

**Entwicklung eines Cradle to Cradle® inspirierten
Raummoduls für den Solar Decathlon Europe 2021**

BACHELORARBEIT

Josef Rott

1. Prüfer Prof. Dr.-Ing. Jochen Stopper

2. Prüfer Prof. Dipl.-Ing Mathias Wambsganß

Tag der Einreichung 24. Juni 2020

Tag der mündlichen Prüfung 13. Juli 2020

Abschlussnote 1,0

Inhalt

Motivation	4
Teil A Recherche	8
1 Cradle to Cradle®	8
2 Verwaltungsgebäude RAG	10
3 Wohnhochhaus Moringa	12
Teil B Analyse	16
1 Environmental Life Cycle Assessment	16
2 Bestandsgebäude Nürnberg	18
3 Holzbau Raummodule	22
Teil C Konzept	48
1 Urban-Mining-Design	48
2 Primärkonstruktion	52
3 Hüllfläche	54
4 Innenausbau	62
5 Raummodul	66
Fazit	70
Anhang	74
1 Glossar	74
2 Abkürzungen	80
3 Literatur- und Internetverzeichnis	82
4 Abbildungsnachweis	86

Motivation



Der Solar Decathlon (SDE21) „thematisiert die Energiewende im Quartier und damit die Weiterentwicklung des urbanen Gebäudebestands. Genau dieser Bestand ist es, der den Schwerpunkt der architektonischen und bauwirtschaftlichen Tätigkeiten in Deutschland und Europa ausmacht. Umbauen, Anbauen, Aufstocken und Baulücken schließen sind dabei die zentralen architektonischen Aufgaben – Ressourceneffizienz, Suffizienz, Klimaschutz und recyclinggerechtes Bauen zentrale Themen.“ [1]

Dr.-Ing. Katharina Simon, Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen, Bergische Universität Wuppertal

Diese Bachelorarbeit entstand im Rahmen der Teilnahme der Technischen Hochschule Rosenheim am Solar Decathlon Europe 2021.

Mit großem Dank an alle, von und mit denen ich in dieser spannenden Zeit lernen durfte.

Auf eine gute Zukunft.

Die neue EU-Gebäuderichtlinie fordert, dass künftig alle Neubauten Niedrigstenergiegebäude sind (Nearly Zero-Energy Buildings, nZEB). Diese zeichnen sich durch eine äußerst hohe Gesamtenergieeffizienz aus. Den sehr geringen Energiebedarf der Gebäude decken größtenteils lokale, erneuerbare Energiequellen [2].

Ziel des Wettbewerbs ist ein Plusenergiegebäude. Im Vergleich zu Null- und Niedrigstenergiegebäuden stellt dieses CO₂-neutrale Gebäude die benötigte Energie nicht nur selbst bereit, sondern erzeugt darüber hinaus einen Energieüberschuss, z. B. für Elektromobilität [3].

Das SDE21-Team der Technischen Hochschule Rosenheim „Level Up“ (www.levelup-ro.de) hat sich erfolgreich für die Aufstockung von Mehrfamilienhäusern der 50er bis 70er Jahre beworben. Diese bilden den größten Gebäudebestand in Deutschland [4]. Durch die Aufstockung in Holzleichtbauweise werden keine weiteren urbanen Flächen versiegelt.

Diese Bachelorarbeit befasst sich mit den Umweltwirkungen und Materialressourcen der Holzbau Raummodule. Die Cradle to Cradle®-Philosophie (siehe „Cradle to Cradle“, S. 8 f.) geht auf die zentralen Themen des Wettbewerbs umfassend und tiefgreifend ein.

Weltweit verschieben sich natürliche Rohstoffvorkommen in anthropogene Lagerstätten. Die Stadt gilt als das Rohstofflager der Zukunft. Im Gebäudebestand sind wertvolle Ressourcen gebunden, z. B. in Form von recyclebaren Altmetallen. Urban-Mining-Design (UMD) erfordert ein kollektives Umdenken hin zu einer Kreislaufwirtschaft. Dazu werden Gebäude über den gesamten Lebenszyklus hinsichtlich ihrer Kosten und Umweltwirkungen betrachtet. Am Ende der Nutzungsdauer wird nicht mehr an Abfall, sondern an Wertstoffe gedacht. Gebäude können nur dann als Materialbanken gelten, wenn die Konstruktion und die Bauprodukte sortenrein trennbar sind. Die verwendeten Materialen sind zwingend frei von toxischen Inhaltsstoffen, um qualitative Recyclingprozesse zu ermöglichen. Die Ressourcennutzung der Sekundärrohstoffe schützt unsere Lebensgrundlagen nachhaltig [5].

„Auf den Bau und die Nutzung von Gebäuden in der EU entfallen rund 50 % aller unserer geförderten Werkstoffe und unseres Energieverbrauchs sowie etwa ein Drittel unseres Wasserverbrauchs. Zudem ist der Gebäudektor für rund ein Drittel aller Abfälle verantwortlich und mit Umweltbelastungen verbunden, die in verschiedenen Phasen des Lebenszyklus eines Gebäudes auftreten, etwa bei der Herstellung von Bauprodukten, bei Bau, Nutzung und Renovierung von Gebäuden und bei der Entsorgung von Bauschutt.“ [6] Mitteilung der Europäischen Kommission an das Europäische Parlament, Brüssel 2014

„Wir stehen vor einer großen Aufgabe, die eine gesamtgesellschaftliche, globale Notwendigkeit darstellt. Wir sehen darin eine Chance für eine neue, konzeptbasierte Architekturhaltung, die jeder ästhetischen Debatte eine neue Verantwortlichkeit voranstellt. Urban-Mining-Design will kein neuer Baustil sein, sondern ein Paradigmenwechsel: Müll ist ein Designfehler!“ [7]
Dipl.-Ing. Annette Hillebrandt, Fakultät für Baukonstruktion, Entwerfen, Materialkunde, Bergische Universität Wuppertal

„Die Modulbauweise im Holzbau ist bereits aus der Erstellung von Hotels [...], studentischem Wohnraum und Flüchtlingsunterkünften bekannt, jedoch besteht dringend Forschungsbedarf bei der Rückbaubarkeit und dem Materialrecycling.“ [8]
Forschungsinitiative Zukunft Bau, Stuttgart 2017

Recherche, die
Ermittlung, Nachforschung

Teil A Recherche

1	Cradle to Cradle®	8
	Kreislaufwirtschaft	8
	C2C-Zertifizierung	8
	Materialrecycling	8
	Ökoeffektivität	8
	C2C-Konzept	9
2	Verwaltungsgebäude RAG	10
	Industrie- und Naturlandschaft	10
	Naherholungsraum Dachgarten	10
	Gesunde Materialien	10
3	Wohnhochhaus Moringa	12
	Nachhaltiges Bauen	12
	Soziale Infrastrukturen	12
	Gefördertes Wohnen	12

Cradle to Cradle®



A 1.1

„Bei Cradle to Cradle geht es darum, den menschlichen Fußabdruck zu feiern, also die Menschen als Chance zu begreifen ...Es geht darum Gebäude zu entwickeln, die nützlich sind, nicht weniger schädlich.“ [1]
Prof. Dr. Michael Braungart, Mitbegründer des Cradle to Cradle®-Konzepts



A 1.3

Kreislaufwirtschaft

Die Cradle to Cradle®-Produktzertifizierung bewertet die Produktion „von der Wiege zur Wiege“ (Cradle to Cradle, C2C) [2]. Dieser Kreislaufgedanke steht im Gegensatz zur bisherigen linearen Wegwerfwirtschaft „von der Wiege zur Bahre“ (Cradle to Grave). Entwickelt wurde das Zertifizierungsprogramm 2005 von dem deutschen Chemiker Michael Braungart und dem US-amerikanischen Architekten William McDonough. In der Kategorie „Bauprodukte und Ausstattung“ befinden sich derzeit 190 C2C-zertifizierte Produkte, in der Kategorie „Innenarchitektur und Möbel“ sind es 222 Stück [3]. Nach dem Grundsatz der Ökoeffektivität zirkulieren alle Materialien als Nährstoffe entweder im biotischen oder im technischen Kreislauf (siehe „Urban-Mining-Design“, S. 48 f.).

C2C-Zertifizierung

Die Produktbewertung beinhaltet die fünf Kategorien „Gesunde Inhaltsstoffe“, „Materialrecycling“, „Erneuerbare Energien und CO₂-Management“, „Wassermanagement“ und „soziale Gerechtigkeit“. Die Auszeichnungsstufen reichen von Basic über Bronze, Silber und Gold bis hin zu Platin [4].

Materialrecycling

Zunächst werden alle Inhaltsstoffe ermittelt und definiert. Toxische Substanzen, die der menschlichen Gesundheit schaden und sich im biotischen Kreislauf anreichern, werden ausgeschlossen. Das Materialrecycling, bei dem es vor allem auf die Recyclingrate des Produkts ankommt, ist für das C2C-System elementar. Dazu wird der Anteil kompostierbarer oder rezyklierbarer Rohstoffe (Post-Use) und der Anteil schnell nachwachsender (NawaRo) oder bereits rezyklierter (Pre-Use) im Verhältnis 2:1 gewichtet [5].

$$\frac{2 \times \% \text{-Anteil rezyklierbarer oder kompostierbarer Rohstoffe} + \% \text{-Anteil rezyklierter oder schnell nachwachsender Rohstoffe}}{3} \times 100$$

Ökoeffektivität

Die meisten Unternehmen versuchen ihren ökologischen Fußabdruck möglichst effizient zu verringern. Bei Cradle to Cradle® geht es vielmehr darum, einen ganzheitlich positiven Fußabdruck zu hinterlassen (Abb. A 1.4). Durch ökologisch, sozial und ökonomisch nachhaltige Produkte entsteht ein qualitativer Mehrwert. Dieser Grundsatz lässt sich auf Prozesse, Gebäude und ganze Städte anwenden. Die Website „The Library“ beinhaltet C2C-inspirierte Projekte, die für die allgemeine Öffentlichkeit frei zugänglich sind (www.c2c-buildings.net) [6].

A 1.1

Cradle to Cradle Certified™

A 1.2

Michal Braungart

A 1.3

William McDonough

A 1.4

Ökoeffektivität

C2C-Konzept

Die drei Grundprinzipien von Cradle to Cradle® werden von der Natur unterstützt [7].

Waste equals food

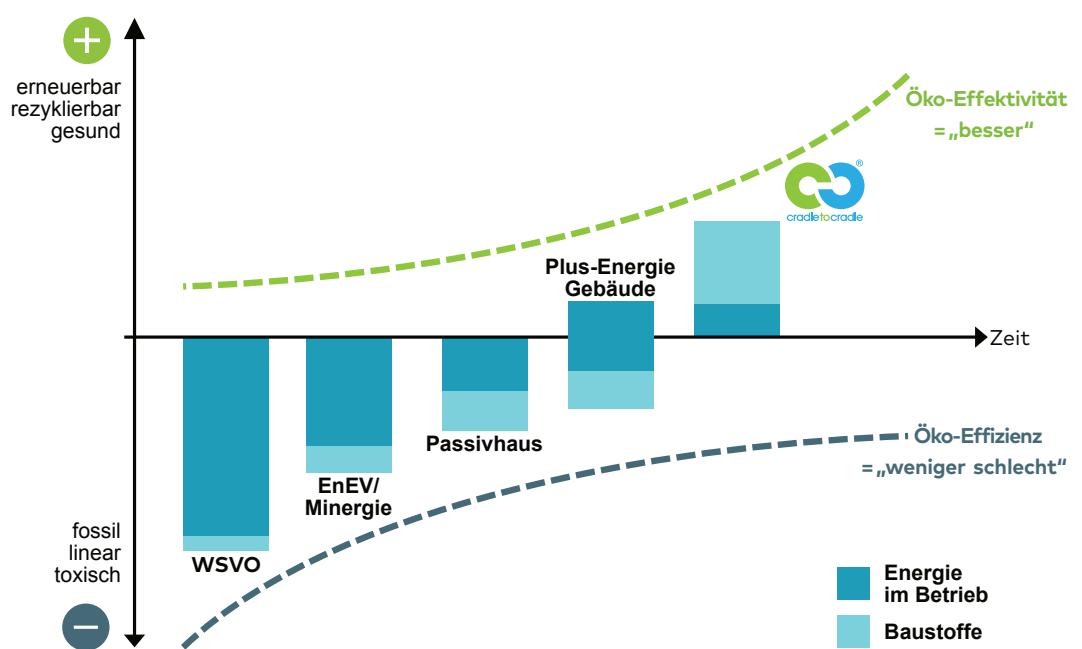
Die Natur dient mit ihren Prozessen, in denen jeder einzelne Organismus zur Gesundheit aller beiträgt, als Vorbild. Baumblüten fallen zu Boden, werden abgebaut und zur Nahrung verschiedener Organismen.

Use clean and renewable energy

Die natürliche solare Energie kann auf verschiedenste Art gewonnen werden. Darüber hinaus dienen Windkraft, Wasserkraft und Biomasse als alternative Energien.

Celebrate diversity

Die Natur zeichnet sich durch eine ungeheure Komplexität aus, die die Biodiversität fördert, indem sie Systeme flexibel und antifragil macht. Dies lässt sich auf unser Wirtschafts- und Wertesystem übertragen, indem Vielfalt in Kultur und Gesellschaft gefeiert wird und Regionalität wertgeschätzt wird.



Verwaltungsgebäude RAG

Essen, DE 2018

Architekten
kadawittfeldarchitektur

Projektentwickler
KÖLBL KRUSE + RAG Montan
Immobilien



A 2.1

„Materialien und Bauteile werden neben gesundheitlichen und ökologischen Aspekten vor allem auch nach ihrer Kreislauffähigkeit ausgewählt, sodass das Gebäude nach seiner Lebensdauer seine Rohstoffqualitäten bewahrt und als Ressourcendepot dient.“ [1]
Ursula Feld, DGNB Auditorin

Industrie- und Naturlandschaft

Das UNESCO-Welterbe Zollverein in Essen wurde um ein neues Verwaltungsgebäude der RAG-Stiftung und der RAG AG erweitert. Westseitig des Zechenturms und gegenüber der einstigen Kokerei gelegen, ist es Bindeglied zwischen der Ecke des Baugebiets, an die sich die gewinkelte Gebäudeform anpasst, und dem angrenzenden Waldstück. Eine großzügige Treppe führt hinauf auf den Dachgarten (Abb. A 2.1). Hier dienen den Mitarbeitern Spazierpfade, Platzsituationen, Sitzgelegenheiten und diverse Bepflanzungen als Erholungsmöglichkeiten an der frischen Luft mit Ausblick auf das Natur- und Zechengelände (Abb. A 2.2-2.3). Auch die Büroräume gruppieren sich um begrünte Innenhöfe. Das zentrale Gebäudegelenk bietet Gemeinschaftsbereiche wie Mitarbeiterrestaurants, Konferenzräume und die Haustechnikzentrale an (Abb. A 2.4). Pflanzen, Urban Gardening und Fledermauskästen erzeugen kleine Biosphären mit hoher Diversität.

sind die Wegeverknüpfungen Teil des Konzepts. Die Bürobereiche werden über Ringe erschlossen, während Abkürzungen über die Innenhöfe die Durchwegung erleichtern. Beide Flügel der RAG-Stiftung und der RAG AG führen auf das Gebäudedach. Ein Kontinuum, das zum Bewandern einlädt.

Gesunde Materialien

Die „Cradle to Cradle“-Denkschule hielt mit innovativen Nachhaltigkeitsstandards Einzug in den Neubau. Dieser erhielt die höchste DGNB-Zertifizierung in Platin. Für das EU-Forschungsprojekt Buildings as Material Banks (BAMB) diente das Gebäude als Pilotprojekt. Die verbauten Materialien wurden in einen Materialausweis eingetragen. In Zusammenarbeit mit Drees & Sommer Advanced Building Technologies GmbH als Generalfachplaner konnten die hochgesteckten Nachhaltigkeitsziele realisiert werden.

Naherholungsraum Dachgarten

Die ambivalente Dachlandschaft gleicht die baulich versiegelte Grundfläche aus und schafft eine neue Identität, indem sie als Brücke zwischen Industrie- und Naturlandschaft fungiert. Dabei



A 2.2



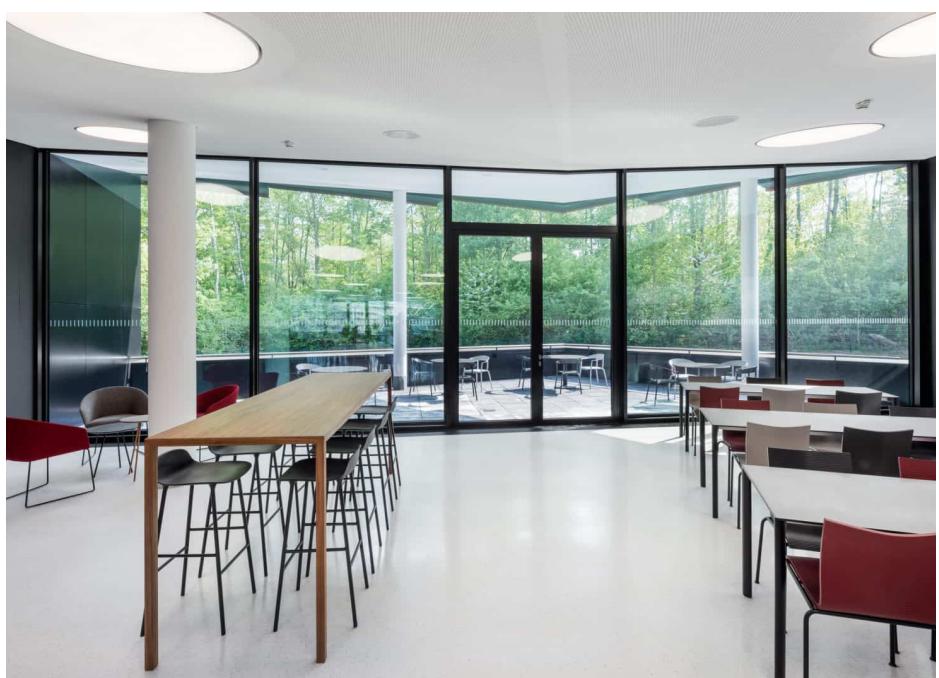
A 2.3

Gebäudekennwerte

Geschosse	2
BGF	Ca. 9.400 m ²
Kosten	Ca. 25 Mio. €
Bauzeit	2 Jahre

Energiestandard

Primärenergie	101,70 kWh/m ² a
Heizwärme	ca. 58 kWh/m ² a
Zertifizierung	DGNB Platin



A 2.4

Wohnhochhaus Moringa

Hamburg, DE 2023

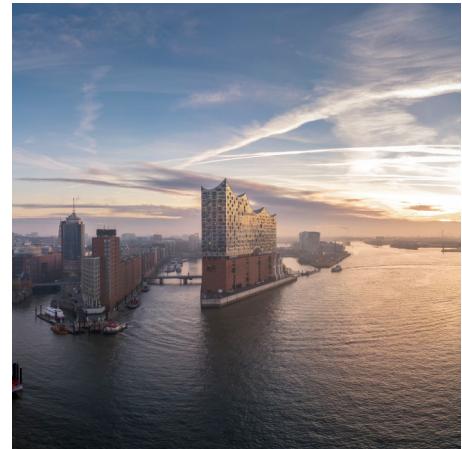
Architekten

kadawittfeldarchitektur

Projektentwickler
Landmarken AG + HafenCity
Hamburg GmbH



A 3.1



A 3.2

„Gebäude sind für 40 Prozent aller CO₂-Emissionen verantwortlich, Cradle 2 Cradle kann darauf die Antwort geben.“ [1]

Jens Kreiterling, Vorstand der Landmarken AG

Nachhaltiges Bauen

In der Hamburger Hafenstadt entsteht Deutschlands erstes Wohnhochhaus nach dem Cradle to Cradle®-Prinzip (Abb. A 3.1-3.2). Dieses vereint gesunde, recyclingfähige und sortenrein trennbare Materialien. Wertvolle Ressourcen werden wieder verwendet. Insgesamt besteht die Architektur aus drei Gebäude-ensembles, die durch ihre Anordnung um einen grünen Innenhof überzeugt (Abb. A 3.3). Die begrünte Fläche an der Fassade und auf dem Dach kompensiert die bebaute Grundstücksfläche. Als „grüne Lunge“ produziert das Moringa Sauerstoff, verringert Schadstoffe und schützt vor urbanen Hitzeinselleffekten im Sommer (Abb. A 3.4). Der Name geht auf den Wunderbaum Moringa Olifeira zurück.

Soziale Infrastrukturen

Das innovative Nutzungskonzept vernetzt Wohnen in der Familie mit Gemeinschaftsideen in der Nachbarschaft und Angeboten für die Öffentlichkeit in den Erdgeschossen. Aufgrund der vielen Singles in Hamburg wurde ein Co-Living-Konzept entwickelt, das Wohngemeinschaften fördert, Gemeinschaftsflächen bietet und mit Angeboten wie einer Community-App für ein dichtes Sozialgefüge lockt. Abgerundet wird die Wohnnutzung durch einen

Co-Working-Space, eine Kita, Räume für verschiedene Veranstaltungen, Ausstellungen, einen Fitness- oder Lounge-Bereich und eine Gastronomie im Erdgeschoss, inklusive Terrasse. Auch ein Mobility-Sharing-Konzept bietet den Bewohnern eine dynamische Vielfalt vom E-Auto bis hin zum Lastenrad.

Gefördertes Wohnen

Die Größe des Baufelds, das sich im Quartier Elbbrücken in zentraler Wasserlage befindet, beträgt rund 4 740 m². Dabei sind 17 700 m² der mehr als 20 000 m² BGF Mietwohnungen. Rund ein Drittel aller Wohnungen ist öffentlich gefördert und bietet Wohnfläche für Familien, Paare, Jung und Alt aller Einkommensklassen. Das Co-Living-Konzept wirkt sich auf den in Hamburg sehr hohen Pro-Kopf-Flächenverbrauch positiv aus. Von den insgesamt knapp 70 Pkw-Stellplätzen sind 30% für Carsharing. Dabei gibt es mindestens drei mal so viele Fahrräder wie Pkws.

A 3.1

Moringa

A 3.2

Ausblick Hamburger Hafenstadt

A 3.3

Visualisierung Wohnhochhaus Moringa

A 3.4

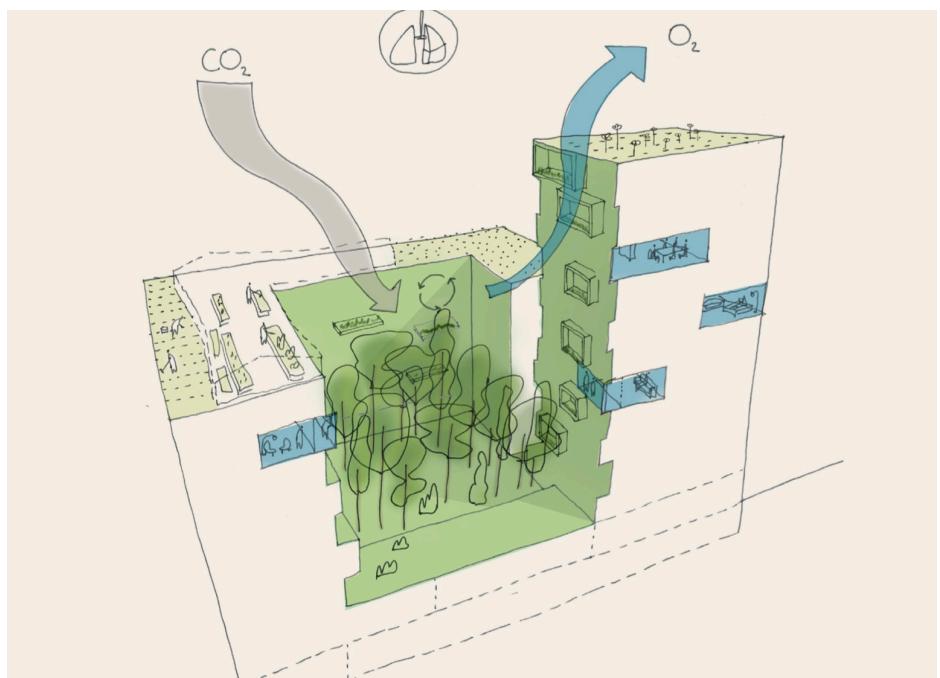
Skizze „Atmendes Haus“



Gebäudekennwerte

Geschosse	12
BGF	>20.000 m ²
Kosten	>100 Mio. €
Bauzeit	vsl. 2 Jahre

A 3.3



A 3.4

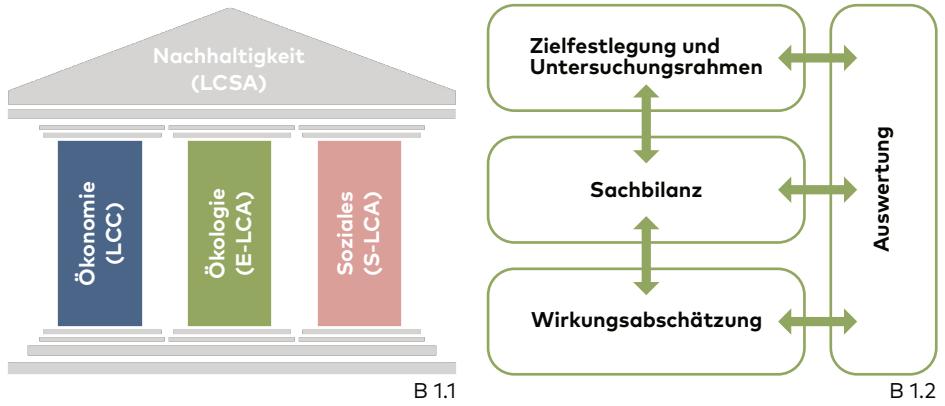
Analyse, die

Untersuchung, bei der etwas
zergliedert, ein Ganzes in seine
Bestandteile zerlegt wird

Teil B Analyse

1	Environmental Life Cycle Assessment	16
	Die drei Säulen der Nachhaltigkeit	16
	Schritte einer Ökobilanz	16
	Systemgrenzen	16
2	Bestandsgebäude Nürnberg	18
	Gebäudekennwerte	18
	Parametrische Lebenszyklusanalyse	18
3	Holzbau Raummodule	22
	Typologien der Modulstöße	22
	Studentenwohnheim Woodie in Hamburg	24
	Europäische Schule in Frankfurt am Main	28
	Wohnanlage Puukuokka in Jyväskylä	30
	Wohnanlage in Toulouse	32
	Hotel Ammerwald bei Reutte	34
	Modulare Schulen in Zürich	38
	Studentenwohnheim in Heidelberg	40
	Auswertung Gesamtbilanz	42

Environmental Life Cycle Assessment



Die drei Säulen der Nachhaltigkeit

Die Lebenszyklusbasierte Nachhaltigkeitsbewertung (Life Cycle Sustainability Assessment, LCSA) basiert auf den drei Säulen der Nachhaltigkeit (Abb. B 1.1). Die Ökobilanz (Environmental Life Cycle Assessment, E-LCA) bewertet die ökologische Nachhaltigkeit eines Gebäudes. Daneben gibt es die Lebenszykluskostenanalyse (Life Cycle Costing, LCC) sowie die soziale Lebenszyklusanalyse (Social Life Cycle Assessment, S-LCA) [1].

Schritte einer Ökobilanz

Die DIN EN ISO 14040 [2] beinhaltet die Grundsätze und Rahmenbedingungen, die DIN EN ISO 14044 [3] die Anforderungen und Anleitungen einer Ökobilanz (Abb. B 1.2).

Zielfestlegung und Untersuchungsrahmen
Eine möglichst präzise Frage wird gestellt. Der Untersuchungsrahmen wird festgelegt (Systemgrenze, funktionelle Einheit, Betrachtungszeitraum, End of Life Szenarien sowie Datengrundlage).

Sachbilanz
Ein Inventar der Herstellung, Nutzung und Entsorgung der Bausubstanz wird erstellt (Massenaufstellung, Materialien, Lebensdauer der Bauteile). Ein Inventar der Nutzung im Betrieb

wird erstellt (Energiebedarfsberechnung, Energieerzeugung). Die Inputs und Outputs werden berechnet (Ressourcenverbrauch, Primärenergiebedarf, Graue Energie)

Wirkungsabschätzung
Die Umweltwirkungen werden mit Hilfe einer Datenbank abgeschätzt. Die Massen werden in die funktionellen Einheiten der Datenbank umgerechnet.

Auswertung
Die Resultate der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung werden entsprechend der Zielfestlegung und dem Untersuchungsrahmen zusammengefasst.

Systemgrenzen

Die Lebenszyklusmodule sind definiert nach DIN EN 15978 (Abb. B 1.3-1.4) [4]. Cradle to Grave beschränkt sich auf die Herstellungs- (A1-A3), Errichtungs- (A3-A4), Nutzungs- (B1-B7) und Entsorgungsphase (C1-C4) von Gebäuden „von der Wiege zur Bahre“. „Von der Wiege zur Wiege“ hingegen betrachtet Cradle to Cradle zusätzlich die Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenzen (D). Aus dem Circularity Gap Report (CGR) geht hervor, dass die Weltwirtschaft im Jahr 2020 erst zu 8,6% kreislaufähig ist [5].

B 1.1
Die drei Säulen der Nachhaltigkeit

B 1.2

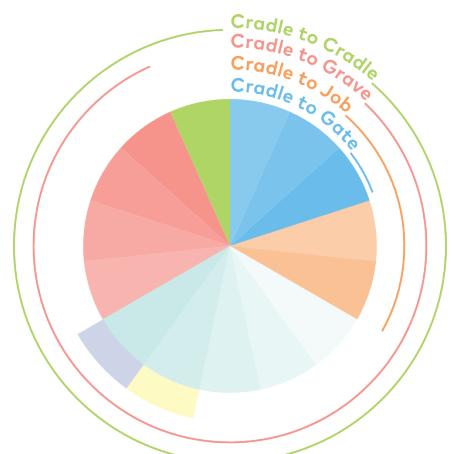
Schritte einer Ökobilanz

B 1.3

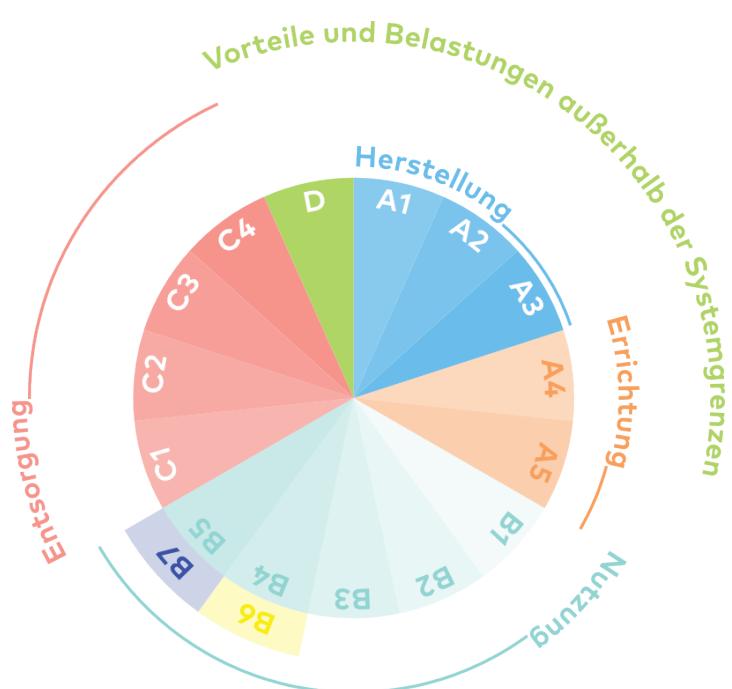
Lebenszyklusphasen (Systemgrenzen)

B 1.4

Lebenszyklusmodule



B 1.3



A1	Rohstoffbereitstellung
A2	Transport
A3	Herstellung
A4	Transport
A5	Bau/Einbau
B1	Nutzung
B2	Instandhaltung
B3	Reparatur
B4	Ersatz
B5	Umbau/Erneuerung
B6	Energieeinsatz im Betrieb
B7	Wassereinsatz im Betrieb
C1	Abbruch
C2	Transport
C3	Abfallbewirtschaftung
C4	Deponierung
D	Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- und Recycling-Potential

B 1.4

Bestandsgebäude Nürnberg



CAALA
UNLOCKING SUSTAINABILITY

B 2.1



B 2.2

Gebäudekennwerte

Bei dem aufzustockenden Bestandsgebäude handelt es sich um ein Mehrfamilienhaus in der Regensburgerstraße 143-159 in Nürnberg aus dem Jahr 1941. Die vier beheizten Stockwerke vom Erdgeschoss bis ins 3. Obergeschoss umfassen 72 Mietwohnungen. Die Gebäude-nutzfläche (A_N) wird nach § 19 EnEV [1] aus der Wohnfläche ermittelt und beläuft sich somit auf 5.385,30 m². Wesentlicher Energieträger für Heizung und Warmwasser ist eine regenerative Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) aus dem Jahr 1986. Als erneuerbare Energiequelle wird Fernwärme mit einem Primärenergiefaktor von 0,0 zur Heizung genutzt [2]. Gelüftet wird mittels Fensterlüftung.

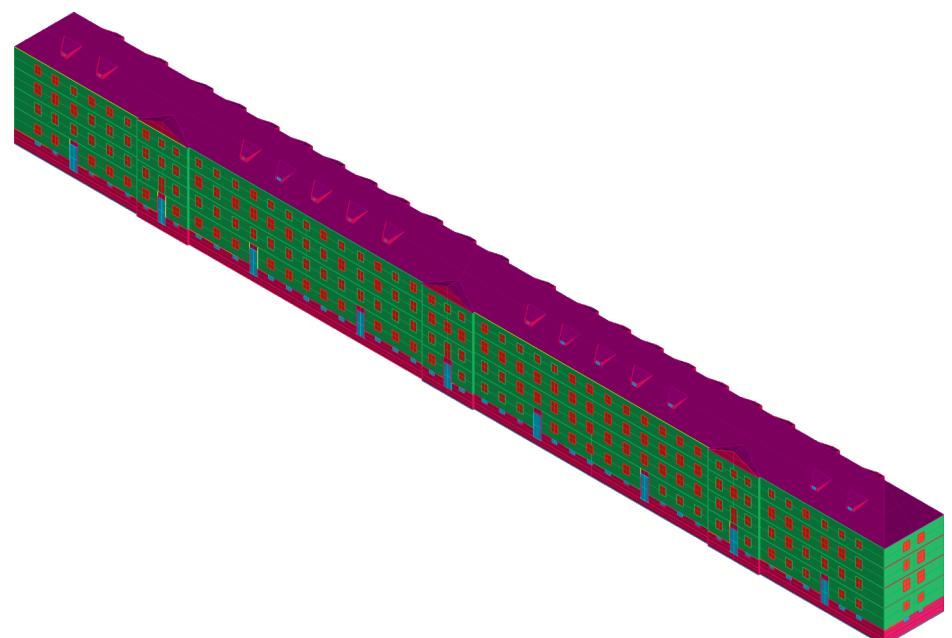
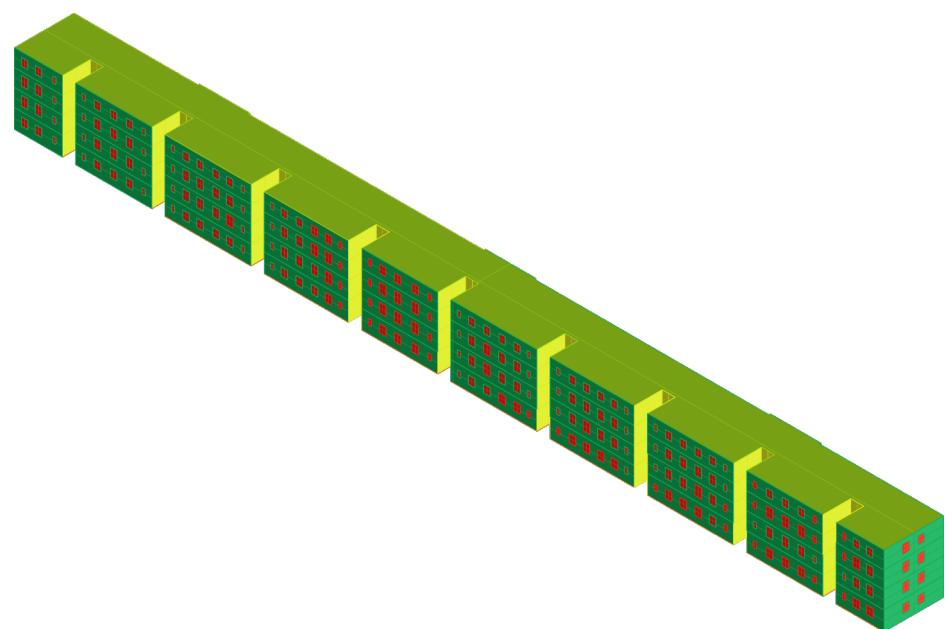
Parametrische Lebenszyklusanalyse

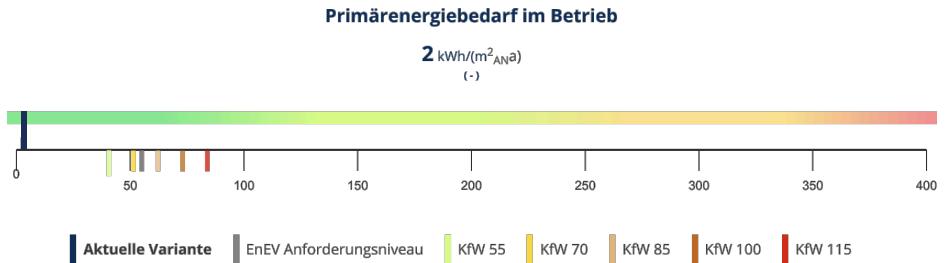
Mithilfe der Software CAALA für Lebenszyklusanalysen in Echtzeit wird das Bestandsgebäude hinsichtlich der ökologischen Nachhaltigkeit bewertet. Die Ökobilanz erfolgt auf Basis der CAD-Software Rhinoceros 3D. Zunächst wird die Geometrie des Gebäudes modelliert und CAALA mit dem Modell verknüpft (Abb. B 2.3). Anschließend erfolgt die Mengenermittlung der Materialien. Dazu bietet das Institut für Wohnen und Umwelt (IWU) detaillierte Typologie-

Broschüren [3]. Im Folgenden wird der Primärenergiebedarf des Gebäudes ermittelt. Für die Ökobilanz wird einerseits der Anteil an Grauer Energie der Bausubstanz untersucht, da im Betrieb bereits erneuerbare Energien verwendet werden. Andererseits wird der CO₂-Fußabdruck des Bestandsgebäudes ermittelt. Zusätzlich werden die Auswirkungen einer energetischen Modernisierung (eMOD) auf den Nutzwärmebedarf im Vergleich zur Instandhaltung (INST) aufgezeigt. Die Systemgrenze bildet die thermische Hülle. Die funktionelle Einheit ist ein Quadratmeter Netto-Raumfläche und Jahr [m²_{NRF}a]. Der Betrachtungszeitraum erstreckt sich über 50 Jahre. CAALA betrachtet nach DIN EN 15978 [4] die Lebenszyklusmodule A1-A3, B4, C3-C4 unter Einbeziehung von Modul D.

Thermische Gebäudehülle

A/V-Verhältnis	0,48 1/m
Beheiztes Volumen	16.110,92 m ³
Geschosse	4
BGF	5.865,50 m ²
NRF	4.872,85 m ²
NUF	4.487,75 m ²
Geschoss Höhe	2,90 m
Raumhöhe	2,62 m





B 2.4

Instandhaltung

Dank der bereits vorhandenen Fernwärme aus erneuerbaren Energien mit Primärenergiefaktor 0,0 ergibt sich mit $2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{A}_N\text{a})$ ein Nearly Zero-Energy Building mit einem Primärenergiebedarf nahe Null (Abb. B 2.4).

Energetische Modernisierung

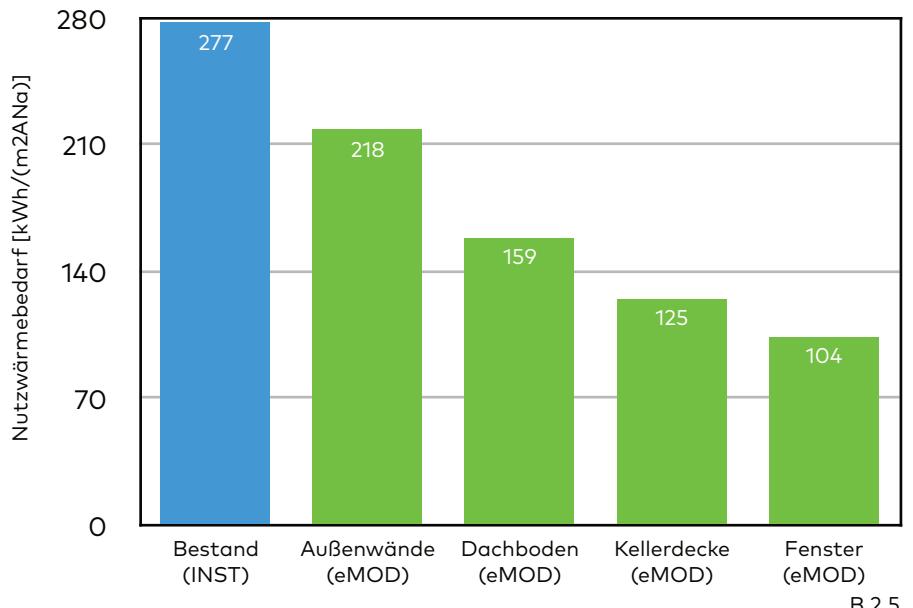
Allerdings besteht nicht überall die Möglichkeit zum Anschluss an Fernwärme. Aus diesem Grund werden die Maßnahmen und Auswirkungen einer energetischen Modernisierung dieser Gebäude-typologie aufgezeigt (Abb. B 2.5). Dazu werden die Außenwände mit einer Holzschalung mit 16 cm Holzfaserdämmung versehen. Der Dachboden wird mit 18 cm, die

Kellerdecke mit 12 cm Mineralwolle verstärkt. Abschließend werden neue Fenster mit Dreifach-Isolierverglasung eingebaut. Die U-Werte des Referenzgebäudes werden dabei stets eingehalten und unterboten [5]. Durch eine energetische Modernisierung kann somit weit über die Hälfte des Nutzwärmebedarfs eingespart werden.

