

BAFU
CH-3003 Bern

Zürich, den 26.05.2023

Ökologische Kennzahlen für Investoren: Vergleich Holzbau - Massivbau

Inhalt	Management Summary	3
	Glossar	4
	1 Einleitung.....	6
	2 Anwendung	7
	3 Methode	8
	4 Ergebnisse.....	10
	5 Kennwerte.....	15
	6 Parameter einer Ökobilanz	18
	7 Die Rolle von Holz bezüglich Netto Null.....	29
	8 Konstruktionsvergleich mit Hilfe der Ökobilanzdaten.....	35
	Fallbeispiele	41
	Abbildungsverzeichnis	61

Auftraggeberin	Bundesamt für Umwelt BAFU Aktionsplan Holz 3003 Bern Schweiz
Kontaktperson	Claire-Lise Suter Christian Aebischer
Projektkoordination	Lignum Holzwirtschaft Schweiz Mühlbeachstrasse 8 8008 Zürich
Kontaktperson	Jutta Glanzmann Gut
Bearbeitung	Durable Planung und Beratung GmbH Binzstrasse 12 8045 Zürich
Co-Projektleitung und Bericht	Jörg Lamster joerg.lamster@studiodurable.ch
Co-Projektleitung	Julia Selberherr Julia.selberherr@wuestpartner.com
Bearbeitung	David Offtermatt david.offtermatt@studiodurable.ch Sebastian Oswald sebastian.oswald@wuestpartner.com
Hinweis	Diese Studie wurde im Auftrag des BAFU verfasst. Für den Inhalt ist allein die Auftragnehmerin verantwortlich.
Zeitraum	Oktober 2021 – Mai 2023

Durable ist ein Büro für Planung und Beratung zur Nachhaltigkeit in der Entwicklung, Projektierung Erstellung und Bewirtschaftung von Immobilien. Gesellschaftliche, ökonomische und ökologische Kontexte werden zusammengeführt, um als Ganzes grösstmöglichen Nutzen zu erbringen. Das heute 15-köpflige Team ist dabei vor allem in den folgenden Arbeitsfeldern tätig: Nachhaltigkeitsstrategien, Zielvereinbarungen, Projektentwicklungen, Gesamtenergiekonzepte, Gebäudeerneuerung, Zertifizierungen, Bauphysik und Akustik und Bauökologie. Durable verfügt über ein sehr breites Netz zu öffentlichen und institutionellen Bauherrschaften, Hochschulen, Bundesämtern und zu diversen Normen und Standards entwickelnden Institutionen. Durable ist heute eine 100%ige Tochter von Wüest Partner.

Management Summary

Wüest Partner entwickelt in Zusammenarbeit mit Lignum und mit Unterstützung vom BAFU eine Plattform für Investoren. In vorgängigen Schritten sind Systematiken zur besseren Vergleichbarkeit von Holzbauprojekten für Investoren entwickelt worden. Mit dieser Studie wurde der Grundstein gelegt für die quantitative Vergleichbarkeit von Holzbauten mit anderen Objekten anhand für Investoren relevanter Kriterien.

Im Rahmen der vorliegenden Studie werden ökologische Kennwerte untersucht, die heute wichtige und allgemein anerkannte Aussagen ermöglichen und die zukünftig noch mehr an Bedeutung gewinnen werden.

Die Untersuchungen werden anhand von Variantenvergleichen vollzogen. Dabei werden Holzbauweisen mit ihren mineralischen Zwillingen verglichen.

Im Zentrum der Betrachtungen stehen graue Treibhausgasemissionen und damit zusammenhängend die biogenen Kohlenstoffe, beide wesentliche Parameter zur Umsetzung der Klimaschutzziele und zu Netto Null.

Zehn Fallbeispiele zeigen ein eindeutiges Resultat, dass die Holzbauweise sowohl bei der Betrachtung von Gebäuden als auch auf der Ebene einzelner Bauteile zu besseren Resultaten führt als der jeweilige mineralische Zwilling. Bessere Ergebnisse heisst weniger graue Treibhausgasemissionen und mehr biogene Kohlenstoffe durch Einspeicherung von Kohlendioxid (CO₂) in Form von Kohlenstoff (C).

Beispielhafte, aktuelle Projekte zeigen ein zusätzliches Potenzial von Holz als Baumaterial: Holz unterstützt mit seiner typischen modularen Bauweise die Anwendung der Kreislaufwirtschaft, das vor allem aufgrund der besseren Demontierbarkeit und Wiederverwendung von Bauteilen.

Glossar

Graue Treibhausgasemissionen

Kumulierte Menge der Treibhausgase, die bei allen vorgelagerten Prozessen, vom Rohstoffabbau über Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse und bei der Entsorgung. Inkl. der dazu notwendigen Transporte und Hilfsmittel, emittiert sind. Sie wird als äquivalente CO₂-Emissionsmenge ausgedrückt, die denselben Treibhausgaseffekt wie die Gesamtheit der Treibhausgasemissionen hat. Dabei wird die gleiche Sachbilanz berücksichtigt wie bei der Grauen Energie. (SIA 2040:2017 Effizienzpfad Energie)

Die Grauen Treibhausgasemissionen gehören zu den indirekten Treibhausgasemissionen.

Graue Energie (nicht erneuerbare Primärenergie)

Gesamte Menge nicht erneuerbarer Primärenergie*, die für alle vorgelagerten Prozesse, vom Rohstoffabbau über Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse und für die Entsorgung, inkl. der dazu notwendigen Transporte und Hilfsmittel, erforderlich ist. Sie wird auch als kumulierter, nicht erneuerbarer Energieaufwand bezeichnet.» (SIA 2040)

** nicht erneuerbare Primärenergie ist die Primärenergie, die aus einer Quelle gewonnen wird, die durch Nutzung erschöpft wird, z.B. Uran, Rohöl, Kohle.*

Biogener Kohlenstoffgehalt

Der biogene Kohlenstoffgehalt quantifiziert den in den Baumaterialien und Bauelementen auf natürliche Weise gebundenen Kohlenstoff, ausgedrückt in [kg C].

Mit dieser Kenngrösse wird der in Holz, Stroh und weiteren nachwachsenden Rohstoffen enthaltene Kohlenstoff quantifiziert. Diese Kenngrösse basiert auf der europäischen Norm EN 15804:2012+A2:2019 zu den Grundregeln von Umweltproduktdeklarationen für die Produktkategorie Baumaterialien. (Ökobilanzdaten im Baubereich, KBOB / eco-bau / IPB 2009/1:2022)

Biogener Kohlenstoff wird bei Holz während des Baumwachstum der Atmosphäre entzogen und erst bei der Zersetzung oder der energetischen Verwertung wieder ausgestossen. Er ist solange im Holz gespeichert, bis das Holz zerfällt oder verbrannt wird. Biogener Kohlenstoff ist also gespeichert im stehenden Baum oder in Bauholz in Gebrauch.

Netto Null

Die Schweiz soll ab 2050 nicht mehr Treibhausgase in die Atmosphäre austossen, als durch natürliche und technische Speicher aufgenommen werden (Netto-Null-Ziel).¹

Netto-Null bedeutet, dass alle durch Menschen verursachten Treibhausgas-Emissionen durch Reduktionsmassnahmen wieder aus der Atmosphäre entfernt werden müssen und somit die Klimabilanz der Erde netto, also nach den Abzügen durch natürliche und künstliche Senken, Null beträgt.²

¹ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/fachinformationen/emissionsverminderung/verminderungsziele/ziel-2050.html>

² Swiss Climate: <https://www.swissclimate.ch/netto-null> (Stand 06.04.2023)

<i>Positive Emissionen</i>	Positive Emissionen bezeichnen die in die Atmosphäre gelangenden Treibhausgase.
<i>Negative Emissionen</i>	Negative Emissionen stellen die aus der Atmosphäre entfernten CO ₂ -Emissionen dar. Das kann geschehen durch auf natürliche Weise gebundenen Kohlenstoffe wie im Holz, durch Negativ-Emissionstechnologien (NET) oder CO ₂ -Abscheidung und Speicherung (CCS):
<i>SIA 2032 Ökobilanzierung für die Erstellung von Gebäu- den</i>	<p>Das Merkblatt SIA 2032:2020 Ökobilanzierung für die Erstellung von Gebäuden (die ursprüngliche Version von 2010 hiess Graue Energie von Gebäuden) bildet die Grundlage der Bilanzierung von Grauen Energien und Grauen Treibhausgasemissionen von Gebäuden.</p> <p>SIA 2032 definiert die Begriffe Graue Energie und Graue Treibhausgasemissionen, in ihr sind u.a. Bilanzgrenzen (z.B.: welche Bauteile werden bilanziert, welche nicht, Abgrenzung von bereits bestehenden Bauteilen und Gebäuden), Betrachtungszeitraum eines Gebäudes (60 Jahre) und Amortisationszeiten definiert.</p> <p>Die SIA 2032 ist Grundlage der Ökobilanz gemäss SIA 2040 Effizienzpfad Energie. Die Methode ist gleichzeitig Grundlage von Ökobilanzen von in der Schweiz üblicher Gebäude- sowie Arealstandards und -zertifizierungen.</p>
<i>SIA 2040 Effizienzpfad Energie</i>	<p>Das Merkblatt SIA 2040:2017 Effizienzpfad Energie bildet die Grundlage des Modells der 2000-Watt-Gesellschaft bezogen auf Gebäude. SIA 2040 definiert die nicht erneuerbaren Primärenergien und Treibhausgasemissionen des Gebäudesektors für die Bereiche Erstellung, Betrieb und Umwelt.</p> <p>Jeder der drei Bereiche hat ein weiteres Merkblatt zur detaillierten Definition: SIA 2032 für die Erstellung, SIA 2044 für den Betrieb und SIA 2039 für die Mobilität.</p> <p>Die SIA 2040 ist Grundlage der Ökobilanz gemäss SIA 2040 Effizienzpfad Energie. Die Methode ist gleichzeitig Grundlage von Ökobilanzen von in der Schweiz üblicher Gebäude- sowie Arealstandards und -zertifizierungen.</p>

1 Einleitung

Wüest Partner entwickelt in Zusammenarbeit mit Lignum und mit Unterstützung vom BAFU eine Plattform für Investoren. In vorgängigen Schritten sind Systematiken zur besseren Vergleichbarkeit von Holzbauprojekten für Investoren zu folgenden Themen entwickelt worden:

- Standort und Markt
- Betriebsenergie nach GEAK
- Erstellungskosten (inkl. Vergleich mit Referenzdatenbank)
- Wirtschaftlichkeit
- Verbaute Holzmenge und gebundenes CO₂

Dabei wurden acht realisierte Holzbauprojekte in der Deutschschweiz ausgewertet. Die Ergebnisse zeigen, dass die analysierten Holzbauten hinsichtlich der Baukosten und Wirtschaftlichkeit konkurrenzfähig gegenüber Massivbauten sind und punkto Nachhaltigkeit ebenfalls überzeugen (vgl. Lignum Magazin: Was kostet ein Holzbau? April 2021).

Mit dieser Studie wurde der Grundstein gelegt für die quantitative Vergleichbarkeit von Holzbauten mit anderen Objekten anhand für Investorinnen relevanter Kriterien.

Als nächster Schritt werden im Rahmen dieser Studie ökologische Kennzahlen untersucht, die heute bereits wichtige Kriterien darstellen und die zukünftig noch mehr an Bedeutung gewinnen werden.

Graue Treibhausgasemissionen als relevante Kennzahl

Im Vordergrund stehen dabei die grauen Treibhausgasemissionen als Dimension, die in den letzten Jahren immer deutlicher in den Vordergrund gerückt ist: als Kennzahl die die Auswirkung von baulichen Massnahmen auf das Klima ausdrückt.

Beantwortet werden folgende Fragen:

- Welche Aspekte sind relevant und können mit grauen Treibhausgasemissionen ausgedrückt werden?
- Welche Massnahmen können Treibhausgasemissionen reduzieren?
- Welche Auswirkungen haben Baustoffe auf die Emissionen?
- Welche Kennzahlen lassen sich mit vertretbarem Aufwand für eine grosse Zahl von Projekten ermitteln?
- Welche Informationen werden benötigt, um diese zu berechnen?
- Wie können widersprüchliche Aussagen interpretiert werden?

Um Antworten auf diese Fragen zu generieren, wird in den Betrachtungen die Holzbauweise verglichen mit ihrem mineralischen Zwilling. Dabei werden folgende Aspekte herausgestellt:

- Graue Treibhausgasemissionen bei üblichen Bilanzierungen
- Optimierung der stofflichen Qualität, z.B. durch Einsatz von Holz
- Bauteiloptimierung unabhängig von ihrer stofflichen Qualität
- Überlegungen zu Massnahmen zur Kreislaufwirtschaft

2 Anwendung

- Kapitel 3
Methode* - Definiert Aufgabe und Hintergrund der Studie
- Erklärt die Methode der Bilanzierungen
- Erläutert Variantenvergleiche von Holzbauweisen mit dem mineralischen Zwillings
- Kapitel 4
Ergebnisse
der 10 Fallbeispiele* - Stellt die Ergebnisse der Bilanzen der 10 Fallbeispiele dar
- Unterscheidet dabei das Potenzial einzelner Bauteile
- Kapitel 5
Kennwerte* - Stellt unterschiedliche Kennwerte auf Basis der grauen Treibhausgasemissionen und der grauen Energie vor
- Thematisiert biogene Kohlenstoffe als weitere Materialeigenschaft im Kontext Treibhausgasemissionen
- Kapitel 6
Parameter
einer Ökobilanz* - Erklärt die drei Dimensionen einer Ökobilanz
- Zeigt auf, wie Ökobilanzen anhand dieser Dimensionen verbessert werden können
- Verweist auf das Potenzial von Holz
- Kapitel 7
Die Rolle von Holz
bezüglich Netto Null* - Erklärt Netto Null
- Zeigt Massnahmen, die Netto Null ermöglichen
- Verweist auf das Potenzial von Holz
- Kapitel 8
Konstruktionsvergleich
mit Hilfe der
Ökobilanzdaten* - Fasst alle zuvor entwickelten Inhalte und Erkenntnisse in einem weiteren Vergleich zusammen

3 Methode

Die Methode und die Vorgehensweise werden aus den Studien «Holzbaukennzahlen für Investoren»³ übernommen und auf eine ökologische Betrachtung adaptiert. Damit ist die Fortsetzung der Studie «Holzbaukennzahlen für Investoren» sichergestellt, die Studien können als Ganzes gelesen werden. Die ökonomischen Erkenntnisse der ersten Studie werden um ökologische Erkenntnisse ergänzt.

Datengrundlage Holzbauten

Für die Studie werden zehn in der Schweiz realisierte Holzbauprojekte als Fallbeispiele ausgewertet. Es handelt sich teils um Projekte aus der Vorgängerstudie, teils um neue Projekte. Als Fallbeispiele herangezogen werden fünf Wohnbauten und fünf Bürobauten.

Alle Gebäude sind nach 2010 erstellt worden. Die Erstellungskosten BKP1-5 belaufen sich zwischen CHF 1.5 Mio. bis CHF 50 Mio. Die Bauten sind teils für die Eigennutzung, teils zur Vermietung erstellt worden.

Die Auswertung erfolgt in einer anonymisierten Form.

Umfang und Detaillierungsgrad der Datengrundlage unterscheiden sich für je nach Gebäude. Bei einzelnen Projekten war Durable selbst in die Planung involviert, sodass detaillierte Daten vorliegen und nachträgliche Abklärungen detailliert getroffen werden konnten. Bei anderen Projekten sind die vorliegenden Daten soweit möglich plausibilisiert worden. Vereinzelt wurden Anpassungen durchgeführt, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

der mineralische Zwilling

Anders als in der Vorgängerstudie werden den 10 Holzbauprojekten keine anderen Objekte als Referenzen gegenübergestellt. Stattdessen werden die 10 Holzbauprojekte mit ihren «mineralischen Zwillingen» in verglichen.

Der «mineralische Zwillings» ist ein Referenzmodell mit den gleichen Dimensionen (z.B. gleiche Bauteil- und Geschossflächen, gleiche Volumen) und Qualitäten (z.B. gleiche U-Werte der Bauteile der Hülle, gleiche Schalleigenschaften) wie der Holzbau.

Unterschiede ergeben sich aus dieser Betrachtung selbstverständlich bezüglich grauen Treibhausgasemissionen, grauen Energien sowie Gesamtgewicht des Gebäudes.

Graue Treibhausgasemission als zentrale ökologische Kennzahl

Die Darstellung der 10 Fallbeispiele und ihrer Zwillinge ist auf die grauen Treibhausgasemissionen fokussiert. Die Datengrundlagen der Berechnung sind neben den projektspezifischen Quantitäten und Qualitäten die Ökobilanzdaten im Baubereich des KBOB in der aktuellen Version 2022.

Kennwerte

Die ermittelten Werte der Treibhausgasemissionen sind bezogen auf das Jahr und den m² Energiebezugsfläche (EBF). Das entspricht der Bilanzierungsmethodik, die in der Schweiz sowohl in behördlichen

³ Selberherr, Julia et al.: Holzbaukennzahlen für Investoren, Schlussbericht, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Mai 2020

Nachweisen als auch in Gebäude- und Arealzertifizierungen Anwendung findet.

Der Betrachtungszeitraum beträgt bei allen Bauten 60 Jahre. Das entspricht der Methode der SIA 2032:2020 Graue Energie von Gebäuden. Der Bezug auf die Energiebezugsfläche stellt die Vergleichbarkeit der Projekte untereinander sicher. Der zusätzliche Einbezug der Zeit (a) erlaubt eine Vergleichbarkeit mit allen in der Schweiz ermittelten Kennwerten.

Alternative Kennwerte sind denkbar, in diesem Rahmen jedoch nicht zielführend. Der in der Netto-Null oder 2000-Watt-Betrachtung häufig angewandte Bezug auf die Person statt auf den m² EBF ist nicht förderlich für den Vergleich von Projekten unterschiedlicher Nutzung. Die Darstellung der reinen kumulierten Menge CO₂ ohne Bezug auf Zeit und Fläche würde nachvollziehbar darstellen, wieviel CO₂-Emissionen tatsächlich durch die Erstellung der Projekte emittiert wurden, aber auch hier fehlt die Aussagefähigkeit durch Vergleichbarkeit aufgrund unterschiedlicher Projektgrößen.

*Reine
Holzbaukennzahlen?*

Keines der betrachteten Projekte sind rein als Holzbaukonstruktionen erstellt worden. In der Regel sind es folgende Bauteile, die mehrheitlich in Holzbauweise erstellt wurden:

- Geschossdecken
- Aussenwände oberirdisch
- Dächer
- Innenwände

Bei mehreren Gebäuden sind einzelne Bauteile aus Holz, andere aber in mineralischer Bauweise erstellt, dies zumeist aus brandschutztechnischen, schalltechnischen Gründen.

Gleichzeitig gibt es Bauteilgruppen, die mit Ausnahmen nicht in Holzbauweise erstellt werden. Das sind in der Regel unterirdische Bauteile mit Kontakt zum Erdreich (Aussenwände unterirdisch. Bodenplatten).

Bauteile mit hohem Holzanteil wie Bodenbeläge, Fenster und Schreinerarbeiten (BKP 273) fallen in der Betrachtung nicht ins Gewicht, da sie unabhängig von der Bauweise (Holzbau oder mineralisch) eingesetzt werden.

Allen Fallbeispielen gemeinsam ist, dass meist der Kern, immer die Foundation und falls vorhanden, das Untergeschoss in Massivbauweise erstellt ist. In der oberirdischen Tragstruktur ist der Holzbau dominierend.

4 Ergebnisse

Die Bilanzierung der grauen Treibhausgasemissionen der 10 Fallbeispiele zeigt, dass die Bauweise in Holz immer zu besseren Resultaten führt als die entsprechende mineralische Bauweise. Das gilt sowohl für einzelne Bauteilgruppen (Decken, Dächer, Aussenwände, Innenwände) als auch für Gebäude.

