariante das o.g. Einfamilienhaus gleichsam in Holzständerbauweise modelliert und bilanziert. Die Bauteile der genannten Varianten wie z.B. Wände unterscheiden sich in Konstruktions- und ggf. Dämmmaterialien. Grundsätzlich identisch sind die Varianten hinsichtlich Gründung, Dach sowie insbesondere Boden-, Wand und Deckengestaltung (Putze, Anstriche, Natursteinfassade, etc.).

¹² Die entsprechenden Aufbauten und Komponenten der Bauteile sowie die TGA können Anhang I entnommen werden.

Eine Gesamtübersicht der ökobilanziellen Ergebnisse dieser fünf Varianten und konstruktiven Ausprägungsarten ist dieser Studie in den Anhängen J bis M beigefügt. Für die Ergebnisdarstellung bzw. deren Auswertung und die Gegenüberstellung zwischen dem massiven Vergleichsobjekt aus Mauerwerk und der Vergleichsvariante in Holzständerbauweise wird hier ein stufenweises Vorgehen entlang der einzelnen konstruktiven Bauteile und für den gesamten Lebenszyklus gewählt und mit der Ableitung einer ökobilanziellen Bewertung im einschlägigen DGNB-Zertifizierungssystem NKW12 abgeschlossen.¹³

Die Ergebnisse der Ökobilanz werden - neben einer korrekten Modellierung und rechentechnischen Abbildung des Vergleichsobjekts bzw. seiner Varianten - insbesondere von den verwendeten *ökobilanziellen Basisdaten* zu den ausgeführten Baustoffen, -materialien und -produkten und den entsprechenden Wirkungsindikatoren (z.B. Treibhauspotential, Primärenergiebedarf, etc.) determiniert. In diesem Zusammenhang schreibt die für die Untersuchungen dieser Studie einschlägige DGNB-Nutzungsprofil NKW12 grundsätzlich die Verwendung der offiziellen Ökobilanz-Basisdatenbank *Ökobau.dat* des BMVBS vor. Die nachfolgend dargestellten ökobilanziellen Berechnungen wurden gemäß und konform dieser Anforderung durchgeführt.

Allerdings ist es für den Nutzer der *Ökobau.dat* bzw. den Ersteller einer darauf aufbauenden Ökobilanz nicht möglich, selbst eine Gewähr für die Richtigkeit der einzelnen Datensätze zu übernehmen bzw. abschließende Aussagen diesbezüglich zu treffen. Prinzipiell ließen sich die Basisdaten der *Ökobau.dat* je nach Baustoff, -material oder -produkt mit Daten aus Umweltproduktdeklarationen (EPDs) abgleichen. Jedoch mangelt es den Basisdaten der *Ökobau.dat* an einer transparenten Beschreibung und Dokumentation, so dass sich etwaige material- oder produktspezifische Abweichungen nicht nachverfolgen, nachvollziehen und erklären lassen.

¹³ Entsprechend ist auch die Darstellung in den Anhängen J bis N sowie in Anhang O konzipiert.

Schritt 1 - Ökobilanzielle Ergebnisse der Wandkonstruktionen für die Lebenszyklusphase der Herstellung

Ein Vergleich der Ökobilanzergebnisse der Wandkonstruktionen eines Einfamilienhauses für die Lebenszyklusphase Herstellung zeigt zunächst, dass sich über die verschiedenen zu betrachtenden Wirkungsindikatoren hinweg keine pauschalen Aussagen hinsichtlich der ökobilanziellen Qualität massiver (Mauerwerk) oder leichter (Holzständer) Konstruktionsweisen ableiten lassen (siehe Abb. 25 sowie Anhang J).

Bezüglich des in der öffentlichen Diskussion oftmals schwerpunktmäßig angeführten Indikators des Treibhauspotentials verursachen Wandkonstruktionen aus Mauerwerk deutlich höhere Umweltwirkungen als Pendants in Holzständerbauweise.

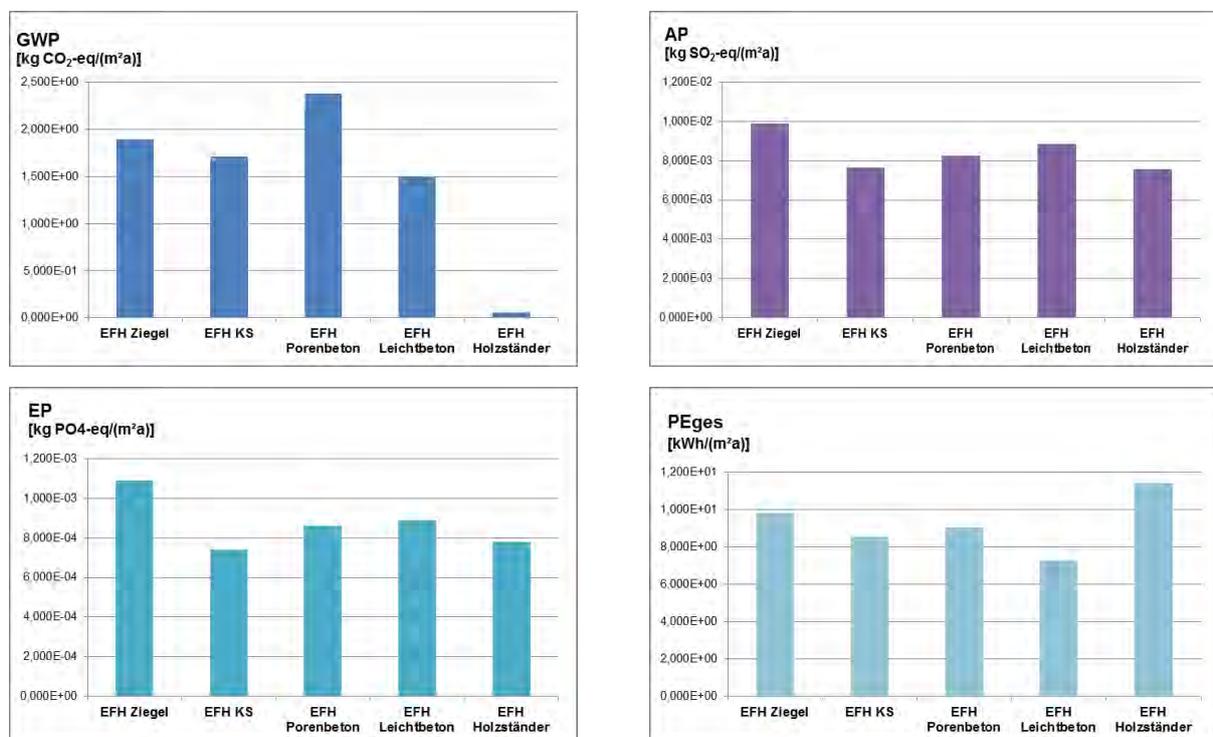


Abb. 25: Ausgewählte Ökobilanz-Ergebnisse der Wandkonstruktionen eines Muster-EFH

Systemgrenzen und Berechnungsparameter: Bilanzierung aller Wandbauteile (Außen-/ Innenwände) für einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren (gemäß Vorgaben des DGNB-Systems NKW12) und die Lebenszyklusphase der Herstellung.

Vom Bewertungssystem werden ferner die zu bilanzierenden *Wirkungsindikatoren* vorgegeben, hierzu zählen das *Treibhauspotential* (engl.: *Global Warming Potential*; kurz: *GWP*), das *Ozonschichtabbaupotential* (engl.: *Ozone Depletion Potential*; kurz: *ODP*), das *Ozonbildungspotential* (engl.: *Photochemical Ozone Creation Potential*; kurz: *POCP*), das *Versauerungspotential* (engl.: *Acidification Potential*; kurz: *AP*) und das *Überdüngungspotential* (engl.: *Eutrophication Potential*; kurz: *EP*) sowie der *Gesamtprimärenergiebedarf* (PE_{ges}).

Der Datensatz berücksichtigt, dass ein Baum als Ressourcenquelle während der Lebenszyklusphase der Herstellung CO₂ aus der Luft aufnimmt.

Dazu wird in erheblichem Maß die Energie der Sonne verwendet, die als *erneuerbare Primärenergie* in den Datensatz eingeht.

Schritt 2 - Ökobilanzielle Ergebnisse der Wandkonstruktionen über den gesamten Lebenszyklus

Mit der Freisetzung von CO₂ bzw. der thermischen Verwertung von Holz ist eine Substitution fossiler Brennstoffe und damit eine Gutschrift bei der Primärenergie korreliert.

Dies resultiert unmittelbar aus den ökobilanziellen Basisdaten für den Bau- bzw. Werkstoff Holz, der in der anzuwendenden Basisdatenbank Ökobau.dat für die Lebenszyklusphase der Herstellung als CO₂-Senke modelliert worden ist. Mit Blick auf andere Wirkungsindikatoren *relativiert* sich diese Feststellung jedoch: Hier liegen die Ökobilanzergebnisse der Varianten bis auf einzelne Ausreißer auf ähnlichem Niveau.

Aus Abb. 25 ist ferner ersichtlich, dass die Holzständerbauweise für die Lebenszyklusphase Herstellung hinsichtlich des Wirkungsindikators Primärenergiebedarf ungünstiger abschneidet als die massiven Varianten. Ursache ist, dass die ökobilanziellen Basisdaten nach Ökobau.dat für Holz die beim Baumwachstum eingespeicherte Sonnenenergie berücksichtigen und als Primärenergiebedarf abbilden. Außerdem ist zur verfahrenstechnischen Trocknung von Konstruktionsvollholz bei dessen Herstellung der Einsatz weiterer Primärenergie erforderlich. In der Entsorgungsphase kann ein Teil dieser Energie wieder genutzt werden und geht als Gutschrift in die Lebenszyklusbetrachtung ein, sodass sich die Unterschiede teilweise wieder ausgleichen (siehe Abb. 26).

Auch die Ausweitung der Betrachtung der Wandkonstruktionen auf den gesamten Lebenszyklus zeigt, dass keine pauschalen Aussagen zur ökologischen Qualität massiver oder leichter Konstruktionsweisen möglich sind (siehe Abb. 26 sowie Anhang K).

Nach wie vor liegen die Ergebnisse zum Treibhauspotential der Variante Holzständer deutlich unter denen der massiven Varianten, der Abstand hat sich aber erkennbar reduziert. Denn bei der Entsorgung von Holzwerkstoffen (Verbrennung) wird das während der Lebenszyklusphase Herstellung eingespeicherte und gebundene CO₂ teilweise wieder freigesetzt (vgl. Abb. 26). Auch die Ergebnisse der übrigen Wirkungsindikatoren nähern sich weiter an.

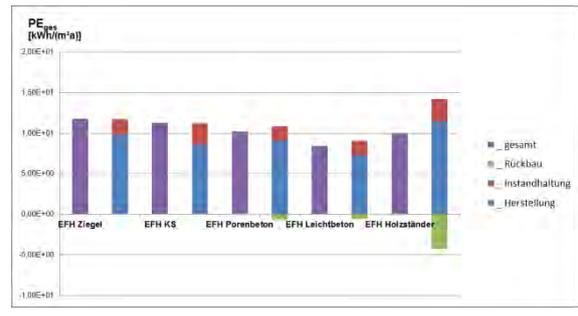
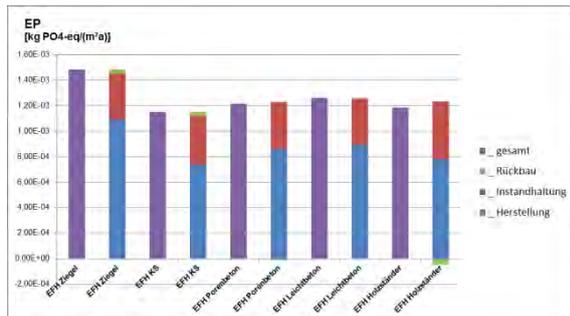
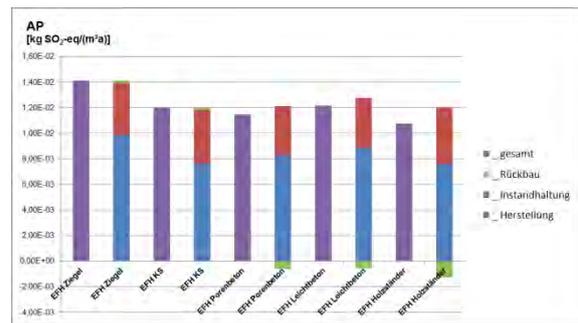
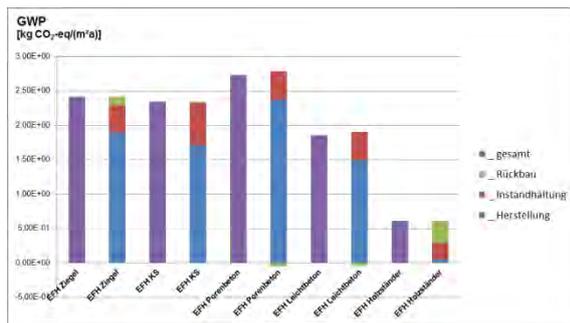


Abb. 26: Ausgewählte Ökobilanz-Ergebnisse der Wandkonstruktionen eines Muster-EFH über den gesamten Lebenszyklus

Systemgrenzen und Berechnungsparameter: Bilanzierung aller Wandbauteile (Außen-/Innenwände) 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-EFH erfasst und bilanziert. In diesem Zusammenhang sind insbesondere die Nutzungsdauern der jeweiligen Bauteile sowie der Betrachtungszeitraum der Bilanzierung relevant.

Die Ergebnisse werden je Variante des Vergleichsobjekts sowohl nach ihren einzelnen Bestandteilen (Herstellung | Instandhaltung | Rückbau) als auch als Gesamtergebnis (linke Balken) dargestellt.

Schritt 3 - Ökobilanzielle Ergebnisse der gesamten Konstruktion für die Lebenszyklusphase Herstellung

Keht man zurück zur Lebenszyklusphase der Herstellung und betrachtet hier die ökobilanziellen Ergebnisse der gesamten Konstruktion können die Schlussfolgerungen zu Abb. 25 im Wesentlichen analog gelten. Zusätzlich ist zu konstatieren, dass die Umweltwirkungen der massiven Vergleichsobjekte maßgeblich nicht allein von den Wandkonstruktionen, sondern ganz wesentlich auch von den massiven Bauteilen Decke und Bodenplatte sowie dem Bauteil Dach beeinflusst werden (siehe Abb. 27 sowie Anhang L).

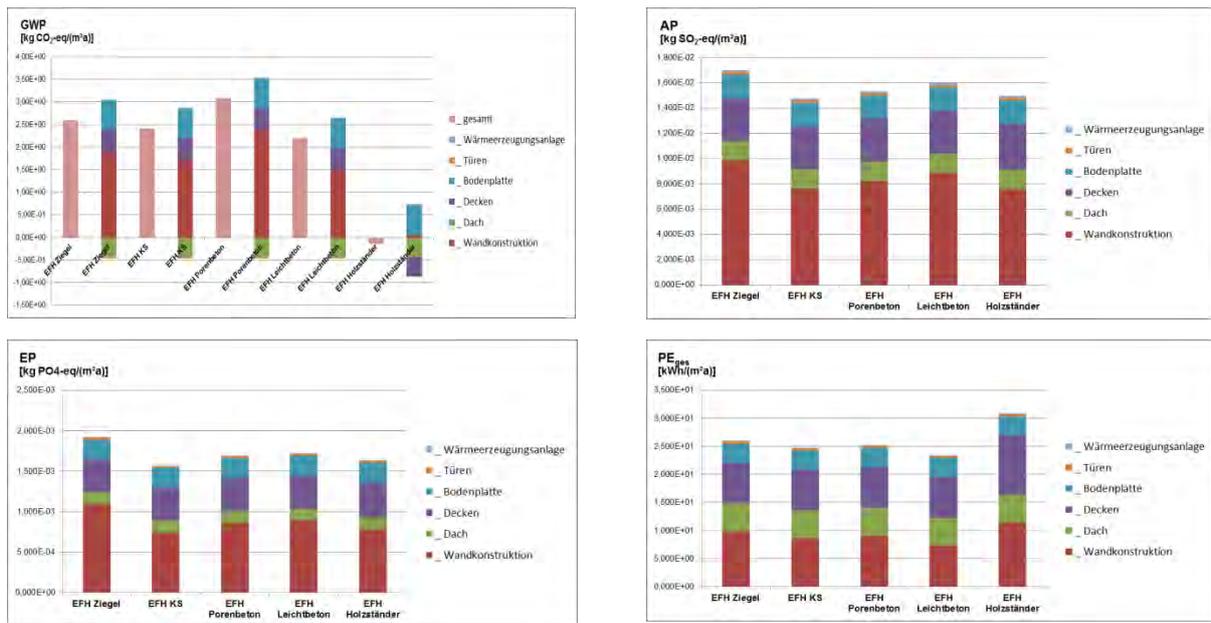


Abb. 27: Ausgewählte Ökobilanz-Ergebnisse der gesamten Konstruktion eines Muster-EFH

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 Wärmerezeugungsanlage (als zentrales Element der TGA von Ein- und Zweifamilienhäusern).

Die Ergebnisse für den Wirkungsindikator GWP werden je Variante des Vergleichsobjekts sowohl nach ihren einzelnen Bestandteilen (Herstellung | Instandhaltung | Rückbau) als auch als Gesamtergebnis (linke Balken) dargestellt.

Schritt 4 - Ökobilanzielle Ergebnisse der gesamten Konstruktion über den gesamten Lebenszyklus

Weitet man die Betrachtung aus auf die ökobilanziellen Ergebnisse der Konstruktion eines Einfamilienhauses über den gesamten Lebenszyklus - d.h. von der Herstellung über die Nutzung (Instandhaltung) bis hin zum Rückbau des Gebäudes-, so setzt sich der oben beschriebene Trend der Relativierung von Abweichungen fort bzw. verstärkt sich je nach Wirkungsindikator (siehe Abb. 28 sowie Anhang M). Nach wie vor liegt das Treibhauspotential der Konstruktion des Muster-EFH in Leichtbauweise (Holzständer) unterhalb des Niveaus massiver Konstruktionen, der Unterschied der Ergebnisse hat sich gegenüber der ausschließlichen Betrachtung der Wandkonstruktion für die Lebenszyklusphase der Herstellung (vgl. Abb. 25) erheblich reduziert.

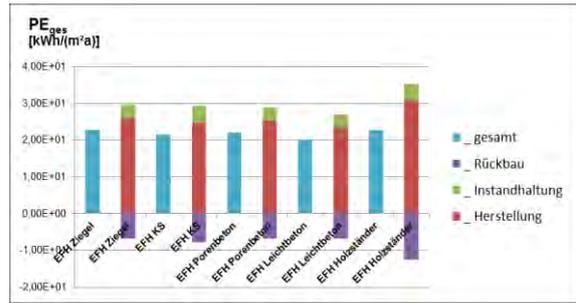
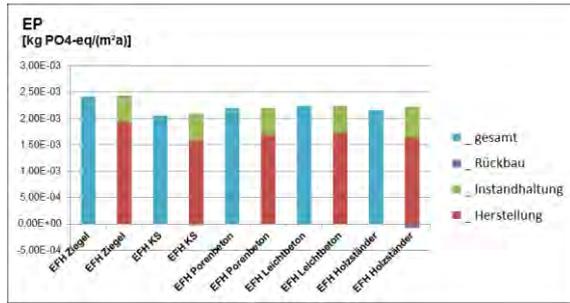
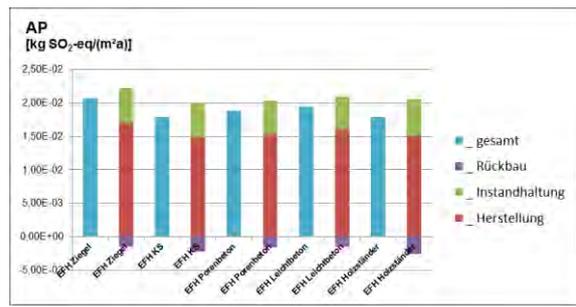
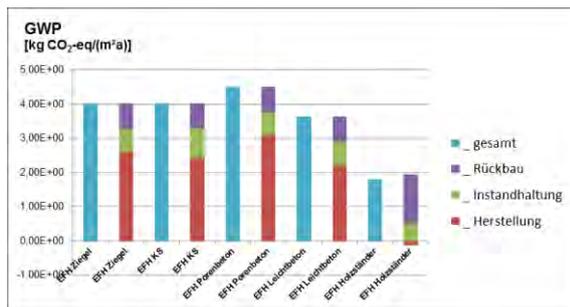


Abb. 28: Ausgewählte Ökobilanz-Ergebnisse der gesamten Konstruktion eines Muster-EFH über den gesamten Lebenszyklus

Systemgrenzen und Berechnungsparameter: Bilanzierung aller Bauteile für einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren (gemäß Vorgaben des DGNB-Systems NKW12) und den gesamten Lebenszyklus (Herstellung | Nutzung | Rückbau). Im Rahmen der Lebenszyklusphase der Nutzung werden hierbei die Aufwendungen zur Instandhaltung der Bauteile des Muster-EFH erfasst und bilanziert. In diesem Zusammenhang sind insbesondere die Nutzungsdauern der jeweiligen Bauteile sowie der Betrachtungszeitraum der Bilanzierung relevant.

Die Ergebnisse werden je Variante des Vergleichsobjekts sowohl nach ihren einzelnen Bestandteilen (Herstellung | Instandhaltung | Rückbau) als auch als Gesamtergebnis (linke Balken) dargestellt.