Ersatzneubau

Des Weiteren dient ein theoretischer Ersatzneubau dazu, die Umweltwirkungen der Herstellungsphase (A1-A3) zu untersuchen (Abb. B 2.6). Diese werden bei der Instandhaltung nicht berücksichtigt, da sie bereits in der Bausubstanz enthalten sind.

Quelle: CAALA

B 2.4
Primärenergiebedarf (INST)

B 2.5

Nutzwärmebedarf (eMOD)

B 2.6

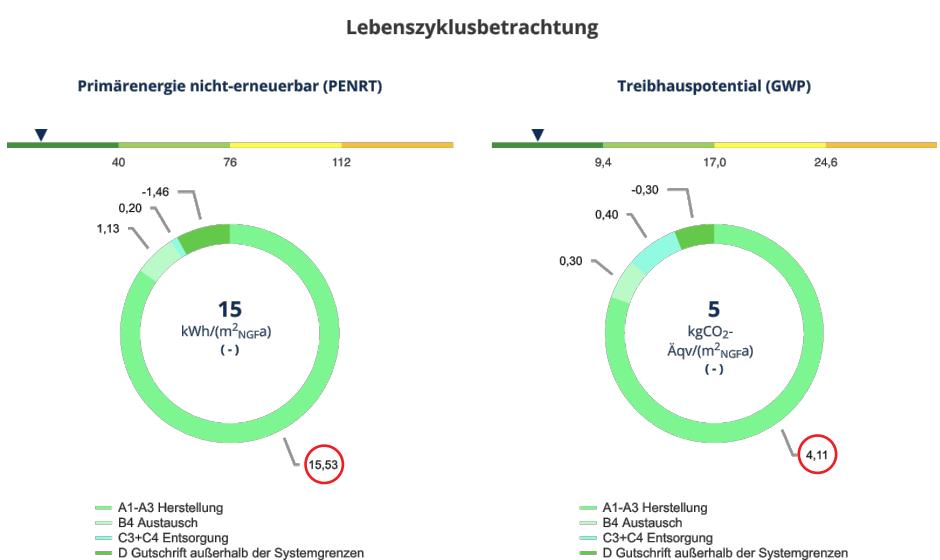
Ökobilanz (ENB)

B 2.7

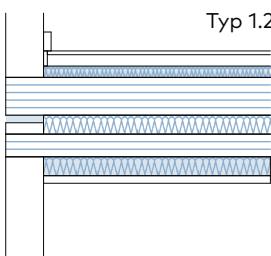
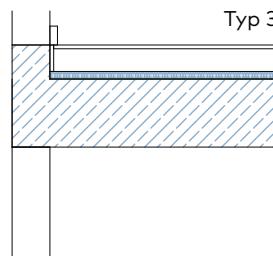
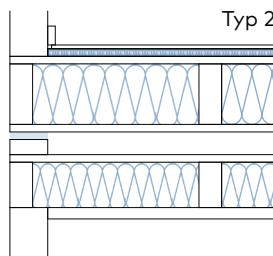
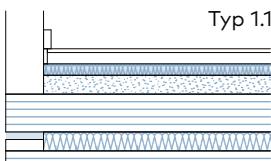
Zugstrecke Rosenheim - Wuppertal

B 2.5

Den sichtbar größten Anteil an nicht erneuerbarer Primärenergie (PENRT) bildet die Herstellungsphase (A1-A3) der Bausubstanz mit 15,53 kWh/(m²_{NRFa}). Die Gutschrift von Modul D gleicht die Graue Energie, die beim Austausch (B4) und bei der Entsorgung (C3-C4) anfällt, vollständig aus. Ähnlich verhält es sich mit dem Treibhauspotential (GWP). Auch hier entstehen bei der Herstellung ganze 4,11 kgCO₂-Äqv/(m²_{NRFa}). Das entspricht insgesamt über 20 t CO₂ oder einer sechsstündigen Zugfahrt nach Wuppertal für über 17.000 Rosenheimer (Abb. B 2.7) [6]. Vor allem in der Herstellungsphase steckt also ein großes Einsparpotential, das durch die Aufstockung der bereits vorhandenen Bestandsgebäude genutzt werden kann.

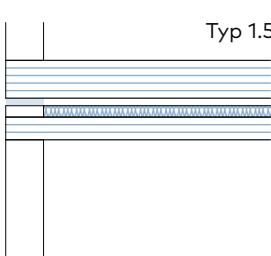
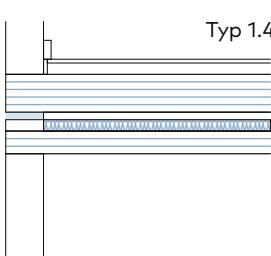
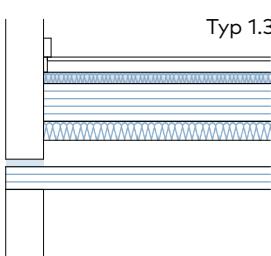


Holzbau Raummodule



Typologien der Modulstöße

Die abgebildeten Typologien der Decken und Trennwände sind stellvertretend für die aktuelle Modulbauweise (Abb. B 3.1-3.2). Beispielsweise findet sich Typ 1.1 sowohl im Studentenwohnheim Woodie in Hamburg wieder, als auch im Seniorenwohnhaus in Hallein, in der Flüchtlingsunterkunft in Hannover, im Hotel Katharinenhof in Dornbirn sowie im Wohn- und Pflegeheim mit Kindergarten in Fieberbrunn [1]. Um einen Überblick über die ökologische Nachhaltigkeit der Konstruktionen zu gewinnen, werden ausgewählte Beispiele sowohl hinsichtlich ihrer Grauen Energie (PENRT), als auch ihres Treibhauspotentials (GWP) analysiert. Zusätzlich werden zwei Badmodule vorgestellt. Der Untersuchungsrahmen umfasst die abgebildeten Modulstöße, die funktionelle Einheit entspricht 1 m² und der Betrachtungszeitraum erstreckt sich über 50 Jahre. Nach DIN EN 15804 für Umweltproduktdeklarationen (Environmetal Product Declarations, EPDs) werden die Lebenszyklusmodule A1-A3, C1-C4 inklusive Modul D (Cradle to Cradle) betrachtet [2]. Datengrundlage bildet die Ökobau.dat 2020-I [3]. Die Durchschnittsdaten eignen sich zur Abschätzung in der frühen Planungsphase, sie sind somit herstellerunabhängig und können im weiteren Vorgehen präzisiert und optimiert werden.

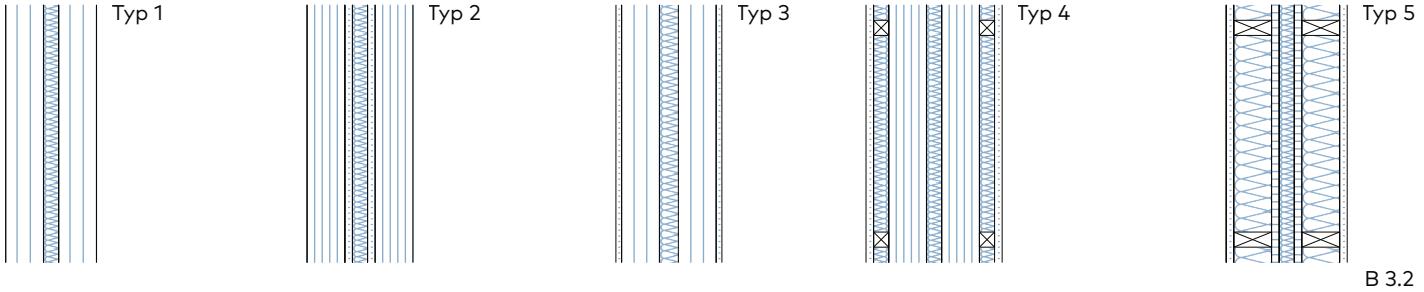


Lebensdauer von Bauteilen

Außerdem wird die ökologische Relevanz der Lebensdauer untersucht. Dazu werden die Nutzungsdauern von Bauteilen den Angaben des BNB entnommen [4]. Diese müssen in 50 Jahren entsprechend oft ersetzt werden (Modul B4). In der abschließenden Auswertung bleibt der Ersatz unberücksichtigt, um eine bessere Vergleichbarkeit der Typologien zu erzielen (siehe „Auswertung Gesamtbilanz“, S. 44 f.).

Ökobilanz im DGNB-System

Für den SDE21-Prototypen wird die höchste DGNB-Zertifizierung in Platin angestrebt (Abb. B 3.3). Das DGNB-Kriterium ENV 1.1 (Environment) dient dazu, die Umweltwirkungen der am häufigsten verwendeten Bauteile offenzulegen, erneuerbare Energien zu verwenden sowie das Recyclingpotential (Modul D) zu ermitteln. Die Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit der Innenwände und Decken werden im DGNB-Kriterium TEC 1.6 (Technical Quality) fünfach gewichtet [5].



B 3.2

B 3.1

Typologie Deckenkonstruktionen,
schematische Aufbauten, Maßstab 1:20

Typ 1.1

Studentenwohnheim Woodie in Hamburg
(S. 24)

Typ 1.2

Europäische Schule in Frankfurt am
Main (S. 28)

Typ 1.3

Wohnanlage Puukuokka in Jyväskylä
(S. 30)

Typ 1.4

Wohnanlage in Toulouse (S. 32)

Typ 1.5

Hotel Ammerwald bei Reutte (S. 34)

Typ 2

Modulare Schulen in Zürich (S. 38)

Typ 3

Studentenwohnheim in Heidelberg
(S. 40)

B 3.2

Typologie Trennwandkonstruktionen,
schematische Aufbauten, Maßstab 1:20

Typ 1

Europäische Schule in Frankfurt am
Main (S. 29)

Typ 2

Hotel Ammerwald bei Reutte (S. 35)
Studentenwohnheim Woodie in
Hamburg (S. 25)

Typ 3

Wohnanlage Puukuokka in Jyväskylä
(S. 31)
Studentenwohnheim in Heidelberg
(S. 41)

Typ 4

Wohnanlage in Toulouse (S. 33)

Typ 5

Modulare Schulen in Zürich (S. 39)

**VON PLATIN BIS BRONZE:
DIE AUSZEICHNUNGSLOGIK DER DGNB**



Gesamterfüllungsgrad	PLATIN	GOLD	SILBER	BRONZE*
ab 80%	ab 65%	ab 50%	ab 35%	— %

* Diese Auszeichnung gilt nur für das Bestandszertifikat bzw. für das Zertifikat „Gebäude im Betrieb“.

B 3.3

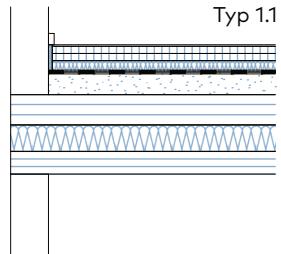
DGNB-Zertifizierung



B 3.4

Studentenwohnheim Woodie in Hamburg

Der gewählte C2C-zertifizierte Kautschukboden weißt eine überdurchschnittliche Lebensdauer von 30 Jahren auf und muss folglich nur einmal statt zweimal ersetzt (B4) werden [6]. Die Holzwerkstoffe können negative Gesamtbilanzen erzielen. In Holz gebundenes CO₂ (A1) wird durch die energetische Verwertung (C3) freigesetzt. Vor allem die TSD aus PU erzielt sehr schlechte Umweltwirkungen.



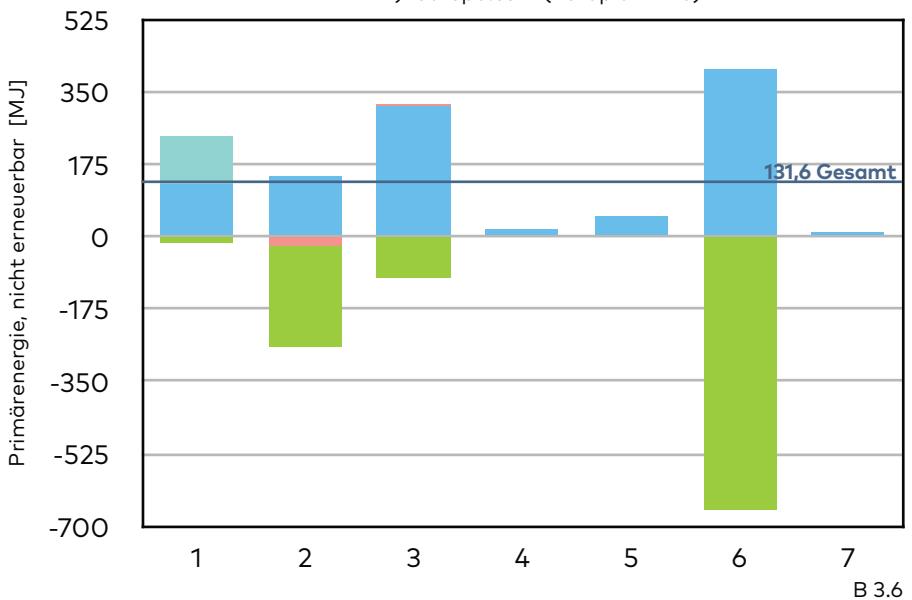
Decke (34 cm)

- ① Kautschuk¹ 0,4 mm
- ② Spanplatte 2x 19 mm
- ③ Trittschalldämmung 30 mm
- ④ PE-Folie
- ⑤ Splittschüttung 60 mm
- ⑥ Brettsperrholz dreilagig 80 mm
- ⑦ WD Mineralwolle 70 mm
- ⑧ Brettsperrholz dreilagig 60 mm

B 3.5

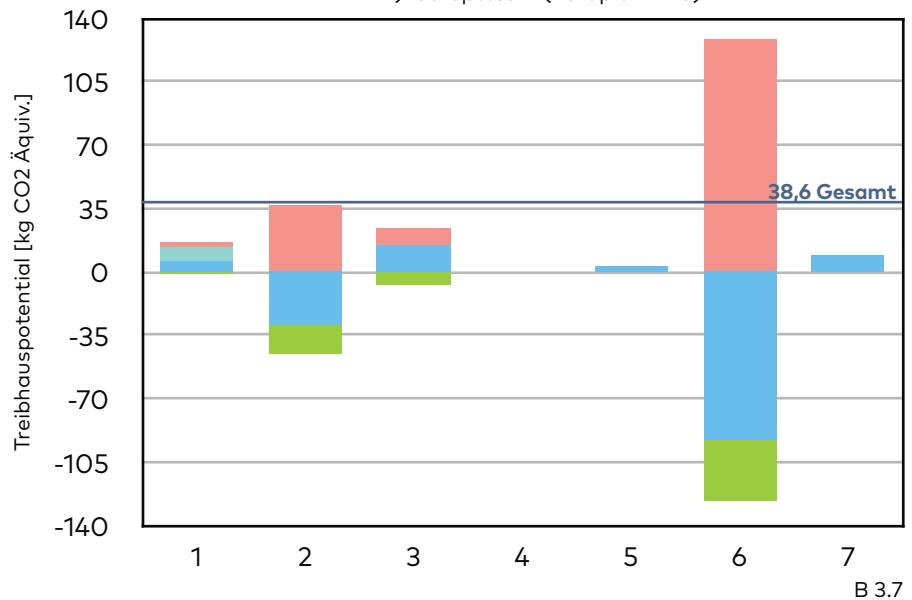
█ A1-A3 █ B4 █ C1-C4 █ D

Quelle: Ökobau.dat 2020-I
1) ibu-epd.com (noraplan® 913)

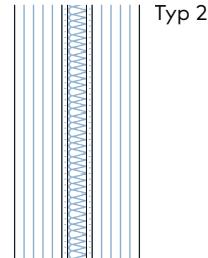


█ A1-A3 █ B4 █ C1-C4 █ D

Quelle: Ökobau.dat 2020-I
1) ibu-epd.com (noraplan® 913)



- B 3.4
Studentenwohnheim Woodie in Hamburg
B 3.5
Deckenkonstruktion, Maßstab 1:20
B 3.6
Deckenkonstruktion (PENRT)
B 3.7
Deckenkonstruktion (GWP)
B 3.8
Trennwandkonstruktion, Maßstab 1:20
B 3.9
Trennwandkonstruktion (PENRT)
B 3.10
Trennwandkonstruktion (GWP)

**Trennwand (33 cm)**

- ① Brettsperrholz fünflagig 125 mm
- ② Gipskarton 15 mm
- ③ WD Mineralwolle 50 mm
- ④ Gipskarton 15 mm
- ⑤ Brettsperrholz fünflagig 125 mm

B 3.8

Die auf Abbrand bemessenen BSP-Wände erzielen eine hohe Gutschrift (D). Die mineralischen Gipskartonplatten im Modulstoß verbessern den Schallschutz. Die nicht brennbare Mineralwolle verhindert die schnelle Brandausbreitung in den Modulstößen.

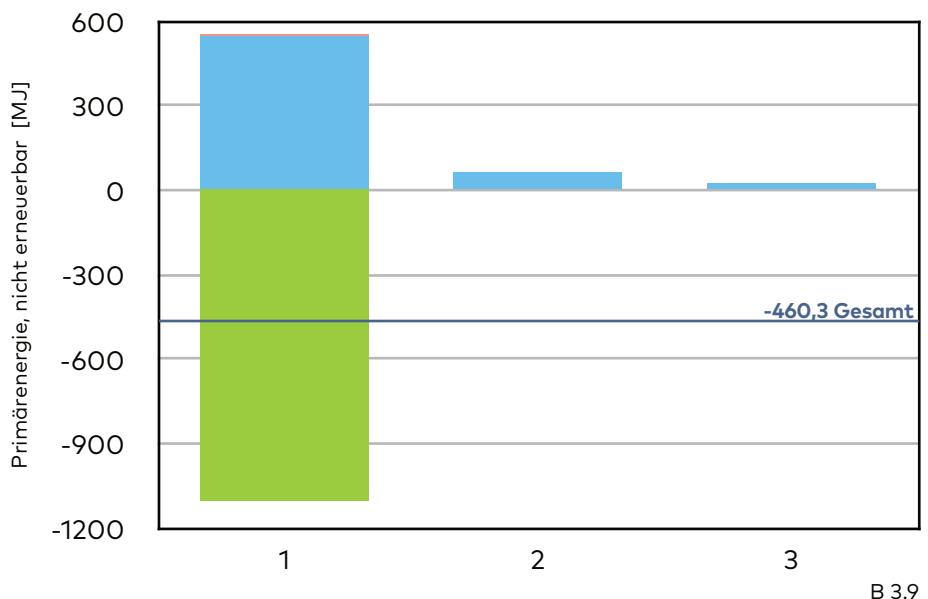
A1-A3

B4

C1-C4

D

Quelle: Ökobau.dat 2020-I



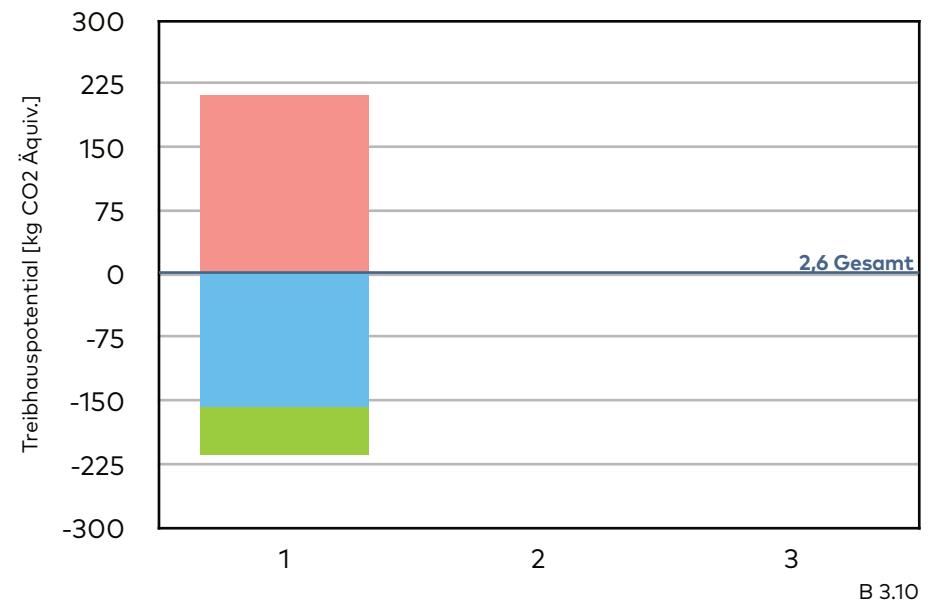
A1-A3

B4

C1-C4

D

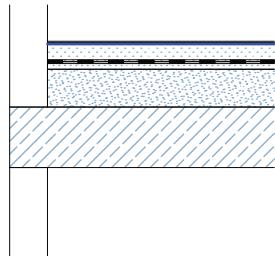
Quelle: Ökobau.dat 2020-I





B 3.11

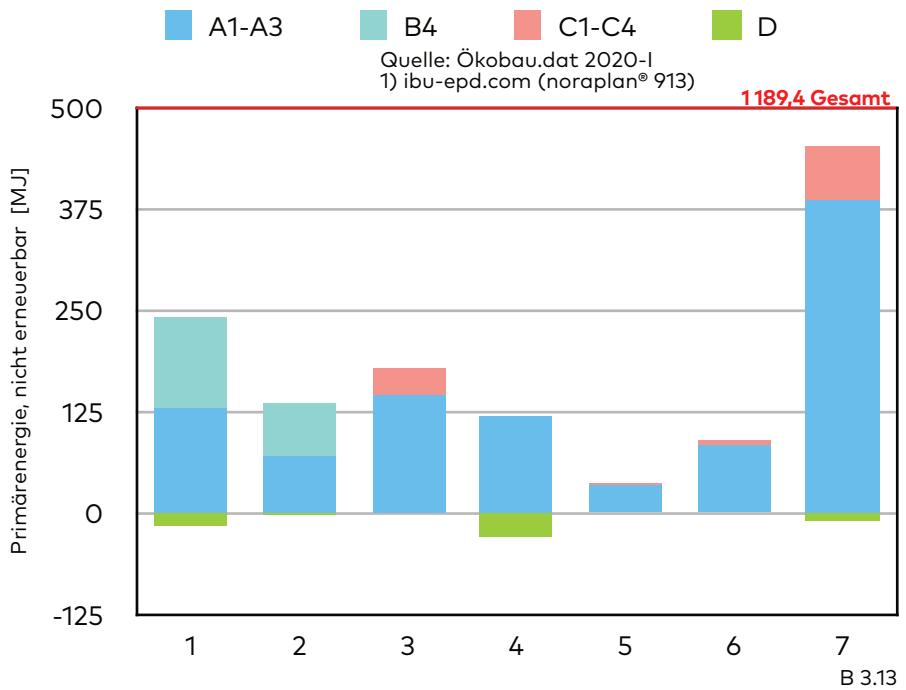
Der selektive Rückbau des Badmoduls stellt aufgrund der erhöhten Anforderungen an die Wasserdichtigkeit eine große Herausforderung dar. Die StB-Fertigteildecke trägt zusammen mit dem Zementestrich in der Herstellung (A1-A3) am meisten zu den Umweltwirkungen bei. Durch die Epoxidharzgrundierung bildet der Kautschukboden mit dem Zementestrich ein mehrschichtiges Bauteil. Generell werden die Einbausituation sowie die Sortenreinheit in der Ökobilanz nicht berücksichtigt [7].



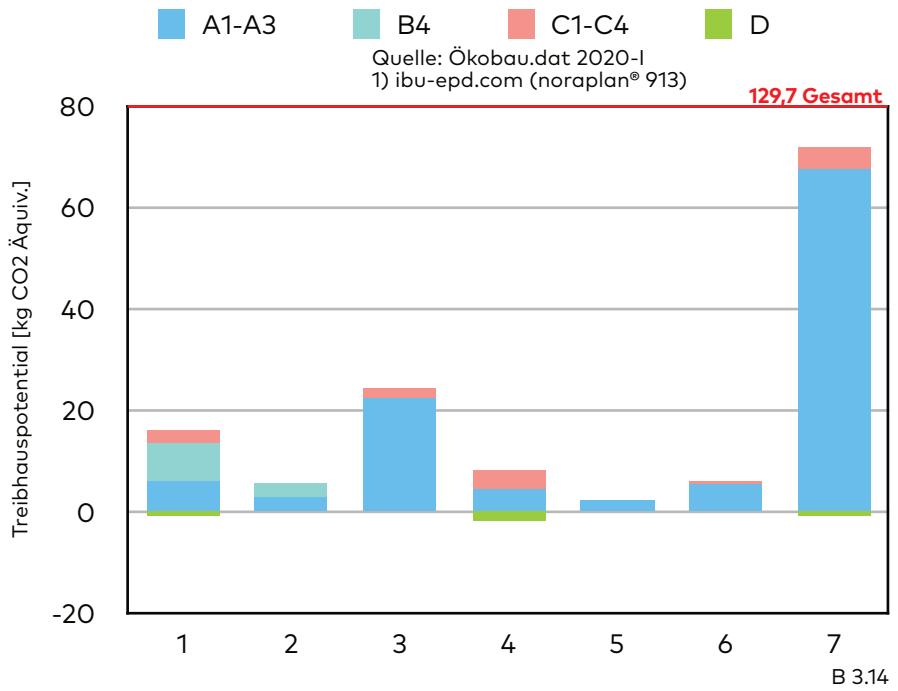
Decke Badmodul (33⁵ cm)

- ① Kautschuk¹ 0,4 mm
- ② Epoxidharzgrundierung
- ③ Zementestrich 50 mm
- ④ PE-Folie
- ⑤ Lastverteilungsplatte Gips 10 mm
- ⑥ Ausgleichsschüttung 115 mm
- ⑦ Fertigteil Stahlbeton 160 mm

B 3.12

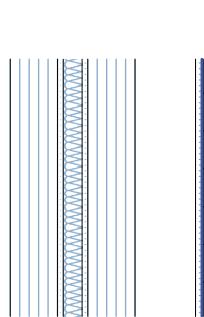


B 3.13



B 3.14

- B 3.11
Badmodul Studentenwohnheim Woodie in Hamburg
B 3.12
Deckenkonstruktion, Maßstab 1:20
B 3.13
Deckenkonstruktion (PENRT)
B 3.14
Deckenkonstruktion (GWP)
B 3.15
Trennwandkonstruktion, Maßstab 1:20
B 3.16
Trennwandkonstruktion (PENRT)
B 3.17
Trennwandkonstruktion (GWP)

**Trennwand Badmodul (515 cm)**

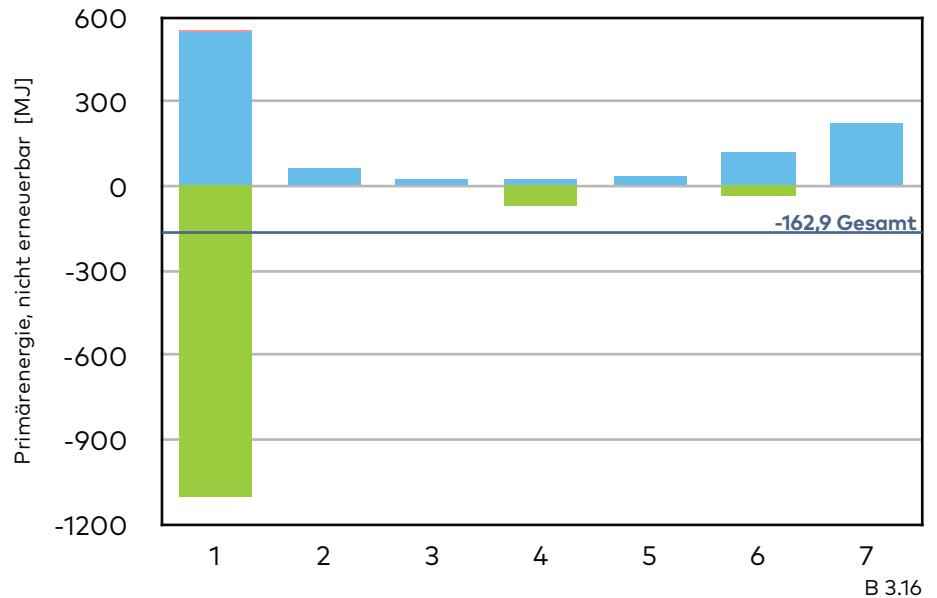
- ① Brettsperrholz fünflagig 125 mm
- ② Gipskarton 15 mm
- ③ WD Mineralwolle 50 mm
- ④ Gipskarton 15 mm
- ⑤ Brettsperrholz fünflagig 125 mm
- ⑥ KVH 60/160 mm
- ⑦ Gipskarton 12,5 mm
- ⑧ Abdichtung
- ⑨ Fliesen 7 mm

B 3.15

Die Herstellung (A1-A3) der Fliesen trägt entscheidend zu den Umweltwirkungen bei. Zur Abdichtung wird eine PE-Noppenfolie verwendet. Ein Vorbild für Produktionsabläufe und gesunde Inhaltsstoffe ist der Fliesenhersteller Mosa. Viele der Wand- und Bodenfliesen wurden mit der Cradle to Cradle®-Produktzertifizierung in Silber ausgezeichnet [8].



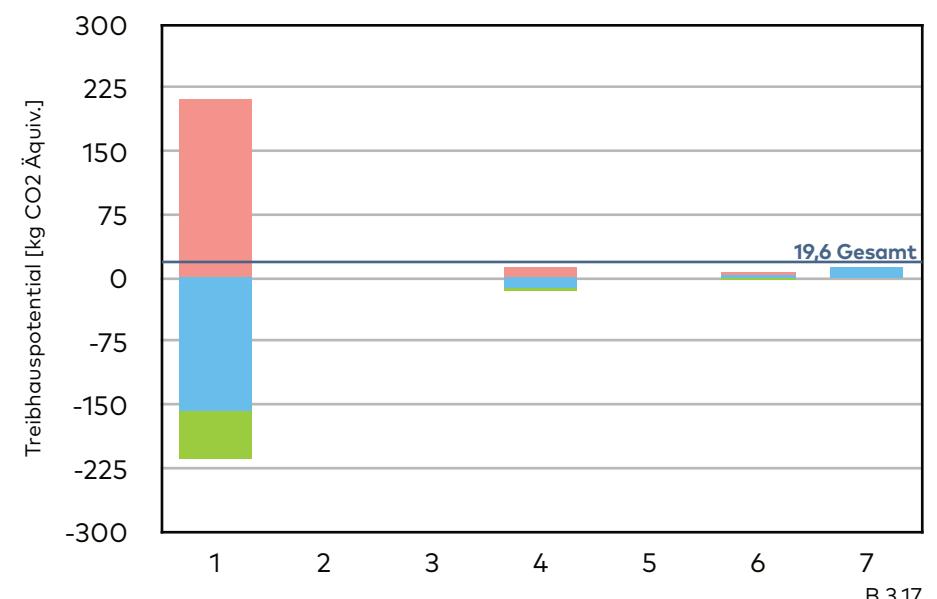
Quelle: Ökobau.dat 2020-I



B 3.16



Quelle: Ökobau.dat 2020-I



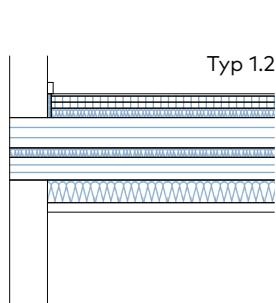
B 3.17



B 3.18

Europäische Schule in Frankfurt am Main

Das Linoleum mit einer Lebensdauer von 20 Jahren muss zweimal ersetzt werden (B4). Durch die Verklebung bilden die Spanplatten mit dem Linoleum ein mehrschichtiges Bauteil.



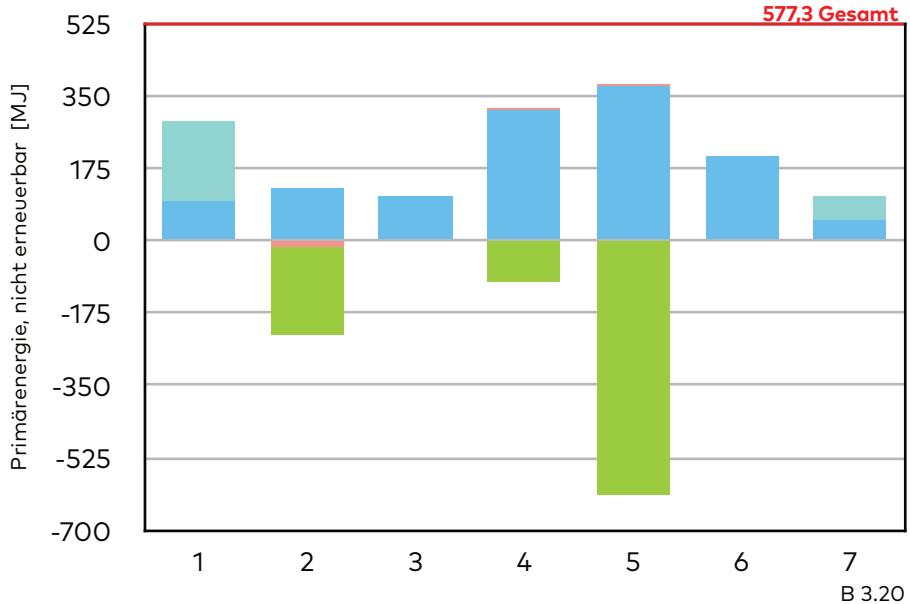
Decke (31⁵ cm)

- ① Linoleum 2,5 mm (bauseits)
- ② Spanplatte 2x 16 mm,
- ③ verklebt
- ④ Trittschalldämmplatte 25 mm
- ⑤ Brettsperrholz dreilagig 80 mm
- ⑥ Mineralwolle 30 mm
- ⑦ Brettsperrholz dreilagig 60 mm
- ⑧ Mineralwolle 60 mm
- ⑨ Holzwolle-Akustikplatte 25 mm

B 3.19

█ A1-A3 █ B4 █ C1-C4 █ D

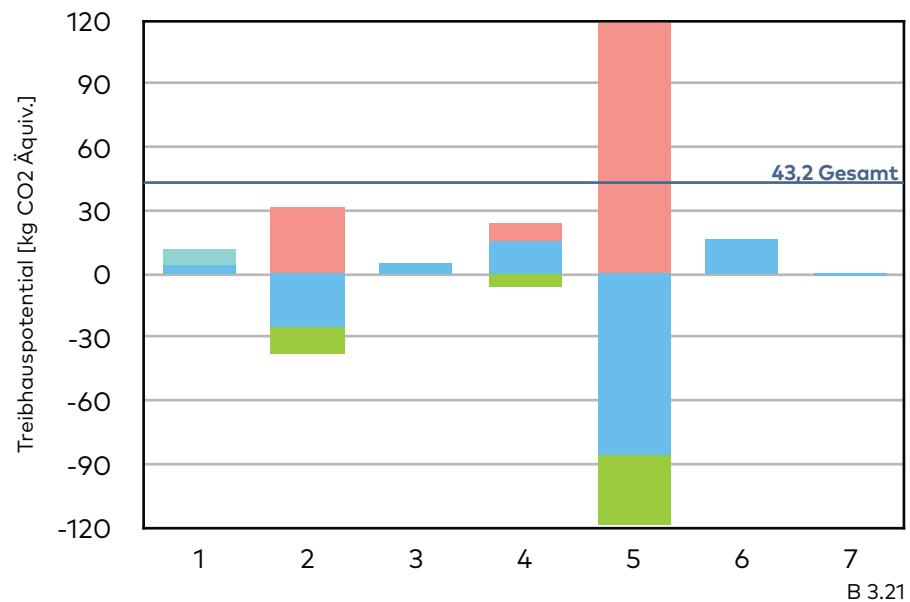
Quelle: Ökobau.dat 2020-I



577,3 Gesamt

█ A1-A3 █ B4 █ C1-C4 █ D

Quelle: Ökobau.dat 2020-I



43,2 Gesamt

B 3.18

Europäische Schule in Frankfurt am Main

B 3.19

Deckenkonstruktion, Maßstab 1:20

B 3.20

Deckenkonstruktion (PENRT)

B 3.21

Deckenkonstruktion (GWP)

B 3.22

Trennwandkonstruktion, Maßstab 1:20

B 3.23

Trennwandkonstruktion (PENRT)

B 3.24

Trennwandkonstruktion (GWP)

Typ 1

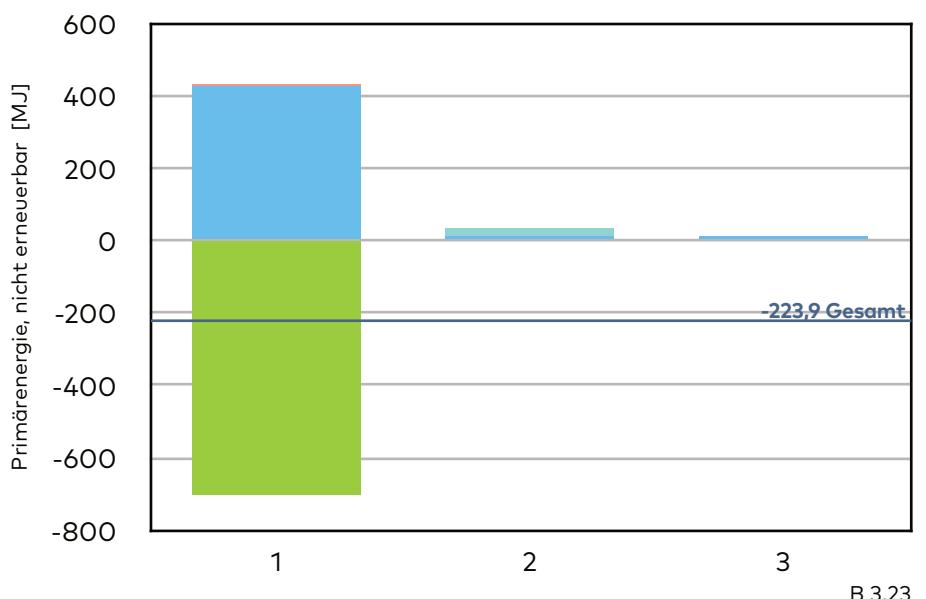
Trennwand (19 cm)

- ① Brettsperrholz dreilagig 80 mm,
- ② weiß lasiert
- ③ Mineralwolle 30 mm
- ① Brettsperrholz dreilagig 80 mm,
- ② weiß lasiert

B 3.22

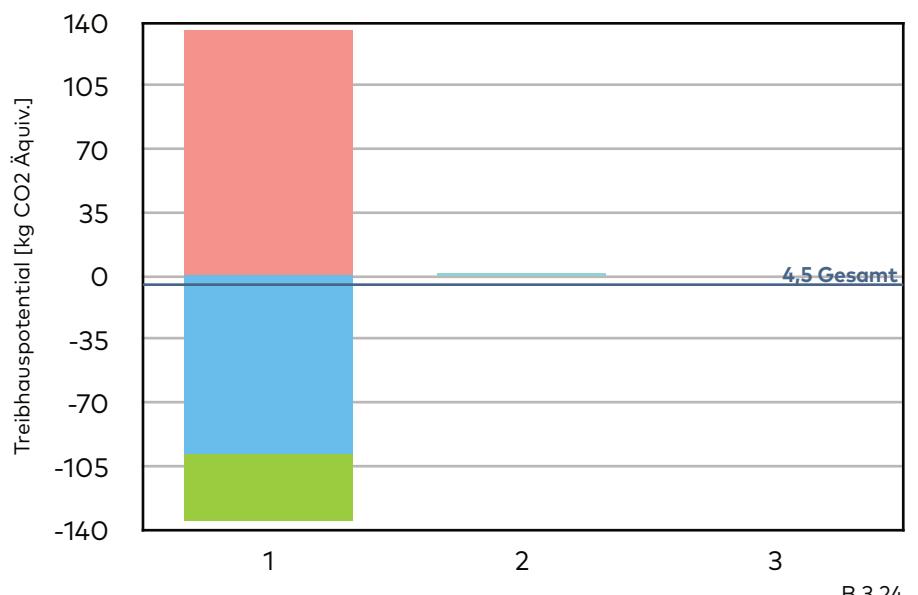
█ A1-A3 █ B4 █ C1-C4 █ D

Quelle: Ökobau.dat 2020-I



█ A1-A3 █ B4 █ C1-C4 █ D

Quelle: Ökobau.dat 2020-I



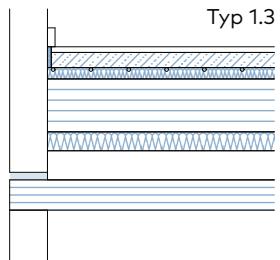
Aufgrund der weißen Lasur zählt das BSP nach Altholzverordnung (AltV) zur Altholzkategorie A II statt A I [9]. Nach Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) kann eine energetische Verwertung unter strengeren Auflagen erfolgen. Aktuell ist nach AltV die stoffliche Verwertung, bei der Kohlenstoff über einen längeren Zeitraum gebunden wird, nicht vorrangig gegenüber der thermischen [10]. Dies steht im klaren Widerspruch zur Kaskadennutzung von Biomasse im Sinne der Material- und Ressourceneffizienz [11].



B 3.25

Wohnanlage Puukuokka in Jyväskylä

Im Gegensatz zu den meisten Fußbodenbelägen besitzt Massivholzparkett eine Lebensdauer von mehr als 50 Jahren. Zudem kann es negative Gesamtbilanzen erzielen. Für die Fußbodenheizung werden PP-Rohre im Abstand von 100 mm angenommen.