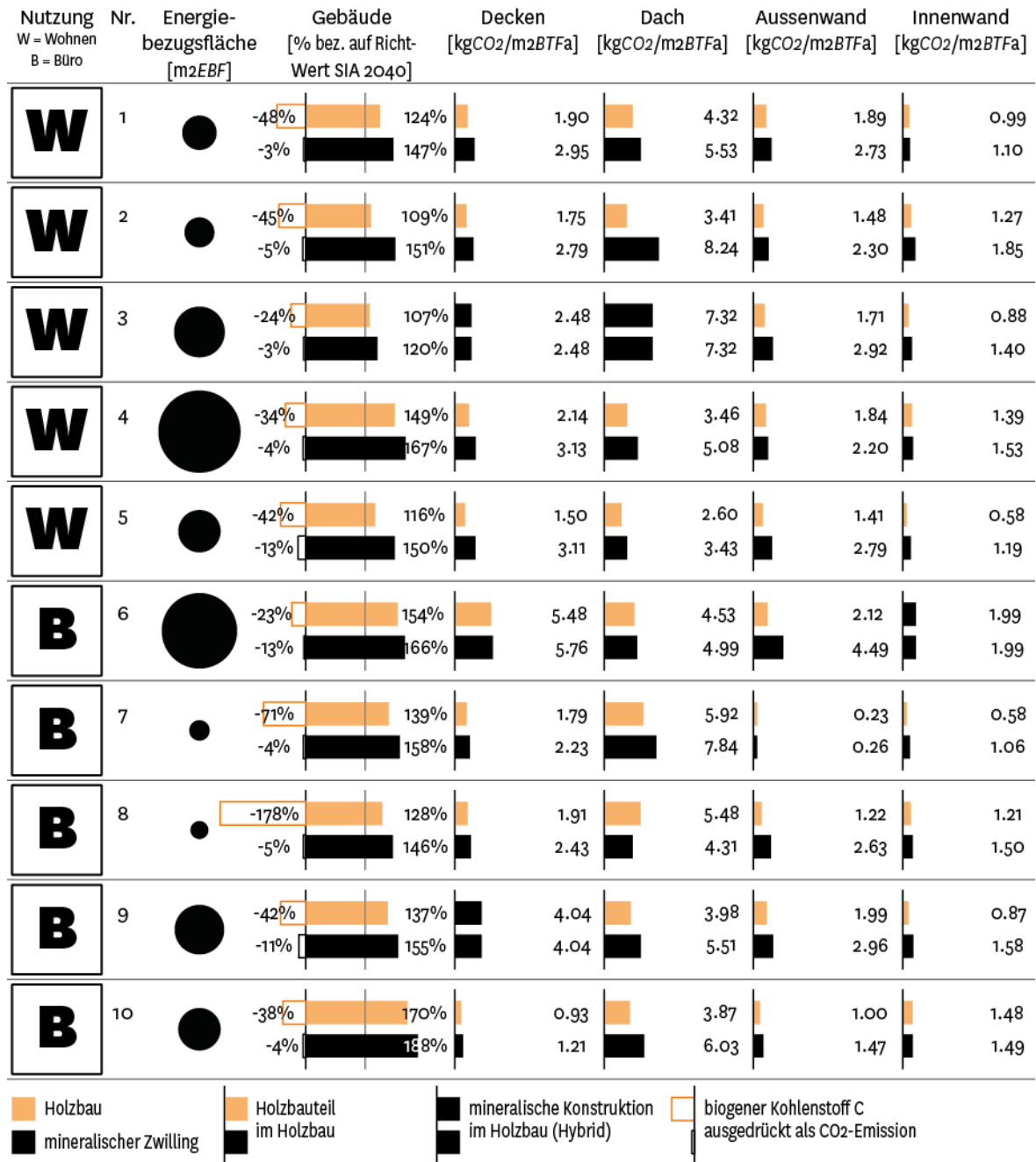


Fig. 1: Treibhausgasemissionswerte aller Fallbeispiele. Die Kennwerte der Gebäude beziehen sich auf die Richtwerte der grauen Treibhausgasemissionen des SIA-Merkblattes 2040:2017 Effizienzpfad Energie (bei Wohnen und Verwaltung = 9.0 kg/m²a). Die Kennwerte der Bauteile beziehen sich auf den Quadratmeter Bauteilfläche. Die Kennwerte der biogenen Kohlenstoffe beziehen als freigesetztes CO₂ auf den Gesamtwert Treibhausgasemissionen des jeweiligen Gebäudes.

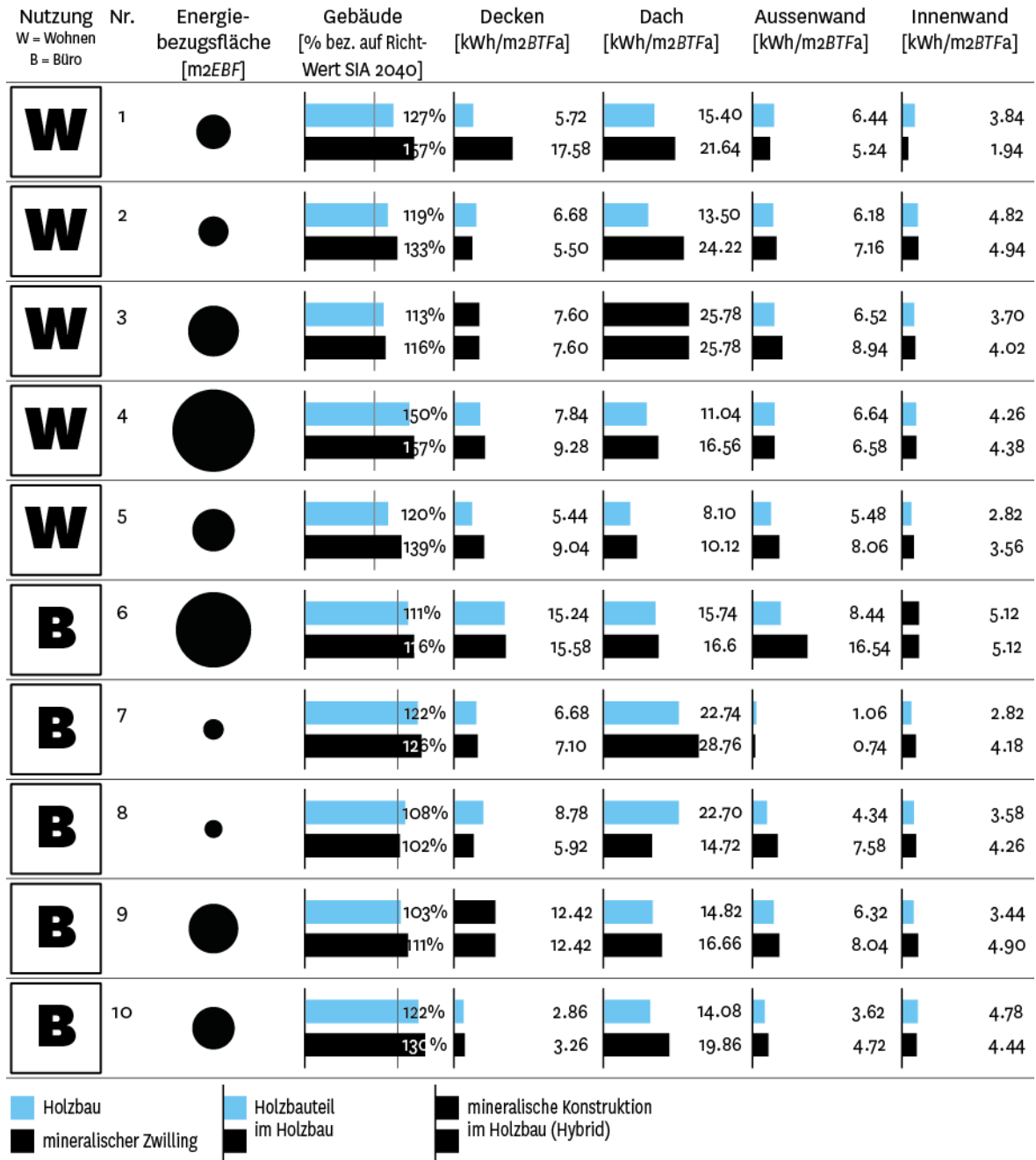


Fig. 2: Graue Energie (nicht erneuerbare Primärenergie Erstellung) aller Fallbeispiele. Die Kennwerte der Gebäude beziehen sich auf die Richtwerte der grauen Energie des SIA-Merkblattes 2040:2017 Effizienzpfad Energie (Wohnen 30 kWh/m²a und Verwaltung 40 kWh/m²a). Die Kennwerte der einzelnen Bauteile beziehen sich auf einen Quadratmeter Bauteilfläche.

4.1 Kennwerte Gebäude

Die Kennwerte der Gebäude beziehen sich auf die Richtwerte der grauen Treibhausgasemissionen (Fig. 1) bzw. grauen Energie (Fig. 2) des SIA-Merkblattes 2040:2017 Effizienzpfad Energie. Diese sind bei den betrachteten Nutzungen Wohnen und Verwaltung jeweils 9 kg/m²EBFa graue Treibhausgasemissionen bzw. 30 kWh/m²EBFa graue Energie für Wohnen und 40 kWh/m²EBFa für Verwaltung.

Die Kennwerte aller 10 Fallbeispiele überschreiten diese Richtwerte teils deutlich⁴, zwischen 7% bei Fallbeispiel 3 in Holzbauweise und 88% bei Fallbeispiel 10 in mineralischer Bauweise. Die detailgenaue Berechnung der Kennwerte mit Einbezug aller Materialschichten je Bauteil tragen dazu bei, dass die Kennwerte eher hoch sind. Z.B. ist das Fallbeispiel 1 vor Jahren im Rahmen des Vorprojektes anhand von Bauteilkennzahlen gemäss SIA 2032:2010, Anhang D, gerechnet worden, dies mit dem Resultat, dass der Richtwert von 9 kg/m²a unterschritten werden kann. Das hier berechnete fertiggestellte Gebäude überschreitet diesen Wert nun um 24%.

Vergleich Kennwerte Holz und mineralisch

Der Vergleich der Kennwerte Holz zu den mineralischen Zwillingen haben dementsprechend eine höhere Aussagekraft. Diese Vergleiche können sowohl auf Ebene Gebäude als auch auf Ebene einzelner Bauteile gestellt werden.

Treibhausgasemissionen auf Ebene Gebäude

Treibhausgasemissionen werden auf Ebene Gebäude auf den Quadratmeter Energiebezugsfläche (EBF) bezogen. Die Vergleiche der Fallbeispiele zeigen, dass die Kennwerte der mineralischen Zwillinge zwischen 12% und 41% höher liegen als die jeweilige Holzbauweise.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
+23%	+41%	+13%	+18%	+33%	+12%	+19%	+18%	+18%	+18%



Fig. 3: Abweichung der mineralischen Zwillinge gegenüber der Holzbauweise in % auf Ebene Gebäude (Holzbauweise = 0%)

⁴ Der SIA 2040 Effizienzpfad Energie gilt als erfüllt, wenn die Summen der Projektwerte aus Erstellung, Betrieb und Mobilität die Zielwerte nicht erneuerbare Primärenergie (graue Energie) und Treibhausgasemissionen (graue Treibhausgasemissionen) nicht überschreiten. SIA 2040 bildet die 2000-Watt-Kompatibilität und zukünftig vielleicht die Netto-Null-Kompatibilität von Gebäuden ab. Es ist kein gesetzliches Instrument und muss somit üblicherweise nicht erfüllt werden. Ausnahmen bilden z.B. Sondernutzungsplanungen oder einzelne Verankerungen in kommunalen Bauzonenordnungen (z.B. Arealüberbauungen).

Die Überschreitung der Richtwerte ist ein in der Anwendungspraxis der Methode SIA 2040 regelmässig beobachtetes Phänomen. Die meisten heute bilanzierten Neubauten liegen unabhängig von der Phase der Projektierung bzw. Ausführung bei 10 – 11 kg/m²a, mit hohem PV-Anteil sogar darüber. In der Anwendung der Zielwerte des SIA 2040 wird dieses «zu viel» in der Erstellung durch eine entsprechende Unterschreitung des Richtwertes Betrieb kompensiert.

4.2 Kennwerte Bauteile

Treibhausgasemissionen auf Ebene einzelner Bauteile

Die Treibhausgasemissionen der Holzbauweise und der mineralischen Bauweise können zielführend anhand der vier relevantesten Bauteile dargestellt werden:

- Geschossdecken (Last tragende Schicht inkl. Deckenbekleidungen und Bodenbeläge)
- Dächer (Last tragende Schicht inkl. Dachaufbauten und Deckenbekleidungen)
- Aussenwände (Last tragende Schicht inkl. äussere und innere Wandbekleidungen; ohne Fenster und Türen)
- Innenwände

Geschossdecken (THG in kg/m² Bauteilfläche und Jahr)

Geschossdecken sind aufgrund der erforderlichen Tragfähigkeit und Masse (Schallschutz) besonders ressourcenintensiv. Eine Optimierung der Geschossdecken auf Materialeffizienz lohnt sich in jeder Projektplanung.

Vor allem die erforderliche Masse (eine Geschossdecke sollte im Gegensatz zu Wänden nicht schwingen, der Trittschall kann also nur vorrangig über die Masse gelöst werden) stellt Geschossdecken als Holzkonstruktionen vor eine grosse Herausforderung. Dennoch weisen bei allen Fallbeispielen die Geschossdecken als Holzkonstruktionen weniger Treibhausgasemissionen auf.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
+55%	+59%	0%	+46%	+107%	+5%	+25%	+27%	0%	+29%



Fig. 4: Abweichung der mineralischen Zwillinge gegenüber der Holzbauweise in % bei Geschossdecken (Holzbauweise = 0%)

Dächer (THG in kg/m² Bauteilfläche und Jahr)

Dächer sind ähnlich wie Geschossdecken aufgrund der erforderlichen Tragfähigkeit besonders ressourcenintensiv. Da die Dachaufbauten zusätzlich noch Aufgaben des Kälte- und Feuchteschutzes übernehmen und Dächer häufig noch zusätzlich intensive oder extensive Begrünungen und Solarenergieanlagen tragen müssen oder sogar als begehbare Dachflächen genutzt werden, sind die Anforderungen an Dächer sehr hoch.

Häufig wird versucht, bei den Dächern Gewicht für das gesamte Gebäude einzusparen. Das spricht für den Einsatz von Holzelement-Konstruktionen. Es ist aber zu beachten, dass ein Grossteil des Gewichtes der Dächer nicht durch die Last tragende Schicht, sondern durch die Aufbauten entsteht. Es gilt also die Nutzung der Dächer so einfach, d.h., mit so wenig Gewicht wie möglich zu gestalten.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
+28%	+42%	0%	+47%	+32%	+10%	+32%	-21%	+38%	+56%



Fig. 5: Abweichung der mineralischen Zwillinge gegenüber der Holzbauweise in % bei Dächern (Holzbauweise = 0%)

*Aussenwände
(THG in kg/m² Bauteil-
fläche und Jahr*

Die Holzbauweise ist bei Aussenwänden heute bereits sehr verbreitet, da die an das Bauteil gestellten Anforderungen vorteilhaft durch das geringe Gewicht von Holz erfüllt werden können. Defizite ergeben sich höchstens bezüglich Schallschutz und thermischer Speichermassen.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
+44%	+56%	+71%	+19%	+97%	+112%	+12%	+116%	+49%	+48%

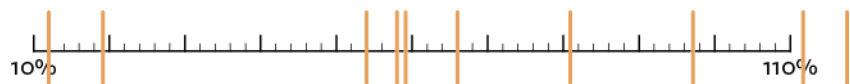


Fig. 6: Abweichung der mineralischen Zwillinge gegenüber der Holzbauweise in % bei Aussenwänden (Holzbauweise = 0%)

*Innenwände
(THG in kg/m² Bauteil-
fläche und Jahr*

Innenwände aus Holz werden vor allem auf Schallanforderungen dimensioniert. Hier wird das Masse-Feder-Prinzip vorteilhaft angewandt. Dadurch sind sie schlanker und leichter als Massivbauwände.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
+11%	+45%	+58%	+10%	+104%	0%	+83%	+23%	+83%	+1%



Fig. 7: Abweichung der mineralischen Zwillinge gegenüber der Holzbauweise in % bei Innenwänden (Holzbauweise = 0%)

4.3 Fazit Ergebnisse

Der Vergleich der Holzbauten mit ihren mineralischen Zwillingen zeigt das Potenzial von Holz zur Senkung der Treibhausgasemissionen, um das definierte Ziel Netto-Null einhalten zu können. Bei allen betrachteten Gebäuden und mit einer Ausnahme bei allen Bauteilen ist die Holzbauweise die bessere Option.

Keines der Gebäude kann die strengen Richtwerte des SIA 2040:2017 Effizienzpfad Energie für die Erstellung einhalten. Der Einhalt kann bis auf weiteres als Zielerfordernung Netto Null betrachtet werden und ist deshalb Massstab der vorliegenden Studie.

5 Kennwerte

Aus der breiten Palette möglicher Kennzahlen zur Beurteilung ökologischer Zusammenhänge lohnt sich der Fokus auf die Kennwerte, die in der Praxis eindeutige Relevanz haben. Relevanz bekommen Kennwerte durch eine breite Anwendung, wie z.B. für:

- behördliche Nachweise,
- Gebäudezertifizierungen,
- Objekt-Ratings (z.B. ESG),
- Material- und Bauteilbewertung,
- zukünftige Netto-Null-Bewertungen.

In dem Kontext lassen sich ökologische Kennzahlen herabbrechen auf:

- Graue Treibhausgasemissionen,
- Primärenergien nicht erneuerbar Erstellung (Graue Energie),
- Biogene, d.h. natürlich gebundene Kohlenstoffe,
- und vielleicht zukünftig technisch gebundene Kohlenstoffe.

Im Hintergrund stehen bei allen Betrachtungen bauphysikalische Zusammenhänge, die massgeblichen Einfluss auf die Dimensionierung und Materialisierung von Bauteilen haben:

- Schall,
- Sommerlicher Wärmeschutz / Speicherkapazitäten,
- Winterlicher Wärmeschutz,
- Dauerhaftigkeit (Lebenszyklen)
- Brandschutz

5.1 Graue Treibhausgasemissionen

Die Definition der grauen Treibhausgasemissionen befindet sich im Glossar. Die in den Merkblättern SIA 2032 Graue Energie von Gebäuden und SIA 2040 Effizienzpfad Energie beschriebene Methode der Bilanzierung erfasst die Grauen Treibhausgasemissionen über den ganzen Lebenszyklus eines Gebäudes. Das bedeutet, dass nicht nur die initiale Erstellung eines Gebäudes erfasst wird, sondern auch alle Erneuerungs- und Instandsetzungsmassnahmen sowie der Rückbau.

Um eine Vergleichbarkeit von Bilanzen unterschiedlicher Gebäude zu gewährleisten, sind der Gebäudezyklus (Betrachtungszeitraum = 60 Jahre) und die Ersatzzeitpunkte der einzelnen Bauteilgruppen eines Gebäudes festgelegt (vgl. SIA 2032, Anhang C).

Graue Treibhausgasemissionen werden erfasst in den Einheiten:

- kg als kumulierte Menge
- kg/m²a als kumulierte Menge bezogen auf den m² Bauteilfläche oder Energiebezugsfläche und Jahr.

Ziele der Bilanzierung

Mit der Erfassung der Grauen Treibhausgasemissionen besteht die Möglichkeit, die bei der Erstellung eines Gebäudes anfallenden Emissionen mit dem Betrieb (und der induzierten Mobilität) zu vergleichen. Aus aktuellem Anlass der Klimaveränderung erweist sich der Kennwert Treibhausgasemissionen als der Kennwert mit der grössten Relevanz mit dem Zweck, die Auswirkungen von baulichen Massnahmen auf das Klima auszudrücken.

Angewandte Kennwerte

Kumulierter Wert [kg] oder [t]

Treibhausgasemissionen als kumulierter Wert zeigen die direkte Auswirkungen auf das Klima. Mit dem Kennwert lässt sich das verbliebene CO₂-Budget, also die noch möglichen CO₂-Emissionen bevor z.B. das Klimaziel +2°C überschritten wird, ausdrücken. Es beträgt Ende Dezember 2022 ziemlich genau 1 Billionen Tonnen (<https://www.mcc-berlin.net/forschung/co2-budget.html>).

Ein Grossteil der Klimamodelle basiert auf diesem Kennwert.

Treibhausgasemissionen pro Person [kg/Person und Jahr]

Treibhausgasemissionen bezogen auf eine Person und auf ein Jahr drücken das jährliche Budget einer Person aus. Das bisher bekannteste Beispiel dieses Kennwertes ist das 1 Tonne-Modell der ETH, welches besagt, dass sich jeder Mensch den «Footprint» von jährlich 1 Tonne oder 1'000 kg CO₂ leisten kann, ohne dass die eine Welt ausgebeutet wird.