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 liegt v.a. an dem um ein vielfaches höheren Treibhauspotential beim Rückbau bzw. der Entsorgung von Holzkonstruktionen.¹⁴ Bei den übrigen Indikatoren gilt die obige Feststellung analog, dass die Ökobilanzergebnisse aller Varianten auf ähnlichem Niveau liegen.

Schritt 5 - Ökobilanzielle Gesamtergebnisse

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

¹⁴ Während Holzwerkstoffe für die Lebenszyklusphase der Herstellung als CO₂-Senke gelten, wird bei ihrer (vorzugsweise thermischen) Entsorgung und Verwertung das gebundene CO₂ wieder emittiert (siehe dazu bereits oben unter *Schritt 2 - Ökobilanzielle Ergebnisse der Wandkonstruktionen über den gesamten Lebenszyklus*)

ständig angenähert und auf ein ähnliches Niveau nivelliert haben. Maßgeblicher Hintergrund ist, dass die ökobilanziellen Gesamtergebnisse sehr stark von den Umweltwirkungen geprägt werden, die aus dem Wärme- und Stromverbrauch der Nutzungsphase resultieren (siehe Abb. 29 sowie Anhang N). Insgesamt bleibt demnach festzuhalten, dass den massiven Muster-EFH-Varianten aus Mauerwerk eine mit der Variante in Holzständerbauweise durchaus vergleichbare ökobilanzielle Qualität attestiert werden kann.

DGNB-Bewertung

Dies schlägt sich folgerichtig auch in der Bewertung der zugrundeliegenden DGNB-Bewertungskriterien NKW12-01 bis -05 sowie -10 und -11 nieder. Bei der Durchführung dieser DGNB-Bewertung erreichen alle Muster-EFH-Varianten bei den relevanten Wirkungsindikatoren fast durchgängig die *Optimalbewertung* von 10 Bewertungspunkten. Abb. 30 zeigt in Form zweier Diagrammtypen eine Gesamtschau der erreichten Bewertungsergebnisse.

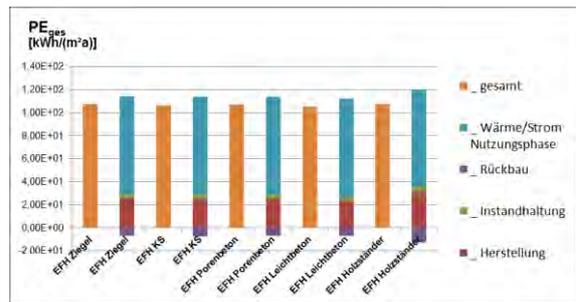
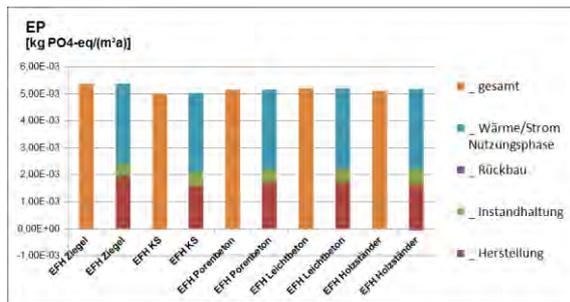
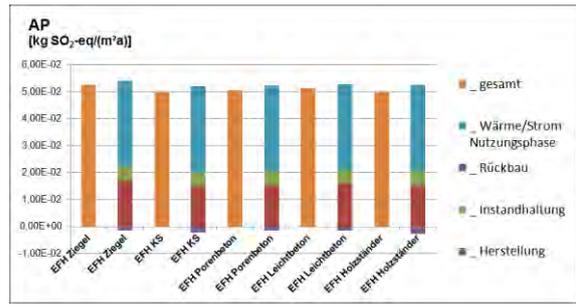
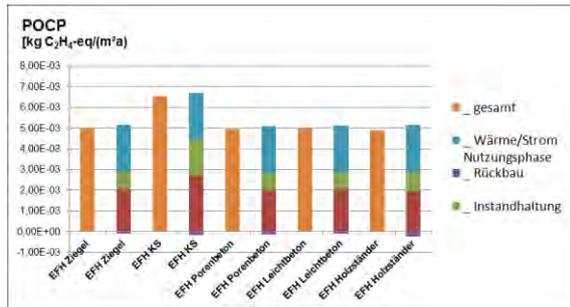
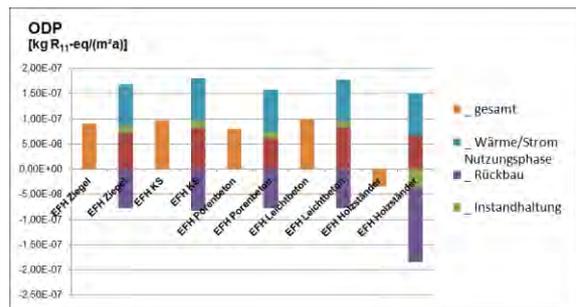
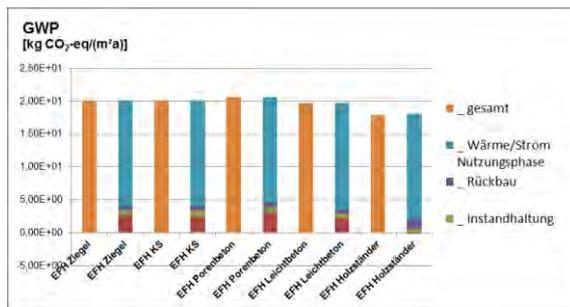


Abb. 29: Ausgewählte ökobilanzielle Gesamtergebnisse eines Muster-EFH

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).

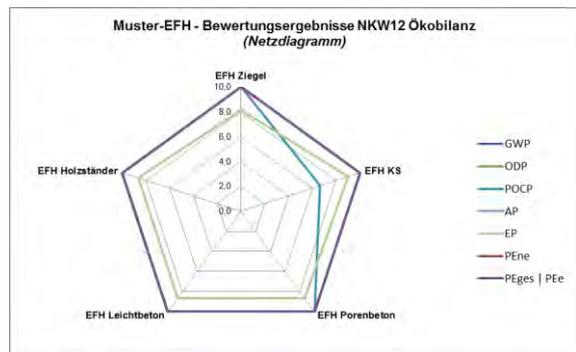
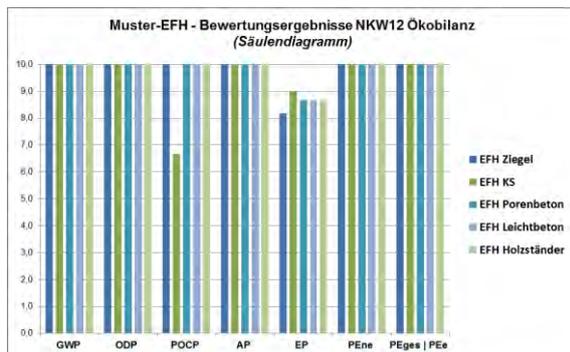


Abb. 30: Ökobilanzielle Bewertungsergebnisse der Muster-EFH-Varianten im DGNB-System NKW12

GWP: Treibhauspotential in kg CO₂-eq

POCP: Ozonbildungspotential in kg C₂H₄-eq

EP: Überdüngungspotential in kg PO₄-eq

ODP: Ozonschichtabbaupotential in kg R₁₁-eq

AP: Versauerungspotential in kg SO₂-eq

PE_{ges}: Gesamtprimärenergie in kWh

Exkurs: Ausweitung des Betrachtungszeitraums auf 80 Jahre

Bei einem Betrachtungszeitraum von 80 Jahren können die langen Nutzungsdauern massiver Konstruktionen bzw. Bauteile realitätsgetreuer abgebildet werden.

Wesentliche Auswirkungen der Ausweitung des Betrachtungszeitraums

Bei der Entwicklung der deutschen Nachhaltigkeitsbewertungs- und -zertifizierungssysteme (vgl. Kapitel 3) wurde der Betrachtungszeitraum der Bewertung allgemein bzw. auch der ökobilanziellen Bewertung im Speziellen - und damit der zu bewertende Lebenszyklus eines Gebäudes - auf 50 Jahre fixiert. Auf diesen Betrachtungszeitraum bezogen sich auch die bisher dargestellten ökobilanziellen Berechnungen (siehe Abb. 25 bis Abb. 29 sowie Anhang J bis N). In der Realität können Gebäude allerdings erheblich längere Lebenszyklen und Nutzungsdauern aufweisen, insbesondere gilt dies für Wohngebäude.

Aus diesem Grund wurden die ökobilanziellen Berechnungen der Anhänge J bis M nochmals in modifizierter Vorgehensweise, d.h. für einen Betrachtungszeitraum von 80 Jahren durchgeführt. Die Ergebnisse dieser modifizierten Berechnungen sind in den Anhängen J^* bis N^* dargestellt.

Als Fazit der Auswertung der modifizierten ökobilanziellen Berechnung der Muster-EFH-Varianten lassen sich zwei zentrale Punkte herausstellen (siehe dazu Anhänge J^* bis N^*):

> Leicht reduzierte *absolute* Ökobilanzergebnisse für alle Indikatoren

Hintergrund ist erstens, dass die Umweltwirkungen der Konstruktion/der Bauteile aus der Lebenszyklusphase der Herstellung auf einen deutlichen längeren Zeitraum verteilt werden. Jedoch führt der ausgedehnte Betrachtungszeitraum zweitens zu Instandhaltungsaufwendungen für Bauteilschichten mit geringen Nutzungsdauern, z.B. Ausbaumaterialien wie Anstriche oder textile Bodenbeläge und damit zu Umweltwirkungen. Allerdings werden diese erhöhten Umweltwirkungen im Ergebnis gleichsam zumindest *teilweise* durch die Umlage auf einen längeren Betrachtungszeitraum *kompensiert*.

> *Relation* zwischen den Ökobilanzergebnissen über die Muster-EFH-Varianten hinweg bleibt *konstant*.

Für die Einschätzung zur ökobilanziellen Qualität der Muster-EFH-Varianten für die einzelnen Teil- und die abschließende Gesamtbetrachtung ergeben sich auf-

Zur Ableitung von Bewertungsergebnissen fehlen Benchmarks

grund der Ausdehnung des Betrachtungszeitraums auf 80 keine grundsätzlichen Veränderungen. Daher gelten insbesondere auch die Erläuterungen zu den Abb. 25 bis Abb. 29 bzw. den Anhängen J bis N fort.

Eine Bewertung in Analogie zur Darstellung aus Abb. 30 lässt sich für den modifizierten Betrachtungszeitraum nicht ableiten, weil das einschlägige Bewertungssystem NKW12 in den relevanten Ökobilanz-Kriterien nur Benchmarks vorhält, die für den originären Betrachtungszeitraum von 50 Jahren kalibriert sind.

Risiken für die lokale Umwelt

Das Kriterium *NKW12-6 Risiken für die lokale Umwelt* gehört zur Hauptkriteriengruppe der *Ökologie* und repräsentiert insgesamt *3,375 % der Gesamtnote* eines zu bewertenden Gebäudes. Bewertet wird, 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 [17]. 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. 15 sowie Anhang G).

Das Baumaterial Mauerwerk erfüllt die Anforderungen aller vier Qualitätsstufen des Kriteriums und kann daher gemäß der optimalen Bewertungspunktzahl (Zielwert: 10 Bewertungspunkte) klassifiziert werden (Abb. 31). 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 höchsten Anforderungen des Kriteriums erfüllen.

| EFH / ZFH aus Mauerwerk | Kriterium NKW12-06 | Risiken für die lokale Umwelt |
|------------------------------|----------------------|--|
| Gewichtung Kriterium | | 3,375 % Anteil an der Gesamtnote |
| Anforderungen des Kriteriums | | |
| Qualitätsstufe 1 | 1 Bewertungspunkt | Anforderungen erfüllt, Qualitätsstufe erreicht ✓ |
| Qualitätsstufe 2 | 5 Bewertungspunkte | Anforderungen erfüllt, Qualitätsstufe erreicht ✓ |
| Qualitätsstufe 3 | 7,5 Bewertungspunkte | Anforderungen erfüllt, Qualitätsstufe erreicht ✓ |
| Qualitätsstufe 4 | 10 Bewertungspunkte | Anforderungen erfüllt, Qualitätsstufe erreicht ✓ |

Abb. 31: Einschätzung zur Bewertung des Kriteriums NKW12-06 Risiken für die lokale Umwelt

Die abschließende Gesamtbewertung des Kriteriums für Ein- und Zweifamilienhäuser hängt darüber hinaus jedoch auch von einer entsprechenden analogen Bewertung aller übrigen im Bauwerk eingesetzten Baumaterialien ab.

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 Qualitätsaspekte statischer Tragreserven und der Widerstandsfähigkeit bei Schadensereignissen (v.a. Brand), die hohen Lebensdauern in Verbindung mit einer Instandhaltungsfreiheit von Mauerwerkswänden sowie die aus statisch-baupraktischer Sicht einfache Realisierbarkeit von Mauerdurchbrüchen hingewiesen.

Allerdings bewerten die gleichnamigen Kriterien des relevanten Bewertungssystems (*NKW12-17, -69*) sowohl Wertstabilität als auch Nutzungsflexibilität anhand anderer Indikatoren, die grundsätzlich unabhängig von der Konstruktionsweise und der Baustoff-/Materialwahl sind (Marktgängigkeit der Grundstücks- oder Wohngebäude- bzw. Wohnungsgröße, architektonische Grundrissgestaltung). Insofern kann die beschriebene hohe Nachhaltigkeitsqualität von Ein- und Zweifamilienhäusern aus Mauerwerk vom anzuwendenden Bewertungssystem nicht adäquat abgebildet werden.

Bewertungsmethodik Kriterien

Bewertung der Wertstabilität und Nutzungsflexibilität von EFH/ZFH anhand *konstruktions- und baustoff-/materialunabhängiger* Indikatoren (Marktgängigkeit der Grundstücks- und Gebäude-/Wohnungsgröße, architektonischer Grundrissgestaltung und lichter Raumhöhe).

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

Faktische Nachhaltigkeitsqualität von EFH/ZFH aus Mauerwerk

- > Statische Tragreserven im Falle von veränderten Nutzungsanforderungen
- > Widerstandsfähigkeit 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. 32: Einschätzung zur faktischen Nachhaltigkeitsqualität hinsichtlich Wertstabilität und Nutzungsflexibilität

Thermischer Komfort

Die Kriterien *NKW12-18/-19 Thermischer Komfort Winter/Sommer* stellen wichtige Elemente der Hauptkriteriengruppe Soziokultur und Funktionalität dar und gehen mit *5,355 %* in die Gesamtbewertung ein. Der thermische Komfort wird anhand verschiedener Indikatoren bewertet, wobei die beiden Indikatoren *Operative Temperatur* und *Strahlungstemperatursymmetrie* von der Konstruktionsweise der gebäudeumhüllenden Bauteile und damit auch von Konstruktionen aus Mauerwerk beeinflusst werden. Jedoch erfolgt die abschließende Bewertung der Indikatoren auf Basis von Nachweisen, die auch von weiteren Gebäudecharakteristika und daher nicht allein von der Konstruktionsweise Mauerwerk abhängig sind (Abb. 33).

Insofern ist hinsichtlich der Nachhaltigkeitsbewertung des thermischen Komforts von Ein- und Zweifamilienhäusern lediglich die *qualitative Feststellung* möglich, dass die hervorragenden Wärmedämmeigenschaften sowie die Wärmespeicherfähigkeit von Mauerwerk sehr gute Voraussetzungen für eine hohe Bewertung der genannten Indikatoren schaffen.

Gewichtung Kriterien

5,355 % Anteil an der Gesamtnote

Relevante Indikatoren der Kriterien und maximal erreichbare Checklistenpunkte

- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1. Operative Temperatur | maximal 70 von insgesamt 100 Checklistenpunkten erreichbar |
| 3. Strahlungstemperaturasymmetrie | maximal 15 von insgesamt 100 Checklistenpunkten erreichbar |

Qualitative Einschätzung zur Indikatorenbewertung

Wärmedämmeigenschaften (Wärmeleitfähigkeit, Wärmedurchgangskoeffizient) und Wärmespeicherfähigkeit (Wärmespeicherkapazität) von Mauerwerkskonstruktionen schaffen sehr gute Voraussetzungen für hohe Bewertungen der Indikatoren *Operative Temperatur* und *Strahlungstemperaturasymmetrie*.

Abb. 33: Einschätzung zur Bewertung der Kriterien NKW12-18 und -19 Thermischer Komfort

Innenraumhygiene

Wechselwirkung mit Kriterium NKW12-06: Eine gute Bewertung der Risiken für die lokale Umwelt legt ferner die notwendige Basis für gute Ergebnisse bei der Innenraumhygiene.

Weiterer wesentlicher Bestandteil der Hauptkriterien-Gruppe Soziokultur und Funktionalität stellt Kriterium *NKW12-20 Innenraumhygiene* mit einem Anteil von 3,218 % an der Gesamtbewertung dar. Mit Blick auf die Nachhaltigkeitsqualität von Mauerwerkskonstruktionen ist ausschließlich der Indikator *Innenraumhygiene - flüchtige organische Verbindungen (VOC)* einschlägig.

Die Bewertung des Indikators erfolgt anhand der *Raumluftkonzentration an VOC* sowie *Formaldehyd* (siehe dazu bereits Tab. 5). Diese Kennwerte sind mittels einer Raumluftmessung in repräsentativen Räumen eines Gebäudes inklusive der erforderlichen chemisch-analytischen Auswertung relevanter Stoffe und Verbindungen zu bestimmen. Die finale Bewertung eines Ein- oder Zweifamilienhauses kann daher grundsätzlich nur auf Basis der Ergebnisse einer solchen Raumluftmessung abgeleitet werden. Allerdings erkennt das Kriterium explizit an, dass eine Auswahl und Ausführung emissionsarmer Bauprodukte die Grundlage für Innenräume mit niedrigen Konzentrationen an VOC und Formaldehyd legt [17].

Das Qualitätskriterium der Emissionsarmut trifft insbesondere auf mineralische Baumaterialien wie Mauerwerk zu. Wandkonstruktionen aus Mauerwerk bieten daher ideale Voraussetzungen für eine optimale Bewertung des Indikators (Abb. 34). Diese Einschätzung gilt des Weiteren auch im Kontext mit je nach energetischen und/oder innenraumgestalterischen Anforderungen notwendigen Ergänzungsmaterialien (z.B. in-

tegrierte Kerndämmung, Innenwandfarben, etc.). Die Vielfalt und (ökologische) Qualität lieferbarer Baumaterialien gewährleistet hier ohne weiteres die Verfügbarkeit entsprechender emissionsarmer Produkte.

| EFH / ZFH aus Mauerwerk | Kriterium NKW12-20 | Innenraumhygiene |
|---|--------------------|--|
| Gewichtung Kriterium | | 3,218 % Anteil an der Gesamtnote |
| Relevanter Indikator des Kriteriums und maximal erreichbare Checklistenpunkte | | |
| 1. Innenraumhygiene – flüchtige organische Verbindungen (VOC) | | maximal 50 von insgesamt 100 Checklistenpunkten erreichbar |
| Indikatorenbewertung | | |
| <p>Als mineralisches Bauprodukt bietet Mauerwerk ideale Voraussetzungen für die Ausführung emissionsarmer Wandkonstruktionen, d.h. eine niedrige Raumlufkonzentration an VOC und Formaldehyd verbunden mit einer entsprechend hohen Bewertung des Indikators Innenraumhygiene – flüchtige organische Verbindungen (VOC).</p> <p>Auch im Verbund mit weiteren erforderlichen Ergänzungsmaterialien kann ein gesamthafter Wandaufbau in der Regel emissionsarm ausgeführt werden.</p> | | |

Abb. 34: Einschätzung zur Bewertung des Kriteriums NKW12-20 Innenraumhygiene

Barrierefreiheit

Für das Kriterium *NKW12-26 Barrierefreiheit* gelten die obigen Ausführungen zu Wertstabilität und Nutzungsflexibilität gleichermaßen. Auch hier erfolgt die Bewertung auf Basis baustoff-/materialunabhängiger Gebäudemerkmale. Die in Kapitel 7 dargelegten Qualitäten massiver Konstruktionen hinsichtlich sich im Lebenszyklus wandelnder Anforderungen an eine barrierefreie/altersgerechte Grundrissgestaltung können somit vom System nicht erfasst werden. Sie sollten aber dennoch im Rahmen einer ganzheitlichen Nachhaltigkeitsbilanz Erwähnung finden (Abb. 35).

| EFH / ZFH aus Mauerwerk | Kriterium NKW12-26 | Barrierefreiheit |
|--|--------------------|------------------|
| Bewertungsmethodik Kriterien | | |
| <p>Bewertung der Barrierefreiheit von EFH/ZFH anhand grundsätzlich <i>konstruktions- und baustoff-/materialunabhängiger</i> Indikatoren (Durchgangsbreite Eingangstüren, Durchgangsbreite Innentüren, ausreichende Bewegungsflächen, etc.).</p> <p>Qualitätsmerkmale von Konstruktionen aus Mauerwerk (Tragreserven, Realisierbarkeit von Grundrissänderungen) können mit diesen Indikatoren <i>nicht</i> abgebildet werden.</p> | | |
| Faktische Nachhaltigkeitsqualität von EFH/ZFH aus Mauerwerk | | |
| <ul style="list-style-type: none"> > Statische Tragreserven im Falle von veränderten Nutzungsanforderungen (z.B. Treppenlifte) > Baupraktisch einfache Realisierbarkeit von Grundrissänderungen (z.B. Mauerdurchbrüche, Erhöhung von Durchgangsbreiten, Schaffung von Bewegungsflächen, etc.) | | |

Abb. 35: Einschätzung zur faktischen Nachhaltigkeitsqualität hinsichtlich der Barrierefreiheit

Brandschutz

Im Zuge der Analyse der Nutzungsphase von Ein- und Zweifamilienhäusern wurde ausführlich das hohe Sicherheitsniveau massiver Gebäudekonstruktionen herausgearbeitet (siehe Kapitel 7). Leider wird dieser Nachhaltigkeitsaspekt im relevanten Bewertungssystem NKW12 - anders als etwa im DGNB- oder BNB-Basissystem für Büro- und Verwaltungsgebäude - weder im Rahmen eines eigenständigen Kriteriums noch innerhalb des thematisch zugehörigen Kriteriums *NKW12-33 Brandschutz* (Hauptkriteriengruppe Technik, 5,625 % Anteil an der Gesamtbewertung) adressiert. Nichtsdestotrotz soll das hohe Sicherheitsniveau massiver Konstruktionen gemäß Analyse aus Kapitel 7 in einer ganzheitlichen Nachhaltigkeitsbilanz von Ein- und Zweifamilienhäusern aus Mauerwerk Eingang finden (siehe Abb. 36).

| EFH / ZFH aus Mauerwerk | Kriterium NKW12-33 | Brandschutz |
|--|--------------------|-------------|
| Bewertungsmethodik Kriterien | | |
| Bewertung der Einhaltung bauordnungsrechtlicher Mindestanforderungen an den Brandschutz (gem. Landesbauordnungen) sowie baulicher und/oder (anlagen-)technischer Maßnahmen der Übererfüllung bauordnungsrechtlicher Mindestanforderungen (z.B. Einbau von Fluchttreppen, Trittstufen an Dachfenstern, vernetzte Rauchmelder, fest montierte Feuerlöscher, etc.) | | |
| Qualitätsmerkmale von Konstruktionen aus Mauerwerk (Brandverhalten, Widerstandsfähigkeit beim Eintritt von Brandereignissen, etc.) können hiermit <i>nicht</i> abgebildet werden. | | |
| Faktische Nachhaltigkeitsqualität von EFH/ZFH aus Mauerwerk | | |
| <ul style="list-style-type: none">> In der Regel automatische Übererfüllung 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. 36: Einschätzung zur faktischen Nachhaltigkeitsqualität hinsichtlich des Brandschutz

Schallschutz

Das Kriterium *NKW12-34 Schallschutz* gehört wie der o.g. Aspekt Brandschutz zur technischen Qualität von Ein- und Zweifamilienhäusern und geht ebenfalls mit 5,625 % in die Gesamtbewertung ein. Die Bewertung der schallschutztechnischen Qualität erfolgt auf Basis eines Schallschutzausweises gemäß der DEGA-Empfehlung 103 [39] (siehe dazu bereits in Kapitel 7 sowie Abb. 37).