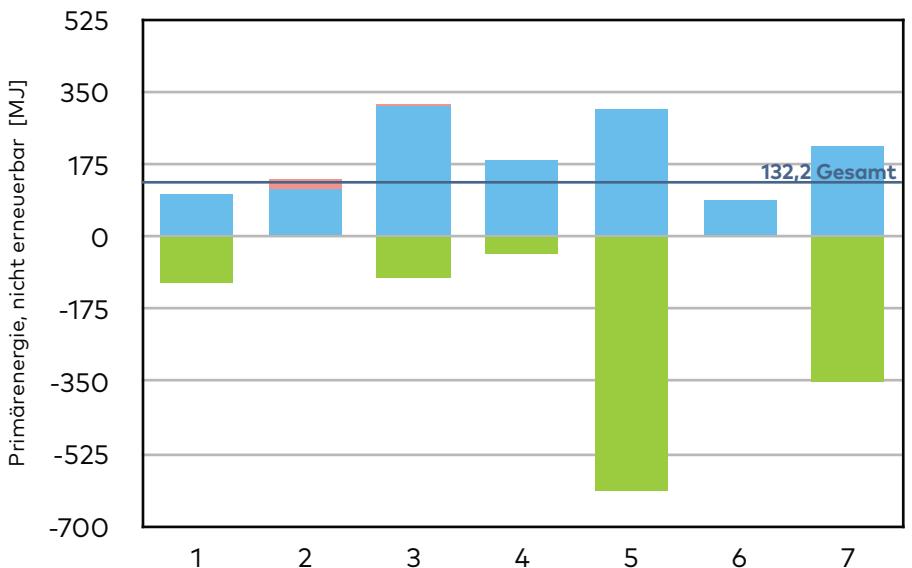


- ① Decke (43 cm)
- ② Bodenbelag Parkett Eiche 15 mm
- ③ Estrich 40 mm
- ④ Trittschalldämmung 30 mm mit Fußbodenheizung
- ⑤ Brettsperrholz fünflagig 140 mm Glaswolle 50 mm
- ⑥ Luftraum 77 mm
- ⑦ Brettsperrholz dreilagig 80 mm

B 3.26

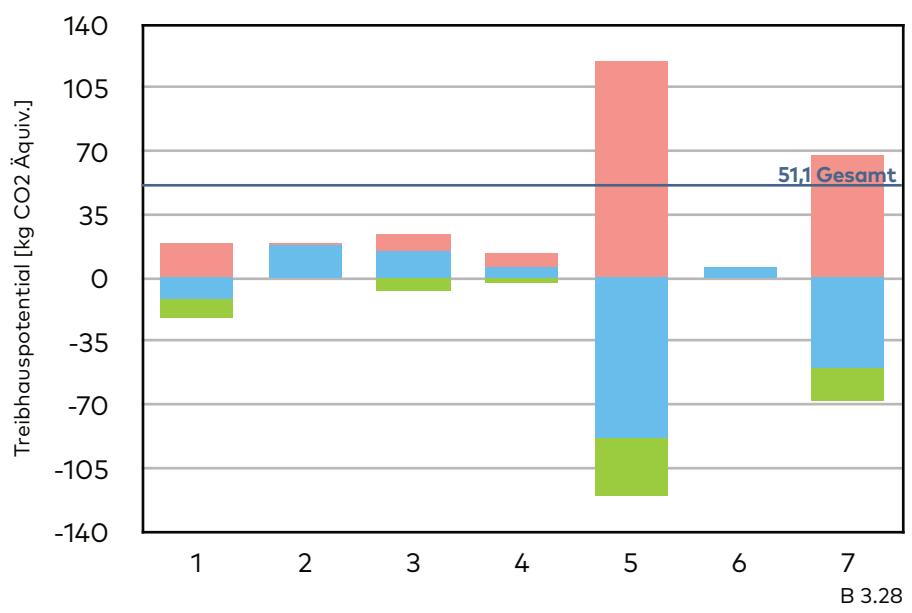
A1-A3 B4 C1-C4 D

Quelle: Ökobau.dat 2020-I

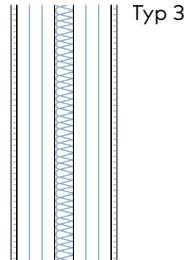


A1-A3 B4 C1-C4 D

Quelle: Ökobau.dat 2020-I



- B 3.25
Wohnanlage Puukuokka in Jyväskylä
B 3.26
Deckenkonstruktion, Maßstab 1:20
B 3.27
Deckenkonstruktion (PENRT)
B 3.28
Deckenkonstruktion (GWP)
B 3.29
Trennwandkonstruktion, Maßstab 1:20
B 3.30
Trennwandkonstruktion (PENRT)
B 3.31
Trennwandkonstruktion (GWP)



Typ 3

Trennwand (28 cm)

- ① Gipskarton 15 mm
- ② Brettsperrholz dreilagig 100 mm
- ③ Glaswolle 50 mm
- ④ Brettsperrholz dreilagig 100 mm
- ⑤ Gipskarton 15 mm

B 3.29

Durch die Kapselung mit Gipskartonplatten zum Feuerschutz fallen die BSP-Platten und damit die gesamte Wandstärke sehr gering aus.

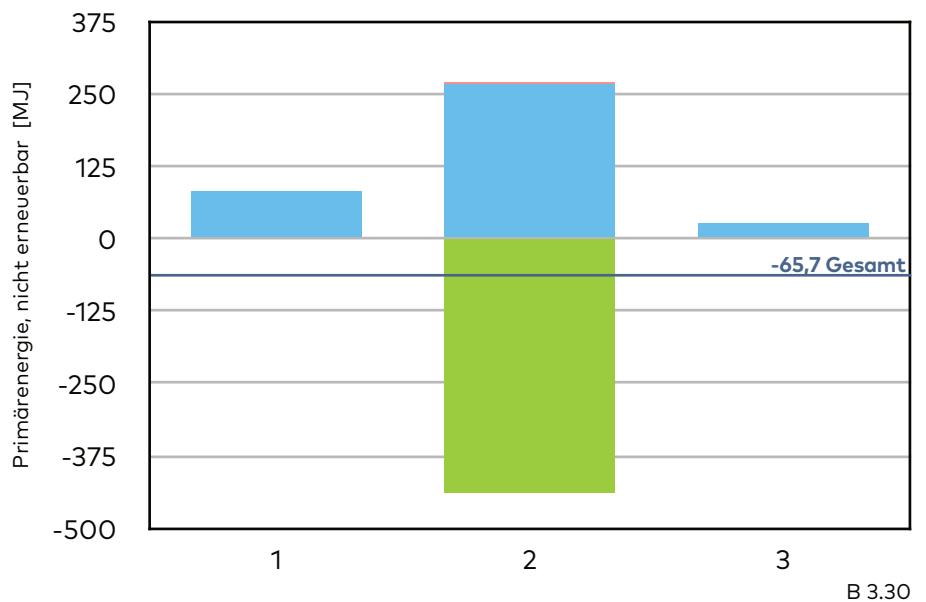
A1-A3

B4

C1-C4

D

Quelle: Ökobau.dat 2020-I



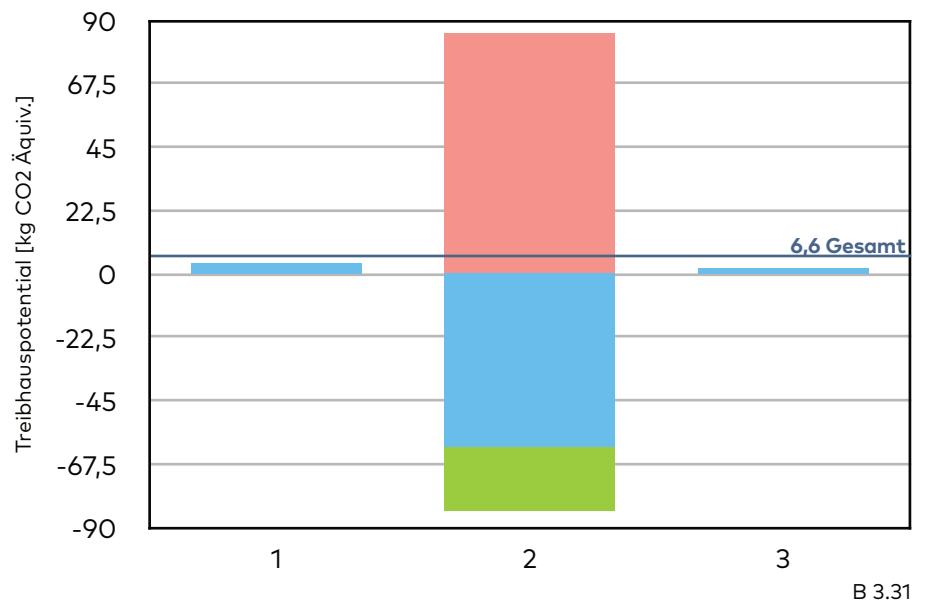
A1-A3

B4

C1-C4

D

Quelle: Ökobau.dat 2020-I

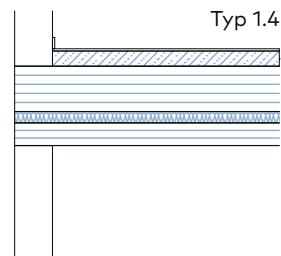




B 3.32

Wohnanlage in Toulouse

Die PVC Fliesen haben einen erheblichen Anteil an den negativen Umweltwirkungen. Diese werden durch die kurze Lebensdauer von 20 Jahren vervielfacht. Zudem steht Polyvinylchlorid (PVC) auf der Cradle to Cradle Certified™ Banned List of Chemicals [12]. Durch den Fliesenkleber bilden die PVC-Fliesen mit dem Betonestrich ein mehrschichtiges Bauteil.



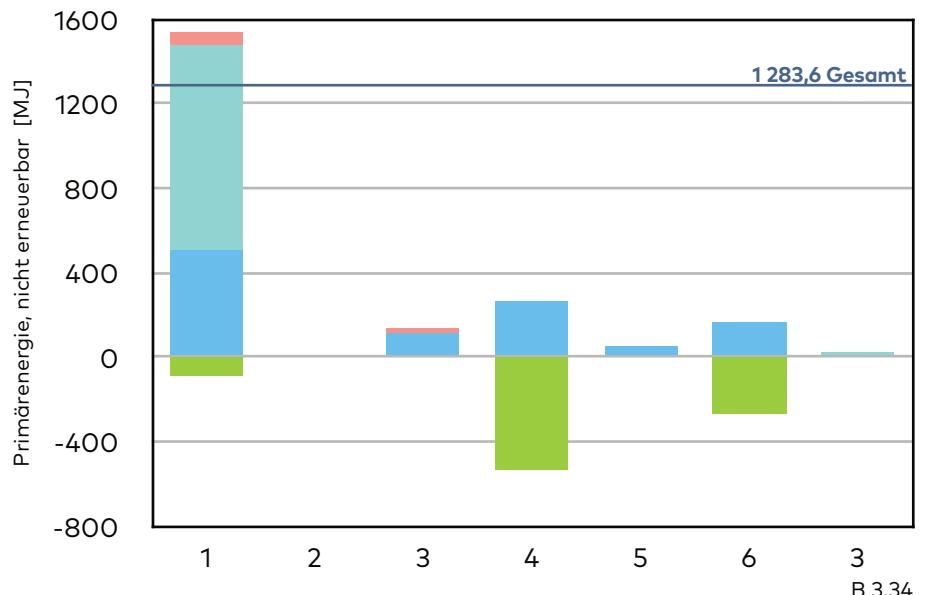
Decke (25⁵ cm)

- ① PVC Fliesen 6 mm,
- ② geklebt
- ③ Betonestrich 40 mm
- ④ Brettsperrholz fünflagig 120 mm
- ⑤ Mineralwolle 30 mm
- ⑥ Brettsperrholz dreilagig 60 mm,
- ⑦ lasiert

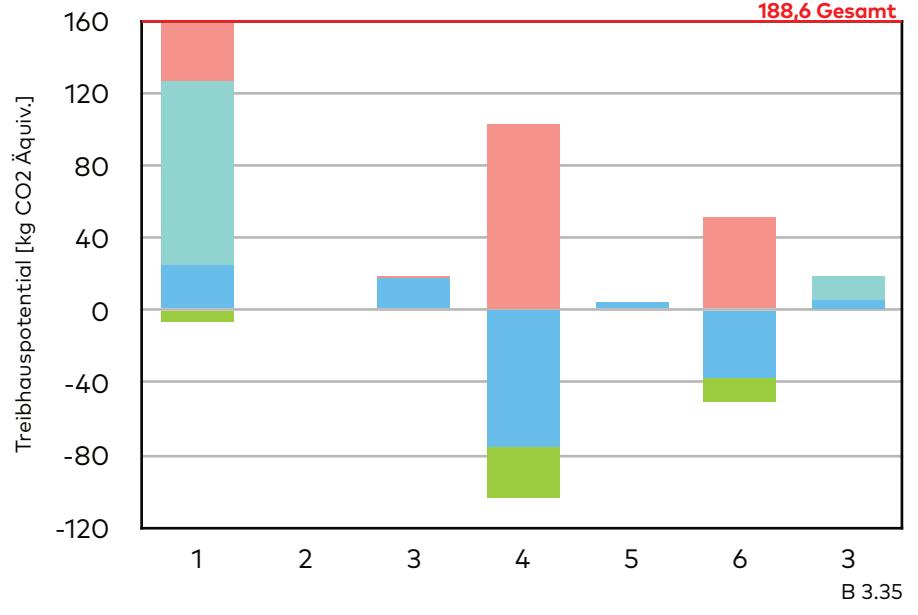
B 3.33



Quelle: Ökobau.dat 2020-I



Quelle: Ökobau.dat 2020-I



B 3.32

Wohnanlage in Toulouse

B 3.33

Deckenkonstruktion, Maßstab 1:20

B 3.34

Deckenkonstruktion (PENRT)

B 3.35

Deckenkonstruktion (GWP)

B 3.36

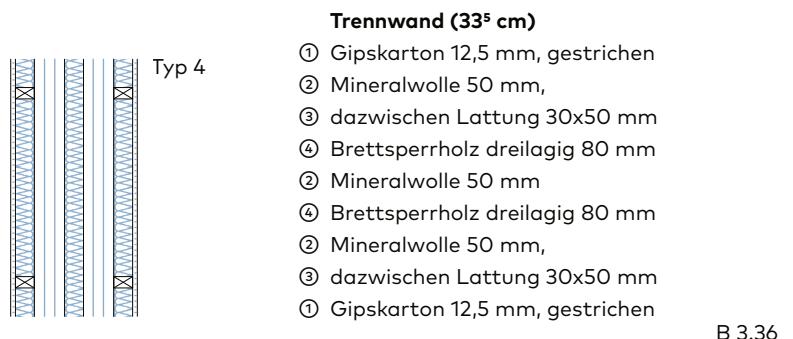
Trennwandkonstruktion, Maßstab 1:20

B 3.37

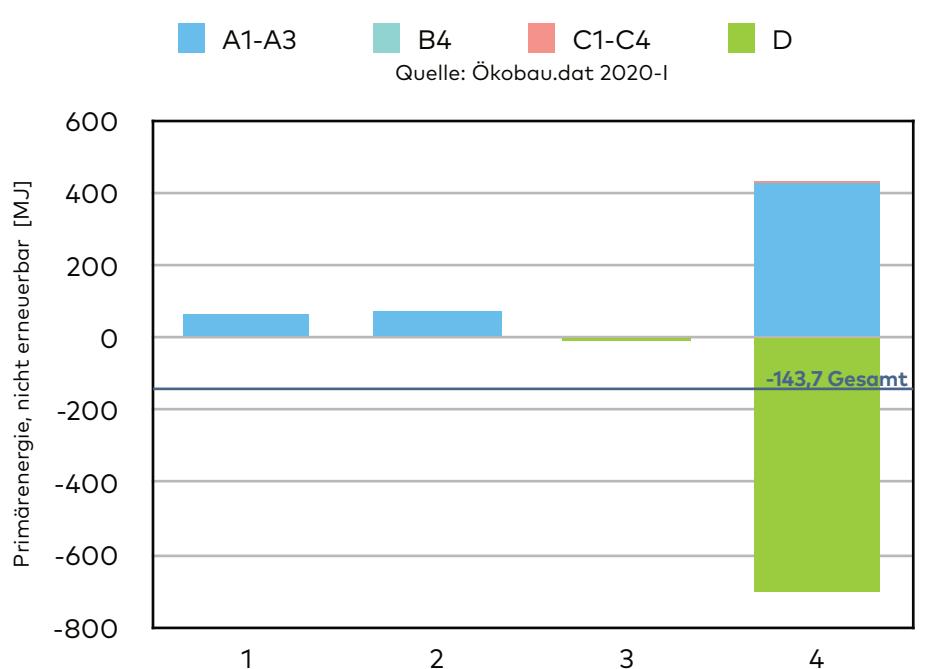
Trennwandkonstruktion (PENRT)

B 3.38

Trennwandkonstruktion (GWP)



In den Wandfarben sind idealerweise keine bedenklichen Inhaltsstoffe enthalten. Die Installationsebene vor den BSP-Wänden erleichtert die Wartungsarbeiten.

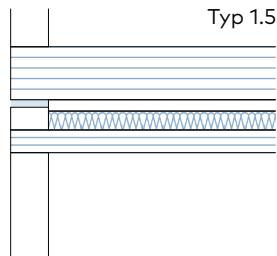




B 3.39

Hotel Ammerwald bei Reutte

Die sehr sparsame Deckenkonstruktion kommt mit einem Minimum an Bauteilen und Materialeinsatz aus. Beim DGNB Kriterium TEC 1.6 (Technik) können durch Verzicht auf Bekleidungen Circular Economy Boni (CE2 Vermeidung) angerechnet werden [13].



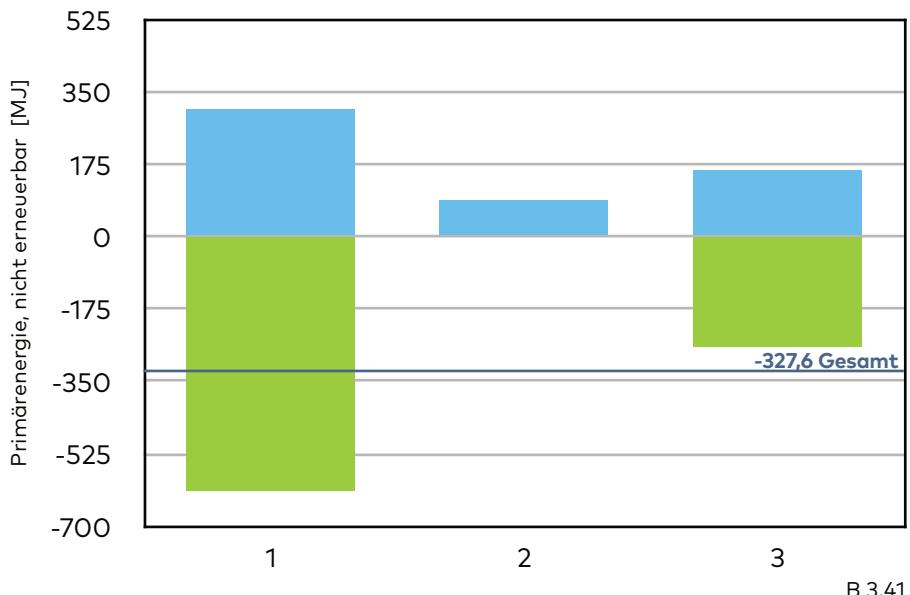
Decke (28 cm)

- ① Brettsperrholz fünflagig 140 mm Luftschicht 30 mm (Modulstoß)
- ② Mineralwolle 50 mm
- ③ Brettsperrholz dreilagig 60 mm, geölt

B 3.40

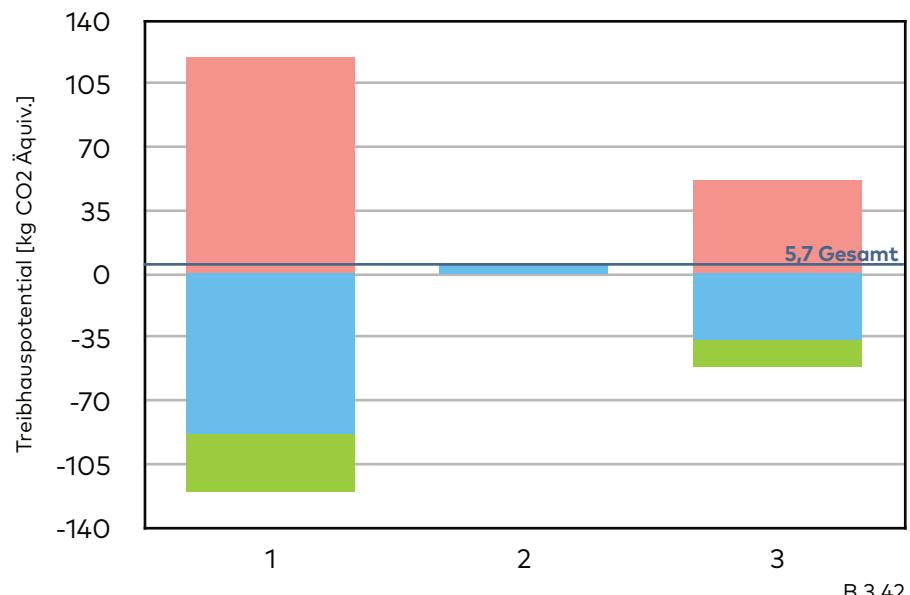
█ A1-A3 █ B4 █ C1-C4 █ D

Quelle: Ökobau.dat 2020-I

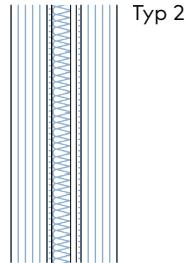


█ A1-A3 █ B4 █ C1-C4 █ D

Quelle: Ökobau.dat 2020-I



- B 3.39
Hotel Ammerwald bei Reutte
B 3.40
Deckenkonstruktion, Maßstab 1:20
B 3.41
Deckenkonstruktion (PENRT)
B 3.42
Deckenkonstruktion (GWP)
B 3.43
Trennwandkonstruktion, Maßstab 1:20
B 3.44
Trennwandkonstruktion (PENRT)
B 3.45
Trennwandkonstruktion (GWP)

**Trennwand (28 cm)**

- ① Brettsperrholz fünflagig 95 mm, geölt
- ② Gipskartonplatte 12,5 mm
- ③ Mineralwolle 50 mm
- Luftschicht 15 mm (Modulstoß)
- ② Gipskartonplatte 12,5 mm
- ① Brettsperrholz fünflagig 95 mm, geölt

B 3.43

Die BSP-Wände werden mit einem Brandschutzmittel versehen. Nur so kann die minimale Plattenstärke von 95 mm erreicht werden. Die Luftschicht im Modulstoß dient der schallschutztechnischen Entkopplung.

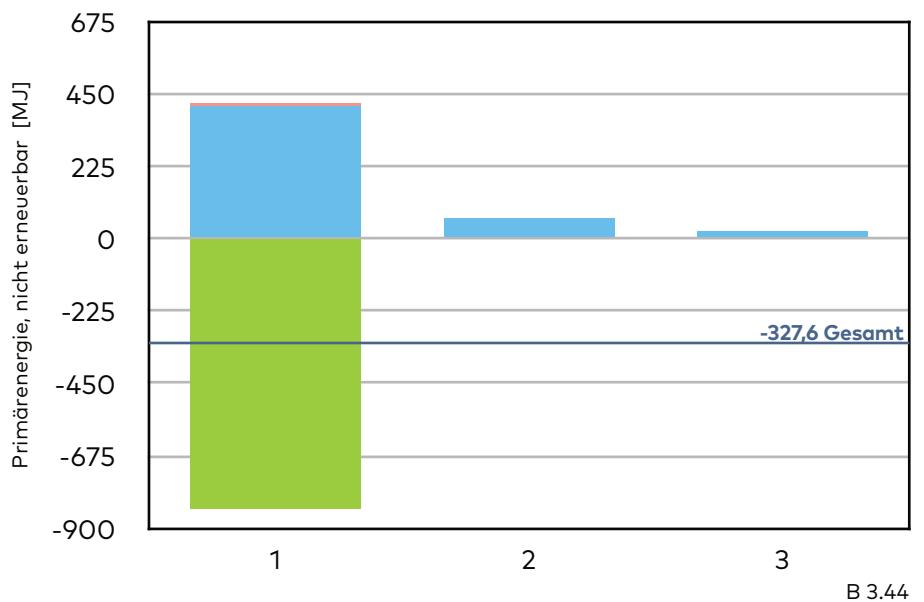
A1-A3

B4

C1-C4

D

Quelle: Ökobau.dat 2020-I



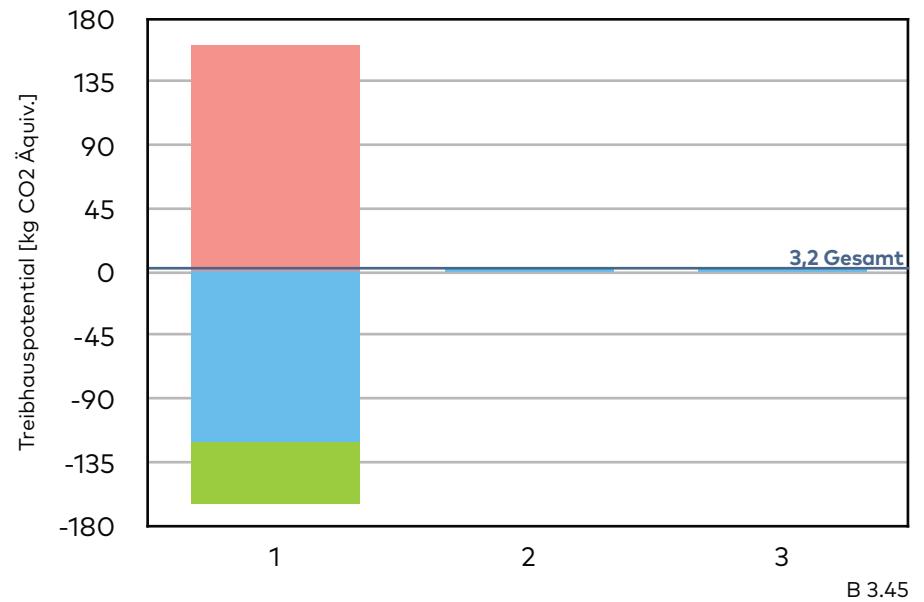
A1-A3

B4

C1-C4

D

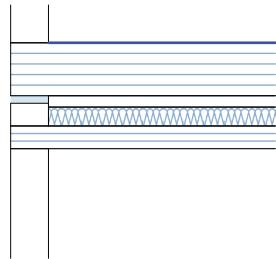
Quelle: Ökobau.dat 2020-I





B 3.46

Die dünne Holzbeschichtung aus PU-Harz weist eine Lebensdauer von 15 Jahren auf und muss ganze dreimal erneuert werden (B4). Aus einem Forschungsprojekt der TU Berlin geht hervor, dass die energetische Verwertung von Verbundbauteilen aus Holz und PU aufgrund des hohen Heizwerts etabliert ist. Großes Potential bietet hier die stoffliche Trennung in ein PU-Holz-Gemisch und Altholz der Kategorie A I nach AltV, das für Holzwerkstoffe genutzt werden kann. Wird eine Verjüngung der BSP-Platte miteinberechnet, kann diese sogar wiederverwendet werden [14].



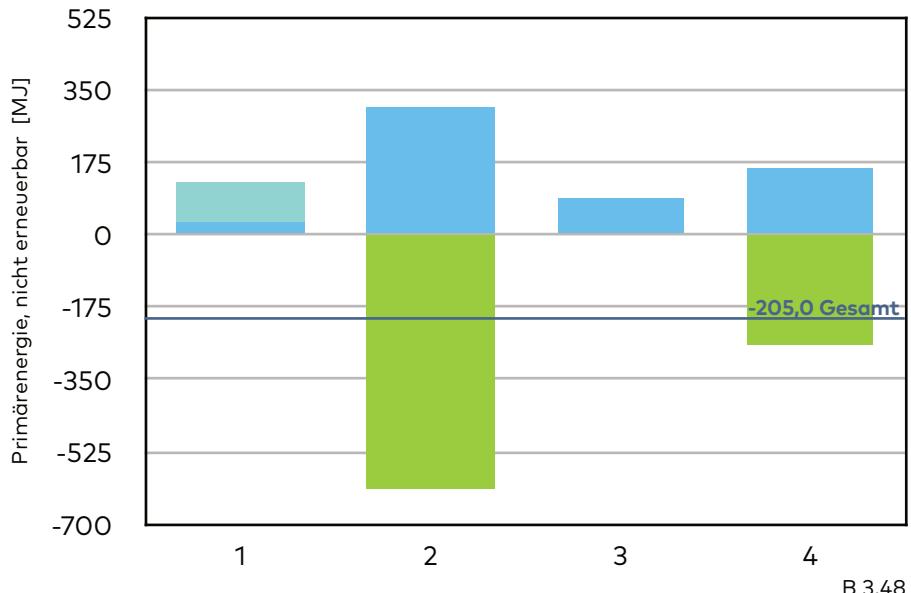
Decke Badmodul (28 cm)

- ① Beschichtung Polyurethanharz 1 mm
- ② Brettsperrholz fünflagig 140 mm
Luftschicht 30 mm (Modulstoß)
- ③ Mineralwolle 50 mm
- ④ Brettsperrholz dreilagig 60 mm, geölt

B 3.47

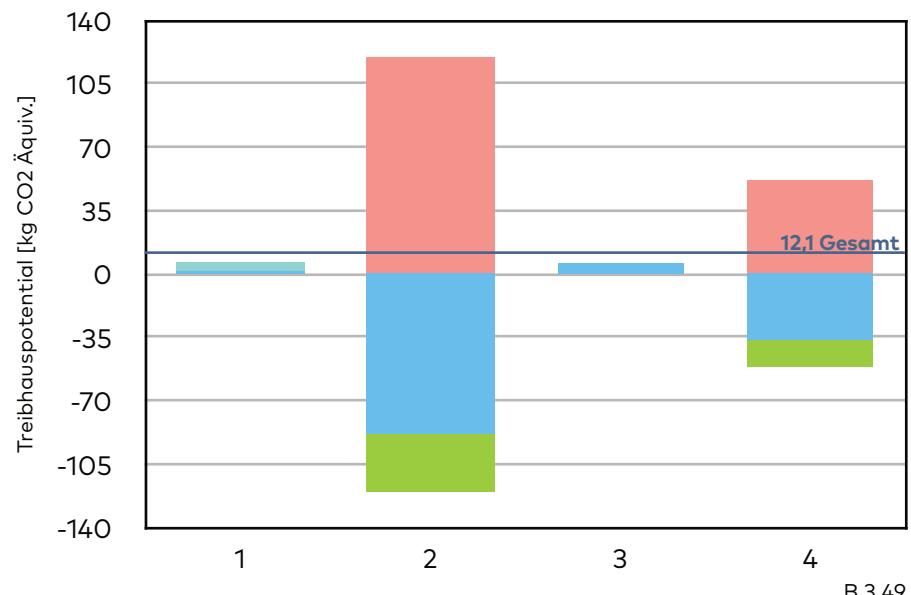
█ A1-A3 █ B4 █ C1-C4 █ D

Quelle: Ökobau.dat 2020-I

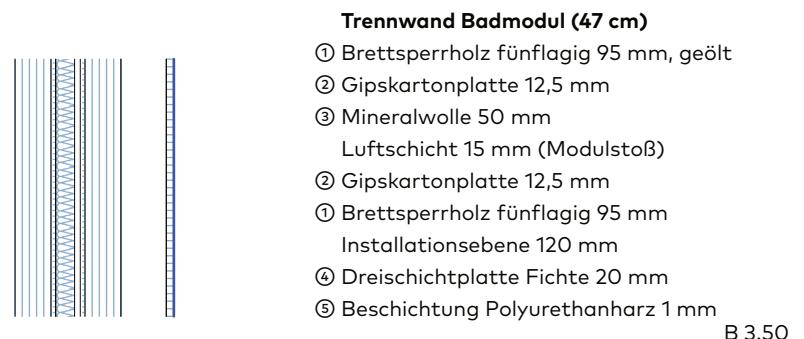


█ A1-A3 █ B4 █ C1-C4 █ D

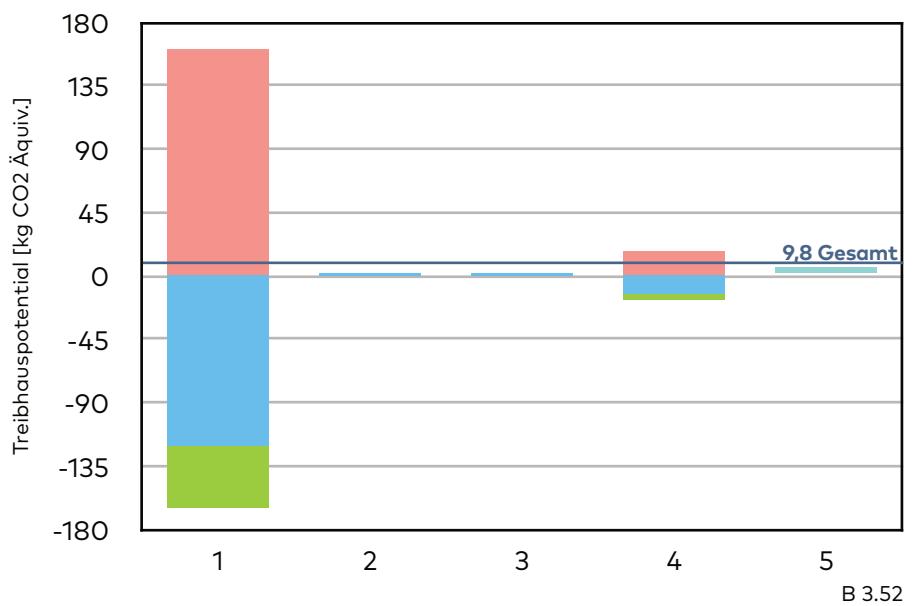
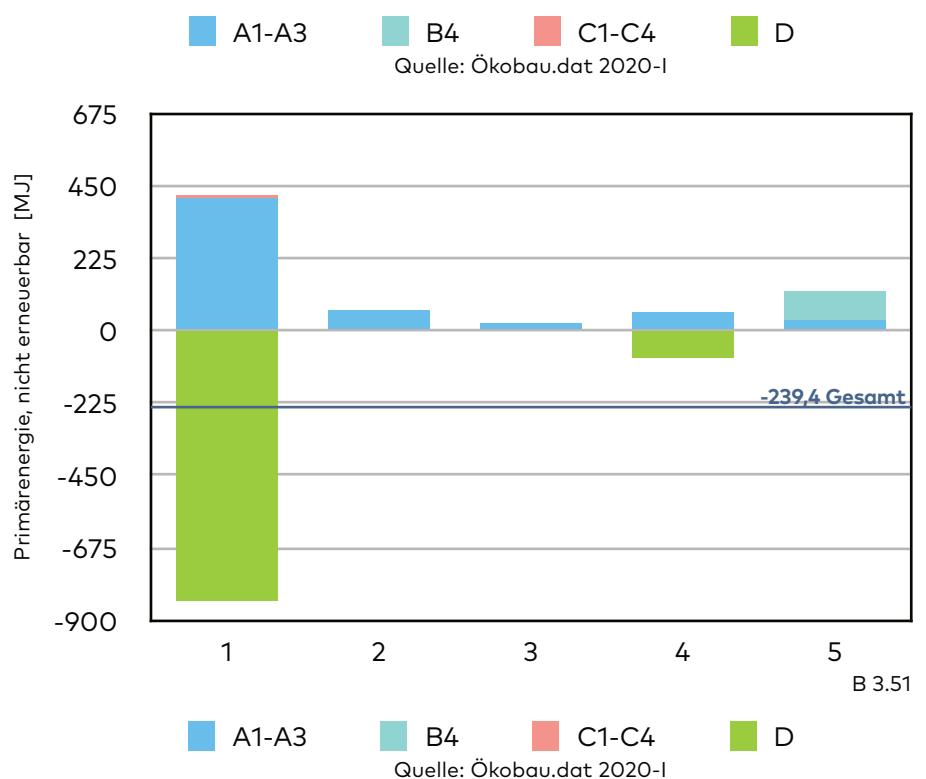
Quelle: Ökobau.dat 2020-I



- B 3.46
Badmodul Hotel Ammerwald bei Reutte
B 3.47
Deckenkonstruktion, Maßstab 1:20
B 3.48
Deckenkonstruktion (PENRT)
B 3.49
Deckenkonstruktion (GWP)
B 3.50
Trennwandkonstruktion, Maßstab 1:20
B 3.51
Trennwandkonstruktion (PENRT)
B 3.52
Trennwandkonstruktion (GWP)



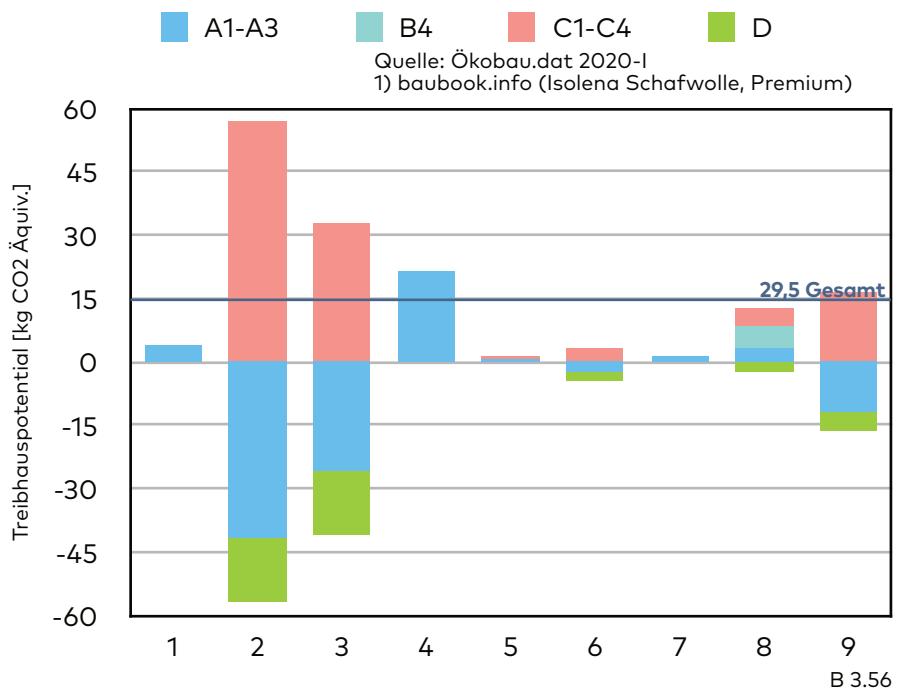
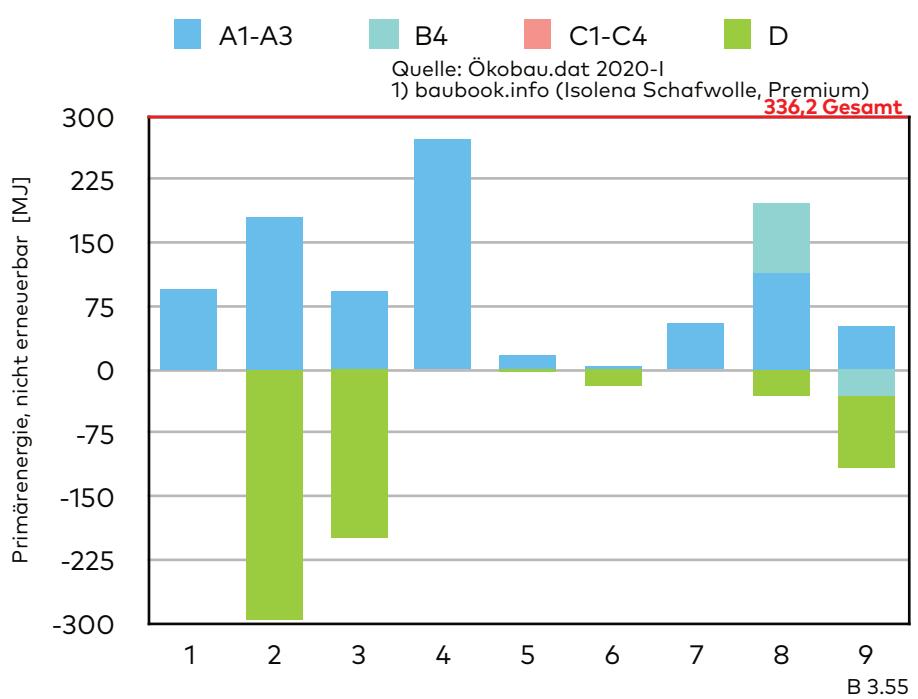
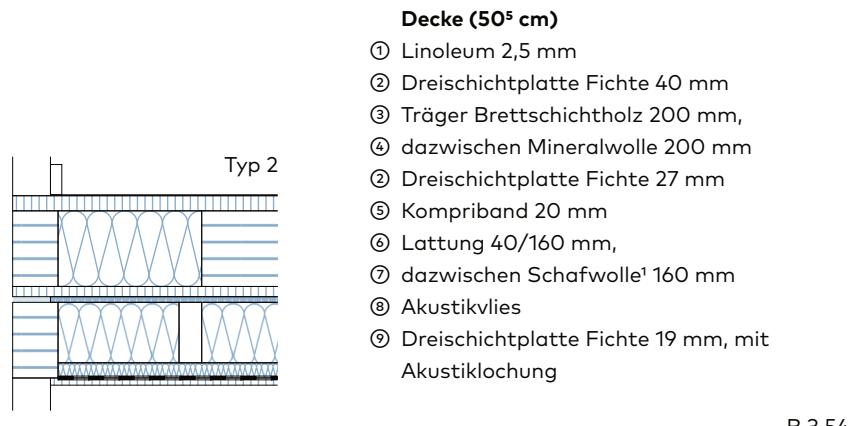
Die PU-beschichtete Dreischichtplatte mit Installationsebene wird aufgrund ihrer geringen Materialstärke energetisch verwertet.