Treibhausgasemissionen pro m² Bauteilfläche [kg/m² und Jahr]

Treibhausgasemissionen pro m² Bauteilfläche ermöglichen Variantenvergleiche zwischen zwei oder mehreren unterschiedlichen Bauteilen. Diese Bauteilvarianten haben die gleiche Dimension, aber unterschiedliche Materialqualitäten und Eigenschaften. Die Kennwerte Bauteile (siehe 4.2) sind auf diesen Kennwert ausgelegt.

Treibhausgasemissionen pro m² Energiebezugsfläche [kg/m² und Jahr]

Treibhausgasemissionen pro m² Energiebezugsfläche ermöglichen Variantenvergleiche von Gebäuden. Dabei sind alle Materialien aller Bauteile bezüglich Qualität und Quantität berücksichtigt. Die Kennwerte Gebäude (siehe 4.1) sind auf diesen Kennwert ausgelegt.

5.2 Graue Energie

Definition

Die Definition der grauen Energie befindet sich im Glossar. Die in den Merkblättern SIA 2032 Grauen Energie von Gebäuden und SIA 2040 Effizienzpfad Energie beschriebene Methode der Bilanzierung der Grauen Energie erfasst die Graue Energie über den ganzen Lebenszyklus eines Gebäudes. Das bedeutet, dass nicht nur die initiale Erstellung eines Gebäudes erfasst wird, sondern auch alle Erneuerungs- und Instandsetzungsmassnahmen und den Rückbau.

Um eine Vergleichbarkeit von Bilanzen unterschiedlicher Gebäude zu gewährleisten, sind der Gebäudezyklus (Betrachtungszeitraum = 60

Jahre) und die Ersatzzeitpunkte der einzelnen Bauteilgruppen eines Gebäudes festgelegt (vgl. SIA 2032, Anhang C).

Die Graue Energie wird erfasst in den Einheiten:

- kWh bzw. MJ als kumulierte Menge
- kWh/m²a bzw. MJ/m²a als kumulierte Menge bezogen auf den m² Bauteilfläche oder Energiebezugsfläche und Jahr.

Ziele der Erfassung

Mit der Erfassung der Grauen Energie besteht die Möglichkeit, die für die Erstellung eines Gebäudes erforderliche Energiemenge mit der für den Betrieb (und der induzierten Mobilität) zu vergleichen. Dafür werden alle betrachteten Energieformen des Betriebs (Nutzenergie, Endenergie) auf die Dimension Primärenergie «zurückgerechnet».

Gebäude und Bauteile werden bewertet in der Dimension kWh/m²a. Statt kWh kann die Energie auch in MJ ausgedrückt werden (1 kWh = 3.6 MJ). Bei einer Gebäudebilanz bezieht sich die Energie auf den m² Energiebezugsfläche, bei Bauteilvergleichen auf den m² Bauteilfläche.

Mit der Berechnung der Grauen Energie können sowohl Gebäude als auch Bauteile und Materialien untereinander verglichen werden.

Angewandte Kennwerte

Anders als bei Treibhausgasemissionen beschränkt sich die praktische Anwendung des Kennwertes Graue Energie auf folgende Kennwerte:

Graue Energie pro m² Bauteilfläche [kg/m² und Jahr]

Die Berechnung der grauen Energie pro m² Bauteilfläche ermöglicht Variantenvergleiche von unterschiedlichen Bauteilen. Diese Bauteilvarianten haben die gleiche Dimension, aber unterschiedliche Materialqualitäten und Eigenschaften.

Graue Energie pro m² Energiebezugsfläche [kg/m² und Jahr]

Die Berechnung der grauen Energie pro m² Bauteilfläche ermöglicht Variantenvergleiche von Gebäuden. Dabei sind alle Materialien aller Bauteile bezüglich Qualität und Quantität berücksichtigt.

5.3 Biogener Kohlenstoffgehalt

Der Biogene Kohlenstoffgehalt quantifiziert den in den Baumaterialien und Bauelementen auf natürliche Weise gebundenen Kohlenstoff, ausgedrückt in [kg C].

Mit dieser Kenngrösse wird der in Holz, Stroh und weiteren nachwachsenden Rohstoffen enthaltene Kohlenstoff quantifiziert. Diese Kenngrösse basiert auf der europäischen Norm EN 15804:2012+A2:2019 zu den Grundregeln von Umweltproduktdeklarationen für die Produktkategorie Baumaterialien.

Die KBOB-Liste Ökobilanzdaten im Baubereich Version 2022 führt zum ersten Mal diese Kenngrösse zu jedem Material auf. Dabei wird nur der auf natürliche Weise gebundene Kohlenstoff (= biogener Kohlenstoff) berücksichtigt, nicht die, die auf technische Weise eingebunden werden könnten.

Wieviel Kohlendioxid entsteht aus Kohlenstoff?

Kohlendioxid hat eine molare Masse von 44 Gramm pro Mol – bei Kohlenstoff sind es 12 Gramm pro Mol. Somit ergibt sich ein Massenverhältnis von CO₂ zu Kohlenstoff von $44/12 = 3,67$. Das bedeutet: Aus einem Kilogramm biogenem Kohlenstoff, der in einem Material steckt, entstehen bei der Verbrennung 3.67 kg Kohlendioxid.

Kann der biogene Kohlestoffgehalt in einer Bilanz der Treibhausgasemissionen berücksichtigt werden?

Nein, der biogene Kohlenstoffgehalt kann gemäss heutigem Stand nicht in einer Bilanz grauer Treibhausgasemissionen berücksichtigt werden. Treibhausgasemissionen und biogene Kohlenstoffe sind aus Klimasicht zwei unterschiedliche Effekte, die nicht in einer Zahl zusammengeführt werden können.

Graue Treibhausgasemissionen werden als kumulierte Summe aller bei der Herstellung entstandenen Emissionen dargestellt. Die Emission ist bei Fertigstellen des <Gebäudes bereits emittiert.

Der biogene Kohlenstoff wird während des Baumwachstum der Atmosphäre entzogen und wird erst bei der Zersetzung oder der energetischen Verwertung wieder ausgestossen. Er ist so lange im Holz gespeichert, bis das Holz zerfällt oder verbrannt wird. Biogener Kohlenstoff ist also gespeichert im stehenden Baum oder in Bauholz in Gebrauch.

Bei kurzfristigen Überlegungen zu Kompensationsmassnahmen in den nächsten Jahren ist es aber denkbar, dass man den bilanzierten Treibhausgasemissionen den biogenen Kohlenstoffgehalt in Form emittierter CO₂-Emissionen zumindest vergleichend gegenüberstellt.

6 Parameter einer Ökobilanz

Um die gezeigten Kennwerte der 10 Fallbeispiele einordnen zu können, braucht es einen einfachen Exkurs in die Methoden und inhaltlichen Hintergründe von Ökobilanzierungen. Der Exkurs fokussiert sich auf die drei Dimensionen Qualität, Quantität und Zeit.

6.1 Die drei Dimensionen einer Ökobilanz

Die in der Gebäudeplanung am häufigsten angewandte Ökobilanz basiert auf den drei Dimensionen Qualität, Quantität und Zeit, also Eigenschaft eines Materials, Menge eines Materials und Zeit des Einsatzes eines Materials sowie des Betrachtungszeitraumes.

$$\frac{\text{Qualität} * \text{Quantität}}{\text{Zeit}}$$

Fig. 8: Einfache Formel einer Ökobilanz

6.2 Qualität

Die Qualität eines Materials bestimmt die Ökobilanz unabhängig von der eingesetzten Menge und der betrachteten Zeit.

Die Ökobilanzdaten im Baubereich der KBOB beziehen sich bei den meisten Baustoffen auf ein Kilogramm (1 kg) Material und geben somit Aufschluss über die Qualität eines Materials. In einem Materialvergleich wird 1 kg des einen Baustoffs mit derselben Menge eines anderen Baustoffes verglichen. Somit würde die Dimension Qualität ausreichen, um Baustoffe oder Materialien untereinander zu vergleichen.

Beispielhafte Materialvergleiche:

Material	Treibhausgasemissionen [kg CO ₂ -eq]	Graue Energie [kWh oil-eq]
Hochbaubeton ohne Bewehrung	0.175	0.101
Aluminiumblech, blank	24.8	5.59
Massivholz Buche / Eiche, kammergetrocknet, gehobelt	0.664	0.153
Polystyrol (PS)	24.6	

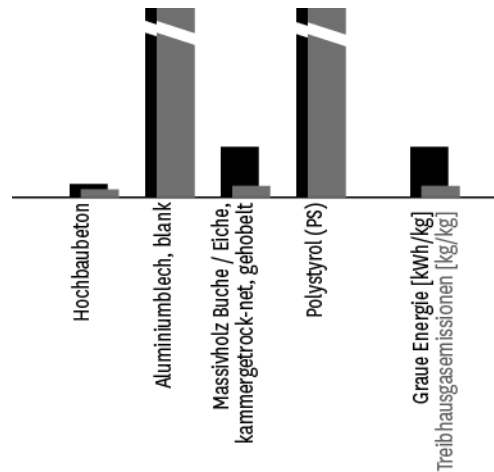


Fig. 9: Beispielhafte Materialvergleiche bezüglich ökologischer Qualität eines Baustoffes

Ökobilanzdaten im Baubereich der KBOB

Grundlage der in dieser Studie beigezogenen Ökobilanzdaten ist die KBOB-Liste «Ökobilanzdaten im Baubereich». Die Ökobilanzdaten basieren auf branchenbezogenen Stoff- und Energieflüssen und verfolgen die Methodik von Ecoinvent. Sie sind die in der Schweiz allgemein anerkannte und verbreitete Datengrundlage. Die seit 2009 publizierten Daten liegen aktuell in der Version von 2022 vor. Die Daten werden verwendet für die Analyse von Bauprojekten gemäss:

- SIA-Merkblatt 2031:2016 Energieausweis für Gebäude,
- SIA-Merkblatt 2032:2020 Graue Energie von Gebäuden,
- SIA-Merkblatt 2039:2016 Mobilität in Abhängigkeit v. Gebäudestandort,
- SIA-Merkblatt 2040:2011 Effizienzpfad Energie,
- SIA-Merkblatt 2044:2019 Klimatisierte Gebäude,
- 2000-Watt-Konzept (für die Bewertung von Regionen),
- sowie eine Reihe von Standards und Zertifizierungen, die die genannten Merkblätter anwenden.

Die «Ökobilanzdaten im Baubereich» des KBOB «enthält Ökobilanzdaten zu Baumaterialien, Gebäudetechnik, Energiebereitstellung, Transporten und Entsorgungsprozessen.» Sie sind Grundlage der üblichen Ökobilanzen. Die Liste beinhaltet Ökobilanzdaten zu:

- Umweltbelastungspunkten
- Primärenergie gesamt (erneuerbar und nicht erneuerbar, stofflich / energetisch)
- Primärenergie nicht erneuerbar (Graue Energie, stofflich / energetisch)
- Treibhausgasemissionen (CO₂-Äquivalente)
- Gebundenen biogenen Kohlenstoff [C]

BAUMATERIALIEN	Rohdichte/ Flächen- masse	Bezug Référence	Primärenergie Energie primaire					Treibhausgas- emissionen			Biogener Kohlenstoff Carbone biogène	
			nicht erneuerbar (Graue Energie) non renouvelable (énergie grise)					Emissions de gaz à effet de serre				
			Total	Herstellung total	Herstellung energetisc h genutzt	Herstellung stofflich genutzt	Entsorgun g	Total	Herstellung	Entsorgun g		im Produkt enthalten
			kWh oil-eq	kWh oil-eq	kWh oil-eq	kWh oil-eq	kWh oil-eq	kg CO ₂ -eq	kg CO ₂ -eq	kg CO ₂ -eq		kg C
Beton	kg/m³											
Magerbeton (ohne Bewehrung)	2'150	kg	0.129	0.077	0.077	0	0.052	0.063	0.050	0.013	0	
Hochbaubeton (ohne Bewehrung)	2'300	kg	0.175	0.124	0.124	0	0.052	0.101	0.089	0.013	0	
Tiefbaubeton (ohne Bewehrung)	2'350	kg	0.189	0.138	0.138	0	0.052	0.109	0.096	0.013	0	
Bohrpfahlbeton (ohne Bewehrung)	2'325	kg	0.198	0.146	0.146	0	0.051	0.119	0.107	0.013	0	
Betonfertigteil, hochfester Beton, ab Werk	2'770	kg	0.871	0.825	0.825	0	0.046	0.358	0.347	0.011	0	
Betonfertigteil, Normalbeton, ab Werk	2'500	kg	0.489	0.439	0.439	0	0.050	0.204	0.191	0.012	0	
Hanfbeton	600	kg	0.959	0.959	0.959	0	0.000	0.324	0.324	0.000	0.065	
Holz und Holzwerkstoffe	kg/m³											
3- und 5-Schicht Massivholzplatte	453	kg	2.18	2.09	1.75	0.337	0.093	0.471	0.415	0.056	0.433	
Balkenschichtholz	439	kg	1.56	1.47	1.38	0.097	0.091	0.343	0.294	0.049	0.446	
Brettschichtholz	439	kg	1.54	1.45	1.30	0.142	0.091	0.336	0.287	0.049	0.446	
Brettspertholz	436	kg	1.82	1.73	1.64	0.089	0.098	0.397	0.317	0.080	0.449	
Furnierspertholz	823	kg	5.08	4.98	4.05	0.933	0.098	1.02	0.944	0.080	0.410	
Hartfaserplatte	955	kg	4.13	4.04	3.78	0.260	0.090	1.07	1.03	0.044	0.455	
Holzwohle-Leichtbauplatte, zementgebunden	400	kg	1.28	1.10	1.10	0	0.171	0.536	0.499	0.036	0.138	
Konstruktionsvollholz	436	kg	1.25	1.15	1.14	0.011	0.090	0.290	0.245	0.044	0.450	
Massivholz Buche / Eiche, kammergetrocknet, gehobelt	675	kg	0.664	0.575	0.575	0	0.089	0.153	0.114	0.039	0.451	
Massivholz Buche / Eiche, kammergetrocknet, rau	675	kg	0.569	0.480	0.480	0	0.089	0.136	0.097	0.039	0.451	
Massivholz Buche / Eiche, luftgetrocknet, rau	705	kg	0.480	0.390	0.390	0	0.089	0.121	0.082	0.039	0.413	
Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, kammergetr., gehobelt	465	kg	0.779	0.690	0.690	0	0.089	0.174	0.135	0.039	0.451	
Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, luftgetr., gehobelt	485	kg	0.674	0.585	0.585	0	0.089	0.157	0.118	0.039	0.413	
Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, luftgetrocknet, rau	485	kg	0.511	0.421	0.421	0	0.089	0.130	0.091	0.039	0.413	
Mitteldichte Faserplatte (MDF), UF-gebunden	685	kg	4.48	4.37	3.20	1.17	0.102	0.956	0.856	0.100	0.396	
OSB Platte, PF-gebunden, Feuchtbereich	605	kg	2.71	2.61	2.08	0.535	0.098	0.565	0.485	0.080	0.444	
Röhrenspanplatte	272	kg	3.65	3.56	2.91	0.647	0.098	0.815	0.735	0.080	0.429	
Spanplatte, PF-gebunden, Feuchtbereich	640	kg	2.56	2.46	1.61	0.856	0.098	0.531	0.451	0.080	0.417	
Spanplatte, UF-gebunden, beschichtet, Trockenbereich	640	kg	3.70	3.60	2.47	1.13	0.099	0.737	0.642	0.095	0.417	
Spanplatte, UF-gebunden, Trockenbereich	640	kg	2.56	2.46	1.61	0.856	0.098	0.531	0.451	0.080	0.417	
Spertholz/Multiplex, PF-gebunden, Feuchtbereich	500	kg	6.95	6.85	6.11	0.741	0.098	1.43	1.35	0.080	0.410	
Spertholz/Multiplex, UF-gebunden, Trockenbereich	500	kg	4.70	4.61	3.87	0.741	0.098	0.951	0.871	0.080	0.410	

Fig. 10: Auszug aus Ökobilanzdaten im Baubereich (Version 2022); beispielhafte Selektion: Betone und Holz / Holzbaustoffe sowie Primärenergie nicht erneuerbar und Treibhausgasemissionen

*Anwendung
der Ökobilanzdaten*

Ökobilanzen dienen dem Vergleich unterschiedlicher Bauteile (z.B. Vergleich von Holz- mit mineralischen Konstruktionen).

In der Liste sind die Ökobilanzdaten zu einer Vielzahl von Baumaterialien aufgeführt. Diese beziehen sich in der Regel auf 1 kg Materialmenge. In der Liste sind aber auch einzelne Bauteile (z.B. fertig verlegte Bodenbeläge, Fenstergläser inkl. Rahmenverbund) aufgeführt, diese beziehen sich auf 1 m² Bauteilfläche.

$$\frac{\text{Graue Energie kWh}}{\text{kg}} \cdot \frac{\text{Rohdichte kg}}{\text{m}^3} \cdot \text{Bauteildicke m} = \frac{\text{Graue Energie kWh}}{\text{m}^2}$$

Fig. 11: Umwandlung der Bezugsgrösse kg auf m²

Um unterschiedliche Bauteile vergleichbar zu machen, müssen diese auf 1 m² Bauteilfläche bezogen werden. Das geschieht durch die Berücksichtigung der Rohdichte [kg/m³] und der Materialdicke [m] der Bauteilschicht. Daraus ergeben sich folgende Dimensionen:

- kWh Energie / m² Bauteilgrösse für Graue Energie,
- kg CO₂-Äquivalente / m² Bauteilgrösse für Graue Treibhausgasemissionen.

Fig. 10 zeigt einen Auszug aus den Ökobilanzdaten des KBOB in der Version von 2022. Dargestellt sind die unterschiedlichen Betonarten und die Hölzer und Holzwerkstoffe. Die Liste ist gefiltert auf die nicht erneuerbaren Primärenergien (violett) und Treibhausgasemissionen (orange).

Grün hinterlegt ist die Bezugsgrösse kg. Das heisst, alle violett und orange hinterlegten Ökobilanzdaten müssen für diese Zwecke umgerechnet werden auf die Bezugsgrösse m² Bauteilfläche (siehe Fig. 11). Dazu ist in der Liste die Rohdichte aufgeführt (rot hinterlegt).

6.3 Quantität

*Anwendung
der Ökobilanzdaten*

Die Betrachtung der Quantität der eingesetzten Materialien ergänzt die Ökobilanz soweit, dass aus dem Vergleich von Materialien ein Vergleich von Bauteilen wird.

Es ist unmöglich, dass bei unterschiedlichen Materialien wie Beton und Holz Materialien in gleichen Mengen eingesetzt werden, um dieselbe Eigenschaft zu erfüllen. Deshalb muss in einem Variantenvergleich neben der Qualität auch die Quantität, also die eingesetzte Menge, berücksichtigt werden.

Möchte man beispielhaft eine 10 cm dicke Bauteilfläche aus 1 m² Hochbaubeton mit einer vergleichbar dimensionierten Bauteilfläche aus Massivholz vergleichen, ergibt sich folgende Rechnung. In ihr ist berücksichtigt, dass Beton nur dann vergleichbare Eigenschaften mit Holz hat, wenn der Beton zur Aufnahme der Zugkräfte mit Armierungsstahl bewehrt ist.

