

**Unterrichtung  
durch die Präsidentin der Bürgerschaft**

**Betr.: Bürgerschaftliches Ersuchen vom 1. Dezember 2021:  
„Einen fiktiven CO<sub>2</sub>-Preis bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen berücksichtigen“ – Drs. 22/6449**

Die Bürgerschaft hat in ihrer Sitzung vom 1. Dezember 2021 die Drs. 22/6449 angenommen und damit folgenden Beschluss gefasst:

**„Der Senat wird ersucht,**

1. ein städtisches Bauprojekt und ein städtisches Beschaffungsvorhaben, das den Liefer- und Dienstleistungsbereich betrifft, auszuwählen und bei der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit ergänzend auch einen fiktiven CO<sub>2</sub>-Schattenpreis bei den Lebenszykluskosten einzuberechnen. Es soll geprüft werden, ob die Berücksichtigung des CO<sub>2</sub>-Schattenpreises im Rahmen der Bestimmung des wirtschaftlichsten Angebots dazu führt, dass im Ergebnis klimafreundliche Produkte und Planungen den Zuschlag erhalten. Dabei ist der vom Umweltbundesamt empfohlene Wert von 201 Euro pro Tonne Kohlenstoffdioxid anzusetzen.
2. zu prüfen, inwieweit ein fiktiver CO<sub>2</sub>-Preis regelhaft bei Beschaffungsvorgängen der öffentlichen Hand einbezogen werden könnte.
3. der Bürgerschaft über die gewonnenen Erkenntnisse bei der Berücksichtigung eines fiktiven CO<sub>2</sub>-Preises bis zum 31.12.2023 zu berichten.“

Der Senator der Finanzbehörde, Herr Dr. Andreas Dressel, hat mir dazu das beigefügte Schreiben vom 26. Januar 2024 (Anlage 1) sowie ein Gutachten zur Bilanzierung eines fiktiven CO<sub>2</sub>-Preises im Rahmen von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen am Beispiel des Hamburger Klassenhauses (Anlage 2) übermittelt.

Carola Veit  
Präsidentin

Anlagen



## Freie und Hansestadt Hamburg Finanzbehörde

Finanzbehörde, Gänsemarkt 36, 20354 Hamburg

An die  
Präsidentin der Hamburgischen Bürgerschaft  
Frau Carola Veit

Senator Dr. Andreas Dressel  
Gänsemarkt 36  
20354 Hamburg

Postfach 301741  
20306 Hamburg

Tel. (040) 42823- 1411

26. Januar 2024

**Betreff: Einen fiktiven CO<sub>2</sub>-Preis bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen berücksichtigen**  
Beantwortung der Ziffern 1 und 2 des Bürgerschaftlichen Ersuchens 22/6449

Sehr geehrte Frau Präsidentin,

die Bürgerschaft hat in ihrer Sitzung vom 17.11.2021 im Rahmen der Drs. 22/6449 den Senat ersucht,

1. ein städtisches Bauprojekt und ein städtisches Beschaffungsvorhaben, das den Liefer- und Dienstleistungsbereich betrifft, auszuwählen und bei der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit ergänzend auch einen fiktiven CO<sub>2</sub>-Schattenpreis bei den Lebenszykluskosten einzuberechnen. Es soll geprüft werden, ob die Berücksichtigung des CO<sub>2</sub>-Schattenpreises im Rahmen der Bestimmung des wirtschaftlichsten Angebots dazu führt, dass im Ergebnis klimafreundliche Produkte und Planungen den Zuschlag erhalten. Dabei ist der vom Umweltbundesamt empfohlene Wert von 201 Euro pro Tonne Kohlenstoffdioxid anzusetzen.
2. zu prüfen, inwieweit ein fiktiver CO<sub>2</sub>-Preis regelhaft bei Beschaffungsvorgängen der öffentlichen Hand einbezogen werden könnte.
3. der Bürgerschaft über die gewonnenen Erkenntnisse bei der Berücksichtigung eines fiktiven CO<sub>2</sub>-Preises bis zum 31.12.2023 zu berichten.

Zu den Ziffern 1 und 2 des Bürgerschaftlichen Ersuchens kann ich folgendes mitteilen:

- a) städtisches Beschaffungsvorhaben aus dem Liefer- und Dienstleistungsbereich

Das Referat, Strategischer Einkauf, in der Finanzbehörde befindet sich im regelmäßigen Austausch mit dem Umweltbundesamt, der Kompetenzstelle für Nachhaltige Beschaffung sowie den anderen Bundesländern. Aktuell fehlt es aber weiterhin an entsprechenden Hilfestellungen seitens des Bundes, die ein rechtssicheres Vorgehen im Rahmen eines solchen Vorhabens ermöglichen. Pilotvorhaben, welche die monetäre Bewertung von Treibhausgasemissionen mittels CO<sub>2</sub>-Schattenpreis im Liefer- und Dienstleistungsbereich zum Inhalt haben, sind trotz teilweiser schon geltender rechtlicher Vorgaben weder auf Bundesebene noch auf Ebene der anderen Länder bekannt.

Dies zeigt die Herausforderungen, die mit dem in der seit dem 01.01.2022 geltenden AVV Klima des Bundes<sup>1</sup> (seit November 2023 ebenfalls in der Verwaltungsvorschrift zur Nachhaltigen Beschaffung in

<sup>1</sup> [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/A/allgemeine-verwaltungsvorschrift-zur-beschaffung-klima-freundlicher-leistungen-avv-klima.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/A/allgemeine-verwaltungsvorschrift-zur-beschaffung-klima-freundlicher-leistungen-avv-klima.pdf?__blob=publicationFile&v=3)

Niedersachsen<sup>2</sup>, in der die Berücksichtigung des CO<sub>2</sub>- Schattenpreises ebenfalls gefordert wird) verankerten Auftrag einhergehen. Zudem verdeutlicht es, weshalb die regelhafte Einbeziehung eines fiktiven CO<sub>2</sub>- Preises bei Beschaffungsvorhaben aus dem Liefer- und Dienstleistungsbereich aktuell noch nicht möglich ist:

Mit einer regelhaften CO<sub>2</sub>-Bepreisung sind signifikante praktische Schwierigkeiten für die Vergabestellen verbunden, weil Vergabeverfahren länger dauern und zunehmend mangels Bietenden nicht erfolgreich abgeschlossen werden können. Diese Schwierigkeiten lassen sich nicht kurzfristig lösen und schränken die Bedarfsträger:innen somit bei der Erfüllung ihrer öffentlichen Aufgaben erheblich ein. So ist es erforderlich, um in einer Ausschreibung CO<sub>2</sub>-Preise zugrunde zu legen und in die Angebotswertung einfließen zu lassen, dass die Bietenden konkrete Angaben zur Emission von Treibhausgasen über den gesamten Lebenszyklus der Leistung machen. Damit die Angaben der Bietenden vergleichbar sind, muss der öffentliche Auftraggeber die Methodik zur Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen ebenso wie die Systemgrenzen vorab definieren.

Während einige Unternehmen bereits für ihre Produkte und Leistungen Angaben zu CO<sub>2</sub> -Emissionen machen, stellt gerade die Vergleichbarkeit dieser Angaben eine große Herausforderung für den öffentlichen Auftraggeber dar. Um diese überprüfen zu können, ist nicht nur eine fundierte Kenntnis des Lebenszyklus des jeweiligen Produktes, sondern auch ein Verständnis der Berechnung von CO<sub>2</sub>-Emissionen erforderlich.

Zwar gibt es bereits einige Tools zur Berechnung von Lebenszykluskosten, die insbesondere Nutzungs- und Entsorgungskosten einbeziehen, allerdings fehlen bislang noch ausreichende Tools, um die CO<sub>2</sub>-Emissionen produktspezifisch zu bestimmen. Um entsprechende Vorhaben umzusetzen, wäre aktuell daher eine zusätzliche Unterstützung durch externe Berater zur Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen erforderlich. Der Aufwand, der bei den Bietenden entsteht, welche die CO<sub>2</sub>-Emissionen für einzelne Produkte im Rahmen eines Ausschreibungsverfahrens ohne Erfolgsgarantie bei der Zuschlagserteilung errechnen müssen, ist hierbei erheblich und wird den bei vielen Produkten und Dienstleistungen bestehenden Mangel an Bietenden noch verschärfen.

Auch in der AVV Klima des Bundes wird in § 2 Abs. 1 Nr. 2 auf den Aufwand der Prognose der Treibhausgasemissionen Bezug genommen. In den Erläuterungen in Anlage 2 heißt es ferner:

„Sofern und solange keine verlässlichen und belastbaren Hilfestellungen für die Berechnung von Treibhausgasemissionen bestimmter Leistungen bzw. Leistungsgruppen verfügbar sind, dürfte die Prognose allerdings nicht in allen Fällen möglich sein. Die Bestimmung der verursachten Treibhausgasemissionen erfolgt in der Regel auf der Grundlage von Hilfestellungen des Umweltbundesamtes. Auf diese Weise soll Auftraggebern ermöglicht werden, eine Prognose zu treffen.“

Zum Aufwand, der den Bietenden entsteht, heißt es zudem:

„Vom Bieter beziehungsweise Bewerber sind anders als bisher nicht nur konkrete Angaben zum Energieverbrauch über den gesamten Lebenszyklus der Leistung einzuholen, sondern grundsätzlich auch konkrete Angaben zur Emission von Treibhausgasen über den gesamten Lebenszyklus der Leistung. Die von den Unternehmen angeforderten Daten müssen sich im Rahmen ihrer Sorgfaltspflicht allerdings mit angemessenem Aufwand bereitstellen lassen. Sofern und solange keine verlässlichen und belastbaren Hilfestellungen für die Berechnung von Treibhausgasemissionen bestimmter Leistungen bzw. Leistungsgruppen verfügbar sind, ist die Anforderung in vielen Fällen mutmaßlich jedenfalls nicht vom gesamten zu erwartenden Bieter- bzw. Bewerberkreis erfüllbar. Dies dürfte in der Regel insbesondere für Kleinunternehmen sowie kleine und mittlere Unternehmen im Sinne der Empfehlung 2003/361/EG (ABl. L 124/36 vom 20.05.2003) gelten.“

<sup>2</sup> [https://www.mw.niedersachsen.de/download/201024/Verwaltungs-\\_vorschriften\\_Nachhaltige\\_Beschaffung\\_VV-NB\\_nichtamtl.\\_Lesefassung.pdf](https://www.mw.niedersachsen.de/download/201024/Verwaltungs-_vorschriften_Nachhaltige_Beschaffung_VV-NB_nichtamtl._Lesefassung.pdf)

Obschon die Umsetzung der monetären Bewertung von Treibhausgasemissionen aktuell noch nicht zufriedenstellend umsetzbar ist, ist damit zu rechnen, dass aufgrund der Regelungen auf Bundesebene und der Länder, die entsprechende Regelungen erlassen, vermehrt Erfahrungen zur Berechnung von CO<sub>2</sub>-Preisen gesammelt werden. Diese Entwicklungen werden weiterhin intensiv verfolgt, und es wird zu gegebener Zeit geplant, entsprechende Pilotvorhaben, gegebenenfalls auch in Teilbereichen, gemeinsam mit dem operativen Bereich rechtssicher umzusetzen. Derzeit stehen die beschriebenen Hürden und Schwierigkeiten, jedenfalls was den Bereich Beschaffung von Liefer- und Dienstleistungen anbelangt, der Erfüllung öffentlicher Aufgaben noch strukturell im Wege. Jedenfalls wird das Thema CO<sub>2</sub>-Schattenpreis bereits im neuen Nachhaltigkeitsleitfaden erläutert und den Beschaffenden in den hierzu zu entwickelnden Schulungsformaten vermittelt werden. Auch weitere Beschaffungsvorgaben, die unmittelbare Auswirkungen auf die Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen haben können, werden im Leitfaden und im Rahmen der Schulungsformate adressiert. Insgesamt wird die Professionalisierung der Einkäufer:innen hin zu einem sicheren Umgang mit Nachhaltigkeitsaspekten ein bedeutender Hebel bei der Umsetzung der Nachhaltigkeitsziele der Freien und Hansestadt Hamburg sein. Das Vergaberecht leistet hier bereits jetzt sowohl auf Landes- als auch auf Bundesebene einen wichtigen Beitrag. Jedoch ist die Nachhaltigkeit hierbei nur eines von unterschiedlichen konkurrierenden Zielen, die gegeneinander abzuwägen sind, so dass die Umsetzung von Nachhaltigkeitsaspekten im Einkauf Kompromisse erforderlich macht. In diesem Spannungsfeld und mit Rücksicht auf die Praktikabilität der Vergabeverfahren ist es auch vor dem Hintergrund des bereits jetzt spürbaren Bietermangels wichtig, rechtssichere und einheitliche Nachhaltigkeitsvorgaben zu verwenden. Es ist davon auszugehen, dass sich solche, auch für den CO<sub>2</sub>-Schattenpreis, etablieren werden. Hierfür setzt sich die Freie und Hansestadt Hamburg im Rahmen diverser Austauschformate auf Bundes- und Länderebene ein.

b) Durchführung eines städtischen Bauprojektes das den CO<sub>2</sub>-Schattenpreis berücksichtigt

Der Beantwortung der Frage nach der Durchführung eines städtischen Bauprojektes, das den CO<sub>2</sub>-Schattenpreis berücksichtigt, hat sich die Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen (BSW) angenommen.

Die BSW hat mit externer Unterstützung, die Bilanzierung eines fiktiven CO<sub>2</sub>-Preises im Rahmen von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen am Beispiel des Hamburger Klassenhauses pilotiert.

Grundlage der Beantwortung des Bürgerschaftlichen Ersuchens ist insoweit folgende Zulieferung der BSW samt als Anlage beigefügtem Gutachten zur Bilanzierung eines fiktiven CO<sub>2</sub>-Preises im Rahmen eines städtischen Bauprojektes.

Mit der Drucksache 22/6449 wurde der Senat ersucht, die Berücksichtigung eines fiktiven CO<sub>2</sub>-Preises im Rahmen von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen anhand eines ausgewählten städtischen Bauvorhabens zu prüfen. Über den fiktiven CO<sub>2</sub>-Preis sollen langfristige Folgekosten durch Umwelt- und Klimafolgeschäden schon bei der Realisierung von Projekten berücksichtigt werden. Dadurch werden Maßnahmen, die eine Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen erreichen, aber ggf. zu Mehrkosten führen, konkurrenzfähig und eher umgesetzt.

Für die Untersuchung wurden als Beispielgebäude zwei baugleiche Hamburger Klassenhäuser vom Typ 1a in verschiedenen Bauarten als Holzleichtbau und Massivbau gewählt und eine Ökobilanzierung durchgeführt. Variiert wurden die Bauweise, die Art der Energieversorgung und der Dämmstandard für ausgesuchte Einzelmaßnahmen.

Die Kosten für Klimafolgeschäden wurden über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren gemittelt. Als Quelle dienen die Angaben des Umweltbundesamtes (UBA). Es wurden jeweils zwei Kostenansätze für den fiktiven CO<sub>2</sub>-Preis angesetzt. Der niedrigere Ansatz mit 241 €/t CO<sub>2</sub> gewichtet die Wohlfahrt der heutigen Generation höher gegenüber der Wohlfahrt künftiger Generationen. Der zweite, höhere Ansatz mit 759 €/t CO<sub>2</sub> gewichtet die Wohlfahrt der Generationen gleich.

Für das Beispielgebäude mit einer beheizten Nettoraumfläche (NRF) von 915 m<sup>2</sup> beträgt der Kostenunterschied aufgrund einer CO<sub>2</sub>-armen Bauweise 30 € bis 102 € pro m<sup>2</sup> NRF, jeweils bei niedrigerem und

höherem angesetzten CO<sub>2</sub>-Schadenskostenpreis. Dieser Betrag wird für eine Lenkungsfunktion für gering erachtet, da die Baukosten im Regelfall über 2.000 €/m<sup>2</sup> liegen. Die Auswirkung des fiktiven CO<sub>2</sub>-Preises auf die Verbesserung des Klimaschutzes des hier untersuchten Neubaus wird deshalb als begrenzt eingeschätzt. Erst bei größeren Unterschieden der CO<sub>2</sub>-Emission, sowohl der Konstruktion als auch der Betriebsenergie, ist von einer höheren Bedeutung eines CO<sub>2</sub>-Schattenpreises im Rahmen eines Wirtschaftlichkeitsvergleiches auszugehen. Dies wäre zum Beispiel bei verschiedenen Sanierungsvarianten von Bestandsgebäuden oder dem Vergleich eines Ersatzneubaus mit einer Sanierung der Fall. Diese Betrachtungen sind allerdings nicht Bestandteil der vorliegenden Untersuchung.

Eine Integration des fiktiven CO<sub>2</sub>-Preises in die späten Planungsphasen von Ausschreibung der Bauleistung und Vergabe wird momentan als praktisch kaum umsetzbar erachtet. Die Firmen sind im Regelfall noch nicht flächendeckend in der Lage, in der Angebotsphase die erforderlichen Berechnungen durchzuführen. Außerdem ist der Zeitpunkt der Vergabe zu spät, die Entscheidung zu Gunsten einer nachhaltigen Variante der Bauaufgabe zu beeinflussen. Die grundsätzlichen Entscheidungen sollten in den frühen Leistungsphasen getroffen werden.

Es wird vorgeschlagen, die Steuerungsfunktion für eine CO<sub>2</sub>-arme Lösung im Lebenszyklus einer konkreten Bauaufgabe in die frühen Planungsphasen zu legen, da hier die wesentlichen Entscheidungen, auch zur Entscheidung Abriss oder Sanierung, festgelegt werden. Bereits in der Leistungsphase 2 sollten nach Möglichkeit Varianten gebildet werden, die im Sinne einer Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Flächenoptimierung / Kubatur und Bauweise – Holzbau / Massivbau – zu entwickeln sind. In die Wahl der Vorzugsvariante können Ergebnisse einer planungsbegleitenden Ökobilanz einfließen. Über die Ökobilanz können Bauteile mit dem größten Einfluss identifiziert und gezielt optimiert werden. Potenziale der Konstruktion und die Wahl der Baustoffe können genutzt werden, wenn diese Überlegungen bereits in der Vorentwurfsphase einfließen.

Notwendig ist ein handhabbares Verfahren. Derzeit werden Ökobilanzierungen in die üblichen Programme für GEG-Bilanzierungen integriert. Um einen Mehraufwand der Variantenbildung bereits in der Leistungsphase 2 zu vermeiden, könnten hier vereinfachte Ansätze für die Massenermittlung angesetzt werden.

Das im vorliegenden Gutachten betrachtete Bauprojekt steht mit dem „Effizienzgebäude 40“ Standard für eine höchst energieeffiziente Nutzungsphase. Größere Potentiale zur Einsparung von Treibhausgasemissionen lassen sich daher vorrangig aus der Wahl klimafreundlicher Bauweisen und Baustoffe erzielen. Signifikante Kostenunterschiede bei einkalkulierten CO<sub>2</sub>-Schattenpreisen sind insbesondere bei größeren Bauvorhaben zu erwarten, sowie bei Projekten mit abzuwägender Entscheidung zwischen Ersatzneubau und Sanierung.

Insbesondere mit Hinblick auf die agile Marktentwicklung klimafreundlicher, CO<sub>2</sub>-reduzierter Baumaterialien und Bauprodukte wird empfohlen, eine Berücksichtigung der Erfassung von Treibhausgasemissionen in der Planung und mittelfristig ebenfalls in der Vergabe von Bauleistungen der öffentlichen Hand zu etablieren.

Die Zulieferung der BSW ist in Abstimmung mit der BUKEA erfolgt, die diese teilt. Sie ergänzt die oben genannten Ausführungen und das Fazit um folgende Erwägungen:

Insgesamt lässt sich aus dem vorliegenden Gutachten ergänzend ableiten, dass insbesondere für die Steigerung des Holzbaus eine Lenkungswirkung durch die Einführung eines CO<sub>2</sub> Schadenskostenpreises gegeben wäre. So liegen die deckbaren Mehrkosten - im Fall der gleichgewichteten Wohlfahrt der Generationen – bei etwa 5% der Baukosten, was in etwa den regelmäßig beobachteten Planungsmehrkosten des Holzbaus entspricht<sup>3</sup>. Darüber hinaus zeigt das Gutachten eindringlich, dass allein durch einen Baustoffwechsel auf Holz etwa 38% der Treibhausgasemissionen aus grauer Energie reduziert werden können.

<sup>3</sup> siehe z.B. [Holzbau und Massivbau im Vergleich: Beispiel Kindergärten \(dabonline.de\)](http://dabonline.de)

Das Gutachten zeigt auch, wie gering die Treibhausgasemissionen der Konstruktion beim Neubau eines hoch effizienten Gebäudes mit moderner Vorfertigung ausfallen können. Die für dieses Beispiel eines modernen öffentlichen Gebäudes bilanzierten Emissionen liegen dabei deutlich unter den Grenzwerten, die in der Bundesförderung für ein hohes Ambitionsniveau dieser Gebäudeklasse angesetzt werden. Auch wenn sich die Bilanzgrenzen der verglichenen Werte etwas unterscheiden, so zeigt die Deutlichkeit der Unterschreitung der Grenzwerte, dass öffentliche Gebäude heute mit ambitionierten Anforderungen an die Reduktion der grauen Emissionen umgesetzt werden können.

Ich bitte Sie, die Abgeordneten der Bürgerschaft entsprechend zu informieren.