Modulare Schulen in Zürich

Beim Vergleich der beiden Holztafelemente werden die viel höheren Umweltbelastungen der Mineralwolle gegenüber der Schafwolle [15] deutlich. Die Akustikelemente der Decke werden nach 40 Jahren ausgetauscht (B4). Durch die Akustiklochungen der Deckenpanele, die die Leimschichten der Dreischichtplatte durchdringen, werden deutlich höhere kanzerogene Formaldehydemissionen an die Raumluft abgegeben [16].



B 3.53
Modulare Schulen in Zürich

B 3.54
Deckenkonstruktion, Maßstab 1:20

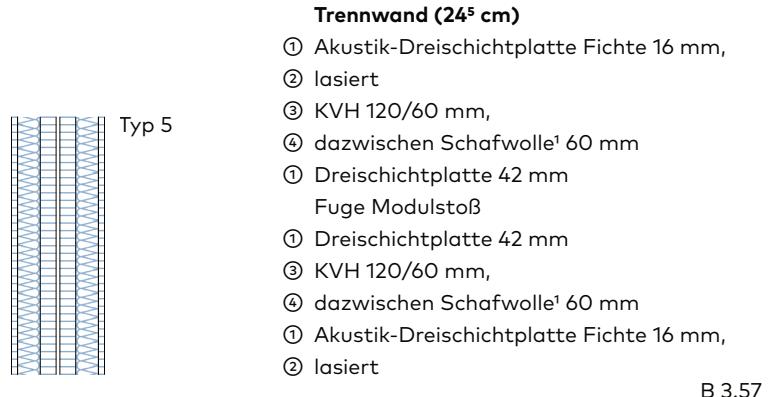
B 3.55
Deckenkonstruktion (PENRT)

B 3.56
Deckenkonstruktion (GWP)

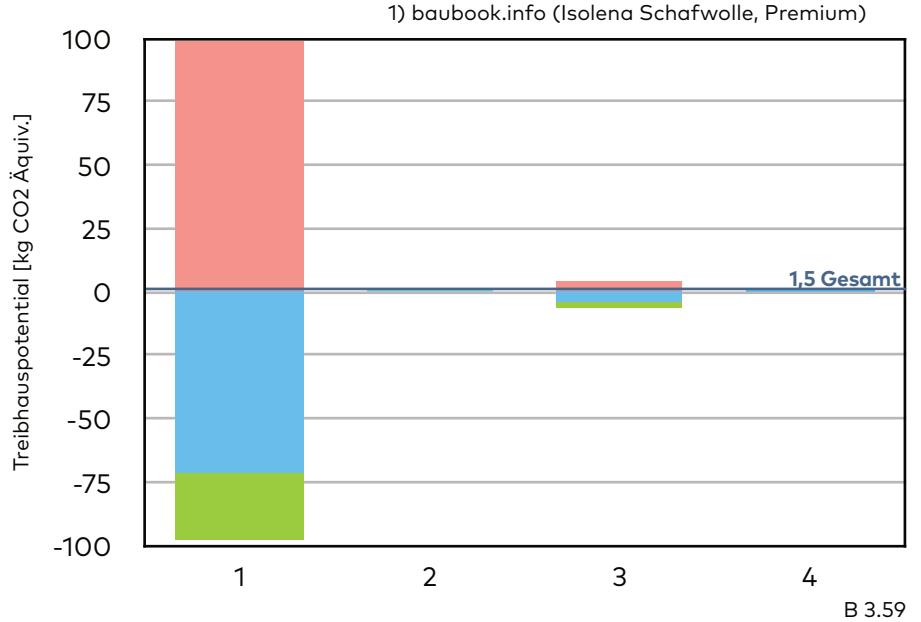
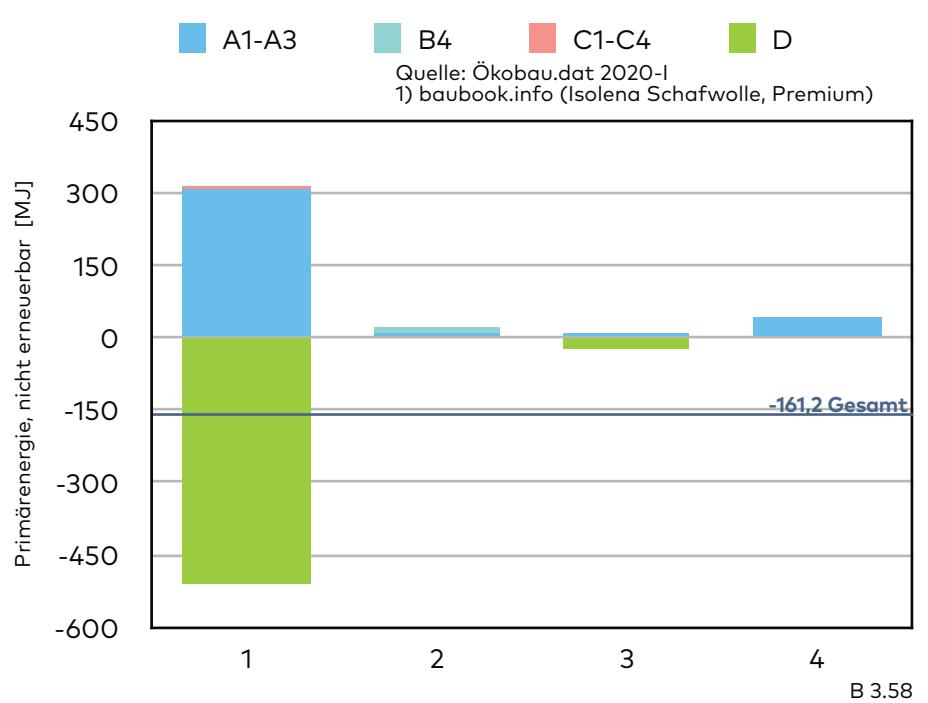
B 3.57
Trennwandkonstruktion, Maßstab 1:20

B 3.58
Trennwandkonstruktion (PENRT)

B 3.59
Trennwandkonstruktion (GWP)



Die Wände sind in diesem Beispiel nicht tragend. Über die Akustiklochungen wird zusätzliches Formaldehyd emittiert. Die Lasur hält durchschnittlich 18 Jahre und muss folglich zweimal erneuert werden (B4).

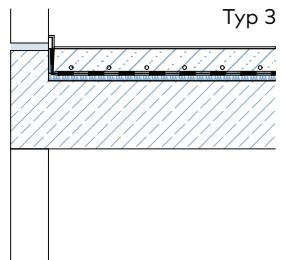




B 3.60

Studentenwohnheim in Heidelberg

Die Deckenplatte als StB-Fertigteil benötigt sehr viel Graue Energie und trägt in hohem Maße zum Treibhauseffekt bei.



Decke (27 cm)

- ① Linoleum 5 mm
 - ② Estrich Fertigteil 65 mm mit integrierter Fußbodenheizung
 - ③ Trittschalldämmung Fertigteil 20 mm
 - ④ Deckenplatte Stahlbetonfertigteil 180 mm, gestrichen
- B 3.61

A1-A3

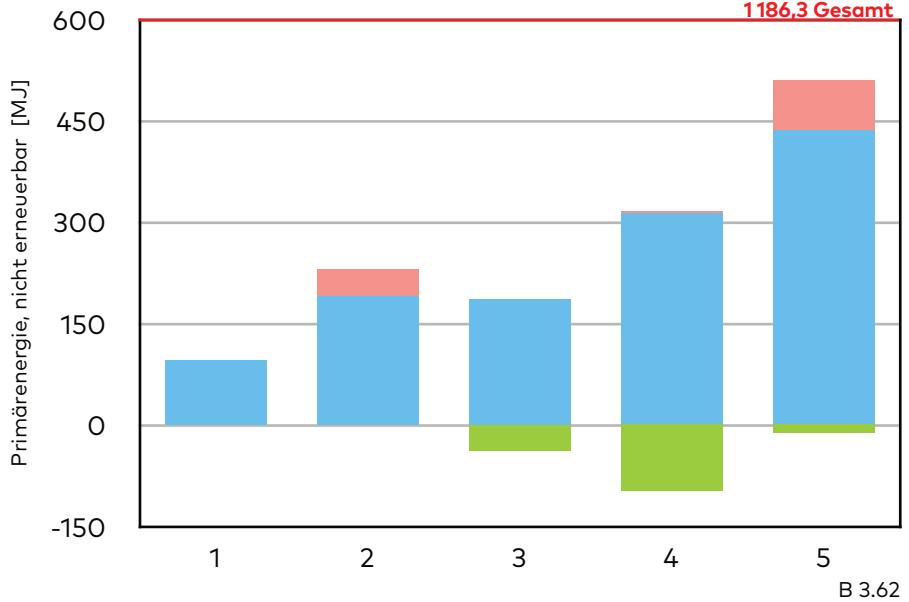
B4

C1-C4

D

Quelle: Ökobau.dat 2020-I

1186,3 Gesamt



A1-A3

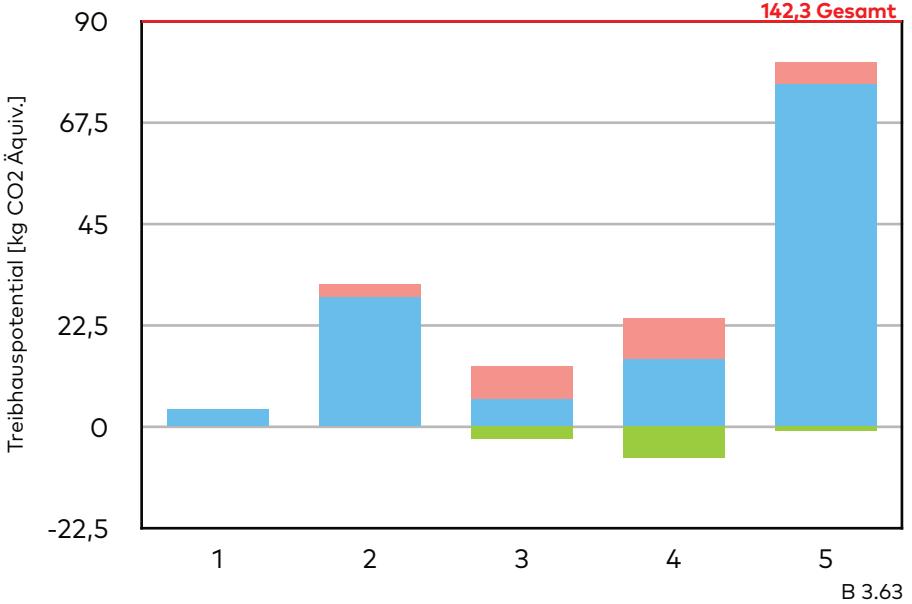
B4

C1-C4

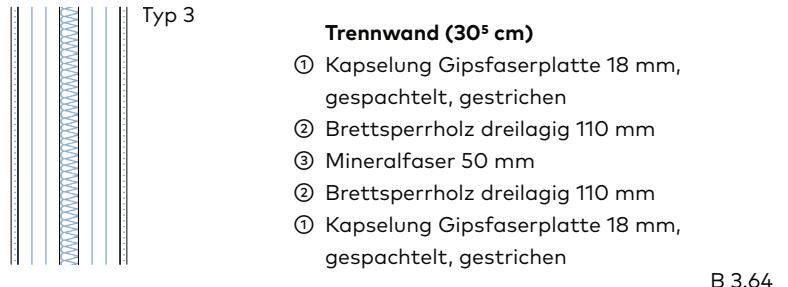
D

Quelle: Ökobau.dat 2020-I

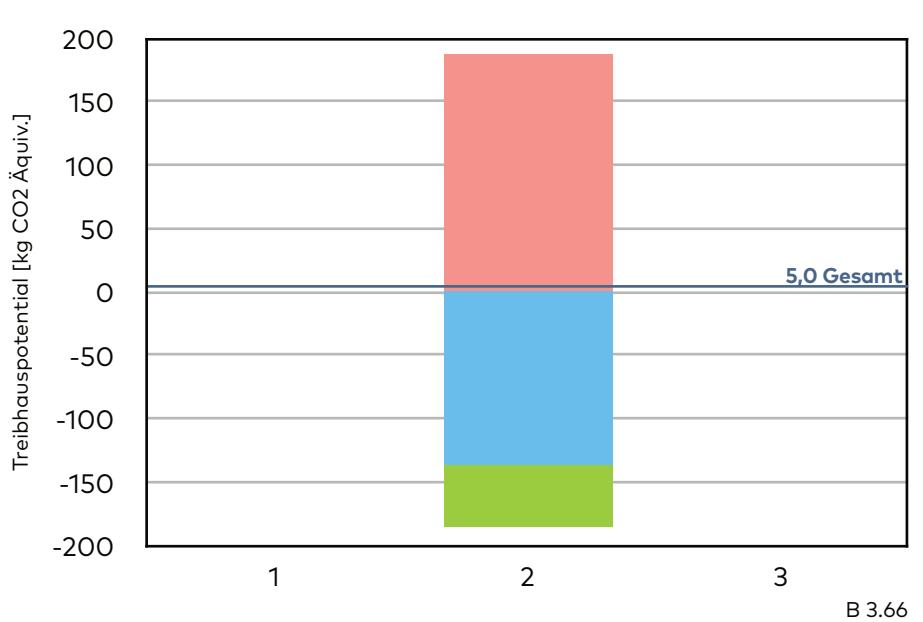
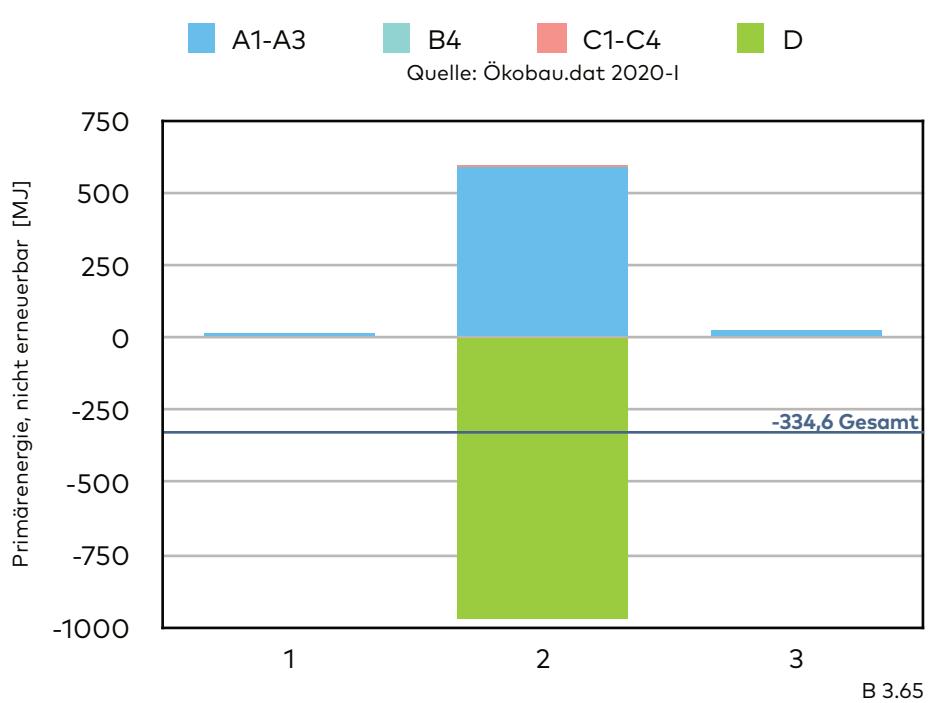
142,3 Gesamt



B 3.60
Studentenwohnheim in Heidelberg
B 3.61
Deckenkonstruktion, Maßstab 1:20
B 3.62
Deckenkonstruktion (PENRT)
B 3.63
Deckenkonstruktion (GWP)
B 3.64
Trennwandkonstruktion, Maßstab 1:20
B 3.65
Trennwandkonstruktion (PENRT)
B 3.66
Trennwandkonstruktion (GWP)

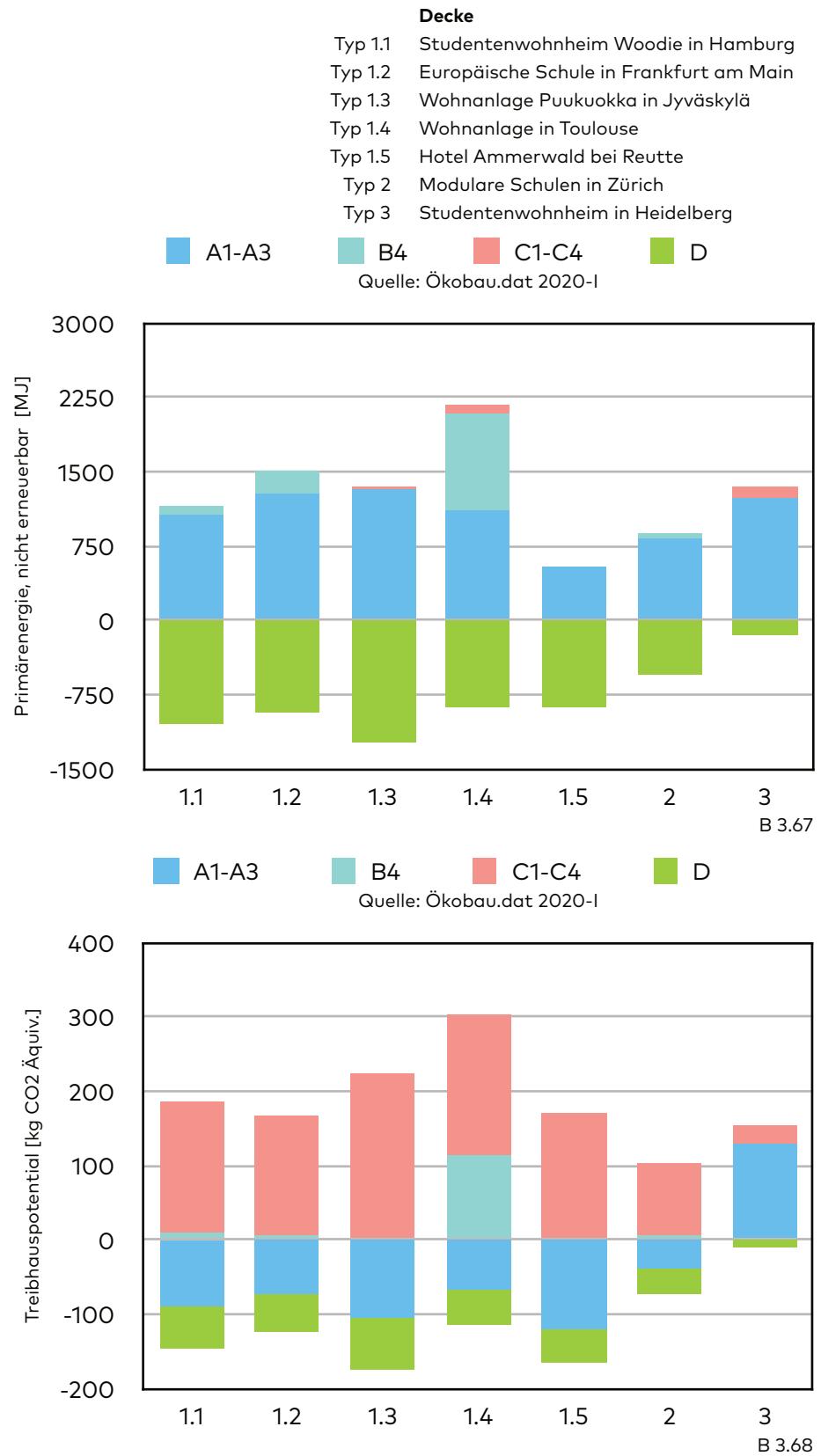


Der Wandaufbau ist insgesamt etwas breiter als dieselbe Typologie in Jyväskylä (siehe „Wohnanlage Puukuokka in Jyväskylä“, S. 31).

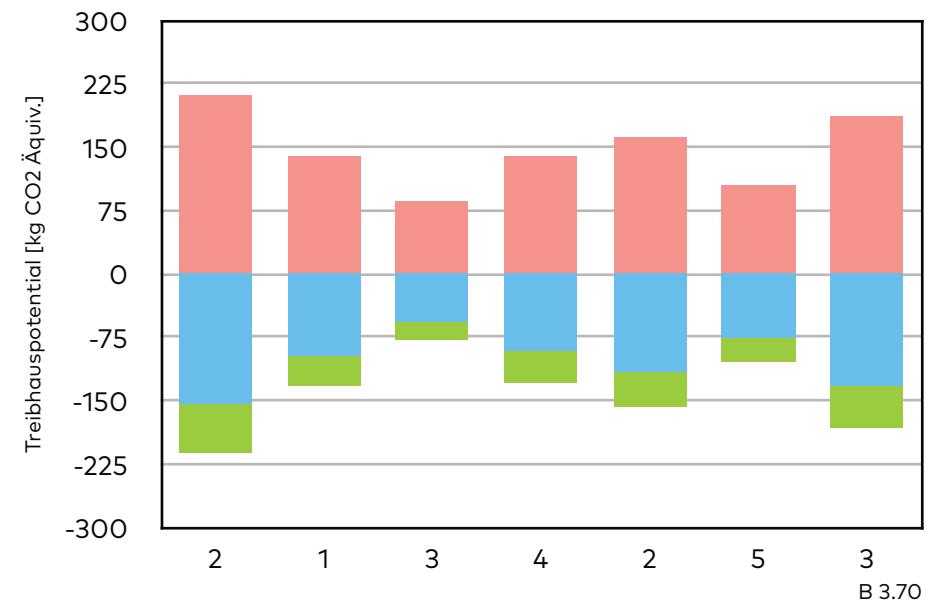
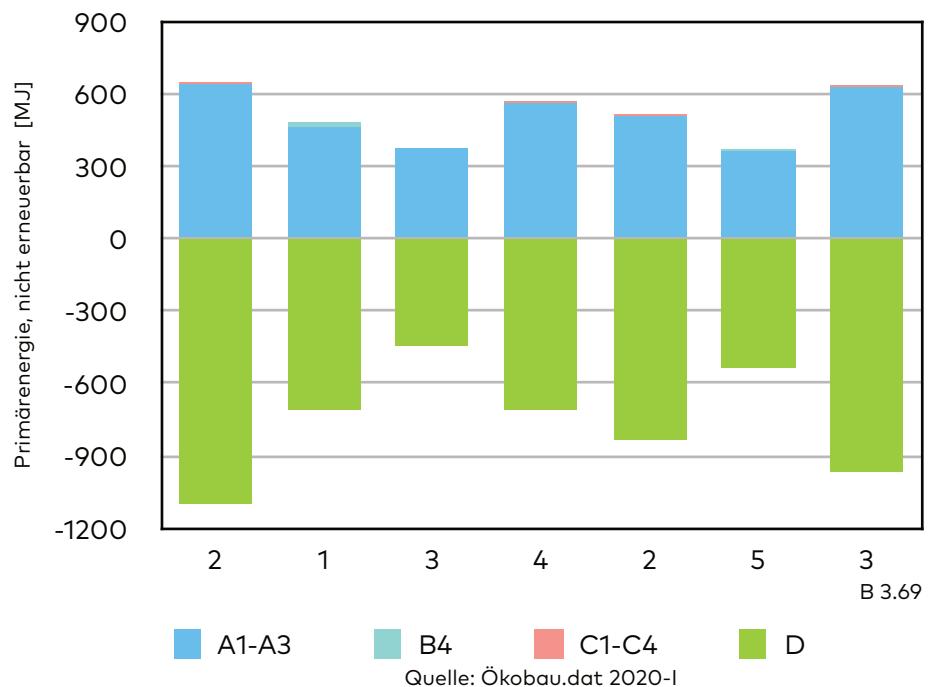
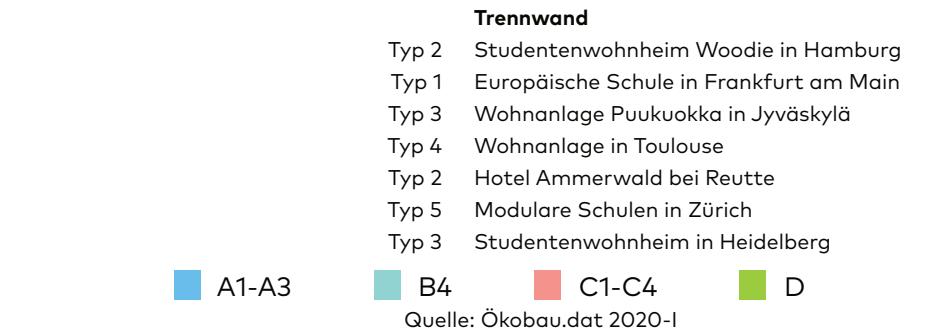


Auswertung Gesamtbilanz

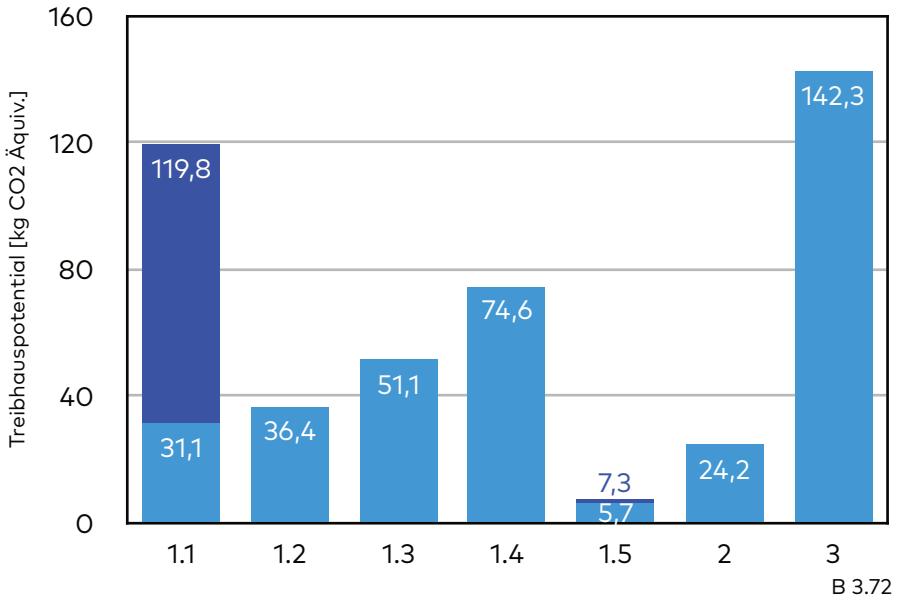
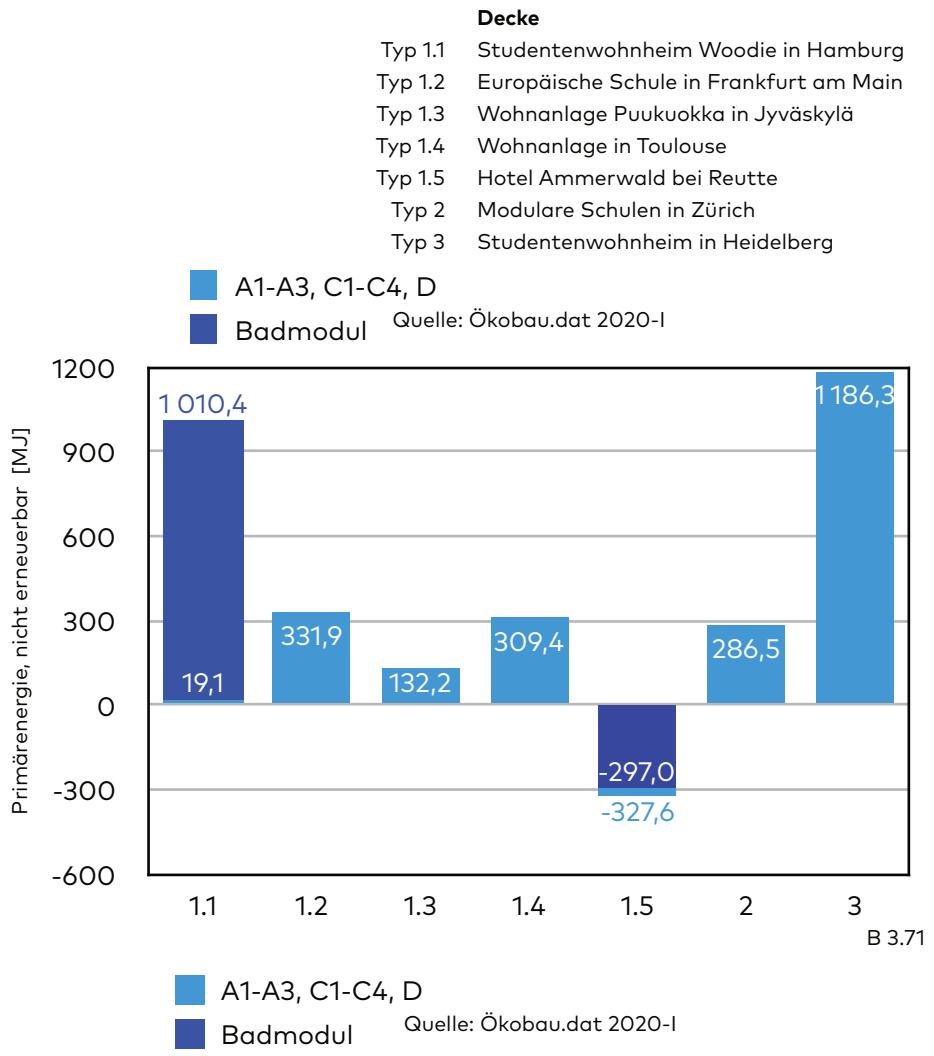
Die Herstellung (A1-A3) hat große Auswirkungen auf die benötigte Graue Energie, während die Entsorgung (C1-C4) kaum Einfluss nimmt. In Holzwerkstoffen gebundenes CO₂ (A1) wird bei der energetischen Verwertung (C3) wieder frei. Die Typen 1.1-1.5 mit BSP-Platten erzielen am meisten Gutschriften (D), gefolgt von Typ 2 (Zürich) mit Holztafelementen. Schlusslicht bildet Typ 3 (Heidelberg) mit einer StB-Decke. Die ökologische Relevanz der langen Lebensdauer von Bauteilen (B4) wird ersichtlich. Diese Erkenntnisse können in der frühen Planung berücksichtigt werden.



Die Gesamtbilanz der Trennwandkonstruktionen ist sehr stark von der variierenden Dicke der BSP-Platten abhängig. Dies wird am Vergleich von Typ 3 (Jyväskylä) mit Typ 3 (Heidelberg) besonders deutlich. Der hohe Anteil an Holzwerkstoffen äußert sich in relativ hohen Gutschriften (D). Unabhängig davon hat Typ 2 (Hamburg) den höchsten nicht erneuerbaren Energieverbrauch in der Herstellung (A1-A3). Hier sind Typ 5 (Zürich) mit Holztafel-elementen sowie Typ 3 (Jyväskylä) sparsamer. Generell erzielen die Trennwandkonstruktionen deutlich geringere Umweltwirkungen als die Deckenkonstruktionen.

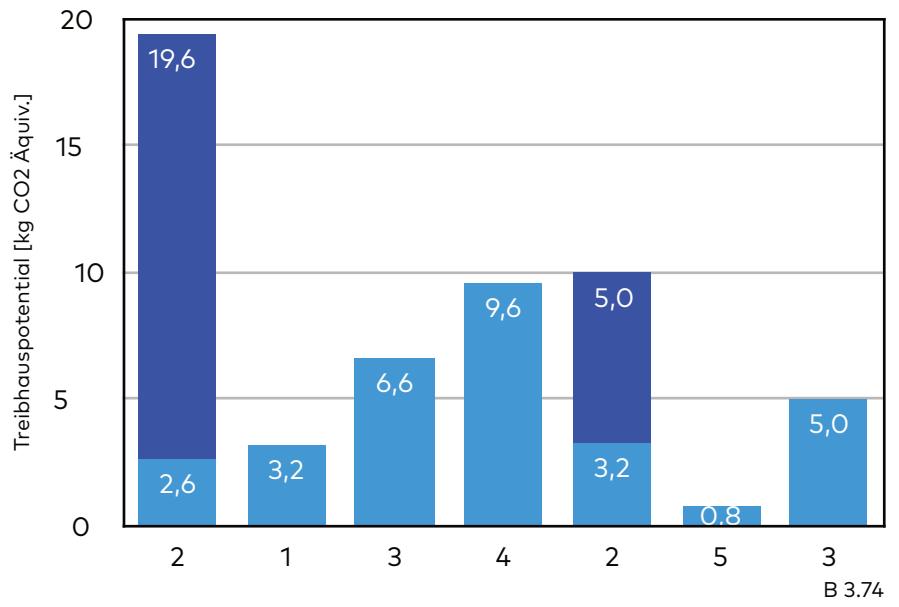
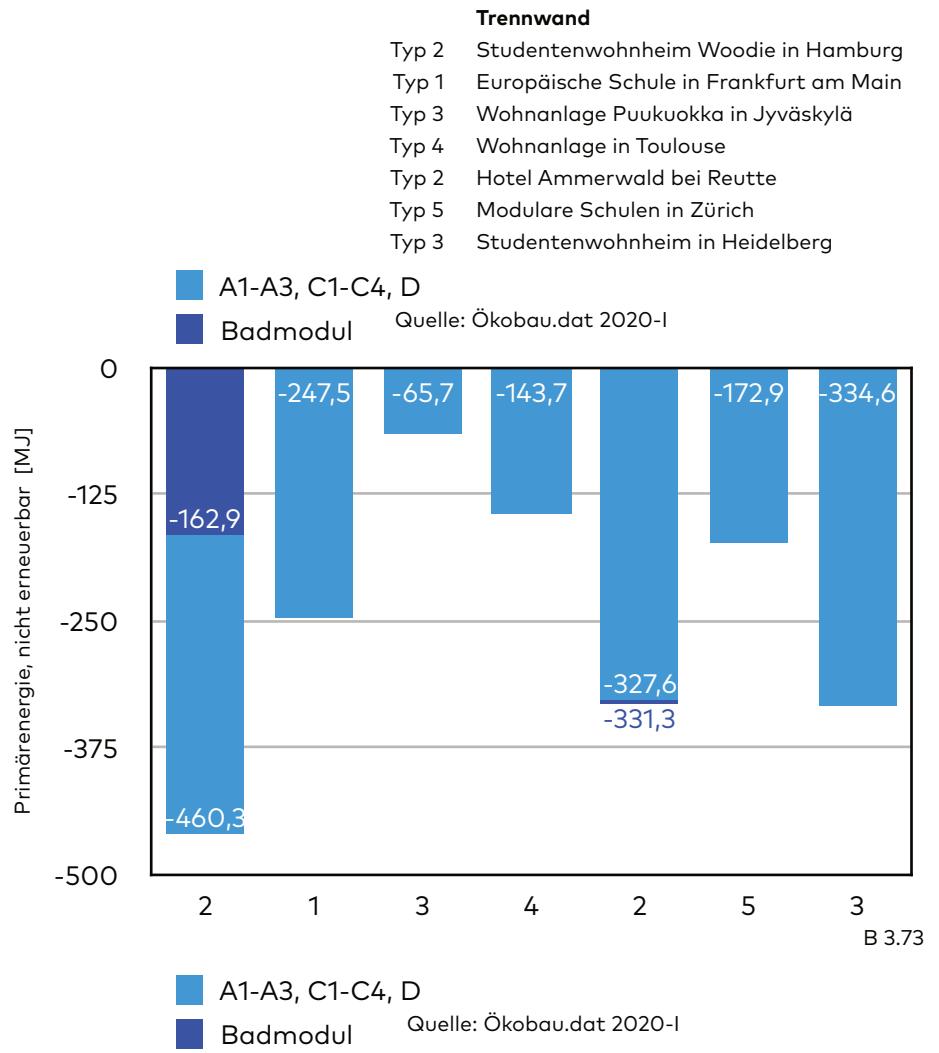


Der schichtenarme Typ 1.5 (Reutte) überzeugt mit sehr guten Gesamtbilanzen - auch im Bad. Der weit verbreitete Typ 1.1 (Hamburg) mit schwerer Schallschutz-Schüttung ist leiser. Allerdings schneidet das geflieste Badmodul sehr schlecht ab. Typ 2 (Zürich) mit Holztafelelementen überzeugt, Typ 3 (Heidelberg) mit einer StB-Decke versagt. Die starken Schwankungen von Typ 1.1-1.4 sind im spezifischen Fußbodenbelag begründet, nicht in der Typologie selbst. Am Ende des Lebenszyklus werden Metalle recycelt, Holz und Kunststoffe aufgrund ihres Heizwerts verbrannt, mineralische Baustoffe als Bauschutt aufbereitet und Mineralwolle deponiert [17].



- B 3.71
 - Saldo Deckenkonstruktionen (PENRT)
 - B 3.72
 - Saldo Deckenkonstruktionen (GWP)
 - B 3.73
 - Saldo Trennwandkonstruktionen (PENRT)
 - B 3.74
 - Saldo Trennwandkonstruktionen (GWP)

Typ 1 (Frankfurt a. M.) Mit geringer Wandstärke bietet auch geringen Schallschutz. Während Typ 2 (Hamburg) auf Abbrand überdimensioniert ist, ermöglicht die Brandschutzkapselung von Typ 3 (Jyväskylä) dünne Wandstärken. Typ 4 (Toulouse) mit gedämmter Installationsebene und Typ 5 (Zürich) sorgen für zusätzlichen Schallschutz. Die hohe Gutschrift (D) von Altholz ergibt sich aus den derzeitigen Möglichkeiten der Substitution fossiler Brennstoffe. Durch die zukünftige Umstellung auf 100% erneuerbare Energien wird sie sich verringern. Das Potential der stofflichen Kaskadennutzung wird in der Ökobilanz aktuell nicht ausgeschöpft [18].



Konzept, das

Idee, Ideal; aus der Wahrnehmung
abstrahierte Vorstellung

Teil C Konzept

1	Urban-Mining-Design	48
	Gebäude als Rohstofflager	48
	Materialgruppen	48
	Sortenreinheit	49
	Material-Cycle-Status	50
	Urban-Mining-Indicator	50
2	Primärkonstruktion	52
	Gründung und Tragwerk	52
3	Hüllfläche	54
	Oberflächen außen	54
	Dämmungen	56
	Abdichtungen und Trennlagen	58
	Verglasungen	60
4	Innenausbau	62
	Oberflächen innen	62
	Fußbödenaufbauten	64
5	Raummodul	66
	Decke	66
	Trennwand	67
	Dachterrasse	68
	Außenwand	69

Urban-Mining-Design

„Ein Suffizienz-Ansatz des Urban-Mining-Design verzichtet auf ganze Bauteilschichten zugunsten der Materialsichtoberfläche. [...] Dabei wird die sinnliche Materialerfahrung vor das ausschließlich visuell erfassbare Bild gestellt - und die authentische Alterung vor die Konservierung, die meist nur durch andauernde Renovierung aufrechtzuerhalten ist.“ [1]
Dipl.-Ing. Annette Hillebrandt, Fakultät für Baukonstruktion, Entwerfen, Materialkunde, Bergische Universität Wuppertal

Gebäude als Rohstofflager

Rückbaufreundliche Konstruktionen und recycling-fähige Materialien sind Grundvoraussetzungen für nachhaltiges Urban Mining [2].

Selektiver Rückbau
Verglichen mit geklebten Verbindungen und mehrschichtigen Bauteilen ist der Rückbau reversibler Verbindungen schnell und kostengünstig.
Wertvolle Recyclingmaterialien bleiben durch die sortenreine Trennung über den Lebensweg eines Gebäudes hinaus erhalten. Dabei wird die Resilienz und Widerstandsfähigkeit bei anfallenden Instandhaltungs- und Modernisierungsarbeiten gestärkt.

Monomaterielle Bauweise
Einstoffliche Bauweisen machen lösbare Verbindungen überflüssig, da alle Baustoffe denselben Recyclingprozess durchlaufen.

Materialrecycling
Urban-Mining-Design forciert ein qualitativ hochwertiges Rezyklat. Aktuell ist das Separieren von Stoffgemischen mit hohen Kosten verbunden. Die im Bauwesen häufig verwendeten mineralischen und fossilen (auf Erdölbasis) Materialgruppen enden mit einem unvermeidbaren Qualitätsverlust (Downcycling). Im Gegensatz zum Take-Make-Waste System der linearen Wegwerfwirtschaft zirkulieren in der Kreislauf-

wirtschaft sogenannte Closed-Loop-Materialien in fast vollständig geschlossenen und (theoretisch) unendlichen Verwertungskreisläufen. Im Einklang mit der Cradle to Cradle®-Philosophie sind die Inhaltsstoffe frei von toxischen Substanzen, um dauerhafte Recyclingprozesse sicherzustellen und somit auch den Verkaufswert der Immobilie zu steigern.

Materialgruppen

Im Bauwesen unterscheidet man je nach Ursprung und Vorkommen zwischen biotischen, fossilen, mineralischen und metallischen Materialien [3].

● *Biotische Materialien*
Materialien auf Basis pflanzlichen oder tierischen Wachstums können an ihrem Lebensende verrotten und als biotische Nährstoffe (BN) im Wachstumskreislauf geführt werden. Ihre Lebensdauer entspricht in etwa der von Gebäuden. Weil nachwachsende Rohstoffe wie Holz theoretisch unbegrenzt verfügbar sind, ist es grundsätzlich empfehlenswert, biotische Materialien im Bauwesen einzusetzen.

● *Fossile Materialien*
Fossile Stoffe wie erdölbasierte Kunststoffe sind aus biologischen Prozessen hervorgegangen, allerdings übersteigen ihre Erneuerungszeiträume die kurzen

Lebensdauern im Bauwesen deutlich. Daher sind die natürlichen Vorkommen begrenzt. In seltenen Fällen werden fossile Stoffe technisch wiederaufbereitet, wobei das zu erwartende Nachnutzungspotential stark variiert.