Im Kontext der in diesem Kapitel 9 avisierten exemplarischen Nachhaltigkeitsbeurteilung von Einfamilienhäusern (aus Mauerwerk) sind dabei gemäß Abb. 37 die Geräuscharten bzw. Schallschutzklassen *Außenbauteile*

(Luftschall; gegenüber Außenlärm) und Eigener Wohnbereich (Luftschall Innenwände) relevant. Für diese Aspekte des Schallschutzes liegen in der DEGA-Empfehlung 103 in Verbindung mit dem Kriteriensteckbrief NKW12-34 Anforderungswerte für das bewertete Bau-Schalldämm-Maß R'_w von Außenbauteilen ($R'_w \geq 40$ dB; Grenzwertanforderung) und Innenwänden ($R'_w \geq 42$ dB; Referenzwertanforderung bzw. $R'_w \geq 47$ dB; Zielwertanforderung) vor (Abb. 37).

| | | |
|--------------------------|---------------------------|---------------------|
| EFH aus Mauerwerk | Kriterium NKW12-34 | Schallschutz |
|--------------------------|---------------------------|---------------------|

Gewichtung Kriterium

5,625 % Anteil an der Gesamtnote

Bewertungsmethodik Kriterium

Die Bewertung des Schallschutzes von EFH erfolgt auf Basis eines Schallschutzausweises nach der DEGA-Empfehlung 103 mit folgenden einzuhaltenden Anforderungen

| | CLP | BEWERTUNGSPUNKTE (BWP) | | Anmerkung |
|--|-----|------------------------|----------------|----------------------------------|
| Einhaltung der Klasse B des DEGA Empfehlung 103 wird üblicherweise gut erreicht (kein gesonderter Nachweis erforderlich) | 50 | 1 | GRENZWERT G | |
| Zusätzlich Einhaltung der Klasse EW 1 nach DEGA Richtlinie 103 | 70 | 5 | REFERENZWERT R | Innenwände mit $R'_w \geq 42$ dB |
| Zusätzlich Einhaltung der Klasse EW 2 nach DEGA Richtlinie 103 | 100 | 10 | ZIELWERT Z | Innenwände mit $R'_w \geq 47$ dB |

Relevante Geräuscharten nach DEGA-Empfehlung 103 und maximal erreichbare Punkte

| | |
|---|--|
| II.4, Tabelle 5 Außenbauteile (Luftschall) | maximal 15 von insgesamt 210 Punkten für Einhaltung Zielwert |
| II.5, Tabelle 7 Eigener Wohnbereich (Luftschall Innenwände) | maximal 10 von insgesamt 210 Punkten für Einhaltung Zielwert |

Anforderungen an EFH zu relevanten Geräuscharten

| Gesamtbewertung Baulicher Schallschutz | Bewertung Wandkonstruktionen | | | |
|--|---|----|------------------|---|
| Einhaltung Klasse B der DEGA-Empfehlung 103 | Luftschall Außenbauteile erf. $R'_w \geq 40$ dB (z.B. für Lärmpegelbereich IV) | 1 | Bewertungspunkt | Anforderung erfüllt, Grenzwert erreicht ✓ ^{*)} |
| Zusätzliche Einhaltung Klasse EW 1 der DEGA-Empfehlung 103 | Luftschall Innenwände erf. $R'_w \geq 42$ dB (Klasse EW 1: keine Vertraulichkeit) | 5 | Bewertungspunkte | Anforderung erfüllt, Referenzwert erreicht ✓ |
| Zusätzliche Einhaltung Klasse EW 2 der DEGA-Empfehlung 103 | Luftschall Innenwände erf. $R'_w \geq 47$ dB (Klasse EW 2: Vertraulichkeit gegeben) | 10 | Bewertungspunkte | Anforderung <i>bedingt</i> erfüllt, Zielwert <i>bedingt</i> erreicht ✓ |

*) keine Betrachtung eines kombinierten Bauteils Wand – Fenster

Abb. 37: Einschätzung zur Bewertung des Kriteriums NKW12-34 Schallschutz

Das letztendliche schallschutztechnische Bewertungsergebnis eines Gebäudes hängt allerdings darüber hinaus auch von anderen Faktoren, z.B. der schallschutztechnischen Qualität der Geschossdecken (Luft- und Trittschall) oder der Dach- und Fensterflächen (Luftschall gegenüber Außenlärm).

Wärmeschutz

In der Praxis für Einfamilienhäuser übliche Wandstärken und -aufbauten von Mauerwerkskonstruktionen in Ziegel, Kalksandstein, Porenbeton oder Leichtbeton können - insbesondere aufgrund ihrer in Kombination mit Mörtel und Ergänzungsmaterialien wie Putzen vergleichsweise hohen flächenbezogenen Masse m' - diese schallschutztechnischen Anforderungen der DEGA-Empfehlung 103 in der Regel einhalten und somit sehr gute (*Referenzwert: 5 Bewertungspunkte*) bis optimale (*Zielwert: 10 Bewertungspunkte*) erreichen.¹⁵

Bei der Analyse der Lebenszyklusphase der Nutzung von Ein- und Zweifamilienhäusern 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 NKW12 im Wesentlichen vom *Kriterium NKW12-35 Wärme- und feuchteschutztechnische Qualität der Gebäudehülle* adressiert. Wie Brand- und Schallschutz gehört das Kriterium zur Hauptkriteriengruppe Technik und geht analog mit 5,625 % in die Gebäudeendnote ein. Für eine Nachhaltigkeitsbeurteilung von Ein- und Zweifamilienhäusern bzw. deren massiver Wandkonstruktionen aus Mauerwerk sind die beiden Indikatoren *1. Bauteilbezogene mittlere Wärmedurchgangskoeffizienten* (kurz: U-Werte) sowie *2. Sonneneintragskennwert S* von Relevanz, gemeinsam repräsentieren sie rund 50 % der Bewertung des Kriteriums (siehe Abb. 38).¹⁶

Mit üblichen Wandstärken für Außenwände lassen sich - je nach Wahl einer der marktbestimmenden Mauersteinarten im Verbund mit ergänzenden Dämmmaterialien (WDVS-Schale oder integrierte Kerndämmung) - U-Werte erzielen, die alle Anforderungen des Kriteriums/Indikators an opake Bauteile erfüllen.

¹⁵ Ob die Innenwände eines individuellen EFH zusätzlich die Klasse EW 1 oder im Optimalfall die Klasse EW 2 einhalten, hängt von im Einzelfall von der Rohdichteklasse des verwendeten Steintyps und der Wandstärke ab. Grundsätzlich können aber mit allen vier marktbestimmenden Mauersteinarten die Anforderungen der Klasse EW 2 erfüllt werden.

¹⁶ Die übrigen Indikatoren des Kriteriums weisen keine Spezifität hinsichtlich des Konstruktionsmaterials der Wände auf.

Der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 erfolgt auf Basis der Gegenüberstellung des real vorhandenen Sonneneintragskennwerts S und einem höchsten zulässigen Sonneneintragskennwert [36].

Einen besonderen Vorteil können massive Ein- und Zweifamilienhäuser beim Indikator *Sonneneintragskennwert* S für sich geltend machen. Zunächst wird der vorhandene Sonneneintragskennwert S bestimmt von den Fensterflächen, dem Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung und der Nettogrundfläche des jeweiligen Raums [36]. Insoweit besteht kein Einfluss durch Wandkonstruktionen. Allerdings wird der zulässige Sonneneintragskennwert S_{max} neben weiteren Faktoren beeinflusst von der Bauart: für eine schwere Bauart, z.B. in Mauerwerk, legt die DIN 4108-2 höhere zulässige Sonneneintragskennwerte fest. Hier kann die strenge Anforderung des Zielwerts ($0,8 \cdot S_{max}$) einfacher eingehalten werden; Ein- und Zweifamilienhäuser aus Mauerwerk legen hier hervorragende Voraussetzungen für eine optimale Bewertung des Indikators.

| EFH / ZFH aus Mauerwerk | Kriterium NKW12-35 | Feuchte- und wärmeschutztechnische Qualität | |
|---|--|--|---|
| Gewichtung Kriterium | | 5,625 % Anteil an der Gesamtnote | |
| Relevante Indikatoren des Kriteriums und maximal erreichbare Checklistenpunkte | | | |
| 1. Bauteilbezogene mittlere Wärmedurchgangskoeffizienten U [W/(m²K)] | maximal 30 von insgesamt 100 Checklistenpunkten erreichbar | | |
| 6. Sonneneintragskennwert S [-] | maximal 15 von insgesamt 100 Checklistenpunkten erreichbar | | |
| Anforderungen der relevanten Indikatoren | | | |
| Mittlere Wärmedurchgangskoeffizienten U der opaken Außenbauteile | | | |
| Grenzwert: $U \leq 0,28$ W/(m²K) | 15 Checklistenpunkte | Anforderungen erfüllt, Qualitätsstufe erreicht | ✓ |
| Referenzwert: $U \leq 0,23$ W/(m²K) | 20 Checklistenpunkte | Anforderungen erfüllt, Qualitätsstufe erreicht | ✓ |
| Zielwert: $U \leq 0,15$ W/(m²K) | 30 Checklistenpunkte | Anforderungen erfüllt, Qualitätsstufe erreicht | ✓ |
| Sonneneintragskennwert S | | | |
| Grenz-/Referenzwert: (vorh.) $S \leq$ (zulässig) S_{max} | 8 Checklistenpunkte | | |
| Zielwert: (vorh.) $S \leq 0,8 \cdot$ (zulässig) S_{max} | 15 Checklistenpunkte | | |
| 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 EFH aus Mauerwerk möglich. | | | |
| Allerdings wird der höchstens zulässige Sonneneintragskennwert S_{max} beeinflusst von der Bauart. Konkret schreibt die DIN 4108-2 für eine schwere Bauart (z.B. Mauerwerk) höhere zulässige Sonneneintragskennwerte S_{max} fest. | | | |
| Dadurch kann die strengere Anforderung des Zielwerts von EFH aus Mauerwerk bei sonst gleichen Randbedingungen (Fensterflächen, Verglasung, Grundrissflächen) einfacher erreicht werden. EFH aus Mauerwerk legen daher hervorragende Voraussetzungen für eine optimale Bewertung des Indikators. | | | |

Abb. 38: Einschätzung zur Bewertung des Kriteriums NKW12-35 Wärme- und feuchteschutztechnische Qualität der Gebäudehülle

Rückbau- und Demontagefreundlichkeit

Abschluss der technischen Hauptkriteriengruppe des einschlägigen Bewertungssystems NKW12 bildet das Kriterium *NKW12-42 Rückbau- und Demontagefreundlichkeit* zur Bewertung des Recyclingpotentials von Ein- und Zweifamilienhäusern (5,625 % Endnotenanteil). Mit Blick auf den Betrachtungsgegenstand von Wandkonstruktionen aus Mauerwerk sind der *Aufwand zur Demontage des Bauteils* sowie die *Möglichkeit zur Trennung von Bauteilschichten* als die relevanten Indikatoren zu nennen (Abb. 39). Bei einer entsprechenden Beurteilung der Bauteile bzw. Bauteilschichten ist gemäß Kriteriensteckbrief der Standard der gängigen Praxis anzusetzen.

EFH / ZFH aus Mauerwerk **Kriterium NKW12-42** **Rückbau- und Demontagefreundlichkeit**

Gewichtung Kriterium **5,625 % 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 Füllenelementen | Sehr hoch | 0 | Qualitätsstufe erreicht ✓ |
| Gering | Mit geringem Aufwand zu demontieren z. B. Absaugung von geschütteten Materialien, Demontieren von abschraubbaren Verschaltungen | Hoch | 8 | Qualitätsstufe erreicht ✓ |
| Sehr gering | Sehr leicht zu demontieren z. B. Lösen geklemmter Verbindungen oder einfacher Klick- bzw. Schraubverbindungen, Entfernen loser Auflagen | Mittel | 24 | Qualitätsstufe erreicht ✓ |
| | | Gering | 32 | Qualitätsstufe nicht erreicht x |
| | | Sehr gering | 38 | Qualitätsstufe 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 | |
|------------------|---|--|---------|-----------------------------------|
| Vertretbar | Erfordert neben dem personellen Aufwand einen entsprechenden, baustellengeeigneten Maschineneinsatz: Abstemmen, Abfräsen, Abschleifen usw. | Dabei entsprechen die Kategorien folgender Bewertung | | |
| Leicht | Kann von Personen manuell oder mit einfachen Werkzeugen vorgenommen werden: Abziehen (z. B. Boden und Wandbeläge auf Trennlage), Abreißen, Abheben usw. | Nicht vertretbar | 0 | Qualitätsstufe erreicht ✓ |
| | | Vertretbar | 24 | Qualitätsstufe erreicht ✓ |
| | | Leicht | 38 | Qualitätsstufe bedingt erreicht ✓ |

Abb. 39: Einschätzung zur Bewertung des Kriteriums NKW12-42 Rückbau- und Demontagefreundlichkeit

Monolithische Mauerwerkskonstruktionen mit Putz- und Farbschichten können gemäß Kriteriensteckbrief als einzige *homogenisierte* Schicht angesehen werden [17].

Die insgesamt vier Bauteilbereiche bzw. die entsprechenden einzelnen Bauteile gehen massengewichtet in die Gesamtbewertung ein [17]. Für die erforderlichen Berechnungen wird vom Systemträger ein Software-Tool zur Verfügung gestellt.

Fazit

Verglichen mit weiteren in der Baupraxis von Ein- und Zweifamilienhäusern gängigen Wandkonstruktionen und -aufbauten einerseits und insbesondere unter Einbeziehung von eigenen Erfahrungswerten aus der Durchführung realer Zertifizierungsprojekte andererseits kann der Aufwand zur Demontage von Wandkonstruktionen in Mauerwerk erstens als *mittel* (24 von max. 38 Checklistenpunkten) klassifiziert werden. Weiterhin kann der Aufwand zur Trennung von Bauteilschichten zweitens als *leicht* (für monolithische Mauerwerkskonstruktionen; Optimalbewertung mit 38 Checklistenpunkten) respektive als *vertretbar* (für Mauerwerkswände mit WDVS; 24 von max. 38 Checklistenpunkten) eingestuft werden.

Die finale Bewertung eines Ein- oder Zweifamilienhauses ist aber ferner auch von einer analogen Bewertung weiterer konstruktiver Bauteile (Geschossdecken, Gründung, Dachkonstruktion, etc.) sowie der übrigen Bauteilbereiche (nichtkonstruktive (Aus-)Bauelemente, technische Gebäudeausrüstung) abhängig.¹⁷ Aus dieser Perspektive leistet die dargelegte Einschätzung zur Rückbau- und Demontagefreundlichkeit von Wandkonstruktionen aus Mauerwerk zunächst lediglich einen abgegrenzten Beitrag zur Gesamtbewertung des Kriteriums NKW12-42 und schafft jedenfalls grundsätzlich gute Voraussetzungen für eine hohe Gesamtbewertung des Recyclingpotentials.

In Kapitel 9 wurden alle im Rahmen dieser Studie untersuchten Nachhaltigkeitsaspekte von Ein- und Zweifamilienhäusern aus Mauerwerk in den Kontext einer Nachhaltigkeitsbewertung im einschlägigen System NKW12 eingeordnet und für die relevanten Bewertungskriterien dieses Systems eine Einschätzung zur Bewertung des jeweiligen Kriteriums für ein Einfamilienhaus aus Mauerwerk 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.

¹⁷ Vgl. Fn. 11

Nichtsdestotrotz ließen sich aufgrund der vorstehenden Einschätzungen dieses Kapitels zu Bewertungsergebnissen einzelner Kriterien (vgl. Abb. 30 bis Abb. 39) qualitative Aussagen zum Einfluss der beschriebenen Nachhaltigkeitsqualität von Wandkonstruktionen aus Mauerwerk auf das spätere Gesamtergebnis machen.