Mit freundlichen Grüßen



Dr. Andreas Dressel

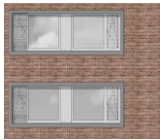
**Anlage**

## Freie und Hansestadt Hamburg

Bilanzierung eines fiktiven CO<sub>2</sub>-Preises im  
Rahmen von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen  
am Beispiel des Hamburger Klassenhauses

Ökobilanzierung  
Wirtschaftlichkeit

Stand 05.10.2023



**KAplus**

ingenieurbüro vollert

Mühlenstraße 29, 24340 Eckernförde

Tel.: 04351 / 88 00-10, Fax: 04351 / 88 00-11

Email: [info@kaplus.de](mailto:info@kaplus.de), [www.kaplus.de](http://www.kaplus.de)

**Inhalt**

<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung .....</b>	<b>2</b>
1.1	Anlass.....	2
1.2	Arbeitsschritte.....	2
<b>2</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Grundlagen .....</b>	<b>5</b>
3.1	Hamburger Klassenhaus .....	5
3.2	Varianten Bauweise.....	6
3.3	Mittlere CO <sub>2</sub> Emissionsfaktoren .....	7
3.4	Fiktive CO <sub>2</sub> Kosten .....	8
3.5	Varianten Energieversorgung .....	9
<b>4</b>	<b>Ökobilanz EG 40 Gebäude .....</b>	<b>9</b>
4.1	Bauweise (Graue Energie).....	10
4.2	Graue Energie und Heizenergie.....	10
4.3	Dämmstandard .....	12
<b>5</b>	<b>Zulässige Mehrkosten durch fiktiven CO<sub>2</sub> Preis.....</b>	<b>15</b>
5.1	Bauweise.....	15
5.2	Energieversorgung .....	16
5.3	Dämmstandard – Beispiel Außenwand .....	16
<b>6</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>18</b>
6.1	Holzleichtbau Bekkamp (Auszug Planung) .....	18
6.2	Annahmen Ökobilanzen KG 300.....	19
6.3	Ökobilanzen Gesamtgebäude .....	21
6.4	CO <sub>2</sub> Emission und Energieversorgung (Bezug 50 a) .....	22
6.5	CO <sub>2</sub> Emissionen / Erhöhter Dämmstandard .....	23
6.6	Ergebnisse CO <sub>2</sub> Emissionen.....	26
6.7	Kosten für Energie .....	27
6.8	Zulässige Mehrkosten durch fiktiven CO <sub>2</sub> Preis .....	28
6.9	Zulässige Mehrkosten durch fiktiven CO <sub>2</sub> Preis und Heizkosten .....	30
6.10	Flächenberechnungen Energiebilanz.....	33
6.11	U-Werte .....	34
6.12	Verzeichnis Abbildungen, Tabellen, Quellen.....	37



Projekt	Gutachten fiktiver CO <sub>2</sub> -Preis und Wirtschaftlichkeit. Beispiel Hamburger Klassenhaus
Projektnummer	2022-96-08
Projektadresse	Beispielgebäude: Bekkamp 52, 22045 Hamburg und Vizelinstraße 50, 22529 Hamburg Quelle Unterlagen SBH Schulbau Hamburg, An der Stadthausbrücke 1, 20355 Hamburg
Bearbeitung	<b>KAplus</b> - Ingenieurbüro Vollert, Mühlenstr. 29, 24340 Eckernförde Tel.: 04351 / 88 00 10, Fax: 04351 / 88 00 11, E-Mail: info@kaplus.de Bearbeiter: Sören Vollert, Henning Klopsch, Volker Rockel
Auftraggeber	Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen Amt für Bauordnung und Hochbau, Neuenfelder Straße 19, 21109 Hamburg

## 1 Aufgabenstellung

### 1.1 Anlass

Die Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg hat beschlossen, die Auswirkung eines fiktiven CO<sub>2</sub> Preises bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen untersuchen zu lassen (Drucksache 22/6449, Datum 17.11.2021 [AnBÜ]). Dieser Beschluss umfasst u.a. die Untersuchung eines beispielhaften städtischen Bauprojektes.

Diskutiert wird die Einführung eines fiktiven CO<sub>2</sub> Preises im Rahmen von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen. Über den fiktiven CO<sub>2</sub> Preis sollen langfristige Folgekosten durch Umweltschäden und Klimafolgen schon bei der Realisierung von Projekten berücksichtigt werden. Dadurch werden Maßnahmen, die eine Reduzierung von CO<sub>2</sub> Emissionen erreichen aber ggf. zu Mehrkosten führen konkurrenzfähig und eher umgesetzt.

Ziel des Gutachtens ist die Sinnhaftigkeit bzw. Umsetzbarkeit dieser Idee am Beispiel eines städtischen Bauprojektes zu beurteilen.



Abbildung 1: Auszug Ansicht Bekkamp – Klassenhaus Typ 1a (Quelle SBH [SBH])

### 1.2 Arbeitsschritte

Die weiteren Schritte wurden mit dem Baukompetenzzentrum für nachhaltiges und klimagerechtes Bauen festgelegt.

1. Festlegung eines beispielhaften Projektes
2. CO<sub>2</sub> Bilanzierung der Bauteile, Ökobilanz der Materialien
3. CO<sub>2</sub> Bilanzierung im Betrieb, Energiebilanz
4. Vergleich von Varianten in Hinblick auf die CO<sub>2</sub> Emission im Lebenszyklus
5. Beispielhafte Beurteilung der Auswirkung eines fiktiven CO<sub>2</sub> Preises im Verhältnis zu der Einsparung von CO<sub>2</sub> im Lebenszyklus des Gebäudes

Als beispielhaftes Gebäude wurde das Hamburger Klassenhaus ausgewählt. Die Planungsunterlagen für zwei Hamburger Klassenhäuser (Typ 1a) wurden von Schulbau Hamburg für die Untersuchung zur Verfügung gestellt [SBH].

## 2 Zusammenfassung

Für die Untersuchung wurde ein Hamburger Klassenhaus als Beispielgebäude gewählt und eine Ökobilanzierung durchgeführt. Variiert wurden die Bauweise, die Art der Energieversorgung und der Dämmstandard für ausgesuchte Einzelmaßnahmen.

Die Aussagen basieren auf einen Neubau im Energiestandard Effizienzgebäude 40. Für abweichende Energiestandards oder Bestandsgebäude sind gesonderte Untersuchungen erforderlich.

Als Zielstellung soll die Auswirkung eines fiktiven CO<sub>2</sub> Preises im Verhältnis zu der Einsparung von CO<sub>2</sub> Äquivalentemissionen im Lebenszyklus des Gebäudes beurteilt werden.

### Bauweise

- Die eingesetzten Baustoffe verursachen in der Summe für das Beispielgebäude zwischen ca. 4,5 und 7 Tonnen CO<sub>2</sub> Emissionen pro Jahr.
- Die geringere Emission wird durch Holzleichtbauten verursacht (4,5 t<sub>CO2</sub>/a).
- Die Bauweise hat somit einen großen Einfluss auf die CO<sub>2</sub> Emissionen.

### Energieversorgung

- **Fernwärme:** Die CO<sub>2</sub> Emissionen des Fernwärmebedarfs liegen im Mittel etwa in der Größenordnung der CO<sub>2</sub> Emissionen der Grauen Energie im Lebenszyklus.
- **Wärmepumpe:** Der Anteil des Strombedarfs für die Wärmepumpe liegt im Vergleich zur gesamten CO<sub>2</sub> Emission unter 20 %.
- Je geringer die CO<sub>2</sub> Emissionsfaktoren für die Wärmeversorgung bezogen auf den Lebenszyklus ausfallen, desto bedeutender wird die Graue Energie, also die Wahl der Baustoffe und Konstruktion.

### Erhöhung Dämmstandard (Passivhaus)

- Eine Erhöhung des Dämmstandards über EG 40 hinaus, zeigt eine geringe Wirkung bezogen auf die Reduzierung der Treibhausgase.
- Falls Wärmepumpen eingesetzt werden, ist z.T. mit einer Erhöhung der CO<sub>2</sub> Emissionen im Lebenszyklus durch erhöhte Dämmmaßnahmen zu rechnen. Die Einsparung an Energie ist bei ohnehin sehr gutem Dämmstandard so gering, dass der Mehraufwand an grauer Energie überwiegt.

### Ansatz fiktiver CO<sub>2</sub> Preis

- **Bauweise:** Die durch den CO<sub>2</sub> Schadenskostenpreis entstehenden Kosten sind beim Massivbau um ca. 28.000 € bis 93.000 € teurer, als beim Holzleichtbau.
- **Energieversorgung:** Ein Wechsel der Fernwärmeversorgung auf ein Wärmepumpensystem führt zu einer Verringerung der CO<sub>2</sub> Emissionen. Belegt man diese CO<sub>2</sub> Einsparung mit dem CO<sub>2</sub> Schattenpreis, dürfte z.B. eine Luft-Wasser Wärmepumpe (WP 3,5) ca. 30.000 € bzw. 94.000 € höhere Kosten aufweisen als ein Fernwärmeanschluss.

- **Beispiel erhöhte Dämmung Außenwand:** Eine Versorgung mit einer Wärmepumpe führt im Vergleich zur Fernwärme zu deutlich niedrigen Werten oder für einige Fälle zu negativen Werten. Diese Aussage gilt für hochgedämmte Gebäude in der Nähe des Passivhausstandards (hier Effizienzgebäude 40). Grund ist die bereits niedrige CO<sub>2</sub> Emission einer hocheffizienten Wärmepumpe. Eine zusätzliche Dämmung benötigt zur Herstellung mehr Graue Energie als im Lebenszyklus eingespart werden kann. Lediglich bei der Versorgung mit Fernwärme, führt der fiktive CO<sub>2</sub> Preis zu einer zulässigen Erhöhung des Preises für die besser gedämmte Außenwand von 7 bis 22 €/m<sup>2</sup>.

### Fazit CO<sub>2</sub> Schattenpreis bei Neubauten

- Eine CO<sub>2</sub> minimierte Wärmeversorgung verschiebt die CO<sub>2</sub> Emission im Lebenszyklus anteilig sehr stark in den Bereich der Baustoffe des Gebäudes. Somit liegt das wesentliche Einsparpotenzial eines Effizienzgebäudes 40 im Bereich der Baustoffe und weniger im Bereich eines verschärften Dämmstandards. Gleichzeitig ist eine Absenkung des Dämmstandards nicht zielführend, da die Flächenressourcen für erneuerbare Energien beschränkt sind. Zudem besteht ein wachsender Bedarf zur Elektrifizierung für weitere Wirtschaftssektoren.
- Für das Beispielgebäude mit einer beheizten Nettoraumfläche NRF von 915 m<sup>2</sup>, beträgt der Kostenunterschied aufgrund einer CO<sub>2</sub> armen Bauweise 30 € bis 102 € pro m<sup>2</sup> NRF. Dieser Betrag wird für eine Lenkungsfunktion für zu gering erachtet, da die Baukosten im Regelfall über 2.000 €/m<sup>2</sup> liegen. Die Auswirkung des fiktiven CO<sub>2</sub> Preises auf die Verbesserung des Klimaschutzes des hier untersuchten Neubaus wird deshalb als begrenzt eingeschätzt. Erst bei größeren Unterschieden der CO<sub>2</sub> Emission, z.B. der Vergleich Ersatzneubau und Sanierung, ist von einer höheren Bedeutung eines CO<sub>2</sub> Schattenpreises im Rahmen eines Wirtschaftlichkeitsvergleiches auszugehen. Diese Betrachtung ist allerdings nicht Bestandteil der vorliegenden Untersuchung.
- Eine Integration des fiktiven CO<sub>2</sub>-Preises in die Ausschreibung und Vergabe wird als praktisch kaum umsetzbar erachtet. Die Firmen sind im Regelfall nicht in der Lage in der Angebotsphase diese Berechnungen durchzuführen. Die grundsätzlichen Entscheidungen sollten in den frühen Leistungsphasen getroffen werden.
- Es wird vorgeschlagen, die Steuerungsfunktion für eine CO<sub>2</sub> arme Lösung im Lebenszyklus einer konkreten Bauaufgabe in die frühen Planungsphasen zu legen, da hier die wesentlichen Entscheidungen festgelegt werden. Bereits in der Leistungsphase 2 sollten nach Möglichkeit Varianten gebildet werden. Die Varianten sind im Sinne einer Reduzierung von CO<sub>2</sub> Emissionen durch Flächenoptimierung / Kubatur und Bauweise – Holzbau / Massivbau – zu entwickeln. In die Wahl der Vorzugsvariante können Ergebnisse einer Ökobilanz einfließen. Über die Ökobilanz können Bauteile mit dem größten Einfluss identifiziert und gezielt optimiert werden. Potenziale der Konstruktion und die Wahl der Baustoffe können genutzt werden, wenn diese Überlegungen bereits in der Vorentwurfsphase einfließen.
- Notwendig ist ein handhabbares Verfahren. Derzeit werden Ökobilanzierungen in die üblichen Programme für GEG Bilanzierungen integriert. Nachteilig ist der Mehraufwand

der Variantenbildung bereits in der Leistungsphase 2. Üblicherweise werden diese Berechnungen am Ende der Leistungsphase 3 aufgestellt. Ggf. könnten hier vereinfachte Ansätze für die Massenermittlung angesetzt werden.

### **Weitere Ergebnisse und Hinweise**

Der Energiestandard Effizienzgebäude 40 ist in Hinblick auf den Dämmstandard ausreichend. Eine weitere Erhöhung des Dämmstandards des untersuchten Gebäudes führt zu einer geringen bzw. z.T. zu keiner Umweltentlastung.

Neben der Optimierung einer Neubaufgabe durch Konstruktion und Baustoffe werden noch weitere 3 Punkte als relevant angesehen:

- Vorzug der Nutzung / Sanierung von Bestandsgebäuden vor Neubauten, falls nicht wichtige Gründe dagegen sprechen.
- Nutzung von Bauteilen des Abrissgebäudes für das neue Gebäude.
- Dächer komplett für eine PV Belegung nutzen soweit möglich. Gestalterische Integration.

## **3 Grundlagen**

### **3.1 Hamburger Klassenhaus**

Das Hamburger Klassenhaus wurde durch Schulbau Hamburg (SBH) entwickelt, um eine schnelle Erweiterung von Schulen in dennoch hoher Bauqualität sicherstellen zu können.

Es handelt sich um einen modularen Gebäudetyp mit einem hohen Grad an Vorfertigung. Im Jahr 2019 wurde an der Grundschule Eckerkoppel in Farmsen-Berne das erste Gebäude errichtet. Bereits 2020 wurden weitere 8 Gebäude gebaut. Es sind unterschiedliche Typen je nach Flächenbedarf möglich.

Für die vorliegende Untersuchung wurden von SBH die Planungsunterlagen für zwei baugleiche Klassenhäuser Typ 1a in unterschiedlicher Bauart zur Verfügung gestellt.

#### **Standorte**

- Holzleichtbau - Bekkamp 52, 22045 Hamburg
- Massivbau - Vizelinstraße 50, 22529 Hamburg

#### **Unterlagen**

- Bauzeichnungen Ausführungsplanung M 1:50, Details (Vizelinstraße)
- Grundrisse TGA, Schema TGA
- Funktionale Leistungsbeschreibung (Bekkamp)
- Energieausweise

Diese Unterlagen dienen als Basis für die Energiebilanz und für die Ökobilanz im Lebenszyklus.

### 3.2 Varianten Bauweise

Ein Gebäude wurde im Holzleichtbau und ein Standort in Massivbau errichtet.

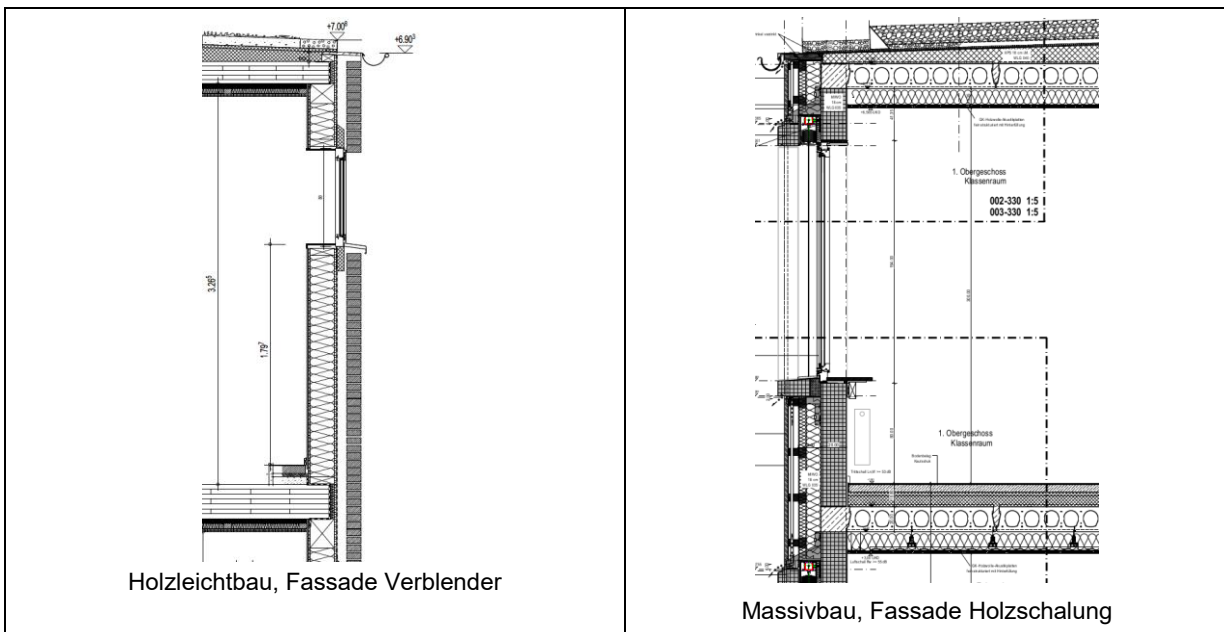


Abbildung 2: Grundsätzliche Bauart der Standorte Bekkamp und Vizelinstraße

Aus den beiden Varianten oben werden zwei Hauptvarianten und zwei Untervarianten abgeleitet, um auch einen reinen Holzbau und einen reinen Massivbau zu betrachten. Die Bodenplatte besteht in allen vier Varianten aus Beton.

Varianten Bauweise	Außenwand Außenschale	Außenwand Innenschale	Decken	Innenwand
<b>1. Holzleichtbau</b> (HRB + Holz)	Holz	Holztafel	Holz massiv	Gipskarton Holz massiv gegen Treppenhaus
<b>2. Holzleichtbau</b> (HRB + VMZ)	<b>Verblender</b>	Holztafel	Holz massiv	Gipskarton Holz massiv gegen Treppenhaus
<b>3. Massivbau</b> (Beton + Holz)	Holz	<b>Betonfertigteile</b>	<b>Betondiele (BRESPA Hohldecken)</b>	Gipskarton <b>Beton gegen Treppenhaus</b>
<b>4. Massivbau</b> (Beton + VMZ)	<b>Verblender</b>	Betonfertigteile	Betondiele (BRESPA Hohldecken)	Gipskarton Beton gegen Treppenhaus

Tabelle 1: Varianten mit Angabe der wesentlichen Unterschiede in der Bauart (HRB: Holzrahmenbau, VMZ: Vormauerziegel)

### 3.3 Mittlere CO<sub>2</sub> Emissionsfaktoren

Die CO<sub>2</sub> Äquivalentemissionen verändern sich über den Betrachtungszeitraum. Strom wird zunehmend regenerativ. Die Fernwärme wird entsprechend den Zielen des Hamburger Klimaplanes dekarbonisiert. Deshalb wird der Mittelwert über den Betrachtungszeitraum auf Basis der übermittelten Werte angesetzt [BUKEA].

#### Strom

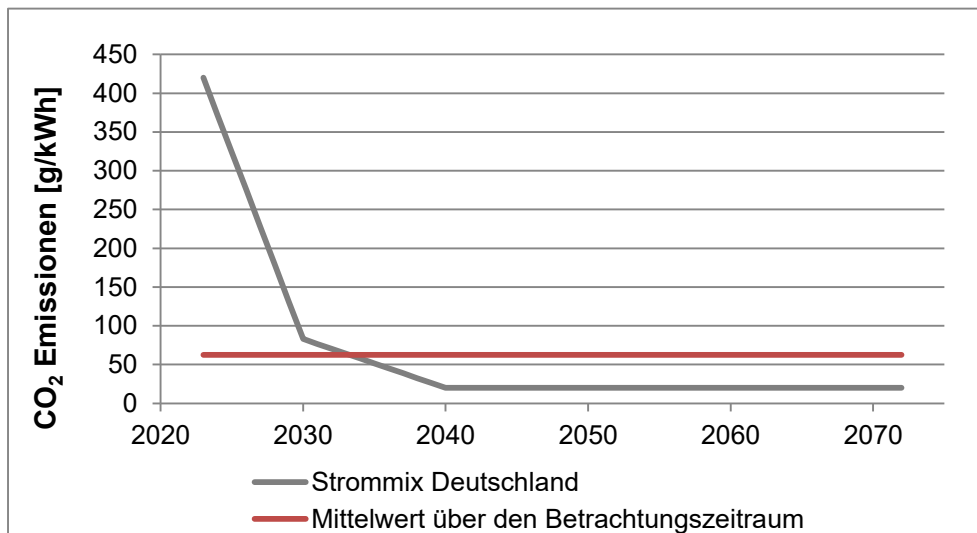


Abbildung 3: Strom - Verlauf der CO<sub>2</sub>-Äquivalentemissionen über den Betrachtungszeitraum

Mittelwert Strommix: **63 g CO<sub>2</sub> pro kWh**

#### Fernwärme

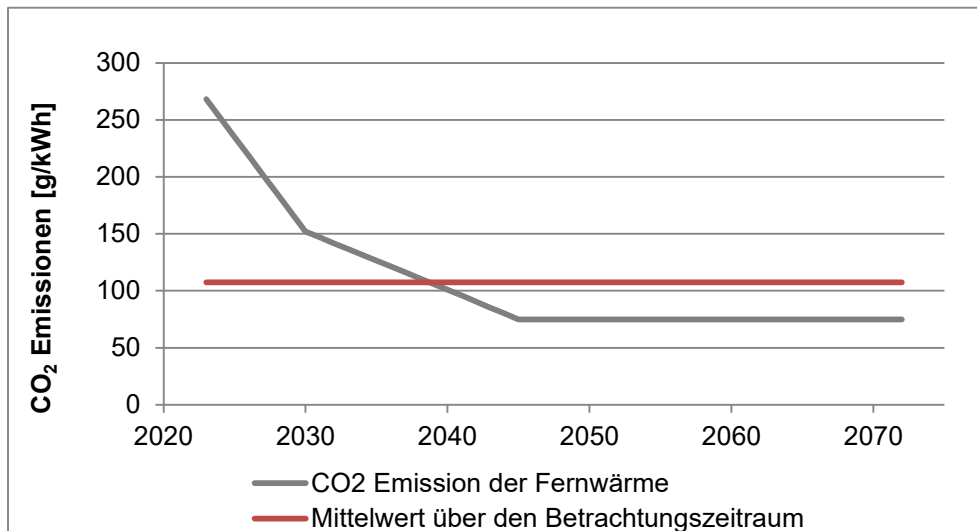


Abbildung 4: Fernwärme - Verlauf der CO<sub>2</sub>-Äquivalentemissionen über den Betrachtungszeitraum

Mittelwert Fernwärme: **107 g CO<sub>2</sub> pro kWh**

### 3.4 Fiktive CO<sub>2</sub> Kosten

Die Kosten für Klimafolgeschäden werden über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren gemittelt. Als Quelle dienen die Angaben des Umweltbundesamtes [UBA]. Die niedrigen Ansätze gewichten die Wohlfahrt der heutigen Generation höher gegenüber der Wohlfahrt künftiger Generationen. Die zweite Grafik geht von einer Gleichgewichtung der Wohlfahrt der Generationen aus.