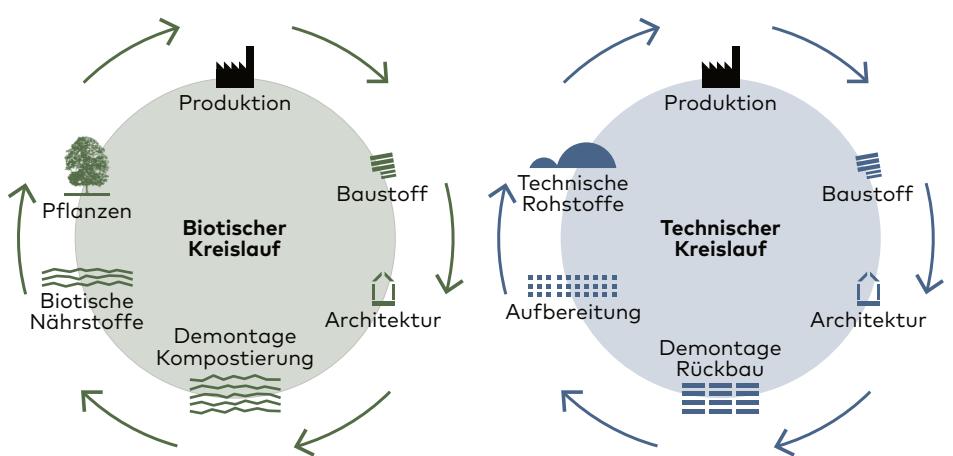
Mineralische Materialien
Abiotische, natürliche Materialien wie Naturstein werden an ihrem Lebensende einer Vererdung zugeführt. Ihre Reproduktionszyklen sind verglichen mit menschlichen Dimensionen endlich. Auch die Recyclingpotentiale sind sehr beschränkt.

Metallische Materialien
Materialien aus langen, natürlichen Entstehungsprozessen wie Kupfer können an ihrem Lebensende verwertet werden. Zwar ist ihr natürliches Vorkommen erschöpflich, ihre qualitativ hochwertige Recyclingfähigkeit ist dafür nahezu endlos.

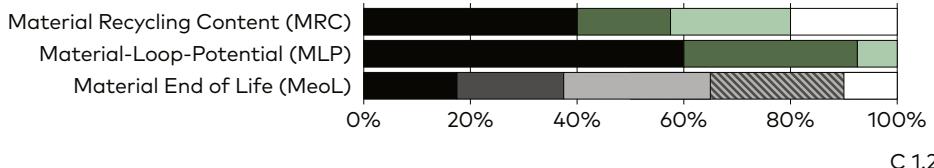
Sortenreinheit

Beim Materialrecycling zirkulieren alle Baustoffe im biotischen oder im technischen Verwertungskreislauf (Abb. C 1.1) [4]. In der Biosphäre verrotten biotische Materialien in der Kompostierung. Der biotische Kreislauf gilt grundsätzlich als geschlossen. In

der Technosphäre werden gebrauchte Materialien demontiert, sortenrein getrennt und technisch-industriell aufbereitet. Weisen die Sekundärrohstoffe keinen Qualitätsverlust und nur einen marginalen Masseverlust auf, gilt der Kreislauf als geschlossen. Recyclingprozesse im technischen Kreislauf verbrauchen allerdings immer Energie. Für hochwertiges Recycling ist Sortenreinheit elementar. Störstoffe wie Brandschutzmittel, Anhaftungen wie verklebte Schichten und Beschichtungen wie kunststoffbasierte Holzlackierungen erschweren die kostengünstige Wiederverwertung der Hauptstoffe.



- **Wiederverwertung, gleiche Qualität**
- Weiterverwertung, Qualität hoch (innerhalb des Bauwesens)
- Weiterverwertung, Qualität niedrig (außerhalb des Bauwesens)
- Keine klare Trennung zwischen hoher und niedriger Qualität möglich
- **Neumaterial auf Basis nachwachsender Rohstoffe, PEFC oder FSC Zertifizierung**
- Neumaterial auf Basis nachwachsender Rohstoffe
- Neumaterial bzw. Beseitigung oder Verlust



- ↑ Möglichkeit der Kompostierung
 - ← Herstellerrücknahme
 - Hohes Wiederverwendungspotential
- C 1.2 C 1.3

Material-Cycle-Status

Der Material-Cycle-Status (MCS) beschreibt die Wieder- und Weiterverwertungsmöglichkeiten bestimmter Materialien quantitativ und qualitativ (Abb. C 1.2) [5]. Materialien, die im geschlossenen Kreislauf geführt werden können, sogenannte Closed-Loop-Materialien, sind schwarz oder dunkelgrün.

Material Recycling Content
Der MRC-Balken gibt an, wie hoch der Anteil an Recyclingmaterialien (Recycling-Content) nach aktuellem Stand der Technik ist. Die Daten sind Durchschnittswerte oder auch hersteller-spezifische Angaben (EPDs).

Material-Loop-Potential
Der MLP-Balken schätzt ab, wie hoch der Anteil an Recycling-materialien bei maximiertem Sekundärrohstoffgehalt in der Produktion sein könnte. Datengrundlage bilden wissenschaftliche Institute, Verbände und Produktionsfirmen.

Material End of Life
Der MEoL-Balken gibt Auskunft über aktuell übliche Szenarien für Baustoffe am Ende eines Lebenszyklus. Schwarz bedeutet Recycling ohne Qualitätsverlust. Die Graustufen stellen den steigenden Qualitätsverlust dar. Weiß ist Verlust. Die Werte stammen aus öffentlichen Abfallstatistiken des Bundes oder

Angaben von Verbänden. Weitere Nachnutzungspotentiale werden symbolisch gekennzeichnet (Abb. C 1.3).

Urban Mining Indicator

Zunächst wird das Kreislaufpotential der Bauwerk-Baukonstruktionen ermittelt und in Kreisdiagrammen (Loops) abgebildet (Abb C 1.4) [6]. Pre-Use bezieht sich auf den Anteil an Recyclingmaterialien oder nachwachsenden Rohstoffen in der Herstellungsphase. Dabei kommt es noch nicht auf lösbare Verbindungen an, sondern auf den Recycling-Gehalt der Materialien (MRC). Post-Use bezieht sich auf das Ende der Nutzungsdauer. Hier kommt die sortenreine Trennbarkeit zum Tragen. Auch sollte sich der selektive Rückbau hinsichtlich Materialwert und Arbeitsaufwand lohnen. Der Urban Mining Indicator beträgt idealerweise 100%, wenn die Konstruktion vollständig aus Closed-Loop-Materialien besteht.

Closed-Loop-Potential (CLP)

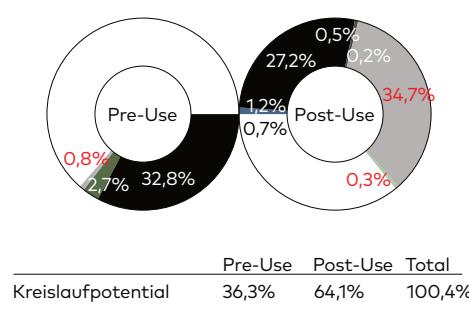
„Das Closed-Loop-Potential einer Konstruktion ist der prozentuale Anteil an Materialien und Baustoffen, der unter Berücksichtigung definierter Kriterien ohne Qualitätsverlust in geschlossenen Kreisläufen geführt werden kann.“ [7]

Loop-Potential (LP)

„Zum Loop-Potential einer Konstruktion zählen deshalb über den Closed-Loop-Anteil hinaus auch Anteile an Materialien und Baustoffen, die unter Berücksichtigung definierter Kriterien eine stoffliche Verwertung mit Qualitätsverlust ermöglichen oder einer energetischen Verwertung zugeführt werden können.“ [8]



	Pre-Use	Post-Use	Total
Closed-Loop-Potential	35,5%	29,0%	64,5%
Loop-Potential	37,2%	99,2%	136,4%



Gewichtung von Materialien in offenen Kreisläufen mit dem Faktor 0,5

Gleiche Gewichtung von Pre-Use und Post-Use mit dem Faktor 0,5

Primärkonstruktion



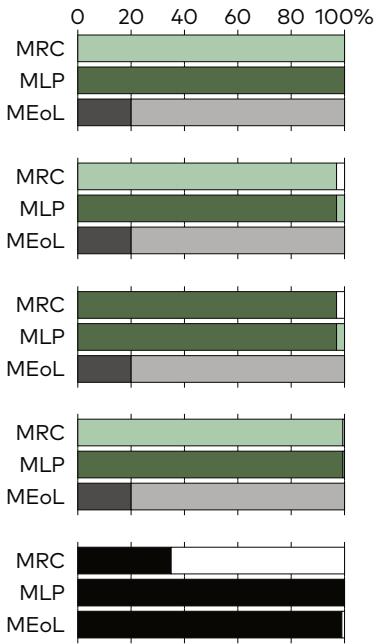
C 2.1

C 2.2

Gründung und Tragwerk

Einstoffliche, leim- und metallfreie Holzbauweisen finden zunehmend mehr Beachtung, da sie die Lösbarkeit ihrer Fügungen obsolet machen und sich ihr Rückbau als einfach und wirtschaftlich gestaltet (Abb. C 2.1) [1]. Mit BSH- oder noch besser FSH-Trägern aus Laubholz (Baubuche) lassen sich bei gleicher Last allerdings deutliche Einsparungen an Höhe und Gewicht der Querschnitte erzielen (Abb. C 2.2) [2]. Grundsätzlich verursacht die Tragstruktur den Großteil der Umweltwirkungen der gesamten Bausubstanz [3]. Im Gegensatz zu Baustahl erzielen KVH, BSH, FSH und BSP aus nachwachsenden

- Konstruktionsvollholz (KVH)
 $\lambda = 0,15 \text{ W/(mK)}$ $R_m = 16-29 \text{ N/mm}^2$
 $\rho = 0,35-0,55 \text{ kg/dm}^3$ D-s2 d0
- Brettschichtholz (BSH)
 $\lambda = 0,15 \text{ W/(mK)}$ $R_m = 24-32 \text{ N/mm}^2$
 $\rho = 0,41-0,45 \text{ kg/dm}^3$ D-s2 d0
- Furnierschichtholz (FSH)¹
 $\lambda = 0,13 \text{ W/(mK)}$ $R_m = 36 \text{ N/mm}^2$
 $\rho = 0,48 \text{ kg/dm}^3$ D-s1 d0
- Brettsperrholz (BSP)²
 $\lambda = 0,15 \text{ W/(mK)}$ $R_m = 24-32 \text{ N/mm}^2$
 $\rho = 0,48 \text{ kg/dm}^3$ D-s2 d0
- Baustahl³
 $\lambda = 40-57 \text{ W/(mK)}$ $R_m = 340-730 \text{ N/mm}^2$
 $\rho = 7,85-7,96 \text{ kg/dm}^3$ A1



C 2.3

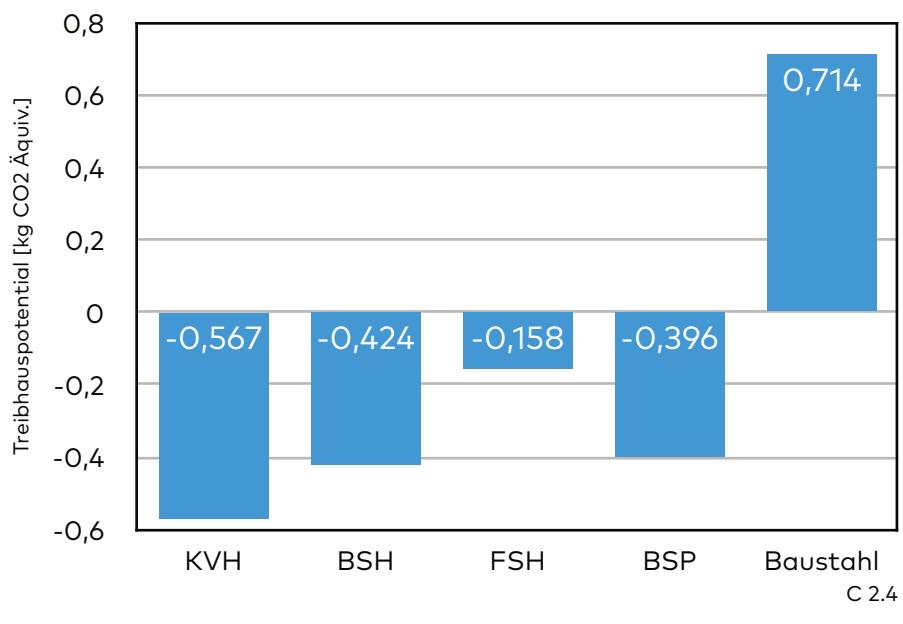
1) STEICO LVL R

2) binderholz Brettsperrholz BBS

3) HISTAR®

A1-A3, C1-C4, D

Quelle: Ökobau.dat 2020-I



C 2.1

Einstoffliche Massivholzwand

C 2.2

Brettschichtholzträger aus Baubuche

C 2.3

Material-Cycle-Status

C 2.4

Treibhauspotential (Referenzfluss: 1 kg)

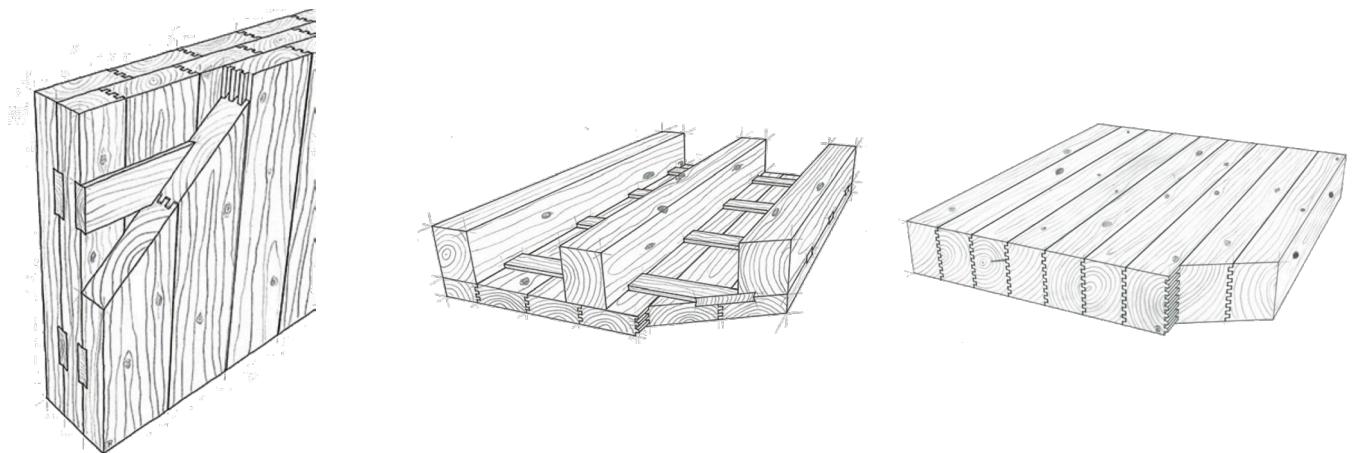
C 2.5

Traditionelle Zimmermannsverbindungen

C 2.6

Holzrahmenbau mit CNC-gefrästen

Steckverbindungen



a

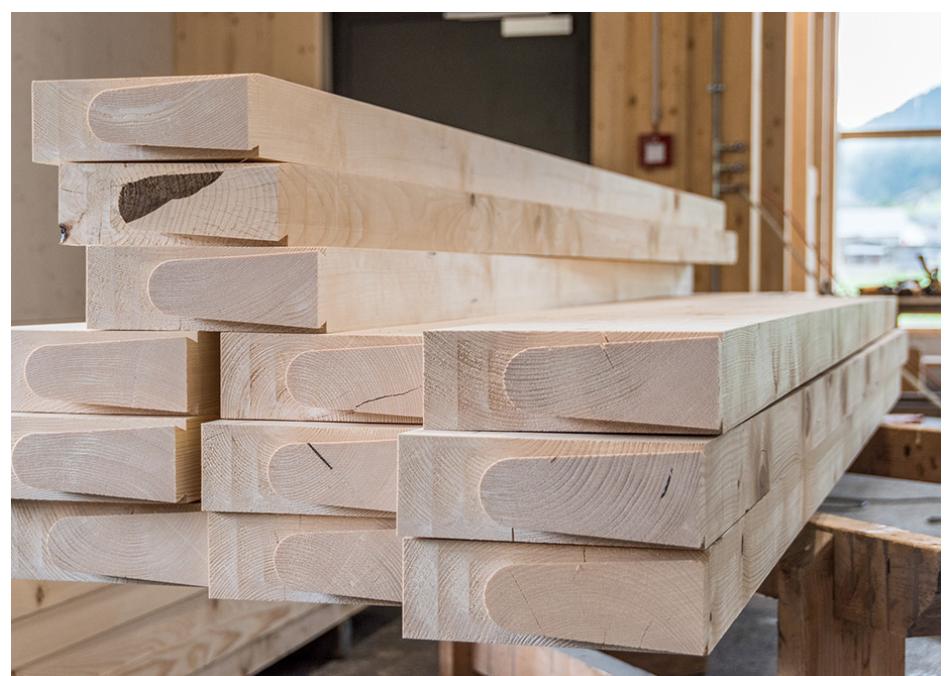
b

c

C 2.5

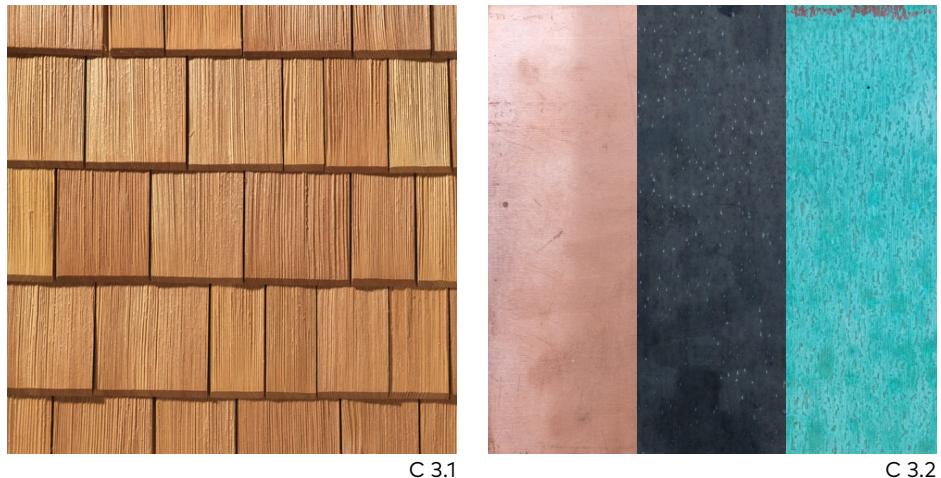
Rohstoffen eine negative CO₂-Bilanz. Das leim- und metallfreie KVH wird beim Treibhauspotential am stärksten begünstigt (Abb. C 2.4). Dabei sind als nachhaltig zertifizierte Hölzer (PEFC oder FSC) aus Wäldern lokaler Herkunft entscheidend für eine nachhaltige Bauweise. Traditionelle Zimmermannsverbindungen kommen ohne Metall aus und sind heute dank CNC-gefräster Profilierungen wieder wirtschaftlich (Abb. C 2.5) [4]. Im Holztafelbau können Schwelle, Ständer und Rähm reversibel mit CNC-gefrästen Steckverbindungen gefügt werden (Design for Disassembly) (Abb. C 2.6). Ebenso kann auf Nutzeranforderungen, die sich im

stetigen Wandel befinden, besser reagiert werden, wenn beispielsweise Fenster- oder Türöffnungen angepasst werden (Design for Adaptability). Grundsätzlich ist der leichte Skelettbau dem Massivbau vorzuziehen, da er sehr viel weniger Materialeinsatz benötigt [5]. Auch die Statik des Bestandsgebäudes wird durch die Aufstockung in Holzleichtbauweise geschont.



C 2.6

Hüllfläche

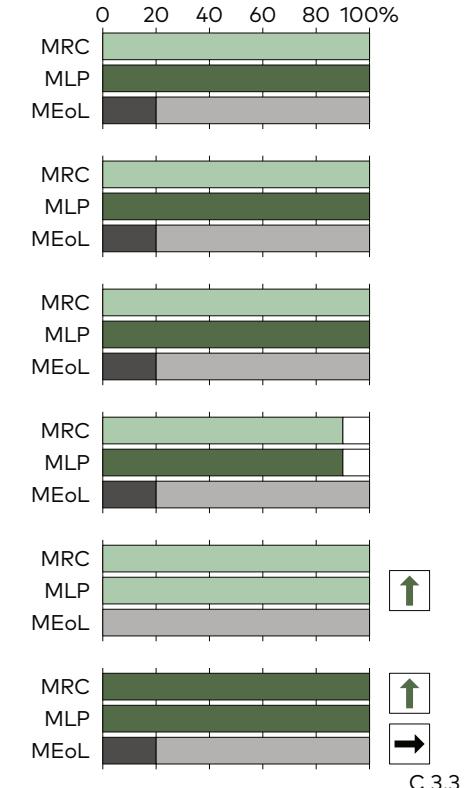


Oberflächen außen

Um mikroklimatischen Hitzeinseln vorzubeugen, eignen sich helle Oberflächen mit hoher Albedo, die sich weniger stark erhitzen [1].

Langlebigkeit setzt voraus, dass die Materialien mindestens 50 Jahre der Witterung standhalten, um den Wartungsaufwand und die Lebenszykluskosten so gering wie möglich zu halten. Im mittel-europäischen Raum überdauern Bekleidungen aus dauerhaften Lärchenholzschindeln am längsten (Abb. C 3.1) [2]. In Längsrichtung der Fasern gespalten und vertikal ausgerichtet, entwickeln sie im Regen eine natürliche silbrige Patina. Metallische Oberflächen symbolisieren den technischen Verwertungskreislauf. Auch

- Massivholzbretter/Lattungen
30-40 a D-s2 d0
- Lärchenholzschindeln
> 50 a E
- Thermoholz (TMT)¹
40 a D-s2 d0
- Holzwerkstoffplatte
40 a D-s2 d0
- Reet (Schilfrohr)²
30 a E
- Acetyliertes Holz (Kiefer)³
> 50 a (60 a) D-s2 d0



C 3.1

Lärchenholzschindeln

C 3.2

Kupferblech mit natürlicher Patina

C 3.3 und 3.6

Material-Cycle-Status

C 3.4

Titan-Zinkblech mit Solarsystem

C 3.5

Schrägdachkonstruktion, Maßstab 1:20

1) Thermory

2) Hiss Reet

3) Accoya® Holz

4) HISTAR®

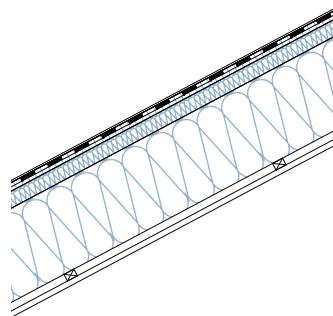
5) RHEINZINK-prePATINA®

6) TECU®

7) PV CYCLE



C 3.4



C 3.5

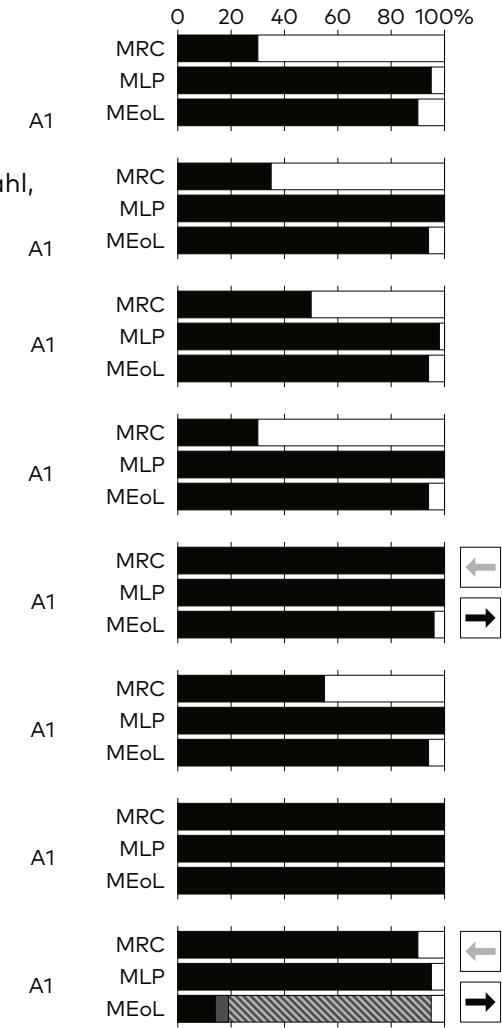
Kupferblech entwickelt eine natürliche Patina (Abb. C 3.5). Aus einer Doktorarbeit zur Messbarkeit von Kreislaufpotentialen gehen die Verwertungserlöse und Entsorgungskosten ökologischer Bauteile hervor [3]. Besonders viel Potential bietet demnach eine Schrägdachkonstruktion mit einer Doppelstehfalfzdeckung aus Zinkblech, die ganze + 6,97 €/m² Verwertungserlöse erzielt (Abb. C 3.5). Zum Vergleich: Das gleiche Bauteil mit Schieferplatten kostet - 0,96 €/m² in der Entsorgung. Das liegt auch an den versiegenden Reserven der Metalle, im Fall von Zink im Jahr 2030 oder auch Kupfer 2054 [4]. Als Alternative zu gewöhnlichem Zinkblech existiert eine C2C-zertifizierte Variante aus Titanzinkblech (Abb. C 3.4) [5]. Die selbstheilende Oberfläche ist sehr langlebig und wartungsfrei. Im Laufe der Zeit bildet sie eine blaugraue Patina. Durch Design for Disassembly ist der Rückbau schnell und unkompliziert. Die Herstellerrücknahme erreicht eine Recyclingquote von bis zu 96%. Die Doppelstehfalfzdeckung bietet eine integrierte Solarlösung (Abb. C 3.4). Star-Architekten wie Zaha Hadid, Daniel Libeskind oder Frank Gehry verwenden das Produkt ebenfalls [6].

- Stahlprofiltafel (verzinkt, polyesterbeschichtet) 40-45 a
- Edelstahl/wetterfester Baustahl, Blech⁴ 45 a (VHF)/> 50 a
- Aluminiumblech (lackiert) > 50 a
- Zinkblech 45 a (VHF)/> 50 a
- Titanzinkblech⁵ > 50 a (theoretisch > 100 a)
- Kupferblech > 50 a
- RC-Kupferblech⁶ > 50 a
- Photovoltaiksystem⁷ 30 a

Schrägdach

- ① Doppelstehfalfzdeckung Zinkblech 1 mm
- ② Unterdeckbahn, PP-Vlies mit TEEE-Membran, geklammert 0,5 mm
- ③ MDF-Platte 20 mm
- ④ Holzweichfaserdämmung 40 mm
- ⑤ KVH 60/220 mm, dazwischen
- ⑥ Holzweichfaserdämmung 220 mm
- ⑦ (Lattung)
- ⑧ (Deckenbekleidung)

C 3.5



C 3.6



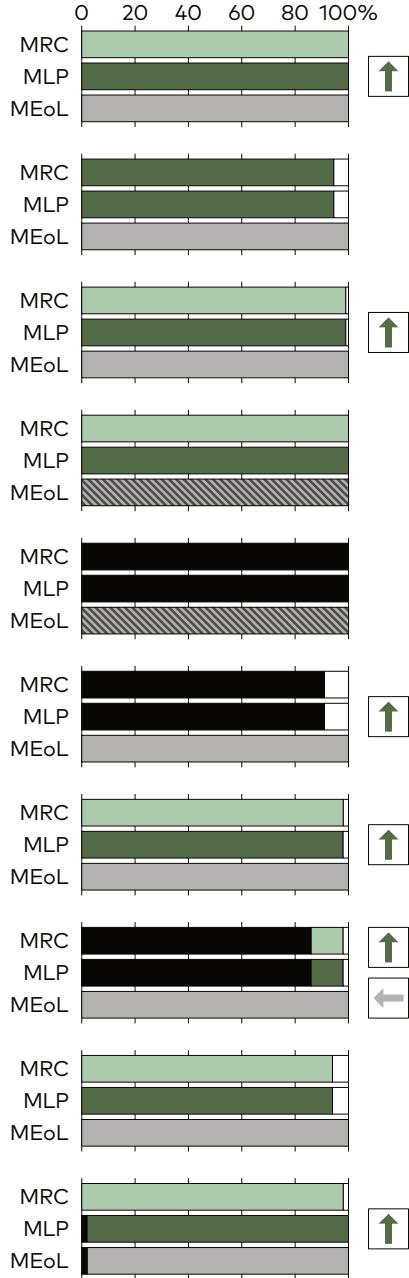
C 3.7

C 3.8

Dämmungen

Die im Bauwesen hauptsächlich verwendeten fossilen (z. B. EPS) und mineralischen Dämmstoffe (z. B. KMF) gehen unvermeidlich mit Qualitätsverlust am Ende ihres Lebenswegs einher. Bei den Lebenszykluskosten von EPS wird künftig von sehr hohen Abbruch- und Entsorgungskosten ausgegangen, die Zellulose-Einblasdämmung sowie die Jutefasermatten hingegen sind insgesamt sehr günstig (Abb. C 3.8) [7]. Eine Holzfaser-dämmplatte mit dem holzeigenen Lignin als Bindemittel erreicht im energieaufwendigen Nassverfahren bis zu 40 mm Dicke [8]. Seit Kurzem gibt es eine

- Holzfaserdämmplatte (Lignin)¹
 $\lambda = 0,040 \text{ W/(mK)}$ $\mu = 5$
 $\rho = 0,16 \text{ kg/dm}^3$ E
- Holzfaserdämmplatte (PUR-Harz)²
 $\lambda = 0,043 \text{ W/(mK)}$ $\mu = 4$
 $\rho = 0,19 \text{ kg/dm}^3$ C s1 d0
- Holzspandämmung (Soda, Molke)³
 $\lambda = 0,049 \text{ W/(mK)}$ $\mu = 2$
 $\rho = 0,07 \text{ kg/dm}^3$ E
- Korkdämmplatte⁴
 $\lambda = 0,037 \text{ W/(mK)}$ $\mu = 5-10$
 $\rho = 0,11 \text{ kg/dm}^3$ E
- Korkdämmgranulat⁵
 $\lambda = 0,045 \text{ W/(mK)}$ $\mu = 5-10$
 $\rho = 0,125 \text{ kg/dm}^3$ E
- Zelluloseflocken (boratfrei)⁶
 $\lambda = 0,039 \text{ W/(mK)}$ $\mu = 2$
 $\rho = 0,03-0,06 \text{ kg/dm}^3$ B s2 d0
- Hanffasermatte (Maisstärke)⁷
 $\lambda = 0,040 \text{ W/(mK)}$ $\mu = 3,9$
 $\rho = 0,090-0,094 \text{ kg/dm}^3$ B s1 d0
- Jutefasermatte (PLA-Stützfaser)⁸
 $\lambda = 0,038 \text{ W/(mK)}$ $\mu = 1-2$
 $\rho = 0,034-0,04 \text{ kg/dm}^3$ E
- Kokosfaserdämmung
 $\lambda = 0,045-0,050 \text{ W/(mK)}$ $\mu = 1-2$
 $\rho = 0,05-0,14 \text{ kg/dm}^3$ E
- Schilfrohrdämmematte
 $\lambda = 0,061 \text{ W/(mK)}$ $\mu = 1-2$
 $\rho = 0,19-0,225 \text{ kg/dm}^3$ E



C 3.9

C 3.7
Holzspandämmung

C 3.8

Jutefasermatte

C 3.9 und 3.13

Material-Cycle-Status

C 3.10

Seegraswolle

C 3.11

Myzel

C 3.12

Denimfasern

1) UdiTHERM SK®

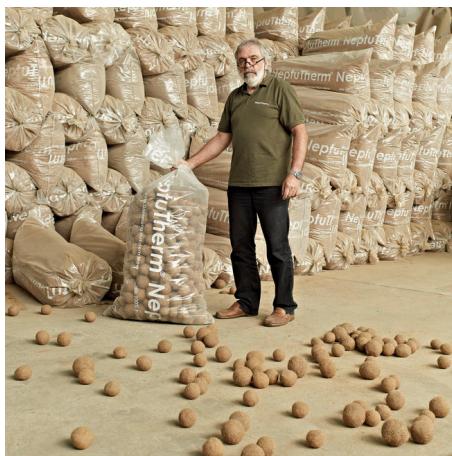
2) GUTEX Pyroresist® wall

3) HOIZ - Hobelspandämmung

4) Corktherm 040

5) KING KORK®

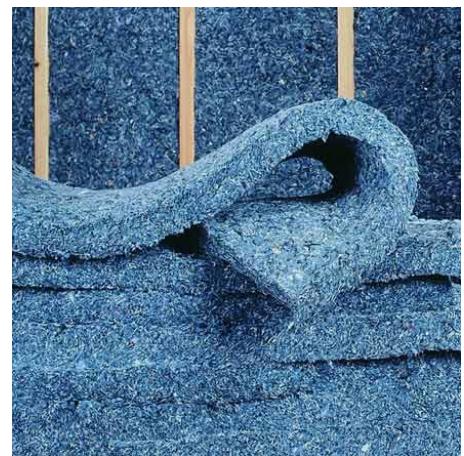
6) THERMOFLOC



C 3.10



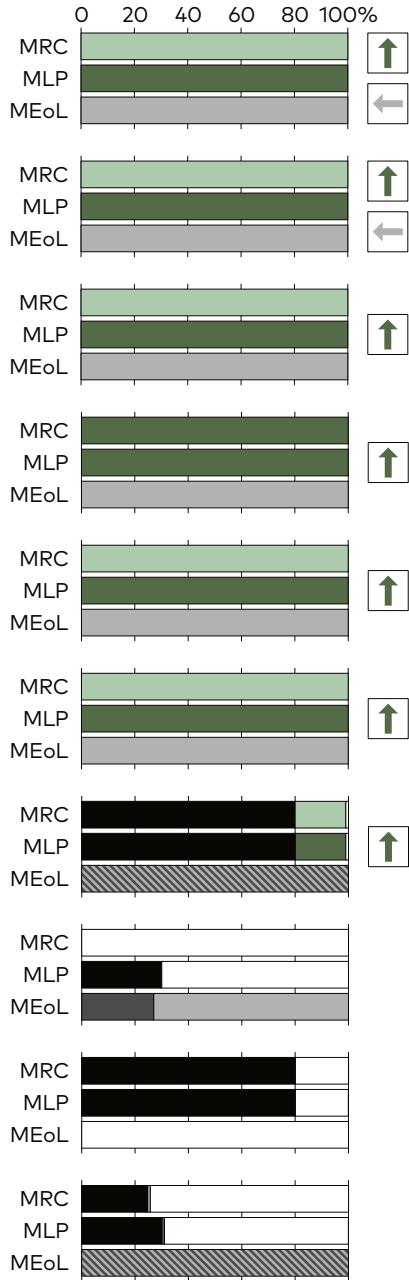
C 3.11



C 3.12

FSC-zertifizierte, nicht glimmende Holzfaserdämmplatte, die sich durch einen geringen Anteil an PUR-Harz und Paraffin für Aufstockungen der Gebäudeklassen 4 und 5 eignet [9]. In Deutschland existiert eine Holzspandämmung, die mit der C2C-Zertifizierung in Gold versehen wurde (Abb. C 3.7). Das Salz Soda wirkt pilzabweisend, während Molke aus der Käseerzeugung den Brandschutz gewährleistet. Dadurch wird eine Nutzungsdauer von 100 Jahren erreicht [10]. Das Spurenelement Bor in Zelluloseflocken zählt zu den Substances of Very High Concern (SVHC) und kann durch Additive auf mineralischer Sulfatbasis ersetzt werden [11]. In Hanf- oder Jutefasermatten eignet sich auch Maisstärke anstelle der PLA-Stützfaser [12]. Exotische Dämmstoffe (z. B. Kokosfaserdämmung) sollten aufgrund langer Transportwege vermieden werden. Die herausragende Wärmespeicherkapazität der DGNB-zertifizierten Seegraswolle ist hingegen Auslegungssache (Abb. C 3.10) [13]. Ein von C2C ebenfalls in Gold zertifizierter Dämmstoff besteht hauptsächlich aus Mycel, das alle 15 Minuten nachwächst (Abb. C 3.11) [14]. Aus bis zu 80% recycelten Jeans entsteht eine Zwischensparrendämmung aus Denim- und Baumwollfasern (Abb. C 3.12) [15].

- Seegraswolle⁹
 $\lambda = 0,039\text{--}0,046 \text{ W/(mK)}$
 $\rho = 0,065\text{--}0,075 \text{ kg/dm}^3$
 $\mu = 1\text{--}2$
E
- Schafschurwolle¹⁰
 $\lambda = 0,039 \text{ W/(mK)}$
 $\rho = 0,018 \text{ kg/dm}^3$
 $\mu = 1\text{--}2$
E s1 d0
- Weizenstroh¹¹
 $\lambda = 0,043 \text{ W/(mK)}$
 $\rho = 0,105 \text{ kg/dm}^3$
 $\mu = 2,8$
E
- Flachs¹²
 $\lambda = 0,038 \text{ W/(mK)}$
 $\rho = 0,027\text{--}0,033 \text{ kg/dm}^3$
 $\mu = 1$
E
- Wiesengras-Zellulose¹³
 $\lambda = 0,042 \text{ W/(mK)}$
 $\rho = 0,04\text{--}0,065 \text{ kg/dm}^3$
 $\mu = 1\text{--}2$
E
- Myzel (Pilz)¹⁴
 $\lambda = 0,039 \text{ W/(mK)}$
 $\rho = 1,2 \text{ kg/dm}^3$
 $\mu = 30$
E
- Denimfasern (Borsalzlösung)¹⁵
 $\lambda = 0,030\text{--}0,125 \text{ W/(mK)}$
 $\rho = 0,016 \text{ kg/dm}^3$
 $\mu = 1$
E
- Polystyrol Hartschaum (EPS)
 $\lambda = 0,035\text{--}0,045 \text{ W/(mK)}$
 $\rho = 0,015\text{--}0,03 \text{ kg/dm}^3$
 $\mu = 20\text{--}100$
E
- Glaswolle (KMF)¹⁶
 $\lambda = 0,035 \text{ W/(mK)}$
 $\rho = 0,018\text{--}0,021 \text{ kg/dm}^3$
 $\mu = 1$
A1
- Steinwolle (KMF)¹⁷
 $\lambda = 0,035 \text{ W/(mK)}$
 $\rho = 0,04 \text{ kg/dm}^3$
 $\mu = 1$
A1



C 3.13

7) Capatect Hanf Wall

8) THERMO JUTE 100 PLUS

9) NeptuTherm®

10) Isolena Optimal

11) ISO-Stroh

12) Magripol PREMIUM

13) AgriCellBW

14) Mushroom® Insulation

15) UltraTouch™ Denim Insulation

16) Naturoll 035

17) ROCKWOOL® Klemmrock 035



C 3.14

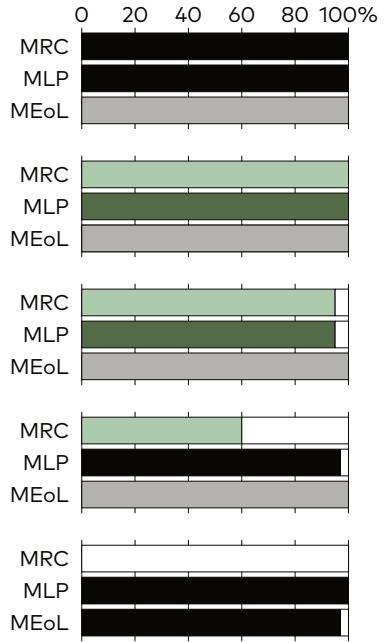


C 3.15

Abdichtungen und Trennlagen

Auf Verklebungen mit dem Untergrund und mehrschichtige Produkte sollte für den sortenreinen Rückbau weitestgehend verzichtet werden [16]. Graupappe aus Zellulose-Recycling-Fasern ist atmungsaktiv, schallmindernd und saugfähig. Sie wird hauptsächlich als Trennlage unter Gussasphaltestrichen oder als Rieselschutz unter Schüttungen eingesetzt [17], so auch Kraftpapier aus langfasrigen Nadelhölzern [18]. Anstelle der herkömmlichen PE-Folie, kann auf eine Winddichtung aus Schafsschurwolle auf Kraftpapier zurückgegriffen werden (Abb. C 3.17) [19].

