

Grundlagenexpertise

**Was brauchen „Quartiere für die Zukunft“? –
Good Practice für Wohnquartiere in Bremen**

Themenfeld A – Nachhaltiges, klimaneutrales Bauen

Projektdaten

<i>Projektlaufzeit:</i>	1.4.2021 – 12.01.2022
<i>Auftraggeberin:</i>	Die Senatorin für Klimaschutz, Umwelt, Mobilität, Stadtplanung und Wohnungsbau der Freien Hansestadt Bremen (SKUMS)
<i>Auftragnehmerin:</i>	±e BÜROGEMEINSCHAFT FÜR ENERGIEEFFIZIENTES BAUEN Prof. Dipl.-Ing. Michaela Hoppe Bothmerstr. 21 80634 München in Kooperation mit der School of Architecture Bremen (Hochschule Bremen)
<i>Bearbeitung:</i>	Prof. Dipl.-Ing. Michaela Hoppe Louisa Brüssermann BA
<i>Auswertung und Dokumentation:</i>	Prof. Dipl.-Ing. Michaela Hoppe Associate Professor Dipl.-Ing. Patricia Schneider-Marin
<i>Fertigstellung</i>	15.03.2022

Inhalt

1	Grundlagen	
1.1	Klimaschutzdiskussion in Bremen	1
1.2	Klimaschutz-Modellvorhaben in Bremen	1
1.3	Ziel der Untersuchung	3
1.4	Nachhaltigkeit	4
1.5	Ökologische Bewertung und Einordnung	4
1.6	Projektbeschreibung	6
	Gartenstadt Werdersee	6
	Sozial-ökologisches Modellquartier Ellener Hof	10
	Weitere Projekte	10
1.7	Vorgehensweise	14
	Untersuchungszeitpunkt	14
	Ergebnisse	15
2	Lebenszyklusanalyse	16
2.1	Ökobilanzierung von Gebäuden	17
2.2	Systemgrenzen und Randbedingungen	19
2.3	Berechnungsmethode und Datengrundlagen	19
2.4	Ergebnisse - im Vergleich	20
	Graue Energie	20
	Treibhauspotenzial	22
	Einordnung gemäß DGNB und NaWoh	22
2.5	Ergebnisse - kumuliert	24
	Graue Energie	24
	Treibhauspotenzial	26
2.6	Kommentar zu den Ergebnissen	29
	Graue Energie	29
	Treibhauspotenzial	29
3	Schlüsse	32
	Nachweise	34
	Literatur	35
	Abbildungen	37
	Abkürzungen	39

1 Grundlagen

Europa soll bis 2050 der erste Kontinent werden, der nur noch unvermeidbare Treibhausgase ausstößt und diese wenigen Emissionen vollständig ausgleicht [10]. Damit steht auch Bremen vor der stadtentwicklungsplanerischen Herausforderung, die Stadt so schnell als möglich klimaneutral zu machen.

1.1 Klimaschutzdiskussion in Bremen

Zur Bewältigung dieser Jahrhundertaufgabe hat die Bremische Bürgerschaft Anfang 2020 eine Enquetekommission eingesetzt, die den Auftrag hat eine „Klimaschutzstrategie für das Land Bremen“ zu entwickeln. Dazu gehören u.a. konkrete Vorschläge, wie Bremen die politischen Ziele einhalten kann. Der im Dezember 2021 veröffentlichte Abschlussbericht [07] dokumentiert für den Bereich „Gebäude, Wohnen, Stadtentwicklung, Klimaanpassung“ drei gleichgewichtige Größen zur Minderung der Treibhausgasemissionen in diesem Sektor:

- den spezifischen Energiebedarf der Liegenschaft,
- den Dekarbonisierungsgrad der Energieversorgung und
- die Flächeninanspruchnahme der Nutzer*innen.

Neben einer massiven Steigerung der Sanierungsrate werden explizit Anforderungen an Neubauten genannt, die angesichts der hohen Sektorenträgheit (so betragen Erneuerungszyklen im Gebäudebereich ca. 30- 40 Jahre) ab sofort maximal klimafreundlich konzipiert werden müssen, inkl. der konstruktionsbedingten Emissionen. Diese Umweltwirkungen (Primärenergieaufwand, Treibhausgasemissionen) gewinnen mit zunehmender Energieeffizienz an Bedeutung [02].

Dazu kommt die Schaffung vielfältiger Wohnformen und flexibler Grundrisse, die eine effizienten Flächennutzung ermöglichen und dazu beitragen den stetig steigenden Pro-Kopf-Wohnflächenbedarf einzudämmen [07]. Die städtebaulich ebenso bedeutenden mobilitätsverursachten Treibhausgasemissionen [01] werden im Sektor Mobilität und Verkehr ergänzend betrachtet.

1.2 Klimaschutz-Modellvorhaben in Bremen

Einige aktuelle Quartiersprojekte in Bremen greifen den gesetzlichen Anforderungen ambitioniert voraus und definieren ausdrücklich dem Klimaschutz verpflichtete Ansätze. Zu nennen sind unter Anderem die Klimaschutzsiedlungen „Tauwerkquartier“, „Gartenstadt Werdersee“ und „Seeland-Quartier“ [04] sowie das sozial-ökologische Modellquartier „Ellener Hof“ [06]. Der vorliegende Bericht greift exemplarisch

Einzelgebäude in der „Gartenstadt Werdersee“ sowie im „Ellener Hof“ heraus. Beide Initiativen versuchen einen Beitrag zur Senkung der gebäudeverursachten Treibhausgasemissionen zu leisten, verfolgen jedoch über eine hohe Energieeffizienz hinaus zwei eher unterschiedliche Ansätze:

- a. Die **Gartenstadt Werdersee** entspricht den Anforderungen an eine „**Klimaschutzsiedlung**“, einem von der Bremer Klimaschutzagentur energiekonsens entwickelten Label [03]. Mit diesem unabhängigen Siegel können Siedlungen ausgezeichnet werden deren **CO₂-Emissionen aus der Wärmeversorgung maximal 7,5 kg CO₂-Äquivalent pro Quadratmeter und Jahr** betragen. Zusätzlich müssen Grenzwerte zu Heizwärmebedarf, Transmissionswärmeverlust und Gebäudedichtheit, Transmissionswärmeverlust und Gebäudedichtheit eingehalten werden, die Gebäude „PV ready“ sein sowie weitere Maßnahmen für das Quartier umgesetzt werden. Graue Treibhausgasemissionen spielen keine Rolle, es gibt aber die Empfehlung diese in der Planung zu berücksichtigen [04].
- b. Beim sozial-ökologischen Modellquartier **Ellener Hof** wird keine Obergrenze für die CO₂-Emissionen aus der Wärmeversorgung definiert, jedoch empfohlen gemäß KfW 40 Standard zu bauen [05]. Als identitätsstiftendes Merkmal des neuen Quartiers soll Holz dienen. Vorgegeben ist Holz-Hybrid-Bauweise mit einem **Holzanteil von mind. 70% für die Primärkonstruktion** bezogen auf das Volumen [23]. Damit soll einen Beitrag dazu geleistet werden den ökologischen Fußabdruck, der bei der Errichtung der Gebäude entsteht, zu verkleinern. Im Gestaltungshandbuch für das Quartier [24] werden die CO₂-Einsparung gegenüber konventioneller Bauweisen mit ca. 50% beziffert.

Verglichen werden also zwei sehr unterschiedliche Ansätze ökologisch verantwortlichen Bauens. Einmal steht mit der **Begrenzung der Emissionen aus der Wärmeversorgung die Betriebsphase** der Gebäude im Fokus der Anforderungen, einmal die **Umweltwirkungen aus der Herstellung** der Gebäude.

1.3 Ziel der Untersuchung

Mit der vorliegenden Untersuchung soll die Nachhaltigkeit der Projekte über deren gesamten Lebenszyklus näher bestimmt und untersucht werden. Dies geschieht mit Hilfe einer Lebenszyklusbetrachtung, die nicht nur den zukünftigen Betrieb sondern auch Bauprozess (Herstellung und Errichtung) sowie Rückbau (End of Life) mit einbezieht. Im Mittelpunkt der Untersuchung stehen ökologische Aspekte: In einer Gesamtenergiebilanz wird neben dem berechneten Energiebedarf für die thermische Konditionierung des Gebäudes (Heizwärme und Trinkwarmwasser) auch die für die Errichtung des Gebäudes benötigte *graue Energie* (siehe Seitenspalte) ausgewiesen, genauso wie die voraussichtlich aufzuwendende Energie für den Rückbau am End of Life (EoL) des Gebäudes.

An diesen Werten kann man beispielsweise erkennen, ob sich der ambitionierte Energiestandard einer Klimaschutzsiedlung auch über den Lebenszyklus des Gebäudes positiv darstellt. Oder ob die Errichtung der Gebäude einen im Vergleich zu Standardgebäuden erhöhten Energieaufwand erfordert, der durch die Energieeinsparungen im Betrieb nicht ausgeglichen werden kann.

Die vorliegende Untersuchung konzentriert sich auf den nicht erneuerbaren Anteil der Primärenergie (graue Energie), sowie die über den Gebäudelebenszyklus verursachten Treibhausgasemissionen.

Graue Energie ist die gesamte Menge an nicht erneuerbarer Primärenergie, die für alle vorgelagerten Prozesse, vom Rohstoffabbau über Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse und für die Entsorgung, inkl. der dazu notwendigen Transporte und Hilfsmittel, erforderlich ist. Sie wird auch als kumulierter, nicht erneuerbarer Energieaufwand bezeichnet [08].