**1% reine Zeitpräferenzrate:** Höhergewichtung der Wohlfahrt der heutigen Generation gegenüber der Wohlfahrt künftiger Generationen

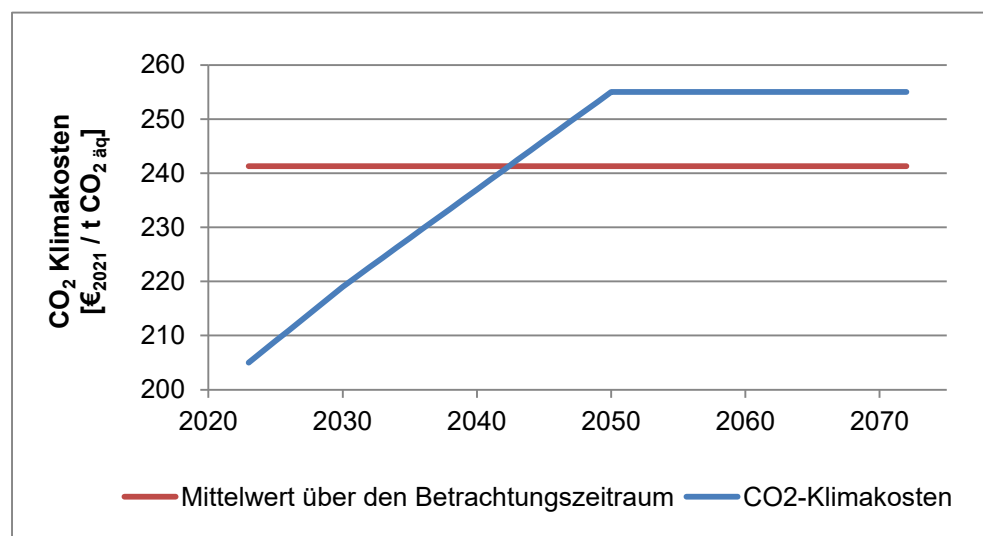


Abbildung 5: Ermittlung der Klimakosten pro Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalent bei 1% reine Zeitpräferenzrate

Mittelwert: **241 €/t CO<sub>2</sub>**

**0% reine Zeitpräferenzrate:** Gleichgewicht der Wohlfahrt der Generationen

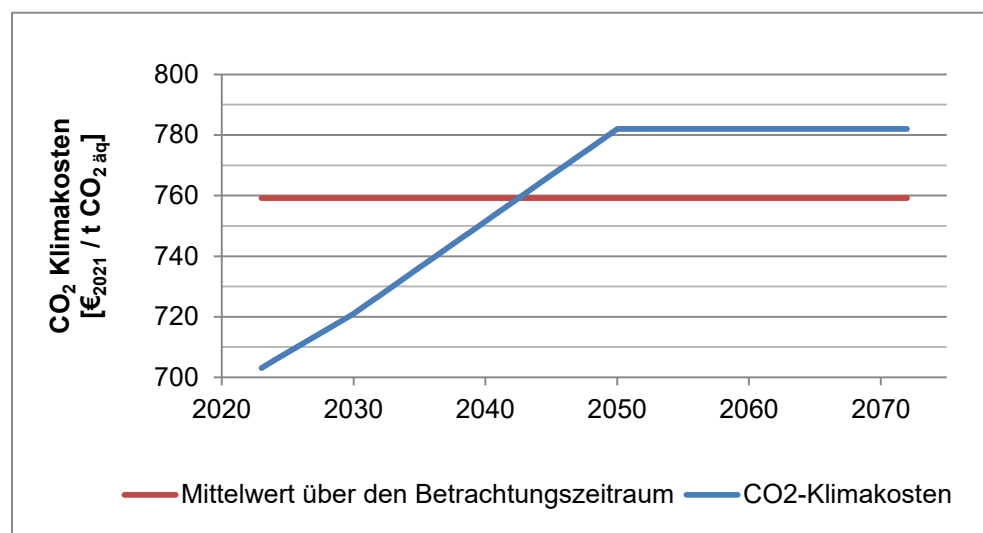


Abbildung 6: Ermittlung der Klimakosten pro Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalent bei 0% reine Zeitpräferenzrate

Mittelwert: **759 €/t CO<sub>2</sub>**

### 3.5 Varianten Energieversorgung

Es werden drei Arten der Wärmeversorgung unterschieden.

Wärmeversorgung	Jahresarbeitszahl [-]	Kostenansatz Mittelwert im Betrachtungszeitraum [€/kWh]	Startwert CO <sub>2</sub> [g/kWh]	CO <sub>2</sub> Mittelwert im Betrachtungszeitraum [g/kWh]
1. Fernwärme	-	0,22	268	107
2. Wärmepumpe Luft-Wasser	3,5	0,40	420	63
3. Wärmepumpe Sole-Wasser	4,5	0,40	420	63

Tabelle 2: Varianten mit Annahmen zu Kosten und Emissionsfaktoren

- Für die überschlägige Kosten / Nutzen Betrachtung werden die oben aufgeführten Kosten pro Energieeinheit für Wärme (0,22 €/kWh) und Strom (0,40 €/kWh) angesetzt. Auf eine dynamische Berechnung wird im Rahmen dieser Arbeit verzichtet.
- Die CO<sub>2</sub> Äquivalentemissionen pro Energieeinheit sinken innerhalb des Betrachtungszeitraums. Es wird der Mittelwert gemäß Abschnitt 3.3 angesetzt.

## 4 Ökobilanz EG 40 Gebäude

Die Summe der CO<sub>2</sub> Äquivalentemissionen wird durch den Energieverbrauch in Zusammenhang mit der Herstellung der Baumaterialien (Graue Energie) und durch den betrieblichen Energieeinsatz im Lebenszyklus des Gebäudes (Heizenergie) bestimmt. Grundlage der Untersuchungen ist der Energiestandard Effizienzgebäude 40 (EG 40).

In DIN EN 15804 sind die Grundlagen für eine Bilanzierung definiert. Modul D wird üblicherweise nicht mit betrachtet, da es aus außerhalb des Lebenszyklus liegt.

Herstellungsphase			Errichtungsphase		Nutzungsphase					Entsorgungsphase				Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenze
Rohstoffbereitstellung	Transport	Herstellung	Transport	Bau/Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Umbau/Erneuerung	Abbruch	Transport	Abfallbewirtschaftung	Deponierung	Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs-, Recyclingpotenzial
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D
					B6	Betriebl. Energieeinsatz								
					B7	Betriebl. Wassereinsatz								

Abbildung 7: Lebenswegmodule gemäß DIN EN 15804 [Öko2]



#### 4.1 Bauweise (Graue Energie)

- Mit dem Online-Tool eLCA des BBSR werden für die vier zuvor definierten Varianten des Klassenhauses Typ 1a die Gesamtemissionen der wesentlichen Baumaterialien KG 300 ermittelt.
- Auf die Mitführung der Möbel und TGA Komponenten wird im Rahmen dieser Untersuchung verzichtet.
- Der Betrachtungszeitraum beträgt 50 Jahre, verwendet wurden die aktuellen Daten der Ökobaudat (OBD\_2021\_II\_A1) [Öko].
- In der Berechnung wurden die Module Herstellung, Nutzung und Entsorgung entsprechend den Vorgaben des [BNB] berücksichtigt (A1-A3, B4, C3, C4).

Es ergeben sich folgende Werte für die 4 Varianten:

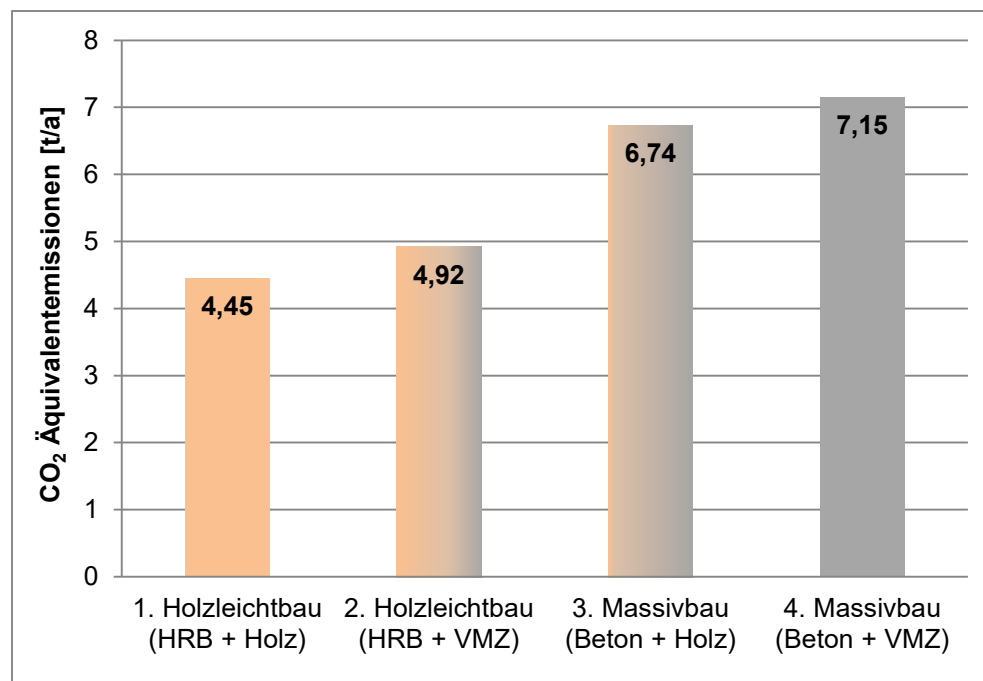


Abbildung 8: Ergebnis Ökobilanzierung globales Treibhauspotenzial der Bauweise (graue Energie, Inkl. A1-A3, B4, C3, C4)

Varianten:

1. Holzleichtbau (HRB + Holz): Holzrahmenbau, Außenschale Fassade Holz
2. Holzleichtbau (HRB + VMZ): Holzrahmenbau, Außenschale Fassade Vormauerziegel
3. Massivbau (Beton + Holz): Massivbau, Außenschale Fassade Holz
4. Massivbau (Beton + VMZ): Massivbau, Außenschale Fassade Vormauerziegel

#### 4.2 Graue Energie und Heizenergie

Die beiden folgenden Abbildungen zeigen die gesamten CO<sub>2</sub> Emissionen, die **jährlich** anfallen (Graue Energie der Baustoffe und durch die Heizenergie) für zwei bauliche Varianten (1. Holzleichtbau (HRB + Holz), 4. Massivbau (Beton + VMZ)) und die drei Versorgungsvarianten.

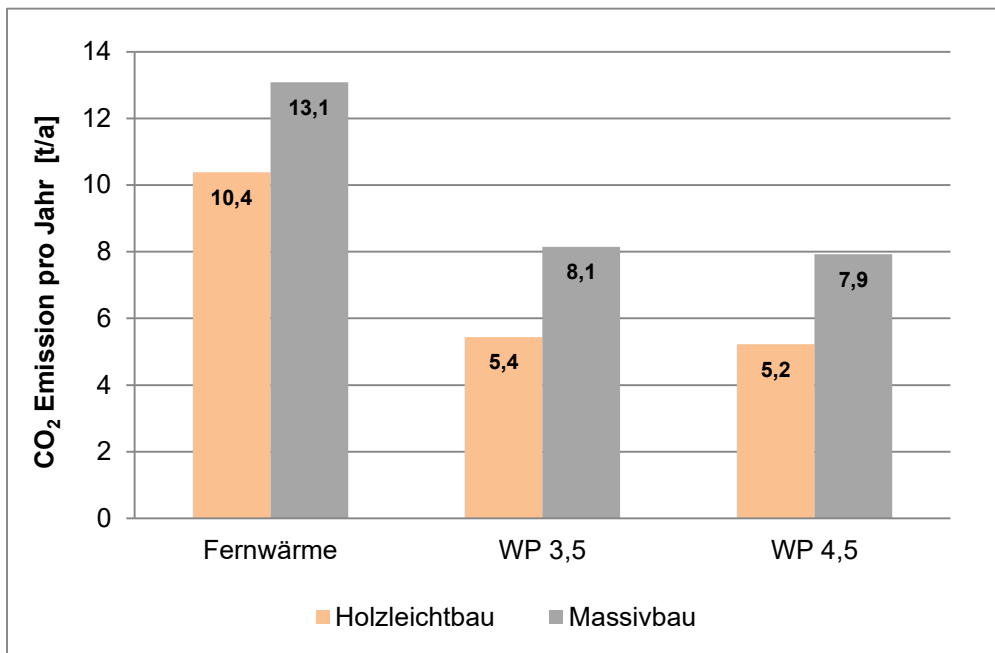


Abbildung 9: Jährliche CO<sub>2</sub> Emissionen (Graue Energie + Heizenergie) nach Bauweise und Energieversorgung, am Beispiel des EG 40 Standards

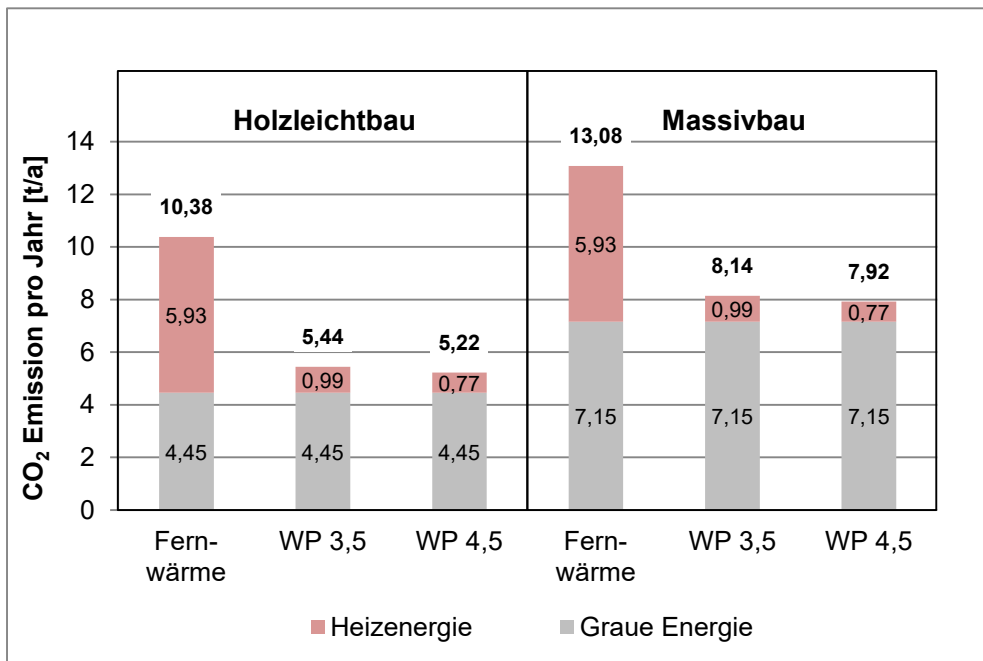


Abbildung 10: Jährliche CO<sub>2</sub> Emissionen (Graue Energie + Heizenergie) nach Bauweise und Energieversorgung, am Beispiel des EG 40 Standards, aufgeteilt nach CO<sub>2</sub> Emissionen aus Grauer Energie und Heizenergie

WP 3,5: Luft-Wasser-Wärmepumpe, Jahresarbeitszahl 3,5

WP 4,5: Sole-Wasser-Wärmepumpe, Jahresarbeitszahl 4,5

Je geringer die CO<sub>2</sub> Emissionsfaktoren für die Wärmeversorgung bezogen auf den Lebenszyklus ausfallen, desto bedeutender wird die Graue Energie, also die Wahl der Baustoffe und Konstruktion.

### 4.3 Dämmstandard

Für Neubauten der FHH ist der EG 40 Standard festgelegt. Nachfolgend wird der Effekt einer weiteren Erhöhung des Dämmstandards in Bezug auf CO<sub>2</sub> Emissionen und den CO<sub>2</sub> Schattenpreis betrachtet. Hier ist anzumerken, dass der Dämmstandard EG 40 bereits relativ hoch ist. Die unten aufgeführte weitere Erhöhung erreicht das wärmetechnische Niveau eines Passivhauses.

Die folgenden Ökobilanzen bauen auf die zuvor gezeigten Berechnungen auf. Es wird jedoch der Dämmstandard der Außenwand, der Fenster und des Daches erhöht. Diese Bilanzen bilden die Grundlage zur Beurteilung des Verhältnisses zwischen der erhöhten CO<sub>2</sub> Emission durch zusätzlich erforderliche Baustoffe und der Verminderung der CO<sub>2</sub> Emission durch eine weitere Absenkung des Heizenergiebedarfs gegenüber der Basisvariante Effizienzgebäude 40.

Exemplarisch werden folgende Varianten untersucht:

Maßnahmen	U-Wert in [W/(m <sup>2</sup> K)]	Bemerkung
<b>AW – Außenwand</b>	0,15	Erhöhung Dämmstoffstärke um ca. 70 mm
<b>FE – Fenster</b>	0,80	Passivhausfenster (Ansatz EG 40 U <sub>w</sub> = 1,0 W/(m <sup>2</sup> K))
<b>DA – Dach</b>	0,12	Erhöhung Dämmstoffstärke um ca. 70 mm

Tabelle 3: Varianten Erhöhung Dämmstandard gegenüber dem Effizienzgebäude 40

Die oben aufgeführten erhöhten Dämmstandards der drei Bauteile werden mit zwei grundsätzlichen Bauweisen und mit der Art der Energieversorgung kombiniert. Es ergeben sich folgende Varianten:

Bauweise	Wärmeversorgung	Erhöhter Dämmstandard
<b>Holzleichtbau</b>	Fernwärme	Außenwand Fenster Dach
	Wärmepumpe JAZ 3,5	Außenwand Fenster Dach
	Wärmepumpe JAZ 4,5	Außenwand Fenster Dach
<b>Massivbau</b>	Fernwärme	Außenwand Fenster Dach
	Wärmepumpe JAZ 3,5	Außenwand Fenster Dach
	Wärmepumpe JAZ 4,5	Außenwand Fenster Dach

Tabelle 4: Zusammen stellen der Untervarianten

**Fernwärme**

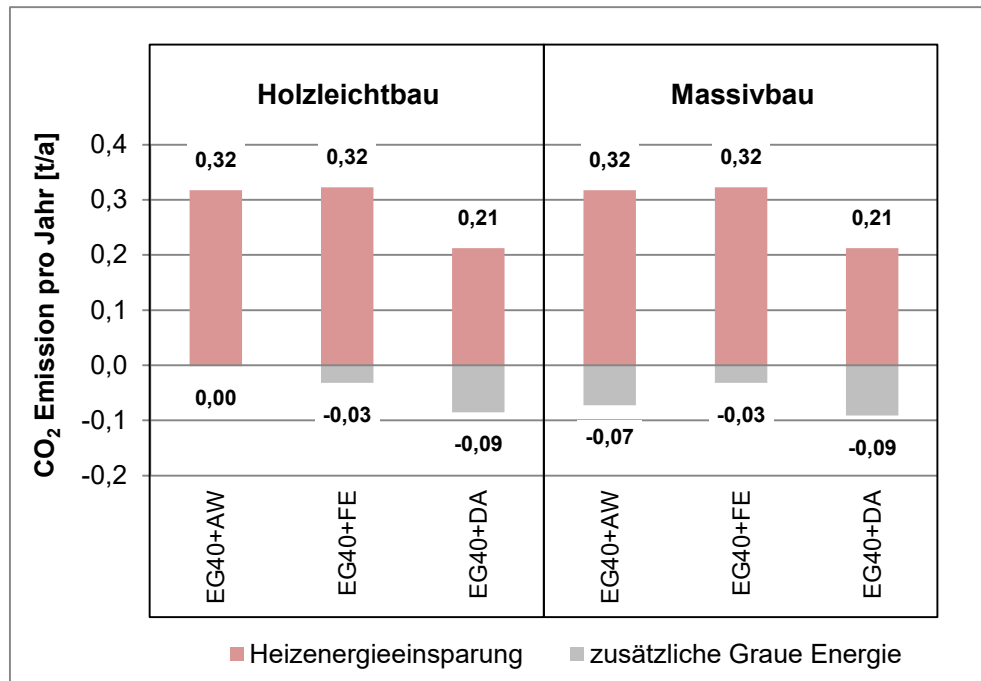


Abbildung 11: Jährliche Mehr- und Minderemissionen durch zusätzliche Baumaterialien und Heizenergieeinsparung

**Wärmepumpe JAZ 3,5**

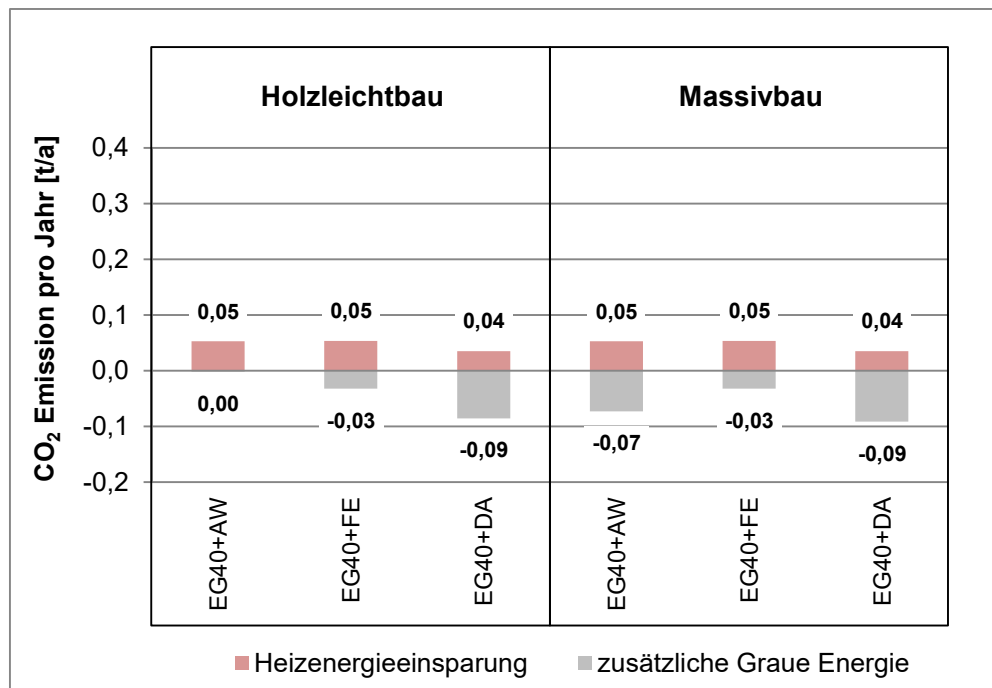


Abbildung 12: Jährliche Mehr- und Minderemissionen durch zusätzliche Baumaterialien und Heizenergieeinsparung

## Wärmepumpe JAZ 4,5

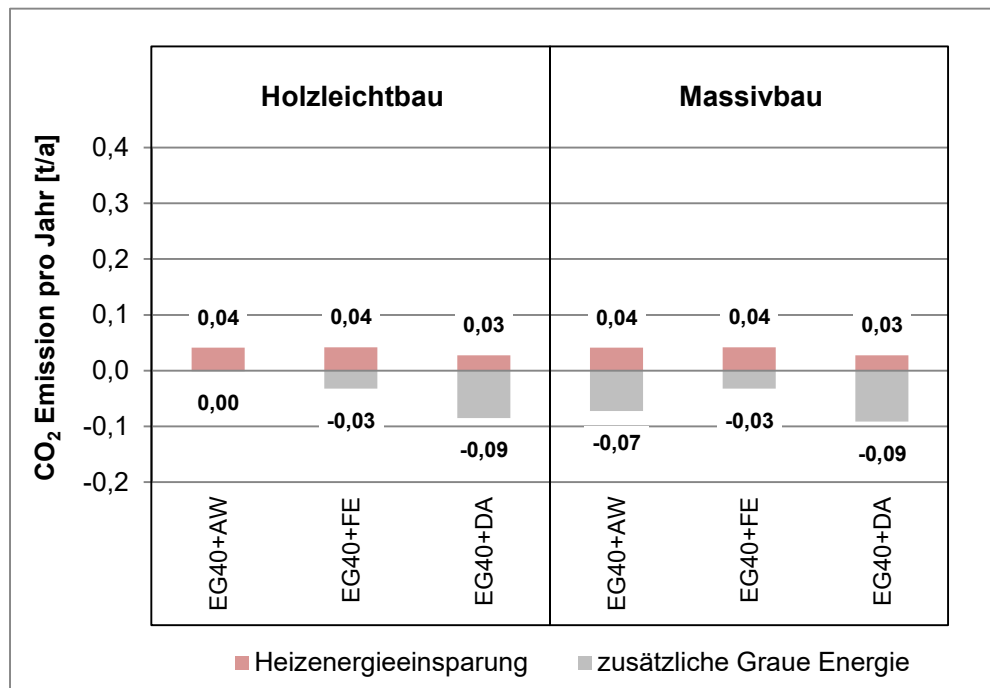


Abbildung 13: Jährliche Mehr- und Minderemissionen durch zusätzliche Baumaterialien und Heizenergieeinsparung

### Ergebnis Dämmstandard erhöhen

- Für Gebäude mit Fernwärmeversorgung ist die CO<sub>2</sub> Einsparung durch einen geringeren Heizwärmebedarf etwas höher als die zusätzliche CO<sub>2</sub> Emission durch den Einsatz der dafür notwendigen Baustoffe. Im Verhältnis zu der gesamten CO<sub>2</sub>-Emission von 5 bis 13 Tonnen pro Jahr ist die erreichbare Einsparung jedoch relativ gering.
- Für Gebäude mit einer Luft-Wasser Wärmepumpe mit einer Jahresarbeitszahl 3,5 reduziert sich die Einsparung der CO<sub>2</sub> Emission deutlich und liegt im Bereich der zusätzlichen Emission für den erhöhten Dämmstandard oder darunter.
- Eine Verbesserung der Jahresarbeitszahl bei der Wärmepumpe auf 4,5 führt zu einer weiteren geringfügigen Reduzierung der Einsparung an CO<sub>2</sub> Emissionen.