- Trennlage, Rieselschutz (Graupappe)¹
0,34 mm $\mu = 2-5$
> 50 a E
 - Rieselschutz (Kraftpapier)²
0,1 mm $\mu = 400$
30 a E
 - Winddichtung (Schafschurwolle)³
2 mm $\mu = 400$
30 a E
 - Dachabdichtung (pflanzliche Basis)⁴
3 mm $\mu = 28\ 000$
30 a E
 - Dampfsperre (Aluminium)⁵
0,05 mm $\mu = 50\ 000\ 000$
> 50 a A1



C 3.16

G.3.14

Dachabdichtung auf pflanzlicher Basis

C 3.15

Polymerbitumen-Schweißbahn mit

Klettstreifen

C 3.16 und 3.20

Mater

C 3.17

Winddichtung

Kraftp

C 3.18

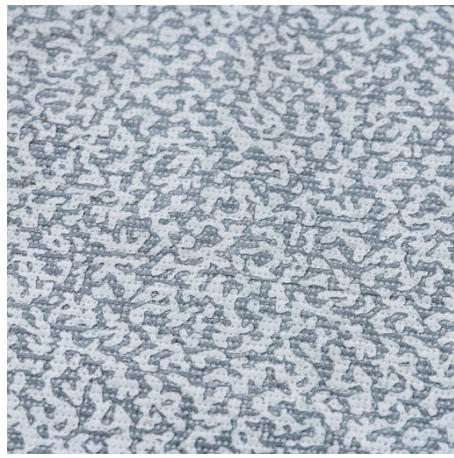
Fassa

C 3.19

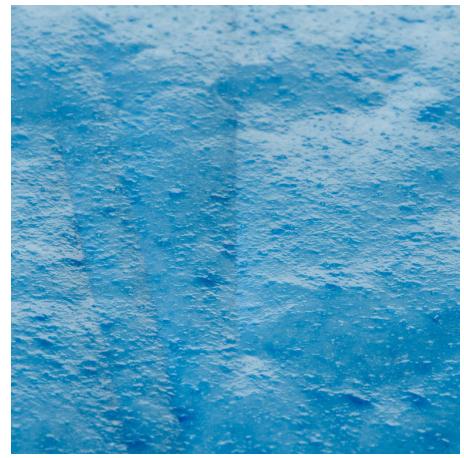
- 1) Graupappe 250
 - 2) Sisalex® 30
 - 3) Woolin
 - 4) DERBIPURE®
 - 5) Aluminium Grobkorndampfsperre
 - 6) DuPont™ Tyvek® Monolayer 80
 - 7) DuPont™ Tyvek® Soft Antireflex
 - 8) AIRSTOP VAP Dampfbremse
 - 9) ECOVAP blue
 - 10) HERTALAN® EASY COVER



C 3.17



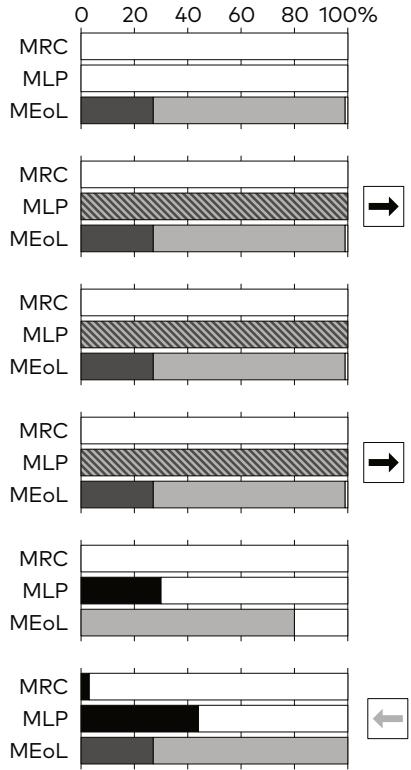
C 3.18



C 3.19

Auch bei der Dachabdichtung gibt es ein Produkt auf pflanzlicher Basis, das zudem C2C-zertifiziert ist (Abb. C 3.14) [20]. Biomimikry dient als Vorbild für innovative Produkte, die von der Natur inspiriert sind, wie zum Beispiel eine Abdichtungsbahn mit einem Klettverschluss (Kletten) (Abb. C 3.15) [21]. PE-Folien können am Ende ihrer Nutzungsdauer nahezu vollständig weiterverwertet werden (Abb. C 3.18-3.19). Auf den Untergrund getackert, bleibt der selektive Rückbau auch wirtschaftlich [22].

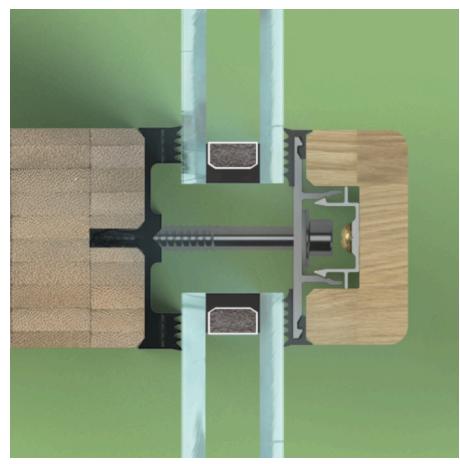
- Unterdeck-, Unterspann- und Fassadenbahn (PE-HD)⁶
0,22 mm $\mu = 114$
30 a E
- Fassadenbahn (PE-HD)⁷
0,175 mm $\mu = 143$
> 50 a E
- Dampfbremse (PE-LD)⁸
0,2 mm $\mu = 500\ 000$
50 a E
- Dampfsperre (PE-LD)⁹
0,2 mm $\mu = 750\ 000-1\ 050\ 000$
> 50 a E
- Abdichtungsbahn (Bitumen)
3-5 mm $\mu = 50\ 000$
50 a E
- Dachabdichtungsbahn (EPDM)¹⁰
1,3/1,5 mm $\mu = 70\ 000$
> 50 a E



C 3.20



C 3.21



C 3.22

Verglasungen

Im von der DGNB Platin-zertifizierten Verwaltungsgebäude RAG in Essen (siehe „Verwaltungsgebäude RAG“, S. 10 f.) sind C2C-zertifizierte, dreifachverglaste Aluminium-fenster verbaut (Abb. C 3.21) [23].

Bei den Holzfenstern kann auf geklebte oder geschäumte Anschlüsse verzichtet werden, indem ein Kalfaterband aus Hanf luftdicht verschließt [24]. Ein deutscher Hersteller bietet ein CO₂-neutrales Fassadensystem aus FSC-zertifiziertem Bambus an (Abb. C 3.22) [25]. In einem Forschungsvorhaben der TU München unter der Projektleitung von Florian Nagler wurden

- Fensterrahmen aus Holz

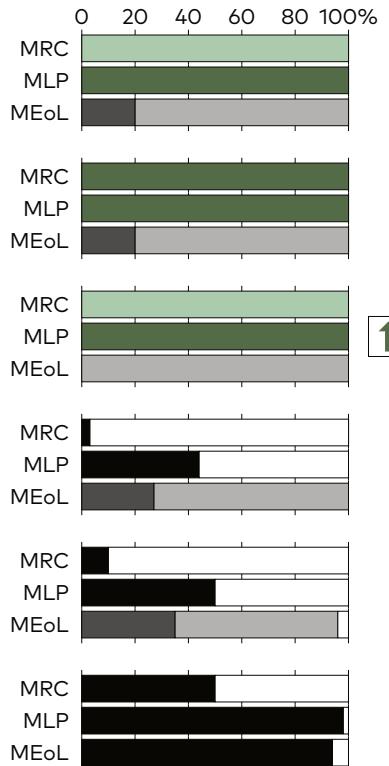
- Fassadensystem aus Bambus¹

- Kalfaterband aus Hanf²

- Folienanschlusslappen (EPDM)

- Floatglas für Isolierverglasungen³

- Fensterrahmen aus Aluminium



C 3.23

C 3.21

Fensterrahmen aus Aluminium

C 3.22

Fassadensystem aus Bambus

C 3.23

Material-Cycle-Status

C 3.24

Innen auf die Wand geschraubtes Fenster

C 3.25

Tageslichtsimulation

60

1) Stabalux Bamboo

2) Kalfaterband H-KB-30

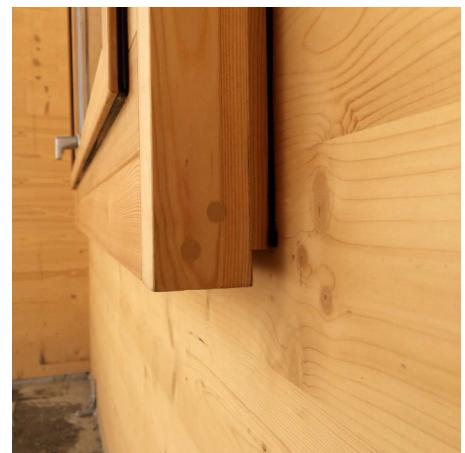
3) Float Glass C2C



a



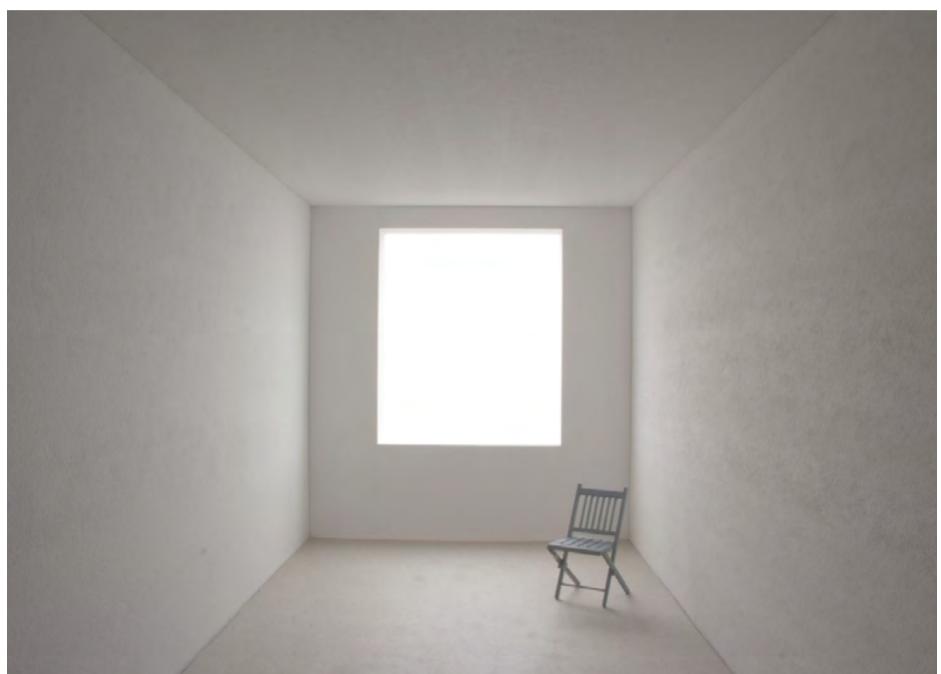
b



c

C 3.24

einfache, energieeffiziente und ressourcenschonende Bauweisen näher untersucht [26]. Die Fenster werden von innen an die Wand geschraubt (Abb. C 3.24). Dadurch wird eine maximale Tiefe für die Selbstverschattung erreicht. Der konstruktive Holzschutz verringert die Instandhaltungsarbeiten und erhöht die hochwertigen Verwertungschancen [27]. Zur Belichtung wurden Lage und Größe der Fenster optimiert, um sowohl die sommerlichen Überhitzungsstunden, als auch den winterlichen Energieverbrauch zu reduzieren (Abb. C 3.25). Als Schwingfenster mit mittiger Drehachse ermöglichen sie zudem eine sehr effektive Nachtlüftung.



C 3.25

Innenausbau



C 4.1

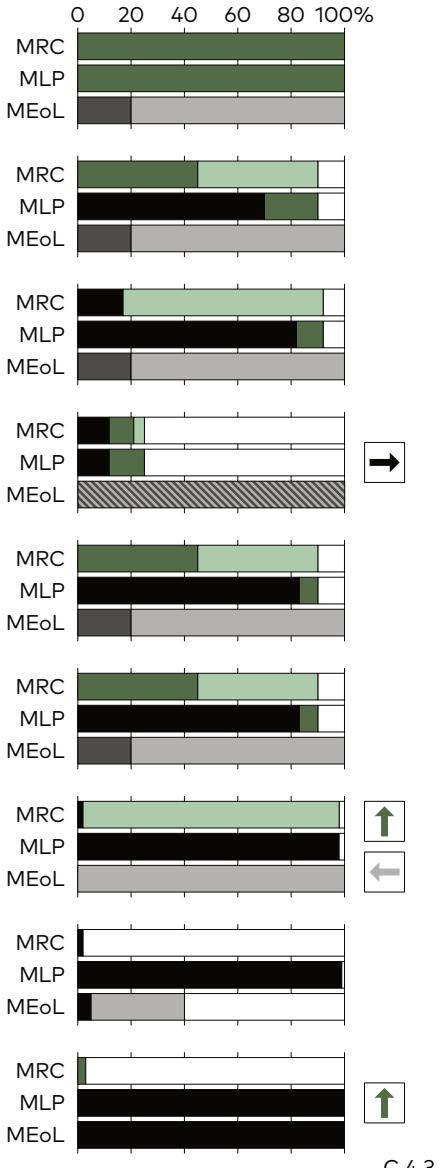


C 4.2

Oberflächen innen

Die Menschen in Mitteleuropa verbringen 90% ihrer Zeit in Innenräumen. Dabei atmen sie täglich 10-20 m³ Luft ein. Für gesunde Innenräume sollten aus diesem Grund erhöhte Schadstoffkonzentrationen sogenannter Volatile Organic Compounds (VOC) in Lösungsmitteln vermieden werden. [1]. Der gesetzliche Mindeststandard E1 kennzeichnet leimhaltige Platten, die den Formaldehyd-Grenzwert von 124 µg/m³ (0,1 ppm) einhalten. Für die DGNB-Zertifizierung ist der Zielwert < 60 µg [2]. Die GFM-Platte, eine Massivholz-Diagonalplatte, ist rein

- Massivholz-Diagonalplatte¹
 $\lambda = 0,13 \text{ W/(mK)}$ $\mu = 207/22 (10\%/60\%)$
D-s2 d0-d2
 - OSB-Platte²
 $\lambda = 0,13 \text{ W/(mK)}$ $\mu = 200/300$
E1 D-E-s2 d0-d2
 - Spanplatte³
 $\lambda = 0,10-0,18 \text{ W/(mK)}$ $\mu = 50/100$
E1 D-s2 d0-d2
 - Spanplatte (zementgebunden)⁴
 $\lambda = 0,35 \text{ W/(mK)}$ $\mu = 67/40$
E1 B-s1 d0
 - Holzfaserplatte (außenseitig)⁵
 $\lambda = 0,09 \text{ W/(mK)}$ $\mu = 11$
E1 D-s2 d0-d2
 - Holzfaserplatte (innenseitig)⁶
 $\lambda = 0,18 \text{ W/(mK)}$ $\mu = 185$
E1 E-s2 d0-d2
 - Strohbauplatte⁷
 $\lambda = 0,10 \text{ W/(mK)}$ $\mu = 10/10$
E
 - Gipskartonplatte
 $\lambda = 0,25 \text{ W/(mK)}$ $\mu = 10/4$
A2-s1 d0
 - Lehm bauplatte⁸
 $\lambda = 0,35 \text{ W/(mK)}$ $\mu = 5-10$
A1



C 4.3

C 4.1

Massivholz-Diagonalplatte

C 4.2

Lehmauplatte

C 4.3 und 4.7

Material-Cycle-Status

C 4.4

Plattenwerkstoff aus Zellulosefasern

C 4.5

Plattenwerkstoff aus PE-HD, HIPS, PET

4.6

Glaskeramik aus Recyclingglas

1) GFM-Diagonalplatte

2) Kronoply OSB

3) LivingBoard

4) Holzzementplatte Duripanel B1

5) KRONOTEC MDF

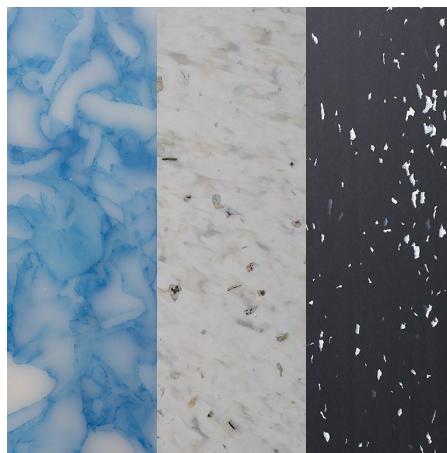
6) FunderPlan

7) ISTRAW Strohbauplatte

8) AGATON LEHM



C 4.4



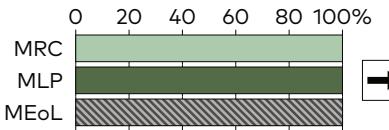
C 4.5

C 4.6

mechanisch mit Schwalbenschwanzverbindungen ohne Leim gefügt. Durch die dampf-diffusionsoffene und dennoch luftdichte Platte sind keine Luftdichtigkeitsfolien erforderlich. Außerdem wird die Transportsteifigkeit der Raummodule durch eine statisch aussteifende Massivholz-Diagonalplatte gewährleistet (Abb. C 4.1). Durch Verzicht auf weitere raumseitige Beplankungen kann die sehr gute spezifische Wärmekapazität von Vollholz ausgenutzt werden [3]. Zur Regulierung des Innenraumklimas eignen sich neben Holz auch Stroh-, Hanf- und Lehmabplatten (Abb. C 4.2) [4]. Die Raumakustik kann durch natürlichen Wollfilz zusätzlich verbessert werden [5]. Im Badmodul bietet sich ein Plattenwerkstoff aus zu 100% recyceltem Plastik an, der am Ende der Nutzungsdauer zu 100% weiterverwertbar ist (Abb. C 4.5) [6]. Auf Silikonfugen und Klebungen kann in den Bädern ganzheitlich verzichtet werden, indem konstruktive Pressfugen geplant werden [7]. Glaskeramik aus eingeschmolzenem Recyclingglas erzielt vergleichbare Recyclingquoten im Nassbereich [8]. Ein weiteres Beispiel für Biomimikry ist hier der Lotuseffekt, der das Wasser nach dem Vorbild der Lotusblume abperlen lässt. Dadurch können der Putzaufwand und der Wasserverbrauch erheblich reduziert werden [9].

● Textilien (Wolle)⁹

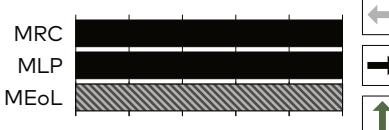
B-s1



● Plattenwerkstoff (Zellulosefasern)¹⁰

$\lambda = 0,4 \text{ W/(mK)}$ $\mu = 100\ 000$

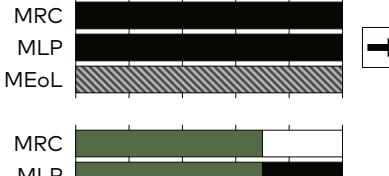
E



● Plattenwerkstoff (Getränkekartons)¹¹

$\lambda = 0,13 \text{ W/(mK)}$ $\mu = 12/3$

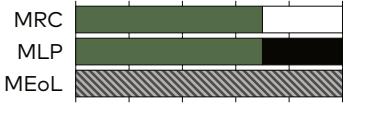
B-s1 d0



● Trockenbauplatte (Lehm, Ton, Hanf)¹²

$\lambda = 0,13 \text{ W/(mK)}$ $\mu = 12/3$

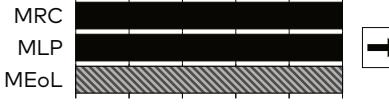
B-s1 d0



● Plattenwerkstoff (PE-HD, HIPS, PET)¹³

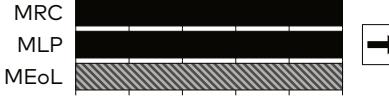
$\lambda = 0,4 \text{ W/(mK)}$ $\mu = 100\ 000$

E



● Ziegelstein (Bauschutt)¹⁴

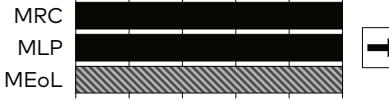
A1



● Dämmplatte (Recyclingglas)¹⁵

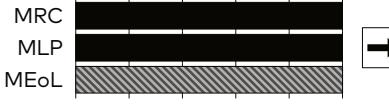
$\lambda = 0,08 \text{ W/(mK)}$ $\mu = 3,5/4$

A1



● Glaskeramik (Recyclingglas)¹⁶

A1



C 4.7

9) Designfilz NATUR

10) ECOR FlatCOR - ECOR Brown

11) ReWall® NakedBoard

12) Claytec Greentech

13) 700Smile Plastics®

14) WasteBasedBricks®

15) Reapor®

16) MAGNA Glaskeramik®



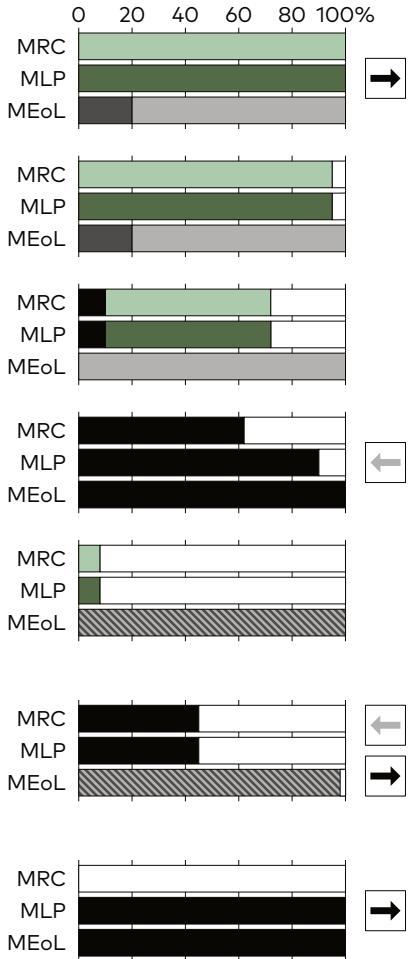
C 4.8

C 4.9

Fußboden aufbauten

Die wertigen Massivholzdielen wirken sich positiv auf die Behaglichkeit der Innenräume aus (Abb. C 4.8) [10]. Durch die sehr lange Lebensdauer entstehen keine zusätzlichen Ausbau-, Entsorgungs- oder Instandsetzungskosten. Am Ende des Lebenszyklus kann die natürliche Patina sogar eine Wertsteigerung bei Wieder-verwendung erzielen [11]. Im Sinne der Material- und Ressourceneffizienz wird der komplette Querschnitt des Baumstammes genutzt, was sich in leichten Farbabweichungen und unterschiedlichen Dielenbreiten äußert. Durch die Behandlung mit

- Massivholzdielen (Eiche, Buche, Fichte)
-> 50 a D_{f1}-s1-C_{f1}-s1
- Mehrschichtparkett (Eiche 20 mm)
40 a D_{f1}-s1-C_{f1}-s1
- Linoleum¹
10 a C_{f1}-s1
- Nylon-Teppichfliese²
10 a B_{f1}-s1
- Kautschuk-Bodenbelag³
30 a B_{f1}-s1
- Keramikfliesen⁴
-> 50 a (75 a) A1
- Edelstahl Bodenbelag (Bad)⁵
-> 50 a A1



C 4.8

Nylon-Teppichfliese

C 4.9

Keramikfliesen

C 4.10 und 4.14

Material-Cycle-Status

C 4.11

Hoch schalldämmendes Wabensystem

C 4.12

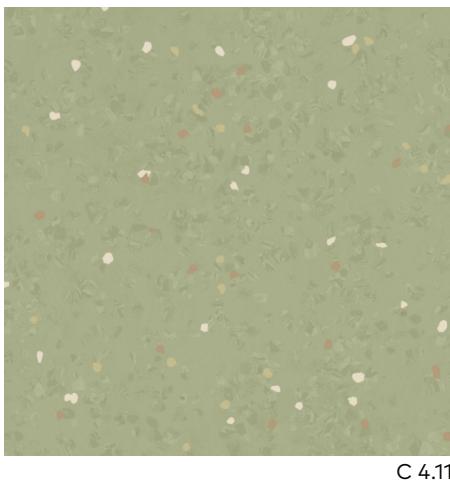
Fußbodenheizung mit Gussasphaltestrich

C 4.13

Fußbodenheizung mit Wärmeleitblechen

- 1) Marmoleum
- 2) Desso Gold Collection
- 3) noraplan®
- 4) Mosa Bodenfliesen
- 5) FIGER Kunstschmiede

- 6) Kronoplly OSB
- 7) thermisto System Natura (STEICObase)
- 8) cuprotherm-Fußbodenheizung
- 9) LITHOTHERM®
- 10) Janßen-Flächenheizungen



einem biologischen Öl werden gesundheitsschädliche VOC vermieden. In Gold C2C-zertifizierte Teppichfliesen werden mit einem speziellen Tape auf dem Untergrund befestigt und können dank der Herstellerrücknahme am Ende der Nutzungsdauer zu 100% ohne Qualitätsverlust wieder-verwertet werden (Abb. C 4.9) [12]. Ein Kautschuk-Bodenbelag mit dem C2C-Silberzertifikat gewährleistet eine überdurchschnittliche Lebensdauer von 30 Jahren (Abb. C 4.11). Verglichen mit PVC- oder Linoleumböden bietet er guten Lärmschutz [13]. Ebenfalls C2C Silber zertifizierte Keramikfliesen mit einer Nutzungsdauer von 75 Jahren steigern die Effizienz von Niedertemperatur-Heizsystemen (Abb. C 4.12) [14]. Allerdings ist der selektive Rückbau erschwert. Hier bietet sich ein metallischer Bodenbelag mit hohem Potential zur Wiederverwendung und Wiederverwertung an (Abb. C 4.13) [15]. Gussasphalt-estrich nimmt im Bad keine Feuchtigkeit auf. In Kombination mit Kupferrohren und Graupappe als Trennlage besitzt er als trittschalldämmende FBH ein hohes Recyclingpotential. Auch farblich helle Varianten sind durch Zuschlagstoffe möglich [16]. Als Fußbodenheizung dienen zudem recyclingfähige, rückbaubare Kupferrohre mit Wärmeleitblechen und Schüttung oder Tongranulat-Formplatten.

● OSB-Platte⁶
 $\lambda = 0,4 \text{ W/(mK)}$
 $> 50 \text{ a}$

$\mu = 200/300$
Dfl-s1-E

● Holzweichfaserplatten⁷
 $\lambda = 0,048 \text{ W/(mK)}$
 $> 50 \text{ a}$

$\mu = 5$
E

● Kork-Trittschalldämmung
 $\lambda = 0,037 \text{ W/(mK)}$
 $> 50 \text{ a}$

$\mu = 5-10$
E

● Gussasphaltestrich⁸
 $\lambda = 0,7 \text{ W/(mK)}$
 $> 50 \text{ a}$

$\mu = 50\,000$
Bfl-s1

● Gipskartonplatte
 $\lambda = 0,25 \text{ W/(mK)}$
 $> 50 \text{ a}$

$\mu = 10/4$
A2-s1

● Tongranulat-Formplatten⁹
 $\lambda = 0,89 \text{ W/(mK)}$
 $> 50 \text{ a}$

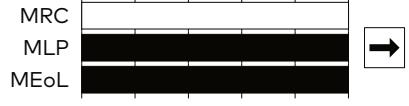
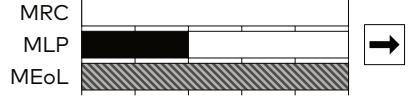
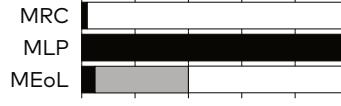
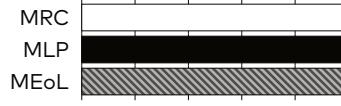
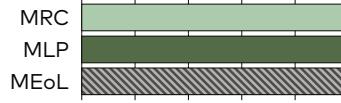
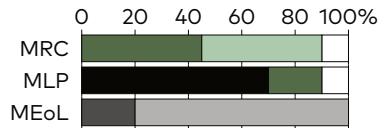
A1

● Aluminium-Wärmeleitbleche¹⁰
 $> 50 \text{ a}$

A1

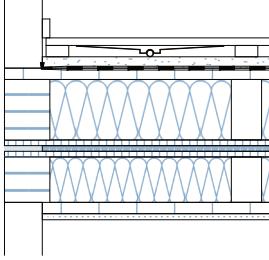
● Kupfer-Wärmeleitbleche¹⁰
 $> 50 \text{ a}$

A1



C 4.14

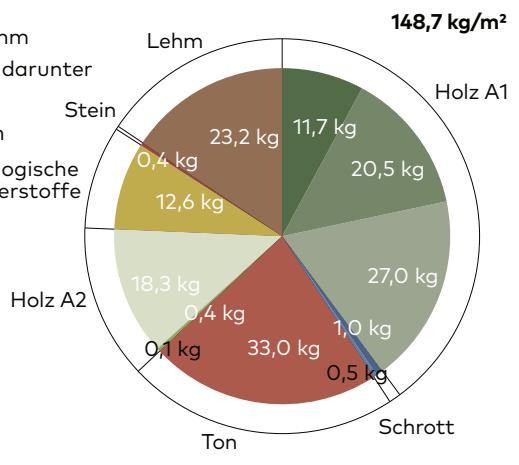
Raummodul



Decke (48⁵ cm)

Massivholzdielen (z. B. Esche) 20 mm, flexible Breite

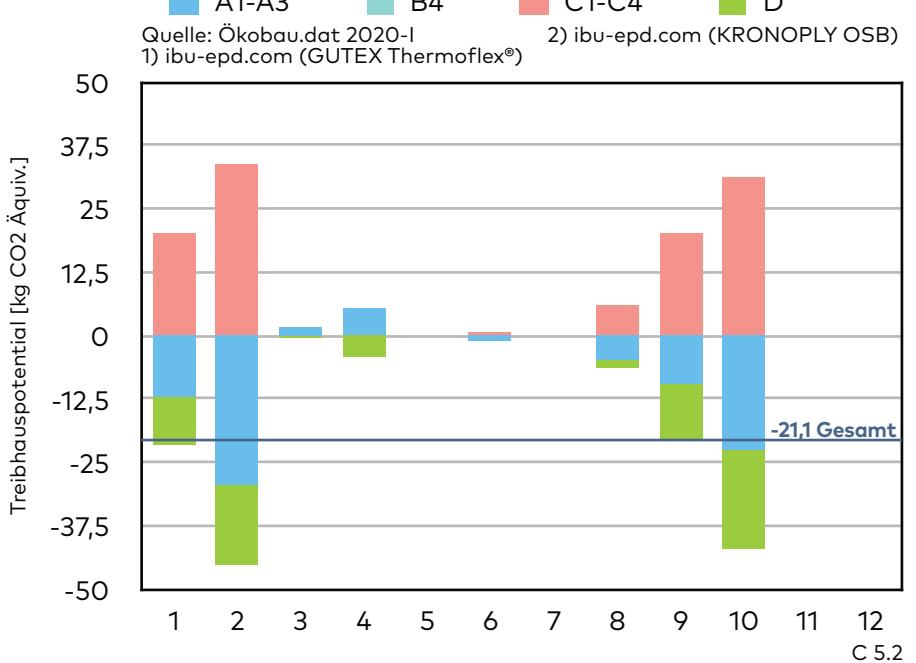
- ① Lattung 60/30 mm (Installationsebene),
- ② dazwischen FBH mit Kupferrohren und
- ③ Aluminium-Wärmeleitbleche 120/390/1 mm
- ④ Lattung 60/30 mm (Installationsebene), darunter
- ② dazwischen Schüttung aus RC-Ziegel
- ⑤ Korkstreifen zur Schallentkopplung 8 mm
- ⑥ Rieselschutz Kraftpapier 0,1 mm
- ⑦ Massivholz-Diagonalplatte 30 mm
- ⑧ KVH 60/160 mm, dazwischen
- ② Holzfaser-Gefachdämmung¹ 160 mm
- ⑨ OSB-Platte² 15 mm
- ⑩ Steinwolle 15 mm
- ⑪ OSB-Platte² 15 mm
- ⑩ KVH 60/120 mm, dazwischen
- ② Holzfaser-Gefachdämmung¹ 120 mm
- ⑨ Massivholz-Diagonalplatte 30 mm
- ⑧ Lehmpalte 16 mm (Lehmputz 3 mm)



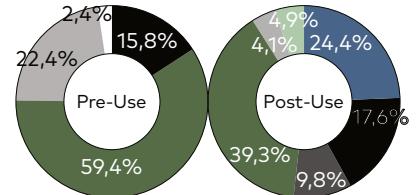
C 5.1

Decke

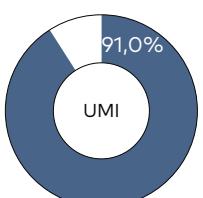
Die Massivholzdielen regulieren das Raumklima, besitzen eine hohe thermische Speicherfähigkeit, sind wertbeständig, regional verfügbar, CO₂-negativ, und vollständig recyclebar. Durch die flexible Breite der Bretter wird der Verschnitt möglichst gering gehalten. Auch die FBH aus Kupferrohren mit Aluminium-Wärmeleitblechen erzielt eine Wertsteigerung, zudem ist der selektive Rückbau wirtschaftlich. Auch eine Heiz-Kühldecke ist mit diesem Aufbau möglich. Für die Schüttung kommen RC-Ziegel des Bestandsdachs zum Einsatz, wodurch innerstädtische Transportwege vermieden werden.



C 5.2



	Pre-Use	Post-Use	Total
Closed-Loop-Potential	75,2%	91,0%	166,2%
Loop-Potential	97,6%	100,0%	197,6%



Urban Mining Indicator	91,0%
C 5.3	

C 5.1

Decke Materialien, Maßstab 1:20

C 5.2

Deckenkonstruktion (GWP)

C 5.3

Deckenkonstruktion (UMI)

C 5.4

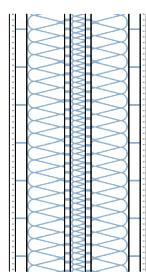
Trennwand Materialien, Maßstab 1:20

C 5.5

Trennwandkonstruktion (GWP)

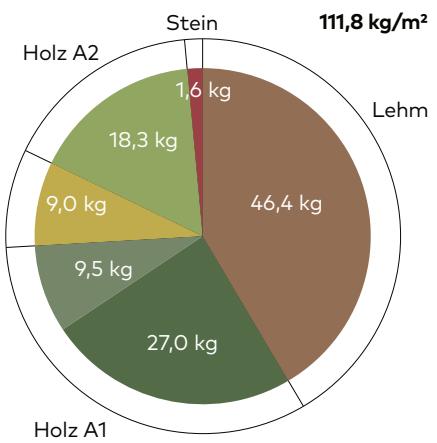
C 5.6

Trennwandkonstruktion (UMI)

**Trennwand (37 cm)**

Lehmplatte 16 mm (Lehmputz 3 mm)

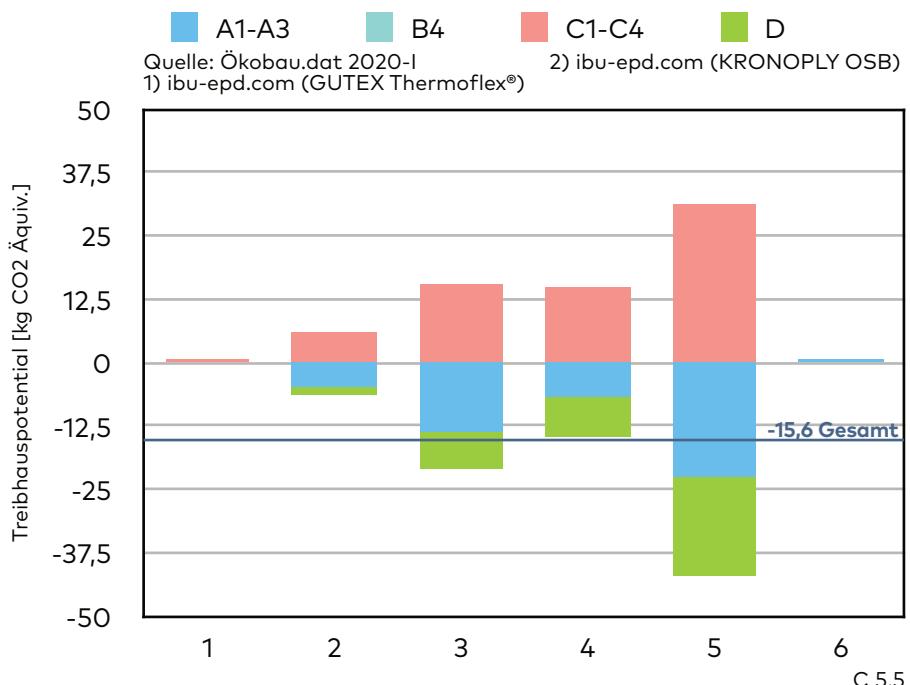
- ① Massivholz-Diagonalplatte 30 mm
- ② KVH 60/100 mm, dazwischen
- ③ Holzfaser-Gefachdämmung¹ 100 mm
- ④ OSB-Platte² 15 mm
- ⑤ Steinwolle 40 mm
- ⑥ OSB-Platte² 15 mm
- ⑦ KVH 60/100 mm, dazwischen
- ⑧ Holzfaser-Gefachdämmung¹ 100 mm
- ⑨ Massivholz-Diagonalplatte 30 mm
- ⑩ Lehmplatte 16 mm (Lehmputz 3 mm)
- ⑪



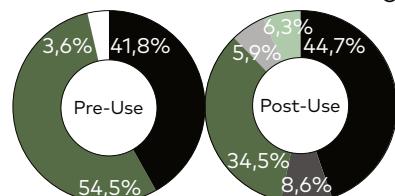
C 5.4

Trennwand

Für das KVH kann auf leichtes Weißtannenholz mit CNC-gefrästen Steckverbindungen zurückgegriffen werden. Die natürlichen, regionalen Lehmbauplatten sind zu 100% recyclebar, bieten hohen Schallschutz und sind nicht brennbar (A1). Durch ihre hohe Rohdichte weisen sie bei gleicher Stärke eine 60% höhere thermische Speicherfähigkeit auf als Leichtlehmplatten [1]. Indem sie die Luftfeuchtigkeit regulieren, können sie im Badmodul im spritzwassergeschützten Bereich eingesetzt werden, um nach dem Duschen beschlagene Spiegel und Fenster zu vermeiden.



C 5.5



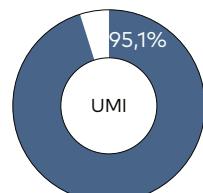
	Pre-Use	Post-Use	Total
Closed-Loop-Potential	96,4%	87,8%	184,2%
Loop-Potential	96,4%	100,0%	196,4%

Pre-Use

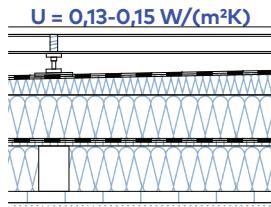
- Wiederverwendung (RU)
- Wiederverwertete Materialien (RC)
- Materialien aus nachgewachsenen Rohstoffen (RN)
- Weiterverwertete Materialien (DC)
- Primärrohstoffe, nicht erneuerbar (PR)

Post-Use

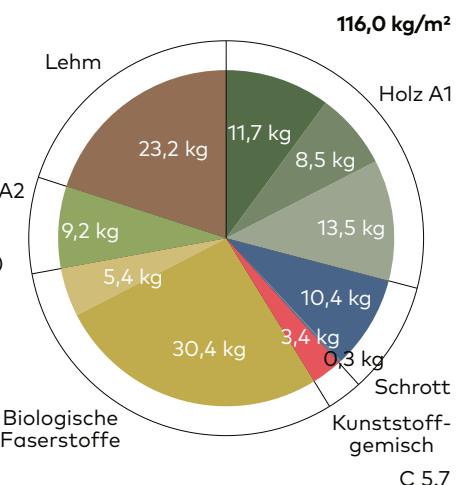
- Wiederverwendbare Materialien (ru)
- Wiederverwertbare Materialien (rc)
- Weiterverwertbare Materialien, als nachhaltig zertifiziert (dc_cr)
- Energetisch verwertbare Materialien, als nachhaltig zertifiziert (en_cr)
- Weiterverwertbare Materialien (dc)
- Energetisch verwertbare Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen (en_r)
- Energetisch verwertbare Materialien, fossil oder Abfallentsorgung (d)



Urban Mining Indicator	95,1%
C 5.6	

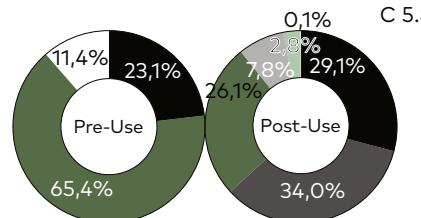
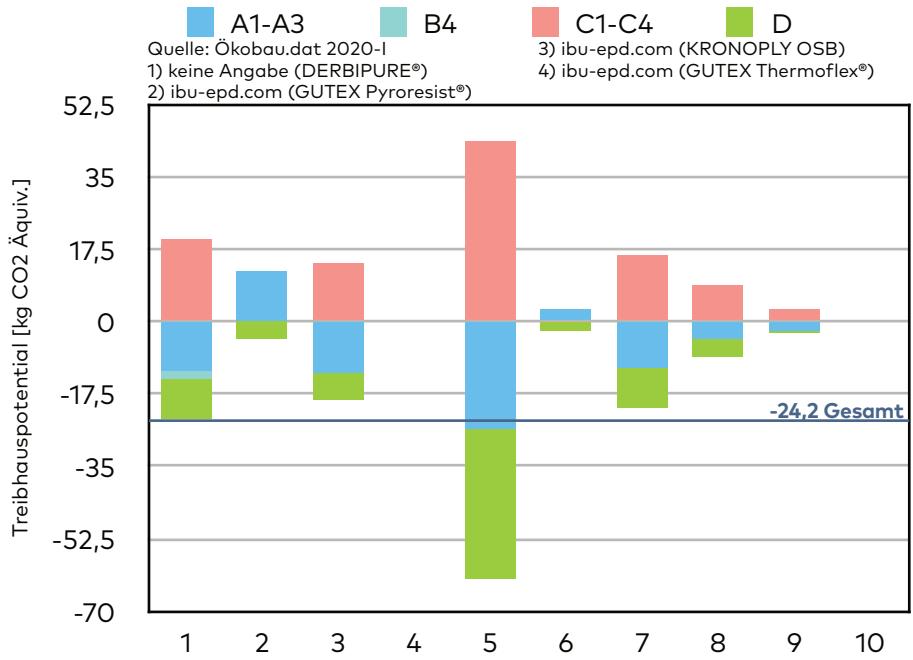


- Dachterrasse (48^s cm)**
- ① Terrassendielen (z. B. Robinie) 20 mm
 - ② Stahlträger 55/100/4,1 mm, dazwischen
 - ③ Auflagerhölzer 40/90 mm
Stelzlager (höhenverstellbar)
 - ④ Dachabdichtung auf pflanzlicher Basis¹ 3 mm
 - ⑤ Holzfaserdämmung² 140-180 mm (2% Gefälle)
 - ⑥ Dampfsperre aus Aluminium 0,05 mm
 - ⑦ OSB-Platte³ 15 mm
 - ⑧ KVH 60/120 mm, dazwischen
 - ⑨ Holzfaser-Gefachdämmung⁴ 120 mm
 - ⑩ Massivholz-Diagonalplatte 30 mm
 - ⑪ Lehmplatte 16 mm (Lehmputz 3 mm)

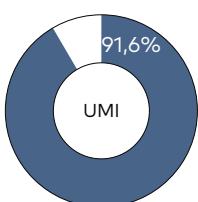


Dachterrasse

Als Terrassendielen eignen sich regionale Hölzer mit hoher Dauerhaftigkeitsklasse [2]. Die übliche EPDM-Dachabdichtung kann durch ein C2C-Produkt auf pflanzlicher Basis ersetzt werden. Grundvoraussetzung für alle außenberührten Bauteile ist eine hochgedämmte homogene Gebäudehülle für einen minimalen Energieverbrauch im Betrieb. Für die Zwischensparrendämmung eignen sich Holzfasermatten mit einer geringen Wärmeleitfähigkeit von 0,036-0,038 W/(mK). Dank der spezifischen Wärmekapazität von 2100 J/(kgK) leisten sie auch im Sommer einen sehr guten Hitzeschutz [3].