Anwendung
der Ökobilanzdaten
(Fortsetzung)

Graue Energie

Hochbaubeton ohne Bewehrung

$$0.175 \frac{kWh}{kg} * 2'300 \frac{kg}{m^3} * 0.1 m = 40.25 \frac{kWh}{m^2} \text{ (94 \%)}$$

Bewehrung (Armierungsstahl, Bewehrungsanteil 80 kg/m)⁵

$$0.338 \frac{kWh}{kg} * 80 \frac{kg}{m^3} * 0.1 m = 2.7 \frac{kWh}{m^2} \text{ (6 \%)}$$

Hochbaubeton mit Bewehrung

$$40.25 \frac{kWh}{m^2} + 2.7 \frac{kWh}{m^2} = 42.95 \frac{kWh}{m^2} \text{ (100 \%)}$$

Massivholz Buche/Eiche luftgetrocknet, rau

$$0.480 \frac{kWh}{kg} * 705 \frac{kg}{m^3} * 0.1 m = 33.84 \frac{kWh}{m^2} \text{ (79 \%)}$$

Treibhausgasemissionen

Hochbaubeton ohne Bewehrung

$$0.101 \frac{kg_{CO_2-eq.}}{kg} * 2'300 \frac{kg}{m^3} * 0.1 m = 23.23 \frac{kg_{CO_2-eq.}}{m^2} \text{ (70 \%)}$$

Bewehrung (Armierungsstahl, Bewehrungsanteil 80 kg/m)³

$$1.22 \frac{kg_{CO_2-eq.}}{kg} * 80 \frac{kg}{m^3} * 0.1 m = 9.76 \frac{kg_{CO_2-eq.}}{m^2} \text{ (30 \%)}$$

Hochbaubeton mit Bewehrung

$$23.23 \frac{kg_{CO_2-eq.}}{m^2} + 9.76 \frac{kg_{CO_2-eq.}}{m^2} = 32.99 \frac{kg_{CO_2-eq.}}{m^2} \text{ (100 \%)}$$

Massivholz buche/Eiche luftgetrocknet, rau

$$0.121 \frac{kg_{CO_2-eq.}}{kg} * 705 \frac{kg}{m^3} * 0.1 m = 8.53 \frac{kg_{CO_2-eq.}}{m^2} \text{ (26 \%)}$$

Fig. 12: Rechenweg, um ein 10 cm dickes Bauteil aus Beton mit einem Bauteil aus Holz zu vergleichen

Mit der Berücksichtigung der Rohdichte und der Bauteildicke wird aus dem Vergleich von Materialien ein Vergleich von Bauteilen. Das hier dargestellte Beispiel ist ein sehr vereinfachter Vergleich. Hochbaubeton ohne Bewehrung und Massivholz Buche/Eiche haben sehr unterschiedliche mechanische Eigenschaften (z.B. Zug,- oder Biegefestigkeit) und erlauben daher keinen gleichwertigen Vergleich. Da an dieser Stelle nicht mehr nur Materialien miteinander verglichen werden, sondern Bauteile, ist dem bis hierhin unbewehrten Beton auch

⁵ Der Kennwert in [kWh/kg] und [kgCO₂-eq./kg] ist den Ökobilanzdaten der KBOB, Version 2022 entnommen. In einer korrigierten Version 2022 ist vermerkt, dass der Kennwert der ursprünglichen Version 2022 um ca. 25% zu hoch war. Das heisst der angesetzte Kennwert entspricht 80% des ursprünglichen Wertes.

noch die Bewehrung zugefügt worden. Diese hat einen Anteil von 80 kg Armierungsstahl pro m³ Beton.

Ein Bauteil aus Massivholz Buche oder Eiche hat nur 78% an Grauer Energie bzw. 26% der Grauen Treibhausgasemissionen im Vergleich zum gleich dimensionierten Bauteil aus Beton.

Fig. 13 zeigt die deutlich geringeren Energieaufwände und Emissionen von Vollhölzern gegenüber den Betonen. Die verglichenen Bauteile sind in Rot dargestellt. Der Vergleich zeigt aber auch den Unterschied von Vollhölzern und Holzwerkstoffen. Während die Vollhölzer die ökologische Qualität von Holz voll ausspielen können, ist die Qualität der Holzwerkstoffe aufgrund der Weiterverarbeitung von Holz deutlich schlechter. Ein Grund dafür sind z.B. die Leimanteile, die zu einer Verschlechterung der Kennwerte führen.

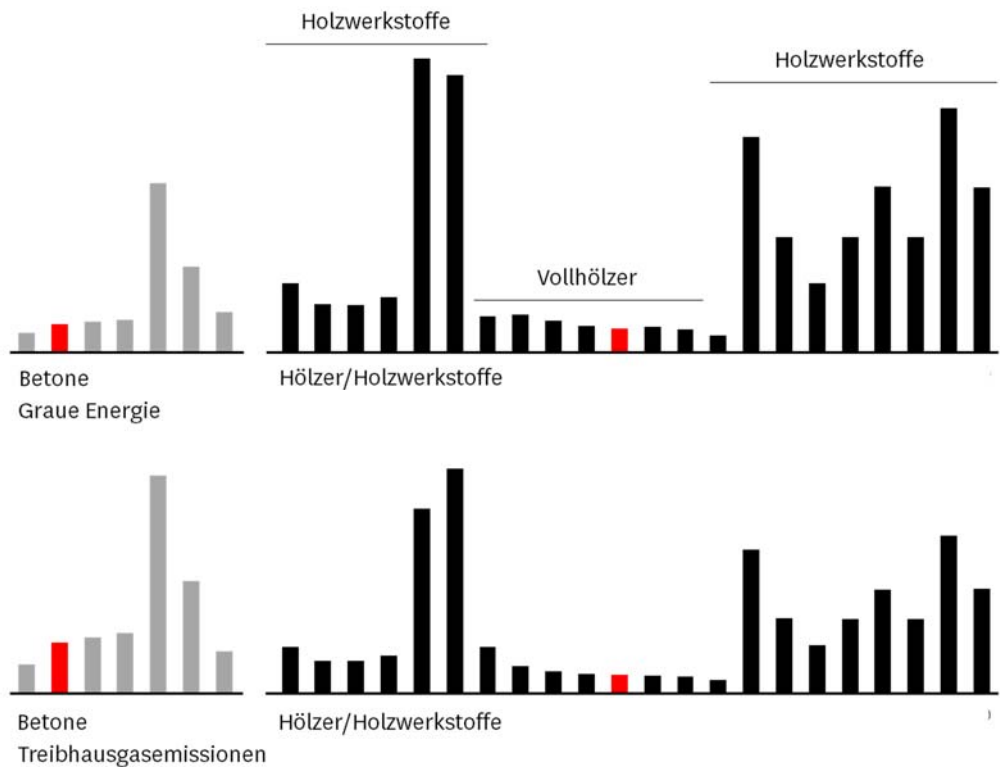
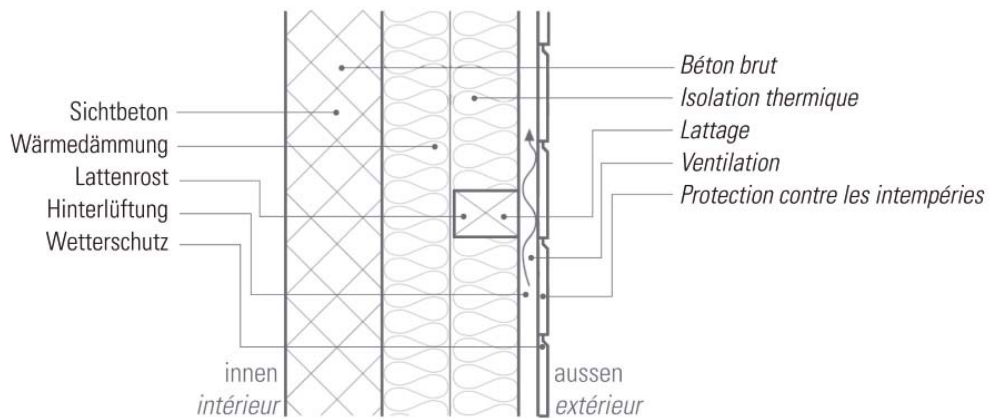


Fig. 13: Vergleich Betone und Hölzer / Holzwerkstoffe bezogen auf den m² Bauteilfläche, rot markiert sind die bisher betrachteten Beispiele Hochbaubeton (links) und Laubholz (rechts)



	kg/m ²	UBP/kg	UBP/m ²	Anteil	
Hochbaubeton, 0.15 m	357	94	33'665	33 %	béton de construction, 0,15 m
Armierungsstahl, (100 % Recycling)	15.0	2'860	42'900	42 %	Acier d'armature, 100% rec.
Schalung Typ 2 (Verwendung 5x)	5.2	1'360/5	1'414	1 %	Armature type 2 (utilisation 5x)
Lattenrost Holz 140/60 mm + 120/60 mm	11	347	3'817	4 %	Lattage 140/60 mm + 120/60 mm
Glaswolle 38 kg/m ³ , 260 mm	9.0	1'690	15'210	15 %	Laine de verre 38 kg/m ³ , 260 mm
Holzlatte 30/60 mm	1.3	347	451	0 %	Lattes de bois 30/60 mm
Massivholz Fichte, rau	11.3	347	3'921	4 %	Bois massif, épicéa brut
Total	417	-	101'379	100 %	total

Fig. 14: Beispielhafte Bilanz einer Aussenwand aus KBOB Ökobilanzdaten im Baubereich, Version 2016

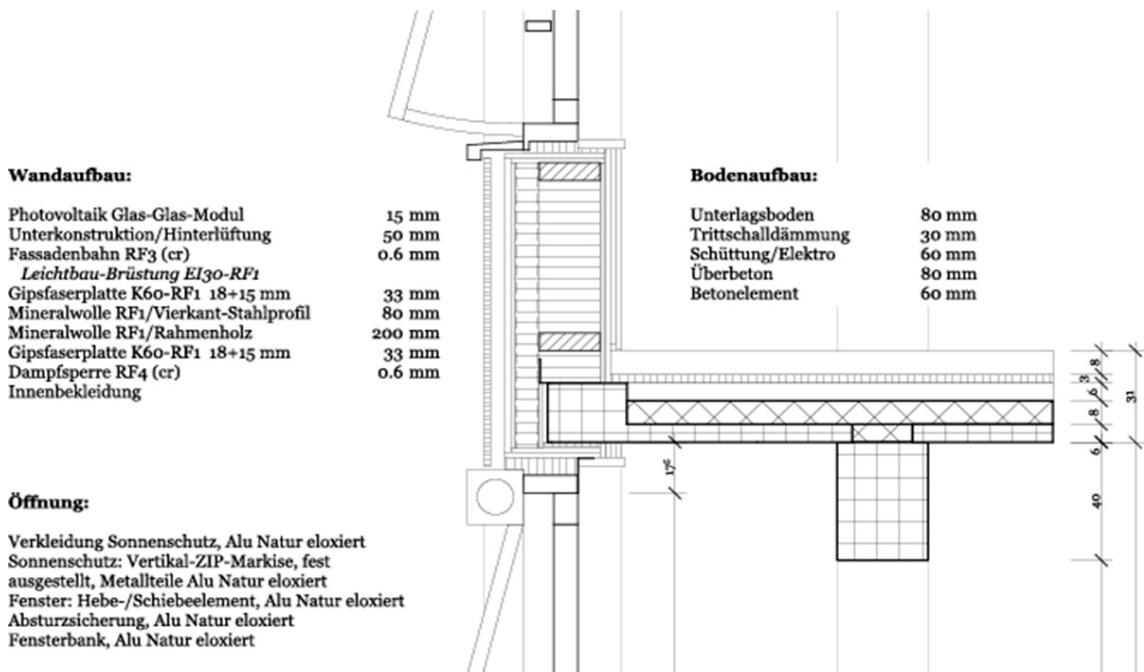


Fig. 15: Optimierte Quantität, Detailschnitt Fassade und Geschossdecke, Quelle: pool Architekten

Beispiel einer Bauteiloptimierung durch Reduktion der Quantität

Ein Beispiel der Reduktion von Treibhausgasemissionen durch Optimierung des Materialeinsatzes wird gezeigt am Beispiel einer Geschossdecke in mineralischer Bauweise. Das Detail der Geschossdecke entstammt einer aktuellen Projektierung eines Hochhauses in Zürich. Der Entscheid für eine Betondecke erfolgte vor allem aus Gründen des Brandschutzes.

Der vollständige Verzicht auf Deckeneinlagen für horizontale Medienverteilungen (Luft, Wasser, Elektro) ermöglicht die Reduktion einer herkömmlichen Betondecke auf das Mass von 14 cm (6 cm vorgefertigtes Element, 8 cm Ortbeton). Die Decke liegt auf Betonbalken 30/40 cm mit einem Achsmass von 3.60 m auf. Die Trittschallübertragung wird gemindert durch eine 6 cm dicke Schüttung auf der Betondecke. Der weitere Bodenaufbau ist konventionell.

Dem Fallbeispiel gegenübergestellt werden die Referenzwerte für Bauteilbeurteilungen in Vorstudien / Vorprojekt der SIA 2032, Anhang D⁶. Die Optimierung der mineralischen Geschossdecke ist deutlich erkennbar im Vergleich zum Referenzwert einer konventionellen Betondecke (25 cm Beton). Bezogen auf den Referenzwert einer konventionellen Holzelementdecke weist das Fallbeispiel immer noch mehr graue Treibhausgasemissionen aus.



Fig. 16: graue Treibhausgasemissionen der Betondecke des Fallbeispiels bezogen auf Referenzwerte SIA 2032, Anhang D

6.4 Zeit

Bei in der Planung von Gebäuden üblichen Bilanzen zur Ermittlung von Grauen Energien und Treibhausgasemissionen wird der Faktor Zeit anhand von zwei Dimensionen berücksichtigt (gem. SIA 2032 und 2040):

- Betrachtungszeitraum (60 Jahre)
- Amortisationszeiten (gemäss SIA 2032, Anhang C)

Beide Dimensionen dürfen in den Bilanzierungen für die im Kapitel 5 erwähnten Analysen nicht fallweise angepasst werden.

Grundsätzlich hat der Faktor Zeit aber folgende Auswirkungen auf die Ökobilanz: Wird ein Bauteil oder ein Material länger genutzt, verbessert sich seine Ökobilanz, da der Ersatzzeitpunkt des Bauteils / des Materials hinausgezögert wird.

⁶ Der Anhang D der SIA 2032:2020 Graue Energie von Gebäuden beruht auf den Ökobilanzdaten im Baubereich der KBOB, Stand 2016, das berechnete Beispiel beruht auf den Ökobilanzdaten im Baubereich der KBOB, Stand 2022.

Der Faktor Zeit führt aber noch zu einer weiteren Aussage in einer Ökobilanz, nämlich zu der konkreten Bestimmung, wann über den Lebenszyklus eines Bauteils oder eines Gebäudes Treibhausgasemissionen freigesetzt werden.

*statische und
dynamische
Betrachtungen
in Ökobilanzen*

Die Ökobilanzen gemäss SIA 2032 und 2040 sehen bei Gebäuden einen Betrachtungszeitraum von 60 Jahren vor. Das heisst, dass die durch die Erstellungsprozesse von Gebäuden (Neubau, Instandsetzungen / Erneuerungen, Rückbau) über diesen Betrachtungszeitraum emittierten und kumulierten Treibhausgasemissionen in gleichen Teilen auf diese 60 Jahre verteilt werden.

In der Realität werden aber der grösste Teil dieser Emissionen bei der Erstellung der Gebäude (ca. 60%), ein weiterer beträchtlicher Teil durch Instandsetzungs- und Erneuerungsmassnahmen innerhalb dieser 60 Jahre (ca. 30%) und ein eher kleiner Teil bei der Entsorgung (ca. 10%) durch Rückbau aller betrachteten Bauteile auftreten. Das sind häufig drei bis fünf kurze Zeiträume mit einem eindeutigen Schwerpunkt in der ersten Lebenshälfte eines Gebäudes.

Das bedeutet, dass der weitaus grösste Teil der Treibhausgasemissionen der bis 2050 zu erstellenden Gebäude auch bereits vor 2050 emittiert sind, auch wenn der Betrachtungszeitraum der Gebäude in Einzelfällen noch bis ins nächste Jahrhundert reicht.

Geht man einmal davon aus, dass 2050 die entsprechenden Technologien zur CO₂-Abscheidung und Speicherung (CCS) sowie Negativ-Emissionstechnologien (NET) zur Verfügung stehen, könnte der Ansatz eines «Moratoriums» einen Beitrag für unmittelbare Massnahmen zur Umsetzung von Netto Null bedeuten. Mit «Moratorium» ist gemeint, bis zur breiten Verfügbarkeit von CCS und NET so wenig CO₂-Emissionen wie möglich zu emittieren und zumindest in Betracht zu ziehen, dass während dieses Moratoriums auch biogene Kohlenstoffe in den Ökobilanzen der SIA 2032 und 2040 berücksichtigt werden können.

Diese Überlegungen stehen im Kontext einer im Mai 2022 vom Amt für Hochbauten publizierten Studie «Holzbau als Kohlenstoffspeicher – Potenzial des Schweizer Gebäudeparks», die von einem Team der ETH Zürich (Guillaume Habert und Francesco Pittau) sowie vom Büro für Umweltchemie (Daniel Savi und Matthias Klingler) erarbeitet wurde. In dieser Studie geht es um die Unterscheidung von dynamischen und statischen Ökobilanzen.

Dynamische vs. statische Ökobilanz

«Die dynamische Ökobilanzmethode berücksichtigt die Auswirkungen des Emissionszeitpunkts, um den Kohlenstoff-Fussabdruck zu berechnen. Diese Methode macht das Interesse an der Speicherung von biogenem Kohlenstoff in Gebäuden während ihres Lebenszyklus und dessen späterer Freisetzung nachvollziehbar, ist aber diskussionsbedürftig. Dieser Ansatz wurde im ETH-Projektteil untersucht.

Bei der etablierten zeitunabhängigen Ökobilanz werden alle Emissionen, die während des Lebenszyklus anfallen, so behandelt, als ob sie heute anfallen würden. Üblicherweise werden nur die fossilen CO₂-Emissionen betrachtet, um den Beitrag zum Klimawandel zu quantifizieren. Das biogene CO₂ kann jedoch separat bilanziert werden. Dieser Ansatz wurde im Teilprojekt des Büros für Umweltchemie untersucht.»

Aus: Habert, Guillaume et al.: Holzbau als Kohlenstoffspeicher – Potenzial des Schweizer Gebäudeparks, Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Mai 2022

Eine erkennbare Uneinigkeit beider an dieser Studie beteiligten Teams zeigt die Komplexität des Einbezugs des Faktors Zeit, um sicherzustellen, dass die Methoden auf der einen Seite wissenschaftlich einwandfrei, gleichzeitig aber auch praktisch anwendbar sind.

*Faktor Zeit
bei Überlegungen
zum Ersatzzeitpunkt
eines Gebäudes*

Materialknappheit und die Klimaerwärmung haben dazu geführt, dass Massnahmen zur Kreislaufwirtschaft deutlich an Aktualität gewonnen haben. Bei den Massnahmen geht es um einen möglichst reduzierten Einsatz von Primärstoffen allgemein. Stoffkreisläufe sollen geschlossen werden, um die Verwendung der Umwelt als Deponie für Abfall- und Reststoffe der industriellen Fertigung zu vermeiden.

Vereinfacht ausgedrückt kann das anhand der Methode der 3Rs angewandt werden. Folgende Figur ist hierarchisch aufgebaut.

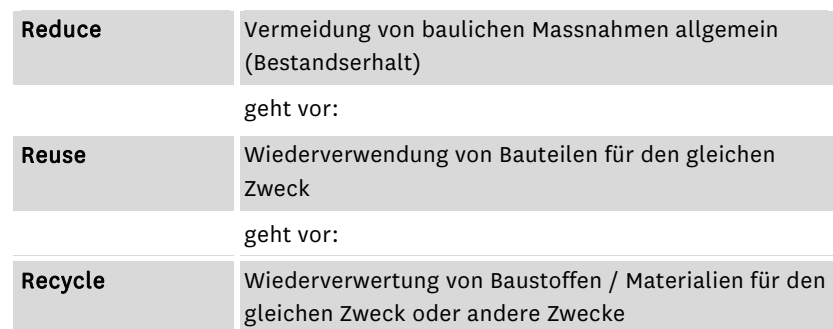


Fig. 17: Hierarchie der Kreislaufwirtschaft

Amortisationszeit

Das folgende Anschauungsbeispiel (Fig. 18) zeigt einen Vergleich eines Ersatzneubaus mit einer Erneuerung / Erweiterung eine Wohnsiedlung anhand einer Ökobilanz der grauen Treibhausgasemissionen. Dabei ist dieser Vergleich zum einen auf die gemäss SIA 2032 üblichen Amortisationszeit der tragenden Struktur (Primärstruktur) von 60 Jahren und zum anderen auf 120 Jahren ausgelegt. Die Amortisationszeit der tragenden Struktur wird bei diesem Anschauungsbeispiel also gegenüber der SIA 2032 verdoppelt, um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass die Bestandsgebäude, welche erneuert und erweitert werden sollen, um noch einmal 60 Jahre weitergenutzt werden können.