### Fazit

- Eine Erhöhung des Dämmstandards zeigt eine geringe Wirkung bezogen auf die Reduzierung der Treibhausgase. Falls Wärmepumpen eingesetzt werden, ist z.T. mit einer Erhöhung der CO<sub>2</sub> Emissionen im Lebenszyklus zu rechnen.
- Somit wird eine grundsätzliche Verschärfung des Dämmstandards über EG 40 hinaus auf Basis der hier ermittelten Ergebnisse nicht empfohlen.

## 5 Zulässige Mehrkosten durch fiktiven CO<sub>2</sub> Preis

### 5.1 Bauweise

Angesetzt werden die beiden aktuellen fiktiven CO<sub>2</sub> Preise (Erstellung Gebäude zum Start der Betrachtung): Niedrig 205 €/t CO<sub>2</sub> bzw. hoch 703 €/t CO<sub>2</sub> (vergl. Abschnitt 3.4).

Das Diagramm zeigt die Mehrkosten zwischen Holzleichtbau und Massivbau, die sich ausschließlich durch die fiktive Bepreisung der CO<sub>2</sub> Emission bezogen auf die Baustoffe im Betrachtungszeitraum ergeben. Die Berechnung bezieht sich auf die Dämmvariante EG 40.

#### Absoluter Kostenunterschied – Holzleichtbau im Vergleich Massivbau

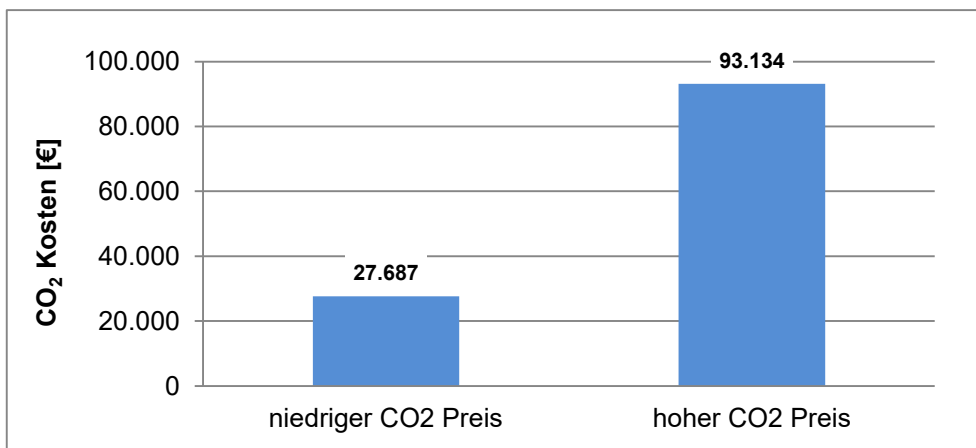


Abbildung 14: Erlaubte Mehrkosten zwischen Holzleichtbau und Massivbau durch CO<sub>2</sub> Emission im Betrachtungszeitraum für Dämmstandard EG 40 unterschieden nach niedrigem und hohem CO<sub>2</sub> Schattenpreis

Für die anderen Dämmvarianten ergeben sich nur leicht abweichende Werte.

#### Spezifischer Kostenunterschied – Holzleichtbau im Vergleich Massivbau

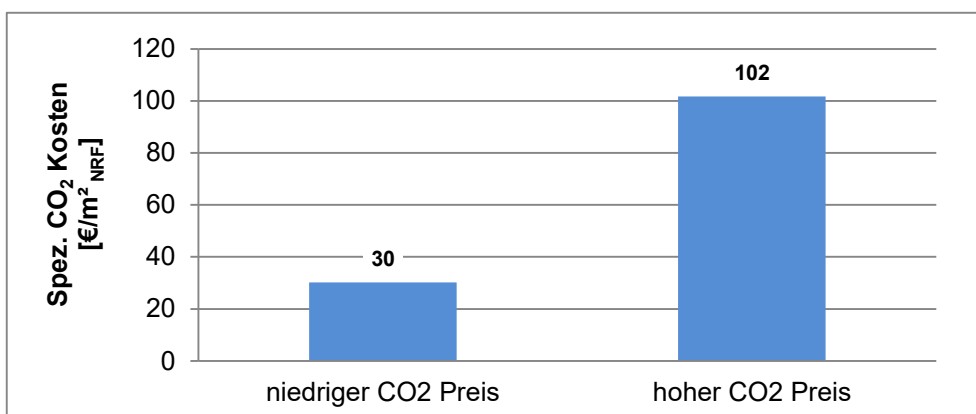


Abbildung 15: Erlaubte Mehrkosten pro m<sup>2</sup> NRF zwischen Holzleichtbau und Massivbau durch CO<sub>2</sub> Emission im Betrachtungszeitraum für Dämmstandard EG40 unterschieden nach niedrigem und hohem CO<sub>2</sub> Schattenpreis

Die höheren CO<sub>2</sub> Emissionen durch Graue Energie beim Massivbau lassen es zu, dass der Holzleichtbau je nach CO<sub>2</sub> Schattenpreis um ca. 28.000 € bzw. 93.000 € teurer sein dürfte.

## 5.2 Energieversorgung

Angesetzt werden die beiden mittleren fiktiven CO<sub>2</sub> Preise (Betrachtung über 50 Jahre):  
Niedrig 241 €/t CO<sub>2</sub> bzw. hoch 759 €/t CO<sub>2</sub> (vergl. Abschnitt 3.4).

Das Diagramm zeigt jeweils die Mehrkosten zwischen Holzleichtbau und Massivbau, die sich ausschließlich durch die fiktive Bepreisung der CO<sub>2</sub> Emission bezogen auf die unterschiedliche Art der Wärmeversorgung im Betrachtungszeitraum ergeben (50 Jahre).

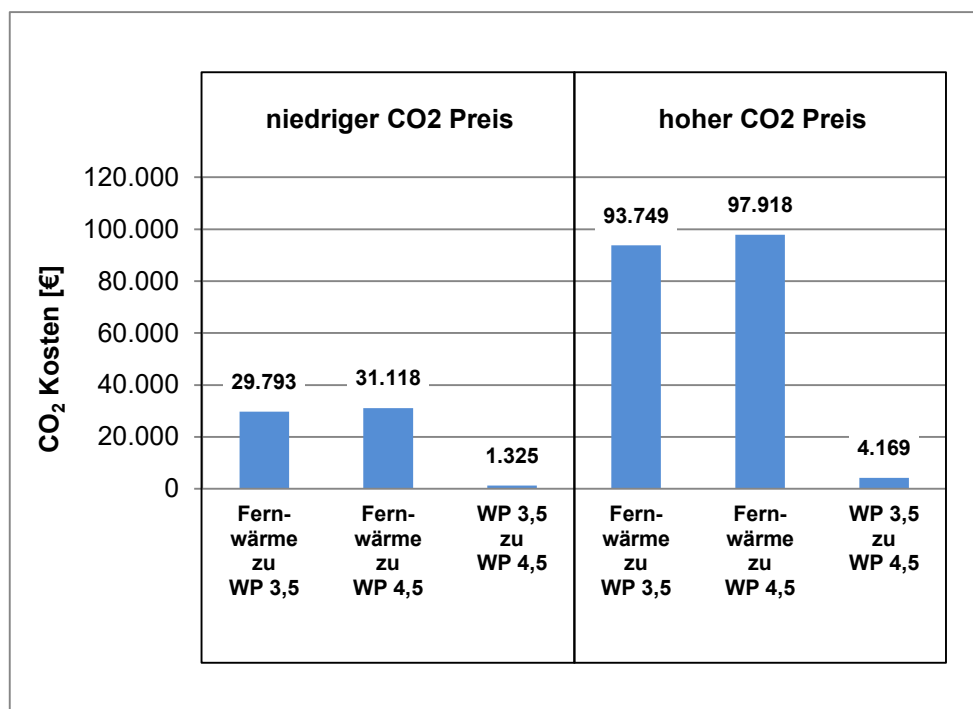


Abbildung 16: Erlaubte Mehrkosten zwischen Energieversorgern durch CO<sub>2</sub> Emission im Betrachtungszeitraum für Dämmstandard EG40 unterschieden nach niedrigem und hohem CO<sub>2</sub> Schattenpreis

Ein Wechsel der Fernwärmeversorgung auf ein Wärmepumpensystem führt zu einer Verringerung der CO<sub>2</sub> Emissionen. Belegt man diese CO<sub>2</sub> Einsparung mit dem CO<sub>2</sub> Schattenpreis, dürfte z.B. eine Luft-Wasser Wärmepumpe (WP 3,5) ca. 30.000 € bzw. 94.000 € höhere Kosten aufweisen als ein Fernwärmeanschluss.

## 5.3 Dämmstandard – Beispiel Außenwand

Das folgende Diagramm zeigt beispielhaft die Mehrkosten bei der Verbesserung der Wand vom EG 40 Dämmstandard (U-Wert 0,21 W/(m<sup>2</sup>K)) zu einem besseren Dämmniveau (U-Wert 0,15 W/(m<sup>2</sup>K)). Das entspricht etwa einer 7 cm stärkeren Dämmung.

Die wärmetechnische Verbesserung der Außenwand beim Holzleichtbau dürfte z.B. bei einer Versorgung mit **Fernwärme** und einem niedrigen CO<sub>2</sub> Schattenpreis 7 €/m<sup>2</sup> Mehrkosten verursachen. Nimmt man den hohen CO<sub>2</sub> Schattenpreis, dürfte die Dämmmaßnahme 22 €/m<sup>2</sup> mehr kosten.

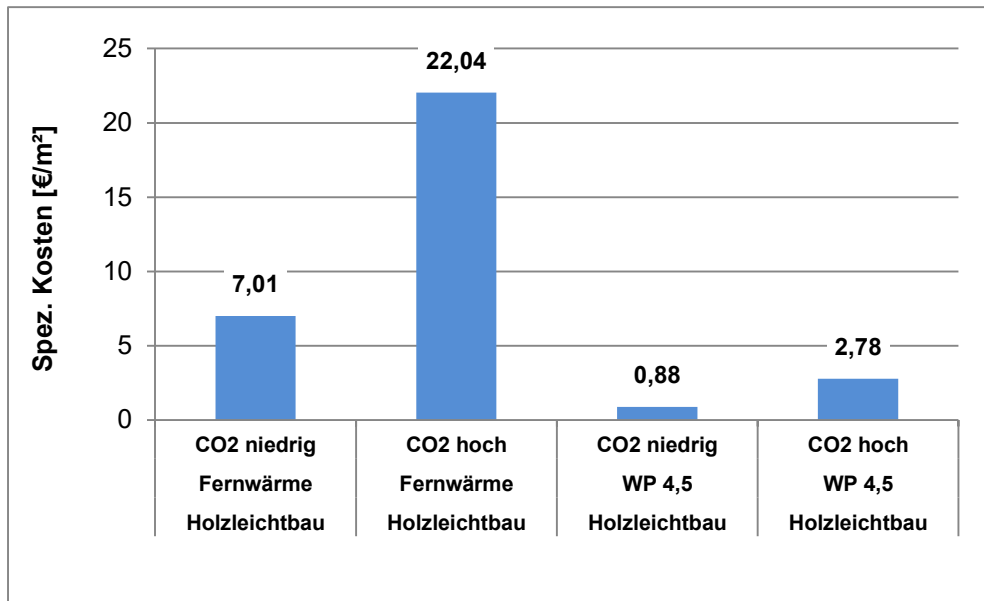
**Holzleichtbau**

Abbildung 17: Erlaubte Mehrkosten beim Holzleichtbau für zusätzliche Wanddämmung durch CO<sub>2</sub> Emission im Betrachtungszeitraum bei unterschieden CO<sub>2</sub> Schattenpreisen und Energieversorgern

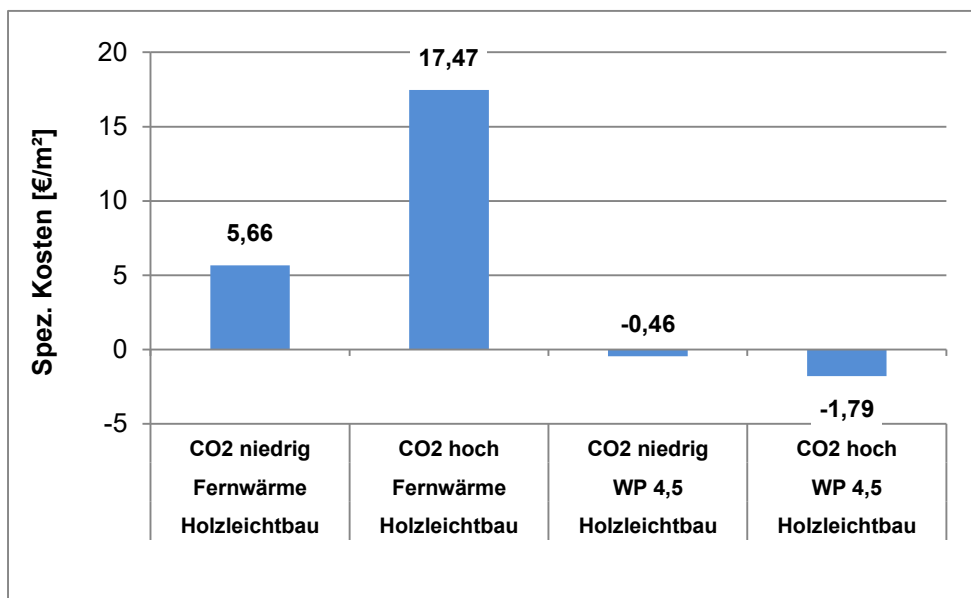
**Massivbau**

Abbildung 18 Erlaubte Mehrkosten beim Massivbau für zusätzliche Wanddämmung durch CO<sub>2</sub> Emission im Betrachtungszeitraum bei unterschieden CO<sub>2</sub> Schattenpreisen und Energieversorgern

Eine Versorgung mit einer Wärmepumpe führt im Vergleich zur Fernwärme zu deutlich niedrigeren Werten oder für einige Fälle zu negativen Werten. Grund ist die bereits niedrige CO<sub>2</sub> Emission einer hocheffizienten Wärmepumpe. Eine zusätzliche Dämmung benötigt zur Herstellung mehr Graue Energie als im Lebenszyklus eingespart werden kann.

Weitere Werte können den Abbildungen im Anhang entnommen werden.



## 6 Anhang

### 6.1 Holzleichtbau Bekkamp (Auszug Planung)

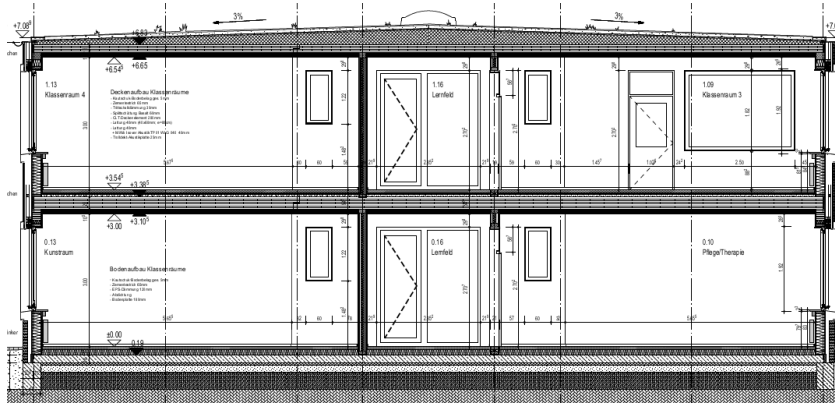


Abbildung 19: Auszug Schnitt Bekkamp (Quelle SBH)

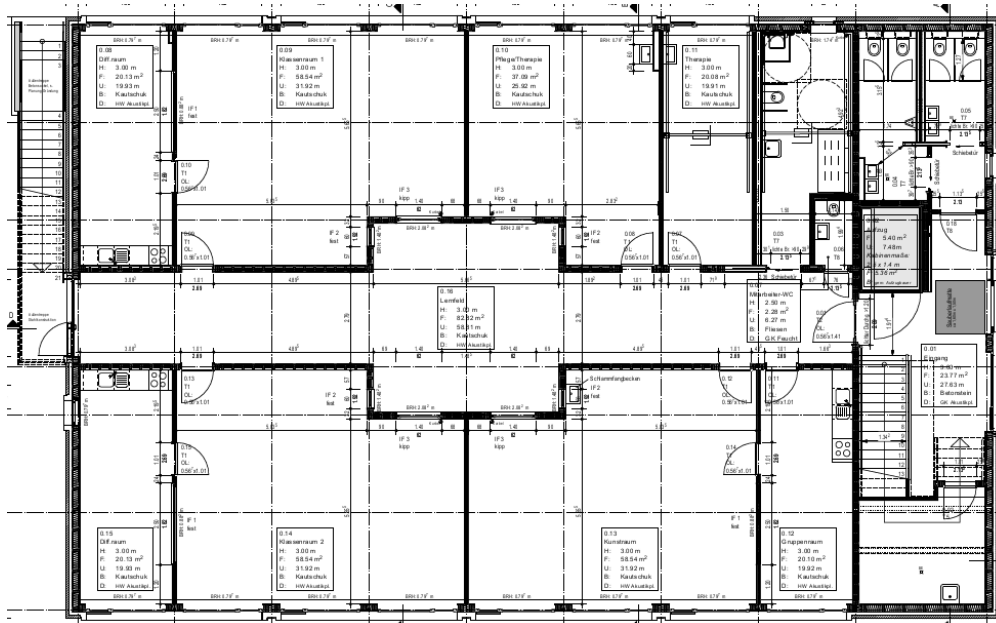


Abbildung 20: Auszug Grundriss OG (Quelle SBH)

## 6.2 Annahmen Ökobilanzen KG 300

### Bauteile und Flächen

Folgende Bauteile wurden in der Bilanz angesetzt. Es wurden Regelaufbauten entsprechend der übersandten Planung und Leistungsbeschreibung inkl. der angegebenen Bauteile / Materialien angesetzt. Die Bezugsfläche NRF wurde für alle Varianten mit 915,13 m<sup>2</sup> angesetzt.

Vereinfachend wurde für alle baulichen Varianten dieselben Flächen angesetzt, Ausnahme Bodenplatte + 7 cm umlaufend bei erhöhter Wanddämmung.

Fundament	0,54 m x 1 m x 91,2 m	Beton bewährt
Bodenplatte	493,8 m <sup>2</sup>	Beton bewährt, Abdichtung Bitumenbahn
Fußböden	439,7 m <sup>2</sup> 32,1 m <sup>2</sup>	Dämmung, Estrich, Kautschuk Dämmung, Estrich, Steinfliese
Außenwände	339,5 m <sup>2</sup> 58,0 m <sup>2</sup> 28,84 m <sup>2</sup> 31,9 m <sup>2</sup> 15,6 m <sup>2</sup>	Regelaufbau Regelaufbau Perimeter Betoneinrahmung Fenster Betoneinrahmung Fenster Perimeter Blindpaneel / VHF Fenster
Fenster	150,4 m <sup>2</sup>	Holz-Alu Fenster inkl. Beschläge und Griff
Türelemente	26,3 m <sup>2</sup>	Holz-Alu Fenster inkl. Beschläge und Griff
Lüftungsgitter Fenster	230 kg	Aluminiumprofil beschichtet
Sonnenschutz	31 Stck. 2,4 m x 1,92 m	Aluminiumlamellen
Laibungen, Fensterbänke	Je Fenster und Tür	Laibungen, Fensterbank innen Mehrschicht Massivholzplatte Fensterbank außen Aluminium
Innendecke	392,5 m <sup>2</sup> 84,6 m <sup>2</sup>	Unterdecke Holzwolle Unterdecke Gipskarton
Innenwände	156,7 m <sup>2</sup> 554,9 m <sup>2</sup> 112,4 m <sup>2</sup> 75,4 m <sup>2</sup>	Federstahl + GKB doppelt + Mineralwolle Federstahl + GKB + Mineralwolle IW massiv (Holz oder Beton) Vorsatzschale GKB
Innenfenster	4 Stck. 1,5 m x 1,5 m	Holzfenster inkl. Beschläge und Griff
Innentüren	30 Stck. 2,14 m x 1,05 m	Lackierte Holz-Hohlkammertür
Innentreppe	1 Stck, Maße nach Plan	Beton bewährt, Fliesenbelag
Treppengeländer innen	350 kg	Schmiedestahl
Treppengeländer außen, Stufen, Träger	1.560 kg	Schmiedestahl
Dächer	384,8 m <sup>2</sup> 109,0 m <sup>2</sup>	Unterdecke Holzwolle, Gefälledämmung, Gründach Unterdecke Gipskarton, Gefälledämmung, Gründach

Tabelle 5: Angesetzte Bauteilflächen und Massen

### Verwendete Materialien

Verwendet wurden Materialien der aktuellen Baustoffdatenbank „OBD\_2021\_II\_A1“ [Öko]. Z.T. wurden ähnliche / vergleichbare Materialien angesetzt, wenn Materialien in der Datenbank nicht enthalten waren.