Insgesamt zeigt die vorliegende Studie, dass Wandkonstruktionen aus Mauerwerk in von der Konstruktionsweise und/oder dem Baumaterial tangierten Kriterien des Systems NKW12 entweder unmittelbar zu hohen Bewertungsergebnissen beitragen oder zumindest mittelbar die dazu nötigen Voraussetzungen schaffen, damit letztlich die hohe Nachhaltigkeitsqualität von Ein- und Zweifamilienhäusern 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] Informationszentrale Massiv Mein Haus e.V. [Hrsg.]: Ökobilanzstudie - Gegenüberstellung Massivhaus/Holzelementbauweise: Erfüllung der Anforderungen „KfW-Effizienzhaus 55“, Schwerin 2010
- [3] Informationszentrale Massiv Mein Haus e.V. [Hrsg.]: Ökobilanzstudie - Gegenüberstellung Massivhaus/Holzbauweise an einem KfW Energiesparhaus 40, Schwerin 2008
- [4] Graubner, C.-A. et al.: Ökologische und ökonomische Potentiale von Mauerwerk. In: Mauerwerk 9 (2005) Heft 5: München: Ernst & Sohn 2005
- [5] Grober, U.: Die Entdeckung der Nachhaltigkeit. Kulturgeschichte eines Begriffs. München: Kunstmann Verlag 2010
- [6] Meadows, D.L. et al.: The Limits of Growth. Universe Books, 1972
- [7] Weltkommission für Umwelt und Entwicklung [Hrsg.]: Report of the World Commission for Environment and Development: Our common future, Genf 1987
- [8] Busco Ferber, E.: Nachhaltigkeit und Gebäudezertifizierung bei Bestandsbauten. In: Der Facility Manager, Ausgabe März 2011
- [9] Die Bundesregierung: Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. 2002
- [10] EU-Kommission/DG Environment [Hrsg.]: Environmental Impact of Products (EIPRO) - Analysis of the life-cycle environmental impacts related to the final consumption of the EU-25. 2006
- [11] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) [Hrsg.]: Energiedaten - ausgewählte Graphiken, Stand November 2012
- [12] Statistisches Bundesamt: Umwelt - Abfallbilanz 2010, Wiesbaden 2012
- [13] Statistisches Bundesamt: Test des OECD-Indikatorensets Green Growth in Deutschland 2012, Wiesbaden 2012
- [14] Peters, H.R.: Bauprodukte für nachhaltiges Bauen. In: Mauerwerksbau aktuell 2009, B.62-B.72, Berlin: Bauwerk Verlag 2009
- [15] Homepage der Deutschen Gesellschaft für nachhaltiges Bauen e.V.: www.dgnb.de
- [16] Graubner, C.-A. et al.: Beyond Platin - Nachhaltigkeitstrends in der Bau- und Immobilienwirtschaft. In: Mauerwerk 16 (2012), Heft 5. München: Ernst & Sohn 2012
- [17] Kriterienkatalog der DGNB-Systemvariante NKW12 (www.dgnb.de)

-
- [18] Graubner, C.-A., Pohl, S.: Umweltproduktdeklarationen für Bauprodukte - Ein Kommunikationskanal für ökologische Nachhaltigkeitsqualität. In: BetonWerk international, No. 3, 2012, S. 116-120
- [19] Institut Bauen und Umwelt e.V.: Umweltproduktdeklaration Perlitgefüllte Ziegel (EPD-POR-2011-211-D), Königswinter 2011
- [20] Institut Bauen und Umwelt e.V.: Umweltproduktdeklaration Kalksandstein (EPD-BKS-2009-111-D), Königswinter 2009
- [21] Institut Bauen und Umwelt e.V.: Umweltproduktdeklaration H+H Porenbeton (EPD-HHC-2010-112-D), Königswinter 2010
- [22] Institut Bauen und Umwelt e.V.: Umweltproduktdeklaration Leichtbetonmauersteine aus natürlichem Zuschlag und Zumischungen von industriell hergestelltem Zuschlag (EPD-BVL-2008-111-D), Königswinter 2008
- [23] Deutsche Rohstoffagentur, 13 DERA Rohstoffinformation, Deutschland - Rohstoffsituation 2011
- [24] Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg.), Steine- und Erden-Rohstoffe in der Bundesrepublik Deutschland - Geologisches Jahrbuch, Sonderhefte, Heft SD 10, Hannover/Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 2012
- [25] Institut Bauen und Umwelt e.V.: Umweltproduktdeklaration Zement (EPD-VDZ-2012-111-D), Königswinter 2012
- [26] Institut Bauen und Umwelt e.V.: Umweltproduktdeklaration Trass (EPD-RHT-2011-111-D), Königswinter 2011
- [27] Graubner, C.-A., Pohl, S.: Sustainability performance of lightweight aggregate concrete masonry. In: Tagungsband zur Nachhaltigkeitskonferenz SB 13 Munich. München: 2013
- [28] Wienerberger AG [Hrsg.]: So lässt es sich länger aushalten - Nachhaltigkeitsbericht 2010, Wien 2011
- [29] Xella International GmbH [Hrsg.]: Protekt - Nachhaltigkeitsbericht 2012, Duisburg 2012
- [30] Bundesverband Leichtbeton e.V. [Hrsg.]: Massiv ökologisch - Nachhaltigkeitsbericht des Bundesverbandes Leichtbeton e.V., Neuwied 2013
- [31] Weickenmeier, N.: Grundlagen der Gestaltung; Stein auf Stein. In: Mauerwerksbau aktuell 2008. Berlin: Bauwerk Verlag 2008
- [32] Graubner, C.-A., Schneider, C.: Nachhaltigkeit von Mauerwerksbauten. In: Mauerwerksbau aktuell 2010. Berlin: Bauwerk Verlag 2010
- [33] Land Oberösterreich, Akademie für Umwelt und Natur [Hrsg.]: Ökologisch bauen und gesund wohnen!, Linz: 2010
- [34] Kriterienkatalog des BNB-Systems (www.nachhaltiges-bauen.de)
- [35] 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

-
- [36] Graubner, C.-A., Schneider, C.: Nachhaltigkeit von Mauerwerksbauten. In: Mauerwerksbau aktuell 2010. Berlin: Bauwerk Verlag 2010 i.V.m. Gertis, K, Sedlbauer, K.: Ökobilanz für Bauprodukte - Faktor Zeit muss stärker berücksichtigt werden. In: Bundesbaublatt Heft 11/48
- [37] DIN e.V.: DIN 4109 - Schallschutz im Hochbau - Anforderungen und Nachweise, Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin
- [38] 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
- [39] Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V.: DEGA-Empfehlung 103 - Schallschutz im Wohnungsbau - Schallschutzausweis, Berlin 2009
- [40] Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel im Bundesverband der deutschen Ziegelindustrie e.V. [Hrsg.]: Baulicher Brandschutz - Brandschutz im Wohnungsbau. Bonn: 2008
- [41] Bundesverband Baustoffe - Steine und Erden [Hrsg.]: Mineralische Bauabfälle, Monitoring 2010, Berlin 2013
- [42] Müller, A. et al.: Aufbaurücklagen - Eine neue thermisch gebundene leichte Gesteinskörnung mit hoher Ressourceneffizienz. In: BFT International 02/2013. Gütersloh: Bauverlag 2013
- [43] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) [Hrsg.]: Zukunft bauen - Das Magazin der Forschungsinitiative Zukunft Bau 2013, Berlin 2012
- [44] 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 DGNB-Systemvariante NKW12

Anhang B - Karte der Bodenschätze der Bundesrepublik Deutschland

Anhang C - Legende zur Karte der Bodenschätze der Bundesrepublik Deutschland

Anhang D - Verbreitung der Kiese und Sande in Deutschland

Anhang E - Verbreitung von Tonrohstoffen in Deutschland

Anhang F - Verbreitung der Vorkommen von Bims, Tuff, Trass und Lavaschlacke

Anhang G - Kriterienmatrix Kriterium Risiken für die lokale Umwelt

Anhang H - Muster-Schallschutzausweis nach DEGA-Empfehlung 103

Anhang I - Beschreibung und Planungsunterlagen des Vergleichsgebäudes

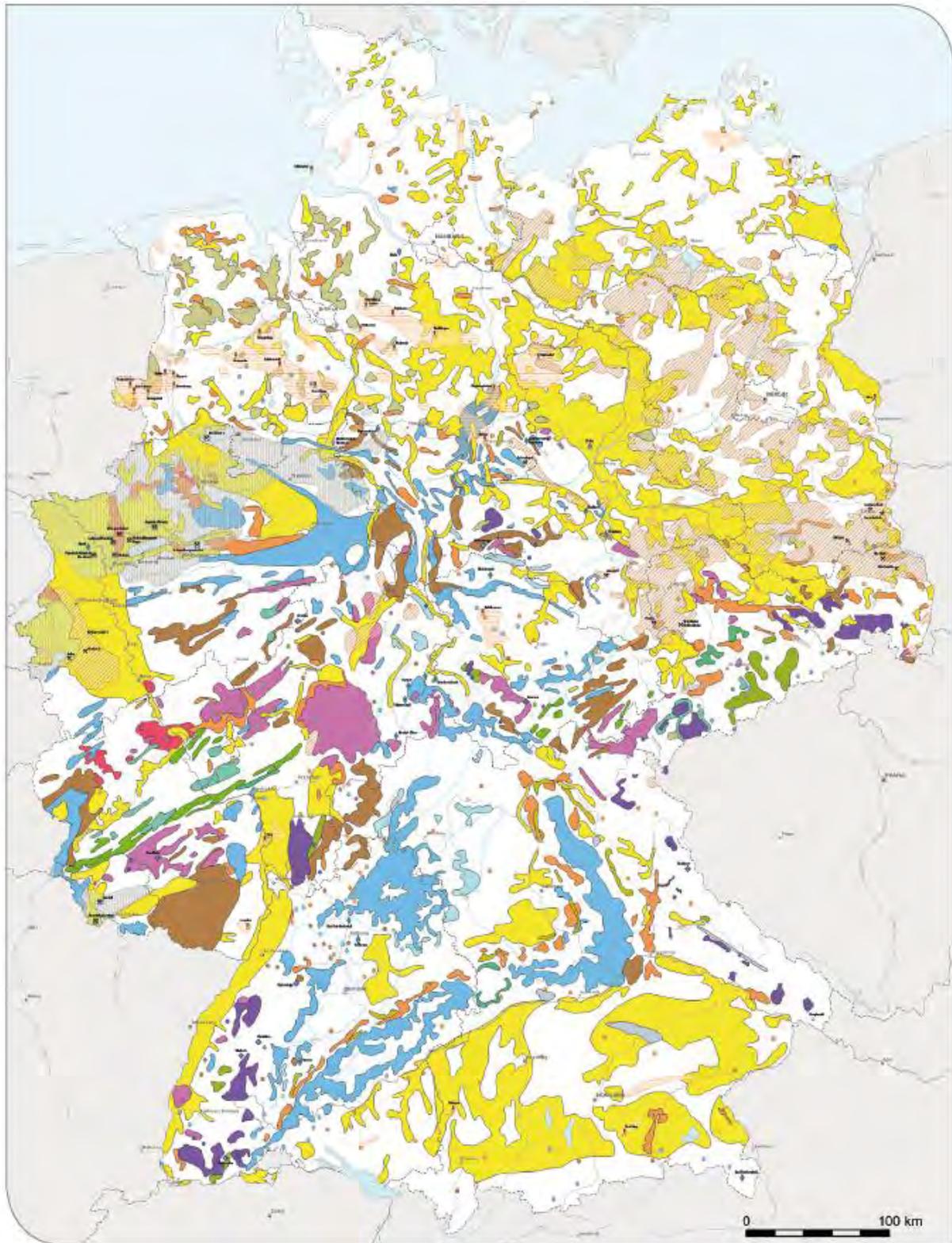
Anhang J und J* bis M und M* - Ökobilanzergebnisse des Muster-EFH

Anhang N - Ökobilanz Muster-EFH - Bewertungsergebnisse im System NKW12

Anhang A – Kriterienkatalog DGNB-Systemvariante Neubau Kleine Wohngebäude, Version 2012 (NKW12)

| Hauptkriteriengruppe | NKW12- | Kriterium |
|--|--------|--|
| Ökologische Qualität | 1 | Treibhauspotential |
| | 2 | Ozonschichtabbaupotential |
| | 3 | Ozonbildungspotential |
| | 4 | Versauerungspotential |
| | 5 | Überdüngungspotential |
| | 6 | Risiken für die lokale Umwelt |
| | 8 | Nachhaltige Ressourcenverwendung/Holz |
| | 10 | Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar |
| | 11 | Gesamtprimärenergiebedarf und Anteil erneuerbare Primärenergie |
| | 14 | Trinkwasserbedarf und Abwasseraufkommen |
| | 15 | Flächeninanspruchnahme |
| Ökonomische Qualität | 16 | Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus |
| | 17 | Wertstabilität |
| Soziokulturell-funktionale Qualität | 18 | Thermischer Komfort Winter |
| | 19 | Thermischer Komfort Sommer |
| | 20 | Innenraumhygiene |
| | 22 | Visueller Komfort |
| | 23 | Einflussnahmemöglichkeiten des Nutzers |
| | 24 | Gebäudebezogene Außenraumqualität |
| | 26 | Barrierefreiheit |
| | 69 | Qualitätsmerkmale der Wohnungen |
| Technische Qualität | 33 | Brandschutz |
| | 34 | Schallschutz |
| | 35 | Wärme- und feuchteschutztechnische Qualität der Gebäudehülle |
| | 42 | Rückbau- und Demontagefreundlichkeit |
| Prozessqualität | 44 | Integrale Planung |
| | 45 | Optimierung und Komplexität der Herangehensweise in der Planung |
| | 46 | Nachweis der Nachhaltigkeitsaspekte in Ausschreibung und Vergabe |
| | 47 | Optimale Nutzung und Bewirtschaftung |
| | 50 | Qualitätssicherung der Bauausführung |
| | 51 | Systematische Inbetriebnahme |
| Standortqualität | 56 | Mikrostandort |
| | 58 | Image und Zustand von Standort und Quartier |
| | 59 | Verkehrsanbindung |
| | 60 | Nähe zu nutzungsrelevanten Objekten und Einrichtungen |

Anhang B – Karte der Bodenschätze der Bundesrepublik Deutschland [24]



Anhang C – Legende zur Karte der Bodenschätze der Bundesrepublik Deutschland aus Anlage B [24]

Energierohstoffe

| | |
|---|---------------------|
|  | ✂ Braunkohle |
|  | ⊠ Steinkohle |
|  | ⛛ Erdöl ⛛ Erdgas |
|  | ● Ölschiefer |
|  | Torf |

Industriemineralerale / Erze

| | |
|---|--|
|  | Verbreitungsgebiet der Triassalze |
|  | Gebiet mit Salzstöcken des Zechstein |
|  | südliche Verbreitungsgrenze der Zechsteinsalze |
|  | Kalisalz |
|  | Steinsalz |
|  | Spat |
|  | Feldspat |
|  | Flussspat |
|  | Schwerspat |
|  | Schwerspat - Flussspat |
|  | ● sonstige Industriemineralerale |
|  | Graphit |
|  | ● Erz |
|  | Eisenerz |

Steine und Erden

Sedimentgesteine

| | |
|--|---------------------------|
|  | ● Kies und Sand |
|  | ● Ton und Tonstein |
|  | ● Kalk- und Dolomitstein |
|  | ● Gips- und Anhydritstein |
|  | ● Sandstein und Grauwacke |

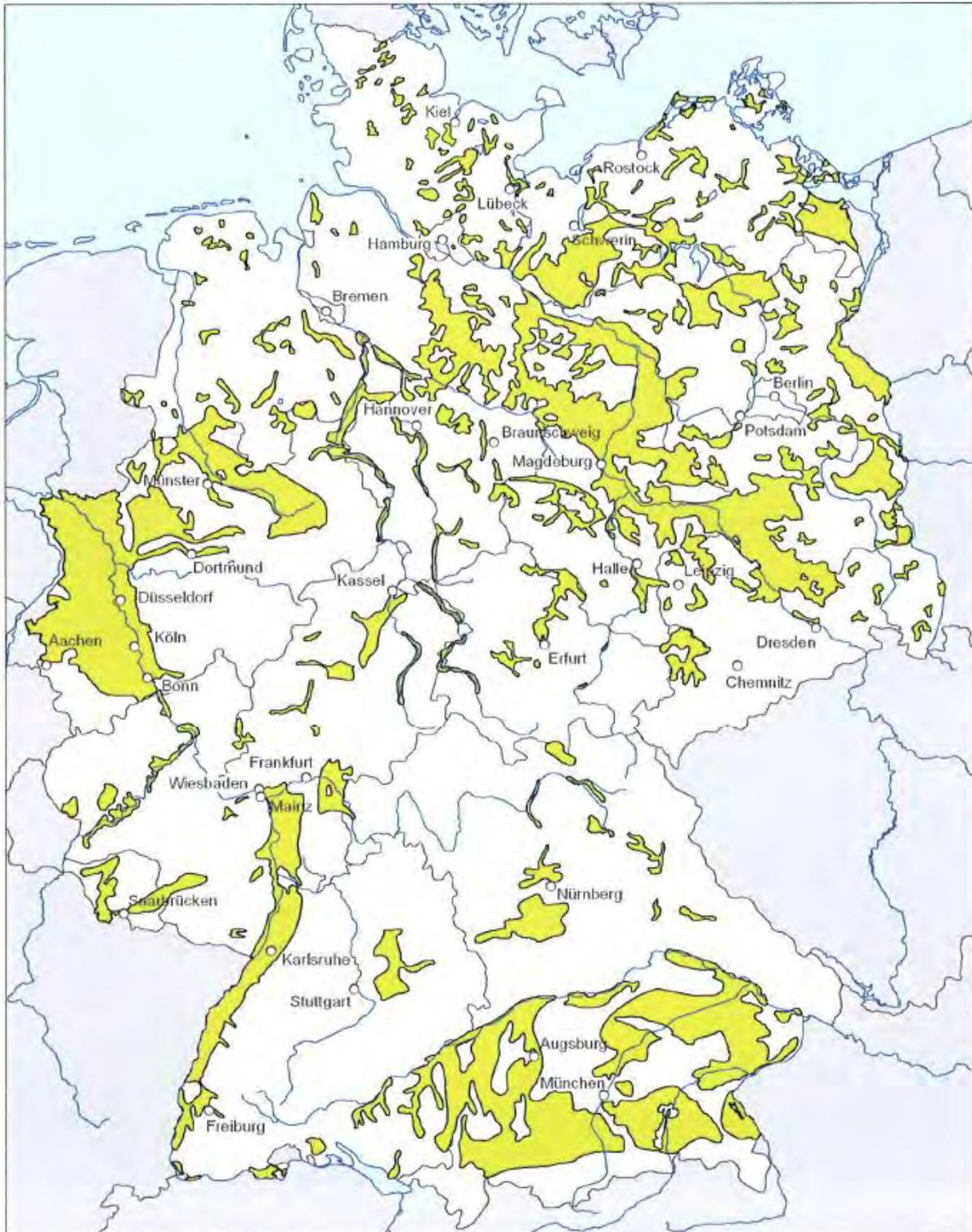
Magmatite

| | |
|---|------------------------------|
|  | ● Tiefengesteine |
|  | ● vulkanische Lockergesteine |
|  | ● vulkanische Festgesteine |

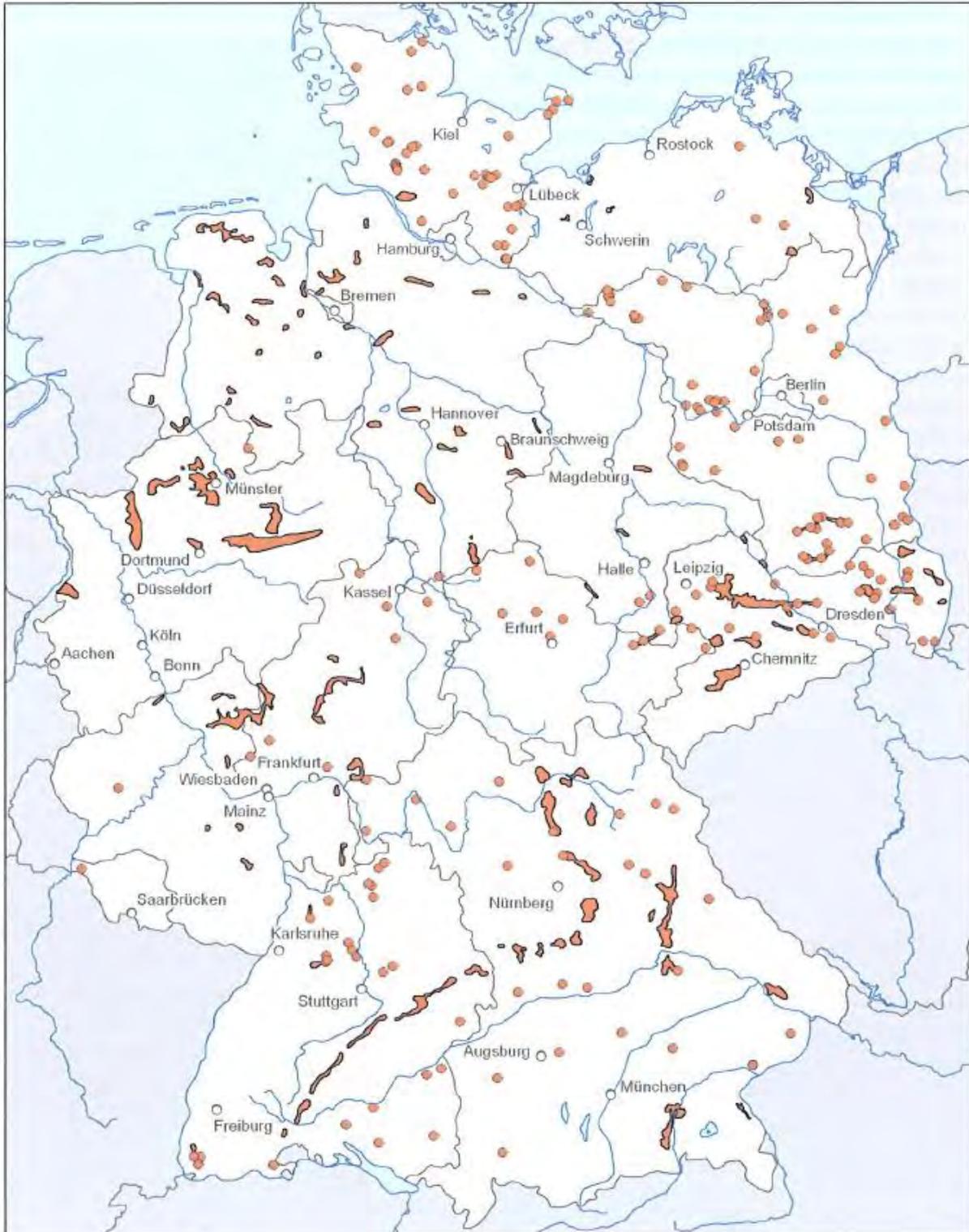
Metamorphite

| | |
|---|-------------------------|
|  | ● Gneis |
|  | ● Schiefer |
|  | ● Quarzit |
|  | ● sonstige Metamorphite |

Anhang D – Verbreitung der Kiese und Sande in Deutschland (nach Dill, Röhling 2007) [25]



Anhang E – Verbreitung von Tonrohstoffen in Deutschland (nach Dill, Röhling 2007) [25]



Anhang F – Verbreitung der Vorkommen von Bims, Tuff, Trass und Lavaschlacke in Rheinland-Pfalz [25]



Anhang G – Kriterienmatrix Kriterium *Risiken für die lokale Umwelt*, DGNB-Nutzungsprofil NKW12 [17]

ANLAGE 1

Kriterienmatrix

| RELEVANTE BAUTEILE / BAUMATERIALIEN / FLÄCHEN | BEREICH | BETRACHTETE STOFFE/ASPEKTE | BEZUGSNORM | QUALITÄTSSTUFE 1 | QUALITÄTSSTUFE 2 | QUALITÄTSSTUFE 3 | QUALITÄTSSTUFE 4 | ART DER DOKUMENTATION | GÜLTUNGSBEREICH UND NACHWEISFÖHRUNG |
|---|------------|----------------------------|------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--|--|
| Wo gilt das oxidiert? | Produkttyp | Erläuterung | Definition | Grenzwert – 10 CLP | Referenz – 50 CLP | Teilziel – 75 CLP | Zielwert – 100 CLP | Anforderung für die Nachweiseinigung der Einzelaspekte | Die Anforderung gilt für folgende Bauteile |