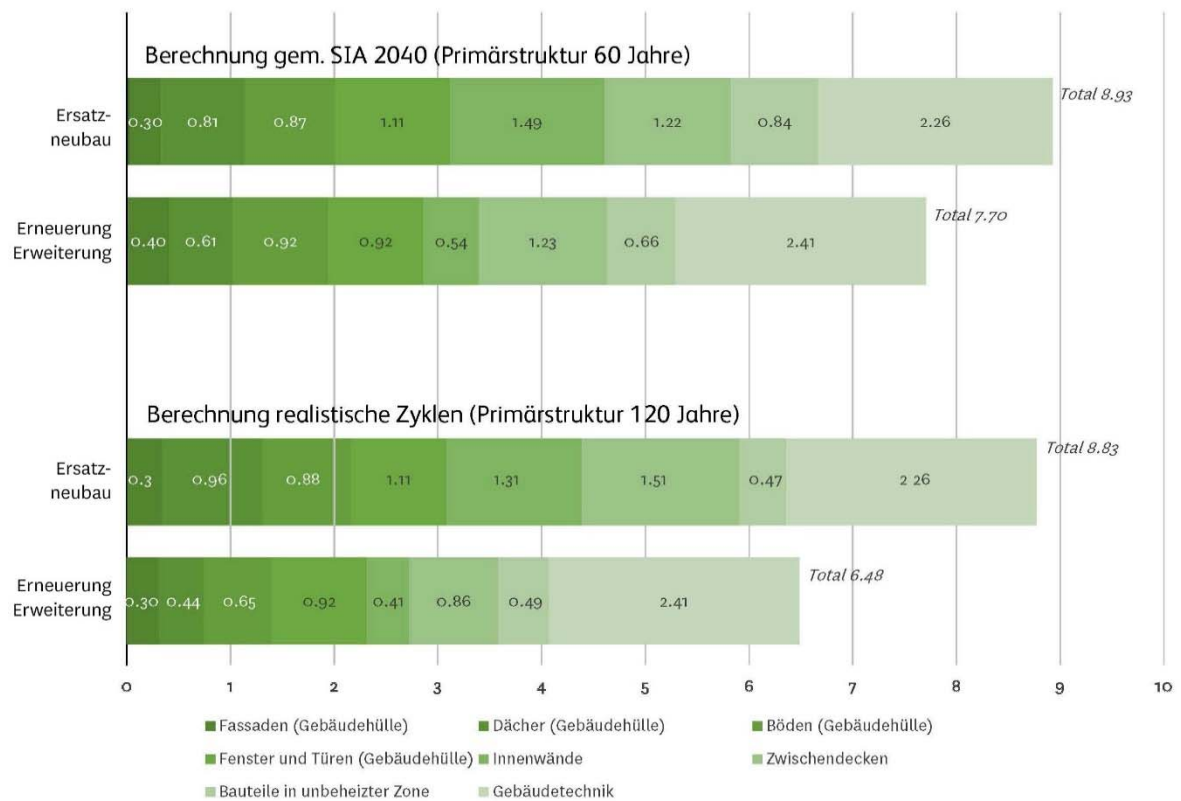


Fig. 18: Variantenvergleich eines Ersatzneubaus mit einer Erneuerung / Erweiterung, oben mit einer über 60 Jahren genutzten Primärstruktur, unten mit einer über 120 Jahren genutzten Primärstruktur, auf der Abszisse sind die Treibhausgasemissionen in kg/m²a.

Betrachtungszeitraum

Beim Anschauungsbeispiel entspricht der Betrachtungszeitraum mit 60 Jahren der SIA 2040, das heisst, sowohl der Ersatzneubau als auch die Erneuerung / Erweiterung werden ab dem Zeitpunkt der Inbetriebnahme bzw. ab dem Nutzungsbeginn für 60 Jahre betrachtet.

Dabei ist die Hälfte der auf 120 Jahre ausgelegten Primärstruktur der Erneuerung / Erweiterung bereits zur Hälfte in der Vergangenheit, also ausserhalb des Betrachtungszeitraumes. Bei der Variante Ersatzneubau verhält es sich analog. Die Hälfte der auf 120 Jahre ausgelegten Primärstruktur ist ausserhalb des Betrachtungszeitraumes – in diesem Fall in der Zukunft.

Das führt zu dem Resultat, dass bei der Variante Ersatzneubau die grauen Energien bzw. grauen Treibhausgasemissionen annähernd gleich sind, da in der Bilanz eine halbe Primärstruktur des Bestandes und eine halbe Primärstruktur des Neubaus enthalten ist. Die halbe Primärstruktur des Bestandes wird der Bilanz des Neubaus zugeschlagen, da diese 60 Jahre zu früh rückgebaut würde, um den Neubau zu ermöglichen.

Bei der Variante Erneuerung / Erweiterung ist im Betrachtungszeitraum aber nur die halbe Primärstruktur enthalten, sodass sich die Bilanzen dieser Variante tatsächlich reduzieren (6.5 statt 7.7 kg/m²a). Diese Bilanzmethode entspricht so nicht der SIA 2040 und wäre in dieser Form nicht anwendbar für Zertifizierungen. Sie bildet aber die tatsächliche Lebensdauer der Bauteile für das genannte Anschauungsbeispiel besser ab.

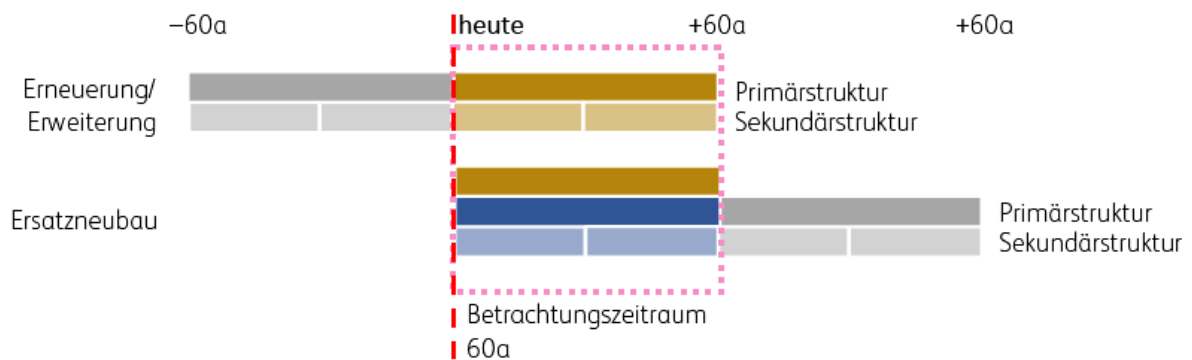


Fig. 19: Betrachtungszeitraum von 60 Jahren (pinkfarbenes Rechteck) bei einem Variantenvergleich von Primärstrukturen mit einer Amortisationszeit von 120 Jahren

7 Die Rolle von Holz bezüglich Netto Null

Netto Null Folgende Darstellung zeigt den grossen Hebel der Erstellung zur Erreichung der Ziele von Netto Null. Mit der Erkenntnis, dass die Holzbauteile zu geringeren grauen Treibhausgasemissionen führt, wird auch die entscheidende Rolle des Holzes als Baustoff zu Erreichung der Netto Null-Ziele deutlich.

Im Rahmen des Pariser Abkommens hat sich die internationale Gemeinschaft darauf geeinigt, die Erderwärmung bis Ende des Jahrhunderts auf unter 2 Grad Celsius und idealerweise unter 1.5 Grad Celsius zu begrenzen. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen laut der Wissenschaft die globalen CO₂-Emissionen bis 2050 Netto-Null betragen. Dieses richtungweisende Ziel hat sich auch die Schweiz gesetzt.

Der Netto-Nullpunkt definiert das Gleichgewicht zwischen der Menge der produzierten Treibhausgase und der Menge, die wieder aus der Atmosphäre entfernt werden.

Negativemissionen helfen bei der Erfüllung von Netto-Null-Zielen und werden durch Projekte erreicht, welche direkt CO₂ aus der Atmosphäre entnehmen und längerfristig speichern. Technologien mit Negativemissionen sind beispielsweise Aufforstung (Speicherung des CO₂ in Biomasse), Technologien zur direkten CO₂-Entnahme aus der Atmosphäre

(Direct air capture) und Speicherung von Kohlenstoff im Boden (z.B. Pyrolyse oder Bodenbewirtschaftung) oder in Sedimentschichten (Carbon capture and storage) oder eben in Holzprodukten. Solche Projekte können für Netto-Null-Strategien genutzt werden, um Restemissionen zu kompensieren. (<https://www.swissclimate.ch/netto-null>)

Die Rolle der Erstellung bezüglich Netto Null

Fig. 20 zeigt beispielhaft, wie die Treibhausgasemissionen für den Betrieb eines Gebäudes vollständig eliminiert werden können. Sowohl Neubauten als auch sanierte Bestandsbauten lassen sich durch Optimierung der Gebäudehülle und durch den Einsatz von erneuerbaren Energiequellen (z.B. Photovoltaik, Erdwärme, etc.) dahin bringen, dass sie keine Emissionen im Betrieb aufweisen.

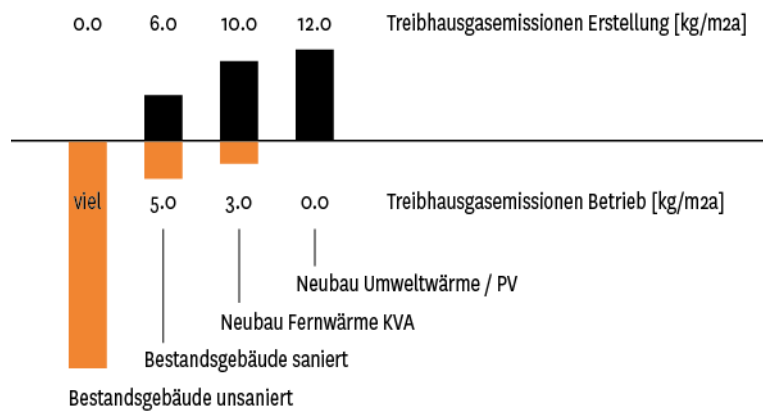


Fig. 20: Optimierung der Gesamtbilanz eines Gebäudes in Anlehnung an Ziel- und Richtwerte des SIA 2040 Effizienzpfad Energie

Gleichzeitig verursacht jede bauliche Massnahme Treibhausgasemissionen in der Erstellung (schwarze Balken in der Fig. 20). Das Abwägen der baulichen Massnahmen ist wichtig, denn diese können sehr wenige oder sehr viele Treibhausgasemissionen erzeugen. Die Fig. 20 zeigt einen erwartbaren Durchschnittswert der Treibhausgasemissionen für beispielhafte Erneuerungsmassnahmen mit dem Hinweis, dass man Gebäude zwar treibhausgasneutral betreiben, aber nicht treibhausgasneutral erstellen kann.

Da es heute noch keine ausreichenden Technologien in grossem Massstab gibt, die entsprechende Mengen kompensieren können, ist es wichtig, die grauen Treibhausgasemissionen bei baulichen Massnahmen möglichst klein zu halten.

Eine bilanztechnisch unkonventionelle Herangehensweise an das Thema «Bauen für Netto Null» ist in der Folge dargestellt. Es geht im Wesentlichen darum, aufzuzeigen, wie graue Treibhausgasemissionen reduziert werden können. Und es geht auch um die Rolle von Holz.

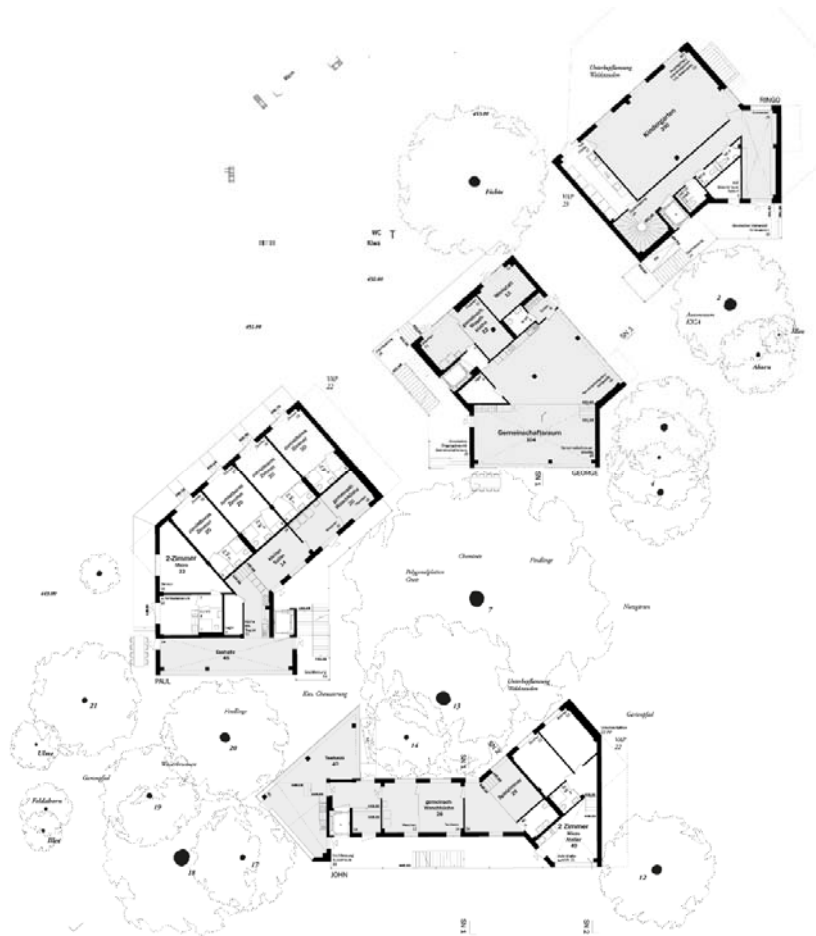


Fig. 21: Neubau Siedlung Rotbuchstrasse, Wettbewerbsprojekt Atelier Scheidegger Keller, erkennbar ist der Baumbestand, um den sich die eher schlanken Neubauten gruppieren, Quelle: Atelier Scheidegger Keller

7.1 Massnahmen zur Senkung der Erstellung auf 0 kg CO₂

Beispiel Neubau Siedlung Rotbuchstrasse

Im Rahmen einer Projektentwicklung einer Stiftung der Stadt Zürich aus dem Jahr 2020 ist das Thema grauen Treibhausgasemissionen als architektonisches Entwurfsthema vorgegeben worden.

Erhalt des vorhandenen Baumbestandes

Zentraler Gedanke des Entwurfs ist der Erhalt bestehender Bäume. Dafür ist die Option eines sehr kompakten Baukörpers zugunsten vier eher filigraner Baukörper aufgegeben worden (vgl. Fig. 21).

Die Überlegung, die bestehenden Bäume zu erhalten, ist vor allem als Beitrag zu Qualitätssicherung der Biodiversität gestellt worden. Der Erhalt des Baumbestandes stellt aber gleichzeitig sicher, dass das in den Bäumen gebundene CO₂ nicht freigesetzt wird, und die Bäume auch in den nächsten 60 Jahren (auch hier wieder der Betrachtungszeitraum der SIA 2040) weiterhin CO₂ einspeichern kann.

Anschliessend ist die Summe aller Jahre der Bäume auf dem Grundstück bis 2080 (2020 + 60 Jahre) mit 12.5 kg eingespeichertem CO₂ pro Jahr multipliziert worden. Dem liegt eine wissenschaftlich unterstützte Annahme zugrunde, dass im Durchschnitt ein Baum durchschnittlicher Grösse 12.5 kg CO₂ pro Jahr einspeichern kann.

	CO2 total über 60 Jahre (t)	CO2 pro m2 EBF und Jahr (kg/m2a)	
Gebäude konventionell mineralisch	2458.65	10.00	100%
Einsparung durch Holzbauweise gegenüber mineralischer Bauweise	-222.23	-0.90	-9%
Gebäude hybrid (Geschossdecken Beton, Aussenwände Holz)	2236.42	9.10	91%
Einsparung durch Suffizienz (geringerer Stromverbrauch Nutzung durch höhere Belegungsdichte, kein Unterlagsboden)	-302.83	-1.23	-12%
Einsparung durch ReUse Fassadenbekleidung	-117.52	-0.48	-5%
Gebäude hybrid, suffizient und zirkular	1816.07	7.39	74%
Positive CO2-Bilanz im Betrieb durch Volleindeckung aller Dächer mit integrierter PV	-49.15	-0.20	-2%
weitere Kompensationen durch Betrieb (Substitution Dacheindeckung durch integrierte PV-Module)	-73.73	-0.35	-4%
Zusätzliche Kompensation durch 900 m2 PV-Module an Fassade	-98.30	-0.40	-4%
Gebäude hybrid, suffizient und zirkular Berücksichtigung der Optimierung des Betriebes	1'594.89	6.44	66%
Kompensation durch in der Konstruktion eingespeichertes CO2 (50kg Holz pro m2 EBF)	-250.00	-1.02	-10%
Kompensation durch Bestandsbäume (Baumalter + 60 Jahre bei 12.5 kg Einspeicherung pro Baum und Jahr) in t	-1282.50	-5.22	-52%
Kompensationsmassnahmen Pflege Erhalt Baumbestand und Verwendung Holzprodukte	1'532.50	-6.24	-62%

Fig. 22: Gegenüberstellung Reduktionsmassnahmen und Kompensationsmassnahmen am Beispiel des Wettbewerbsbeitrages Rotbuchstrasse

Reduktionsmassnahmen

In der Fig. 22 sind am Beispiel des Projektes Rotbuchstrasse diverse Einsparungsmassnahmen aufgezeigt, die die CO2-Emissionen der Erstellung in Richtung null CO2-Emissionen bringen können. Davon betrifft eine die Verwendung von Holz:

Einsparung durch Verwendung von Holz in der Konstruktion

Im Projekt ist der Anteil des Holzes als Baumaterial in der Aussenwandkonstruktion vorgesehen, die inneren und äusseren Bekleidungen sind hingegen nicht in Holz.

Allein die Verwendung von Holz in der Wandkonstruktion führt zu einer Reduktion von 1 Kg/m2a bzw. 10% der Gesamtbilanz. Die teils recht weitgehenden Reduktionsmassnahmen insgesamt führen zu einer Reduktion um 34%. Das würde bedeuten, dass die grauen Treibhausgasemissionen eines Gebäudes gar nicht viel mehr als auf 2/3 gegenüber einer konventionellen Bauweise reduziert werden können.

Weitere Reduktionsmassnahmen

In der Fig. 22 sind weitere Massnahmen zur Reduktion von CO2-Emissionen in der Erstellung erwähnt, die keinen unmittelbaren Zusammenhang zum Bauen mit Holz haben.

- Suffizienzmassnahmen

- Methoden der Wiederverwendung (Kreislaufwirtschaft)
- Weitergehende Energiegewinnung (z.B. Stromproduktion durch PV) mit dem Ziel eines Plus-Energie-Hauses.

Suffizienzmassnahmen können durch den Einsatz von Holz kaum positiv beeinflusst werden. Der im Referenzbeispiel genannte Verzicht auf einen schwimmenden Unterlagsboden in den Geschossdecken ist als Suffizienzmassnahme bezeichnet, da der Verzicht der Bauteilschicht mit leichten schalltechnischen Kompromissen, also mit etwas mehr Genügsamkeit (=Suffizienz) bezüglich Komfort verbunden ist.

Die Methoden der Wiederverwendung und der weitergehenden Energiegewinnung durch Stromproduktion mit PV können aber durch die elementierte Holzbauweise massgeblich unterstützt werden, da sowohl die Wiederverwendung als auch die Integration von PV-Modulen in Fassaden einfacher mit elementierter Bauweise – also einer typischen Holzbauweise – realisiert werden können.

Kompensationsmassnahmen

Mit dem Wissen, dass Netto Null das Gleichgewicht zwischen der Menge der produzierten Treibhausgase und der wieder aus der Atmosphäre entfernten Menge bedeutet, sind den Reduktionsmassnahmen in der Fig. 22 auch noch die Kompensationsmassnahmen gegenübergestellt:

- Kompensation durch in der Holzkonstruktion in Form von Kohlenstoff eingespeicherte Treibhausgasemissionen,
- Kompensation durch Bestandesbäume auf dem Grundstück

Mit den getroffenen Annahmen sind und werden im Projekt 6.24 kg/m²a Treibhausgasemissionen eingelagert.

7.2 Vergleich Holzbau / mineralische Bauweise

Das Projekt 3Jo mit SBB Immobilien als Eigentümerin ist ein Neubau in beim Bahnhof St. Johann in Basel. Es ist erstellt worden durch schaeerholzbau, Altbüron mit Baumann Roserens Architekten aus Zürich. Es handelt sich um einen reinen Holzbau sowohl in der Konstruktion als auch in der Fassadenbekleidung.

3Jo erfüllt den Standard DGNB/SGNI und wird deshalb einer Bilanzierung nach der Methode SIA 2040 unterzogen, welche die Dimensionen Graue Energie und Graue Treibhausgasemissionen beinhaltet.

Graue Treibhausgasemissionen

Die vorliegende Bilanzierung SIA 2040 wird genutzt, um einen Vergleich des Holzbaus mit einer mineralischen Bauweise zu zeigen. Dafür wird wiederum ein mineralischer Zwilling aufgebaut.