Vormauerziegel	Natursteinplatte, hart, Innenboden	Transportbeton C20/25
Estrichmörtel-Zementestrich	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30	Spannbeton-Fertigteildecken
Splitt 2/15 (getrocknet)	Sand 0/2	Lava Körnung
Aluminiumprofil anodisiert	Aluminiumprofil beschichtet	Stahl Feinblech (20µm bandverzinkt)
Bewehrungsstahl	Stahl Schmiedebauteil	Stahl Feinblech (0,3-3,0mm)
Mineralwolle (Fassaden-Dämmung)	Mineralwolle (Innenausbau-Dämmung)	XPS mit halogenfreien Treibmitteln
Dämmplatte mit Neopor® Plus	ROCKWOOL Steinwolle-Dämmstoff im mittleren Rohdichtebereich	Holzfaserdämmplatten
Holzwohle-Leichtbauplatte	Holz-Flügelrahmen	Holz-Blendrahmen
Dreifachverglasung	Fenstergriff	Fenster-Beschlag für Drehkipfenster
Lacksysteme Holzfenster Decklack weiß	Lacksysteme Holzfenster Grundierung weiß	Innenfarbe Dispersionsfarbe scheuerfest
noraplan® 913 Kautschukbelag	Spanplatte, roh (Durchschnitt DE)	Nadelschnittholz – getrocknet (Durchschnitt DE)
Röhrenspanplatte (Durchschnitt DE)	Brettschichtholz – Standardformen (Durchschnitt DE)	3- und 5-Schicht Massivholzplatte (Durchschnitt DE)
Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE)	Cross laminated timber (CLT)	EGGER OSB-Platten
binderholz Brettschichtholz BSH	Gipsputz (Gips)	Gipskartonplatte
PE/PP Vlies	Folie aus Polytetrafluorethylen (PTFE)	Fugendichtungsbänder PE/PP-Folie
Bitumenbahnen G 200 S4		

Tabelle 6: Verwendete Materialien Datenbank Ökobaudat

Es wurden grundsätzlich die Nutzungsdauern von Bauteilen aus der Ökobaudat übernommen. Bei bauteilinternen Schichten wurde die Nutzungsdauer auf die umliegenden Materialien angepasst.

### 6.3 Ökobilanzen Gesamtgebäude

Nachfolgend weitere Grafiken zur durchgeführten Ökobilanz (Kapitel 4.1)

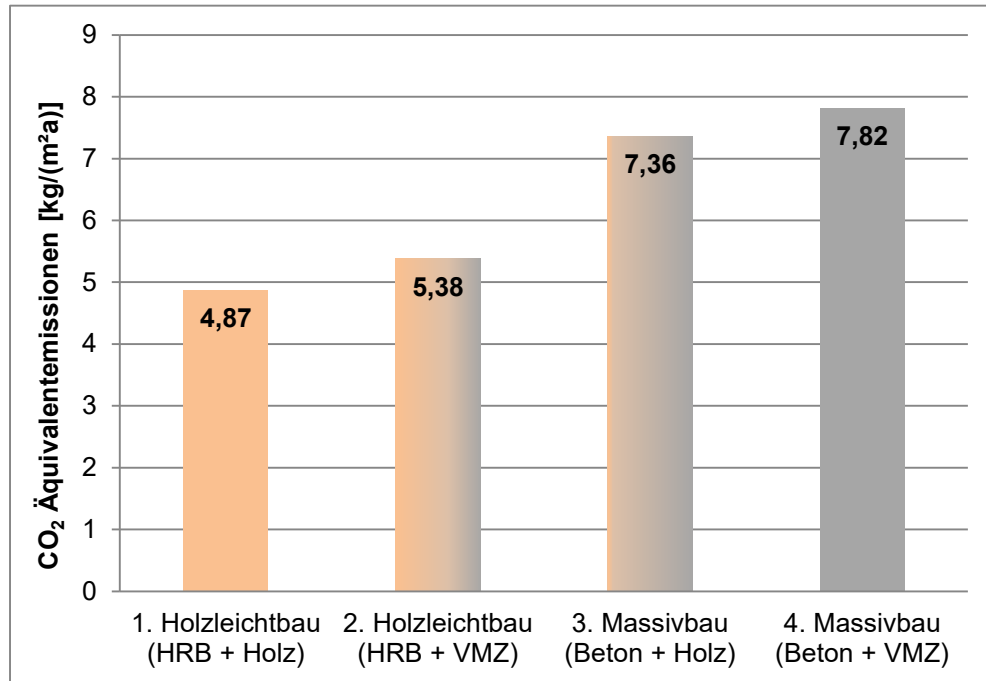


Abbildung 21: Ergebnis Ökobilanzierung globales Treibhauspotenzial (Inkl. A1-A3, B4, C3, C4), bezogen auf NRF

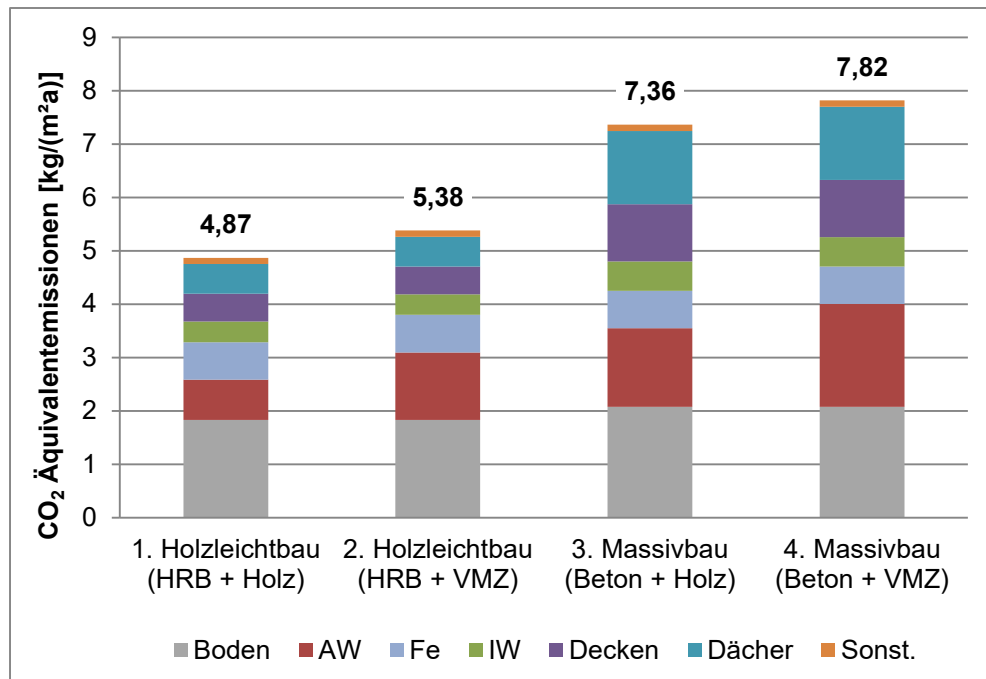


Abbildung 22: Ergebnis Ökobilanzierung globales Treibhauspotenzial (Inkl. A1-A3, B4, C3, C4), bezogen auf NRF, nach Bauteilgruppen aufgeteilt

### 6.4 CO<sub>2</sub> Emission und Energieversorgung (Bezug 50 a)

Die Abbildung 1folgende Abbildung zeigt die gesamten CO<sub>2</sub> Emissionen, die **über den Betrachtungszeitraum** anfallen (Graue Energie der Baustoffe und durch den Heizwärmebedarf, Kapitel 4.2).

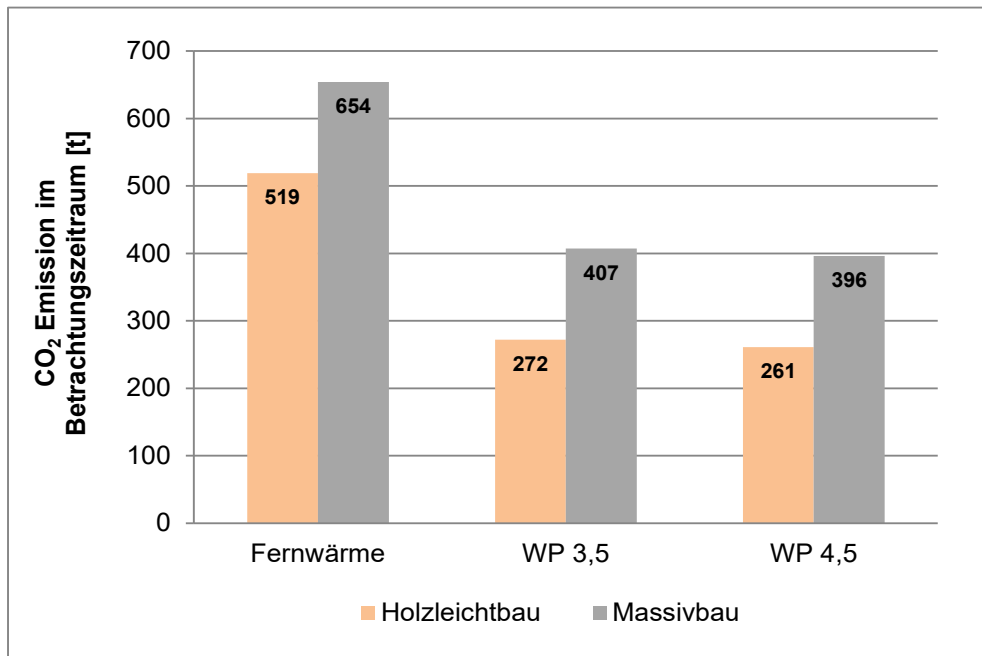


Abbildung 23: CO<sub>2</sub> Emissionen im Betrachtungszeitraum (Graue Energie + Heizenergie) nach Bauweise und Energieversorgung, am Beispiel des EG 40 Standards

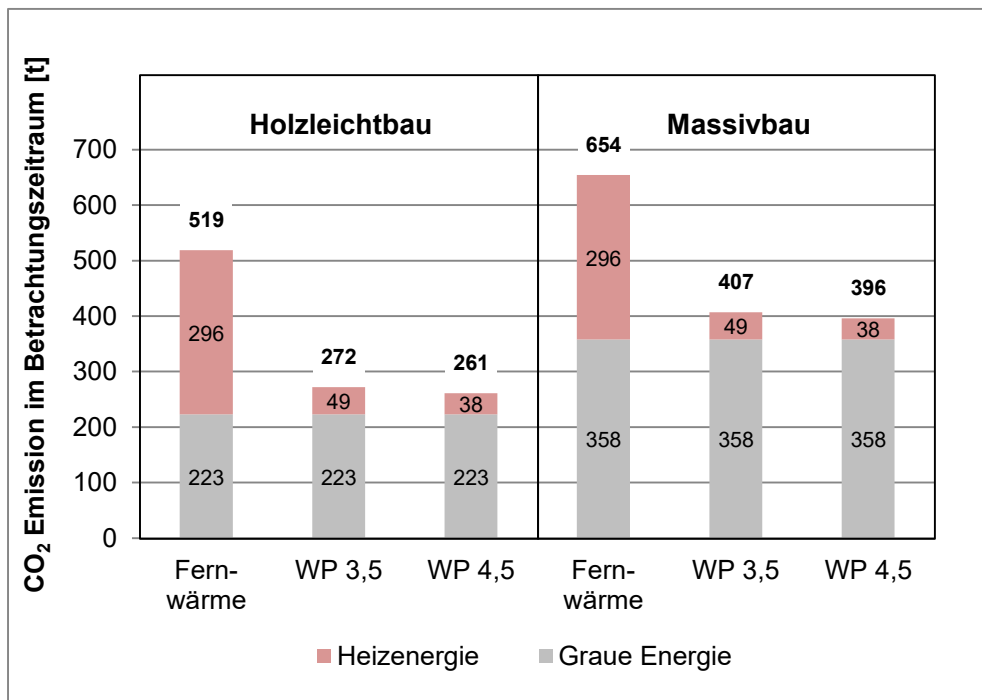


Abbildung 24: CO<sub>2</sub> Emissionen im Betrachtungszeitraum (Graue Energie + Heizenergie) nach Bauweise und Energieversorgung, EG 40 Standards, aufgeteilt nach CO<sub>2</sub> Emissionen aus Grauer Energie und Heizenergie.  
 WP 3,5: Luft-Wasser-Wärmepumpe, Jahresarbeitszahl 3,5  
 WP 4,5: Sole-Wasser-Wärmepumpe, Jahresarbeitszahl 4,5

### 6.5 CO<sub>2</sub> Emissionen / Erhöhter Dämmstandard

Weitere Grafiken zu Kapitel 4.3

#### Fernwärme

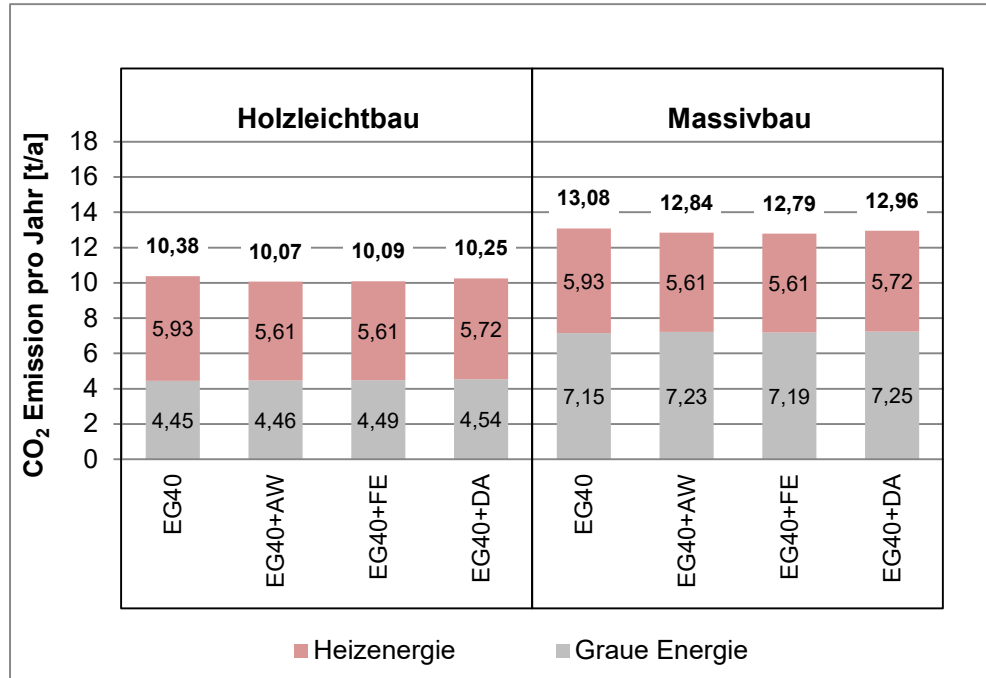


Abbildung 25: Jährliche CO<sub>2</sub> Emissionen nach Bauweise und Dämmvariante, Energieerzeuger Fernwärme

#### Fernwärme

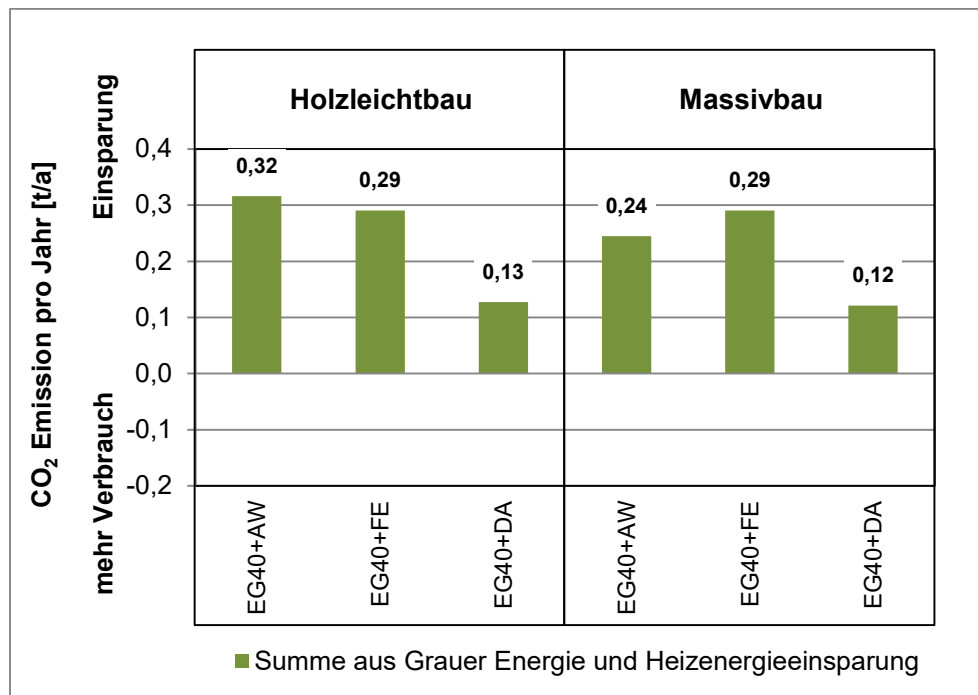


Abbildung 26: Summe aus Mehremission durch graue Energie und Minderemission durch Heizenergieeinsparung

Wärmepumpe JAZ 3,5

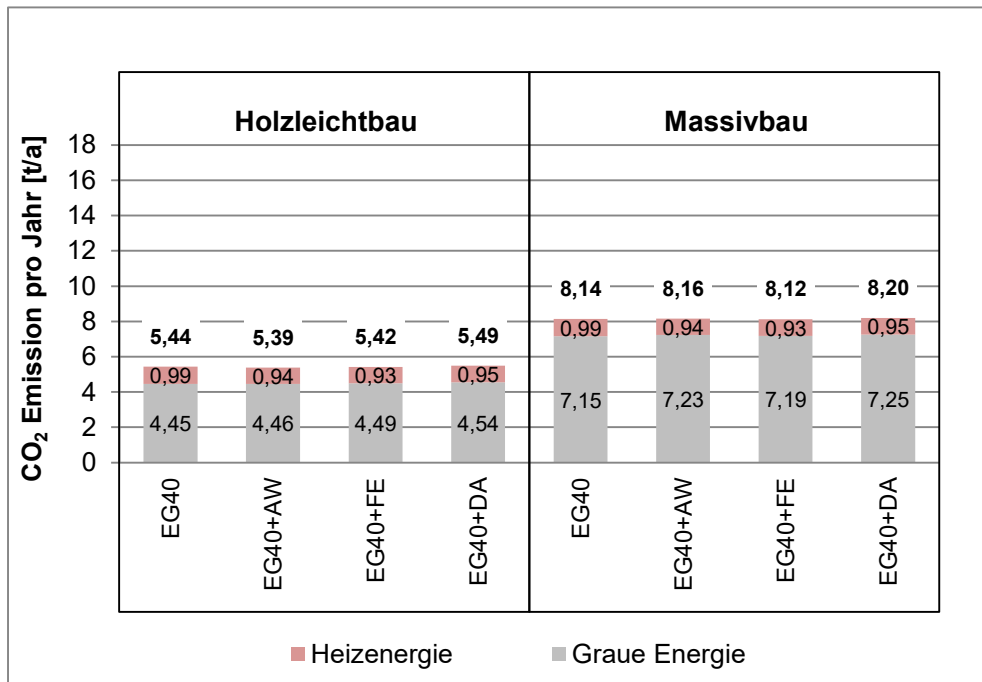


Abbildung 27: Jährliche CO<sub>2</sub> Emissionen nach Bauweise und Dämmvariante, Energieerzeuger Wärmepumpe 3,5

Wärmepumpe JAZ 3,5

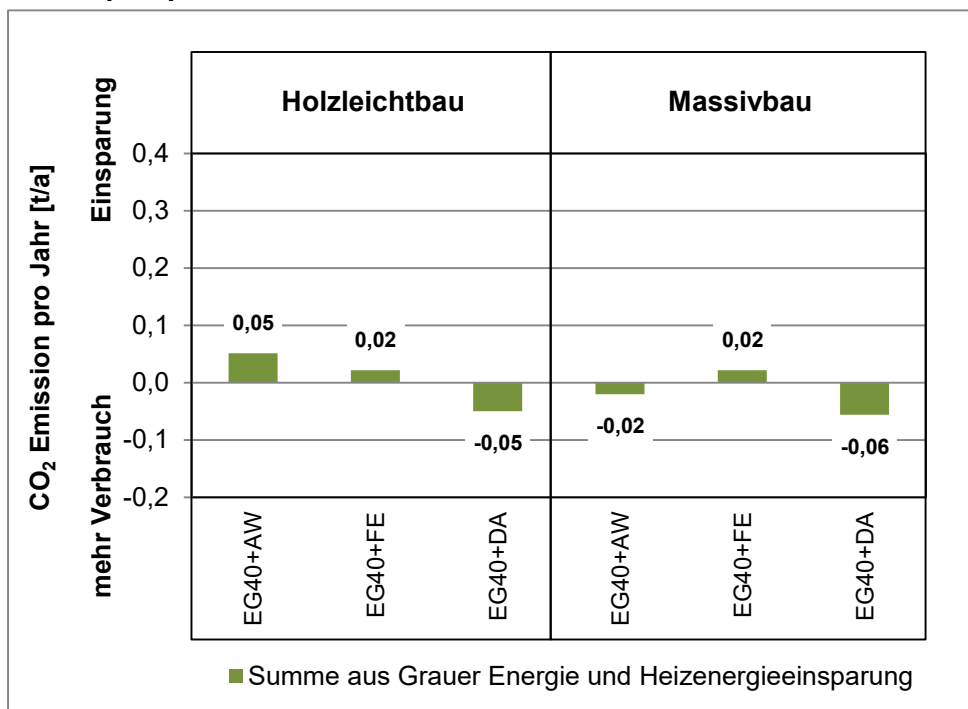


Abbildung 28: Summe aus Mehremission durch graue Energie und Minderemission durch Heizenergieeinsparung