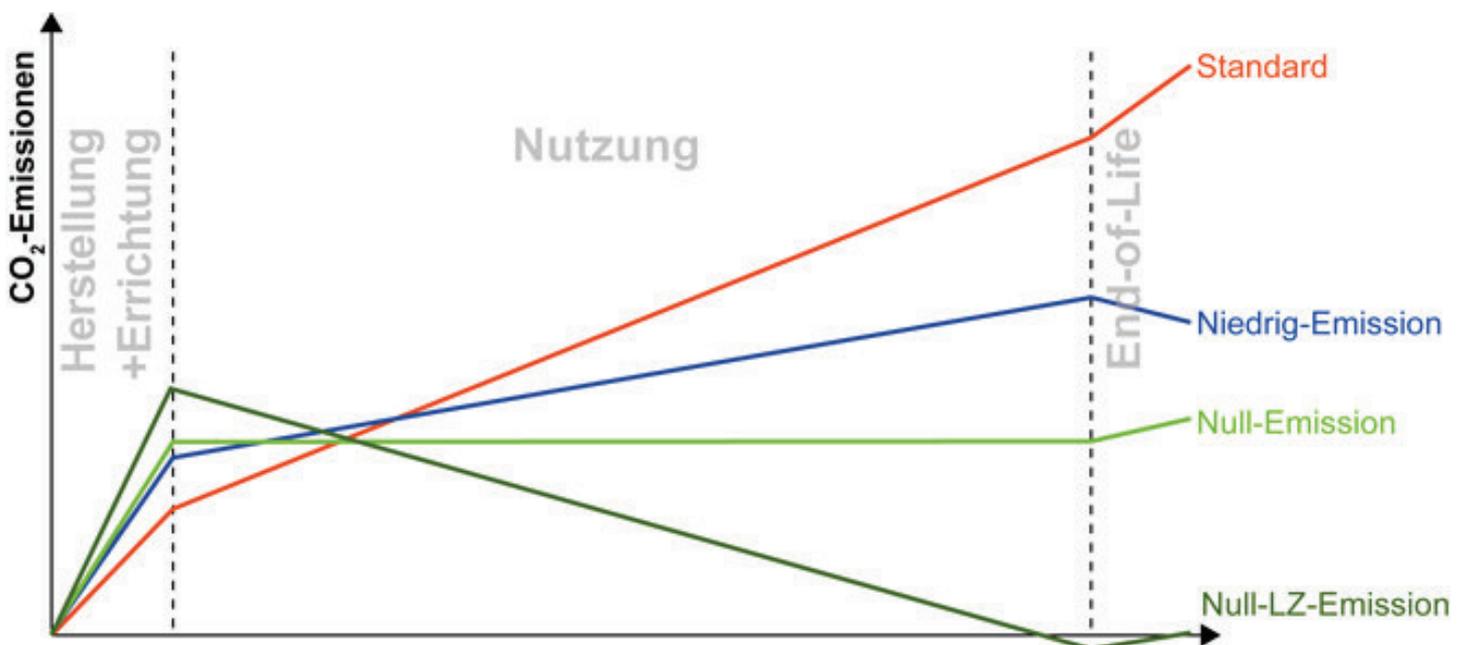


Abb. 1: Kumulierter, nicht erneuerbarer Energieaufwand während des Lebenszyklus eines Wohngebäudes. Bildquelle: [19]

1.4 Nachhaltigkeit

Der Begriff Nachhaltigkeit kommt ursprünglich aus der Forstwirtschaft. Der Oberberghauptmann Hans Carl von Carlowitz (1645-1714) verwendet ihn erstmals schriftlich in seiner 1713 erschienen „Sylvicultura oeconomica [...]“. Die heute gängigste Definition entstammt dem von der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung 1987 verfasstem sog. „Brundtland-Bericht“ (siehe Seitenspalte). Das darin definierte Konzept einer ökonomischen und ökologischen Generationengerechtigkeit findet heute breiten gesellschaftlichen und politischen Konsens. Darauf basiert auch das sog. *Drei-Säulen-Modell*, das mit den drei gleichwertig nebeneinander stehenden Dimensionen einer ökologischen, einer ökonomischen und einer sozio-kulturellen Qualität die Basis verschiedener im Bauwesen üblicher Zertifizierungssysteme bildet. Aus der Erkenntnis der Problematik dieser Gleichwertigkeit entwickelte sich die Theorie der „starken Nachhaltigkeit“, ein Modell, das für die ökonomischen Qualitäten *Effizienz*, für ökologische Qualitäten *Resilienz* und für sozio-kulturellen Qualitäten *Suffizienz* als Leitlinie definiert.

Dauerhafte und somit nachhaltige Entwicklung ist Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können [26].

Das Schweizer energie-politische Modell der 2000-Watt-Gesellschaft greift diese Grundsätze auf:

- a. **Effizienz:** Weniger Energie für denselben Zweck
- b. **Konsistenz (Resilienz):** Erneuerbare Energieträger anstelle von nicht erneuerbaren!
- c. **Suffizienz:** Das richtige Maß - für mehr Lebensqualität!

Kernpunkt der 2000-Watt-Gesellschaft ist die jedem Menschen zur Verfügung stehende Leistung von 2000 Watt als Grundlage einer globalen Gerechtigkeit. Dieses „Leistungsbudget“ umfasst sämtliche energierelevanten Lebensbereiche: Ernährung, Mobilität, Wohnen, Infrastruktur und Konsum. Dabei ist im Falle von Gebäuden der gesamte Lebenszyklus einzubeziehen, wie es auch in der vorliegenden Untersuchung geschieht.

1.5 Ökologische Bewertung und Einordnung

Um die Nachhaltigkeit von Gebäuden bewerten zu können wurden in den letzten Jahrzehnten weltweit verschiedene Zertifizierungssysteme entwickelt, die teilweise auch als Planungsinstrument genutzt werden können. Die in Deutschland entwickelten Systeme BNB (Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen) und DGNB (Deutsches Gütesiegel

Nachhaltiges Bauen) fußen auf den drei Nachhaltigkeitssäulen Ökologie, Ökonomie und Soziokulturelles, die gleichgewichtet in die Bewertung mit einfließen und um die Querschnittsthemen Standort-, Prozess- und technische Qualität ergänzt werden.

Für die vorliegende Untersuchung wird vorrangig die ökologische Qualität der Nachhaltigkeit, mit Fokus auf Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes, betrachtet. Denn: je weniger Energie ein Gebäude für den Betrieb benötigt, desto deutlicher treten der Energiebedarf für seine Erstellung und seinen Rückbau in den Vordergrund. Bei einem Nullenergiehaus beispielsweise, dessen Betriebsenergiebedarf komplett aus erneuerbaren Energien gedeckt wird, wird Energie ausschließlich für die Herstellung und, nach dem End of Life, für den Rückbau benötigt.

Zur besseren Einordnung der Untersuchungsergebnisse werden hier die Zielwerte aus zwei verschiedenen Gebäudezertifizierungssystemen herangezogen, deren Bewertung der ökologischen Gebäudequalität auf einer Lebenszyklusanalyse beruht. Für Wohnbauten sind dies in Deutschland a) das Deutsche Gütesiegel für Nachhaltiges Bauen (DGNB) und b) das Qualitätssiegel Nachhaltiger Wohnungsbau (NaWoh) für Mehrfamilienhäuser. Im DGNB-System ist sowohl für die Konstruktion (Herstellung, Instandhaltung und Verwertung/Entsorgung) als auch die Nutzung jeweils ein Referenzwert definiert. Der Referenzwert für die Nutzung hängt dabei von den Ergebnissen der Energieberechnung des Referenzgebäudes ab, so dass dieser Aspekt hier nicht untersucht werden kann. Im NaWoh-System wird ein gemeinsamer Zielwert für Konstruktion (Herstellung und Entsorgung) und Nutzung ausgewiesen. Nach NaWoh ist es damit möglich mit effizienter Herstellung eine ineffiziente Nutzung auszugleichen bzw. umgekehrt.

Wie die untersuchten Quartiere in Bezug auf die in Tab. 1 aufgeführten Grenzwerten abschneiden, wird in Kapitel 2 bewertet.

	PE ne [kWh / m ² NGF *a]	Anteil PE e [% von PE gesamt]	GWP [kg CO ₂ -Äqu. / m ² NGF *a]
DGNB Wohngebäude (Version 2018) (Grenz- / Referenz- / Zielwert / übererfüllt) nur Konstruktion	47,8 / 34,2 / 23,9 / 18,8	5 / 15 / 30 / 37,5	13,2 / 9,4 / 6,6 / 5,2
NaWoh (Version 3.1) (erfüllt / übererfüllt / deutlich übererfüllt) Konstruktion und Nutzung	105 / 75 / 55	7,5 / 15 / 25	24 / 17 / 12

Tab. 1: Anforderungen an erneuerbaren und nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf (PE e bzw. PE ne) und das Treibhauspotenzial (GWP). Der Vergleich der systembedingten Anforderungen dient der späteren Einschätzung für die beiden untersuchten Quartiere und wird in Kapitel 2 erläutert

1.6 Projektbeschreibung

Gartenstadt Werdersee

Südlich des Werdersees entsteht im Bremer Stadtteil Huckelriede derzeit die Gartenstadt Werdersee. Das Quartier wird als Zusammenschluss verschiedener Investoren als Klimaschutzsiedlung entwickelt und besteht sowohl aus Reihen- als auch Mehrfamilienhäusern in konventioneller Massivbauweise. Für die vorliegende Untersuchung wurden die folgenden Projekte ausgewählt:

- **Baufeld L1:** Das Mehrfamilienhaus befindet sich im südlichen Bereich des Quartiers, unmittelbar an der Habenhauser Landstraße gelegen. Es handelt sich um ein Mehrfamilienhaus mit Tiefgarage und Gewerbeeinheiten im Erdgeschoss mit kerngedämmten Außenwänden. Für die Herstellung der Klinker für das Sichtmauerwerk kam der Aushub der eigenen Baugrube zum Einsatz.
- **Baufeld F1:** Das Mehrfamilienhaus besteht aus drei Einzelgebäuden mit gemeinsamer Tiefgarage und befindet sich im nördlichen Bereich des Quartiers, in unmittelbarer Nähe des Deiches. Für die Außenwände kam zum Teil Wärmedämmverbundsystem (WDVS), zum Teil Kerndämmung mit Klinkervorsatzschale zum Einsatz. Untersucht wurde exemplarisch für das Ensemble Haus 1. Die Tiefgarage wurde proportional zur Wohnfläche umgerechnet.
- **Baufelder WEG 1 und 2:** Stellvertretend für die Reihenhäuser in Massivbauweise mit verputztem bzw. mit Riemchen beklebtem Wärmedämmverbundsystem (WDVS) wurde Haustyp Eek sowohl als Reihenend- als auch als Reihemittelhaus untersucht.

Die Energieversorgung aller Gebäude erfolgt über ein gemeinsames Blockheizkraftwerk (BHKW) das mit Erdgas (37%) und Biomethan (29%) betrieben wird. Die fehlenden 34% werden durch einen Erdgas-Kessel bereit gestellt.