Beim 3Jo sind die Geschossdecken, das Dach (ohne Dachaufbauten), Fensterrahmen sowie Aussenwände inkl. Bekleidung in Holzbauweise erstellt. Diese Bauteilgruppen sind in der Fig. 24 grün hinterlegt.



Fig. 23: Projekt 3Jo, SBB Immobilien, Basel St. Johann

Bauteilgruppe	GE Holz (kWh/m2a)	GE mineralisch (kWh/m2a)	THG Holz (kg/m2a)	THG mineralisch (kg/m2a)
Aushub	0.4	0.4	0.09	0.09
Fundament, Bodenplatte	1.1	1.1	0.38	0.38
Aussenwand	0.5	0.5	0.19	0.19
Dach	0.2	0.2	0.05	0.05
Aussenwand: Tragwerk	0.8	1.6	0.17	0.55
Aussenwand: Aufbau	2.4	2.8	0.47	0.61
Fenster inkl. Sonnenschutz	4.7	5.2	1.14	1.27
Innenwände	3.8	3.8	1.27	1.27
Decke: Tragwerk	3.0	4.4	0.66	1.00
Decke: Aufbau	4.4	4.4	1.00	1.00
Balkon	1.4	1.4	0.42	0.42
Dach: Tragwerk	0.6	0.7	0.13	0.26
Dach: Aufbau	1.8	1.8	0.39	0.39
Elektroanlage	1.9	1.9	0.43	0.43
Wärmeanlage	1.8	1.8	0.42	0.42
Lufttechnische Anlage	1.5	1.5	0.33	0.33
Wasseranlage	1.6	1.6	0.38	0.38
Total Gebäude	31.9 (90.9%)	35.1 (100%)	7.92 (87.6%)	9.04 (100%)

Fig. 24: Vergleich Holzbauweise mit mineralischer Bauweise am Beispiel 3Jo

Einspeicherung CO₂

Im 3Jo sind ca. 240 Tonnen Holz verbaut. Bei der Annahme, dass in einer Tonne Holz ca. 1.6 Tonnen CO₂ eingespeichert sind⁷, ergibt sich die Menge von 390 Tonnen CO₂ oder knapp 1.1 kg/m²a. Das entspricht zufälligerweise genau der Reduktion der Treibhausgasemissionen.

Massnahme zur CO ₂ -Reduktion im Projekt 3Jo	
Einsparung Graue Treibhausgas-Emissionen	1.1 kg/m ² a
Kompensation CO ₂	1.1 kg/m ² a

Fig. 25: CO₂-Reduktion und -kompensation durch den Einsatz von Holz

8 Konstruktionsvergleich mit Hilfe der Ökobilanzdaten

Am Beispiel eines aktuellen Variantenvergleichs wird aufgezeigt, welche Optimierungsmassnahmen zur Senkung der Treibhausgasemissionen bei einer Bauaufgabe getroffen werden können.

Der Hintergrund des Variantenvergleichs ist die Frage des Umgangs mit einer bestehenden Siedlung, die uns in diesem und im folgenden Kapitel begleiten wird. Die Eigentümerin der Siedlung ist in dem Konflikt, sich selbst das Ziel Netto Null gestellt zu haben und gleichzeitig eine Siedlung zu besitzen, die städtisch gelegen und vollumfänglich erschlossen ist und die um mehr als das Doppelte verdichtet werden könnte.

Grundlage des Vergleichs ist eine Testplanung, in der folgende Varianten phasengerecht entwickelt worden sind:

- Rückbau und Ersatz der bestehenden Siedlung durch Neubauten (GF = 9'961 m², EBF = 7'914 m²)
- Erneuerung und Erweiterung der bestehenden Siedlung (GF = 8'907 m², EBF = 6'860 m²).

*Vergleich
Holz oder mineralisch
bei den Ersatzneubauten*

Im ersten Schritt wird betrachtet, wie weit ein Neubau bezüglich grauer Treibhausgasemissionen optimiert werden kann. Dafür sind die Bauteile des Neubaus als Holzkonstruktionen mit einem möglichst geringen Leimanteil angenommen worden. Diese wird mit einem mineralischen Zwilling verglichen.

Um einen adäquaten Vergleich zu ermöglichen, werden Eigenschaften vorausgesetzt, die von beiden Varianten erfüllt werden müssen:

- Wärmedämmung, U = 0.17 W/m²K
- Trittschall / Luftschall, Mindestanforderungen SIA 181
- Speicherkapazitäten, Anforderungen SIA 180
- Dauerhaftigkeit, Bauteilzyklus gemäss SIA 2032:2020, Anhang C

⁷ Die Ökobilanzdaten im Baubereich, Version 2022 weisen bei Laubhölzern einen biogenen Kohlenstoffgehalt von 0.451 kg/kg Holz und bei Nadelhölzern dementsprechend 0.413 kg/kg Holz aus. Würde dies Kohlenstoff in Form von CO₂ freigesetzt, ergäben das 1.65 kg CO₂ Emissionen pro kg Laubholz bzw. 1.52 kg CO₂-Emissionen pro kg Nadelholz. In der Berechnung ist ein Durchschnittswert von 1.6 kg CO₂-Emissionen angesetzt.

Die Bilanzen der grauen Treibhausgasemissionen geschehen anhand der Ökobilanzdaten im Baubereich (2022), die Berechnungen sind mit Lesosai v.2022.0 erstellt.

Unterschiedliche Konstruktionsweisen

Wie in den 10 Fallbeispielen unterscheiden sich bei den Varianten Mineralisch und Holz in der Konstruktion nur die Bauteile Aussenwände, Dächer, Zwischendecken und Innenwände. Alle anderen sind baugleich und dementsprechend neutral. Die Bilanz der einzelnen Bauteile sind in der folgenden Grafik dargestellt.

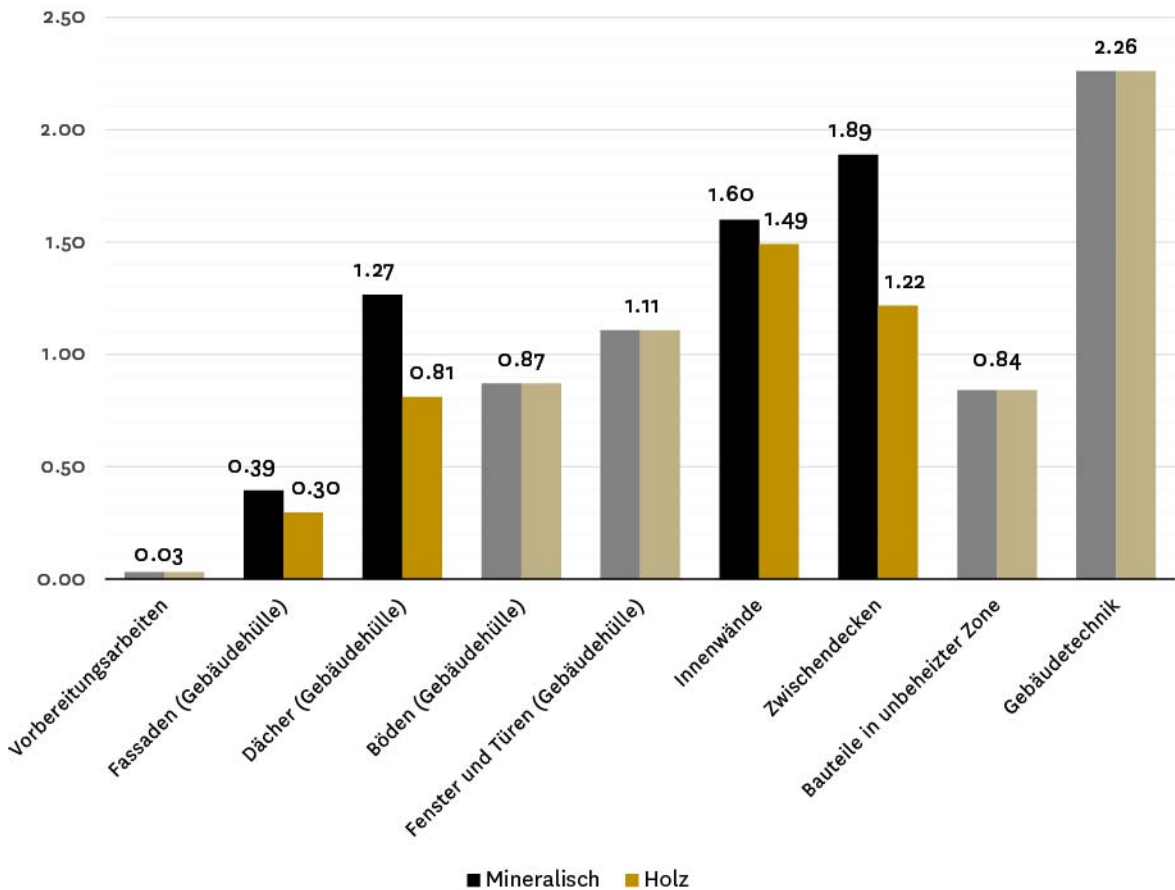


Fig. 26: Variantenvergleich mineralisch / Holz, einzelne Bauteilgruppen

Biogener Kohlenstoffgehalt

Die Holzbauweise weist deutlich höhere Werte biogener Kohlenstoffe aus. Der Variantenvergleich in Fig. 27 zeigt deutlich, dass es das Material Holz ist, das den Unterschied macht, denn die vergleichsweise höheren biogenen Kohlenstoffgehalte sind in den Bauteilen mit höherem Holzanteil enthalten.

Resultat des Variantenvergleichs

Folgende Tabelle zeigt die Gesamtbilanz beider Varianten. Diese sind dem Richtwert Erstellung der SIA 2040:2017 (Wohnen) gegenübergestellt.

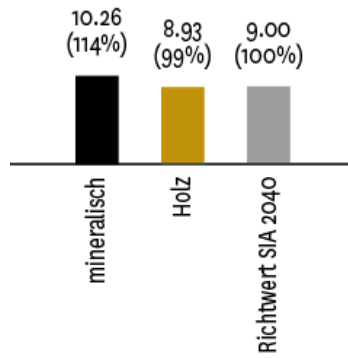


Fig. 27: Variantenvergleich Gebäude mineralisch und Holz [kg CO2-eq / m2a]

Material	mineralisch		Holz	
	Kohlenstoff [kg C / kg]	Kohlendioxid [kg CO2 / kg]	Kohlenstoff [kg C / kg]	Kohlendioxid [kg CO2 / kg]
Vorbereitungsarbeiten	0.00	0.00	0.00	0.00
Fassaden	0.04	0.15	0.11	0.40
Dächer	0.04	0.15	0.21	0.77
Böden	0.00	0.01	0.00	0.01
Fenster und Türen	0.01	0.03	0.01	0.03
Innenwände	0.02	0.07	0.33	1.21
Zwischendecken	0.01	0.04	0.57	2.09
Bauteile in unbeheizter Zone	0.00	0.02	0.00	0.02
Gebäudetechnik	0.00	0.00	0.00	0.00
total	0.1	0.47	1.24	4.54

Fig. 28: Variantenvergleich biogene Kohlenstoffgehalte und die Menge der bei Verbrennung emittierender CO2-Emissionen

*Konstruktion
der Aussenwände*

Materialschichten Mineralisch, D = 42 cm	<i>cm</i>
Innenputz Gips- / Weissputz mit Anstrich Acryl	1.0
Backstein	17.5
Flumrock Dämmplatte Steinwolle	18.0
Sager Fassadenbahn PE-Vlies	0.07
Hinterlüftung mit Unterkonstruktion Konifere	3.0
Äussere Bekleidung Konifere luftgetrocknet, rau	2.4

Materialschichten Holz, D = 37 cm	<i>cm</i>
Innenputz Gips- / Weissputz mit Anstrich Acryl	0.3
Fermacell Gipsfaserplatte	1.5
Flumrock Dämmplatte Steinwolle	5.0
OSB Platte, PF-gebunden	2.5
Flumrock Dämmplatte Steinwolle	20.0
Fermacell Gipsfaserplatte	1.8
Sager Fassadenbahn PE-Vlies	0.07
Hinterlüftung mit Unterkonstruktion Konifere	3.0
Äussere Bekleidung Konifere luftgetrocknet, rau	2.4

Fig. 29: Variantenvergleich Aussenwände mineralisch und Holz

*Konstruktion
der Dächer (extensiv be-
grünt)*

Materialschichten Mineralisch, D = 45 cm	<i>cm</i>
Beton armiert, 2% Stahl	20.0
Dichtungsbahn bituminös	1.0
Swisspor PIR Polyurethan Gefälleplatten	15.0
Dichtungsbahn Polyolefin (FPO)	0.2
PE-Vlies	1.0
Kies gebrochen	8.0

Materialschichten Holz, D = 41 cm	<i>cm</i>
Brettstapel, Schnittholz Konifere luftgetrocknet, rau	16.0
Dichtungsbahn bituminös	1.0
Swisspor PIR Polyurethan Gefälleplatten	15.0
Dichtungsbahn Polyolefin (FPO)	0.2
PE-Vlies	1.0
Kies gebrochen	8.0

Fig. 30: Variantenvergleich Dächer mineralisch und Holz

<i>Konstruktion der Innenwände Mauerwerk / Beton</i>	Materialschichten Mineralisch (Zi.-Trenn.), D = 14 cm	<i>cm</i>
	Innenputz Gips- / Weissputz mit Anstrich Acryl	1.0
	Backstein	12.0
	Innenputz Gips- / Weissputz mit Anstrich Acryl	1.0
	Materialschichten Mineralisch (Whg.-Trenn.), D = 27 cm	<i>cm</i>
	Innenputz Gips- / Weissputz mit Anstrich Acryl	1.0
	Beton armiert, 2% Stahl	25.0
	Innenputz Gips- / Weissputz mit Anstrich Acryl	1.0
	Materialschichten Holz (Zi.-Trenn.), D = 17 cm	<i>cm</i>
	Fermacell Gipsfaserplatte	1.0
	Fermacell Gipsfaserplatte	1.5
	Flumrock Dämmplatte, Holzständer	12.0
	Fermacell Gipsfaserplatte	1.5
	Fermacell Gipsfaserplatte	1.0
	Materialschichten Holz (Whg.-Trenn.), D = 52 cm	<i>cm</i>
	Innenputz Gips- / Weissputz mit Anstrich Acryl	0.3
	Fermacell Gipsfaserplatte	1.5
	Steinwolleplatten 60-120 kg/m ³	5.0
	Fermacell Gipsfaserplatte	1.5
	Fermacell Gipsfaserplatte	1.5
	Steinwolleplatten 60-120 kg/m ³ , Holzständer	12.0
	OSB Platte, PF-gebunden	1.8
	Steinwolleplatten 60-120 kg/m ³	5.0
	OSB Platte, PF-gebunden	1.8
	Steinwolleplatten 60-120 kg/m ³ , Holzständer	12.0
	Fermacell Gipsfaserplatte	1.5
	Fermacell Gipsfaserplatte	1.5
	Steinwolleplatten 60-120 kg/m ³	5.0
	Fermacell Gipsfaserplatte	1.5
	Innenputz Gips- / Weissputz mit Anstrich Acryl	0.3

Fig. 31: Variantenvergleich Innenwände mineralisch und Holz

*Konstruktion
der Zwischendecken*

Materialschichten Mineralisch, D = 31 cm		<i>cm</i>
Linoleum		0.4
Unterlagsboden Anhydrit		5.7
Steinwolle Schall 30-100 kg/m ³		3.0
Beton armiert, 2% Stahl		22.0

Materialschichten Holz, D = 37 cm		<i>cm</i>
Linoleum		0.4
Unterlagsboden Anhydrit		5.7
Steinwolle Schall 30-100 kg/m ³		3.0
Fermacell gebundene Schüttung		6.0
PE-Folie		0.02
Brettstapel, Konifere luftgetrocknet, rau		22.0

Fig. 32: Variantenvergleich Zwischendecken mineralisch und Holz

*Fazit
Konstruktionsvergleich*

Eine Konstruktionsweise, die darauf ausgelegt ist, dass die Holzbau-
teile einen möglichst geringen Leimanteil haben, ermöglicht die Reduk-
tion der grauen Treibhausgasemissionen in Gebäuden. Das zeigen so-
wohl die 10 Fallbeispiele als auch der hier aufgeführte Vergleich.
Auf diese Weise ist es möglich, den Richtwert Erstellung des SIA 2040
Effizienzpfad Energie (9 kg/m²a für Wohnen) zu erfüllen.

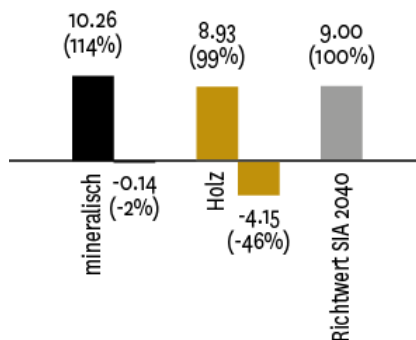


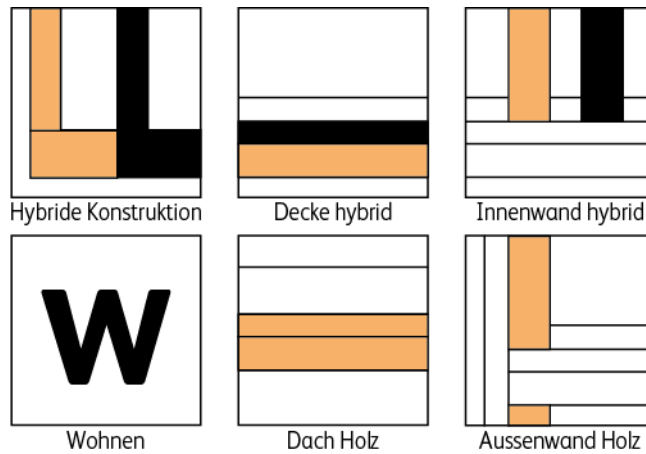
Fig. 33: Variantenvergleich Gebäude mineralisch und Holz [kg CO₂-eq / m²a] mit Angabe der biogenen Kohlenstoffe (als CO₂-Emissionen)

Die zusätzliche Darstellung der biogenen Kohlenstoffe in Form der
emittierten CO₂-Gase zeigt ein zusätzliches, holztypisches Merkmal
auf: die Fähigkeit, auf natürliche Weise CO₂ in Form von Kohlenstoff
einzubinden. Sind die Gehalte der biogenen Kohlenstoffe bei der mine-
ralischen Bauweise verschwinden gering, machen als Kohlenstoff ein-
gebundenen CO₂-Emissionen bei der Holzbauweise immerhin 46% (des
Richtwertes SIA und in diesem Fall auch des Projektes) aus.

Fallbeispiele

Fallbeispiel 1

Übersicht



Nutzung Wohnen mit gewerblicher Erdgeschossnutzung

Erstellung 2014

Eigentümerin Wohnbaugenossenschaft

Standort Grosszentrum

Nachhaltigkeitsstandard 2000-Watt-Areal im Betrieb, Energiekennwerte Minergie-P-ECO

Typologie Fünfgeschossiger Punktbau auf Areal mit gemeinsamer Tiefgarage

Konstruktionsbeschreibung Das Erdgeschoss ist als Massiver Sockel in Beton errichtet. Die Wohn-
geschosse sind in Holzelement in Verbindung mit Holzbetonverbund-
decken ausgeführt.

Bauteilbeschreibung

- Dach* Das Massivholzdach ist mit 16 cm Massivholz + 24 bis 35 cm Gefälledämmung ausgeführt.
- Aussenwand* Das Erdgeschoss ist als Kompaktfassade mit 22 cm Stahlbeton + 18 cm XPS ausgeführt, die Regelgeschosse mit 18 cm Massivholzkonstruktion + 60/80 Rahmenhölzer mit 18 bis 20 cm Mineralwolle, verkleidet mit einer hinterlüfteten Eternitfassade.
- Geschossdecken* Im Regelgeschoss 14 cm Massivholz + 8 cm Beton + schwimmenden Unterlagsboden, Decke zwischen 1.OG und EG sowie Decke über UG zwischen 24 – 60 cm Stahlbeton.
- Innenwand* Innerhalb der Nutzungseinheit Holzrahmenbauweise, Erschliessungskerne 25 cm Stahlbeton und zwischen Nutzungseinheiten 2-schaliges Mauerwerk.