Wärmepumpe JAZ 4,5

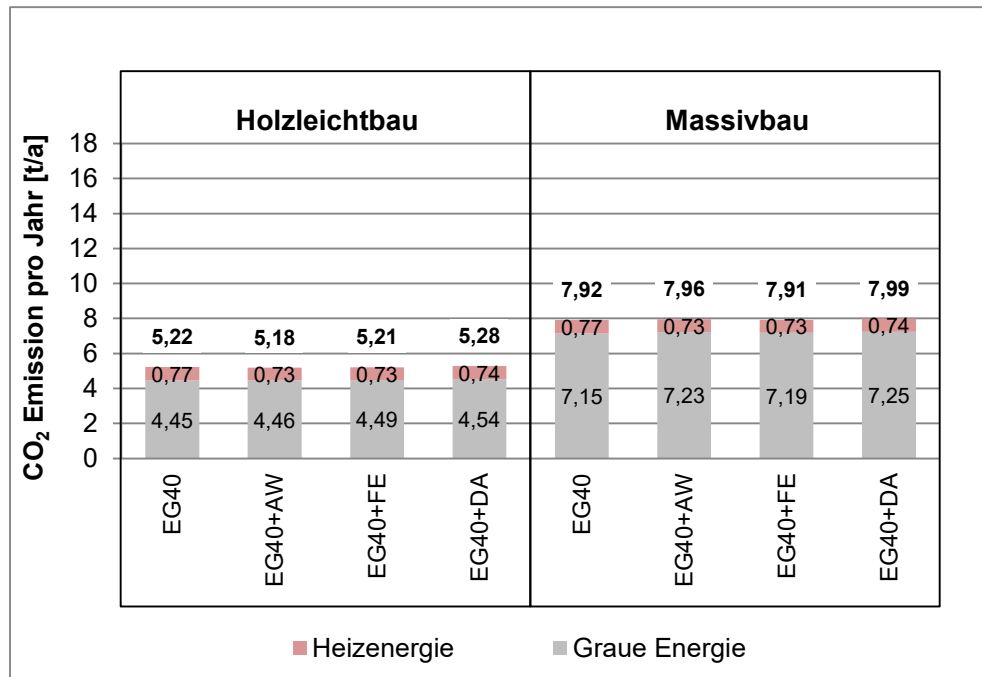


Abbildung 29: Jährliche CO<sub>2</sub> Emissionen nach Bauweise und Dämmvariante, Energieerzeuger Wärmepumpe 4,5

Wärmepumpe JAZ 4,5

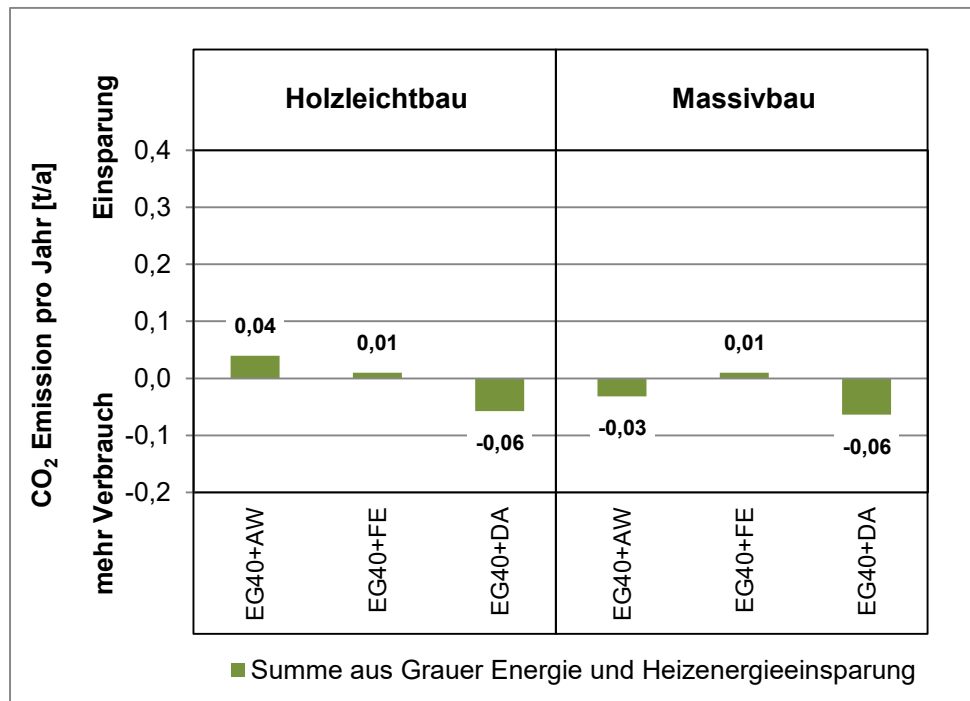


Abbildung 30: Summe aus Mehremission durch graue Energie und Minderemission durch Heizenergieeinsparung



## 6.6 Ergebnisse CO<sub>2</sub> Emissionen

CO <sub>2</sub> Emissionen (Graue Energie + Heizenergie) [t] im Betrachtungszeitraum						
Bauweise	CO <sub>2</sub> -Preis	Wärmeerzeuger	Dämmvariante			
			EG40	EG40+AW	EG40+FE	EG40+DA
Holzleichtbau		Fernwärme	519 t	503 t	505 t	513 t
Holzleichtbau		WP 3,5	272 t	270 t	271 t	275 t
Holzleichtbau		WP 4,5	261 t	259 t	261 t	264 t
Massivbau		Fernwärme	654 t	642 t	640 t	648 t
Massivbau		WP 3,5	407 t	408 t	406 t	410 t
Massivbau		WP 4,5	396 t	398 t	396 t	399 t

Abbildung 31: Gesamte CO<sub>2</sub> Emission über den Betrachtungszeitraum aus Grauer Energie und Verbräuchen

Jährl. CO <sub>2</sub> -Emission (Graue Energie + Heizenergie) [t/a]						
Bauweise	CO <sub>2</sub> -Preis	Wärmeerzeuger	Dämmvariante			
			EG40	EG40+AW	EG40+FE	EG40+DA
Holzleichtbau		Fernwärme	10,38 t/a	10,07 t/a	10,09 t/a	10,25 t/a
Holzleichtbau		WP 3,5	5,44 t/a	5,39 t/a	5,42 t/a	5,49 t/a
Holzleichtbau		WP 4,5	5,22 t/a	5,18 t/a	5,21 t/a	5,28 t/a
Massivbau		Fernwärme	13,08 t/a	12,84 t/a	12,79 t/a	12,96 t/a
Massivbau		WP 3,5	8,14 t/a	8,16 t/a	8,12 t/a	8,20 t/a
Massivbau		WP 4,5	7,92 t/a	7,96 t/a	7,91 t/a	7,99 t/a

Abbildung 32: Jährliche CO<sub>2</sub> Emission aus Grauer Energie und Verbräuchen

Jährl. CO <sub>2</sub> -Emission (Graue Energie) [t/a]						
Bauweise	CO <sub>2</sub> -Preis	Wärmeerzeuger	Dämmvariante			
			EG40	EG40+AW	EG40+FE	EG40+DA
Holzleichtbau		Fernwärme	4,45 t/a	4,46 t/a	4,49 t/a	4,54 t/a
Holzleichtbau		WP 3,5	4,45 t/a	4,46 t/a	4,49 t/a	4,54 t/a
Holzleichtbau		WP 4,5	4,45 t/a	4,46 t/a	4,49 t/a	4,54 t/a
Massivbau		Fernwärme	7,15 t/a	7,23 t/a	7,19 t/a	7,25 t/a
Massivbau		WP 3,5	7,15 t/a	7,23 t/a	7,19 t/a	7,25 t/a
Massivbau		WP 4,5	7,15 t/a	7,23 t/a	7,19 t/a	7,25 t/a

Abbildung 33: Jährliche CO<sub>2</sub> Emission aus Grauer Energie

Jährl. CO <sub>2</sub> -Emission (Heizenergie) [t/a]						
Bauweise	CO <sub>2</sub> -Preis	Wärmeerzeuger	Dämmvariante			
			EG40	EG40+AW	EG40+FE	EG40+DA
Holzleichtbau		Fernwärme	5,93 t/a	5,61 t/a	5,61 t/a	5,72 t/a
Holzleichtbau		WP 3,5	0,99 t/a	0,94 t/a	0,93 t/a	0,95 t/a
Holzleichtbau		WP 4,5	0,77 t/a	0,73 t/a	0,73 t/a	0,74 t/a
Massivbau		Fernwärme	5,93 t/a	5,61 t/a	5,61 t/a	5,72 t/a
Massivbau		WP 3,5	0,99 t/a	0,94 t/a	0,93 t/a	0,95 t/a
Massivbau		WP 4,5	0,77 t/a	0,73 t/a	0,73 t/a	0,74 t/a

Abbildung 34: Jährliche CO<sub>2</sub> Emission aus Verbräuchen

(Bezeichnungen: Grün – Bestwert, rot – ungünstigster Wert, WP Wärmepumpe 3,5 / 4,5 Jahresarbeitszahl, EG Effizienzgebäude, AW Außenwand, FE Fenster, DA Dach)

## 6.7 Kosten für Energie

### Fernwärme

Die Kosten für eine kWh Fernwärme werden vereinfachend mit 15 Cent als Startwert angesetzt. In den weiteren Jahren wird eine 1,5 %-ige Preissteigerung angenommen.

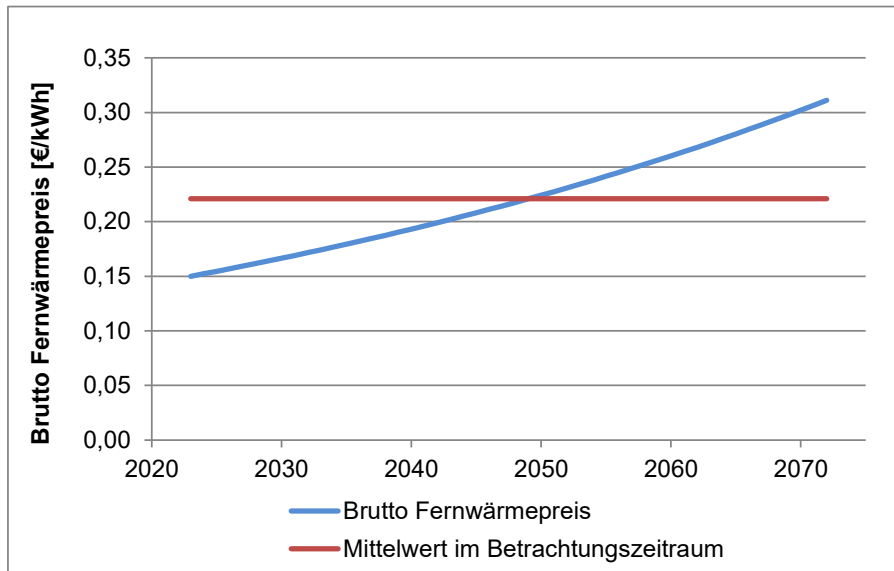


Abbildung 35: Aktueller und zukünftiger Preis der Hamburger Fernwärme

Für den Betrachtungszeitraum ergibt sich ein mittlerer Fernwärmepreis von 22 Ct/kWh.

### Strom

Strom kostet derzeit aufgrund der Strompreisbremse 40 Ct/kWh. Die zukünftige Preisentwicklung könnte durch Verknappung steigen, aber auch durch günstigere Energiequellen und variable Preismodelle sinken. Vereinfachend wird ein über den Betrachtungszeitraum konstanter Strompreis von 40 Ct/kWh angenommen.

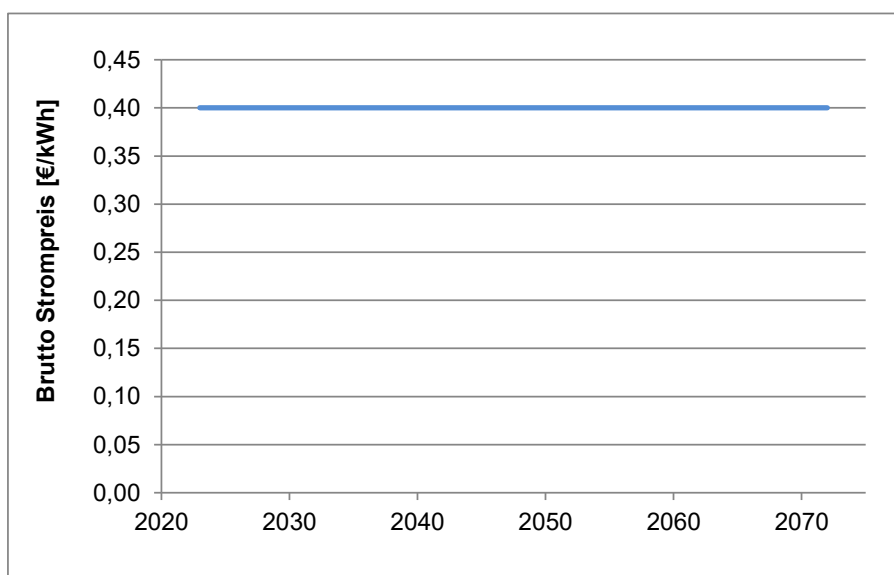


Abbildung 36: Aktueller und zukünftiger Preis für Strom

6.8 Zulässige Mehrkosten durch fiktiven CO<sub>2</sub> Preis

Kosten durch CO <sub>2</sub> Schattenpreis (aus Grauer Energie + Heizenergie) [€] im Betrachtungszeitraum						
Bauweise	CO <sub>2</sub> -Preis	Wärmeerzeuger	Dämmvariante			
			EG40	EG40+AW	EG40+FE	EG40+DA
Holzleichtbau	CO <sub>2</sub> niedrig	Fernwärme	117.162 €	113.345 €	113.600 €	115.470 €
Holzleichtbau	CO <sub>2</sub> niedrig	WP 3,5	57.575 €	56.951 €	57.256 €	58.021 €
Holzleichtbau	CO <sub>2</sub> niedrig	WP 4,5	54.925 €	54.443 €	54.750 €	55.466 €
Massivbau	CO <sub>2</sub> niedrig	Fernwärme	144.849 €	141.763 €	141.287 €	143.220 €
Massivbau	CO <sub>2</sub> niedrig	WP 3,5	85.262 €	85.369 €	84.943 €	85.771 €
Massivbau	CO <sub>2</sub> niedrig	WP 4,5	82.612 €	82.861 €	82.437 €	83.216 €
Holzleichtbau	CO <sub>2</sub> hoch	Fernwärme	381.592 €	369.586 €	370.478 €	376.517 €
Holzleichtbau	CO <sub>2</sub> hoch	WP 3,5	194.095 €	192.135 €	193.184 €	195.746 €
Holzleichtbau	CO <sub>2</sub> hoch	WP 4,5	185.756 €	184.244 €	185.299 €	187.706 €
Massivbau	CO <sub>2</sub> hoch	Fernwärme	474.726 €	465.208 €	463.604 €	469.842 €
Massivbau	CO <sub>2</sub> hoch	WP 3,5	287.228 €	287.757 €	286.309 €	289.070 €
Massivbau	CO <sub>2</sub> hoch	WP 4,5	278.890 €	279.865 €	278.424 €	281.031 €

Abbildung 37: Kosten über den Betrachtungszeitraum durch den CO<sub>2</sub> Schattenpreis

Kostenunterschiede durch CO <sub>2</sub> Schattenpreis ( aus Grauer Energie + Heizenergie) [€] im Betrachtungszeitraum						
Bauweise	CO <sub>2</sub> -Preis	Wärmeerzeuger	Dämmvariante			
			EG40	EG40+AW	EG40+FE	EG40+DA
Holzleichtbau	CO <sub>2</sub> niedrig	Fernwärme	- €	3.817 €	3.562 €	1.691 €
Holzleichtbau	CO <sub>2</sub> niedrig	WP 3,5	- €	624 €	319 €	446 €
Holzleichtbau	CO <sub>2</sub> niedrig	WP 4,5	- €	482 €	175 €	541 €
Massivbau	CO <sub>2</sub> niedrig	Fernwärme	- €	3.086 €	3.562 €	1.629 €
Massivbau	CO <sub>2</sub> niedrig	WP 3,5	- €	107 €	319 €	508 €
Massivbau	CO <sub>2</sub> niedrig	WP 4,5	- €	249 €	175 €	604 €
Holzleichtbau	CO <sub>2</sub> hoch	Fernwärme	- €	12.006 €	11.114 €	5.075 €
Holzleichtbau	CO <sub>2</sub> hoch	WP 3,5	- €	1.959 €	911 €	1.651 €
Holzleichtbau	CO <sub>2</sub> hoch	WP 4,5	- €	1.513 €	457 €	1.950 €
Massivbau	CO <sub>2</sub> hoch	Fernwärme	- €	9.518 €	11.122 €	4.884 €
Massivbau	CO <sub>2</sub> hoch	WP 3,5	- €	529 €	919 €	1.842 €
Massivbau	CO <sub>2</sub> hoch	WP 4,5	- €	975 €	465 €	2.141 €

Abbildung 38: Kostenunterschied über den Betrachtungszeitraum resultierend aus dem CO<sub>2</sub> Schattenpreis für die Verbesserung der Dämmung.

Positive Werte sind als Einsparung durch die Dämmmaßnahme zu verstehen.

(Bezeichnungen: Grün – Bestwert, rot – ungünstigster Wert, WP Wärmepumpe 3,5 / 4,5 Jahresarbeitszahl, EG Effizienzgebäude, AW Außenwand, FE Fenster, DA Dach)

spez. Kostenunterschied durch CO <sub>2</sub> Schattenpreis (aus Grauer Energie + Heizenergie) [€/m <sup>2</sup> ] im Betrachtungszeitraum						
Fläche des verbesserten Bauteils			545 m <sup>2</sup>	177 m <sup>2</sup>	521 m <sup>2</sup>	
			Dämmvariante			
Bauweise	CO <sub>2</sub> -Preis	Wärmeerzeuger	EG40	EG40+AW	EG40+FE	EG40+DA
Holzleichtbau	CO <sub>2</sub> niedrig	Fernwärme		7,01 €/m <sup>2</sup>	20,13 €/m <sup>2</sup>	3,25 €/m <sup>2</sup>
Holzleichtbau	CO <sub>2</sub> niedrig	WP 3,5		1,15 €/m <sup>2</sup>	1,80 €/m <sup>2</sup>	-0,86 €/m <sup>2</sup>
Holzleichtbau	CO <sub>2</sub> niedrig	WP 4,5		0,88 €/m <sup>2</sup>	0,99 €/m <sup>2</sup>	-1,04 €/m <sup>2</sup>
Massivbau	CO <sub>2</sub> niedrig	Fernwärme		5,66 €/m <sup>2</sup>	20,13 €/m <sup>2</sup>	3,13 €/m <sup>2</sup>
Massivbau	CO <sub>2</sub> niedrig	WP 3,5		-0,20 €/m <sup>2</sup>	1,80 €/m <sup>2</sup>	-0,98 €/m <sup>2</sup>
Massivbau	CO <sub>2</sub> niedrig	WP 4,5		-0,46 €/m <sup>2</sup>	0,99 €/m <sup>2</sup>	-1,16 €/m <sup>2</sup>
Holzleichtbau	CO <sub>2</sub> hoch	Fernwärme		22,04 €/m <sup>2</sup>	62,81 €/m <sup>2</sup>	9,75 €/m <sup>2</sup>
Holzleichtbau	CO <sub>2</sub> hoch	WP 3,5		3,60 €/m <sup>2</sup>	5,15 €/m <sup>2</sup>	-3,17 €/m <sup>2</sup>
Holzleichtbau	CO <sub>2</sub> hoch	WP 4,5		2,78 €/m <sup>2</sup>	2,58 €/m <sup>2</sup>	-3,75 €/m <sup>2</sup>
Massivbau	CO <sub>2</sub> hoch	Fernwärme		17,47 €/m <sup>2</sup>	62,86 €/m <sup>2</sup>	9,38 €/m <sup>2</sup>
Massivbau	CO <sub>2</sub> hoch	WP 3,5		-0,97 €/m <sup>2</sup>	5,20 €/m <sup>2</sup>	-3,54 €/m <sup>2</sup>
Massivbau	CO <sub>2</sub> hoch	WP 4,5		-1,79 €/m <sup>2</sup>	2,63 €/m <sup>2</sup>	-4,11 €/m <sup>2</sup>

Abbildung 39: Spez. Kostenunterschied über den Betrachtungszeitraum resultierend aus dem CO<sub>2</sub> Schattenpreis für die Verbesserung der Dämmung. (pos. Werte = Einsparung durch die Dämmmaßnahme = mögliche Investitionskosten pro m<sup>2</sup>)

Kostenunterschied durch CO <sub>2</sub> Schattenpreis [€] im Betrachtungszeitraum					
		Dämmvariante			
CO <sub>2</sub> -Preis	Wärmeerzeugerwechsel	EG40	EG40+AW	EG40+FE	EG40+DA
CO <sub>2</sub> niedrig	Fernwärme --> WP 3,5	29.793 €	28.197 €	28.172 €	28.725 €
CO <sub>2</sub> niedrig	Fernwärme --> WP 4,5	31.118 €	29.451 €	29.425 €	30.002 €
CO <sub>2</sub> niedrig	WP 3,5 --> WP 4,5	1.325 €	1.254 €	1.253 €	1.277 €
CO <sub>2</sub> hoch	Fernwärme --> WP 3,5	93.749 €	88.726 €	88.647 €	90.386 €
CO <sub>2</sub> hoch	Fernwärme --> WP 4,5	97.918 €	92.671 €	92.590 €	94.405 €
CO <sub>2</sub> hoch	WP 3,5 --> WP 4,5	4.169 €	3.946 €	3.942 €	4.020 €

Abbildung 40: Kostenunterschied über den Betrachtungszeitraum durch den CO<sub>2</sub> Schattenpreis beim Wechsel vom Wärmeerzeuger. (pos. Werte = mögliche Investitionskosten)

(Bezeichnungen: Grün – Bestwert, rot – ungünstigster Wert, WP Wärmepumpe 3,5 / 4,5 Jahresarbeitszahl, EG Effizienzgebäude, AW Außenwand, FE Fenster, DA Dach)

## 6.9 Zulässige Mehrkosten durch fiktiven CO<sub>2</sub> Preis und Heizkosten

### Kostenunterschied bezüglich der Energieversorgung (Kapitel 5.1)

Das folgende Diagramm zeigt die erlaubten Mehrkosten beim Wechsel zwischen verschiedenen Energieversorgern. Die Kosten resultieren aus den CO<sub>2</sub> Kosten, die sich aus dem Heizungsbedarf ergeben, sowie aus den Heizkosten. Die Kosten beziehen sich auf den Betrachtungszeitraum und auf den Dämmvariante EG 40.