Abb. 2: Gartenstadt Werdersee, Lageplan (ohne Maßstab)

Datenblatt Gartenstadt Werdersee

Reihenhaus Typ Eek

<i>Bauherr</i>	<i>Interhomes</i>
<i>Lage</i>	<i>Baufelder WEG 1 und 2</i>
<i>Nettogrundfläche (NGF)</i>	<i>140,41 m² (REH) / 136,25 m² (RMH) (02)</i>
<i>Endenergiebedarf</i>	<i>Heizung: 13,14 kWh/m²a (REH) / 6,14 kWh/m²a (RMH) (01) Trinkwarmwasser: 29,2 kWh/m²a (01)</i>
<i>Konstruktion</i>	<i>Bodenplatte: Stahlbeton, XPS-Dämmung Außenwände: Kalksandstein mit WDVS (MW, Kunstharzputz oder Riemchen) Fenster: Kunststoff, 3-fach Verglasung Deckenplatten: Stahlbeton, TSD EPS Steildach: Holzsparren, ZSD MW, Ziegeleindeckung</i>
<i>Unterlagen</i>	<i>(01) Wärmeschutznachweis vom 25.12.2019 (S1 I Stein-Gutachter & Ingenieure PartG mbB) (02) Siegel Klimaschutzsiedlung WEG 1 und 2 vom 30.12.2018 (BEKS Energieeffizienz GmbH) (03) Ausführungspläne M 1:50 vom 10.1.2019 (PROJEKTGESELLSCHAFT GARTENSTADT WERDERSEE mbH & Co.KG)</i>

Mehrfamilien- und Geschäftshaus L1

<i>Bauherr</i>	<i>Gewoba</i>
<i>Lage</i>	<i>Baufeld L1</i>
<i>Nettogrundfläche (NGF)</i>	<i>Tiefgarage: 915,85 m² (keine Angaben in den Planunterlagen, aus BGF ermittelt) Gewerbe: 552 m² (01) Wohnen: 2.710 m² (02) Gesamt: 4.177,85 m²</i>
<i>Endenergiebedarf</i>	<i>Gewerbe: 141,10 kWh/m²a (01) Wohnen: 56,60 kWh/m²a (02)</i>
<i>Konstruktion</i>	<i>Bodenplatte, Tiefgarage: Stahlbeton Sockel: Stahlbeton mit WDVS (MW, Kunstharzputz) Außenwände: Mauerwerk, Kerndämmung MW, Verblendmauerwerk Fenster: Kunststoff, 3-fach Verglasung Innenwände: Stb., MW, GK Deckenplatten: Stahlbeton, TSD EPS Flachdach: Stahlbeton, WD EPS, Begrünung/Kies</i>

<i>Unterlagen</i>	<p>(01) Energieausweis NWG vom 15.04.2021</p> <p>(02) Energieausweis Wohnen vom 08.04.2021</p> <p>(03) Berechnungen GFZ, BRI, BMZ, Stand Bauantrag vom 22.5.2018</p> <p>(04) Wohnflächenberechnung, Stand Bauantrag vom 11.6.2018</p> <p>(05) Massenermittlung aus Kostenzusammenstellung vom 5.6.2018, florian kriegler architekten</p> <p>(06) Mail mit ergänzenden Angaben vom 15.11.2021, J. Klingenhöfer, florian kriegler architekten</p> <p>(07) Fensterliste, Aufstellung NGF vom 15.11.2021, J. Klingenhöfer, florian kriegler architekten</p>
-------------------	---

Mehrfamilienhaus F1, Haus 1

<i>Bauherr</i>	<i>Interhomes</i>
<i>Lage</i>	<i>Baufeld F1</i>
<i>Nettogrundfläche (NGF)</i>	<p>1.809,8 m² (Haus 1) aus Wärmeschutznachweis</p> <p>Tiefgarage NGF: 2.415,46 m² (aus Planunterlagen (02) ermittelt) / prozentualer Anteil an Haus 1: 891,17 m² (eigene Berechnung)</p> <p>Gesamt: 2.700,97 m²</p>
<i>Endenergiebedarf (Q_e)</i>	<p>Heizung: 8,66 kWh/m²a</p> <p>Trinkwarmwasser 3,22 + Hilfsenergie 0,38 kWh/m²a</p> <p>Lüftung 30,03 kWh/m²a + Hilfsenergie 2,60 kWh/m²a</p>
<i>Konstruktion</i>	<p>Bodenplatte, Tiefgarage: Stahlbeton, MW</p> <p>Außenwände: KS mit Kerndämmung MW, Verblendmauerwerk, z.T. WDVS (MW, Kunstharzputz)</p> <p>Fenster: Kunststoff, 3-fach Verglasung</p> <p>Innenwände: KS, MW, GK</p> <p>Deckenplatten: Stahlbeton, TSD MW</p> <p>Flachdach: Stahlbeton, WD XPS/PIR, Begrünung/Kies</p>
<i>Unterlagen</i>	<p>(01) Wärmeschutznachweis Haus 1-3 vom 22.7.2020 (S1 I Stein-Gutachter & Ingenieure PartG mbB)</p> <p>(02) Genehmigungspläne M 1:100 (Hilmes Lamprecht Architekten)</p> <p>(03) Leitdetails vom 27.11.2020 (Hilmes Lamprecht Architekten)</p> <p>(04) Ausführungsplanung M1:50 vom 7.12.2021 (dt+p Architekten und Ingenieure GmbH)</p>

Sozial-ökologisches Modellquartier Ellener Hof

Im Bremer Stadtteil Osterholz entwickelt die Bremer Heimstiftung auf einem Gelände von ca. 10 ha Fläche ein sozial-ökologisches Modellquartier mit ca. 500 neuen Wohneinheiten. Diese werden in Holz-Hybrid-Bauweise und nach KfW 40 Standard gebaut. Für die vorliegende Untersuchung werden exemplarisch zwei dort errichtete bzw. geplante Gebäude untersucht:

- Beim Projekt Fairmieten handelt es sich um ein genossenschaftliches Wohnprojekt, das in klassischer Holz-Hybrid-Bauweise errichtet werden soll.
- Das Gebäude H1 besteht aus insgesamt 3 Bauteilen, zwei Wohngebäuden (Haus 1 und 2) und einem Fahrradschuppen. Die Wohngebäude werden durch die österreichische Firma Lukas Lang mit dem firmenintern entwickelten Bausystem aus Holz- und Stahlstützen und -trägern mit Stahlknotenpunkten errichtet. Dem Skelettbau mit einem Grundraster von 1,40 x 1,40 m wird eine Elementfassade vorgesetzt.

Die Wärmeversorgung im Ellener Hof erfolgt laut der Pressemitteilung der Stadtwerke Bremen (swb) vom 12.7.2019 zu 27% über ein quartiers-eigenes biomethanbetriebenes BHKW, die restlichen 73% werden durch die Fernwärme der swb gedeckt [22]. Der swb-Fernwärmemix beruht gemäß Gutachten des Hamburg Instituts aktuell auf 56% Steinkohle, 19% Müll, 18% Erdgas, 5% Biomasse und 2% Heizöl wie in Abb. 4 dargestellt. Eine Umstellung der Fernwärmeerzeugung auf umweltfreundlichere Energieträger ist geplant [15], siehe auch Abb. 5 auf Seite 14.

Weitere Projekte

Die Projekte Buntes Haus Hardenbergstraße und Eislebenerstraße - bei beiden Projekten handelt es sich um eine Umnutzung und energetische Ertüchtigung bestehender Gebäude - konnten für die vorliegende Untersuchung leider nicht miterfasst werden, da die Unterlagen von Seiten des Auftraggebers bzw. der verantwortlichen Planungsbüros nicht bzw. zu spät zur Verfügung gestellt wurden. Eventuell ergibt sich die Möglichkeit zumindest eines der beiden Projekte in Kooperation mit der Hochschule Bremen noch einzuarbeiten. Das wäre insofern sehr spannend als es sich beim Bauen im Bestand um eine höchst wirksame Methode handelt konstruktionsgebundene Treibhausgasemissionen und graue Energie zu vermeiden.