	Pre-Use	Post-Use	Total
Closed-Loop-Potential	88,6%	89,2%	177,8%
Loop-Potential	88,6%	99,9%	188,5%



Urban Mining Indicator	91,6%
	C 5.9

C 5.7

Dachterrasse Materialien, Maßstab 1:20

C 5.8

Dachterrassenkonstruktion (GWP)

C 5.9

Dachterrassenkonstruktion (UMI)

C 5.10

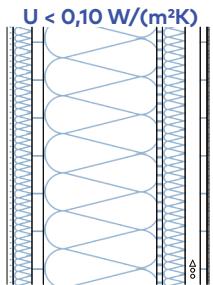
Außenwand Materialien, Maßstab 1:20

C 5.11

Außenwandkonstruktion (GWP)

C 5.12

Außenwandkonstruktion (UMI)

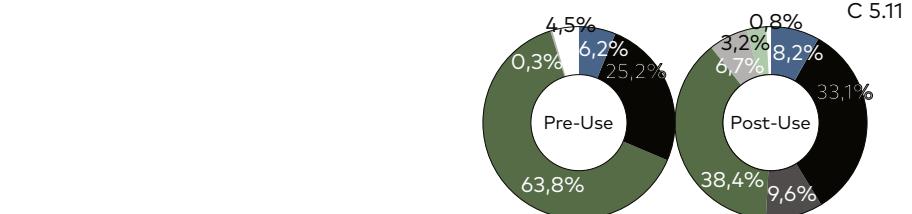
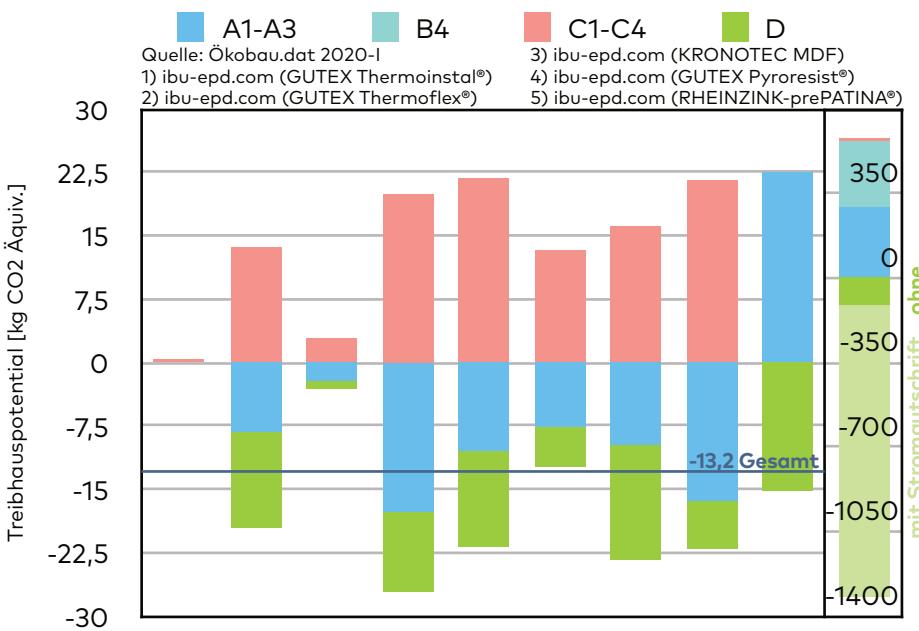
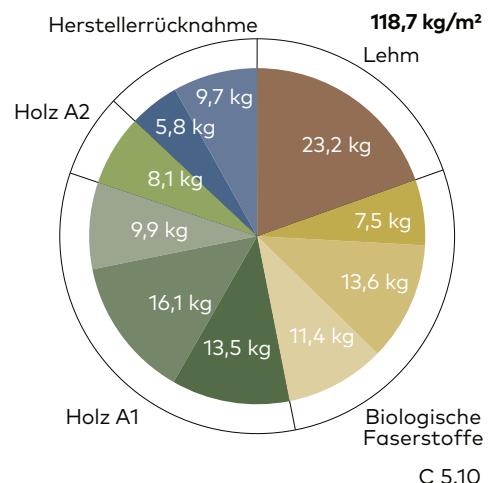
**Außenwand (53⁵ cm)**

- Lehmplatte 16 mm (Lehmputz 3 mm)
- ① Holzfaserdämmung¹ 50 mm
 - ② Massivholz-Diagonalplatte 30 mm
 - ③ KVH 60/300 mm, dazwischen
 - ④ Holzfaser-Gefachdämmung² 300 mm
 - ⑤ MDF-Platte³ Nut- und Feder 15 mm
 - ⑥ Holzfaserdämmung⁴ 60 mm
 - ⑦ Lattung Fichte 60/40 mm, dazwischen
 - ⑧ Luftsicht stehend 40 mm
 - Schalung Lärche 18 mm
 - ⑨ Doppelstehfalfzdeckung Titanzink⁵ 0,8 mm
 - ⑩ Integriertes Solarsystem

1 0

Außenwand

Die aussteifende Massivholz-Diagonalplatte gewährleistet den Transport der Raummodule. Durch Schwalbenschwanzverbindungen kommt sie ganz ohne Leim aus. Auch bildet sie Dampfbremse und Luftdichtigkeitsebene ohne Folien [4]. Die für Aufstockungen in Holzleichtbauweise entwickelte schwer entflammbar, nicht glimmende Holzfaserdämmplatte kann objektbezogen bereits in der VHF eingesetzt werden. Ein Brandriegel für den vertikalen Brandüberschlag ist nicht notwendig [5]. Die Wetterhaut bildet eine Lärchenschalung mit Cradle to Cradle®-Titanzinkblech mit Herstellerrücknahme.



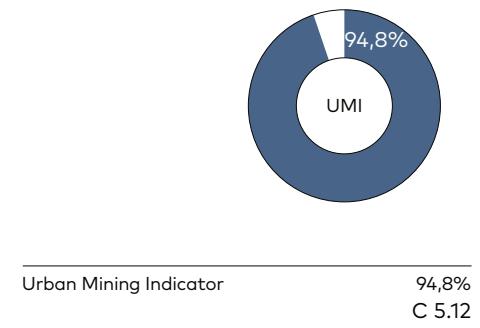
	Pre-Use	Post-Use	Total
Closed-Loop-Potential	95,2%	89,3%	184,5%
Loop-Potential	95,5%	99,2%	194,7%

Pre-Use

- Wiederverwendung (RU)
- Wiederverwertete Materialien (RC)
- Materialien aus nachgewachsenen Rohstoffen (RN)
- Weiterverwertete Materialien (DC)
- Primärrohstoffe, nicht erneuerbar (PR)

Post-Use

- Wiederverwendbare Materialien (ru)
- Wiederverwertbare Materialien (rc)
- Weiterverwertbare Materialien, als nachhaltig zertifiziert (dc_{cr})
- Energetisch verwertbare Materialien, als nachhaltig zertifiziert (encr)
- Weiterverwertbare Materialien (dc)
- Energetisch verwertbare Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen (en_r)
- Energetisch verwertbare Materialien, fossil oder Abfallentsorgung (d)



Urban Mining Indicator

94,8%

C 5.12

Holzleichtbau in Holztafelbauweise Titanzinkblech mit integriertem Solarsystem

Cradle to Cradle® inspiriert

Waste equals food

Der Urban Mining Indicator (UMI) belegt sehr gute Recyclingquoten von über 90%.

Use clean and renewable energy
Die Ökobilanz (E-LCA) bestätigt negative CO₂-Bilanzen über 50 Jahre Lebensdauer. PV-Flächen auf dem Schrägdach und an der verschattungsfreien Fassade nutzen erneuerbare Energien.

Celebrate diversity

Konzeptionelle Vielfalt äußert sich in einer integrativen, farbenfrohen Fassadengestaltung. Die PV-Module mit Herstellerrücknahme repräsentieren somit alle drei Grundprinzipien von Cradle to Cradle®.



Fazit

Wie sich gezeigt hat, ist die frühe Planungsphase entscheidend für energieeffizientes und kreislaufgerechtes Bauen. Der hohe Materialbedarf im mehrgeschossigen Wohnungsbau kann nur bewältigt werden, indem Materialvielfalt als Mehrwert geschätzt wird. Die Cradle to Cradle®-Philosophie äußert sich im städtebaulichen Maßstab in Form von Urban Mining Design. Die Ökobilanz alleine reicht zur Bewertung von Bauteilen nicht aus, da die Einbausituation nicht berücksichtigt wird und die Kaskadennutzung von Biomasse deutlich weniger Gutschriften erzielt als die energetische Verwertung. Durch den Urban Mining Indicator können diese Schwachstellen kompensiert werden. Da die Tragkonstruktion für den Großteil der Umweltwirkungen der Bausubstanz verantwortlich ist, besteht sie idealerweise aus nachwachsenden, als nachhaltig zertifizierten Rohstoffen lokaler Herkunft, die möglichst ohne Leim- und Metallverbindungen auskommen. Im Betrieb ist eine kompakte Bauweise mit höchsten Dämmstandards entscheidend für eine nachhaltige Bauweise. Die Stadt muss wieder lernen, sich selbst zu erneuern, um unabhängig von versiegenden Materialressourcen aus aller Welt zu sein. Nur so kann unsere gebaute Umwelt nachhaltig und generationenübergreifend geschützt werden.

Keines der analysierten Raummodule nutzt das Potential einer einstofflichen Bauweise aus, gleichzeitig machen die vielen mehrschichtigen Bauteile den selektiven Rückbau kompliziert und unwirtschaftlich. Außerdem konnten die deutlich höheren Umweltwirkungen der Badmodule mithilfe der Ökobilanz aufgezeigt werden. Hier gilt es, konstruktive Lösungen zu entwickeln. Die Vorstellung von einem gefliesten Bad mit Silikonfugen ist schlichtweg veraltet. Zudem erschweren die Brandschutzordnungen ressourcenschonendes Bauen durch Kapselkriterien und hohe Anforderungen an nicht brennbare Materialien. Der mehrgeschossige Holzbau wird im Vergleich zu anderen Bauweisen immer noch sehr streng bewertet. Sprinkleranlagen erhöhen die Sicherheit des Bauwerks deutlich und bieten eine wirtschaftliche Lösung. Ebenso stellt der sommerliche Hitzeschutz eine große Herausforderung für die Holzleichtbauweise dar. Mit schweren Lehmplatten mit hoher Speicherkapazität sowie sich selbstverschattenden Fenstern mit nächtlicher Lüftung wurde ein Kompromiss erzielt. Interessant wäre auch eine wirtschaftliche Gegenüberstellung der Materialwerte und Rückbau-kosten. Diese könnten in einem Materialausweis dokumentiert werden, um die gesellschaftlichen Wertvorstellungen nachhaltiger Architektur weiter voranzutreiben.

Anhang

Glossar

Albedo

Albedo [von lat. *albus*=weiß], Reflexionsvermögen, beschreibt den prozentualen Anteil an diffus reflektierter Strahlung beim Auftreffen auf eine nicht selbst leuchtende und nicht spiegelnde Fläche. Die Albedo ist abhängig von der Art und Beschaffenheit der bestrahlten Fläche sowie vom Spektralbereich der eintreffenden Strahlung. Insbesondere unterscheidet sich die Albedo einer Oberfläche für kurz- und langwellige Strahlung drastisch. Gemessen wird die Albedo mit einem Albedometer. Spektrum (2001): *Albedo*. [Online]. Abgerufen am 21.05.2020 von: <https://www.spektrum.de/lexikon/geographie/albedo/241>

Anthropogenes Rohstofflager

Menschengemachtes Rohstofflager, durch Entnahme von Rohstoffen aus ihren natürlichen Lagerstätten entstanden, die hier in Form von Infrastrukturen, Gebäuden, Gütern, Waren oder Abfällen gebunden sind. Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource*, München: Detail Business Information GmbH. S. 216.

A/V-Verhältnis

Quotient aus der Oberfläche A und dem Volumen V eines geometrischen Körpers Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource*, München: Detail Business Information GmbH. S. 216.

Biosphäre

Von Lebewesen bewohnter Raum eines Himmelskörpers, insbesondere der Erde. Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource*, München: Detail Business Information GmbH. S. 216.

Biotische/abiotische Materialien/Baustoffe

Sämtliche tierische und pflanzliche Stoffe, die nicht in

einen fossilen oder mineralischen Rohstoff umgewandelt wurden, z. B. Holz oder Kork. Zu den abiotischen Materialien zählen alle Rohstoffe der „unbelebten“ Natur, die somit auch nicht erneuerbar sind, z. B. metallische, fossile und mineralische Rohstoffe.

Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource*, München: Detail Business Information GmbH. S. 216.

Closed-Loop-Material

Material, das beinahe zu 100% in einem Verwertungskreislauf ohne Qualitätsverluste geführt werden kann, was z. B. Auf viele Metalle zutrifft. Holz kann als nachwachsender Rohstoff zu einem 100%igen Closed-Loop-Material werden, indem die Kultivierung von konventionell auf nachhaltig zertifiziert umgestellt wird und so garantiert ist, dass nie mehr Holz geschlagen wird als nachwachsen kann.

Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource*, München: Detail Business Information GmbH. S. 216.

Closed-Loop-Potential

Möglichkeit einer Konstruktion oder eines Produkts geschlossene Kreisläufe (engl. Closed-Loops) zu generieren. Das Closed-Loop-Potential einer Konstruktion ist der prozentuale Anteil an Materialien und Baustoffen, der unter Berücksichtigung definierter Kriterien ohne Qualitätsverlust in geschlossenen Kreisläufen geführt werden kann.

Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource*, München: Detail Business Information GmbH. S. 216.

Deponie

Ablagerungsstätte für Abfälle, klassifiziert nach der auf ihr abzulagernden Abfälle:
DK 0: Deponie für Inertabfälle (gering belastete mineralische Abfälle)

DK I: Deponie für nicht gefährliche Abfälle (mit sehr geringem organischen Anteil)

DK II: Deponie für nicht gefährliche Abfälle (mit geringem

organischem Anteil)

DK III: Deponie für gefährliche Abfälle

DK IV: Untertagedeponie

Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource*, München: Detail Business Information GmbH. S. 216.

Design for Adaptability

Im Entwurfsprozess werden vielfältige Arten der Nutzung berücksichtigt, um die Langlebigkeit der Produkte oder Systeme zu erhöhen.

Salfner, S. et al. (2017): *Entwicklung und Bewertung eines Cradle to Cradle® inspirierten Plusenergiehauses am Beispiel des Wettbewerbsbeitrages Solar Decathlon 2015* (Forschungsinitiative Zukunft Bau, F 3046), Fraunhofer IRB Verlag: Stuttgart. S. 204.

Design for Disassembly

Der Entwurfs- und Ausführungsprozess ist darauf ausgerichtet, dass Produkte oder Systeme einfach zerlegt werden können, um Instandhaltung, Reparatur und die Wiederverwendung der Materialien zu fördern.

Salfner, S. et al. (2017): *Entwicklung und Bewertung eines Cradle to Cradle® inspirierten Plusenergiehauses am Beispiel des Wettbewerbsbeitrages Solar Decathlon 2015* (Forschungsinitiative Zukunft Bau, F 3046), Fraunhofer IRB Verlag: Stuttgart. S. 203 f.

Downcycling

Rückführung und Aufbereitung ehemals genutzter Produkte oder Abfälle, wobei das Produkt durch Leistungsverlust im Aufbereitungsprozess nicht mehr die gleiche Qualitätsstufe wie das Ausgangsprodukt erreicht.

Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource*, München: Detail Business Information GmbH. S. 216.

Effizienz

Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit, von lat. *efficere* = bewirken, hervorbringen, schaffen. Beurteilungskriterium, mit dem sich beschreiben lässt, ob eine Maßnahme geeignet ist, ein

vorgegebenes Ziel in einer bestimmten Art und Weise (z. B. unter Wahrung der Wirtschaftlichkeit) zu erreichen. Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource*, München: Detail Business Information GmbH. S. 216.

End of Life, EoL-Szenario

Engl. für „Lebensende“, bezeichnet im Kontext von Produktlebenszyklen die Endphase der Existenz eines Produkts (nach der Produktions- und Nutzungsphase). Das EoL-Szenario bezeichnet verschiedene Möglichkeiten am Nutzungsende eines Produkts (von Verwertung bis Deponie). Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource*, München: Detail Business Information GmbH. S. 216.

Environmental Product Declarations

EPDs (Umwelt-Produktdeklarationen) beschreiben Baustoffe, -produkte oder -komponenten in Hinblick auf ihre Umweltwirkungen auf Basis von Ökobilanzen sowie ihre funktionalen und technischen Eigenschaften. Die Informationen sind quantitativ, objektiv und verifiziert und beziehen sich auf den gesamten Lebenszyklus des Bauprodukts. EPDs bilden eine wichtige Grundlage für die Nachhaltigkeitsbewertung von Baustoffen. Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource*, München: Detail Business Information GmbH. S. 216.

Erneuerbare Energien

Energie aus einer Quelle, deren Vorrat sich durch die Entnahme nicht verringert, wie z. B. (thermische und photovoltaische) Solarenergie, Wind, Wasserkraft, regenerative Biomasse. DIN V 18599-1, 2011: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger

Fossile Materialien/Baustoffe

Materialien/Baustoffe, die auf den Überresten von Tieren und Pflanzen aus früheren Zeiten der Erdgeschichte basieren. Dazu zählen z. B. erdölbasierte Materialien wie Bitumen oder Kunststoff.

Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource*, München: Detail Business Information GmbH. S. 217.

Forest Stewardship Council

1993 gegründete internationale Nicht-Profit-Organisation, die weltweit einheitliche Grundprinzipien für verantwortungsvolle Waldwirtschaft definiert hat. Das Label FSC weist bei Holz- und Holzprodukten nach, dass sie nicht mit Raubbau oder Umweltzerstörung einhergehen, sondern aus nachhaltiger Forstwirtschaft stammen.

Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource*, München: Detail Business Information GmbH. S. 217.

Gesamtenergieeffizienz

Berechnete oder gemessene Energiemenge, die benötigt wird, um den Energiebedarf im Rahmen der üblichen Nutzung des Gebäudes (u. a. Heizung, Kühlung, Lüftung, Warmwasser und Beleuchtung) zu decken.

Amtsblatt der Europäischen Union (2016): *EMPFEHLUNGEN*. [Online]. Abgerufen am 09.05.2020 von <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016H1318&from=DE>

Graue Energie

Kumulierter Aufwand an nicht erneuerbarer Primärenergie zur Herstellung und Entsorgung eines Baustoffs.

SIA Merkblatt 2032 (2010). *Graue Energie von Gebäuden*, Zürich: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein -SIA-

Heizwärmeverbrauch

Rechnerisch ermittelter Wärmebedarf, der zur Aufrechterhaltung der festgelegten thermischen Raumkonditionen innerhalb einer

Gebäudezone während der Heizzeit benötigt wird.

DIN V 18599-1, 2011: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger

Instandhaltung

Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus eines Objekts, die dem Erhalt oder der Wiederherstellung ihres funktionsfähigen Zustands dient, sodass es die geforderte Funktion erfüllen kann (Wartung, Inspektion, Instandsetzung, Reparatur).

DIN 31051:2019-06
Grundlagen der Instandhaltung

Instandsetzung

Maßnahmen zur Rückführung einer Betrachtungseinheit in den funktionsfähigen Zustand, mit Ausnahme von Verbesserungen.

DIN 31051:2019-06
Grundlagen der Instandhaltung

Kaskadennutzung

Mehrfache, hintereinander geschaltete stoffliche und gegebenenfalls anschließende energetische Verwertungsmaßnahmen von Rohstoffen, etwa von Holz (z. B. Bauholz - Spanplatte - energetische Verwertung).

Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource*, München: Detail Business Information GmbH. S. 217.

Kreislaufpotential

Das Kreislaufpotential einer Konstruktion beziffert den Anteil der verbauten Rohstoffe bzw. Materialien, die unter Berücksichtigung ihres Werts und der Lösbarkeit der Fügung am Ende der Nutzungsdauer in einen mehr oder weniger geschlossenen Materialkreislauf zurückgeführt

werden können. Hillebrandt, A. et al. (2018): <i>Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource</i> , München: Detail Business Information GmbH. S. 217.	Konstruktion, der eine gleichwertige oder qualitätsvolle Nachnutzung möglich macht. Zum Loop-Potential einer Konstruktion zählen deshalb über den Closed-Loop-Anteil hinaus auch Anteile an Materialien und Baustoffen, die unter Berücksichtigung definierter Kriterien eine stoffliche Verwertung mit Qualitätsverlust ermöglichen oder einer energetischen Verwertung zugeführt werden können. Hillebrandt, A. et al. (2018): <i>Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource</i> , München: Detail Business Information GmbH. S. 217.	München: Detail Business Information GmbH. S. 217.
Kreislaufwirtschaft In der Kreislaufwirtschaft (engl. Circular Economy) sollen die eingesetzten Rohstoffe über den Lebenszyklus eines Produkts oder einer Konstruktion hinaus wieder vollständig in den Produktionsprozess zurückgelangen. Voraussetzung hierfür sind geschlossene Recyclingkreisläufe der Produkte. Hillebrandt, A. et al. (2018): <i>Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource</i> , München: Detail Business Information GmbH. S. 217.		Metallische Materialien/Baustoffe Materialien/Baustoffe, die zur chemischen Gruppe der Metalle und ihrer Legierungen gehören, wobei der Übergang zu den Halbmetallen fließend ist. Der Zusammenhang in Metallen beruht auf der metallischen Bindung. Aus dieser Bindung resultieren auch Eigenschaften wie die elektrische Leitfähigkeit, Wärmeleitfähigkeit, Duktilität und Spiegelglanz. Zu den metallischen Materialien zählen z. B. Zink oder Stahl. Hillebrandt, A. et al. (2018): <i>Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource</i> , München: Detail Business Information GmbH. S. 217.
Lebensweg Aufeinander folgende und miteinander verbundene Stufen eines Produktsystems von der Rohstoffgewinnung oder Rohstofferzeugung bis zur endgültigen Beseitigung. DIN EN ISO 14040, 2009: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006)	Material-Cycle-Status Der Material-Cycle-Status bildet die drei Dateinreihen Material Recycling Content, Material-Loop-Potential und Material-End of Life ab. Hillebrandt, A. et al. (2018): <i>Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource</i> , München: Detail Business Information GmbH. S. 217.	Mineralische Materialien/Baustoffe Anorganische, nichtmetallische Materialien/Baustoffe aus kristallinen Bestandteilen, z. B. Kies oder Ziegel. Hillebrandt, A. et al. (2018): <i>Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource</i> , München: Detail Business Information GmbH. S. 217.
Lebenszykluskosten Kosten eines Produkts oder einer Dienstleistung über dessen gesamte Lebensdauer (Herstellung, Betrieb, Instandhaltung und „End of Life“). ISO 15686-5:2017-07 Hochbau und Bauwerke - Planung der Lebensdauer - Teil 5: Kostenberechnung für die Gesamtlebensdauer	Material-End-of-Life Aktueller Status der Nachnutzung/Entsorgung eines Materials: Abbildung der Verwertungs-/Entsorgungsanteile eines Baustoffs am Nutzungsende. Hillebrandt, A. et al. (2018): <i>Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource</i> , München: Detail Business Information GmbH. S. 217.	Nachhaltigkeit Handlungsprinzip zur Ressourcenschonung. Die Bewahrung der wesentlichen Eigenschaften, der Stabilität und der natürlichen Regenerationsfähigkeit eines Systems steht dabei im Vordergrund. Erstmals verwendet wurde der Begriff in deutscher Sprache im Sinne eines langfristig angelegten verantwortungsbewussten Umgangs mit der Ressource Holz 1713 durch Hans Carl von Carlowitz. Hillebrandt, A. et al. (2018): <i>Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource</i> , München: Detail Business Information GmbH. S. 217 f.
Lignin Gerüstsubstanz des Holzes, die neben Zellulose und weiteren Bestandteilen die Holzzellwand bildet. Der Abbau des Lignins durch UV-Strahlung führt bei Holz zur Braunfärbung Hillebrandt, A. et al. (2018): <i>Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource</i> , München: Detail Business Information GmbH. S. 217.	Material Recycling Content Aktueller Anteil an Recyclingmaterialien in einem Produkt. Hillebrandt, A. et al. (2018): <i>Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource</i> , München: Detail Business Information GmbH. S. 217.	Nachwachsende Rohstoffe Organische Rohstoffe aus land- und forstwirtschaftlicher
Loop-Potential Gibt Auskunft über den Anteil eines Materials oder einer	Material-Loop-Potential Möglicher, zukünftiger Anteil von Recyclingmaterialien in einem Produkt bei einer maximalen Optimierung der Produktion hinsichtlich ihres Sekundärrohstoffgehalts. Hillebrandt, A. et al. (2018): <i>Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource</i> ,	

Produktion, die nicht als Nahrungs- oder Futtermittel Verwendung finden, sondern stofflich oder zu Erzeugung von Wärme, Strom, Bau- oder Kraftstoffen genutzt werden.
Hillebrandt, A. et al. (2018): Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, München: Detail Business Information GmbH. S. 218.

Niedrigstenergiegebäude

Gebäude, das eine sehr hohe Gesamtenergieeffizienz aufweist, wobei der fast bei null liegende oder sehr geringe Energiebedarf zu einem ganz wesentlichen Teil durch Energie aus erneuerbaren Quellen - einschließlich Energie aus erneuerbaren Quellen, die am Standort oder in der Nähe erzeugt wird - gedeckt werden.
Amtsblatt der Europäischen Union (2016): *EMPFEHLUNGEN*. [Online]. Abgerufen am 09.05. 2020 von <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016H1318&from=DE>

Nutzenergie

Oberbegriff für Nutzwärmebedarf, Nutzkältebedarf, Nutzenergiebedarf für Trinkwarmwasser, Beleuchtung, Befeuchtung.
DIN V 18599-1, 2011: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger

Nutzungsdauer

Statistisch erhobener Zeitraum über die schadenfreie Nutzung von Materialien, Baprodukten oder Bauteilen für bestimmte Anwendungszwecke. Derartige Erfahrungswerte veröffentlicht z. B. www.nachhaltigesbauen.de.
Hillebrandt, A. et al. (2018): Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, München: Detail Business Information GmbH. S. 218.

Ökobilanz

Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potentiellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebensweges.
DIN EN ISO 14040, 2009: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006)

Ökoeffektivität

Begriff, den der deutsche Chemiker Michael Braungart und der US-amerikanische Architekt William McDonough in ihrem 2002 erschienenen Buch „Cradle to Cradle“ verwenden. Sie stellen den Begriff in Kontrast zur Ökobilanz und zur Ökoeffizienz. Ökoeffektiv sind nach Braungart und McDonough Produkte, die entweder als biologische Nährstoffe in biologische Kreisläufe zurückgeführt werden können oder als technische Kreisläufe kontinuierlich in technischen Kreisläufen gehalten werden.
Hillebrandt, A. et al. (2018): Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, München: Detail Business Information GmbH. S. 218.

Ökoeffizienz

Quotient aus dem wirtschaftlichen Wert eines Produkts und den durch den Herstellungsvorgang auf die Umwelt ausgeübten Auswirkungen, gemessen in einer geeigneten Einheit. Der Begriff wurde 1991 vom Wirtschaftsrat für nachhaltige Entwicklung (heute World Business Council for Sustainable Development) eingeführt. Die Motivation dafür bestand darin, dass negative ökologische Wirkungen und die Ressourcenintensität über den gesamten Lebenszyklus des Produkts auf ein Niveau gebracht werden sollen, das mit den Tragfähigkeitsgrenzen der Erde vereinbar ist.
Hillebrandt, A. et al. (2018): Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource,

München: Detail Business Information GmbH. S. 218.

Passivhausstandard

Der Passivhausstandard zählt heute zu einem der am genauesten überprüften Baustandards. Umfasste er anfänglich nur einzelne Wohngebäude im mitteleuropäischen Raum, wird er heute weltweit auch bei öffentlichen Gebäuden realisiert. Definiert ist er durch einen Heizwärmeverbrauch von $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Dieser Wert wird durch besonders effiziente Lüftungstechnik, die Minimierung von Wärmeverlusten und die Optimierung von Wärmegewinnen erreicht.

Baunetz Wissen (o. D.): *Passivhausstandard*. [Online]. Abgerufen am 09.05. 2020 von: <https://www.baunetzwissen.de/glossar/p/passivhausstandard-3119421>

Post-Use

Engl. für nach Gebrauch oder nach der Nutzung.

Hillebrandt, A. et al. (2018): Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, München: Detail Business Information GmbH. S. 218.

Pre-Use

Engl. für vor Gebrauch oder vor der Nutzung.

Hillebrandt, A. et al. (2018): Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, München: Detail Business Information GmbH. S. 218.

Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes

Internationales Zertifizierungssystem für nachhaltige Waldbewirtschaftung, ab Mitte der 1990-Jahre von deutschen Waldbesitzerverbänden und der Forstindustrie gegründetes alternatives Labelsystem zum FSC.

Hillebrandt, A. et al. (2018): Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, München: Detail Business Information GmbH. S. 218.

Plusenergiehaus	Leistungsverlust (Downcycling, Upcycling). Das Recycling reduziert den Rohstoffverbrauch und dient damit der Ressourcenschonung.	Hillebrandt, A. et al. (2018): Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, München: Detail Business Information GmbH. S. 218.
Bezeichnung für ein Gebäude das über das Jahr mehr Energie erzeugt, als es verbraucht. Der „Plus-Energie-Haus-Standard“ ist erreicht, wenn sowohl ein negativer Jahres-Primärenergiebedarf als auch ein negativer Jahres-Endenergiebedarf vorliegen.	Hillebrandt, A. et al. (2018): Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, München: Detail Business Information GmbH. S. 218.	
L. Hölscher und F.J. Radermacher. (Hrsg.) Klimaneutralität - Hessen geht voran. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2013		
Primärenergiebedarf	Recycling Content	Selektiver Rückbau
Berechnete Energiemenge, die zusätzlich zum Energieinhalt des notwendigen Brennstoffs und der Hilfsenergien für die Anlagentechnik auch die Energiemengen einbezieht, die durch vorgelagerte Prozessketten außerhalb des Gebäudes bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung der jeweils eingesetzten Brennstoffe bzw. Stoffe entstehen.	Engl. für Recyclinganteil, Sekundärrohstoffanteil im Baustoff. Zum Recycling Content im MRC und MLP zählen nicht: Rückführungen aus eigenen Herstellungsprozessen (Pre-Use/-Consumer-Materialien), da diese der Effizienz der Verfahrenstechnik zuzuschreiben sind, und Material, das als Nebenprodukt anderer Herstellungsprozesse anfällt, da ebenfalls nicht aus gezielter Rückführung ehemals genutzter und aufbereiteter Produkte oder baulicher Abfälle rekrutiert.	Beim selektiven Rückbau werden die unterschiedlichsten Materialien vor dem Abbruch der Tragkonstruktion hochgradig sortenrein zurück- bzw. ausgebaut. Neben der Demontage bietet dieses Verfahren die besten Voraussetzungen für eine optimale Verwertung der Abbruchabfälle.
DIN V 18599-1, 2011: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger	Hillebrandt, A. et al. (2018): Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, München: Detail Business Information GmbH. S. 218.	Hillebrandt, A. et al. (2018): Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, München: Detail Business Information GmbH. S. 20.
RC-Baustoff	Reversibilität	Sharing Economy
Recycling-Baustoff. Hillebrandt, A. et al. (2018): <i>Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource</i> , München: Detail Business Information GmbH. S. 218.	Umkehrbare Zustandsänderung, umkehrbarer Vorgang. Hillebrandt, A. et al. (2018): <i>Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource</i> , München: Detail Business Information GmbH. S. 218.	Sammelbegriff für Firmen, Geschäftsmodelle, Plattformen, Online- und Offline-Communities und Praktiken, die eine geteilte Nutzung von ganz oder teilweise ungenutzten Ressourcen ermöglichen. Hillebrandt, A. et al. (2018): <i>Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource</i> , München: Detail Business Information GmbH. S. 218.
Recycling	Rezyklat	Suffizienz
Rückführung ehemals genutzter Produkte oder Abfälle in den Stoffkreislauf. Nicht dazu gehört in diesem Sinne die Rückführung von Produktionsresten, da diese lediglich das Ergebnis der Optimierung einer Verfahrenstechnik und Nebenprodukte der Industrie sind (z. B. REA-Gips aus Rauchgasentschwefelungsanlagen, Hüttensand, Flugasche). Das Produkt eines Recyclings erreicht die gleiche Qualitätsstufe wie das Ausgangsprodukt, nahezu ohne	Recyclingmaterial. Hillebrandt, A. et al. (2018): <i>Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource</i> , München: Detail Business Information GmbH. S. 218.	Von lat. sufficere = ausreichen, genügen. Steht in der Nachhaltigkeitsforschung, Umwelt- und Naturschutzpolitik für das Bemühen um einen möglichst geringen Rohstoff- und Energieverbrauch durch Selbstbegrenzung, Konsumverzicht, Angemessenheit oder auch Askese. In der Nachhaltigkeitsdiskussion wird Suffizienz häufig komplementär zu Ökoeffizienz und Konsistenz gesehen. Hillebrandt, A. et al. (2018): <i>Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource</i> , München: Detail Business Information GmbH. S. 219.
Sekundärmaterial, -rohstoff, -baustoff	Durch Verwendung von Abfällen oder Reststoffen gewonnene Rohtoffe, in Abgrenzung zu den aus natürlichen Quellen stammenden primären Rohstoffen. Sekundärrohstoffe gliedern sich in Pre-Consumer-Material und Post-Consumer-Material.	Technosphäre
		Gesamtheit der von Menschen in seinem Wirkungsraum hervorgebrachten technischen

Umgebung sowie die damit verbundene Zurichtung der Natur durch gestaltende Eingriffe und deren Nebeneffekte. Die Technosphäre ist gewissermaßen das aufsummierte Aggregat aus technischen Artefakten, Ressourcen und nicht zuletzt auch Abfällen.

Hillebrandt, A. et al. (2018): Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, München: Detail Business Information GmbH. S. 219.

Upcycling

Aufbereitung ehemals genutzter Produkte oder Abfälle zu Produkten, die die Qualitätsstufe des Ausgangsprodukts übertreffen. Das Upcyclingprodukt wird in der Regel für einen höherwertigen Zweck eingesetzt.

Hillebrandt, A. et al. (2018): Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, München: Detail Business Information GmbH. S. 219.

Urban Mining

Städte oder Siedlungen als menschengemachte (anthropogene) Rohstofflager, in denen die aus ihren natürlichen Lagerstätten entnommenen Rohstoffe in Form von Gebäuden, Gütern, Infrastruktur, Waren oder Abfällen gebunden sind.

Hillebrandt, A. et al. (2018): Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, München: Detail Business Information GmbH. S. 219.

Urban-Mining-Design

Eine umfängliche Strategie zur Schließung von Kreisläufen im Bauwesen zum Zweck der Ressourcenschonung und Abfallvermeidung, www.urban-mining-design.de.

Hillebrandt, A. et al. (2018): Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, München: Detail Business Information GmbH. S. 219.

Verwertung

Rückführung von Materialien oder Abfällen in den Stoffkreislauf durch eine Behandlung oder Aufbereitung unter Auflösung der

Produktgestalt (Wieder- oder Weiterverwertung).

Hillebrandt, A. et al. (2018): Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, München: Detail Business Information GmbH. S. 219.

Volatile Organic Compounds

Gruppe der flüchtigen organischen Verbindungen. VOC umschreibt gas- und dampfförmige Stoffe organischen Ursprungs in der Luft, z. B. Kohlenwasserstoffe, Alkohole, Aldehyde und organische Säuren. Viele Lösemittel, Flüssigbrennstoffe und synthetisch hergestellte Stoffe können als VOC auftreten, aber auch zahlreiche organische Verbindungen, die in biologischen Prozessen gebildet werden.

Hillebrandt, A. et al. (2018): Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, München: Detail Business Information GmbH. S. 219.

Wasserdampfdiffusionswiderstand μ (S_d-Wert)

Widerstand des Baustoffs gegen die Durchdringung von Wasserdampf in Relation zum Diffusionswiderstand von unbewegter Luft ($\mu=1$).

Hillebrandt, A. et al. (2018): Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, München: Detail Business Information GmbH. S. 219.

Weiterverwendung

Erneute Verwendung eines gebrauchten Produkts für einen anderen Verwendungszweck mit gegenüber dem Ursprungszweck niedrigerem Qualitätsanspruch unter Beibehaltung der Produktgestalt (Downcycling). Beispiel: Verwendung intakter Mauerziegelsteine als Randbegrenzung für Grünflächen.

Hillebrandt, A. et al. (2018): Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, München: Detail Business Information GmbH. S. 219.

Weiterverwertung

Einsatz von Altstoffen und Produktionsabfällen bzw. Hilfs- und Betriebsstoffen in einem von

diesen zuvor durchlaufenen Produktionsprozess. Durch Weiterverwertung entstehen Produkte mit neuen bzw. anderen Eigenschaften und/oder anderer Gestalt, sogenannte Sekundärwerkstoffe, mit einem gegenüber dem Ursprungszweck niedrigeren Qualitätsanspruch (Downcycling).

Beispiel: Weiterverwertung von Ziegelsplitt zu Pflanzsubstrat.

Hillebrandt, A. et al. (2018): Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, München: Detail Business Information GmbH. S. 219.

Wiederverwendung

Erneute Verwendung eines gebrauchten Produkts für den gleichen Verwendungszweck unter Beibehaltung der Produktgestalt (Recycling).

Beispiel: Ausgebaute intakte Mauerziegelsteine werden erneut verbaut.

Hillebrandt, A. et al. (2018): Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, München: Detail Business Information GmbH. S. 219.

Wiederverwertung

Wiederholter Einsatz von Altstoffen und Produktionsrücklaufmaterial bzw. Hilfs- und Betriebsstoffen in einem gleichartigen wie dem bereits durchlaufenen Produktionsprozess unter Auflösung der Produktgestalt. Durch Wiederverwertung entstehen aus den Ausgangsstoffen qualitativ weitgehend gleichwertige Werkstoffe (Recycling).

Beispiel: Aus Stahlschrott wird durch Schmelzen ein neuer Stahlträger geformt.

Hillebrandt, A. et al. (2018): Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, München: Detail Business Information GmbH. S. 219.

Abkürzungen

AN
Gebäudenutzfläche

BAMB
Buildings as Material Banks

BGF
Bruttogeschoßfläche

BlmSchG
Bundes-Immissionsschutzgesetz

BN
Biotischer Nährstoff

BNB
Bewertungssystem Nachhaltiges
Bauen

BSH
Brettschichtholz

BSP
Brettsperrholz

C2C
Cradle to Cradle

CE
Circular Economy

CGR
Circularity Gap Report

CLP
Closed-Loop-Potential

DC
Downcycling

d
Waste disposal

dc
Downcyclables

dccr
Downcyclables, certified
renewable

DfA
Design for Adaptability

DfD
Design for Disassembly

DGNB
Deutsche Gesellschaft für
nachhaltiges Bauen e.V. und
Deutsches Gütesiegel
Nachhaltiges Bauen

E-LCA
Environmental Life Cycle
Assessment

eMOD
Energetische Modernisierung

encr
Energetically usables, certified
renewable

enf
Energetically usables, fossil

enr
Energetically usables, renewable

EnEV
Energieeinsparverordnung

EPDs
Environmental Product
Declarations

EPEA
Environmental Protection
Encouragement Agency

EPS
Expander
Polystyrolpartikelschaum, kurz
Polystyrol (Styropor)

FBH
Fußbodenheizung

FSC
Forest Stewardship Council

GFM
Glue Free Massiv

GWP
Global Warming Potential

HIPS
High Impact Polystyrene,
hochschlagfestes Polystyrol

HWB
Heizwärmebedarf

IBU
Institut Bauen und Umwelt e.V.

INST
Instandhaltung

IWU
Institut für Wohnen und Umwelt

KEA
Kumulierter Energieaufwand

KfW
Kreditanstalt für Wiederaufbau

KMF
Künstliche Mineralfasern

KVH
Konstruktionsvollholz

kWh
Kilowattstunde

KWK
Kraft-Wärme-Kopplung

λ
Wärmeleitfähigkeit

LCC
Life Cycle Costing

LCSA
Life Cycle Sustainability
Assessment

LP
Loop-Potential

μ
Wasserdampf-
Diffusionswiderstandszahl

MCS
Material-Cycle-Status

MDF
Mitteldichte (Holz-) Faserplatte

MEoL
Material End of Life

MLP
Material-Loop-Potenzial

MRC
Material Recycling Content

NawaRo	RU
Nachwachsende Rohstoffe	Reuse
NRF	ru
Netto-Raumfläche	reusables
NUF	S_d
Nutzungsfläche	Wasserdampf-diffusionsäquivalente Luftschichtdicke
OSB	S-LCA
Grobspanplatte (Oriented Strand/ Structural Board)	Social Life Cycle Assessment
PE-HD	StB
Polyethylen - High Density	Stahlbeton
PE-LD	SVHC
Polyethylen - Low Density	Substances of Very High Concern
PET	TEEE
Polyethylenterephthalat	Thermoplastischer Elastomer Ether Ester
PEFC	TN
Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes	Technischer Nährstoff
PLA	TSD
Polylactide	Trittschalldämmung
PP	UMI
Polypropylen	Urban Mining Indicator
PR	Ve
Primary raw materials, not renewable	Beheiztes Volumen
PU	VHF
Polyurethan	Vorgehängte hinterlüftete Fassade
PV	VOC
Photovoltaik	Volatile Organic Compounds
PVC	WBCSD
Polyvinylchlorid	World Business Council for Sustainable Development
p	WD
Dichte, Massendichte	Wärmedämmung
RC	XPS
Recycling	Extrudierter Polystyrol-Hartschaum
rc	
recyclables	
R_m	
Zugfestigkeit	
RN	
Renewable raw material	

Literatur- und Internetverzeichnis

Motivation

[1]

Gruber, L. (2019): »Solar Decathlon goes Urban« 2021 in Wuppertal. [Online].