Flächenkennwerte

<i>GV</i>	10'000 – 20'000 m ³
<i>GF</i>	5'000 – 10'000 m ²
<i>HNF</i>	< 5'000 m ² , davon 100 – 200 m ² Gewerbe
<i>EBF</i>	< 5'000 m ²

**Ökologische Kennwerte
Gebäude**

	Holzbauweise	Mineralische Bauweise
<i>Treibhausgasemissionen</i>	11.2 kg/m ² _{EBFa}	13.2 kg/m ² _{EBFa}
<i>Kohlenstoff (als CO₂)</i>	4.3 kg/m ² _{EBFa}	0.29 kg/m ² _{EBFa}
<i>Graue Energie</i>	38.0 kWh/m ² _{EBFa}	42.11 kWh/m ² _{EBFa}

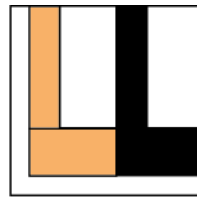
Bauteile oberirdisch

	Holzbauweise	Mineralische Bauweise
<i>Treibhausgasemissionen</i>		
<i>Dächer</i>	4.3 kg/m ² _{BauteilA}	5.5 kg/ m ² _{BauteilA}
<i>Aussenwände</i>	1.9 kg/ m ² _{BauteilA}	2.7 kg/ m ² _{BauteilA}
<i>Geschossdecken</i>	1.9 kg/ m ² _{BauteilA}	2.9 kg/ m ² _{BauteilA}
<i>Innenwände</i>	1.0 kg/ m ² _{BauteilA}	1.1 kg/ m ² _{BauteilA}

Einsparung pro Bauteil

<i>Dächer</i>	-22 %
<i>Aussenwände</i>	-31 %
<i>Geschossdecken</i>	- 36 %
<i>Innenwände</i>	-9%

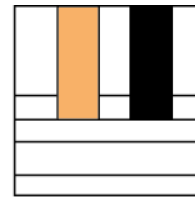
Fallbeispiel 2

Übersicht

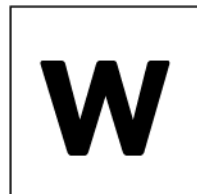
Hybride Konstruktion



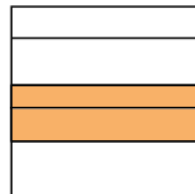
Decke hybrid



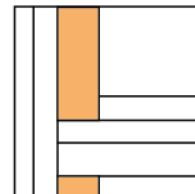
Innenwand hybrid



Wohnen



Dach Holz



Aussenwand Holz

Nutzung MFH mit Miet- und Eigentumswohnungen

Erstellung 2011

Eigentümerin Wohnbaugenossenschaft

Standort Agglomeration

Nachhaltigkeitsstandard 2000-Watt-Gesellschaft, Minergie-P

Typologie Viergeschossige längliche Gebäudeform mit kleinem UG

Konstruktionsbeschreibung Das Untergeschoss wurde in Stahlbeton ausgeführt und liegt ausserhalb des Dämmperimeters. Die Aussenwand der oberirdischen Geschosse ist eine Holzrahmenkonstruktion. Für die Geschossdecken ist eine Holzbetonverbunddecke gewählt worden.

Bauteilbeschreibung

Dach Holzrahmenbauweis mit 16 cm Wärmedämmung und Brettstapeldecke mit 8 - 16 cm Gefälledämmung.

Aussenwand Holzrahmenbauweise mit 42 cm Wärmedämmung

Geschossdecken Die Geschossdecken ist als Holzbetonverbunddecken ausgeführt und setzt sich aus 9 cm Beton und 16 cm Brettstapeldecke zusammen. Teilweise sind die Geschossdecken abgehängt.

Innenwand Wohnungstrennwände sind nach dem mehrschaligen Prinzip mit Gipsfaserplatten errichtet. Zimmertrennwände sind als einfache Holzrahmenkonstruktion ausgeführt.

Flächenkennwerte

<i>GV</i>	10'000 – 20'000 m ³
<i>GF</i>	5'000 – 10'000 m ²
<i>HNF</i>	< 5'000 m ²
<i>EBF</i>	< 5'000 m ²

**Ökologische Kennwerte
Gebäude**

	Holzbauweise	Mineralische Bauweise
<i>Treibhausgasemissionen</i>	9.8 kg/m ² _{EBFa}	13.5 kg/m ² _{EBFa}
<i>Kohlenstoff (als CO₂)</i>	4.03 kg/m ² _{EBFa}	0.44 kg/m ² _{EBFa}
<i>Graue Energie</i>	35.7 kWh/m ² _{EBFa}	39.89 kWh/m ² _{EBFa}

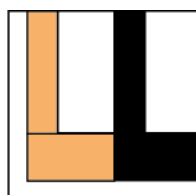
Bauteile oberirdisch

<i>Treibhausgasemissionen</i>	Holzbauweise	Mineralische Bauweise
<i>Dächer</i>	3.4 kg/ m ² _{BauteilA}	8.2 kg/ m ² _{BauteilA}
<i>Aussenwände</i>	1.5 kg/ m ² _{BauteilA}	2.3 kg/ m ² _{BauteilA}
<i>Geschossdecken</i>	1.8 kg/ m ² _{BauteilA}	2.8 kg/ m ² _{BauteilA}
<i>Innenwände</i>	1.2 kg/ m ² _{BauteilA}	1.9 kg/ m ² _{BauteilA}

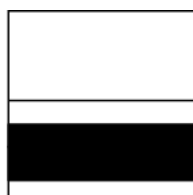
Einsparung pro Bauteil

<i>Dächer</i>	-59 %
<i>Aussenwände</i>	-36 %
<i>Geschossdecken</i>	-37 %
<i>Innenwände</i>	-31 %

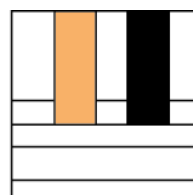
Fallbeispiel 3

Übersicht

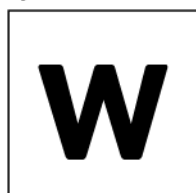
Hybride Konstruktion



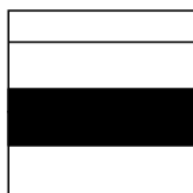
Decke mineralisch



Innenwand hybrid



Wohnen



Dach mineralisch



Aussenwand Holz

Nutzung Wohnen und Gewerbe

Erstellung 2018

Eigentümerin Wohnbaugenossenschaft

Standort Stadtrand

Nachhaltigkeitsstandard SIA 2040 - Effizienzpfad

Typologie Drei bis fünfgeschossiger offener Blockrand

Konstruktionsbeschreibung Das Untergeschoss sowie die Geschossdecken sind in Stahlbeton ausgeführt. Die Aussenwand der oberirdischen Geschosse wurde als Holzrahmenkonstruktion errichtet. Zwischen den Nutzungseinheiten sind die Trennwände aus Stahlbetonwänden angefertigt. Die Wände innerhalb einer Nutzungseinheit sind als einfache Holzrahmenkonstruktionen ausgeführt.

Bauteilbeschreibung

Dach Massive Flachdachkonstruktion aus 24 cm Stahlbeton und 18 cm Gefälledämmung

Aussenwand Ausführung in Holzrahmenbauweise mit 28 cm Wärmedämmung zwischen den Rahmen. Die äussere Schale besteht aus 1.5 cm Gipsfaserplatte, innere Schale mit 1.8 cm OSB und der Installationsraum ist mit 1.5 cm Hartgipsplatte ausgeführt.

Geschossdecken Konventionelle Bauweise mit 24 cm Stahlbeton und schwimmenden Unterlagsboden aus 6.5 cm Anhydrit.

Innenwand Innerhalb der Nutzungseinheit Holzrahmenbauweise, Erschliessungskerne und Wände zwischen Nutzungseinheiten 25 cm Stahlbeton.

Flächenkennwerte

<i>GV</i>	20'000 – 30'000 m ³
<i>GF</i>	5'000 – 10'000 m ²
<i>HNF</i>	5'000 – 10'000 m ²
<i>EBF</i>	5'000 – 10'000 m ²

**Ökologische Kennwerte
Gebäude**

	Holzbauweise	Mineralische Bauweise
<i>Treibhausgasemissionen</i>	9.6 kg/m ² _{EBFa}	10.7 kg/m ² _{EBFa}
<i>Kohlenstoff (als CO₂)</i>	2.2 kg/m ² _{EBFa}	0.29 kg/m ² _{EBFa}
<i>Graue Energie</i>	33.9 kWh/m ² _{EBFa}	34.9 kWh/m ² _{EBFa}

Bauteile oberirdisch

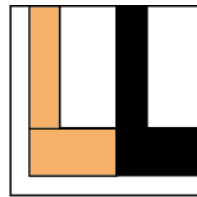
<i>Treibhausgasemissionen</i>	Holzbauweise	Mineralische Bauweise
<i>Dächer</i>	7.3 kg/ m ² _{BauteilA}	7.3 kg/ m ² _{BauteilA}
<i>Aussenwände</i>	1.7 kg/ m ² _{BauteilA}	2.9 kg/ m ² _{BauteilA}
<i>Geschossdecken</i>	2.5 kg/ m ² _{BauteilA}	2.5 kg/ m ² _{BauteilA}
<i>Innenwände</i>	0.9 kg/ m ² _{BauteilA}	1.4 kg/ m ² _{BauteilA}

Einsparung pro Bauteil

<i>Dächer</i>	0 %
<i>Aussenwände</i>	-42 %
<i>Geschossdecken</i>	0 %
<i>Innenwände</i>	-37 %

Fallbeispiel 4

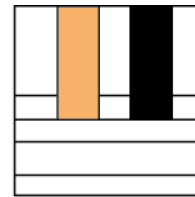
Übersicht



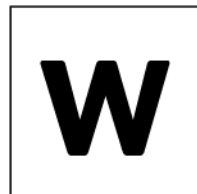
Hybride Konstruktion



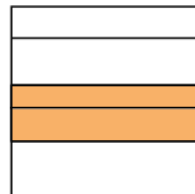
Decke hybrid



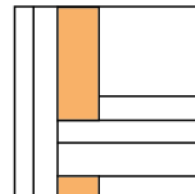
Innenwand hybrid



Wohnen



Dach Holz



Aussenwand Holz

Nutzung Wohnen, MFH

Erstellung 2015

Eigentümerin Privat

Standort Agglomeration

Nachhaltigkeitsstandard unbekannt

Typologie 9 viergeschossige Punktbauten, i.d.R. als Vierspänner

Konstruktionsbeschreibung Die Punktbauten sind vollflächig mit einer Einstellhalle unterkellert und miteinander verbunden. Der gesamthafte Holzbau ist auf die Einstellhalle gesetzt. Die Aussenwände bestehen aus einer Holzrahmenkonstruktion. Die Geschossdecken sind zum Teil als Holzbetonverbund und zum anderen mit einer Kalksplitt Schüttung ausgeführt.

Bauteilbeschreibung

Dach Die Dächer sind in Holzmassivbauweise errichtet. Zum einen als 14 cm Brettstapel und zum anderen mit 16 cm Brettschichtholz. Jeweils mit einer Gefälledämmung zwischen 20 bis 35 cm.

Aussenwand Ausführung in Holzrahmenbauweise mit 28 cm Wärmedämmung zwischen den Rahmen. Die äussere und innere Schale besteht aus einer 1.5 cm Gipsfaserplatte. Teilweise wurden zusätzlich ausgedämmte Installationsräume mit Gipskartonplatte angebracht.

Geschossdecken Die Geschossdecken wurden in Holzmassivbauweise mit Schüttung und als Holzbetonverbunddecke ausgeführt. Die Holzbetonverbunddecke besteht aus 11 cm Brettstapel und 13 cm Überbeton. Die Holzmassivdecke besteht aus 16 cm Brettsperrholz und 10 cm Kalksplitt. Beide Geschossdecken sind mit einem schwimmenden Zementunterlagsboden zwischen sieben bis acht Zentimeter versehen.

Innenwand Innerhalb der Nutzungseinheit Holzrahmenbauweise, Erschliessungskerne und Wände zwischen Nutzungseinheiten 25 cm Stahlbeton.

Flächenkennwerte

<i>GV</i>	>90'000 m ³
<i>GF</i>	25'000 – 30'000 m ²
<i>HNF</i>	10'000 – 20'000 m ²
<i>EBF</i>	15'000 – 20'000 m ²

**Ökologische Kennwerte
Gebäude**

	Holzbauweise	Mineralische Bauweise
<i>Treibhausgasemissionen</i>	13.4 kg/m ² _{EBFa}	15.0 kg/m ² _{EBFa}
<i>Kohlenstoff (als CO₂)</i>	3.0 kg/m ² _{EBFa}	0.4 kg/m ² _{EBFa}
<i>Graue Energie</i>	45.0 kWh/m ² _{EBFa}	47.1 kWh/m ² _{EBFa}

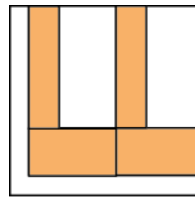
Bauteile oberirdisch

<i>Treibhausgasemissionen</i>	Holzbauweise	Mineralische Bauweise
<i>Dächer</i>	3.5 kg/ m ² _{BauteilA}	5.0 kg/ m ² _{BauteilA}
<i>Aussenwände</i>	1.8 kg/ m ² _{BauteilA}	2.2 kg/ m ² _{BauteilA}
<i>Geschossdecken</i>	2.1 kg/ m ² _{BauteilA}	3.1 kg/ m ² _{BauteilA}
<i>Innenwände</i>	1.4 kg/ m ² _{BauteilA}	1.5 kg/ m ² _{BauteilA}

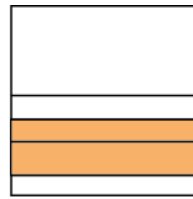
Einsparung pro Bauteil

<i>Dächer</i>	-32 %
<i>Aussenwände</i>	-16 %
<i>Geschossdecken</i>	-32 %
<i>Innenwände</i>	-9 %

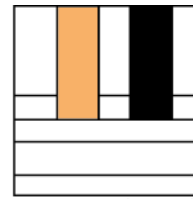
Fallbeispiel 5

Übersicht

Holzkonstruktion



Decke Holz



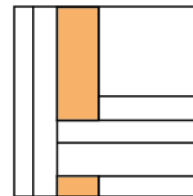
Innenwand hybrid



Wohnen



Dach Holz



Aussenwand Holz

Nutzung Wohnen und Gewerbe

Erstellung 2018

Eigentümerin Stadt

Standort Grosszentren

Nachhaltigkeitsstandard In Anlehnung an Minergie-P

Typologie Dreigeschossige U-förmige Blockrandbebauung mit Innenhof

Konstruktionsbeschreibung Das Untergeschoss ist in Stahlbeton ausgeführt und befindet sich flächig unter dem U-förmigen Baukörper. Das Gebäude wurde gesamthaft als Holzrahmenbau errichtet.

Bauteilbeschreibung

Dach Das Dach ist als Kaltdach ausgeführt. Die oberste Geschossdecke ist als Balkendecke mit 24 cm Dämmung versehen. Das Satteldach ist mit zementgebundenen Faserplatten bedeckt.

Aussenwand Ausführung in Holzrahmenbauweise mit 24 cm Wärmedämmung zwischen den Rahmen. Die äussere Schale besteht aus einer 3.5 cm Weichfaserplatte, innere Schale mit 1.0 cm Gipsfaserplatte und einer OSB-Platte 1.5 cm.

Geschossdecken Auf der Balkenlage befindet sich eine 4.2 cm dicke 3-Schichtplatte. Diese Platte dient als Träger für die 6 cm starke Schüttung, auf der ein schwimmende Unterlagsboden mit 8.3 cm aufgebracht ist.

Innenwand Innerhalb der Nutzungseinheit einfache Holzrahmenbauweise, Erschliessungskerne sind in 25 cm Stahlbeton ausgeführt und zwischen zwei Nutzungseinheiten ein mehrschaliger Holzrahmenbau.

Flächenkennwerte

<i>GV</i>	>20'000 m ³
<i>GF</i>	5'000 - 10'000 m ²
<i>HNF</i>	<5'000 m ²
<i>EBF</i>	<5'000 m ²

**Ökologische Kennwerte
Gebäude**

	Holzbauweise	Mineralische Bauweise
<i>Treibhausgasemissionen</i>	10.5 kg/m ² _{EBFa}	13.5 kg/m ² _{EBFa}
<i>Kohlenstoff (als CO₂)</i>	3.8 kg/m ² _{EBFa}	1.1 kg/m ² _{EBFa}
<i>Graue Energie</i>	35.9 kWh/m ² _{EBFa}	41.7 kWh/m ² _{EBFa}

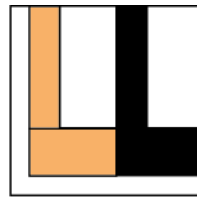
Bauteile oberirdisch

	Holzbauweise	Mineralische Bauweise
<i>Treibhausgasemissionen</i>		
<i>Oberste Geschossdecke</i>	2.6 kg/ m ² _{BauteilA}	3.4 kg/ m ² _{BauteilA}
<i>Aussenwände</i>	1.4 kg/ m ² _{BauteilA}	2.8 kg/ m ² _{BauteilA}
<i>Geschossdecken</i>	1.5 kg/ m ² _{BauteilA}	3.1 kg/ m ² _{BauteilA}
<i>Innenwände</i>	0.6 kg/ m ² _{BauteilA}	1.2 kg/ m ² _{BauteilA}

Einsparung pro Bauteil

<i>Dächer</i>	-23 %
<i>Aussenwände</i>	-16 %
<i>Geschossdecken</i>	-52 %
<i>Innenwände</i>	-50 %

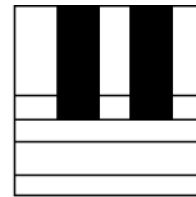
Fallbeispiel 6

Übersicht

Hybride Konstruktion



Decke hybrid



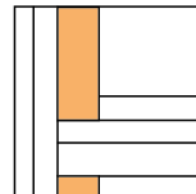
Innenwand mineralisch



Büro / Gewerbe



Dach hybrid



Aussenwand Holz

Nutzung Gewerbe*Erstellung* 2018*Eigentümerin* Privat*Standort* Agglomeration Grosszentren*Nachhaltigkeitsstandard* unbekannt*Typologie* Bürohochhaus

Konstruktionsbeschreibung Hybridbauweise als Holzskelettbau mit vorgehängter Fassade als Holzrahmenkonstruktion und Betonfertigteilen. Das Erdgeschoss und Untergeschoss ist in Stahlbeton ausgeführt.

Bauteilbeschreibung

Dach Die Holzträger (15x30) des Holzskelettbaus nehmen die Last der 12 cm dicken Betonplatte auf. Die Wärmedämmung beträgt 25 cm.

Aussenwand Ausführung in Holzrahmenbauweise mit 28 cm Wärmedämmung zwischen den Rahmen. Die äussere und innere Schale besteht aus zwei Gipsfaserplatten mit einer Stärke von 1.8 cm und 1.5 cm. Die Fassadenbekleidung der hinterlüfteten Fassade ist aus Aluminium.

Geschossdecken Das Regelgeschoss ist mit einer Hohlbodenkonstruktion versehen. Der folgende Bodenaufbau ist mit 6 cm schwimmenden Anhydrit-Untergelagsboden und 12 cm Betonelementdecke ausgeführt.

Innenwand Der aussteifende Treppenraum ist in 25 cm Stahlbeton ausgeführt. Alle weiteren Innenwände sind als Mieterausbau ausgeführt.