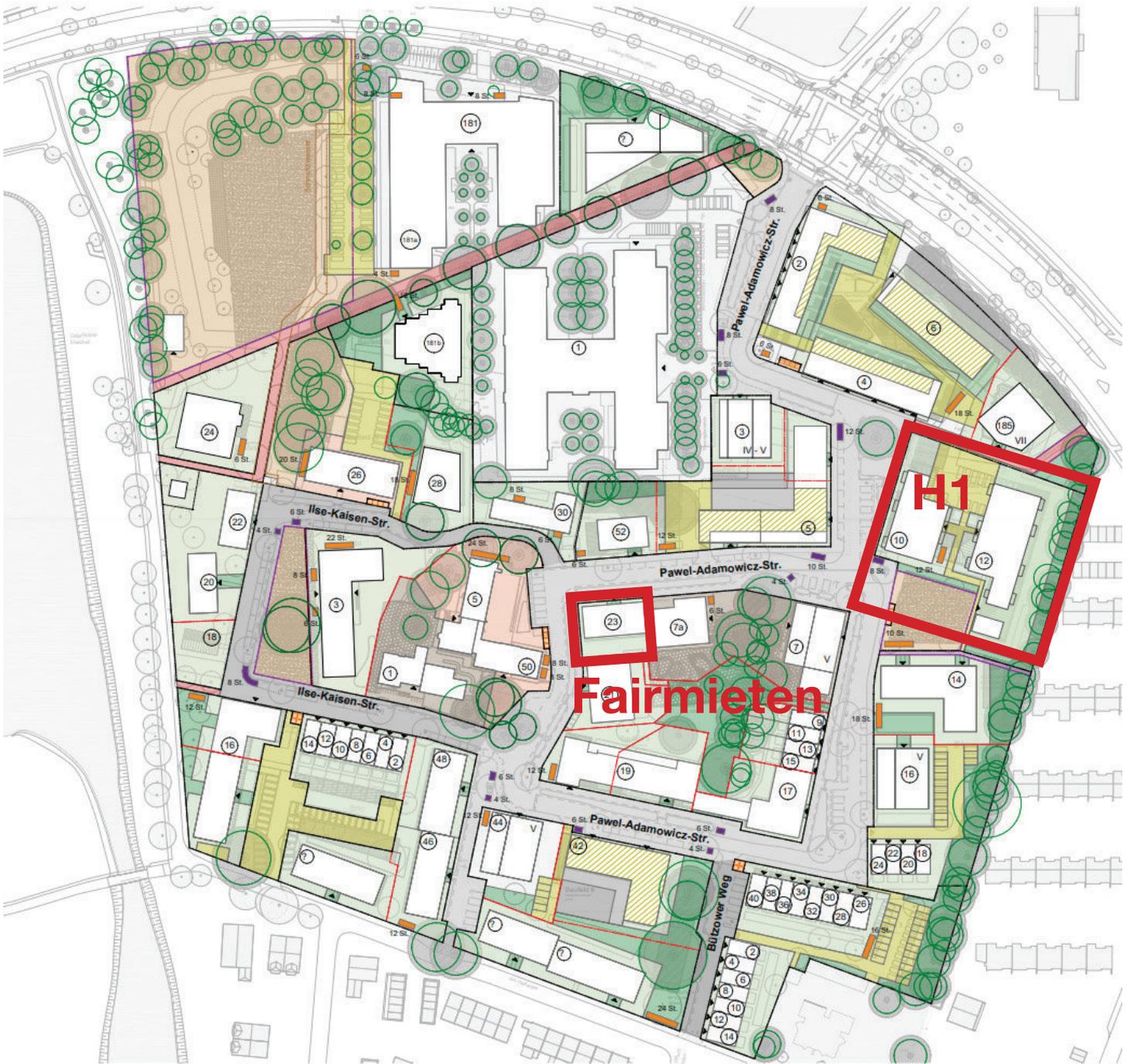


Abb. 3: Ellerner Hof, Lageplan ohne Maßstab

Datenblatt Ellener Hof

Mehrfamilienhaus Fairwohnen

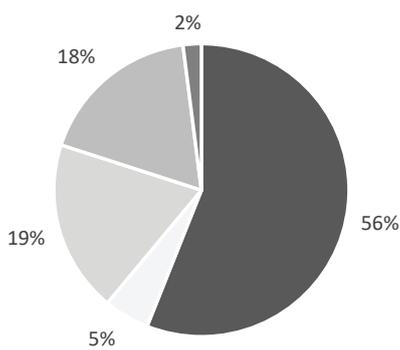
<i>Bauherr</i>	<i>Fairmietergemeinschaft GmbH & Co. KG</i>
<i>Lage</i>	<i>Baufeld 48</i>
<i>Nettogrundfläche (NGF)</i>	<i>1071,9 m² (08)</i>
<i>Endenergiebedarf (Q_e)</i>	<i>Heizung: 20,06 kWh/m²a (08)</i> <i>Trinkwarmwasser 19,8 kWh/m²a (08)</i>
<i>Konstruktion</i>	<i>Bodenplatte, Keller: Stahlbeton, XPS</i> <i>Außenwände: Holzständer, MW, Holzbekleidung</i> <i>Fenster: Holz-Alu-Rahmen, 3-fach Verglasung</i> <i>Innenwände: Brettsperrholz; Holzständer, MW, GK</i> <i>Deckenplatten: Brettsperrholz, MW; z.T. Stb. MW</i> <i>Flachdach: Brettsperrholz, PIR, Begrünung/Kies</i>
<i>Unterlagen</i>	<i>(01) Bauteilkatalog vom 29.01.2021</i> <i>(Terhalle Holzbau GmbH)</i> <i>(02) Ausführungspläne Grundrisse M 1:50 vom</i> <i>29.04.2021 (PLANGRAD° GmbH)</i> <i>(03) Ausführungspläne Schnitte M 1:50 vom</i> <i>28.04.2021 (PLANGRAD° GmbH)</i> <i>(04) Ausführungspläne Ansichten M 1:100 vom</i> <i>24.04.2021 (PLANGRAD° GmbH)</i> <i>(05) Detailschnitt Treppenhaus M 1:20 vom</i> <i>21.04.2021 (PLANGRAD° GmbH)</i> <i>(06) Tjiko Badmodul Konzeptplan vom</i> <i>01.04.2021 (PLANGRAD° GmbH)</i> <i>(07) Wohnflächenberechnung vom</i> <i>15.01.2021 (PLANGRAD° GmbH)</i> <i>(08) Energieeinsparnachweis (Ingenieurbüro Müller)</i>

Mehrfamilienhaus H1

<i>Bauherr</i>	<i>Gewoba</i>
<i>Lage</i>	<i>Pawel-Adamowicz-Straße 10 + 12 (Flurstück 2/18)</i>
<i>Nettogrundfläche (NGF)</i>	<i>1.092,3 m² (02)</i>
<i>Endenergiebedarf</i>	<i>52,30 kWh/m²a (03)</i>

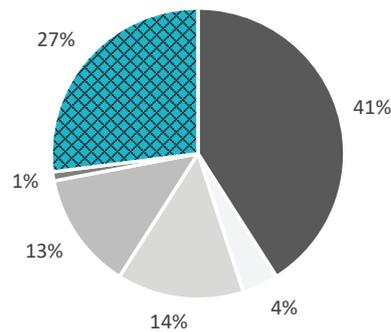
Konstruktion	<p>Bodenplatte: Stahlbeton, Schaumglasschotter, TSD MW</p> <p>Außenwände: Fertigteilelemente Holzständer, MW, Holzbekleidung; z.T. Stb., MW, Holzbekleidung</p> <p>Fenster: Holz-Alu-Rahmen, 3-fach Verglasung</p> <p>Stützen: Vollholz</p> <p>Innenwände: Holzständer, MW; z.T. Stb., MW, Holzbekleidung</p> <p>Deckenplatten: Fertigteilelemente Massivholz, MW</p> <p>Flachdach: Fertigteilelement Massivholz, MW/ Holzfaserdämmung, Begrünung/Kies</p>
Unterlagen	<p>(09) Detailplanung Vorabzug vom 3.2.2021</p> <p>(10) Flächenaufstellung 2021-07-15-Holzkubatur Ermittlung Gewoba – PLUSMINUS Volumen Gebäudeteile V vom 16.7.2021 (Lukas Lang Building Technologies)</p> <p>(11) Energieeinsparnachweis Haus 1 vom 30.4.2021 (bauart Beratende Ingenieure)</p> <p>(12) Pressemitteilung der swb vom 12.7.2019</p> <p>(13) Baubeschreibung Bauantrag vom 18.12.2020 (WGA ZT GmbH)</p>

Fernwärme SWB



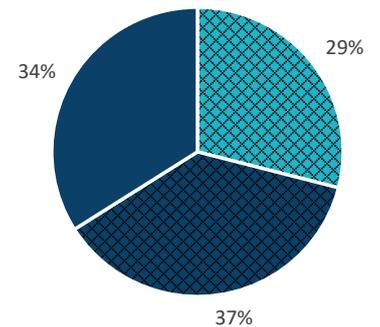
- Steinkohle
- Biomasse
- Müll
- Erdgas
- Heizöl

Ellener Hof



- Steinkohle
- Biomasse
- Müll
- Erdgas
- Heizöl
- Biomethan-BHKW

Gartenstadt Werdersee



- Biomethan-BHKW
- Erdgas-BHKW
- Erdgas-Kessel

Abb. 4: Zugrundegelegte Zusammensetzung der Wärmeversorgung in den betrachteten Quartieren

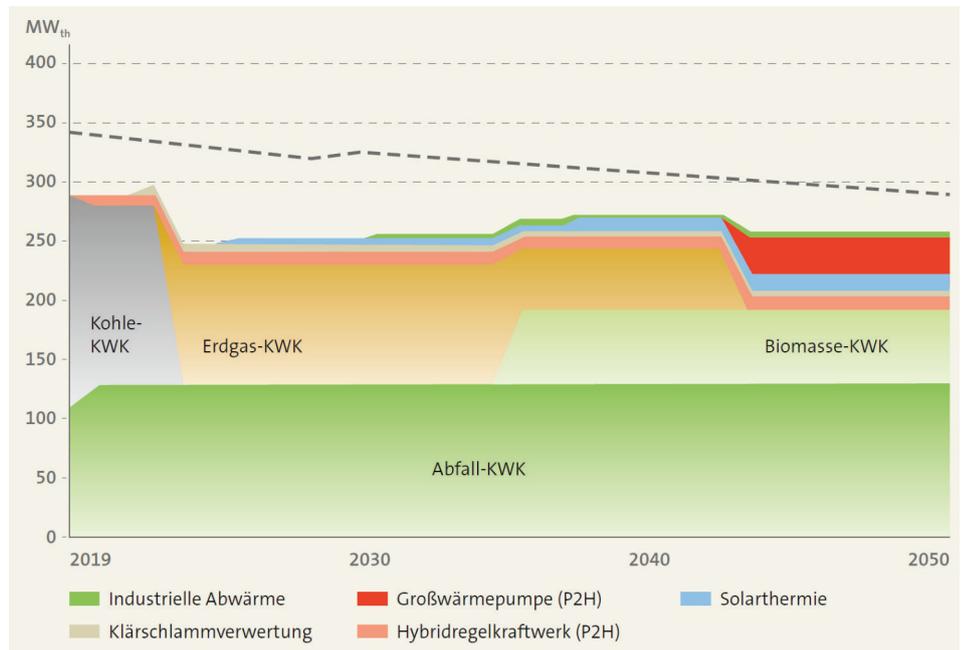


Abb. 5: Möglicher Zukunftspfad für die Fernwärmeversorgung in Bremen, gemäß swb-Broschüre „Der Weg der Wärme in die Zukunft“ aus dem Frühjahr 2020 [21]

1.7 Vorgehensweise

Untersuchungszeitpunkt

Die vorliegende Expertise wurde erst nach Abschluss der Werkplanung bzw. Realisierung der einzelnen Gebäude beauftragt. Sie beziffert also lediglich den Status Quo des Primärenergieinhalts und des Treibhauspotenzials der Planung bzw. des realisierten Gebäudes, eine (planungsbegleitende) Optimierung ist zu diesem Zeitpunkt nicht mehr möglich.