Abgerufen am 04.05.2020 von: <https://www.detail.de/artikel/solar-decathlon-goes-urban-2021-in-wuppertal-33769/>

[2]

Amtsblatt der Europäischen Union (2016): *EMPFEHLUNGEN*. [Online]. Abgerufen am 04.05.2020 von: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016H1318&from=DE>

[3]

Grimm, R. (2015): Was sind Nullenergie- und Plusenergiehäuser?. [Online]. Abgerufen am 04.05.2020 von: <https://www.baustoffwissen.de/baustoffe/baustoffknowhow/energetisches-bauen/was-sind-nullenergie-und-plusenergiehaeuser/>

[4]

Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2018): *Wohngebäude nach Baujahr*. [Online]. Abgerufen am 04.05.2020 von: <http://www.statistikportal.de/de/wohngebaeude-nach-baujahr>

[5]

Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource*, Detail Business Information GmbH: München. S. 10.

[6]

EUR-Lex (2014): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament [...] zum effizienten Ressourceneinsatz im Gebäudesektor. [Online]. Abgerufen am 04.05.2020 von: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A52014DC0445>

[7]

Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource*, Detail Business Information GmbH: München. S. 4.

[8]

Salfner, S. et al. (2017): Entwicklung und Bewertung eines Cradle to Cradle® inspirierten Plusenergiehauses am Beispiel des Wettbewerbsbeitrages Solar Decathlon 2015 (Forschungsinitiative Zukunft Bau, F 3046), Fraunhofer IRB Verlag: Stuttgart. S. 192.

Teil A Recherche

Definition:

DUDEN (o. D.): *Recherche, die.* [Online].

Abgerufen am 04.05.2020 von: <https://www.duden.de/rechtschreibung/Recherche>

Cradle to Cradle®

[1]

Kadawittfeldarchitektur (o. D.): *RAG-Stiftung und RAG AG Zollverein*. [Online]. Abgerufen am 04.05.2020 von: <https://www.kadawittfeldarchitektur.de/projekt/rag-stiftung-und-rag-ag-zollverein/>

[2]

Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource*, Detail Business Information GmbH: München. S. 29.

[3]

Cradle to Cradle Products Innovation Institute (o. D.): *Cradle to Cradle Certified Products Registry*. [Online]. Abgerufen am 04.05.2020 von: <https://www.c2ccertified.org/products/registry>

[4] und [5]

Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource*, Detail Business Information GmbH: München. S. 29.

[6]

The Library (o. D.): *C2C Inspired Projects*. [Online]. Abgerufen am 04.05.2020 von: <https://c2c-buildings.net/c2c-projects/>

[7]

EPEA (2020): *Cradle to Cradle*. Abgerufen am 04.05.2020 von: <https://epea.com/ueber-uns/cradle-to-cradle>

Verwaltungsgebäude RAG

[1]

Kadawittfeldarchitektur (o. D.): *RAG-Stiftung und RAG AG Zollverein*. [Online]. Abgerufen am 04.05.2020 von: <https://www.kadawittfeldarchitektur.de/projekt/rag-stiftung-und-rag-ag-zollverein/>

Wohnhochhaus Moringa

[1]

DEAL-Magazin (2020): *Landmarken entwickelt Nachhaltigkeitsperle in der HafenCity*. [Online]. Abgerufen am 04.05.2020 von: <http://www.deal-magazin.com/news/88566/Landmarken-entwickelt-Nachhaltigkeitsperle-in-der-HafenCity>

Teil B Analyse

Definition:

DUDEN (o. D.): *Analyse, die.* [Online].

Abgerufen am 05.05.2020 von: <https://www.duden.de/rechtschreibung/Analyse>

Environmental Life Cycle Assessment

[1]

Life Cycle Initiative (o. D.): *Life Cycle Sustainability Assessment*. [Online]. Abgerufen am 05.05.2020 von: <https://www.lifecycleinitiative.org/startng-life-cycle-thinking/life-cycle-approaches/life-cycle-sustainability-assessment/>

[2]

DIN EN ISO 14040:2009-11 Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14040:2006

[3]

DIN EN ISO 14044:2018-05 Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006 + Amd 1:2017); Deutsche Fassung EN ISO 14044:2006 + A1:2018

[4]

DIN EN 15978:2012-10 Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden - Berechnungsmethode; Deutsche Fassung EN 15978:2011

[5]

Circularity Gap Reporting Initiative (2020): *The Circularity Gap Reporting Initiative: a global score for circularity*. [Online]. Abgerufen am 31.05.2020 von: <https://www.circularity-gap.world>

Bestandsgebäude Nürnberg

[1]

Buzer (o. D.): § 19 - *Energieeinsparverordnung (EnEV)*. [Online]. Abgerufen am 05.05.2020 von: <https://www.buzer.de/gesetz/7831/a151151.htm>

[2]

N-ERGIE (o. D.): *Fernwärme - umweltschonende Technologie, gute Ökobilanz*. [Online]. Abgerufen am 05.05.2020 von: <https://www.n-ergie.de/privatkunden/produkte/fernwaerme>

[3]

Loga, T. et al. (2015): *Deutsche Wohngebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden*, 2. Auflage. [Online]. Abgerufen am 05.05.2020 von:

- https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/gebaeudebestand/episcope/DE_TABULA_TypologyBrochure_IWU.pdf [4] DIN EN 15978:2012-10 Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden - Berechnungsmethode; Deutsche Fassung EN 15978:2011 [5] Hausbaugrundriss (o. D.): *EnEV 2014 / EnEV 2016 – verschärzte Version*. [Online]. Abgerufen am 05.05.2020 von: <http://www.hausbaugrundriss.de/enev-2014-verschaerfte-enev-2016> [6] Bucher Municipal AG (o. D.): *Wie viel ist eine Tonne CO2?*. [Online]. Abgerufen am 05.05.2020 von: http://www.citycat2020ev.com/wie_viel_ist_eine_Tonne_CO2.pdf
- Holzbau Raummodule**
- [1] Huß, W. et al. (2018). *Holzbau Raummodule*, Detail Business Information GmbH: München. S. 38 f.
- [2] DIN EN 15804:2014-07 Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; Deutsche Fassung EN 15804:2012+A1:2013
- [3] Ökobau.dat (o. D.): *ÖKOBAUDAT*. [Online]. Abgerufen am 05.05.2020 von: <https://www.oekobaudat.de>
- [4] BNB - Nachhaltiges Bauen (2017): *Nutzungsdauern von Bauteilen*. [Online]. Abgerufen am 05.05.2020 von: https://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/baustoff_gebauedaten/BNB_Nutzungsdauern_von_Bauteilen_2017-02-24.pdf
- [5] Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource*, Detail Business Information GmbH: München. S. 25.
- [6] Institut Bauen und Umwelt e. V. (o. D.): *noraplan® 913*. [Online]. Abgerufen am 05.05.2020 von: <https://www.heinze.de/pdfdownload/?pdf=/m2/54/60554/pdf/50/14555350px595x842.pdf>
- [7] Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource*, Detail Business Information GmbH: München. S. 115.
- [8] Mosa. (2020). *Imitation des natürlichen Kreislaufs für eine Kreislaufwirtschaft*. [Online]. Abgerufen am 05.05.2020 von: <https://www.mosa.com/de-de/mosa/news-und-presse/imitation-des-naturlichen-kreislaufs-fur-eine-kreislaufwirtschaft>
- [9] Gesetze im Internet (o. D.): *Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (§ 3 und § 5)*. [Online]. Abgerufen am 05.05.2020 von: <https://www.gesetze-im-internet.de/altholzv/index.html#BJNR330210002BJNE001400000>
- [10] Abfallratgeber Bayern (o. D.): *Altholz*. [Online]. Abgerufen am 05.05.2020 von: <https://www.abfallratgeber.bayern.de/haushalte/abfallentsorgung/altholz/index.htm>
- [11] Fehrenbach, H. et al. (2017): *BIMASSEKASKADEN. Mehr Ressourceneffizienz durch stoffliche Kaskadennutzung von Biomasse – von der Theorie zur Praxis* (Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Forschungskennzahl 3713 44 100 UBA-FB-00), Im Auftrag des Umweltbundesamtes. S. 13.
- [12] McDonough Braungart Design Chemistry, LLC (2012): *Banned Lists of Chemicals. Cradle to Cradle Certified CM Product (Standard Version 3.0)*. [Online]. Abgerufen am 05.05.2020 von: https://s3.amazonaws.com/c2c-website/resources/certification/standard/C2CCertified_Banned_Lists_V3_121113.pdf
- [13] Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource*, Detail Business Information GmbH: München. S. 26.
- [14] Schmid, V. et al. (2015): *Hybride Holzkonstruktionen mit Polyurethan. Entwicklung extrem dauerhafter, robuster und witterungsbeständiger Hybridbauteile aus Holz und PUR- Spritzelastomer zur Erweiterung des Anwendungsbereichs für Bauteile und Bauwerke aus Holz und für Holzkonstruktionen* (Forschungsinitiative Zukunft Bau, F 2899), Fraunhofer IRB Verlag: Stuttgart. S. 49 ff.
- [15] Baubook (2014): *Isolena Schafwolle, Premium, 20 kg/m³*. [Online]. Abgerufen am 05.05.2020 von: <https://www.baubook.info/m/PHP/Info.php?SI=2142685608&SW=5&win=y>
- [16] Wecobis (o. D.): *3. Emissionen aus Holz und Holzwerkstoffen*. [Online]. Abgerufen am 05.05.2020 von: <https://www.wecobis.de/en/service/sonderthemen-info/voc-und-formaldehyd-aus-holz-und-holzwerkstoffen/voc-holz-3-info.html>
- [17] Lang, W. und Schneider, P. (2017): *Gemeinschaftlich nachhaltig bauen* (Forschungsbericht der ökologischen Untersuchung des genossenschaftlichen Wohnungsbauprojektes wagnisART), Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr: München. S. 25.
- [18] Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource*, Detail Business Information GmbH: München. S. 115.
- Teil C Konzept**
- Definition:
- DUDEN (o. D.): *Konzept, das*. [Online]. Abgerufen am 06.04.2020 von: <https://www.duden.de/rechtschreibung/Konzept>
- Urban Mining Design**
- [1] Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource*, Detail Business Information GmbH: München. S. 13.
- [2] Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource*, Detail Business Information GmbH: München. S. 13 f.
- [3] Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource*, Detail Business Information GmbH: München. S. 58 f.
- [4]

- Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, Detail*. Business Information GmbH: München. S. 60. [5]
- Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, Detail*. Business Information GmbH: München. S. 64. [6]
- Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, Detail*. Business Information GmbH: München. S. 115. [7]
- Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, Detail*. Business Information GmbH: München. S. 216. [8]
- Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, Detail*. Business Information GmbH: München. S. 217.
- Primärkonstruktion**
- [1] Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, Detail*. Business Information GmbH: München. S. 102 f.
- [2] Kaufmann, H. et al (2018): *Atlas Mehrgeschossiger Holzbau*, Detail Business Information GmbH: München. S. 48.
- [3] Lang, W. Und Schneider P. (2017): Gemeinschaftlich nachhaltig bauen (Forschungsbericht der ökologischen Untersuchung des genossenschaftlichen Wohnungsbauprojektes wagnisART), Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr: München. S. 25.
- [4] Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, Detail*. Business Information GmbH: München. S. 49.
- [5] Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, Detail*. Business Information GmbH: München. S. 12.
- [1] Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, Detail*. Business Information GmbH: München. S. 10. [2] Informationsportal Nachhaltiges Bauen des BMI (2017): *Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)*. [Online]. Abgerufen am 04.06.2020 von: https://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/baustoff_gebaudedaten/BNB_Nutzungsdauern_von_Bauteilen_2017-02-24.pdf [3] Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, Detail*. Business Information GmbH: München. S. 112 f. [4] Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, Detail*. Business Information GmbH: München. S. 125. [5] Ökobau.dat (2012): *RHEINZINK-prePATINA® blaugrau und schiefergrau*. [Online]. Abgerufen am 04.06.2020 von: https://www.oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/resource/sources/1d0895ec-0db7-4fce-92f4-94a228909272/RHEINZINK-prePATINA_blaugrau_und_schiefergrau.pdf [6] RHEINZINK (o. D.): *RHEINZINK-prePATINA blaugrau*. [Online]. Abgerufen am 04.06.2020 von: <https://www.rheinzink.de/meisterwerk/> [7] Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, Detail*. Business Information GmbH: München. S. 121. [8] Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, Detail*. Business Information GmbH: München. S. 87. [9] GUTEX (2019): *GUTEX Pyroresist® wall*. [Online]. Abgerufen am 04.06.2020 von: https://gutex.de/fileadmin/uploads/Downloads/Technische_Merkblaetter/GUTEX_DE_TM_Pyroresist_wall_2019-10.pdf [10] Bau-EPD (2018): *HOIZ - Hobelspandämmung*. Baufritz GmbH & Co. KG. [Online]. Abgerufen am 04.06.2020 von: <http://www.bau-epd.at/wp-content/uploads/2018/04/BAU-EPD-Baufritz-2018-1-GaBi-HOIZ-Hobelspandämmung.pdf> [11] Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, Detail*. Business Information GmbH: München. S. 88. [12] Capatect Baustoffindustrie GmbH (2016): *Capatect Hanf Wall Fassadendämmplatte**. [Online]. Abgerufen am 04.06.2020 von: https://www.baubook.info/m/Daten/Bilder/Infos/k2_k2_k2_CapatectHanfWallFassadendaeemplatt.pdf [13] NeptuGmbH (o. D.): *Was ist NeptuTherm®*. [Online]. Abgerufen am 04.06.2020 von: <https://neptugmbh.de/was-ist-neptuetherm/> [14] Hebel, D. et al. (2014): *BUILDING FROM WASTE. RECOVERED MATERIALS IN ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION*, Birkhäuser Verlag GmbH: Basel. S. 158. [15] Hebel, D. et al. (2014): *BUILDING FROM WASTE. RECOVERED MATERIALS IN ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION*, Birkhäuser Verlag GmbH: Basel. S. 90 f. [16] Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, Detail*. Business Information GmbH: München. S. 92. [17] WIKA GmbH (o. D.): *GRAUPAPPE 250. saugfähige Baupappe aus Zellulose-Recycling-Fasern*. [Online]. Abgerufen am 04.06.2020 von: <https://www.wikagmbh.de/produkte/estrich-zubehör/grauapape/> [18] Ampack (o. D.): *Sisalex 30. Rieselschutz*. [Online]. Abgerufen am 04.06.2020 von: <https://www.ampack.biz/de-de/produkte/bahnen/rieselschutz/sisalex-30> [19] Villgrater Natur Produkte KG (o. D.): *Hochwertige Woolin-Produkte*. [Online]. Abgerufen am 04.06.2020 von: <http://www.woolin.at/produkte/> [20] Cradle to Cradle Products Innovation Institute (o. D.): *Derbipure® IMPERBEL SA*.

- [Online]. Abgerufen am 04.06.2020 von: <https://www.c2ccertified.org/products/scorecard/derbipure>
- [21] Easyklett (o.D.): *Produkt. EINLAGIG.SICHER.OHNE FLAMME.*
- [Online]. Abgerufen am 04.06.2020 von: <http://www.easyklett.de/de/produkt.html>
- [22] Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, Detail Business Information GmbH*: München. S. 86.
- [23] Schüco (o. D.): *Cradle to Cradle®. Nachhaltig von Anfang an.* [Online]. Abgerufen am 04.06.2020 von: <https://www.schueco.com/de/unternehmen/nachhaltigkeit/wertorientierte-perspektiven/cradle-to-cradle>
- [24] Hanffaser (o. D.): *Bauen mit Hanf.* [Online]. Abgerufen am 04.06.2020 von: <https://www.hanffaser.de/uckermark/index.php/produkte/>
- [25] Stabalux (o. D.): *PFOSTEN-RIEGEL FASSADE. mit Bambus Unterkonstruktion.* [Online]. Abgerufen am 04.06.2020 von: <https://www.stabalux.com/de/pfosten-riegel-fassade-bambus/#bambus-naturhell>
- [26] Nagler, F. et al. (2018): *Einfach Bauen. Ganzheitliche Strategien für energieeffizientes, einfaches Bauen – Untersuchung der Wechselwirkung von Raum, Technik, Material und Konstruktion* (Forschungsinitiative Zukunft Bau, Förderkennzeichen SWD-10.08.18.7-16.29), Technische Universität München: München. S. 169 ff.
- [27] Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, Detail Business Information GmbH*: München. S. 96.
- Innenausbau**
- [1] Wecobis (o. D.): *Fachartikel in WECOBIS - Schadstoffprobleme im Innenraum - Gesamttext.* [Online]. Abgerufen am 04.06.2020 von: <https://www.wecobis.de/service/sonderthemen-info/schadstoffprobleme-im-innenraum/fachartikel-in-wecobis-schadstoffprobleme-im-innenraum-126>
- gesamttext.html
- [2] Kaufmann, H. et al (2018): *Atlas Mehrgeschossiger Holzbau, Detail Business Information GmbH*: München. S. 32 f.
- [3] GFM-System (o. D.): *Leimfreie GFM-Massivwand – Wertschöpfung inklusive.*
- [Online]. Abgerufen am 04.06.2020 von: <https://www.gfm-system.com/gfm-massiv/>
- [4] Claytec (2019): *CLAYTEC Greentech 700.*
- [Online]. Abgerufen am 04.06.2020 von: https://www.claytec.de/Produkte/Bilder-und-Dokumente/3_Lehm-Trockenbau/Claytec-Greentech-700/Produktblatt-Greentech-700/09-016.pdf
- [5] Filzfabrik (o. D.): *DESIGNFILZ.* [Online]. Abgerufen am 04.06.2020 von: <https://www.filzfabrik.de/designfilz/index.html>
- [6] Smile Plastics (o. D.): *Reimagined Materials. Designed to Inspire.* [Online]. Abgerufen am 04.06.2020 von: <https://smile-plastics.com>
- [7] Kaye, G. (2018): *Ohne Recyclingquote geht es nicht.* [Online]. Abgerufen am 04.06.2020 von: <https://www.bauwelt.de/themen/interview/Ohne-verbindliche-Recyclingquote-geht-es-nicht-wiederverwertung-baustoffe-materialien-interview-werner-sobek-dirk-hebel-nachhaltigkeit-3189842.html>
- [8] MAGNA Glaskeramik (o. D.): *Was ist MAGNA GLASKERAMIK®?* [Online]. Abgerufen am 04.06.2020 von: <https://www.magna-glaskeramik.de>
- [9] Baunetzwissen (o. D.): *Oberflächenbehandlung/-beschichtung.*
- [Online]. Abgerufen am 04.06.2020 von: <https://www.baunetzwissen.de/glossar/o/oberflaechenbehandlung--beschichtung-51769>
- [10] Baunetzwissen (o. D.): *Spezifische Wärmekapazität.* [Online]. Abgerufen am 04.06.2020 von: <https://www.baunetzwissen.de/glossar/s/spezifische-waermekapazitaet-6895767>
- [11] Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, Detail Business Information GmbH*: München. S. 126.
- [12] Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, Detail Business Information GmbH*: München. S. 86.
- [13] Baulinks (2015): *US-Amerikanische Studie: „Kautschukböden verringern Geräuschentstehung am besten“.* [Online]. Abgerufen am 04.06.2020 von: <https://www.baulinks.de/webplugin/2015/1868.php4>
- [14] Mosa (2011): *EPD Floor Tiles.* [Online]. Abgerufen am 04.06.2020 von: <https://www.mosa.com/application/files/2813/9817/2486/EPD-Floor-Tiles-Mosa.pdf>
- [15] NEST UMAR (o. D.): *STAINLESS STEEL.*
- [Online]. Abgerufen am 04.06.2020 von: <http://nest-umar.net/portfolio/edelstahl/>
- [16] Hillebrandt, A. et al. (2018): *Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, Detail Business Information GmbH*: München. S. 84.
- Raummodul**
- [1] Lemix (o. D.): *Bauphysik.* [Online]. Abgerufen am 19.06.2020 von: <https://lemix.eu/produkt/Bauphysik>
- [2] Holz vom Fach (o. D.): *Dauerhaftigkeitsklassen beliebter Terrassenhölzer.* [Online]. Abgerufen am 19.06.2020 von: <https://www.holzvomfach.de/holzprodukte/terrassendielen/dauerhaftigkeitsklassen/>
- [3] GUTEX (2019): *Technisches Merkblatt GUTEX® Thermoflex.* [Online]. Abgerufen am 19.06.2020 von: https://gutex.de/fileadmin/uploads/Downloads/Technische_Merkblaetter/GUTEX_DE_TM_Thermoflex_2019-08.pdf
- [4] GFM-System (o. D.): *Ökologisches Bauen mit der GFM-Platte* [Online]. Abgerufen am 19.06.2020 von: <https://www.gfm-system.com/gfm-platte/>
- [5] Pyroresist (o. D.): *MIT GUTEX PYRORESIST® HOCH HINAUS.* [Online]. Abgerufen am 19.06.2020 von: <https://www.pyroresist.de>

Abbildungsnachweis

Deckblatt

Abb.

In Anlehnung an:

Cradle to Cradle NGO (2020): *Über uns*. [Online]. Abgerufen am 04.05.2020 von: <https://c2c-ev.de/ueber-c2c-ev/wir-stellen-uns-vor/>

Motivation

Abb.

SDE21 (o. D.): *Downloads*. [Online]. Abgerufen am 04.05.2020 von: <https://sde21.eu/downloads>

Teil A Recherche

Cradle to Cradle®

A 1.1

EPEA (2020): *Cradle to Cradle*. [Online]. Abgerufen am 04.05.2020 von: <https://epea.com/ueber-uns/cradle-to-cradle>

A 1.2

Reimer, N. (2018): *Warum Professor Michael Braungart ein Verbot bestimmter Plastiksorten fordert*. [Online]. Abgerufen am 04.05.2020 von: <https://www.naturfreunde.de/warum-professor-michael-braungart-ein-verbot-bestimmter-plastiksorten-fordert>

A 1.3

Callahan, A. (2017): *Cradle-to-cradle: In conversation with William McDonough*. [Online]. Abgerufen am 04.05.2020 von: <https://mcdonough.com/cradle-cradle-conversation-william-mcdonough/>

A 1.4

In Anlehnung an:

Drees & Sommer (2018): *Bauen für die Circular Economy*. [Online]. Abgerufen am 04.05.2020 von: https://www.impulsgespraechen.de/fileadmin/user_upload/Artikel_2017_Wertschoepfung/20180305_RAG-Neubau_pdf.pdf

Verwaltungsgebäude RAG

A 2.1-2.4

Kadawittfeldarchitektur (o. D.): *RAG-Stiftung und RAG AG Zollverein*. [Online]. Abgerufen am 04.05.2020 von: <https://www.kadawittfeldarchitektur.de/projekt/rag-stiftung-und-rag-ag-zollverein/>

Wohnhochhaus Moringa

A 3.1-3.4

Landmarken AG (o. D.): *Moringa, Hamburg*. [Online]. Abgerufen am 04.05.2020 von: <https://www.landmarken-ag.de/projekte/moringa/>

Teil B Analyse

Environmental Life Cycle Assessment

B 1.1

In Anlehnung an:

Institut Bauen und Umwelt e.V. (o. D.): *Nachhaltige Entwicklung*. [Online]. Abgerufen am 05.05.2020 von: <https://ibu-epd.com/nachhaltige-entwicklung/>

B 1.2

In Anlehnung an:

König, H. et al. (2009): *Lebenszyklusanalyse in der Gebäudeplanung*, Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG: München. S. 40.

B 1.3-1.4

In Anlehnung an:

DIN EN 15978:2012-10
Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden - Berechnungsmethode; Deutsche Fassung EN 15978:2011

Bestandsgebäude Nürnberg

B 2.1

Bauhaus-Universität Weimar (2017): *Teamerweiterung: CAALA sucht Content Marketing Manager!*. [Online]. Abgerufen am 05.05.2020 von: <https://www.uni-weimar.de/en/media/institutes/neudeli/news/titel/teamerweiterung-caala-sucht-content-marketing-manager/>

B 2.2-2.6

Eigene Darstellung

B 2.7

In Anlehnung an:

Weltkarte.com (o. D.): *landkarte deutschland (umrisskarte)*. [Online]. Abgerufen am 05.05.2020 von: https://www.welt-atlas.de/karte_von_deutschland_0-9001

Holzbau Raummodule

B 3.1-3.2

In Anlehnung an:

Huß, W. et al. (2018). *Holzbau Raummodule*, Detail Business Information GmbH: München. S. 38 f.

B 3.3

Jansen, F. (2018): *DGNB & Co. im Vergleich – Teil 2: Strukturelle Gegebenheiten*. [Online]. Abgerufen am 05.05.2020 von: <https://blog.dgnb.de/strukturelle-gegebenheiten-des-dgnb-systems>

B 3.4

Baunetz (2019): *Von Woodie bis Robotic. Deutscher Holzbaupreis und Hochschulpreis Holzbau 2019*. [Online]. Abgerufen am 05.05.2020 von: https://www.baunetz.de/meldungen/Meldungen-Deutscher_Holzbaupreis_und_Hochschulpreis_Holzbau_2019_6502505.html

B 3.5 und 3.8

In Anlehnung an:
Huß, W. et al. (2018). *Holzbau Raummodule*, Detail Business Information GmbH: München. S. 80 ff.

B 3.6-3.7 und 3.9-3.10

Eigene Darstellung

B 3.11

Urban, D. (2018): *Hamburg hat hoch gestapelt. Siebengeschossiges Studentenwohnheim kehrt die Stärken des Modulbaus hervor*. [Online]. Abgerufen am 05.05.2020 von: <https://www.holzkurier.com/holzbau/2018/09/hamburg-hat-hoch-gestapelt.html>

B 3.12 und 3.15

In Anlehnung an:
Huß, W. et al. (2018). *Holzbau Raummodule*, Detail Business Information GmbH: München. S. 80 ff.

B 3.13-3.14 und 3.16-3.17

Eigene Darstellung

B 3.18

Raumprobe (o. D.): *Europäische Schule Frankfurt*. [Online]. Abgerufen am 05.05.2020 von: <https://www.raumprobe.com/materialpreis/einreichungen/nkbak-nicole-kerstin-berganski-andreas-krawczyk-europaeische-schule-frankfurt/>

B 3.19 und 3.22

In Anlehnung an:
Huß, W. et al. (2018). *Holzbau Raummodule*, Detail Business Information GmbH: München. S. 102 ff.

B 3.20-3.21 und 3.23-3.24

Eigene Darstellung

B 3.25

Archdaily (2019): *Puukuokka Housing Block / OOEAA*. [Online]. Abgerufen am 05.05.2020 von: <https://www.archdaily.com/614915/puukuokka-housing-block-ooeaa-5be43d1508a5e5f7ac0009ce-puukuokka-housing-block-ooeaa-photo>

B 3.26 und 3.29

In Anlehnung an:

Huß, W. et al. (2018). *Holzbau Raummodule*, Detail Business Information

GmbH: München. S. 86 ff.	B 3.60	71.
B 3.27-3.28 und 3.30-3.31	Rhein-Neckar-Zeitung (2016): <i>Minister Hauk besuchte "Holz-Studentenwohnheime" in Heidelberg.</i>	C 2.4
Eigene Darstellung	[Online]. Abgerufen am 05.05.2020 von: https://www.rnz.de/nachrichten/heidelberg_artikel,-Heidelberg-Minister-Hauk-besuchte-Holz-Studentenwohnheime-in-Heidelberg-_arid,227397.html	Eigene Darstellung
B 3.32	B 3.61 und 3.64	C 2.5
DETAIL (7+8/2017): <i>Modular Apartments in Toulouse.</i> [Online]. Abgerufen am 05.05.2020 von: https://inspiration.detail.de/modular-apartments-in-toulouse-113806.html	In Anlehnung an:	Holzius GmbH (o. D.): <i>Systemhandbuch.</i>
B 3.33 und 3.36	Huß, W. et al. (2018). <i>Holzbau Raummodule,</i> Detail Business Information	[Online]. Abgerufen am 06.06.2020 von: https://www.holzius.com/wp-content/uploads/2016/10/161005-holzius-Systemhandbuch-DE.pdf
In Anlehnung an:	GmbH: München. S. 89 ff.	2.6
Huß, W. et al. (2018). <i>Holzbau Raummodule,</i> Detail Business Information	B 3.61 und 3.64	Sigmund, B. (2018): <i>Wohnmodul aus Recycling-Material.</i> [Online]. Abgerufen am 06.06.2020 von: https://www.detail.de/artikel/wohnmodul-aus-recycling-material-32134/
GmbH: München. S. 89 ff.	In Anlehnung an:	Hüllfläche
B 3.34-3.35 und 3.37-3.38	Huß, W. et al. (2018). <i>Holzbau Raummodule,</i> Detail Business Information	C 3.1
Eigene Darstellung	GmbH: München. S. 74 ff.	Holzschnidel (o. D.): <i>Holzschnidel Produktübersicht. Schindeln gespalten und gesägt.</i> [Online]. Abgerufen am 06.06.2020 von: https://www.holzschnidel.at/holzschnideln/holzschnidel-produktuebersicht
B 3.39	B 3.62-3.63 und 3.65-3.74	C 3.2
Merz Kley Partner (o. D.): <i>BMW Alpenhotel Ammerwald, Reutte, A.</i> [Online]. Abgerufen am 05.05.2020 von: https://www.mkp-ing.com/projekte/wohnen-buro-hotel/bmw-alpenhotel-ammerwald-reutte-a	Eigene Darstellung	NEST UMAR (o. D.): <i>COPPER.</i> [Online]. Abgerufen am 06.06.2020 von: http://nest-umar.net/portfolio/kupfer/
B 3.40 und 3.43	Teil C Konzept	C 3.3 und 3.6
In Anlehnung an:	Urban Mining Design	In Anlehnung an:
Huß, W. et al. (2018). <i>Holzbau Raummodule,</i> Detail Business Information	C 1.1	Hillebrandt, A. et al. (2018): <i>Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource,</i> Detail Business Information GmbH: München. S. 60.
GmbH: München. S. 66 ff.	In Anlehnung an:	C 1.2-1.3
B 3.41-3.42 und 3.44-3.45	Hillebrandt, A. et al. (2018): <i>Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource,</i> Detail Business Information GmbH: München. S. 64.	In Anlehnung an:
Eigene Darstellung	C 1.4	Hillebrandt, A. et al. (2018): <i>Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource,</i> Detail Business Information GmbH: München. S. 115 ff.
B 3.46	Primärkonstruktion	Hüllfläche
Merz Kley Partner (o. D.): <i>BMW Alpenhotel Ammerwald, Reutte, A.</i> [Online]. Abgerufen am 05.05.2020 von: https://admin.mkp-ing.com/projekte/wohnen-buro-hotel/bmw-alpenhotel-ammerwald-reutte-a/bmw-ammerwald_3.jpg/	C 2.1	C 3.1
image_view_fullscreen	Rombach NUR HOLZ (o. D.): <i>NUR-HOLZ INSULATED.</i> [Online]. Abgerufen am 06.06.2020 von: https://www.rombach-nurholz.de/bauen-mit-massivholz/produkt/	Holzschnidel (o. D.): <i>Holzschnidel Produktübersicht. Schindeln gespalten und gesägt.</i> [Online]. Abgerufen am 06.06.2020 von: https://www.holzschnidel.at/holzschnideln/holzschnidel-produktuebersicht
B 3.47 und 3.50	C 2.2	C 3.2
In Anlehnung an:	Wessely, H. (2016): <i>Europäische Schule in Frankfurt.</i> [Online]. Abgerufen am 06.06.2020 von: https://www.detail.de/artikel/europaeische-schule-in-frankfurt-26979/	NEST UMAR (o. D.): <i>COPPER.</i> [Online]. Abgerufen am 06.06.2020 von: http://nest-umar.net/portfolio/kupfer/
Huß, W. et al. (2018). <i>Holzbau Raummodule,</i> Detail Business Information	C 2.3	C 3.3 und 3.6
GmbH: München. S. 66 ff.	In Anlehnung an:	In Anlehnung an:
B 3.48-3.49 und 3.51-3.52	Hillebrandt, A. et al. (2018): <i>Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource,</i> Detail Business Information GmbH: München. S. 112.	Hillebrandt, A. et al. (2018): <i>Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource,</i> Detail Business Information GmbH: München. S. 78.
Eigene Darstellung	C 3.53	C 3.4
B 3.53	Primärkonstruktion	Heinze (o. D.): <i>Solarsysteme.</i> [Online]. Abgerufen am 06.06.2020 von: https://www.heinze.de/produktserie/solarsysteme/4788430/
Brusa, N. (2017): <i>Gestatten, ich heisse Züri-Modular.</i> [Online]. Abgerufen am 05.05.2020 von: https://www.tagesanzeiger.ch/zuerich/stadt/woer-steht-waechst-die-stadt/story/16647182	C 2.1	C 3.5
B 3.54 und 3.57	Rombach NUR HOLZ (o. D.): <i>NUR-HOLZ INSULATED.</i> [Online]. Abgerufen am 06.06.2020 von: https://www.rombach-nurholz.de/bauen-mit-massivholz/produkt/	In Anlehnung an:
In Anlehnung an:	C 2.2	Hillebrandt, A. et al. (2018): <i>Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource,</i> Detail Business Information GmbH: München. S. 112.
Huß, W. et al. (2018). <i>Holzbau Raummodule,</i> Detail Business Information	Wessely, H. (2016): <i>Europäische Schule in Frankfurt.</i> [Online]. Abgerufen am 06.06.2020 von: https://www.detail.de/artikel/europaeische-schule-in-frankfurt-26979/	C 3.7
GmbH: München. S. 97 ff.	C 2.3	C2C-Centre (o. D.): <i>HOIZ-Hobelspandämmung/ Wood Shavings Insulation.</i> [Online]. Abgerufen am 06.06.2020 von: http://www.c2c-centre.com/product/building-supply-materials/hoiz-hobelspandämmung-wood-shavings-insulation
B 3.55-3.56 und 3.58-3.59	In Anlehnung an:	C 3.8
Eigene Darstellung	Hillebrandt, A. et al. (2018): <i>Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource,</i> Detail Business Information GmbH: München. S. 97 ff.	Baunetz Wissen (o. D.): <i>Flexible Dämmstoff aus Jute.</i> [Online]. Abgerufen am 06.06.2020 von: https://www.baunetzwissen.de/daemmmstoffe/

tipps/news-produkte/flexibler-daemmstoff-aus-jute-7180915 C 3.9 und 3.13 In Anlehnung an: Hillebrandt, A. et al. (2018): <i>Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, Detail Business Information GmbH</i> : München. S. 91. C 3.10 Marquardt, V. (o. D.): <i>Meer Gras, weniger Heizkosten</i> . [Online]. Abgerufen am 06.06.2020 von: https://www.brandeins.de/magazine/brand-eins-wirtschaftsmagazin/2013/motivation/meer-gras-weniger-heizkosten C 3.11 Van Hook, S. (2015): 'The most disruptive technology I have witnessed', Ecovative: <i>A Beakerhead for a Better World Spotlight</i> . [Online]. Abgerufen am 06.06.2020 von: https://tricofoundation.ca/the-most-disruptive-technology-i-have-witnessed-ecovative-a-beakerhead-for-a-better-world-spotlight/ C 3.12 Chong, A. (2006): <i>RECYCLED BLUE JEAN INSULATION by Bonded Logic</i> . [Online]. Abgerufen am 06.06.2020 von: https://inhabitat.com/recycled-blue-jean-insulation-by-bonded-logic/ C 3.14 Civico 5.0 (o. D.): <i>DERBIPURE</i> . [Online]. Abgerufen am 06.06.2020 von: https://civicocinquepuntozero.it/mainn/materiale/derbipure/ C 3.15 bba (o. D.): <i>Kletten statt Schweißen auf dem Flachdach</i> . [Online]. Abgerufen am 06.06.2020 von: https://www.bba-online.de/fachthemen/gebaeudehuelle/kletten-statt-schweissen-auf-dem-flachdach/ C 3.16 und 3.20 In Anlehnung an: Hillebrandt, A. et al. (2018): <i>Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, Detail Business Information GmbH</i> : München. S. 94. C 3.17 Villgrater Natur (o. D.): <i>Trittschalldämmung / Winddichtung</i> . [Online]. Abgerufen am 06.06.2020 von: https://www.villgraternatur.at/shop/trittschalldämmung-winddichtung/ C 3.18 NEST UMAR (o. D.): <i>TYVEK® SOFT ANTIREFLEX</i> . [Online]. Abgerufen am 06.06.2020 von: http://nest-umar.net/	portfolio/tyvek-soft-antireflex/ C 3.19 NEST UMAR (o. D.): <i>ECOVAP BLUE</i> . [Online]. Abgerufen am 06.06.2020 von: http://nest-umar.net/portfolio/ecovap-blue/ C 3.21 Schüco Jansen (o. D.): <i>Schüco Fenster AWS 75.S/+ - Systemoptimierung</i> . [Online]. Abgerufen am 06.06.2020 von: https://www.schueco.com/web2/ch/architekten/produkte/fenster/aluminium/schueco_aws_75_si_plus C 3.22 Stabalux (o. D.): <i>Stabalux Bamboo für Fassade und Dach</i> . [Online]. Abgerufen am 06.06.2020 von: https://www.stabalux.com/de/pfosten-riegel-fassade-bambus/stabalux-bamboo/#tab-id-7 C 3.23 In Anlehnung an: Hillebrandt, A. et al. (2018): <i>Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, Detail Business Information GmbH</i> : München. S. 97. C 3.24 Nagler, F. et al. (2018): <i>Einfach Bauen. Ganzheitliche Strategien für energieeffizientes, einfaches Bauen – Untersuchung der Wechselwirkung von Raum, Technik, Material und Konstruktion</i> (Forschungsinitiative Zukunft Bau, SWD-10.08.18.7-16.29), Technische Universität München: München. S. 339 ff. C 3.25 Nagler, F. et al. (2018): <i>Einfach Bauen. Ganzheitliche Strategien für energieeffizientes, einfaches Bauen – Untersuchung der Wechselwirkung von Raum, Technik, Material und Konstruktion</i> (Forschungsinitiative Zukunft Bau, Förderkennzeichen SWD-10.08.18.7-16.29), Technische Universität München: München. S. 297.	lehmbauplatten/ C 4.3 und 4.7 In Anlehnung an: Hillebrandt, A. et al. (2018): <i>Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, Detail Business Information GmbH</i> : München. S. 82. C 4.4 Noble Environmental (o. D.): <i>FlatCOR PANEL</i> . [Online]. Abgerufen am 06.06.2020 von: http://www.ecorserbia.rs/en/portfolio=flatcor-panel C 4.5 MaterialDriven (2020): <i>A new industry standard emerges from recycled waste streams at Smile Plastics</i> . [Online]. Abgerufen am 06.06.2020 von: https://www.materialdriven.com/blog/2017/4/20/a-new-industry-standard-emerges-from-recycled-waste-streams-at-smile-plastics C 4.6 Magna Glaskeramik (o. D.): <i>Ozean Blau</i> . [Online]. Abgerufen am 06.06.2020 von: https://www.magna-glaskeramik.de/material/farben-oberflaechen/ozean-blau#&gid=lightbox-group-820&pid=0 C 4.8 NEST UMAR (o. D.): <i>LIGHT BROWN ASH</i> . [Online]. Abgerufen am 06.06.2020 von: http://nest-umar.net/portfolio/braunkernesche/ C 4.9 Desso (o. D.): <i>Desso Gold Collection</i> . [Online]. Abgerufen am 06.06.2020 von: https://boden.objekt.tarkett.de/de_DE/bodenbelag-kollektionsansicht-C001335-desso-gold-collection C 4.10 und 4.14 In Anlehnung an: Hillebrandt, A. et al. (2018): <i>Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource, Detail Business Information GmbH</i> : München. S. 85. C 4.11 Architonic (o. D.): <i>noraplan® signa acoustic 2949 von nora systems</i> . [Online]. Abgerufen am 06.06.2020 von: https://www.architonic.com/de/product/nora-systems-noraplan-signa-acoustic-2949/1282452 C 4.12 Mosa (o. D.): <i>Besondere Muster</i> . [Online]. Abgerufen am 06.06.2020 von: https://www.mosa.com/de-de/produkte/kollektion/scenes C 4.13 NEST UMAR (o. D.): <i>STAINLESS STEEL</i> .
--	---	--

[Online]. Abgerufen am 06.06.2020 von:
<http://nest-umar.net/portfolio/edelstahl/>

Raummodul

C 5.1-5.13

Eigene Darstellung

Name / family name

R o t t

Vorname / first name

J o s e f

Matrikelnummer / enrolment no.

8	7	2	1	3	3		
---	---	---	---	---	---	--	--

Studiengang / degree course.

Innenarchitektur

**An die /To the
Technische Hochschule Rosenheim
Prüfungsamt / Exam Office
Hochschulstr. 1
83024 Rosenheim**

Eigenständigkeitserklärung / Declaration of Originality

zur Abschlussarbeit mit folgenden Thema / of my thesis with the following topic:

E	n	t	w	i	c	k	l	u	n	g	e	i	n	e	s	C	r	a	d	l	e
t	o	C	r	a	d	l	e	®	i	n	s	p	i	r	i	e	r	t	e	n	
R	a	u	m	m	o	d	u	l	s	f	ü	r	d	e	n	S	o	l	a	r	
D	e	c	a	t	h	l	o	n	E	u	r	o	p	e	2	0	2	1			

Hiermit bestätige ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken (dazu zählen auch Internetquellen) entnommen sind, wurden unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Erding, 24.06.2020

Ort, Datum / Place, Date

Unterschrift / Signature