Für alle im Folgenden aufgeführten Normen, Bezüge, Prüfispiele, etc. wird auch ein rechtsplaffiger Nachweis der Gleichwertigkeit in Bezug auf den betrachteten Stoff oder Aspekt (Spalte 4) anerkannt.

| | | | | | | | | | |
|---|--|-----|-----------------------------------|--|--|---|---|---|---|
| 1 | Gemeint sind flüssige Beschichtungsstoffe: Dekorative Lacke/Lasuren mit Grundbeschichtungen. Ausgenommen sind Effektschichtungen (z.B. Metalllacke) | VOC | VOC-Definition nach RL 2004/42/EG | < 300 g/l – Kategorie D nach RL 2004/42/EG | Wasserverdünbare Produkte gemäß aktueller Decopaint-RL | < 100 g/l oder RAL-UZ 12a | RAL-UZ 12a oder gleichwertig | TM + SDB + G SBAU-Einstufung/ Herstellererklärung/ Prüfzertifikat | Alle relevanten Bauteile und Bauprodukte |
| 2 | Beschichtungen auf überwiegend mineralischen Untergründen wie z.B. Beton, Mauerwerk, Mörtel und Spachtel (auch Dispersionsputz), Putzen sowie Tapeten, Fliese, Gipskartonplatten etc... Nicht betrachtet werden Bodenflächen und Verkehrswege wie Tiefgaragen, Zufahrten, etc. | VOC | VOC-Definition nach RL 2004/42/EG | Wasserverdünbare Produkte gemäß aktueller Decopaint-RL | < 30 g/l | Isobutenfrei und weichmachterfrei nach VdL-RL01 oder RAL-UZ 102 | Isobutenfrei und weichmachterfrei nach VdL-RL01 oder RAL-UZ 102 | TM + SDB + G SBAU-Einstufung/ Herstellererklärung/ Prüfzertifikat | Alle relevanten Bauteile und Bauprodukte. Für max. 5% der BGFa nach DIN 277 ist keine Dokumentation erforderlich. |

| RELEVANTE BAUTEILE / BAUMATERIALIEN / FLÄCHEN | BEREICH | BETRACHTETE STOFFE/ ASPEKTE | BEZUGSNORM | QUALITÄTS- STUFE 1 | QUALITÄTS- STUFE 2 | QUALITÄTS- STUFE 3 | QUALITÄTS- STUFE 4 | ART DER DOKUMENTATION | GELTUNGSBEREICH UND NACHWEISFÜHRUNG |
|--|---|-----------------------------------|--------------------------------------|--|--|--|--|--|--|
| Wo gilt das decodiert? | Produkttyp | Erläuterung | Definition | Grenzwert – 10 CLP | Referenz – 50 CLP | Teilziel – 75 CLP | Zielwert – 100 CLP | Anforderung für die Nachweisleistung der Einzelaspekte | Die Anforderung gilt für folgende Bauteile |
| 3 Beschichtungsmittel für min- erale Oberflächen im Au- ßenbereich wie z.B. Beton, Mauerwerk, mineralische Mörtel und Spachtel, Putze, dekorative Farben WDVS, Tapeten (Fassaden- tapeten), Gipskartonplatten, etc. | Berücksichtigt werden zur Zeit nur dekorative Farben | VOC | VOC-Definition nach RL 2004/42/EG | Wasserverdünnbare Produkte gemäß aktueller Decapaint- RL < 40 g/l | Wasserverdünnbare Produkte gemäß aktueller Decapaint-RL < 40 g/l | Wasserverdünnbare Produkte gemäß aktueller Decapaint-RL < 40 g/l | Wasserverdünnbare Produkte gemäß aktueller Decapaint-RL < 40 g/l | TM + SDB + GISBAU- Einstufung/ Herstellereklärung/ Prüfzertifikat | Alle relevanten Bauteile und Bauprodukte |
| 4 Naturstein-Bodenbeläge | Nicht einbildende Imprägnierungen im Innenbereich (z.B. Natursteinimprägnie- rungen, Sandstein- verfestiger) | VOC | VOC-Definition nach RL 2004/42/EG | Aromatenfrei (GH10) | Aromatenfrei (GH10) | | | TM + SDB + GISBAU- Einstufung/ Herstellereklärung - in Spezialfällen (Art des Natursteins) kann eine technische Aus- nahme begründet werden | Alle relevanten Bauteile und Bauprodukte |
| 5 Sockelleisten, Türschienen, Sitzknieleier (Doppel- oder Hohlboden); nicht betrachtet werden hier die Bereiche Glasbau, Fassade und Brandschutz | Dichtungsmassen, Dichtstoffe, Klebstoffe für punkt- und linien- förmige Verklebun- gen von Bauteilen im Innenraum. Gemeint sind PU-Kleber und silanmodifizierte Polymere (SMP) | VOC | GISCODE (PU, RS) | GIS-Code PU20 | GIS-Code PU20 | GIS-Code PU10 EmCode EC1/ EC1 ^{plus} | Slan-modifizierte Polymer- Klebstoffe (SMP) GIS-Code RS10 | TM + SDB + GISBAU- Einstufung/ Herstellereklärung/ Prüfzertifikat | Alle relevanten Bauteile und Bauprodukte |

| RELEVANTE BAUTEILE / BAUMATERIALIEN / FLÄCHEN | BEREICH | BETRACHTETE STOFFE/ ASPEKTE | BEZUGSNORM | QUALITÄTS- STUFE 1 | QUALITÄTS- STUFE 2 | QUALITÄTS- STUFE 3 | QUALITÄTS- STUFE 4 | ART DER DOKUMENTATION | GÜLTIGKEITSBEREICH UND NACHWEISFÜHRUNG |
|---|---|-----------------------------------|---------------------------------------|---|--|---|--|--|---|
| Wo gilt das described? | Produkttyp | Erläuterung | Definition | Grenzwert – 10 CLP | Referenz – 60 CLP | Teilziel – 75 CLP | Zielwert – 100 CLP | Anforderung für die Nachweiserfüllung der Einzelaspekte | Die Anforderung gilt für folgende Bauteile |
| 8 | Dichtungsmassen, Klebstoffe, Klebstoffe für punkt- und linien- mechanisch belasteter Fugen; flüssige Verklebungen im Innenraum. Gemeint sind Acryldichtstoffe/- kleber und Silikonklebstoffe | Schadstoffe und Emissionen | RAL-UZ 123 | | | Keine Chlorparaffine als Rezepturbestandteil | RAL-UZ 123 oder gleichwertig (Anm.: im Rahmen des RAL-UZ 123 gilt abweichende VOC-Definition) | TM + SDB + G-SBAU- Einstufung/ Herstellereklärung/ Prüfzertifikat | Alle relevanten Bau- teile und Bauprodukte in den Standard- anwendungen Dich- tungsfugen (Fliese, Naturstein), An- schlusstüren, (Trockenbau, Maler- arbeiten, Türen) |
| 7 | Grundierungen, Vorstriche, Spachtelmassen und Klebstof- fe unter Wand- und Bodenbe- lägen (z.B. Fliesen, Teppiche, Parkett, elastische Bodenbe- läge - ausgenommen Tapeten) | VOC | GEV-Emicode, GISCODE und RAL-UZ | GIS-Code D1 RE0,5/1 RE1 RS10 | Em-Code EC1/ EC1plus oder RAL UZ 113 | Em-Code EC1/ EC1plus oder RAL UZ 113 | Em-Code EC1, EC1plus oder RAL-UZ 113 | TM + SDB + G-SBAU- Einstufung/ Herstellereklärung/ Prüfzertifikat | Alle relevanten Bau- teile und Bauprodukte. |
| 8 | Verlegethilfsstoffe | VOC | GEV-Emicode, GISCODE | GIS-Code D1, RE0/1 oder RU1 | GIS-Code D1, REW1 oder RU1 | GIS-Code D1, RE1, RU1, Em-Code EC1 | Em-Code EC1, EC1plus | TM + SDB + G-SBAU- Einstufung/ Herstellereklärung/ Prüfzertifikat | Für max. 5% der BGFa nach DIN 277 ist keine Dokumenta- tion erforderlich. |
| 9 | Spernanstriche, Estrichharze, Abdichtungen unter Fliesen | Verlegethilfsstoffe | | | | | | | |
| 9 | Wand- und Deckenbekleiden- gen | Tapetenkleber | VOL-Richtlinie 01 | Pulverprodukte oder lösemittelfreie Dispersionskleber | Pulverprodukte oder lösemittel- freie Dispersionskleber | Pulverprodukte oder lösemittelfreie Dispersionskleber | Lösemittelfrei und schwammfrei nach VOL-RL01 | TM + SDB | Alle relevanten Bauteile und Bauprodukte |

Ökologische Qualität
Risiken für die lokale Umwelt

Seite 11 von 18

| RELEVANTE BAUTEILE / BAUMATERIALIEN / FLÄCHEN | BEREICH | BETRACHTETE STOFFE/ ASPEKTE | BEZUGSNORM | QUALITÄTS- STUFE 1 | QUALITÄTS- STUFE 2 | QUALITÄTS- STUFE 3 | QUALITÄTS- STUFE 4 | ART DER DOKUMENTATION | GÜLTIGKEITSBEREICH UND NACHWEISFÜHRUNG |
|--|---|-----------------------------------|--------------------------------------|--|--|--|---|--|---|
| Wie gilt das decision? | Produkttyp | Erläuterung | Definition | Grenzwert – 10 CLP | Referenz – 50 CLP | Teilziel – 75 CLP | Erlaubt – 100 CLP | Anforderung für die Nachweiskontrolle der Einzelspezie | Die Anforderung gilt für folgende Bauteile |
| 10 Tragende Metallbauteile (Wandstärke > 3mm) mit > 500 m ² beschichteter Oberfläche im Gebäude wie z.B. Alu-Strukturkonstruktion, Brücken etc. | Korrosionsschutz- grundierungen im Rahmen einer bau- aufsichtlichen Systemzulassung zusammen mit Brandschutzbe- schichtungen | VOC | VOC-Definition nach RL 2004/42/EG | < 300 g/l | Wasserverdün- bares Produkt < 140 g/l (Kat. A1 oder A2 nach Decapant- Richtlinie) | Werkseitige Grundierung in Befriab nach 31.BImSchV | Werkseitige Grundierung in Befriab nach 31.BImSchV | Herstellererklärung | Werk und Bauteile |
| 11 Tragende Metallbauteile (Wandstärke > 3mm) mit > 500 m ² beschichteter Ober- fläche im Gebäude wie z.B. Alu-Strukturkonstruktion, Brücken etc. | Korrosionsschutz- beschichtungen für Innenliegende Bauteile (max. Korrosivitäts- kategorie C2 hoch) | VOC | VOC-Definition nach RL 2004/42/EG | < 300 g/l | Wasserverdün- bares Produkt < 140 g/l (Kat. A1 oder A2 nach Decapant- Richtlinie) | Wasserverdün- bares Produkt < 140 g/l (Kat. A1 oder A2 nach Decapant- Richtlinie) | Wasserverdün- bares Produkt < 100 g/l oder Einsatz eines C3 – Beschichtungs- systems der Qualitätsstufe 4 (s. nächste Zeile) | Herstellererklärung Anmerkung: Die Anforderungen im Bereich Korrosions- schutz bei tragenden Bauteilen sind zusätz- lich der Ausnahme- regelungen (der Qualitätsstufe 3 und 4) gemeinsam als ein einzelnes Kriterium zu verstehen) | Werk und Bauteile |
| 12 Tragende Metallbauteile (Wandstärke > 3mm) mit > 500 m ² beschichteter Ober- fläche wie z.B. Alu-Strukturkon- struktion, Brücken etc. | Korrosionsschutz- beschichtungen für Bauteile (max. Korrosivitäts- kategorie C3 hoch) | VOC | VOC-Definition nach RL 2004/42/EG | Beschichtungs- system mit VOC < 120 g/m ² | Beschichtungs- system mit VOC < 90 g/m ² | Beschichtungs- system mit VOC < 60 g/m ² | Beschichtungs- system mit VOC < 30 g/m ² oder Einsatz eines Beschichtungs- systems ab C4, (s. nächste Zeile) | Die Anforderungen im Bereich Korrosions- schutz bei tragenden Bauteilen sind zusätz- lich der Ausnahme- regelungen (der Qualitätsstufe 3 und 4) gemeinsam als ein einzelnes Kriterium zu verstehen) | Werk und Bauteile |
| 13 Tragende Metallbauteile (Wandstärke > 3mm) mit > 500 m ² beschichteter Ober- fläche wie z.B. Alu-Strukturkon- struktion, Brücken etc. | Korrosionsschutz- beschichtungen für Bauteile (Korrosiv- itätskategorie größer C3) | VOC | VOC-Definition nach RL 2004/42/EG | Beschichtungs- system mit VOC < 150 g/m ² | Beschichtungs- system mit VOC < 120 g/m ² | Beschichtungs- system mit VOC < 90 g/m ² | Beschichtungs- system mit VOC < 60 g/m ² | Die Anforderungen im Bereich Korrosions- schutz bei tragenden Bauteilen sind zusätz- lich der Ausnahme- regelungen (der Qualitätsstufe 3 und 4) gemeinsam als ein einzelnes Kriterium zu verstehen) | Werk und Bauteile |

| RELEVANTE BAUTEILE / BAUMATERIALIEN / FLÄCHEN | BEREICH | BETRACHTETE STOFFE/ ASPEKTE | BEZUGSNORM | QUALITÄTS- STUFE 1 | QUALITÄTS- STUFE 2 | QUALITÄTS- STUFE 3 | QUALITÄTS- STUFE 4 | ART DER DOKUMENTATION | GÜLTUNGSBEREICH UND NACHWEISFÖHRUNG |
|--|--|-----------------------------------|--------------------------------------|--|--|---|---|---|---|
| Wie gilt das geodiert? | Produkttyp | Erläuterung | Definition | Erenswert = 10 CLP | Referenz = 60 CLP | Teilziel = 75 CLP | Zielwert = 100 CLP | Anforderung für die Nachweisführung der Einzelparte | Die Anforderung gilt für folgende Bauteile |
| 14 Nicht tragende Metallbauteile wie Treppengeländer, Metall- unterkonstruktionen, Zargen, Stahljähren, Fassadenelemente etc. | Korrosionsschutzbe- schichtungen und Effektbeschichtungen (z.B. Metallcarbonate) | VOC | VOC-Definition nach RL 2004/42/EG | < 300 g/l - Kategorie A/d nach RL 2004/42/EG | < 300 g/l - Kategorie A/d nach RL 2004/42/EG | Wasserdünnbare Produkte < 140 g/l Ausnahme: Für Metallcarbonat- lacke < 300 g/l - Kategorie A/d nach RL 2004/42/EG | Wasserdünnbare Produkte < 140 g/l Ausnahme: Für Metallcarbonat- lacke < 300 g/l - Kategorie A/d nach RL 2004/42/EG | TM + SDB | Weik und Bauteile |
| 15 Reaktive PU-Produkte zur Beschichtung von mineral- ischen Oberflächen von Boden, Decke und Wand - auch in Systemaufbauten | Versiegelungen, 2K-PU-Lacke, PU Bodenbeschich- tungen - ausgenom- men OS-Systeme für Parkhaus, etc. | Polyurethan- produkte (PU) | GISCODE | GIS-Code PU 10/20 | GIS-Code PU 10/20 | GIS-Code PU10 | GIS-Code PU10 | TM + SDB + GSBAU- Einstufung/ Herstellereklärung/ Prüfzertifikat | Alle relevanten Bauteile und Bauprodukte. Für max. 5% der BGFa nach DIN 277 ist keine Dokumenta- tion erforderlich. |
| 16 Beschichtungen (bauseig) für Holzoberflächen wie z. B. Parkett, Treppe und Verfü- llungen | Reaktive PU- Produkte zur Oberflächen- beschichtung | Polyurethan- produkte (PU) | GISCODE | GIS-Code W1/2+3+3 oder W1/DD, W2/DD+ oder W3/DD | GIS-Code W1/2+3+3 oder W1/DD, W2/DD+ oder W3/DD | GIS-Code W1/2+ oder W1/DD, W2/DD+ | GIS-Code W1/2+ oder W1/DD bzw. W2/DD+ | TM + SDB + GSBAU- Einstufung/ Herstellereklärung/ Prüfzertifikat | Alle relevanten Bauteile und Bauprodukte |
| 17 Epoxytoberflächen- beschichtungen von Boden, Decke und Wand - auch in Systemaufbauten | Versiegelungen, 2K-EP-Lacke, EP- Bodenbeschichtun- gen - ausgenommen OS-Systeme für Parkhaus, etc. | Epoxydharze | GISCODE | GIS-Code RE0/1/2 | GIS-Code RE0 und RE1 | GIS-Code RE0 und RE1 | GIS-Code RE0 und RE1 + bauspezifische Zulassung im System (Abz Z 156.605) | TM + SDB + GSBAU- Einstufung/ Herstellereklärung/ Prüfzertifikat | Alle relevanten Bauteile und Bauprodukte |

| RELEVANTE BAUTEILE / BAUMATERIALIEN / FLÄCHEN | BEREICH | BETRACHTETE STOFFE/ ASPEKTE | BEZUGSNORM | QUALITÄTS- STUFE 1 | QUALITÄTS- STUFE 2 | QUALITÄTS- STUFE 3 | QUALITÄTS- STUFE 4 | ART DER DOKUMENTATION | GELTUNGSBEREICH UND NACHWEISFÖHRUNG |
|---|---|-----------------------------------|--|--|---|---|---|--|--|
| Wo gilt das ozoniert? | Produkttyp | Erläuterung | Definition | Grenzwert = 10 CLP | Referenz = 50 CLP | Teilziel = 75 CLP | Zielwert = 100 CLP | Anforderung für die Nachweishaltung der Einzelaspekte | Die Anforderung gilt für folgende Bauteile |
| 18 EP-/PU-Beschichtungen für Boden- (und Wandflächen (z. B. Sockel) mit speziellen Anforderungen | Industrieböden, Parkflächen und Tiefgaragen (OS 8 und 11) mit Ausnahme von Mar- kierungen (nicht geräut) | Polyurethan und Epoxyharze | GISCODE | GIS-Code PU10/20/40/60 RE01/2 | GIS-Code PU10/20/40/60 RE01/2 | GIS-Code PU10/40/60 RE0 und RE1 | GIS-Code PU10/40/60 RE0 und RE1 | TM + SDB + GISBAU- Einstufung/ Herstellereklärung/ Prüfzertifikat | Alle relevanten Bauteile und Bauprodukte |
| 19 Dachabdichtung, Bauwerks- abdichtung gegen Erdreich/ Wasser/ Feuchte, Blumen- dielbeschichtung | Kalt verarbeitbare Produkte zur Be- schichtung (z.B. Vorränne) und Hilfs- stoffe zur Beklebung (z.B. Kleber, Verstei- gerungen) | Bkumen | Lösemittel: Stie- punkt 135-250 °C GISCODE | Lösemittel < 25 % GIS-Code BBP 10/20 | Lösemittel < 25 % GIS-Code BBP 10/20 | GIS-Code BBP10 | GIS-Code BBP10 | TM + SDB + GISBAU- Einstufung/ Herstellereklärung/ Prüfzertifikat | Alle relevanten Bauteile und Bauprodukte |
| 20 Blumige Verbund- abdichtungen beim Umklehrand | Blumenwurst | Bkumen | GISCODE | Mindestens GISCODE BBP 30 | Mindestens GISCODE BBP 30 | Mindestens GISCODE BBP 30 | Mindestens GISCODE BBP 30 | TM + SDB + GISBAU- Einstufung/ Herstellereklärung/ Prüfzertifikat | Alle relevanten Bauteile und Bauprodukte |
| 21 Beschichtungen (bauseitig) für Holzoberflächen wie z. B. Parkett, Treppe und Vertä- lungen | Produkte zur Be- schichtung von Holz | Öle und Wachse | GISCODE | GIS-Code Ö 10/ 20/ 40 | GIS-Code Ö 10/ 20 | GIS-Code Ö10 | GIS-Code Ö10 | TM + SDB + GISBAU- Einstufung/ Herstellereklärung/ Prüfzertifikat | Alle relevanten Bauteile und Bauprodukte |
| 22 Innenliegende tragende Holz- bauteile selbst Auskragungen nach außen | Chemischer Holz- schutz nach DIN 68800-3 - GK = Gebrauchsklasse (früher Gefährdungs- klasse) | Holzschutzmittel- Wirkstoffe | RL 98/8/EG | GK 0: Holzschutz nur konstruktiv nach 68800-2 GK 1-3: Zulässiger Wirkstoff nach 98/8/EG | GK 0 und 1: Holz- schutz nur kon- struktiv nach 68800-2 GK 2-3: Zulässiger Wirkstoff nach 98/8/EG | Holzschutz nur konstruktiv nach 68800-2 oder durch aramyrische Resistenz | Holzschutz nur konstruktiv nach 68800-2 oder durch aramyrische Resistenz | Planung, TM + SDB + GISBAU-Einstufung /Herstellereklärung/ Prüfzertifikat | Alle relevanten Bauteile |