Methodik und Datengrundlage

Die Berechnungen beruhen auf den in den Projektsteckbriefen aufgeführten Kennwerten (s.o.). Bei Gebäuden die aus mehr als einem Gebäudeteil bestehen wurde jeweils ein Gebäudeteil exemplarisch herausgegriffen. Evtl. vorhandene Tiefgaragen wurden proportional zur Wohnfläche auf die einzelnen Gebäudeteile aufgeteilt.

Die Kennwerte für den Endenergiebedarf für Heizung und Trinkwarmwasser sind den jeweiligen Energieausweisen (siehe Tab. 2) entnommen.

Die Berechnungen wurden mit dem vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) kostenfrei zur Verfügung gestellten LCA-Tool Bauteileditor (eLCA v0.9.7) erstellt.

Die zugrundeliegende Baustoff-Datenbank ist die zu Bearbeitungsbeginn aktuelle Version der Ökobaudat 2020 II.

Ergebnisse

Aus den Berechnungsergebnissen lässt sich ablesen, wann im Lebenszyklus des untersuchten Gebäudes und durch welche Gebäudeteile welche Mengen an Energie verbraucht bzw. CO₂ emittiert wurde und wird. Die Auswertung der Daten beschränkt sich, wie unter 1.5 erläutert, auf die Ermittlung der nicht erneuerbaren Primärenergie und der Treibhausgasemissionen über den gesamten Lebenszyklus. Er werden folgende Lebenszyklusphasen berücksichtigt:

- A1-3 Herstellung,
- B4 Instandsetzung / B6 Betrieb (Heizung, TWW),
- C3 Abfallverwertung / C4 Entsorgung und
- D Recyclingpotential

Endenergiebedarf [kWh/m²a]	Gartenstadt Werdersee					Ellener Hof	
	REH Eek	RMH Eek	MFH L1		MFH F1	Fairmieten	MFH H1
			Wohnen	Gewerbe			
Heizung							
- Wärme	11	4		120,4	8,66	20,6	
- Hilfsenergie	2,14	2,14		0,5	0	0,1	
Lüftung							
- Wärme				0	30,03		
- Hilfsenergie				4,3	2,6		
TWW							
- Wärme	28	28		0	3,22	19,8	
- Hilfsenergie	1,2	1,2		0	0,38	0,1	
Summe	42,34	35,34	56,6	141,1	44,89	42,4	52,3
Datenquelle:	Prüfunterlagen Klimaschutzsiedlung (beks), 13.12.2018	Prüfunterlagen Klimaschutzsiedlung (beks), 13.12.2018	Energieausweis Wohnen 08.04.2021 (Zill et al.)	Energieausweis NWG 15.04.2021 (Zill et al.)	Wärmeschutznachweis 22.7.2020 (S1)	EnEV-Nachweis 19.05.2021 (IB Müller)	Energieausweis 30.04.2021 (bauart)

Tab. 2: Kennwerte für Strom- und Wärmebedarf der Untersuchungsobjekte

2 Lebenszyklusanalyse

Unter einer Lebenszyklusanalyse versteht man im Allgemeinen eine Betrachtung eines Produktes oder Gebäudes über dessen gesamten Lebenszyklus. Die ökologische Analyse in Bezug auf die Umweltwirkungen aller mit einem Produkt zusammenhängenden Prozesse wird als Ökobilanz bezeichnet.

2.1 Ökobilanzierung von Gebäuden

In einer Gebäude-Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 [11] und DIN EN 15978 [12] werden alle relevanten Energie- und Materialflüsse, die für Erstellung, Betrieb, Instandhaltung und Rückbau eines Gebäudes benötigt werden, in einer sogenannten Sachbilanz zusammengestellt. Diese wird anhand von Datenbanken hinsichtlich der Umweltwirkungen des Gebäudes ausgewertet. In der Öffentlichkeit am stärksten diskutiert wird aktuell das *Treibhauspotenzial*. Zur Vereinfachung wird das Treibhauspotenzial aller Gase die zum Treibhauseffekt beitragen (z.B. Methan oder Lachgas) auf das Treibhauspotenzial von CO₂ umgerechnet.

Die über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes aufgewendete *Primärenergie* stellt ein weiteres wichtiges Ergebnis der Sachbilanz dar. Die Primärenergie für die thermische Konditionierung eines Gebäudes beinhaltet über die Energiemenge, die für die Beheizung oder Kühlung eines Gebäudes benötigt wird hinaus, auch alle Anlagen-, Leitungs- und Umwandlungsverluste bis zur Energiequelle. Dabei wird unterschieden zwischen erneuerbaren Energiequellen (Wind, Sonne, Biomasse, etc.), sowie nicht erneuerbaren fossilen (Erdöl, Erdgas, etc.) und nicht erneuerbaren nuklearen Energiequellen.

Das **Treibhauspotential** (engl. Global Warming Potential GWP) ist der potenzielle Beitrag eines Stoffes zur Erwärmung der bodennahen Luftschichten d. h. zum so genannten Treibhauseffekt. Der Beitrag des Stoffes wird relativ zum Treibhauspotential des Stoffes Kohlendioxid (CO₂) angegeben [09].

Die **Primärenergie** (PE) oder Rohenergie ist der Energieinhalt von Energieträgern, die in der Natur vorkommen und technisch noch nicht umgewandelt wurden [08].

Nicht Erneuerbare Primärenergie (PE_{ne}) sind an menschlichen Maßstäben gemessen erschöpfliche, fossile und nukleare Energieträger, zum Beispiel Erdgas, Erdöl oder Steinkohle, solange sich diese noch in der jeweiligen Lagerstätte befinden [08].

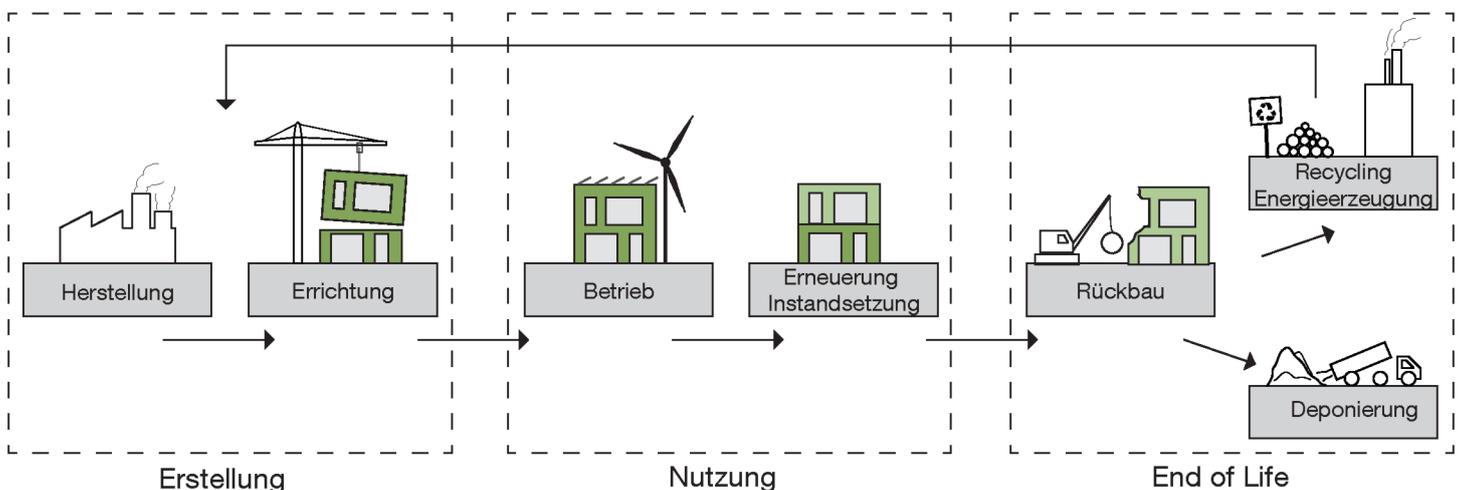


Abb. 6: Lebenszyklus von Gebäuden (vereinfacht). Bildquelle: [18]

Für die vorliegende Expertise wurde eine Lebenszyklusanalyse auf Basis der zur Verfügung gestellten Unterlagen (siehe 1.6) durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen den Primärenergieeinsatz und das Treibhauspotenzial der untersuchten Gebäude von der Erstellung bis zum Rückbau. In einer Datenerhebung wurden die Energie- und CO₂-Bilanzen der für die Projekte eingesetzten Baumaterialien, Fertigungstechniken, Transportwege etc. errechnet. Die Basis hierfür bilden die Massen der Baustoffe für den Rohbau, die **Gebäudehülle und den Ausbau (KG 300)**. **Die Daten für die technische Gebäudeausrüstung (TGA, KG 400) wurden vernachlässigt, da nicht für alle Gebäude ausreichend Informationen vorlagen. Primärenergieinhalt und Treibhauspotenzial der Gebäude wurden mit Hilfe der in Deutschland vornehmlich verwendeten Datenbank Ökobaudat errechnet.**

Ziel dieser ökologischen Analyse ist es u.a. festzustellen, inwieweit die Klimaschutzstrategien der einzelnen Projekten (Klimaschutzsiedlung mit begrenzten Treibhausgasemissionen im Gebäudebetrieb, Holzbausiedlung mit hohem CO₂-Einspeicherpotenzial in der Herstellungsphase) über den gesamten Lebenszyklus der Siedlungen wirksam sind: Werden definierte Nachhaltigkeitsziele erreicht? In welchen Punkten entstehen Widersprüche? Wo besteht Verbesserungspotential?

2.2 Systemgrenzen und Randbedingungen

Für die vorliegende Expertise wurde eine Ökobilanz über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren durchgeführt, eine für Gebäudezertifizierungen in Deutschland übliche Zeitspanne. Die räumliche Systemgrenze bildet die Gebäudeaußenkante inklusive Tiefgarage. Wurde von einem Gebäudekomplex nur ein Gebäude exemplarisch erfasst wurden die Massen der Tiefgarage prozentual auf die Wohnfläche bezogen umgerechnet.

Die Ergebnisse werden jeweils nach Gründung, Tragwerk, Fassade und Innenausbau differenziert dargestellt. Ebenso werden sie nach den Lebenszyklusphasen Erstellung (A1-A3), Betrieb (B6), Erneuerung (B4) und End of Life (C3, C4, D) aufgeschlüsselt.