Flächenkennwerte

<i>GV</i>	>60'000 m ³
<i>GF</i>	15'000 - 20'000 m ²
<i>HNF</i>	10'000 - 15'000 m ²
<i>EBF</i>	10'000 - 15'000 m ²

**Ökologische Kennwerte
Gebäude**

	Holzbauweise	Mineralische Bauweise
<i>Treibhausgasemissionen</i>	13.9 kg/m ² _{EBFa}	14.9 kg/m ² _{EBFa}
<i>Kohlenstoff (als CO₂)</i>	2.1 kg/m ² _{EBFa}	0.6 kg/m ² _{EBFa}
<i>Graue Energie</i>	44.5 kWh/m ² _{EBFa}	47.2 kWh/m ² _{EBFa}

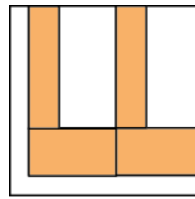
Bauteile oberirdisch

	Holzbauweise	Mineralische Bauweise
<i>Treibhausgasemissionen</i>		
<i>Dach</i>	4.5 kg/ m ² _{BauteilA}	5.0 kg/ m ² _{BauteilA}
<i>Aussenwände</i>	2.1 kg/ m ² _{BauteilA}	4.5 kg/ m ² _{BauteilA}
<i>Geschossdecken</i>	5.5 kg/ m ² _{BauteilA}	5.8 kg/ m ² _{BauteilA}
<i>Innenwände</i>	2.0 kg/ m ² _{BauteilA}	2.0 kg/ m ² _{BauteilA}

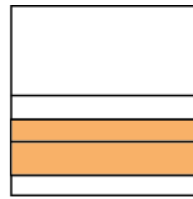
Einsparung pro Bauteil

<i>Dächer</i>	-9%
<i>Aussenwände</i>	-53 %
<i>Geschossdecken</i>	-5 %
<i>Innenwände</i>	0 %

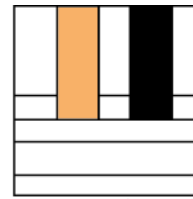
Fallbeispiel 7

Übersicht

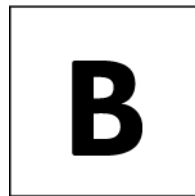
Holzkonstruktion



Decke Holz



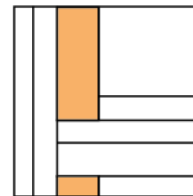
Innenwand hybrid



Büro / Gewerbe



Dach Holz



Aussenwand Holz

Nutzung Gewerbe*Erstellung* 2011*Eigentümerin* Privat*Standort* Agglomeration kleine und mittlere Zentren*Nachhaltigkeitsstandard* Minergie-P-ECO*Typologie* Dreistöckiges Punkthaus*Konstruktionsbeschreibung* Hybridbauweise mit einer hinterlüfteten Fassade als Holzrahmenkonstruktion und Holzbetonverbunddecke ohne Untergeschoss.**Bauteilbeschreibung**

- Dach* Das Dach über dem Treppenhaus ist als Rippendecke mit 20 cm Dämmung ausgeführt. Die wesentliche Konstruktion der begehbaren und nicht begehbaren Dachflächen besteht aus 10 cm Brettstapel + 12 cm Überbeton + 12 bis 21 cm Gefälledämmung.
- Aussenwand* Ausführung in Holzrahmenbauweise mit 28 cm Wärmedämmung zwischen den Rahmen. Die innere Schale besteht aus einer 1.9 cm starken 3-Schichtplatte. Für die äussere Schale ist eine weiche Holzfaserverplatte mit 10 cm eingesetzt worden.
- Geschossdecken* Der schwimmende Unterlagsboden aus 6 cm Anhydrit liegt auf 12 cm Überbeton gefolgt von 10 cm Brettstapel. Die Decken sind mit einer Akustikdecke abgehängt.
- Innenwand* Alle Innenwände sind als einfache Holzrahmenkonstruktion ausgeführt.

Flächenkennwerte

<i>GV</i>	1'000 - 5'000 m ³
<i>GF</i>	1'000 - 5'000 m ²
<i>HNF</i>	500 - 1'000 m ²
<i>EBF</i>	500 - 1'000 m ²

**Ökologische Kennwerte
Gebäude**

	Holzbauweise	Mineralische Bauweise
<i>Treibhausgasemissionen</i>	12.5 kg/m ² _{EBFa}	14.2 kg/m ² _{EBFa}
<i>Kohlenstoff (als CO₂)</i>	6.3 kg/m ² _{EBFa}	0.3 kg/m ² _{EBFa}
<i>Graue Energie</i>	48.7 kWh/m ² _{EBFa}	50.3 kWh/m ² _{EBFa}

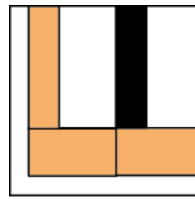
Bauteile oberirdisch

	Holzbauweise	Mineralische Bauweise
<i>Treibhausgasemissionen</i>		
<i>Dach</i>	5.9 kg/ m ² _{BauteilA}	7.8 kg/ m ² _{BauteilA}
<i>Aussenwände</i>	0.23 kg/ m ² _{BauteilA}	0.26 kg/ m ² _{BauteilA}
<i>Geschossdecken</i>	1.8 kg/ m ² _{BauteilA}	2.2 kg/ m ² _{BauteilA}
<i>Innenwände</i>	0.6 kg/ m ² _{BauteilA}	1.1 kg/ m ² _{BauteilA}

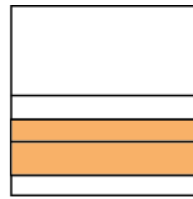
Einsparung pro Bauteil

<i>Dächer</i>	-24 %
<i>Aussenwände</i>	-12 %
<i>Geschossdecken</i>	-20%
<i>Innenwände</i>	-45 %

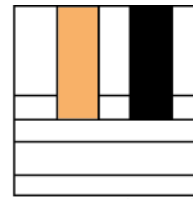
Fallbeispiel 8

Übersicht

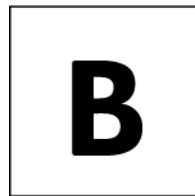
Holzkonstruktion



Decke Holz



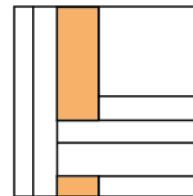
Innenwand hybrid



Büro / Gewerbe



Dach Holz



Aussenwand Holz

Nutzung Gewerbe*Erstellung* 2019*Eigentümerin* Privat*Standort* Agglomeration kleine und mittlere Zentren*Nachhaltigkeitsstandard* unbekannt*Typologie* Viergeschossiger Punktbau*Konstruktionsbeschreibung* Holzmassivbau mit aussteifenden Stahlbeton Kern und mineralischen Untergeschoss. Die Decke des UG ist in Holzmassiv ausgeführt.**Bauteilbeschreibung**

-
- Dach* 26 cm Vollholzelement mit 6 bis 12 cm Holzfaserdämmung vor einem hinterlüfteten gefalzten Blechdach.
- Aussenwand* Ausführung in drei Schichten von innen nach aussen wie folgt, 21 cm Vollholzelement -18 cm Vollholzelement – 3 cm Fassadenbekleidung.
- Geschossdecken* Über alle Geschosse erfüllt die Decke bereits akustische Aufgaben. Ausgeführt ist dies durch 2 Lagen eines Holzgitters 15 x 3.6 cm + 6 cm Buche genutet + 3 Lagen eines Holzgitters 15 x 3.6 cm dessen Hohlräume mit Kalksplit gefüllt sind. Als Trittschalldämmung ist eine 6 cm Holzfaserverplatte eingesetzt. Die Fussbodenheizung ist in einer 4.4 cm starken Holzelement eingefräst und von einem Parkett verdeckt.
- Innenwand* Alle nicht tragende Innenwände sind als einfache Holzrahmenkonstruktion ausgeführt. Der Treppenhauskern besteht aus 25 cm Stahlbeton.

Flächenkennwerte

<i>GV</i>	1'000 - 5'000 m ³
<i>GF</i>	500 - 1'000 m ²
<i>HNF</i>	500 - 1'000 m ²
<i>EBF</i>	500 - 1'000 m ²

**Ökologische Kennwerte
Gebäude**

	Holzbauweise	Mineralische Bauweise
<i>Treibhausgasemissionen</i>	11.5 kg/m ² _{EBFa}	13.1 kg/m ² _{EBFa}
<i>Kohlenstoff (als CO₂)</i>	16.0 kg/m ² _{EBFa}	0.4 kg/m ² _{EBFa}
<i>Graue Energie</i>	43.3 kWh/m ² _{EBFa}	40.9 kWh/m ² _{EBFa}

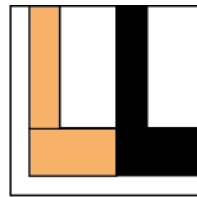
Bauteile oberirdisch

	Holzbauweise	Mineralische Bauweise
<i>Treibhausgasemissionen</i>		
<i>Dach</i>	5.5 kg/ m ² _{BauteilA}	4.3 kg/ m ² _{BauteilA}
<i>Aussenwände</i>	1.2 kg/ m ² _{BauteilA}	2.6 kg/ m ² _{BauteilA}
<i>Geschossdecken</i>	1.9 kg/ m ² _{BauteilA}	2.4 kg/ m ² _{BauteilA}
<i>Innenwände</i>	1.2 kg/ m ² _{BauteilA}	1.5 kg/ m ² _{BauteilA}

Einsparung pro Bauteil

<i>Dächer</i>	+27 %
<i>Aussenwände</i>	-54 %
<i>Geschossdecken</i>	-21 %
<i>Innenwände</i>	-19 %

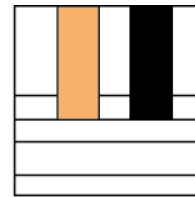
Fallbeispiel 9

Übersicht

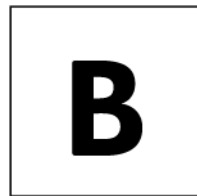
Hybride Konstruktion



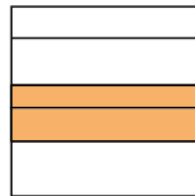
Decke hybrid



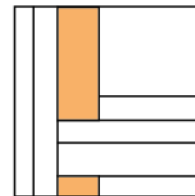
Innenwand hybrid



Büro / Gewerbe



Dach Holz



Aussenwand Holz

Nutzung Gewerbe*Erstellung* 2021*Eigentümerin* Privat*Standort* Kleine und mittlere Zentren*Nachhaltigkeitsstandard* Energiebedarf 10% unter den gesetzlichen Anforderungen*Typologie* Fünfgeschossiger Punktbau*Konstruktionsbeschreibung* Holzskelettbau mit Holzbetonverbunddecke, ein Untergeschoss in Stahlbeton innerhalb des Dämmperimeters.**Bauteilbeschreibung***Dach* Die Konstruktion setzt sich aus einer Holzrippendecke mit Brett-schichtholz Trägern 20 x 36 cm, eine 10 cm 3-Schichtplatte und 10 bis 23 cm Gefälledämmung zusammen.*Aussenwand* Die Fassade setzt sich in wesentlichen aus zwei Bauteilen zusammen. Folgende für Konstruktion des Bauteils 1 als Holzrahmenkonstruktion, mit 26 cm Dämmung, einer inneren Schale 12 cm Holz, äusseren Schale 1.5 cm OSB und hinterlüftete Holzverkleidung zusammen. Der Aufbau des zweiten Bauteils setzt sich wesentlich aus 20 cm Brettschichtholz und 20 cm Wärmedämmung zusammen.*Geschossdecken* Auf der Rippendecke aus Brettschichtholz 20 x 32 cm ist eine Betonfertigteile mit 6 cm und 10 cm Überbeton abgelegt. Aufgrund der Flexibilität ist ein Hohlboden installiert.*Innenwand* Alle nicht tragende Innenwände sind als einfache Holzrahmenkonstruktion ausgeführt. Der Treppenhauskern wurde aus 25 cm Stahlbeton errichtet.

Flächenkennwerte

<i>GV</i>	25'000 - 30'000 m ³
<i>GF</i>	5'000 - 10'000 m ²
<i>HNF</i>	5'000 - 10'000 m ²
<i>EBF</i>	5'000 - 10'000 m ²

**Ökologische Kennwerte
Gebäude**

	Holzbauweise	Mineralische Bauweise
<i>Treibhausgasemissionen</i>	12.4 kg/m ² _{EBFa}	13.9 kg/m ² _{EBFa}
<i>Kohlenstoff (als CO₂)</i>	3.8 kg/m ² _{EBFa}	1.0 kg/m ² _{EBFa}
<i>Graue Energie</i>	41.3 kWh/m ² _{EBFa}	44.5 kWh/m ² _{EBFa}

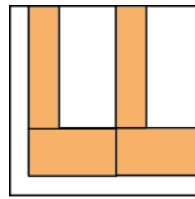
Bauteile oberirdisch

	Holzbauweise	Mineralische Bauweise
<i>Treibhausgasemissionen</i>		
<i>Dach</i>	4.0 kg/ m ² _{BauteilA}	5.5 kg/ m ² _{BauteilA}
<i>Aussenwände</i>	2.0 kg/ m ² _{BauteilA}	3.0 kg/ m ² _{BauteilA}
<i>Geschossdecken</i>	4.0 kg/ m ² _{BauteilA}	4.0 kg/ m ² _{BauteilA}
<i>Innenwände</i>	0.9 kg/ m ² _{BauteilA}	1.6 kg/ m ² _{BauteilA}

Einsparung pro Bauteil

<i>Dächer</i>	-28 %
<i>Aussenwände</i>	-33 %
<i>Geschossdecken</i>	0 %
<i>Innenwände</i>	-45 %

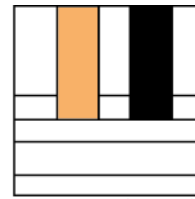
Fallbeispiel 10

Übersicht

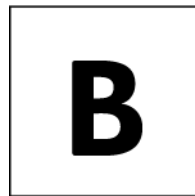
Holzkonstruktion



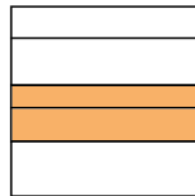
Decke hybrid



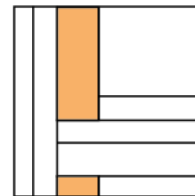
Innenwand hybrid



Büro / Gewerbe



Dach Holz



Aussenwand Holz

Nutzung Gewerbe*Erstellung* 2021*Eigentümerin* Privat*Standort* Agglomeration Grosszentren*Nachhaltigkeitsstandard* unbekannt*Typologie* Fünfgeschossiger Punktbau*Konstruktionsbeschreibung* Holzskelettbau mit Brettspertholzdecken und aus Stahlbeton gefertigte Erschliessungskerne, ein Untergeschoss in Stahlbeton liegt ausserhalb des Dämmperimeters liegt.**Bauteilbeschreibung**

<i>Dach</i>	14 cm Brettschichtholz mit 24 cm Gefälledämmung. Bei den Kernen wurde anstatt des Brettschichtholz auf 25 cm Stahlbeton gewechselt.
<i>Aussenwand</i>	Die Hauptfassade ist als Holzrahmenkonstruktion ausgeführt. Die innere Scheibe ist eine 2.4 cm starke OSB-Platte. Die äussere Scheibe ist eine 1.5 cm starke Gipsfaserplatte. Zwischen den Holzrahmen befindet sich 30 cm Wärmedämmung.
<i>Geschossdecken</i>	Auf dem 16 cm Brettschichtholz sind 9 cm Splittbeschwerung und ein schwimmender Unterlagsboden mit 6.5 cm aufgebracht. Im Bereich des Treppenhauses ist das Brettschichtholz und die Splittbeschwerung durch 25 cm Stahlbeton ersetzt worden.
<i>Innenwand</i>	Alle nicht tragende Innenwände sind als einfache Holzrahmenkonstruktion ausgeführt. Der Treppenhauskern wurde aus 25 cm Stahlbeton errichtet.

Flächenkennwerte

<i>GV</i>	25'000 – 30'000 m ³
<i>GF</i>	5'000 - 10'000 m ²
<i>HNF</i>	<5'000 m ²
<i>EBF</i>	<5'000 m ²

**Ökologische Kennwerte
Gebäude**

	Holzbauweise	Mineralische Bauweise
<i>Treibhausgasemissionen</i>	15.3 kg/m ² _{EBFa}	16.9 kg/m ² _{EBFa}
<i>Kohlenstoff (als CO₂)</i>	3.5 kg/m ² _{EBFa}	0.4 kg/m ² _{EBFa}
<i>Graue Energie</i>	48.9 kWh/m ² _{EBFa}	51.8 kWh/m ² _{EBFa}

Bauteile oberirdisch

	Holzbauweise	Mineralische Bauweise
<i>Treibhausgasemissionen</i>		
<i>Dach</i>	3.9 kg/ m ² _{BauteilA}	6.0 kg/ m ² _{BauteilA}
<i>Aussenwände</i>	1.0 kg/ m ² _{BauteilA}	1.5 kg/ m ² _{BauteilA}
<i>Geschossdecken</i>	0.9 kg/ m ² _{BauteilA}	1.2 kg/ m ² _{BauteilA}
<i>Innenwände</i>	1.5 kg/m ² _{BauteilA}	1.5 kg/ m ² _{BauteilA}

Einsparung pro Bauteil

<i>Dächer</i>	-36 %
<i>Aussenwände</i>	-32 %
<i>Geschossdecken</i>	-23 %
<i>Innenwände</i>	0 %

Abbildungsverzeichnis

- Fig. 1* Treibhausgasemissionswerte alle Fallbeispiele (Durable)
- Fig. 2* Graue Energie (nicht erneuerbare Primärenergie Erstellung) alle Fallbeispiele (Durable)
- Fig. 3* Abweichung der mineralischen Zwillinge gegenüber der Holzbauweise in % auf Ebene Gebäude (Durable)
- Fig. 4* Abweichung der mineralischen Zwillinge gegenüber der Holzbauweise in % bei Geschosdecken (Durable)
- Fig. 5* Abweichung der mineralischen Zwillinge gegenüber der Holzbauweise in % bei Dächern (Durable)
- Fig. 6* Abweichung der mineralischen Zwillinge gegenüber der Holzbauweise in % bei Aussenwänden (Durable)
- Fig. 7* Abweichung der mineralischen Zwillinge gegenüber der Holzbauweise in % bei Innenwänden (Durable)
- Fig. 8* einfache Formel einer Ökobilanz (Durable)
- Fig. 9* Beispielhafte Materialvergleiche bezüglich ökologische Qualität des Baustoffes (Durable)
- Fig. 10* Auszug aus Ökobilanzdaten im Baubereich (Version 2022), Quelle KBOB
- Fig. 11* Umwandlung der Bezugsgrösse kg auf m² (Durable)
- Fig. 12* Rechenweg, um ein 10 cm dickes Bauteil aus Beton mit einem aus Laubholz zu vergleichen (Durable)
- Fig. 13* Vergleich Betone und Hölzer / Holzwerkstoffe bezogen auf den m² Bauteilfläche (Durable)
- Fig. 14* Beispielhafte Bilanz einer Aussenwand aus KBOB Ökobilanzdaten im Baubereich, Version 2016, Quelle: KBOB
- Fig. 15* Optimierte Quantität, Detailschnitt Fassade und Geschosdecke, Quelle, Quelle: pool Architekten
- Fig. 16* graue Treibhausgasemissionen der Betondecke des Fallbeispiels bezogen auf Referenzwerte SIA 2032, Anhang D (Durable)
- Fig. 17* Hierarchie der Kreislaufwirtschaft (Durable)
- Fig. 18* Variantenvergleich eines Ersatzneubaus mit einer Erneuerung / Erweiterung, oben mit einer über 60 Jahren genutzten Primärstruktur, unten mit einer über 120 Jahren genutzten Primärstruktur (Durable)
- Fig. 19* Betrachtungszeitraum von 60 Jahren bei einem Variantenvergleich von Primärstrukturen mit einer Amortisationszeit von 120 Jahren (Durable)
- Fig. 20* Optimierung der Gesamtbilanz eines Gebäude in Anlehnung an Ziel und Richtwerte des SIA 2040 Effizienzpfad Energie (Durable)

- Fig. 21* Neubau Siedlung Rotbuchstrasse, Wettbewerbsprojekt Atelier Scheidegger Keller, Quelle: Atelier Scheidegger Keller
- Fig. 22* Gegenüberstellung Reduktionsmassnahmen und Kompensationsmassnahmen am Beispiel des Wettbewerbsbeitrages Rotbuchstrasse (Durable)
- Fig. 23* Projekt 3Jo, SBB Immobilien, Basel St. Johann, Quelle Baumann Rose-rens Architekten, Zürich
- Fig. 24* Vergleich Holzbauweise mit mineralischer Bauweise am Beispiel 3Jo (Durable)
- Fig. 25* CO₂-Reduktion und -kompensation durch den Einsatz von Holz (Durable)
- Fig. 26* Variantenvergleich Mineralisch / Holz, einzelne Bauteilgruppen (Durable)
- Fig. 27* Variantenvergleich Gebäude mineralisch und Holz [kg CO₂-eq / m²a] (Durable)
- Fig. 28* Variantenvergleich biogene Kohlenstoffgehalte und die Menge der bei Verbrennung emittierender CO₂-Emissionen (Durable)
- Fig. 29* Variantenvergleich Aussenwände mineralisch und Holz (Durable)
- Fig. 30* Variantenvergleich Dächer mineralisch und Holz (Durable)
- Fig. 31* Variantenvergleich Innenwände mineralisch und Holz (Durable)
- Fig. 32* Variantenvergleich Zwischendecken mineralisch und Holz (Durable)
- Fig. 33* Variantenvergleich Gebäude mineralisch und Holz [kg CO₂-eq / m²a] mit Angabe der biogenen Kohlenstoffe (als CO₂-Emissionen) (Durable)