Ein Wechsel der Energieversorgung führt ggf. zu einer Verringerung der CO<sub>2</sub> Emissionen und zu einer Veränderung der Heizkosten. Belegt man diese CO<sub>2</sub> Einsparung mit dem CO<sub>2</sub> Schattenpreisen darf z.B. eine Luft-Wasser Wärmepumpe (WP 3,5) 177.043 € bzw. 240.999 € Mehrkosten als ein Fernwärmeanschluss.

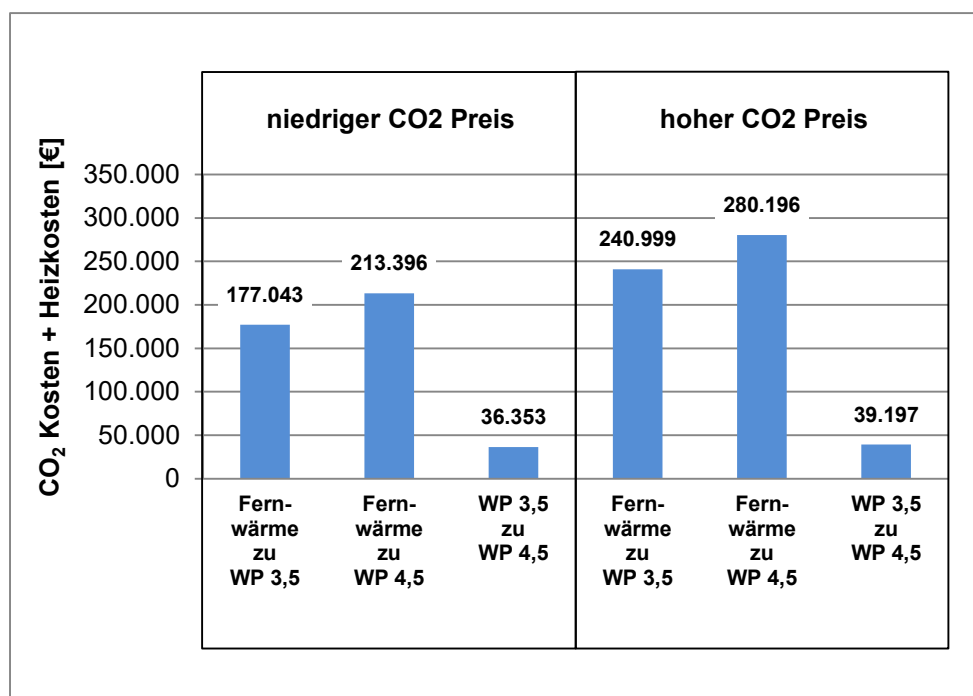


Abbildung 41: Zulässige Mehrkosten zwischen Energieversorgern durch CO<sub>2</sub> Emission und Heizkosten im Betrachtungszeitraum für Dämmstandard EG40 unterschieden nach niedrigem und hohem CO<sub>2</sub> Schattenpreis

### Kostenunterschied für zusätzliche Dämmung (am Bsp. Wand)

Das folgende Diagramm zeigt die erlaubten Mehrkosten bei der Verbesserung der Wand vom EG 40 Standard (U-Wert 0,21 W/(m<sup>2</sup>K)) zu einem besseren Dämmniveau (U-Wert 0,15 W/(m<sup>2</sup>K)). Das entspricht etwa einer 7 cm dickeren Dämmung.

Die Verbesserung der Wand beim Holzleichtbau dürfte z.B. bei einer Versorgung mit Fernwärme und einem niedrigen CO<sub>2</sub> Schattenpreis 67 €/m<sup>2</sup> Mehrkosten verursachen. Wird der hohe CO<sub>2</sub> Schattenpreis angesetzt, dürfte die Dämmmaßnahme 82 €/m<sup>2</sup> mehr kosten.

**Holzleichtbau**

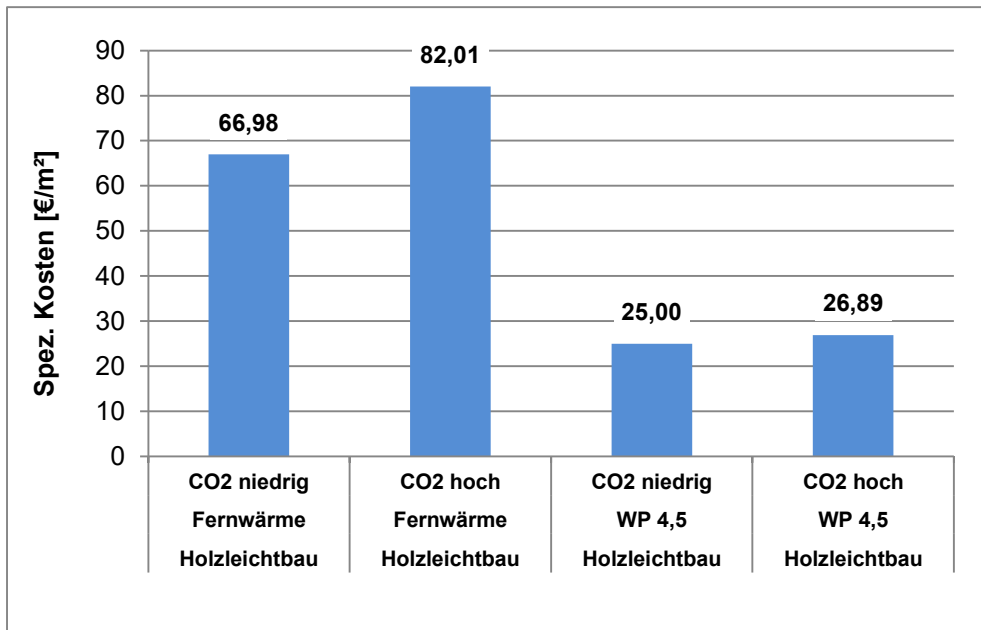


Abbildung 42: Zulässige Mehrkosten beim Holzleichtbau für zusätzliche Wanddämmung durch CO<sub>2</sub> Emission und Heizkosten im Betrachtungszeitraum bei unterschieden CO<sub>2</sub> Schattenpreisen und Energieversorgern

**Massivbau**

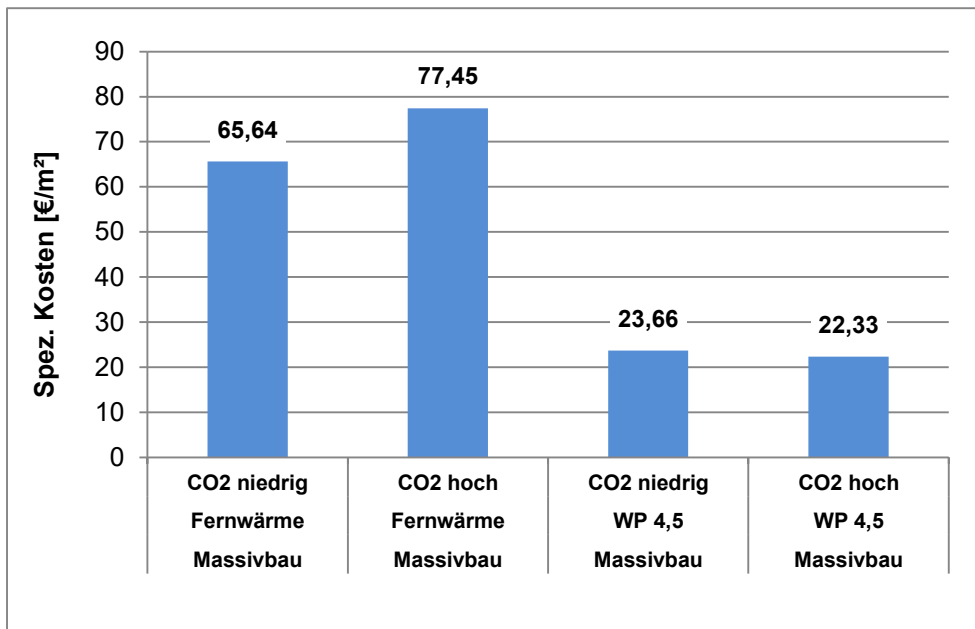


Abbildung 43: Zulässige Mehrkosten beim Massivbau für zusätzliche Wanddämmung – durch CO<sub>2</sub> Emission und Heizkosten im Betrachtungszeitraum bei unterschieden CO<sub>2</sub> Schattenpreisen und Energieversorgern

Kosten durch CO <sub>2</sub> Schattenpreis (aus Grauer Energie + Heizenergie) + Heizkosten [€] im Betrachtungszeitraum						
Bauweise	CO <sub>2</sub> -Preis	Wärmeerzeuger	Dämmvariante			
			EG40	EG40+AW	EG40+FE	EG40+DA
Holzleichtbau	CO2 niedrig	Fernwärme	726.913 €	690.425 €	690.172 €	703.349 €
Holzleichtbau	CO2 niedrig	WP 3,5	372.827 €	355.311 €	355.353 €	361.964 €
Holzleichtbau	CO2 niedrig	WP 4,5	300.121 €	286.501 €	286.603 €	291.866 €
Massivbau	CO2 niedrig	Fernwärme	754.600 €	718.843 €	717.859 €	731.098 €
Massivbau	CO2 niedrig	WP 3,5	400.514 €	383.729 €	383.040 €	389.714 €
Massivbau	CO2 niedrig	WP 4,5	327.808 €	314.919 €	314.291 €	319.616 €
Holzleichtbau	CO2 hoch	Fernwärme	991.343 €	946.667 €	947.050 €	964.396 €
Holzleichtbau	CO2 hoch	WP 3,5	509.346 €	490.495 €	491.281 €	499.689 €
Holzleichtbau	CO2 hoch	WP 4,5	430.952 €	416.301 €	417.152 €	424.106 €
Massivbau	CO2 hoch	Fernwärme	1.084.477 €	1.042.288 €	1.040.176 €	1.057.720 €
Massivbau	CO2 hoch	WP 3,5	602.480 €	586.117 €	584.406 €	593.013 €
Massivbau	CO2 hoch	WP 4,5	524.085 €	511.923 €	510.278 €	517.431 €

Abbildung 44: Kosten über den Betrachtungszeitraum durch den CO<sub>2</sub> Schattenpreis und die Heizkosten

Kostenunterschied durch CO <sub>2</sub> Schattenpreis (aus Grauer Energie + Heizenergie) + Heizkosten [€] im Betrachtungszeitraum						
Bauweise	CO <sub>2</sub> -Preis	Wärmeerzeuger	Dämmvariante			
			EG40	EG40+AW	EG40+FE	EG40+DA
Holzleichtbau	CO2 niedrig	Fernwärme	- €	36.488 €	36.741 €	23.564 €
Holzleichtbau	CO2 niedrig	WP 3,5	- €	17.515 €	17.473 €	10.862 €
Holzleichtbau	CO2 niedrig	WP 4,5	- €	13.620 €	13.517 €	8.254 €
Massivbau	CO2 niedrig	Fernwärme	- €	35.757 €	36.741 €	23.502 €
Massivbau	CO2 niedrig	WP 3,5	- €	16.785 €	17.473 €	10.800 €
Massivbau	CO2 niedrig	WP 4,5	- €	12.889 €	13.517 €	8.192 €
Holzleichtbau	CO2 hoch	Fernwärme	- €	44.677 €	44.293 €	26.947 €
Holzleichtbau	CO2 hoch	WP 3,5	- €	18.851 €	18.065 €	9.657 €
Holzleichtbau	CO2 hoch	WP 4,5	- €	14.650 €	13.799 €	6.845 €
Massivbau	CO2 hoch	Fernwärme	- €	42.189 €	44.301 €	26.757 €
Massivbau	CO2 hoch	WP 3,5	- €	16.363 €	18.073 €	9.467 €
Massivbau	CO2 hoch	WP 4,5	- €	12.162 €	13.808 €	6.655 €

Abbildung 45: Kostenunterschied über den Betrachtungszeitraum resultierend aus dem CO<sub>2</sub> Schattenpreis und den Heizkosten für die Verbesserung der Dämmung. (pos. Werte = Einsparung durch die Dämmmaßnahme)

spez. Kostenunterschied durch CO <sub>2</sub> Schattenpreis (aus Graue Energie+Heizenergie)+Heizkosten [€/m <sup>2</sup> ] im Betrachtungszeitraum						
Fläche des verbesserten Bauteils			545 m <sup>2</sup>	177 m <sup>2</sup>	521 m <sup>2</sup>	
Bauweise	CO <sub>2</sub> -Preis	Wärmeerzeuger	Dämmvariante			
			EG40	EG40+AW	EG40+FE	EG40+DA
Holzleichtbau	CO2 niedrig	Fernwärme		66,98 €/m <sup>2</sup>	207,66 €/m <sup>2</sup>	45,26 €/m <sup>2</sup>
Holzleichtbau	CO2 niedrig	WP 3,5		32,15 €/m <sup>2</sup>	98,76 €/m <sup>2</sup>	20,86 €/m <sup>2</sup>
Holzleichtbau	CO2 niedrig	WP 4,5		25,00 €/m <sup>2</sup>	76,40 €/m <sup>2</sup>	15,85 €/m <sup>2</sup>
Massivbau	CO2 niedrig	Fernwärme		65,64 €/m <sup>2</sup>	207,66 €/m <sup>2</sup>	45,14 €/m <sup>2</sup>
Massivbau	CO2 niedrig	WP 3,5		30,81 €/m <sup>2</sup>	98,76 €/m <sup>2</sup>	20,74 €/m <sup>2</sup>
Massivbau	CO2 niedrig	WP 4,5		23,66 €/m <sup>2</sup>	76,40 €/m <sup>2</sup>	15,73 €/m <sup>2</sup>
Holzleichtbau	CO2 hoch	Fernwärme		82,01 €/m <sup>2</sup>	250,34 €/m <sup>2</sup>	51,76 €/m <sup>2</sup>
Holzleichtbau	CO2 hoch	WP 3,5		34,60 €/m <sup>2</sup>	102,10 €/m <sup>2</sup>	18,55 €/m <sup>2</sup>
Holzleichtbau	CO2 hoch	WP 4,5		26,89 €/m <sup>2</sup>	77,99 €/m <sup>2</sup>	13,15 €/m <sup>2</sup>
Massivbau	CO2 hoch	Fernwärme		77,45 €/m <sup>2</sup>	250,39 €/m <sup>2</sup>	51,39 €/m <sup>2</sup>
Massivbau	CO2 hoch	WP 3,5		30,04 €/m <sup>2</sup>	102,15 €/m <sup>2</sup>	18,18 €/m <sup>2</sup>
Massivbau	CO2 hoch	WP 4,5		22,33 €/m <sup>2</sup>	78,04 €/m <sup>2</sup>	12,78 €/m <sup>2</sup>

Abbildung 46: Spez. Kostenunterschied über den Betrachtungszeitraum resultierend aus dem CO<sub>2</sub> Schattenpreis und den Heizkosten für die Verbesserung der Dämmung. (pos. Werte = Einsparung durch die Dämmmaßnahme = mögliche Investitionskosten pro m<sup>2</sup>)

CO2 niedrig	Fernwärme --> WP 3,5	177.043 €	167.557 €	167.410 €	170.692 €
CO2 niedrig	Fernwärme --> WP 4,5	213.396 €	201.962 €	201.784 €	205.741 €
CO2 niedrig	WP 3,5 --> WP 4,5	36.353 €	34.405 €	34.375 €	35.049 €
CO2 hoch	Fernwärme --> WP 3,5	240.999 €	228.086 €	227.885 €	232.354 €
CO2 hoch	Fernwärme --> WP 4,5	280.196 €	265.183 €	264.949 €	270.145 €
CO2 hoch	WP 3,5 --> WP 4,5	39.197 €	37.097 €	37.064 €	37.791 €

Abbildung 47: Kostenunterschied über den Betrachtungszeitraum durch den CO<sub>2</sub> Schattenpreis und die Heizkosten beim Wechsel vom Wärmeerzeuger. (pos. Werte = mögliche Investitionskosten)

(Bezeichnungen: Grün – Bestwert, rot – ungünstigster Wert, WP Wärmepumpe 3,5 / 4,5 Jahresarbeitszahl, EG Effizienzgebäude, AW Außenwand, FE Fenster, DA Dach)

### 6.10 Flächenberechnungen Energiebilanz

Bez.	Btl-Nr	Brutto Fläche	Netto Fläche	Ausrichtung	U-Wert	Fenster Breite	Fenster Höhe	Fenster/Tür Fläche	Fenster Anz	Brüstung	Name	FE+Tür Fläche
<b>Summe</b>		<b>1765,8</b>	<b>1587,1</b>					<b>178,6</b>	<b>78</b>			<b>178,6</b>
1,10,1,1	10	141,1	115,9	N	0,21						10 Außenwand innen Holz, außen Holz	25,20
	80				1,2	0,750	1,920	2,88	2	0,80	80 FE N Flügel	
	80				1,2	0,780	1,920	3,00	2	0,80	80 FE N Flügel	
	86				0,93	1,630	1,920	6,26	2	0,80	86 FE N Fest	
	80				1,2	0,780	2,710	2,11	1	0,00	80 FE N Flügel	
	86				0,93	0,780	2,710	2,11	1	0,00	86 FE N Fest	
	86				0,93	1,630	2,710	4,42	1	0,00	86 FE N Fest	
	83				1,5	1,630	2,710	4,42	1	0,00	83 Tür N	
2,10,1,1	10	219,7	145,7	O	0,21						10 Außenwand innen Holz, außen Holz	74,04
	81				1,2	0,780	1,920	11,98	8	0,80	81 FE O,S,W Flügel	
	82				1,2	0,780	1,920	11,98	8	0,80	82 FE Flügel mit Lamelle	
	87				0,93	1,630	1,920	50,07	16	0,80	87 FE O,S,W Fest	
3,10,1,1	10	141,1	125,4	S	0,21						10 Außenwand innen Holz, außen Holz	15,73
	81				1,2	0,750	1,920	2,88	2	0,80	81 FE O,S,W Flügel	
	87				0,93	1,110	2,710	6,02	2	0,80	87 FE O,S,W Fest	
	84				1,5	1,260	2,710	6,83	2	0,80	84 Tür S	
4,10,1,1	10	219,7	157,8	W	0,21						10 Außenwand innen Holz, außen Holz	61,97
	81				1,2	0,780	1,920	7,49	5	0,80	81 FE O,S,W Flügel	
	82				1,2	0,780	1,920	11,98	8	0,80	82 FE Flügel mit Lamelle	
	87				0,93	1,630	1,920	40,68	13	0,80	87 FE O,S,W Fest	
	87				0,93	0,730	0,830	1,82	3	2,00	87 FE O,S,W Fest	
7,58,1,1	58	522,3	520,6	Dach	0,16						58 Flachdach Holzbau	1,69
	85				1,6	1,300	1,300	1,69	1	3,00	85 Lichtkuppel	
9,40,1,1	40	368,1	368,1	Sohle	0,27						40 Sohle außen	
9,41,1,1	41	153,7	153,7	Sohle	0,27						41 Sohle innen	

Tabelle 7: Flächenberechnung

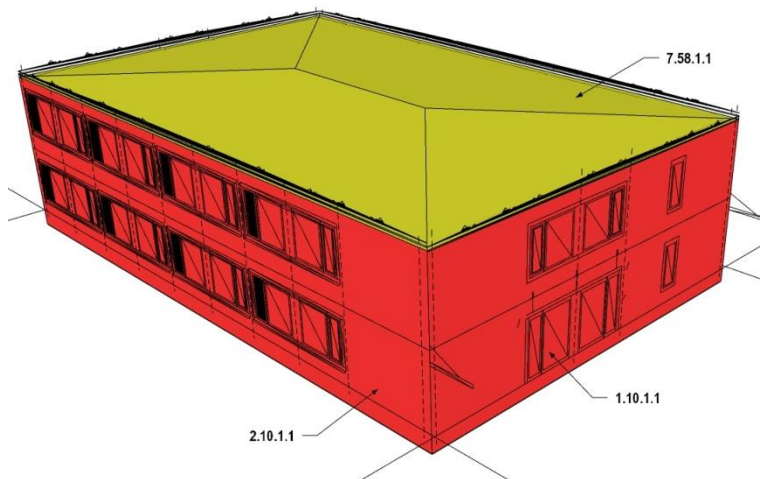


Abbildung 48: Bauteilbezeichnung, Ansicht Nord-Ost



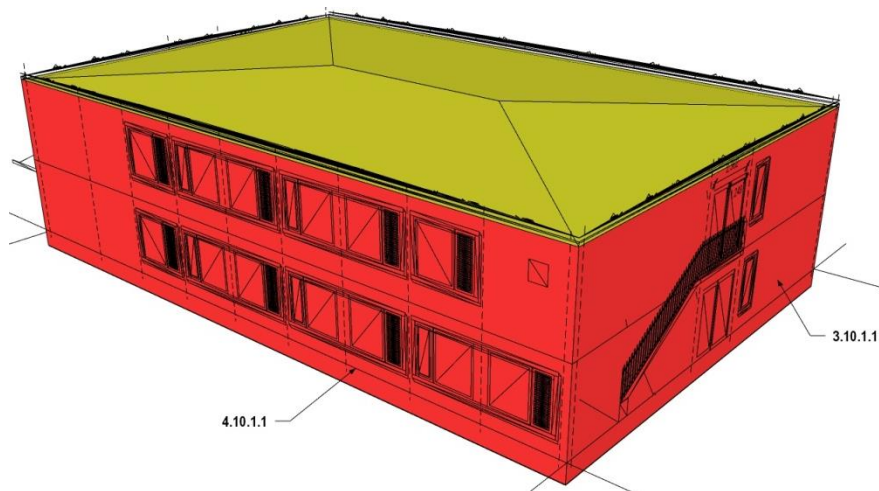


Abbildung 49: Bauteilbezeichnung, Ansicht Süd-West

### 6.11 U-Werte

#### Dämmvarianten EG 40

Bauteil-Nr.+ Bezeichnung	U-Wert [W/(m²K)]	Dämmstärke [cm]	WLS	Netto-Fläche [m²]
10 Außenwand innen Holz, außen Holz	0,209	20	035	544,8
40 Sohle außen	0,265	12	035	368,1
41 Sohle innen	0,265	12	035	153,7
58 Flachdach Holzbau	0,165	16,5	037, 040	520,6
Summe				<b>1587,1</b>