2.3 Berechnungsmethode und Datengrundlagen

Die zugrunde gelegten Daten sind der Ökobaudat 2020 II entnommen, einer öffentlich zugängliche Datenbank des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). Für den Betrieb wurden, soweit vorhanden, Daten der quartierseigenen Energieversorgung bzw. der Stadtwerke Bremen (swb) angesetzt, da

beispielsweise die Zusammensetzung der Fernwärme der swb nicht dem Fernwärme-Mix Deutschlands entspricht.

Für die Rückbauphase wurden den Materialien entsprechende Entsorgungsszenarien zugeordnet, die beispielsweise auch die DGNB vorgibt:

- a. Metalle werden recycelt und ihnen wird Recyclingpotenzial zugeschrieben (z.B. Aluminium)
- b. Mineralische Baustoffe werden als Bauschutt aufbereitet (z.B. Beton, Kalksandstein)
- c. Materialien mit einem Heizwert werden zur Energiegewinnung verbrannt (z.B. Holz, Kunststoffe etc.)
- d. Materialien, die nur auf Deponien abgelagert werden können, werden auf Deponien entsorgt (z.B. Mineralwolle)

	Datenquelle	PE ne [MJ] (3,6 MJ = 1 kWh)	PE e [MJ] (3,6 MJ = 1 kWh)	GWP [kg CO ₂ -Äqu.]
1 kWh Strom für Gebäudebetrieb 2018	ÖKOBAUDAT 2020 II	6,760	4,396	0,525
1 kWh Nah-/ Fernwärme aus Abfällen	ÖKOBAUDAT 2020 II	0,318	0,071	0,217
Biogas	ÖKOBAUDAT 2020 II	0,273	5,864	0,056
Biomasse	ÖKOBAUDAT 2020 II	0,117	3,247	0,012
Erdgas	ÖKOBAUDAT 2020 II	2,456	0,005	0,148
Steinkohle	ÖKOBAUDAT 2020 II	2,891	0,013	0,284

Tab. 3: Angesetzte Grundwerte für Strom- und Wärmebedarf

2.4 Ergebnisse - im Vergleich

Abbildungen 7 und 8 zeigen die Ergebnisse der untersuchten Objekte im Vergleich.

Graue Energie

Hinsichtlich der grauen Energie, also dem nicht erneuerbaren Anteil des Primärenergieinhalts - fällt auf, dass der Primärenergiebedarf für die thermische Konditionierung der einzelnen Gebäude in etwa dem Primärenergiegehalt der Konstruktion entspricht. Dies unterstreicht noch einmal die Bedeutung der materialgebundenen grauen Energie bei hochenergieeffizienten Gebäuden.

Vergleicht man die untersuchten Gebäude in der Gartenstadt Werdersee untereinander, überrascht es wenig, dass der gesamte nicht erneuerbare Primärenergieinhalt des Reihenendhauses am höchsten ist, gefolgt vom Reihenmittelhaus. Die Mehrfamilienhäuser weisen im Vergleich zu den beiden untersuchten Reihenhäusern einen wesentlich geringeren Gesamtprimärenergieinhalt (PE_{ne}) auf. Das hat mit der Kompaktheit der Baukörper zu tun. Mehrfamilienhäuser weisen ein wesentlich besseres A/V-Verhältnis auf als Reihenmittelhäuser, diese wiederum als Reihenendhäuser. Am ungünstigsten stellt sich sicher ein freistehendes Einfamilienhaus (hier nicht untersucht) dar.

Kompaktheit

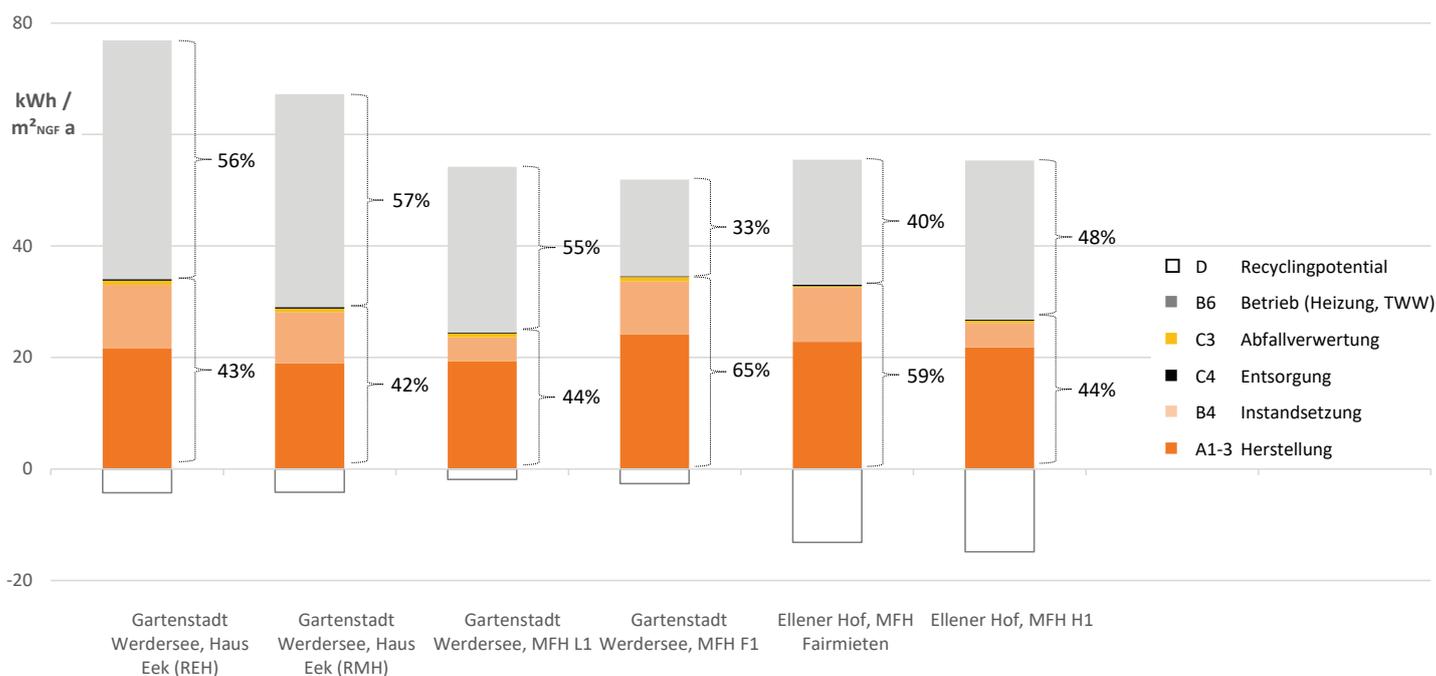


Abb. 7: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf (PE_{ne}) oder „graue Energie“ der Untersuchungsobjekte über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren im Vergleich

Vergleicht man den grauen Primärenergieaufwand für Instandsetzung von MFH H1 mit dem der Reihenhäuser, so fällt auf, dass dieser wesentlich geringer ausfällt. Hier zeigt sich die Qualität der Ausführung der Außenwände. Aufgrund der Klinkervorsatzschale muss die Dämmung der Außenwände im Betrachtungszeitraum von 50 Jahren nicht erneuert werden, im Gegensatz zum bei den Reihenhäusern angebrachten WDVS.

Langlebige Materialien und Konstruktionen

Bei alleiniger Betrachtung des nicht erneuerbaren Primärenergiegehalts weist der Holzbau (Ellener Hof) im Vergleich zum konventionellen Massivbau (Gartenstadt Werdersee) keine wesentlichen Vorteile auf. Das ändert sich bei Betrachtung des Treibhauspotenzials.

Treibhauspotenzial

Grundsätzlich lassen sich zwar die hinsichtlich des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs diskutierten Phänomene auch hier erkennen (eine kompakte Bauweise wirkt sich positiv auf die Umweltwirkungen aus, ebenso eine hochwertige Materialwahl), es werden jedoch die Vorteile des Holzbaus sichtbar: Holz speichert beim Wachstum CO₂ ein, fungiert also als natürlicher Treibhausgasspeicher. Das erklärt die negativen Emissionswerte für die Herstellungsphase der beiden untersuchten Holzbauten im Ellener Hof.

Nachwachsende Rohstoffe fungieren als CO₂-Speicher

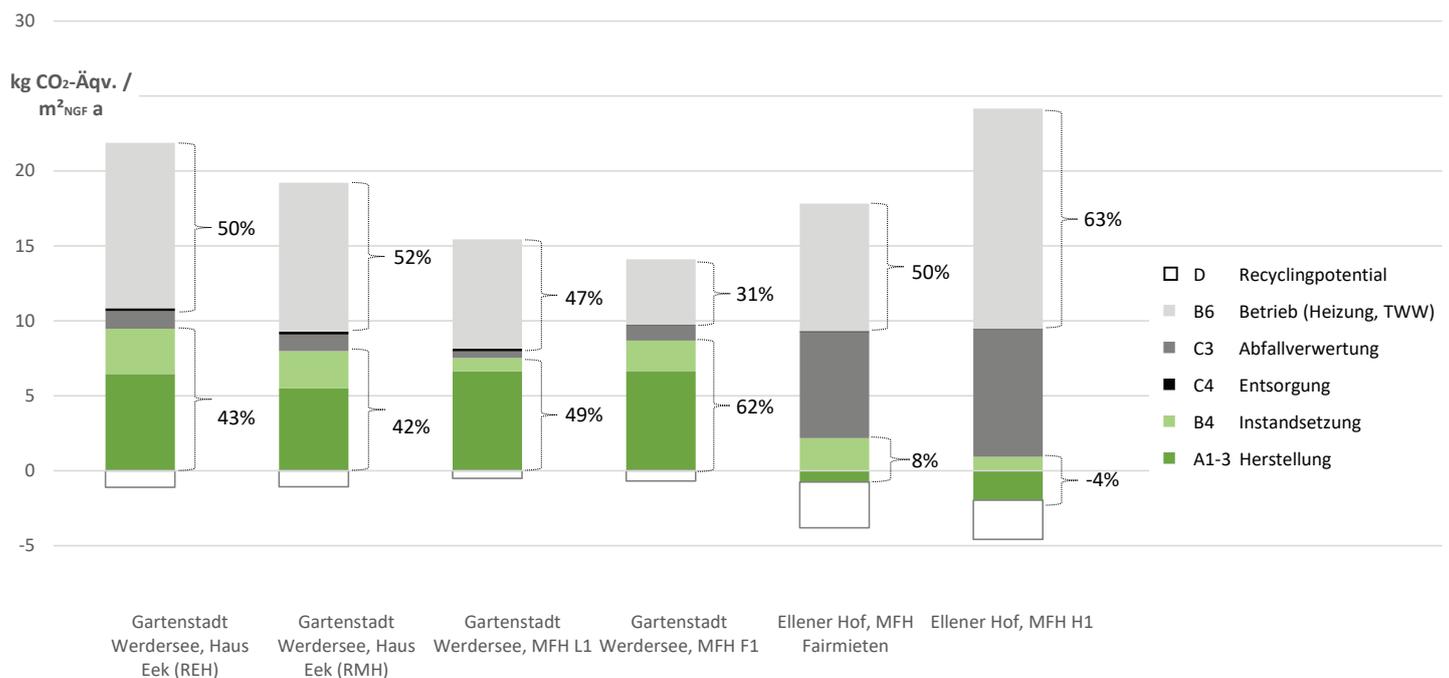


Abb. 8: Treibhausgasemissionen der Untersuchungsobjekte über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren im Vergleich

Recyclinggerecht konstruieren hilft Emissionen aus der thermischen Verwertung zu vermeiden.