| RELEVANTE BAUTEILE / BAUMATERIALIEN / FLÄCHEN | BEREICH | BETRACHTETE STOFFE/ ASPEKTE | BEZUGSNORM | QUALITÄTS- STUFE 1 | QUALITÄTS- STUFE 2 | QUALITÄTS- STUFE 3 | QUALITÄTS- STUFE 4 | ART DER DOKUMENTATION | GÜLTIGKEITSBEREICH UND NACHWEISFÜHRUNG |
|--|---|-----------------------------------|------------|---|--|--|---|---|---|
| Wie gilt das rezidiert? | Produkttyp | Erläuterung | Definition | Grenzwert = 10 CLP | Befreiung = 60 CLP | Teilziel = 72 CLP | Zielwert = 100 CLP | Anforderung für die Nachweiseführung der Einzelaspekte | Die Anforderung gilt für folgende Bauteile |
| 23 Außenliegende tragende Holzbauteile, Holzbauteile im Außenbereich | Chemischer Holz- schutz nach DIN 68800-3 - GK = Gebrauchsklasse (früher Gefährdungs- klasse) | Holzschutzmittel- Wirkstoffe | RL 98/8/EG | GK 2-4: Zulässiger Wirkstoff nach 98/8/EG | GK 2: Holzschutz nur konstitutiv nach 68800-2 GK 3 und 4: zu- lässiger Wirkstoff nach 98/8/EG | GK 2: Holzschutz nur konstitutiv nach 68800-2 GK 3 und 4: zuläs- siger Wirkstoff nach 98/8/EG | Holzschutz nur konstitutiv nach 68800-2 oder durch antienzyme Resistenz | Planung, TM + SDB + GISBAU-Erklärung /Herstellereklärung/ Prüfzertifikat | Alle relevanten Bauteile |
| 24 Holzfenster und nichttragende Holzbauteile innen und außen (z.B. Fassade und Terrasse) | Chemische Imprä- gierung nichttragen- der Bauteile | Holzschutzmittel- Wirkstoffe | RL 98/8/EG | Innen: Kein chemi- scher Holzschutz. Ausnahme: Fenster nur mit Produkten mit BAU- A-Registrierung oder RAL-GZ 830 Außen: zulässiger Wirkstoff nach 98/8/EG | Innen: Kein che- mischer Holz- schutz Ausnahme: Fenster nur mit Produkten mit BAU- A-Registrierung oder RAL-GZ 830 Außen: zulässiger Wirkstoff nach 98/8/EG | Kein chemischer Holzschutz im In- nenraum und Au- ßenbereich Ausnahme: Fenster nur mit Produkten mit BAU- A-Registrierung | Kein chemischer Holzschutz im Innenraum und Außenbereich Ausnahme: Fenster nur mit Produkten mit BAU- A-Registrierung | Herstellererklärung | Innen: Alle relevanten Bauteile Außen: alle relevan- ten Bauteile und Bauprodukte. Für max. 5% der BGF a nach DIN 277 ist keine Dokumentation erforderlich. |
| 25 Bleizide Ausrüstung für Produkte des Materialschutzes (Holz) und der Fassade | Holzschutzmittel, Außenputze, Fassa- denbeschichtungen, Klebstoffe, Beläge | Bleizide | RL 98/8/EG | Zulässiger Wirkstoff nach 98/8/EG | Zulässiger Wirkstoff nach 98/8/EG | Zulässiger Wirkstoff nach 98/8/EG | Zulässiger Wirkstoff nicht 98/8/EG | Herstellererklärung | Alle relevanten Bauteile |
| 26 Bauteile aus Aluminium und Edelstahl an der Fassade; Verkleidungen | Produkte zur Oberflächenbeschich- tung von Metall | Chrom-VI | | | | | Chrom-VI-oxidfreie Oberflächenver- edlung | Herstellererklärung | > 50 % der Hilfslöcher ohne Sonnenschutz- lamellen |

| RELEVANTE BAUTEILE / BAUMATERIALIEN / FLÄCHEN | BEREICH | BETRACHTETE STOFFE/ ASPEKTE | BEZUGSNORM | QUALITÄTS- STUPE 1 | QUALITÄTS- STUPE 2 | QUALITÄTS- STUPE 3 | QUALITÄTS- STUPE 4 | ART DER DOKUMENTATION | GÜLTIGKEITSBEREICH UND NACHWEISFÖHRUNG |
|---|--|-----------------------------------|------------|---|--|---|--|--|--|
| Wie gilt das geodiert? | Produkttyp | Erläuterung | Definition | Grenzwert – 10 CLP | Referenz – 60 CLP | Teilziel – 75 CLP | Zielwert – 100 CLP | Anforderung für die Nachweisierung der Einzelspezies | Die Anforderung gilt für folgende Bauteile |
| 27 Werkseitig beschichtete Bauteile wie z.B. Fassaden- elemente, Türen, Heizkörper etc. Feuertverzinkungen gelten nicht als Beschichtungen im Sinne dieses Kriteriums | Grundierung und Endbeschichtung (z.B. Farben, Lacke) | Blei, Cadmium, Chrom-VI | | Kein Einsatz von Blei-, Cadmium- und Chrom-VI- Verbindungen | Kein Einsatz von Blei-, Cadmium- und Chrom-VI- Verbindungen | Kein Einsatz von Blei-, Cadmium- und Chrom-VI- Verbindungen | Kein Einsatz von Blei-, Cadmium- und Chrom-VI- Verbindungen | SOB | Werkseitig beschich- tete Bauteile mit einer beschichteten Fläche > 100 m ² je Bauteiltyp (z. B. Stahlträger) im Gebäude |
| 28 Kunststoffe zur Belegung von Oberflächen (Boden und Wand) und Bauteile an der Fassade | Betrachtet werden nur elastische Bodenbeläge (PVC, Kautschuk), Wandbeläge und Kunststofffenster | Blei, Zinn | | Gehalt an Blei und Zinn < 0,1% | Gehalt an Blei und Zinn < 0,1% | Gehalt an Blei und Zinn < 0,1% | Gehalt an Blei und Zinn < 0,1% | Herstellererklärung | Alle relevanten Bauteile |
| 29 Kunstschäum-Dämmstoffe für Gebäude und Haustechnik | PS/XPS/PU- Dämmprodukte, flexible TGA- Dämmungen (Kautschuk und PE) | Halogenierte Treibmittel | | Frei von halogenierten Treibmitteln | Frei von halogenierten Treibmitteln | Frei von halogenierten Treibmitteln | Frei von halogenierten Treibmitteln | TM + Herstellererklärung | Alle für die ENEC relevanten Bauteile und Bauprodukte sowie die Haupt- stränge der TGA |
| 30 Montageschäume | Ort- und Montage- schäume z.B. für die Montage von Türen und Fenstern und bei der Verklebung von WDVS | Halogenierte Treibmittel | | Frei von halogenierten Treibmitteln | Frei von halogenierten Treibmitteln | Frei von halogenierten Treibmitteln, mechanisch verpresst | Keine Verwendung von Montage- schäumen | Technisches Datenblatt, Schnelldatenblatt | Alle relevanten Bauteile und Bauprodukte |
| 31 Kühlanlagen/TGA | Kühlmittel | Halogenierte Kühlmittel | | Zusätzlicher Bewertungspunkt: Frei von halogenierten teilhalogenierten Kühlmitteln | Zusätzlicher Bewertungspunkt: Frei von halogenier- ten/ teilhalogenierten Kühlmitteln | Zusätzlicher Bewer- tungspunkt: Frei von halogenier- ten/ teilhalogenierten Kühlmitteln | Frei von halogenierten/ teilhalogenierten Kühlmitteln | TGA-Planung + Herstellererklärung | Alle relevanten Bauteile und Bauprodukte |

| RELEVANTE BAUTEILE / BAUMATERIALIEN / FLÄCHEN | BEREICH | BETRACHTETE STOFFE/ ASPEKTE | BEZUGSNORM | QUALITÄTS- STUFE 1 | QUALITÄTS- STUFE 2 | QUALITÄTS- STUFE 3 | QUALITÄTS- STUFE 4 | ART DER DOKUMENTATION | GELTUNGSBEREICH UND NACHWEISEFÖHRUNG |
|--|--|--|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--|--|
| Wo gilt das dezidiert? | Produkttyp | Erläuterung | Definition | Grenzwert – 10 CLP | Referenz – 50 CLP | Teilziel – 75 CLP | Zielwert – 100 CLP | Anforderung für die Nachweisleistung der Einzelaspekte | Die Anforderung gilt für folgende Bauteile |
| 32 Dachdeckung, Dachrinnen, Fallrohre | Wasserführende Bauteile an Dach und Regenwasser- abführung | | | | | | | Planung + Herstellereklärung, oder Nachweis nach UBA-Leitfäden 17/06 | Alle relevanten Bauteile und Bauprodukte |
| 33 Bodenbeläge, Teppiche, Farben und Lacke im Innen- raum | Blözide zum Schutz gegen Motten, Schimmel oder anderem Befall. Ausgenommen ist der Einsatz von Bioziden, die ausschließlich zur Filmkonservierung eingesetzt werden. | Bis, Kupfer und Zink Biozide | | | | | | Keine biozidalen Oberflächen- beläge | Herstellereklärung |

Anhang H – Muster-Schallschutzausweis nach DEGA-Empfehlung 103 [40]

III.6.3. Mustervorlage Schallschutzausweis

| Detaillierter Schallschutzausweis | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|--|--|---------------|----------------------------------|---------------------------|----------------|-----------|------------------------|---|---|---|---|---|---|
| Antragsteller: Max Baiermann Musterbau GmbH Musterstraße 1 11111 Musterstadt | | | Gebäude: Musterbau Muster A Musterstraße 24 7000 Musterhausen | | | Wohnungsbezeichnung H1EG2 | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <tr> <td>F</td> <td>E</td> <td>D</td> <td>C</td> <td>B</td> <td>A</td> <td>A</td> </tr> </table> | | | | | | | | | | F | E | D | C | B | A | A |
| F | E | D | C | B | A | A | | | | | | | | | | |
| Nr. | Kriterium | | | | | | Punkte | Skala | Bewertung | Bemerkungen | | | | | | |
| II. Standort und Außenraumsituation | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 - 5 | Gebäudecharakter | ungünstig/wirksam | | | | 20 | 1 | A | | | | | | | | |
| 6 - 17 | Außenraumsituation | mit/gebührender Außenlärmpegel | | Freibereich abgegrenzt | | 17 | 1 | | | | | | | | | |
| Gesamtpunkte II: | | | | | | 37 | | | | | | | | | | |
| III. Baulicher Schallschutz | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Luftschall | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 - 29 | Wände | Prognose | Messung | Messwert in % | Messverfahren | Ca-passe in dB | R _w in dB | 20 | 1 | | | | | | | |
| 30 - 41 | Decken | Prognose | Messung | Messwert in % | Messverfahren | Ca-passe in dB | R _w in dB | 20 | C | | | | | | | |
| Trittschall | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 42 - 53 | Decken | Prognose | Messung | Messwert in % | Messverfahren | Ca-passe in dB | L _{n,w} in dB | 30 | E | | | | | | | |
| 54 - 63 | Trippen, Podeste, Hausdum | Prognose | Messung | Messwert in % | Messverfahren | Ca-passe in dB | L _{n,w} in dB | 30 | E | | | | | | | |
| 64 - 73 | Balkone, Loggien, Loggien, Terrassen | Prognose | Messung | Messwert in % | Messverfahren | Ca-passe in dB | L _{n,w} in dB | 30 | E | | | | | | | |
| Luftschall Wohnbereichsgrenzflächen | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 74 - 80 | In Flur- oder Ovale | Prognose | | Messung am Bau | | | R _w in dB | 5 | C | | | | | | | |
| 81 - 87 | In Aufenthaltsräumen | Prognose | | Messung am Bau | | | R _w in dB | 0 | | | | | | | | |
| 88 - 91 | Luftschall Außenbauwerke | ohne Nachweis | Fenster mit Dichtungen | Anforderung nach DIN 4109 erfüllt | | +5 dB erfüllt | | 10 | 1 | | | | | | | |
| 92 - 98 | Wassereinlässe / Hausdrain-Anlagen | Prognose | Messung | L _z - L _a <= 20 dB | | L _{z,max} in dB (A) | | 10 | C | | | | | | | |
| 99 - 107 | Nutzgeräusche | ohne Nachweis | Prognose | Messung | | L _z in dB (A) | 35 + L _z <= 40 | 12 | D | | | | | | | |
| 108 - 115 | Küchenschall-Entkopplung KFW | Prognose | Messung | | | L _z in dB (A) | 48 + L _z <= 55 | 0 | C | | | | | | | |
| 117 - 121 | fremde Nutzung direkt angrenzend | | | | | | | 1 | 10 | A | | | | | | |
| 122 - 123 | Anordnung der lauten Räume schallschlecht | ungünstig | | günstig | | | | 5 | 1 | | | | | | | |
| 124 - 127 | keine lauten angrenzenden Gewerbetriebe | keine lauten angrenzenden Gewerbetriebe | | | | | | 0 | 15 | 1 | | | | | | |
| | | L _z in dB (A) | | | | | | 25 / 15 dB (A) | | | | | | | | |
| | | L _z in dB (A) | | | | | | 36 / 25 dB (A) | | | | | | | | |
| | | L _z in dB (A) | | | | | | 30 / 20 dB (A) | | | | | | | | |
| | | L _z in dB (A) | | | | | | 48 / 30 dB (A) | | | | | | | | |
| | | L _z in dB (A) | | | | | | 35 / 25 dB (A) | | | | | | | | |
| 128 - 130 | eigener Wohnbereich | keine Empfehlung vorläufig | | Klasse EN1 erfüllt | | Klasse EN2 erfüllt | | 0 | 1 | | | | | | | |
| Gesamtpunkte III: | | | | | | 197 | | | | | | | | | | |
| Antragsteller: Musterbaustell GmbH Beratende Ingenieurbüro Bauphysik 12345 Musterstadt Datum: 01.07.2008 | | | | | | Eigentümer und Außen-Bemerkungen | | 47 | A | Unserzitat: | | | | | | |
| | | | | | | Bauherr, Schallschutz | | 197 | C | Gültig bis: 01.07.2018 | | | | | | |

| Punktzahl | | Klasse | |
|--|--|--------|--|
| 47 von mind. 45 in Stufe A | | | |
| 197 (incl. 17 Bonuspunkte) von mind. 150 in Stufe C | | | |

| Punktzahl | | Klasse | |
|--|--|--------|-------------------------------------|
| Ausführungsqualität teilweise durch Messungen überprüft (siehe detaillierter SSAw) | | ja | <input type="checkbox"/> |
| | | nein | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Gesamtklasse von allen Kriterien eingehalten | | ja | <input type="checkbox"/> |
| | | nein | <input checked="" type="checkbox"/> |

| |
|---|
| Wohnheit mit gegenüber der Klasse D erhöhtem baulichem Schallschutz, in der die Bewohner bei üblichen richtschallwellen Wasserhähnen im allgemeinen Ruhe finden und die Verdächtigkeits gewahrt bleibt. |
|---|

| | |
|--------------------------|------------------|
| Gebäudetyp | Mehrfamilienhaus |
| Baujahr des Gebäudes | 2000 |
| Anzahl der Wohneinheiten | 8 |
| Wohnungsbezeichnung | H1EG2 |
| Geschoß | 2 |
| Anzahl der Räume | 4 |
| Wohnfläche [m²] | 60 |

| | | |
|-------------|--|---------------------------|
| Aussteller: | Musterssteller GmbH Beratende Ingenieure Bauphysik Musterstraße 9 12345 Musterstadt | |
| Datum: | 01.07.2006 | Gültig bis: 01.07.2018 |
| | | Unterschrift: |

Anhang I – Beschreibung und Planungsunterlagen des Vergleichsgebäudes

Gebäudepass

| | |
|------------------|---|
| Gebäudetypologie | Einfamilienhaus (EFH) |
| Energiestandard | Passivhaus-Standard |
| Wohnfläche | ca. 210 m ² |
| Geschosse | 2 Vollgeschosse (EG, DG) |
| Gründung | Haus auf Bodenplatte ohne Unterkellerung |
| Baukonstruktion | <p>Außenwände</p> <ul style="list-style-type: none">_ Variante 1: Hochlochziegel mit Mineralwoll-Füllung, d = 42,5 cm mit Putzoberfläche bzw. teilweise mit Natursteinverkleidung_ Variante 2: Kalksandstein Planstein d = 15 cm mit WDVS (20 cm) und Putzoberfläche bzw. teilweise mit Natursteinverkleidung_ Variante 3: Porenbetonstein d = 42,5 cm mit Putzoberfläche bzw. teilweise mit Natursteinverkleidung_ Variante 4: Leichtbeton-Hohlblock mit Mineralwoll-Füllung, d = 36,5 cm mit Putzoberfläche bzw. teilweise mit Natursteinverkleidung_ Variante 5: Holzständer-Elemente mit Holzfaserdämmstoff-Füllung, d = ca. 31,5 cm mit Putzoberfläche bzw. teilweise mit Natursteinverkleidung <p>Innenwände</p> <ul style="list-style-type: none">_ Variante 1: Hochlochziegel d = 17,5 cm (tragend) bzw. d = 11,5 cm (trennend) mit Putzoberflächen_ Variante 2: Kalksandstein Planstein d = 15 cm (tragend) bzw. d = 11,5 cm (trennend) mit Putzoberflächen_ Variante 3: Porenbetonstein d = 24 cm (tragend) bzw. d = 11,5 cm (trennend) mit Putzoberflächen_ Variante 4: Leichtbeton-Hohlblock d = 24 cm (tragend) bzw. -Vollblock d = 11,5 cm (trennend) mit Putzoberflächen_ Variante 5: Holzständer-Elemente mit Holzfaserdämmstoff-Füllung, d = 20 cm (tragend) bzw. d = 10 cm (trennend) mit Putzoberflächen <p>Decken</p> <ul style="list-style-type: none">_ für alle massiven Varianten: Stahlbetondecke, d = 18 cm_ für Variante Holzständer-Bauweise: Holzbalkendecke, d = 25 cm |

Dach

- _ für alle Varianten: Satteldach mit Zwischensparrendämmung und Betondachstein-Deckung

Fenster

- _ Holz-Alu-Fenster mit Dreifachverglasung ($U_g = 0,69 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Technische Gebäudeausrüstung

- _ Heizen, Lüften und Kühlen über zentrales Lüftungsgerät mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung, nachgeschaltete Luft-Luft-Wärmepumpe
- _ Warmwasseraufbereitung mit Brauchwasser-Wärmepumpe
- _ Raffstore mit Elektrosteuerung als außenliegender Sonnenschutz
- _ Gebäudeautomation
- _ LED-Beleuchtung

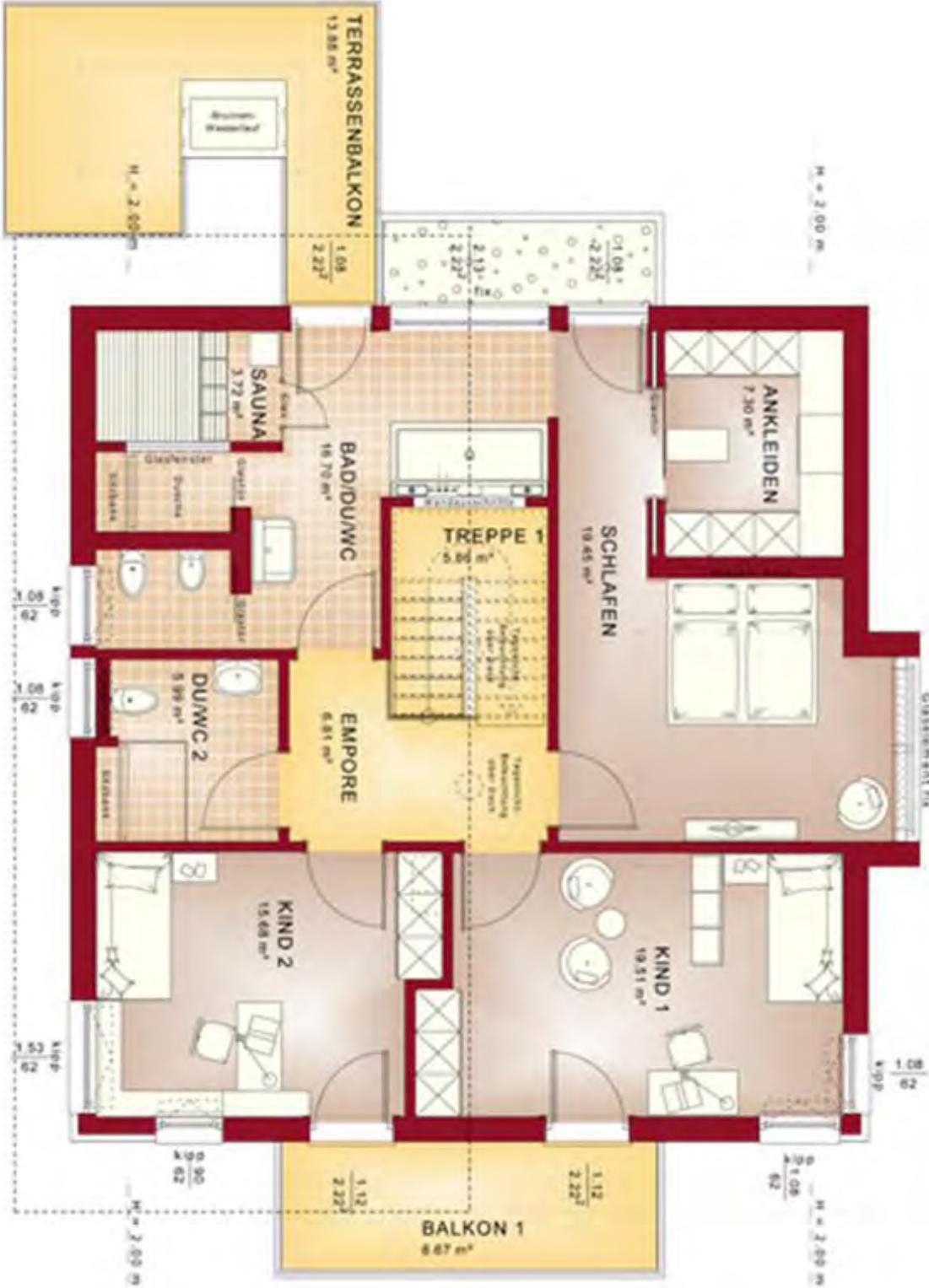
Ansichten



Grundriss Erdgeschoss



Grundriss Dachgeschoss



Anhang J – Ökobilanz Muster-EFH – Ergebnisse Konstruktion Wandbauteile | Lebenszyklusphase Herstellung

Systemgrenzen und Berechnungsparameter

Räumliche Systemgrenze

Bilanzierung aller Wandbauteile, d.h.