#### Wand

10 10 Außenwand innen Holz, außen Holz						
Bauteil Nr Bauteil-Bezeichnung						
Wärmeübergangswiderstand			Flächenanteil		Flächenanteil	
innen	R <sub>si</sub> : [m² K/W]					
innen	0,13		13,5%			
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Dicke [mm]
1. Fermacell	0,320					10
2. OSB	0,130					15
3. Dämmung	0,035	Holzrahmenwerk 6/2	0,130			200
4. DWD/DHF	0,080					16
5. Luftschicht						40
6. Holzfassade						40
außen R <sub>sa</sub> : 0,04 [m² K/W]			Summe		32,1 cm	
entspricht 185,0 mm Dämmung		WLG 040		ungestörter U-Wert:		0,209 W/(m²K)
Wärmedurchlasswiderstand, R :		4,624 m² K/W		Korrektur ΔU:		0,000 W/(m²K)
				U-Wert:		0,209 W/(m²K)

11 11 Außenwand innen Massiv, außen Massiv						
Bauteil Nr Bauteil-Bezeichnung						
Wärmeübergangswiderstand			Flächenanteil		Flächenanteil	
innen	R <sub>si</sub> : [m² K/W]					
innen	0,13					
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Dicke [mm]
1. Putz	1,000					15
2. KS	0,790					175
3. Dämmung	0,035					150
4. Luftschicht	0,108					20
5. Verblender	0,870					115
außen R <sub>sa</sub> : 0,04 [m² K/W]			Summe		47,5 cm	
entspricht 186,7 mm Dämmung		WLG 040		ungestörter U-Wert:		0,200 W/(m²K)
Wärmedurchlasswiderstand, R :		4,666 m² K/W		Korrektur ΔU:		0,007 W/(m²K)
				U-Wert:		0,207 W/(m²K)

Sohle

<b>40   40 Sohle außen</b>							
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung							
Wärmeübergangswiderstand		Flächenanteil		Flächenanteil			
innen R <sub>si</sub> : <input type="text" value="0,17"/> [m² K/W]		<input type="text" value=""/>		<input type="text" value=""/>			
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Dicke [mm]	
1. Estrich	1,400					75	
2. Trittschalldämmung	0,035					120	
3. Abdichtung	0,170					8	
4. Beton	2,500					180	
außen R <sub>sa</sub> : <input type="text" value="0,00"/> [m² K/W]				Summe		<input type="text" value="38,3 cm"/>	
entspricht 144,0 mm Dämmung WLG 040		ungestörter U-Wert: <input type="text" value="0,265"/> W/(m²K)		Korrektur ΔU: <input type="text" value="0,000"/> W/(m²K)			
Wärmedurchlasswiderstand, R : <input type="text" value="3,601"/> m² K/W		U-Wert: <input type="text" value="0,265"/> W/(m²K)					

Dach

<b>58   58 Flachdach Holzbau</b>							
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung							
Wärmeübergangswiderstand		Flächenanteil		Flächenanteil			
innen R <sub>si</sub> : <input type="text" value="0,10"/> [m² K/W]		<input type="text" value="15,0%"/>		<input type="text" value=""/>			
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Dicke [mm]	
1. Trolldekt-Akustikplatte	0,250					25	
2. Dämmung	0,040	Holz	0,130			40	
3. Luft	0,217					40	
4. Holz	0,130					180	
5. Dämmung	0,037					125	
6. Abdichtung	0,170					10	
außen R <sub>sa</sub> : <input type="text" value="0,04"/> [m² K/W]				Summe		<input type="text" value="42,0 cm"/>	
entspricht 236,9 mm Dämmung WLG 040		ungestörter U-Wert: <input type="text" value="0,165"/> W/(m²K)		Korrektur ΔU: <input type="text" value="0,000"/> W/(m²K)			
Wärmedurchlasswiderstand, R : <input type="text" value="5,923"/> m² K/W		U-Wert: <input type="text" value="0,165"/> W/(m²K)					

<b>59   59 Flachdach Massivbau</b>							
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung							
Wärmeübergangswiderstand		Flächenanteil		Flächenanteil			
innen R <sub>si</sub> : <input type="text" value="0,10"/> [m² K/W]		<input type="text" value=""/>		<input type="text" value=""/>			
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Dicke [mm]	
1. Beton	2,500					180	
2. Dämmung	0,035					203	
3. Abdichtung	0,170					10	
außen R <sub>sa</sub> : <input type="text" value="0,04"/> [m² K/W]				Summe		<input type="text" value="39,3 cm"/>	
entspricht 237,2 mm Dämmung WLG 040		ungestörter U-Wert: <input type="text" value="0,165"/> W/(m²K)		Korrektur ΔU: <input type="text" value="0,000"/> W/(m²K)			
Wärmedurchlasswiderstand, R : <input type="text" value="5,931"/> m² K/W		U-Wert: <input type="text" value="0,165"/> W/(m²K)					

Fenster

Bauteil-Nr. + Bezeichnung	T <sub>L</sub> mind.	Fläche	Verglasung		Rahmen	Ψ-Werte		Höhe, Breite Rahmen				U <sub>w</sub> -Wert
			U <sub>g</sub> -Wert	g - Wert	U <sub>r</sub> -Wert	Ψ-Glas-rand	Ψ-Einbau	links	rechts	unten	oben	
	[%]		[W/(m²K)]	[%]	[W/(m²K)]	[W/(m·K)]	[W/(m·K)]	[m]	[m]	[m]	[m]	[W/(m²·K)]
80 FE N Flügel	70%	8,0 m²	0,700	50%	1,600	0,060	0,000	0,120	0,120	0,120	0,120	1,2
81 FE O,S,W Flügel	60%	22,3 m²	0,700	34%	1,600	0,060	0,000	0,120	0,120	0,120	0,120	1,2
82 FE Flügel mit Lamelle	10%	24,0 m²	0,700	10%	1,600	0,060	0,000	0,120	0,120	0,120	0,120	1,2
83 Tür N	70%	4,4 m²	1,100	50%	2,000			0,120	0,120	0,120	0,120	1,5
84 Tür S	60%	6,8 m²	1,100	34%	2,000			0,120	0,120	0,120	0,120	1,5
85 Lichtkuppel	40%	1,7 m²	1,500	40%	1,300			0,120	0,120	0,120	0,120	1,6
86 FE N Fest	0%	12,8 m²	0,700	50%	1,600	0,060	0,000	0,050	0,050	0,050	0,050	0,93
87 FE O,S,W Fest	60%	98,6 m²	0,700	50%	1,600	0,060	0,000	0,050	0,050	0,050	0,050	0,93
<b>Summe</b>		<b>178,6 m²</b>						mittlerer U-Wert der ges. verglasten Fläche				1,00

Verbesserte Dämmvarianten

Wand

10 10 Außenwand innen Holz, außen Holz						
Bauteil Nr Bauteil-Bezeichnung						
Wärmeübergangswiderstand		Flächenanteil		Flächenanteil		
innen R <sub>si</sub> : 0,13 [m² K/W]		13,5%				
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Dicke [mm]
1. Fermacell	0,320					10
2. OSB	0,130					15
3. Dämmung	0,032	Holzrahmenwerk 6/2	0,130			220
4. Holzweichfaser	0,040					50
5. Luftschicht						40
6. Holzfassade						40
außen R <sub>sa</sub> : 0,04 [m² K/W]				Summe		37,5 cm
entspricht 260,8 mm Dämmung WLG 040		ungestörter U-Wert: 0,149 W/(m²K)		Korrektur ΔU: 0,000 W/(m²K)		
Wärmedurchlasswiderstand, R : 6,520 m² K/W		U-Wert: 0,149 W/(m²K)				

11 11 Außenwand innen Massiv, außen Massiv						
Bauteil Nr Bauteil-Bezeichnung						
Wärmeübergangswiderstand		Flächenanteil		Flächenanteil		
innen R <sub>si</sub> : 0,13 [m² K/W]						
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Dicke [mm]
1. Putz	1,000					15
2. KS	0,790					175
3. Dämmung	0,035					220
4. Luftschicht	0,108					20
5. Verblender	0,870					115
außen R <sub>sa</sub> : 0,04 [m² K/W]				Summe		54,5 cm
entspricht 262,4 mm Dämmung WLG 040		ungestörter U-Wert: 0,143 W/(m²K)		Korrektur ΔU: 0,006 W/(m²K)		
Wärmedurchlasswiderstand, R : 6,561 m² K/W		U-Wert: 0,149 W/(m²K)				

Dach

58 58 Flachdach Holzleichtbau						
Bauteil Nr Bauteil-Bezeichnung						
Wärmeübergangswiderstand		Flächenanteil		Flächenanteil		
innen R <sub>si</sub> : 0,10 [m² K/W]		15,0%				
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Dicke [mm]
1. Trolldekt-Akustikplatte	0,250					25
2. Dämmung	0,040	Holz	0,130			40
3. Luft	0,217					40
4. Holz	0,130					180
5. Dämmung	0,037					200
6. Abdichtung	0,170					10
außen R <sub>sa</sub> : 0,04 [m² K/W]				Summe		49,5 cm
entspricht 318,0 mm Dämmung WLG 040		ungestörter U-Wert: 0,124 W/(m²K)		Korrektur ΔU: 0,000 W/(m²K)		
Wärmedurchlasswiderstand, R : 7,951 m² K/W		U-Wert: 0,124 W/(m²K)				

59 59 Flachdach Massivbau						
Bauteil Nr Bauteil-Bezeichnung						
Wärmeübergangswiderstand		Flächenanteil		Flächenanteil		
innen R <sub>si</sub> : 0,10 [m² K/W]						
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Dicke [mm]
1. Beton	2,500					180
2. Dämmung	0,035					273
3. Abdichtung	0,170					10
außen R <sub>sa</sub> : 0,04 [m² K/W]				Summe		46,3 cm
entspricht 317,2 mm Dämmung WLG 040		ungestörter U-Wert: 0,124 W/(m²K)		Korrektur ΔU: 0,000 W/(m²K)		
Wärmedurchlasswiderstand, R : 7,931 m² K/W		U-Wert: 0,124 W/(m²K)				

## Fenster

Bauteil-Nr. + Bezeichnung	T <sub>L</sub> mind.	Fläche	Verglasung		Rahmen	Ψ-Werte		Höhe, Breite Rahmen				Fenster
			U <sub>g</sub> - Wert	g - Wert	U <sub>f</sub> - Wert	Ψ- Glas-rand	Ψ- Einbau	links	rechts	unten	oben	U <sub>w</sub> -Wert
	[%]		[W/(m <sup>2</sup> K)]	[%]	[W/(m <sup>2</sup> K)]	[W/(m <sup>2</sup> K)]	[W/(m <sup>2</sup> K)]	[m]	[m]	[m]	[m]	[W/(m <sup>2</sup> K)]
80 FE N Flügel	70%	8,0 m <sup>2</sup>	0,60	50%	1,3	0,040	0,000	0,120	0,120	0,120	0,120	0,98
81 FE O,S,W Flügel	60%	22,3 m <sup>2</sup>	0,60	34%	1,3	0,040	0,000	0,120	0,120	0,120	0,120	0,98
82 FE Flügel mit Lamelle	10%	24,0 m <sup>2</sup>	0,60	10%	1,3	0,040	0,000	0,120	0,120	0,120	0,120	0,98
83 Tür N	70%	4,4 m <sup>2</sup>	1,10	50%	2,0			0,120	0,120	0,120	0,120	1,5
84 Tür S	60%	6,8 m <sup>2</sup>	1,10	34%	2,0			0,120	0,120	0,120	0,120	1,5
85 Lichtkuppel	40%	1,7 m <sup>2</sup>	1,50	40%	1,3			0,120	0,120	0,120	0,120	1,6
86 FE N Fest	0%	12,8 m <sup>2</sup>	0,60	50%	1,3	0,040	0,000	0,050	0,050	0,050	0,050	0,76
87 FE O,S,W Fest	60%	98,6 m <sup>2</sup>	0,60	50%	1,3	0,040	0,000	0,050	0,050	0,050	0,050	0,76
<b>Summe</b>		<b>178,6 m<sup>2</sup></b>						mittlerer U-Wert der ges.verglasten Fläche				0,80

## 6.12 Verzeichnis Abbildungen, Tabellen, Quellen

Abbildung 1: Auszug Ansicht Bekkamp – Klassenhaus Typ 1a (Quelle SBH [SBH]) .....	2
Abbildung 2: Grundsätzliche Bauart der Standorte Bekkamp und Vizelinstraße .....	6
Abbildung 3: Strom – Verlauf der CO <sub>2</sub> -Äquivalentemissionen über den Betrachtungszeitraum.....	7
Abbildung 4: Fernwärme – Verlauf der CO <sub>2</sub> -Äquivalentemissionen über den Betrachtungszeitraum.....	7
Abbildung 5: Ermittlung der Klimakosten pro Tonne CO <sub>2</sub> -Äquivalent bei 1% reine Zeitpräferenzrate .....	8
Abbildung 6: Ermittlung der Klimakosten pro Tonne CO <sub>2</sub> -Äquivalent bei 0% reine Zeitpräferenzrate .....	8
Abbildung 7: Ergebnis Ökobilanzierung globales Treibhauspotenzial (Inkl. A1-A3, B4, C3, C4).....	10
Abbildung 8: Jährliche CO <sub>2</sub> Emissionen (Graue Energie + Heizenergie) nach Bauweise und Energieversorgung, am Beispiel des EG 40 Standards.....	11
Abbildung 9: Jährliche CO <sub>2</sub> Emissionen (Graue Energie + Heizenergie) nach Bauweise und Energieversorgung, am Beispiel des EG 40 Standards, aufgeteilt nach CO <sub>2</sub> Emissionen aus Grauer Energie und Heizenergie WP 3,5: Luft-Wasser-Wärmepumpe, Jahresarbeitszahl 3,5 WP 4,5: Sole- Wasser-Wärmepumpe, Jahresarbeitszahl 4,5 .....	11
Abbildung 10: Jährliche Mehr- und Minderemissionen durch zusätzliche Baumaterialien und Heizenergieeinsparung .....	13
Abbildung 11: Jährliche Mehr- und Minderemissionen durch zusätzliche Baumaterialien und Heizenergieeinsparung .....	13
Abbildung 12: Jährliche Mehr- und Minderemissionen durch zusätzliche Baumaterialien und Heizenergieeinsparung .....	14

Abbildung 13: Erlaubte Mehrkosten zwischen Holzleichtbau und Massivbau durch CO <sub>2</sub> Emission im Betrachtungszeitraum für Dämmstandard EG 40 unterschieden nach niedrigem und hohem CO <sub>2</sub> Schattenpreis .....	15
Abbildung 14: Erlaubte Mehrkosten pro m <sup>2</sup> NRF zwischen Holzleichtbau und Massivbau durch CO <sub>2</sub> Emission im Betrachtungszeitraum für Dämmstandard EG40 unterschieden nach niedrigem und hohem CO <sub>2</sub> Schattenpreis .....	15
Abbildung 15: Erlaubte Mehrkosten zwischen Energieversorgern durch CO <sub>2</sub> Emission im Betrachtungszeitraum für Dämmstandard EG40 unterschieden nach niedrigem und hohem CO <sub>2</sub> Schattenpreis .....	16
Abbildung 16: Erlaubte Mehrkosten beim Holzleichtbau für zusätzliche Wanddämmung durch CO <sub>2</sub> Emission im Betrachtungszeitraum bei unterschieden CO <sub>2</sub> Schattenpreisen und Energieversorgern.....	17
Abbildung 17 Erlaubte Mehrkosten beim Massivbau für zusätzliche Wanddämmung durch CO <sub>2</sub> Emission im Betrachtungszeitraum bei unterschieden CO <sub>2</sub> Schattenpreisen und Energieversorgern.....	17
Abbildung 18: Auszug Schnitt Bekkamp (Quelle SBH) .....	18
Abbildung 19: Auszug Grundriss OG (Quelle SBH) .....	18
Abbildung 20: Ergebnis Ökobilanzierung globales Treibhauspotenzial (Inkl. A1-A3, B4, C3, C4), bezogen auf NRF .....	21
Abbildung 21: Ergebnis Ökobilanzierung globales Treibhauspotenzial (Inkl. A1-A3, B4, C3, C4), bezogen auf NRF, nach Bauteilgruppen aufgeteilt.....	21
Abbildung 22: CO <sub>2</sub> Emissionen im Betrachtungszeitraum (Graue Energie + Heizenergie) nach Bauweise und Energieversorgung, am Beispiel des EG 40 Standards .....	22
Abbildung 23: CO <sub>2</sub> Emissionen im Betrachtungszeitraum (Graue Energie + Heizenergie) nach Bauweise und Energieversorgung, EG 40 Standards, aufgeteilt nach CO <sub>2</sub> Emissionen aus Grauer Energie und Heizenergie. WP 3,5: Luft-Wasser-Wärmepumpe, Jahresarbeitszahl 3,5 WP 4,5: Sole-Wasser-Wärmepumpe, Jahresarbeitszahl 4,5 .....	22
Abbildung 24: Jährliche CO <sub>2</sub> Emissionen nach Bauweise und Dämmvariante, Energieerzeuger Fernwärme .....	23
Abbildung 25: Summe aus Mehremission durch graue Energie und Minderemission durch Heizenergieeinsparung .....	23
Abbildung 26: Jährliche CO <sub>2</sub> Emissionen nach Bauweise und Dämmvariante, Energieerzeuger Wärmepumpe 3,5 .....	24
Abbildung 27: Summe aus Mehremission durch graue Energie und Minderemission durch Heizenergieeinsparung .....	24
Abbildung 28: Jährliche CO <sub>2</sub> Emissionen nach Bauweise und Dämmvariante, Energieerzeuger Wärmepumpe 4,5 .....	25

Abbildung 29: Summe aus Mehremission durch graue Energie und Minderemission durch Heizenergieeinsparung .....	25
Abbildung 30: Gesamte CO <sub>2</sub> Emission über den Betrachtungszeitraum aus Grauer Energie und Verbräuchen .....	26
Abbildung 31: Jährliche CO <sub>2</sub> Emission aus Grauer Energie und Verbräuchen.....	26
Abbildung 32: Jährliche CO <sub>2</sub> Emission aus Grauer Energie.....	26
Abbildung 33: Jährliche CO <sub>2</sub> Emission aus Verbräuchen .....	26
Abbildung 34: Aktueller und zukünftiger Preis der Hamburger Fernwärme .....	27
Abbildung 35: Aktueller und zukünftiger Preis für Strom .....	27
Abbildung 36: Kosten über den Betrachtungszeitraum durch den CO <sub>2</sub> Schattenpreis .....	28
Abbildung 37: Kostenunterschied über den Betrachtungszeitraum resultierend aus dem CO <sub>2</sub> Schattenpreis für die Verbesserung der Dämmung. (pos. Werte = Einsparung durch die Dämmmaßnahme) .....	28
Abbildung 38: Spez. Kostenunterschied über den Betrachtungszeitraum resultierend aus dem CO <sub>2</sub> Schattenpreis für die Verbesserung der Dämmung. (pos. Werte = Einsparung durch die Dämmmaßnahme = mögliche Investitionskosten pro m <sup>2</sup> ).....	29
Abbildung 39: Kostenunterschied über den Betrachtungszeitraum durch den CO <sub>2</sub> Schattenpreis beim Wechsel vom Wärmeerzeuger. (pos. Werte = mögliche Investitionskosten).....	29
Abbildung 40: Zulässige Mehrkosten zwischen Energieversorgern durch CO <sub>2</sub> Emission und Heizkosten im Betrachtungszeitraum für Dämmstandard EG40 unterschieden nach niedrigem und hohem CO <sub>2</sub> Schattenpreis .....	30
Abbildung 41: Zulässige Mehrkosten beim Holzleichtbau für zusätzliche Wanddämmung durch CO <sub>2</sub> Emission und Heizkosten im Betrachtungszeitraum bei unterschieden CO <sub>2</sub> Schattenpreisen und Energieversorgern .....	31
Abbildung 42: Zulässige Mehrkosten beim Massivbau für zusätzliche Wanddämmung durch CO <sub>2</sub> Emission und Heizkosten im Betrachtungszeitraum bei unterschieden CO <sub>2</sub> Schattenpreisen und Energieversorgern .....	31
Abbildung 43: Kosten über den Betrachtungszeitraum durch den CO <sub>2</sub> Schattenpreis und die Heizkosten .....	32
Abbildung 44: Kostenunterschied über den Betrachtungszeitraum resultierend aus dem CO <sub>2</sub> Schattenpreis und den Heizkosten für die Verbesserung der Dämmung. (pos. Werte = Einsparung durch die Dämmmaßnahme).....	32
Abbildung 45: Spez. Kostenunterschied über den Betrachtungszeitraum resultierend aus dem CO <sub>2</sub> Schattenpreis und den Heizkosten für die Verbesserung der Dämmung. (pos. Werte = Einsparung durch die Dämmmaßnahme = mögliche Investitionskosten pro m <sup>2</sup> ).....	32

Abbildung 46: Kostenunterschied über den Betrachtungszeitraum durch den CO <sub>2</sub> Schattenpreis und die Heizkosten beim Wechsel vom Wärmeerzeuger. (pos. Werte = mögliche Investitionskosten).....	33
Abbildung 47: Bauteilbezeichnung, Ansicht Nord-Ost.....	33
Abbildung 48: Bauteilbezeichnung, Ansicht Süd-West .....	34

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Varianten mit Angabe der wesentlichen Unterschiede in der Bauart (HRB: Holzrahmenbau, VMZ: Vormauerziegel).....	6
Tabelle 2: Varianten mit Annahmen zu Kosten und Emissionsfaktoren .....	9
Tabelle 3: Varianten Erhöhung Dämmstandard gegenüber dem Effizienzgebäude 40 .....	12
Tabelle 4: Zusammen stellen der Untervarianten .....	12
Tabelle 5: Angesetzte Bauteilflächen und Massen .....	19
Tabelle 6: Verwendete Materialien Datenbank Ökobaudat .....	20
Tabelle 7: Flächenberechnung .....	33

## Quellen

<b>Öko</b>	ÖKOBAUDAT Online-Datenbank ( <a href="http://www.oekobaudat.de">www.oekobaudat.de</a> )
<b>Öko2</b>	Zukunft Bauen, Forschung für die Praxis   Band 09 ÖKOBAUDAT – Grundlage für die Gebäudeökobilanzierung BBSR
<b>UBA</b>	Umwelt Bundesamt – Methodenkonvention 3.1 zur Ermittlung von Umweltkosten – Kostensätze, Stand 12/2020, Dr. Astrid Matthey, Dr. Björn Bünger
<b>ECK</b>	Eckpunktepapier für die zweite Fortschreibung des Hamburger Klimaplanes, Stand 19.12.2022
<b>AnBÜ</b>	Antrag Bürgerschaft der FHH zum fiktiven CO <sub>2</sub> -Preis (Drucksache 22/6449 17.11.2021)
<b>BUKEA</b>	Emissionsfaktoren für die Berechnung der Reduktion von CO <sub>2</sub> Emissionen, April 2022 Leistelle Klima, BUKEA Hamburg
<b>SBH</b>	Planungsunterlagen Hamburger Klassenhaus, SBH Schulbau Hamburg
<b>BNB</b>	Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)