Dieses eingespeicherte CO₂ wird bedingt durch die vorgegebenen Entsorgungswege (siehe Kapitel 2.3 „Berechnungsmethode und Datengrundlagen“) am Lebensende des Gebäudes wieder freigesetzt. Dies ist ein ganz klarer Hinweis darauf, wie wichtig es ist bereits in der Planung den Rückbau des Gebäudes mitzudenken. Nur durch eine recyclinggerechte Konstruktion, die einen sortenreinen Rückbau ermöglicht, lassen sich Bauteile und Materialien wieder- bzw. weiterverwenden und so unnötige Emissionen vermeiden.

Hinsichtlich des Verhältnisses zwischen grauen und betriebsbedingten Treibhausgasemissionen zeigt sich im konventionellen Massivbau ein ähnliches Verhältnis von ca. 1:1 wie bei der nicht erneuerbaren Primärenergie. Holzbauten dagegen profitieren in diesem Punkt deutlich von ihrer Eigenschaft als CO₂-Speicher.

Einordnung gemäß DGNB und NaWoh

Für die Einordnung der Projekte gemäß des DGNB-Zertifizierungssystems für Wohngebäude bzw. des Qualitätssiegels Nachhaltiger Wohnungsbau (NaWoh) kommt das vereinfachte Rechenverfahren [08] zum Ansatz, bei dem die Ergebnisse der Kostengruppen (KG) 300 (Bauwerk – Baukonstruktionen) mit einem Faktor von 1,2 beaufschlagt werden um die Umweltwirkungen aus KG 400 (Bauwerk – technische Anlagen) zumindest pauschal mit abzubilden. Betrachtet werden im DGNB-System hier nur die Konstruktion (Herstellung, Instandhaltung und Verwertung/Entsorgung). Gemäß NaWoh werden Konstruktion und Nutzung durch einen Gesamtwert abgebildet.

DGNG Wohngebäude

Im Vergleich mit den Anforderungen aus dem DGNB-System für Wohngebäude zeigt sich, dass die Umweltwirkungen aus der Konstruktion der einzelnen Untersuchungsobjekte alle die Mindestanforderung an den nicht erneuerbaren Primärenergieinhalt (PE_{ne}), den Anteil der erneuerbaren Energie am Gesamtprimärenergieinhalt (Anteil PE_e) und das Treibhauspotenzial (GWP) in Form des Grenzwerts (o) einhalten. Zwei Projekte - MFH L1 und H1 - erfüllen bezüglich PE_{ne} sogar den Referenzwert (*). Hinsichtlich des Anteils der erneuerbaren Primärenergie am Gesamtprimärenergiebedarf (Anteil PE_e) zeigt sich der Vorteil der Holzkonstruktionen gegenüber den Massivkonstruktionen: MFH Fairmieten erreicht in diesem Punkt den im Vergleich zum Referenzwert (*) ambitionierteren Zielwert (**), MFH H1 übererfüllt das Kriterium (***) .

Qualitätssiegel Nachhaltiger Wohnungsbau (NaWoh)

Im Vergleich mit dem Qualitätssiegel Nachhaltiger Wohnungsbau (NaWoh) wird deutlich, dass durch die gemeinsame Betrachtung von Konstruktion und Nutzung Nachteile aus der Konstruktion durch Vorteile in der Nutzung ausgeglichen werden können - und umgekehrt (siehe auch Seite 5). In Bezug auf PE ne erfüllen alle Gebäude die Mindestanforderung (+), alle MFH übererfüllen sie (++) . Die Anforderung an den Anteil PE e

	PE ne [kWh/m ² NGF a]		Anteil PE e [% von PE gesamt]		GWP [kg CO ₂ -Äquiv./m ² NGF a]	
REH Eek						
• Konstruktion	40,87	o	18%	*	13,01	o
• Nutzung	51,38		45%		13,25	
• Gesamt	92,26	+	36%	+++	26,26	
RMH Eek						
• Konstruktion	34,84	o	20%	*	11,14	o
• Nutzung	45,85		45%		11,93	
• Gesamt	80,69	+	36%	+++	23,06	
MFH L1						
• Konstruktion	29,40	*	17%	*	9,77	o
• Nutzung	35,64		47%		8,77	
• Gesamt	65,04	++	37%	+++	18,54	+
MFH F1						
• Konstruktion	41,51	o	24%	*	11,69	o
• Nutzung	20,82		50%		5,23	
• Gesamt	62,32	++	35%	+++	16,92	++
MFH Fairmieten						
• Konstruktion	39,70	o	33%	**	10,29	o
• Nutzung	26,88		49%		10,21	
• Gesamt	66,56	++	41%	+++	20,49	+
MFH H1						
• Konstruktion	32,17	*	55%	***	9,00	*
• Nutzung	34,26		55%		17,64	
• Gesamt	66,43	++	55%	+++	26,64	
DGNB Wohngebäude (Version 2018) (Grenz- / Referenz- / Zielwert / übererfüllt) nur Konstruktion	47,8 / 34,2 / 23,9 / 18,8 (o / * / ** / ***)		5 / 15 / 30 / 37,5 (o / * / ** / ***)		13,2 / 9,4 / 6,6 / 5,2 (o / * / ** / ***)	
NaWoh (Version 3.0) (erfüllt / übererfüllt / deutlich übererfüllt) Konstruktion und Nutzung	105 / 75 / 55 (+ / ++ / +++)		7,5 / 15 / 25 (+ / ++ / +++)		24 / 17 / 12 (+ / ++ / +++)	

Tab. 4: Vergleich der Berechnungen für die untersuchten Projekte mit den in Tab. 1 dargestellten Beurteilungskriterien des Zertifizierungssystems für Nachhaltigen Wohnungsbau (NaWoh Version 3.1) und DGNB Wohngebäude (Version 2018). Es gilt zu beachten, dass das NaWoh-System eine gemeinsame Anforderungen an Konstruktion **und** Nutzung stellt, das DGNB-System Konstruktion und Nutzung **getrennt** betrachtet.

am Gesamtprimärenergiebedarf wird von allen Projekten deutlich übererfüllt (+++) was vor allem aus der Nutzungsphase rührt. Mit Blick auf die Anforderungen an das Treibhauspotenzial (GWP) stellen sich die Mehrfamilienhäuser (MFH) im Vergleich zu den Reihenhäusern (REH/RMH) deutlich erfolgreicher dar.

Die Vorteile des Holzbaus in Bezug auf die Treibhausgasemissionen kommen nicht so deutlich zum Vorschein wie man das erwarten würde. Das liegt daran, dass für die Betrachtung gemäß der dargestellten Zertifizierungssysteme alle Holzbauteile in der Verwertung (C3) einer thermischen Verwertung zugeführt werden müssen und somit die in der Herstellung (A1-3) eingespeicherten CO₂-Emissionen wieder freigesetzt werden (siehe auch 2.3 „Berechnungsmethode und Datengrundlagen“).

2.5 Ergebnisse - kumuliert

In Hinblick auf die Erreichung der Klimaschutzziele genügt es nicht, die Umweltwirkungen im Gebäudesektor über den gesamten Lebenszyklus von Gebäuden zu minimieren. Die Klimaerwärmung erfordert rasches Handeln. Insbesondere hinsichtlich der Treibhausgasemissionen gilt es die Atmosphäre so zeitnah als möglich von (vermeidbaren) Emissionen zu entlasten. Insofern lohnt sich ein anderer Blick auf graue Energie und Treibhausgasemissionen, im Folgenden anhand von zwei Beispielprojekten - Massivbau und Holzbau im Vergleich - durchgespielt:

- a. MFH L1, Gartenstadt Werdersee
- b. MFH H1, Ellener Hof

Graue Energie

Abb. 9 auf Seite 25 zeigt den nicht erneuerbaren Anteil des Primärenergieverbrauchs (PEne), auch graue Energie genannt, beider Projekte über deren gesamten Lebenszyklus im Vergleich. Die graue Energie aus der Errichtungsphase (A1-3) ist nach Gründung, Tragwerk, Hülle und Ausbau differenziert dargestellt und bildet im Jahr 0 einen „Sockelbetrag“ von dem aus sich der durch die thermischen Konditionierung der Gebäude (Heizung und Trinkwarmwasser) während der Betriebsphase (B6) verursachte Energiebedarf Jahr für Jahr aufaddiert. Am Ende der Nutzungsphase, im sogenannten End of Life kommt es zu einem weiteren, eher geringfügigem Energiebedarf für die Verwertung (C3) bzw. Entsorgung (C4) der Konstruktion. Davon abgezogen werden wiederum die Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenze in Form des Potentials für Wiederverwertung, Rückgewinnung und Recycling (D).

Gartenstadt Werdersee, MFH L1

Bei Projekt MFH L1 entfallen ca. 968 kWh/m² auf die Errichtungsphase (A1-3), davon resultieren mit

- 186,8 kWh/m² ca. 19% aus der Gründung,
- 318,5 kWh/m² ca. 33% aus dem Tragwerk,
- 375,2 kWh/m² ca. 39% aus der Hülle und
- 87,2 kWh/m² ca. 9% aus dem Ausbau.