_ Außenwände

_ Innenwände

Zeitliche Systemgrenze

Betrachtungszeitraum gemäß

DGNB-Bewertungssystem NKW12: **50 Jahre**

Funktionelle Systemgrenze

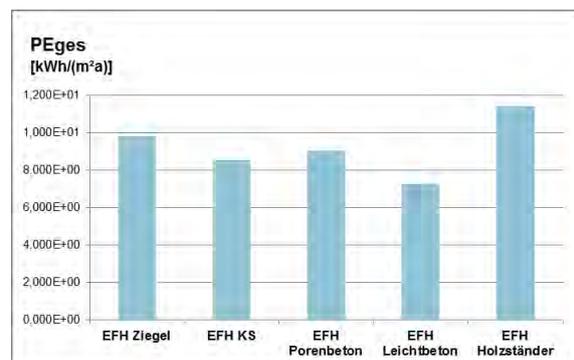
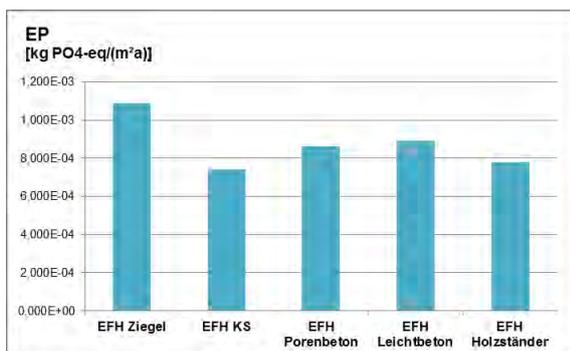
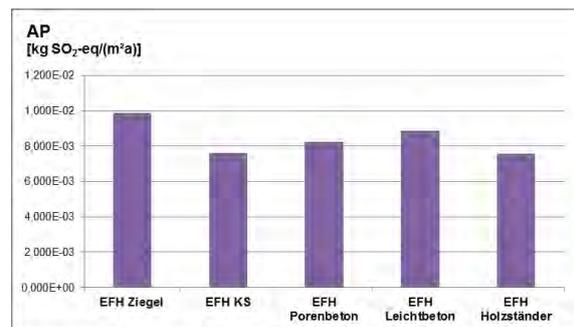
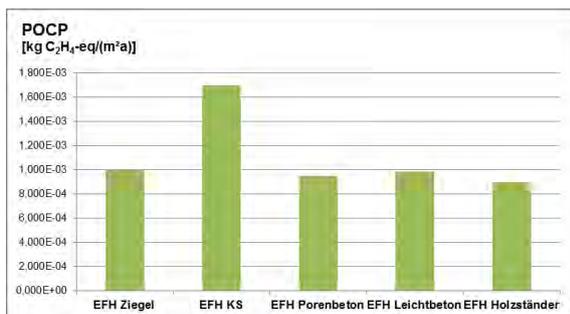
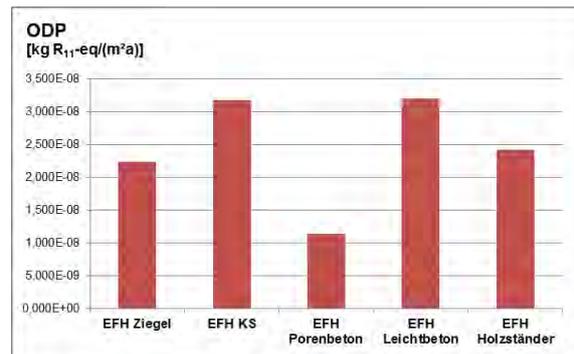
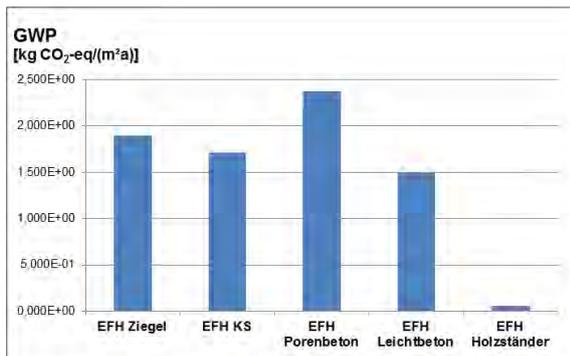
Bilanzierung für die Lebenszyklusphase der
Herstellung

Wirkungsindikatoren

_ Ökobilanzielle Indikatoren gemäß DGNB-
Bewertungssystem NKW12

(siehe nachfolgende Säulendiagramme)

_ Ergebnisse pro m² Nettogrundfläche und Jahr



Anhang J* – Ökobilanz Muster-EFH – Ergebnisse Konstruktion Wandbauteile | Lebenszyklusphase Herstellung

Systemgrenzen und Berechnungsparameter

Räumliche Systemgrenze

Bilanzierung aller Wandbauteile, d.h.

_ Außenwände

_ Innenwände

Zeitliche Systemgrenze

Modifizierter Betrachtungszeitraum: **80 Jahre**

Funktionelle Systemgrenze

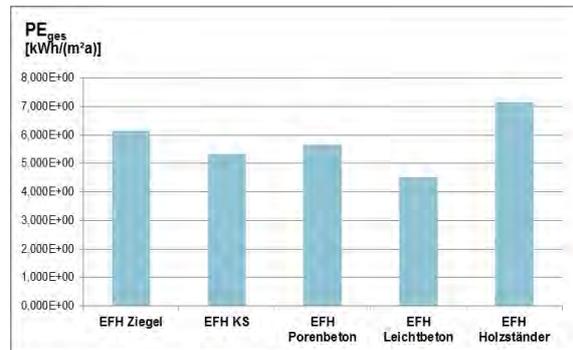
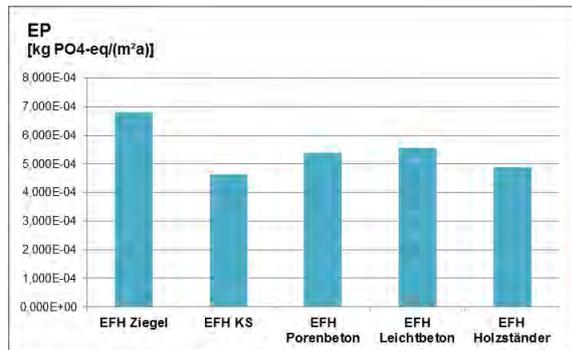
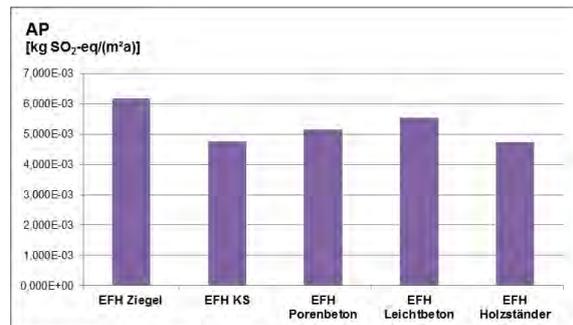
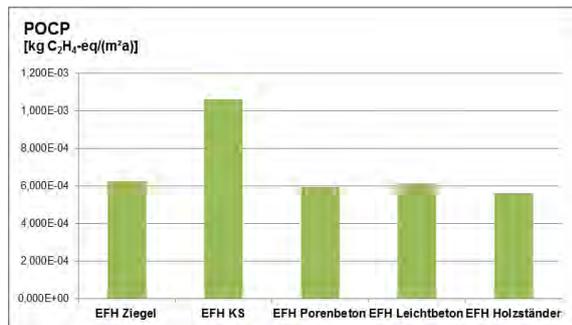
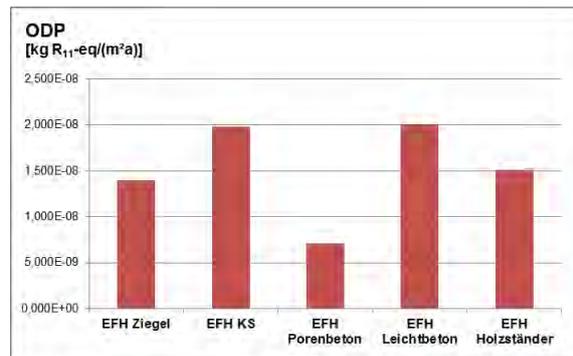
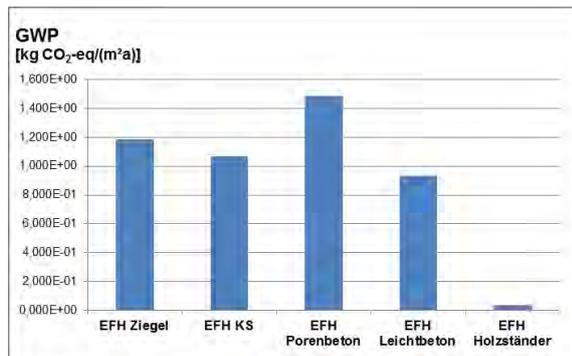
Bilanzierung für die Lebenszyklusphase der
Herstellung

Wirkungsindikatoren

_ Ökobilanzielle Indikatoren gemäß DGNB-
Bewertungssystem NKW12

(siehe nachfolgende Säulendiagramme)

_ Ergebnisse pro m² Nettogrundfläche und Jahr



Anhang K – Ökobilanz Muster-EFH – Ergebnisse Konstruktion Wandbauteile | Gesamter Lebenszyklus

Systemgrenzen und Berechnungsparameter

Räumliche Systemgrenze

Bilanzierung aller Wandbauteile, d.h.

_ Außenwände

_ Innenwände

Zeitliche Systemgrenze

Betrachtungszeitraum gemäß

DGNB-Bewertungssystem NKW12: **50 Jahre**

Funktionelle Systemgrenze

Bilanzierung des **gesamten Lebenszyklus**

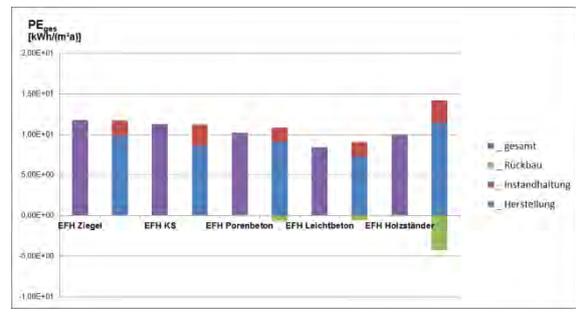
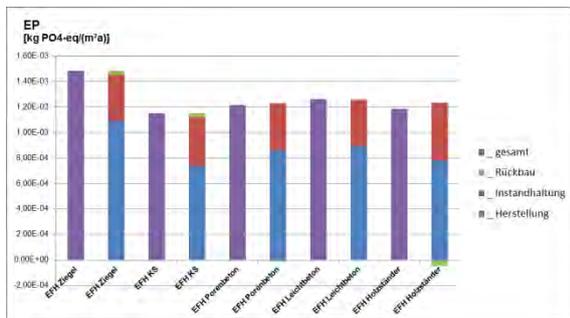
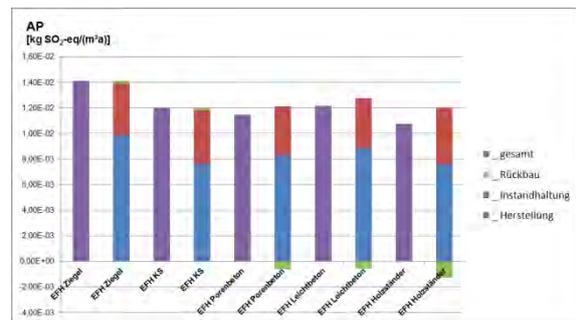
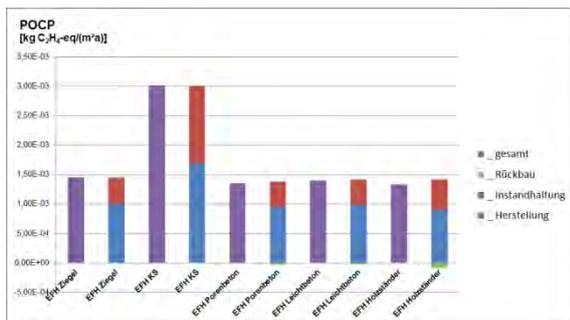
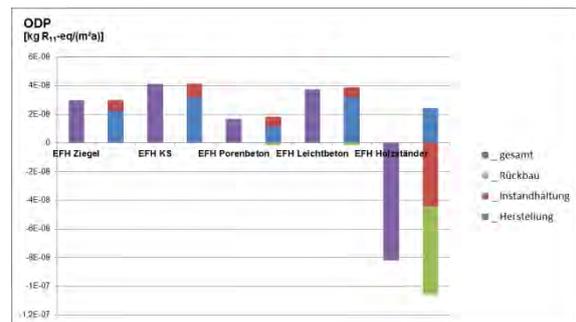
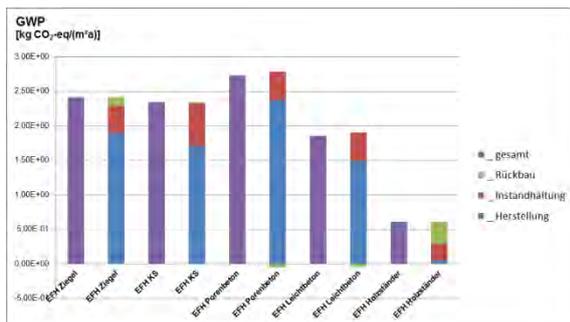
(Herstellung | Nutzung (Instandh.) | Entsorgung)

Wirkungsindikatoren

_ Ökobilanzielle Indikatoren gemäß DGNB-Bewertungssystem NKW12

(siehe nachfolgende Säulendiagramme)

_ Ergebnisse pro m² Nettogrundfläche und Jahr



Anhang K* – Ökobilanz Muster-EFH – Ergebnisse Konstruktion Wandbauteile | Gesamter Lebenszyklus

Systemgrenzen und Berechnungsparameter

Räumliche Systemgrenze

Bilanzierung aller Wandbauteile, d.h.

_ Außenwände

_ Innenwände

Zeitliche Systemgrenze

Modifizierter Betrachtungszeitraum: **80 Jahre**

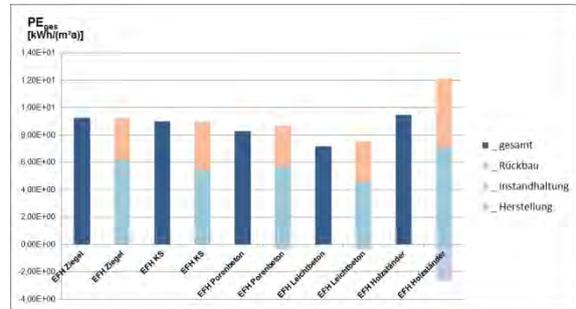
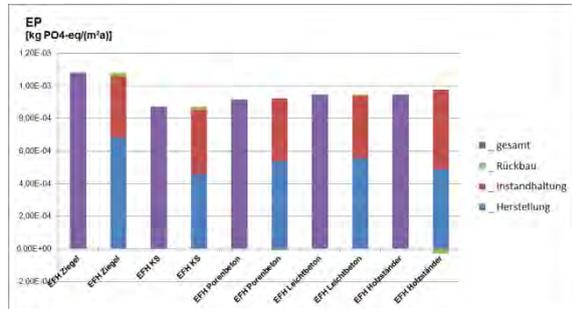
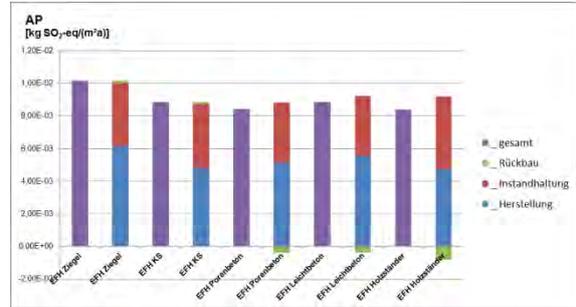
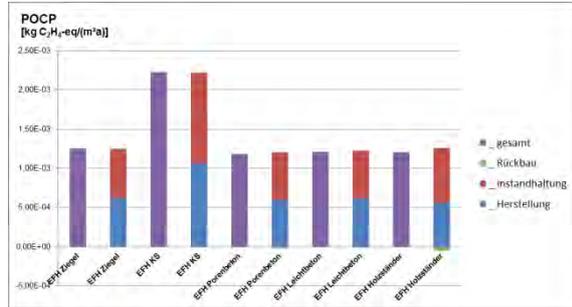
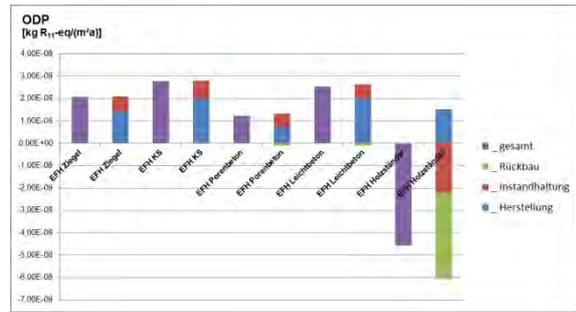
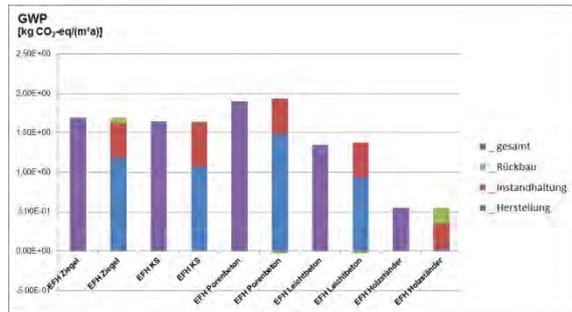
Funktionelle Systemgrenze

Bilanzierung des **gesamten Lebenszyklus**
(Herstellung | Nutzung (Instandh.) | Entsorgung)

Wirkungsindikatoren

_ Ökobilanzielle Indikatoren gemäß DGNB-
Bewertungssystem NKW12
(siehe nachfolgende Säulendiagramme)

_ Ergebnisse pro m² Nettogrundfläche und Jahr



Anhang L – Ökobilanz Muster-EFH – Ergebnisse Konstruktion

EFH | Lebenszyklusphase Herstellung

Systemgrenzen und Berechnungsparameter

Räumliche Systemgrenze

Zeitliche Systemgrenze

Funktionelle Systemgrenze

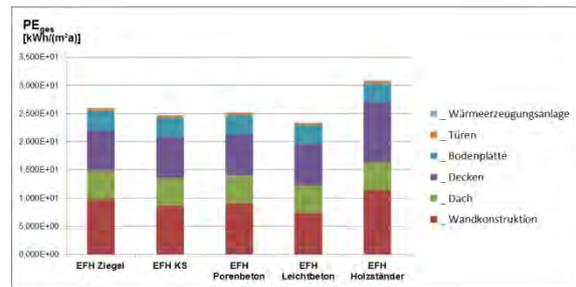
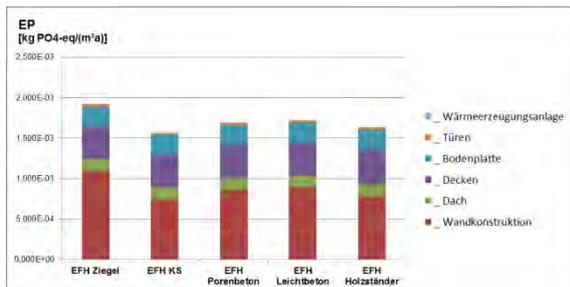
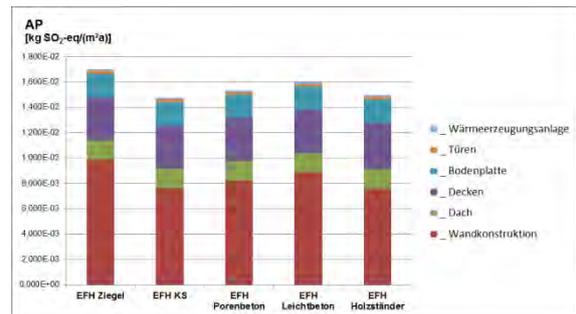
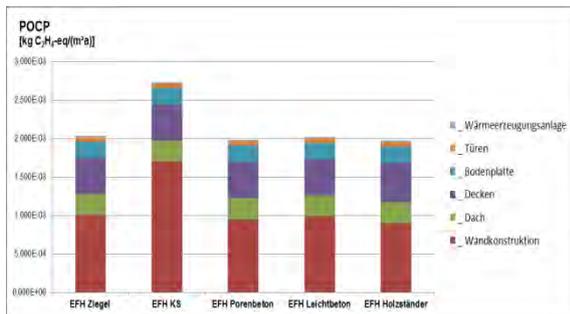
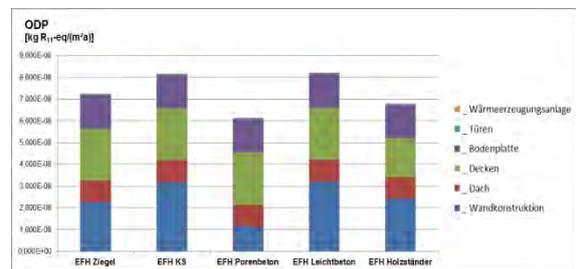
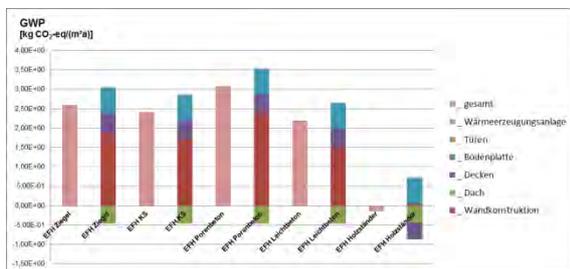
Wirkungsindikatoren

Bilanzierung aller konstruktiven Bauteile

Betrachtungszeitraum gemäß
DGNB-Bewertungssystem NKW12: 50 Jahre

Bilanzierung für die Lebenszyklusphase der
Herstellung

Analog zu Anhang J



Anhang L* – Ökobilanz Muster-EFH – Ergebnisse Konstruktion

EFH | Lebenszyklusphase Herstellung

Systemgrenzen und Berechnungsparameter

Räumliche Systemgrenze

Zeitliche Systemgrenze

Funktionelle Systemgrenze

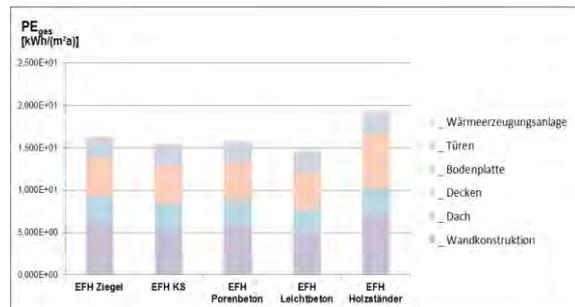
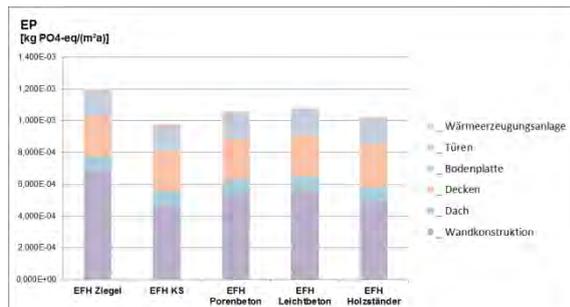
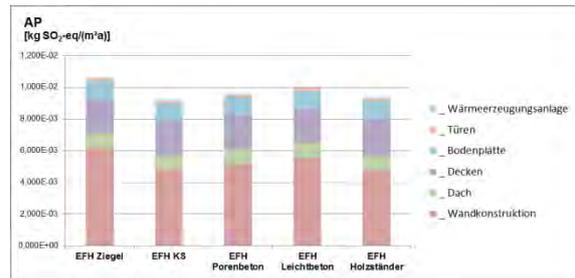
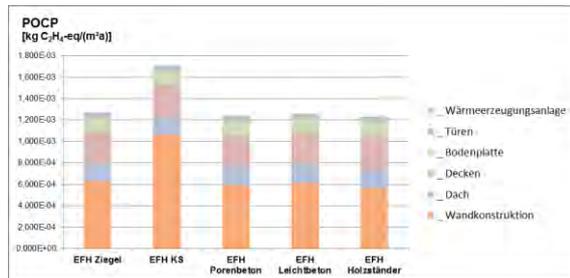
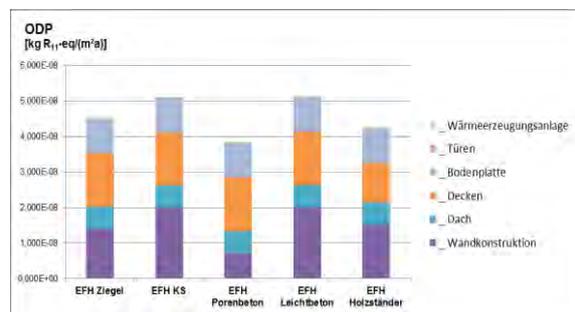
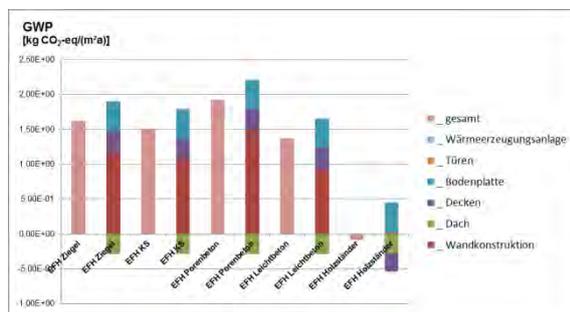
Wirkungsindikatoren

Bilanzierung aller konstruktiven Bauteile

Modifizierter Betrachtungszeitraum: **80 Jahre**

Bilanzierung für die Lebenszyklusphase der Herstellung

Analog zu Anhang J*



Anhang M – Ökobilanz Muster-EFH – Ergebnisse Konstruktion

EFH | Gesamter Lebenszyklus

Systemgrenzen und Berechnungsparameter

Räumliche Systemgrenze

Zeitliche Systemgrenze

Funktionelle Systemgrenze

Wirkungsindikatoren

Bilanzierung aller konstruktiven Bauteile

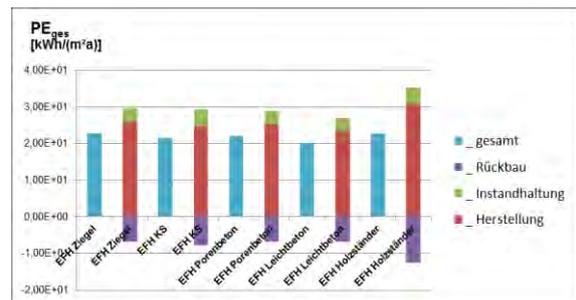
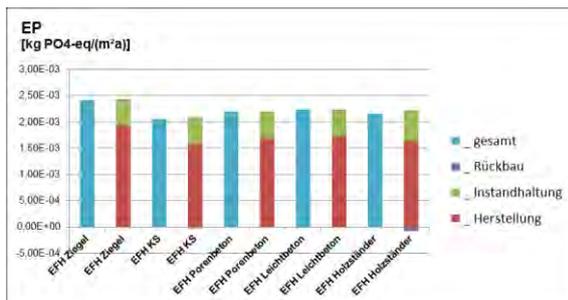
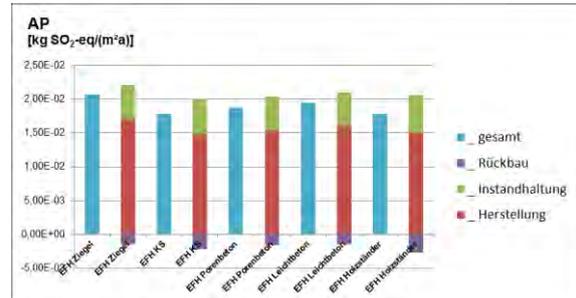
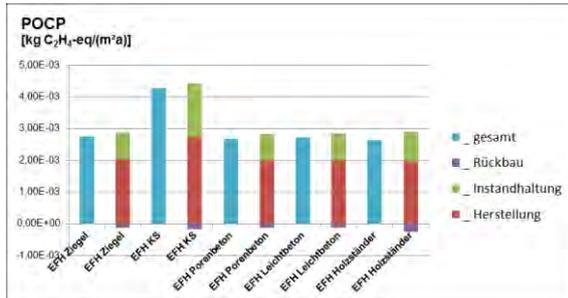
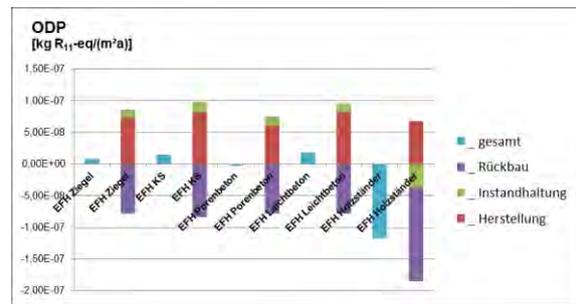
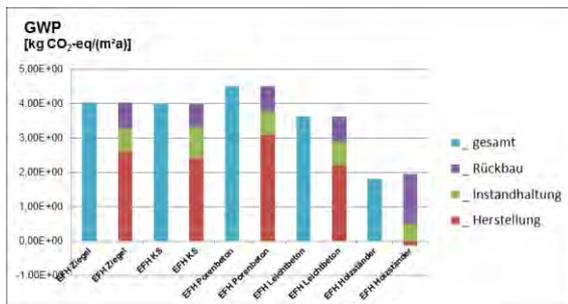
Betrachtungszeitraum gemäß

DGNB-Bewertungssystem NKW12: 50 Jahre

Bilanzierung des **gesamten Lebenszyklus**

(Herstellung | Nutzung (Instandh.) | Entsorgung)

Analog zu Anhang J



Anhang M* – Ökobilanz Muster-EFH – Ergebnisse Konstruktion

EFH | Gesamter Lebenszyklus

Systemgrenzen und Berechnungsparameter

Räumliche Systemgrenze

Zeitliche Systemgrenze

Funktionelle Systemgrenze

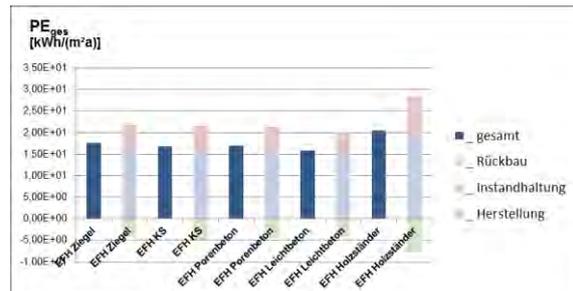
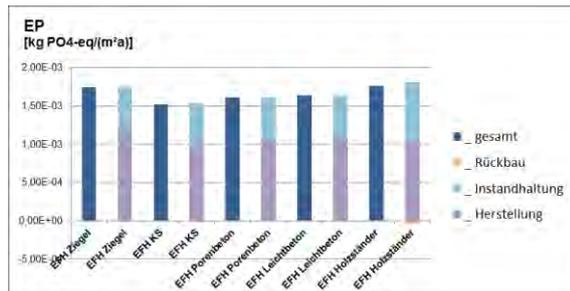
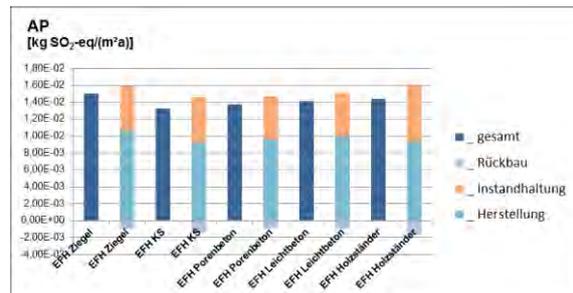
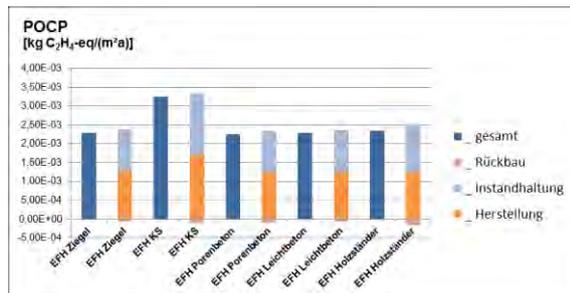
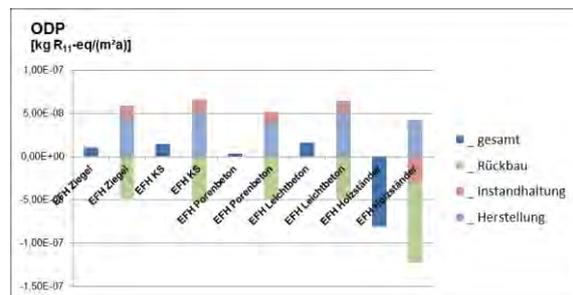
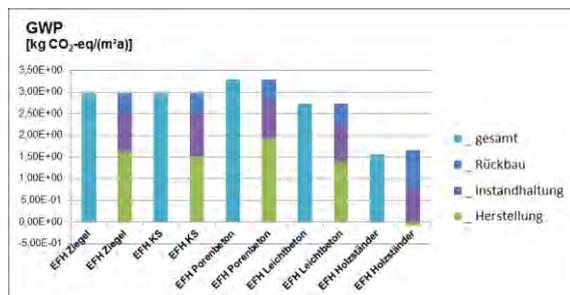
Wirkungsindikatoren

Bilanzierung aller konstruktiven Bauteile

Modifizierter Betrachtungszeitraum: **80 Jahre**

Bilanzierung des **gesamten Lebenszyklus**
(Herstellung | Nutzung (Instandh.) | Entsorgung)

Analog zu Anhang J*



Anhang N – Ökobilanz Muster-EFH – Gesamtergebnisse EFH | Gesamter Lebenszyklus

Systemgrenzen und Berechnungsparameter

Räumliche Systemgrenze

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

Zeitliche Systemgrenze

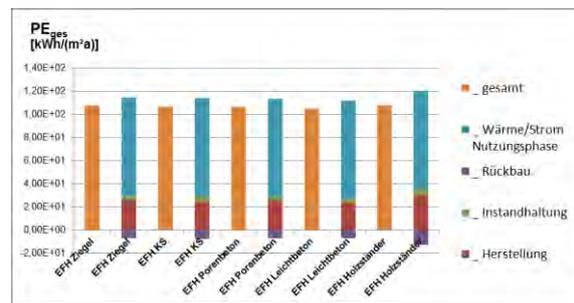
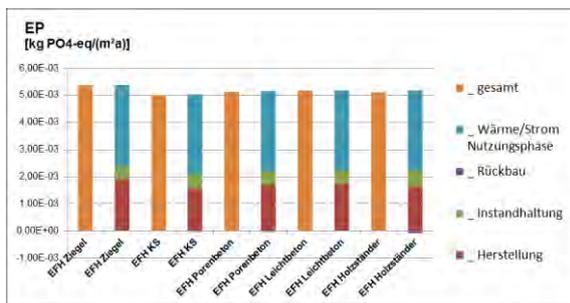
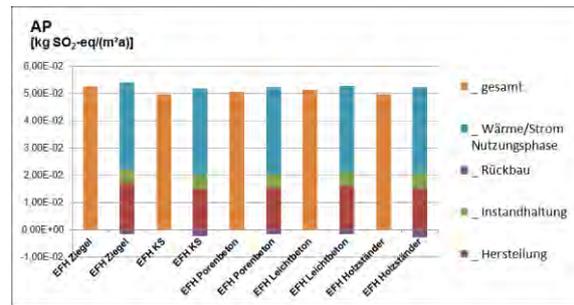
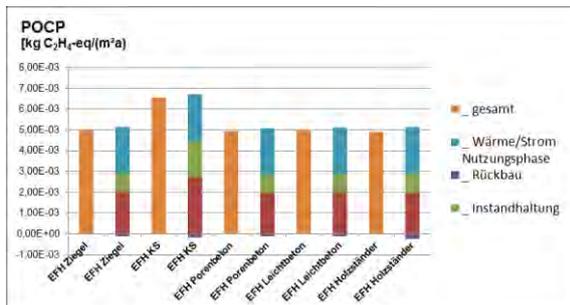
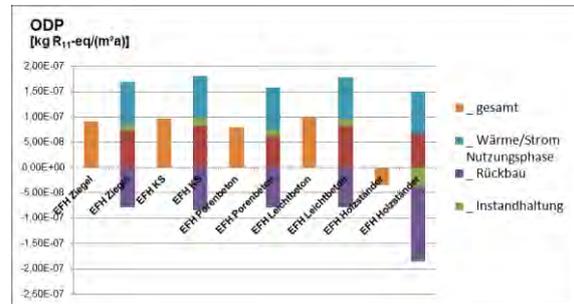
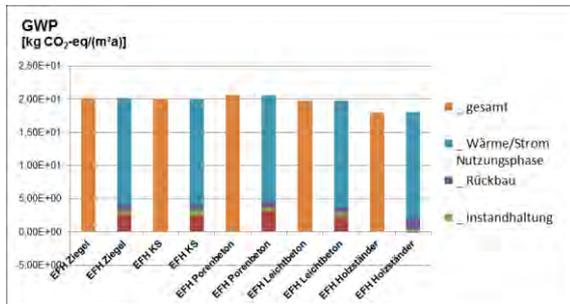
Betrachtungszeitraum gemäß
DGNB-Bewertungssystem NKW12: 50 Jahre

Funktionelle Systemgrenze

Bilanzierung des **gesamten Lebenszyklus**
(Herstellung | Nutzung | Entsorgung)

Wirkungsindikatoren

Analog zu Anhang J



Anhang N* – Ökobilanz Muster-EFH – Gesamtergebnisse EFH | Gesamter Lebenszyklus

Systemgrenzen und Berechnungsparameter

Räumliche Systemgrenze

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

Zeitliche Systemgrenze

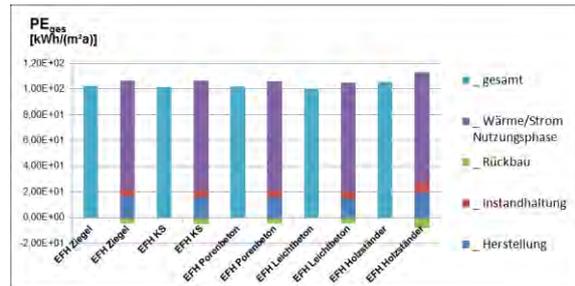
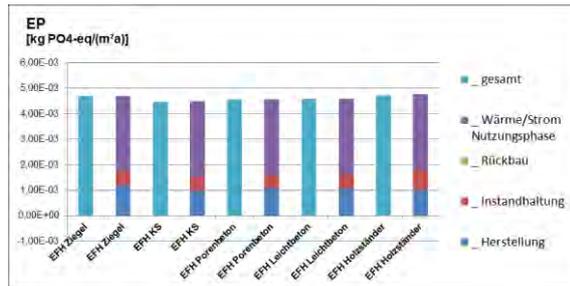
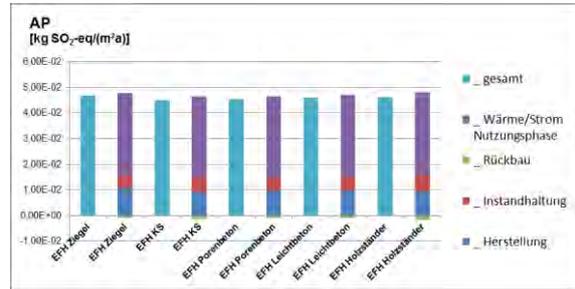
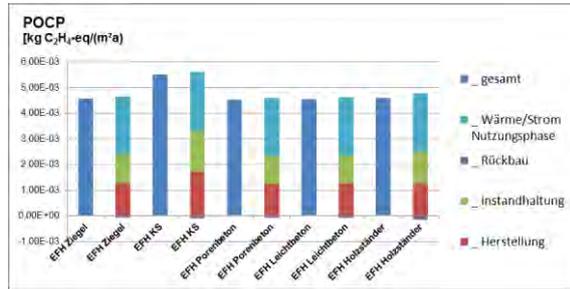
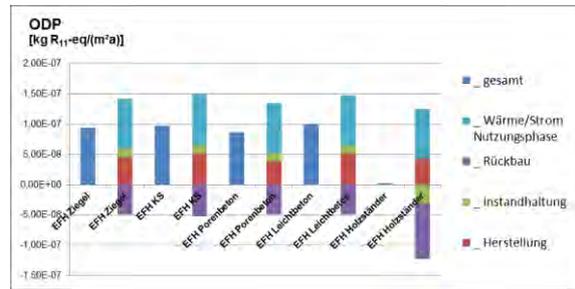
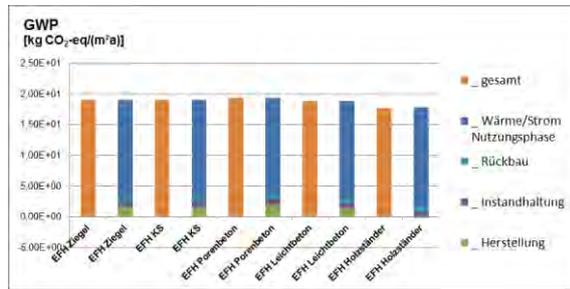
Modifizierter Betrachtungszeitraum: **80 Jahre**

Funktionelle Systemgrenze

Bilanzierung des **gesamten Lebenszyklus**
(Herstellung | Nutzung | Entsorgung)

Wirkungsindikatoren

Analog zu Anhang J



Anhang O – Ökobilanz Muster-EFH – Bewertungsergebnisse im DGNB-Zertifizierungssystem NKW12

Systemgrenzen und Berechnungsparameter

Räumliche Systemgrenze

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

Zeitliche Systemgrenze

Betrachtungszeitraum gemäß DGNB-Bewertungssystem NKW12: 50 Jahre

Funktionelle Systemgrenze

Bilanzierung des **gesamten Lebenszyklus** (Herstellung | Nutzung | Entsorgung)

Wirkungsindikatoren

Analog zu Anhang J

Bewertungsmaßstab

- _ Grenzwert: 1,0 Bewertungspunkt
- _ Referenzwert: 5,0 Bewertungspunkte
- _ Zielwert: 10,0 Bewertungspunkte (**Optimum**)