Für die thermische Konditionierung des Gebäudes über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren entfallen mit jährlich 29,7 kWh/m² in Summe ca. 1.485 kWh/m² ca. 1,5 mal soviel nicht erneuerbare Primärenergie auf die Betriebsphase (B6).

Für die Verwertung (C3) bzw. Entsorgung (C4) der Konstruktion werden noch einmal ca. 44 kWh/m² benötigt. Das Potential für Wiederverwertung, Rückgewinnung und Recycling (D) liegt bei ca. 95 kWh/m².

In Summe werden über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes also ca. 2.453 kWh/m² nicht erneuerbarer Primärenergie für Errichtung, Betrieb, Verwertung und Entsorgung benötigt. Unter Berücksichtigung des Recyclingpotentials reduziert sich die Menge auf ca. 2.402 kWh/m².

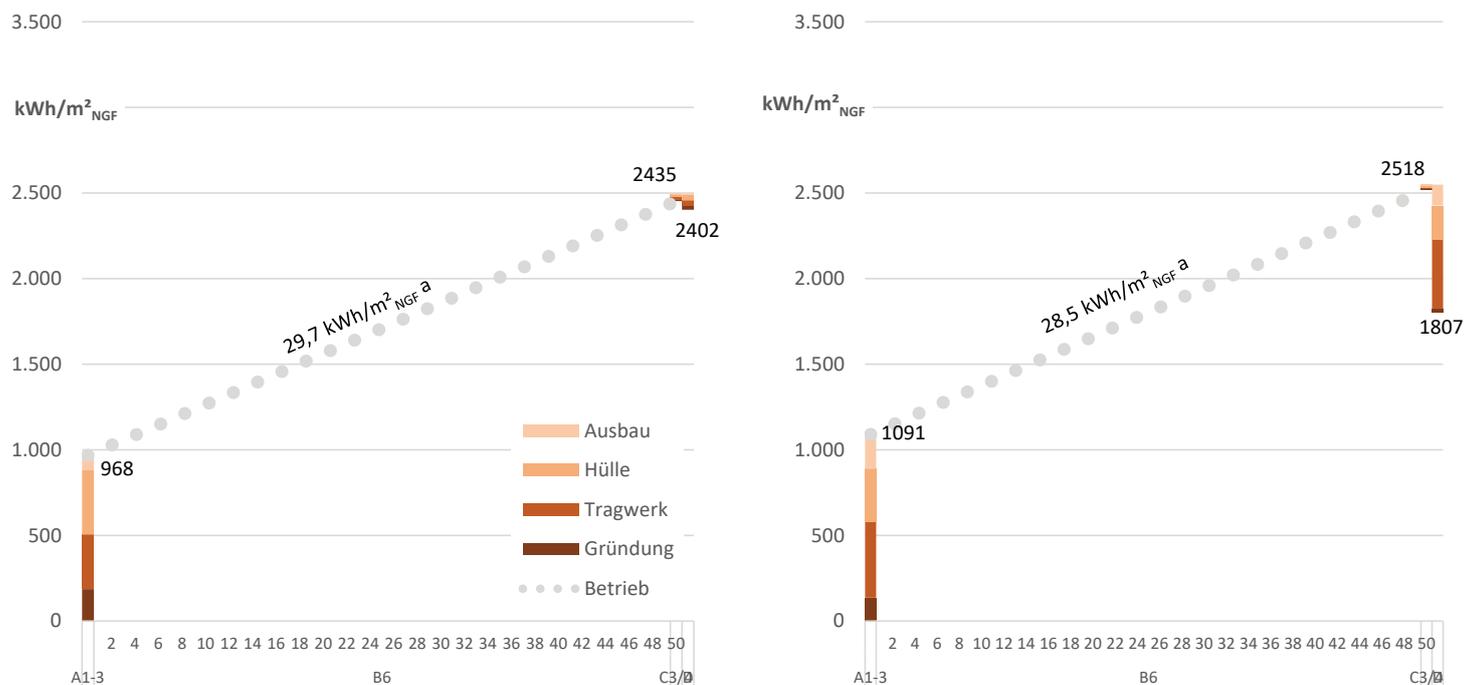


Abb. 9: Kumulierter nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf (PE ne) oder „graue Energie“ MFH L1, Gartenstadt Werdersee (links) und MFH H1, Ellener Hof (rechts) der Untersuchungsobjekte über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren im zeitlichen Verlauf

Ellener Hof, MFH H1

Bei Projekt MFH H1 entfallen ca. 1.091 kWh/m² auf die Errichtungsphase (A1-3), davon resultieren mit

- 136,0 kWh/m² ca. 12% aus der Gründung,
- 441,7 kWh/m² ca. 41% aus dem Tragwerk,
- 311,1 kWh/m² ca. 29% aus der Hülle und
- 201,06 kWh/m² ca. 18% aus dem Ausbau.

Für die thermische Konditionierung des Gebäudes über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren entfallen mit jährlich 28,5 kWh/m² in Summe ca. 1.427 kWh/m² auch hier ca. 1,5 mal soviel nicht erneuerbare Primärenergie auf die Betriebsphase (B6).

Für die Verwertung (C3) bzw. Entsorgung (C4) der Konstruktion werden noch einmal ca. 31 kWh/m² benötigt. Das Potential für Wiederverwertung, Rückgewinnung und Recycling (D) liegt mit 742 kWh/m² deutlich höher als bei MFH L1, was am Heizwert der verbauten Holzwerkstoffe liegt.

In Summe werden für Errichtung, Betrieb, Verwertung und Entsorgung des Gebäudes also ca. 2.518 kWh/m² nicht erneuerbare Primärenergie benötigt. Unter Berücksichtigung des Recyclingpotentials reduziert sich die Menge auf ca. 1.807 kWh/m².

Treibhauspotenzial

Abb. 10 auf Seite 27 zeigt die Treibhausgasemissionen der beiden Projekte über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren im Vergleich. Die Treibhausgasemissionen aus der Errichtungsphase (A1-3) ist nach Gründung, Tragwerk, Hülle und Ausbau differenziert dargestellt und bildet im Jahr 0 einen „Sockelbetrag“ von dem aus sich die durch die thermische Konditionierung der Gebäude (Heizung und Trinkwarmwasser) während der Betriebsphase (B6) verursachten Treibhausgasemissionen Jahr für Jahr aufaddieren. Am Ende der Nutzungsphase, im sogenannten End of Life (EoL) fallen dann weitere Emissionen aus der Verwertung (C3) bzw. Entsorgung (C4) der Konstruktion an. Davon abgezogen werden wiederum die Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenze in Form des Potentials für Wiederverwertung, Rückgewinnung und Recycling (D).

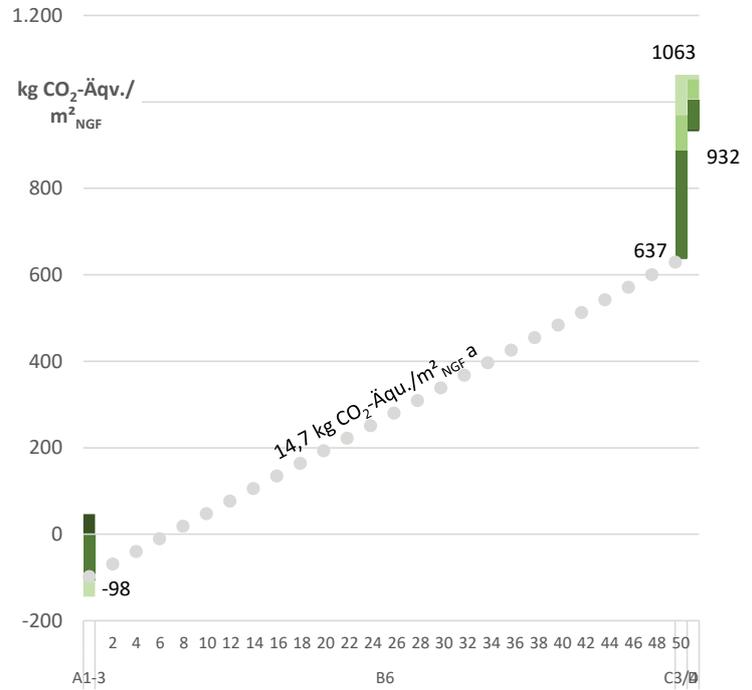
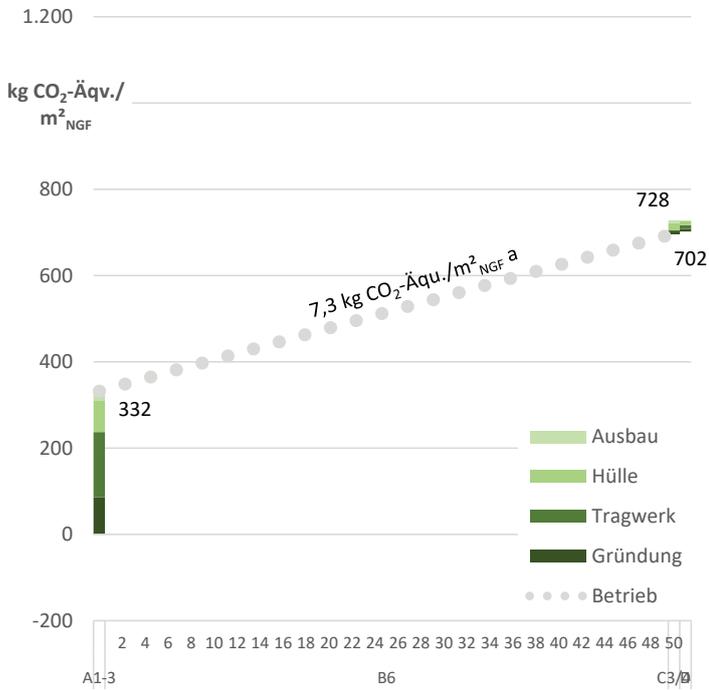


Abb. 10: Kumulierte Treibhausgasemissionen MFH L1, Gartenstadt Werdersee (links) und MFH H1, Ellener Hof (rechts) der Untersuchungsobjekte über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren im zeitlichen Verlauf

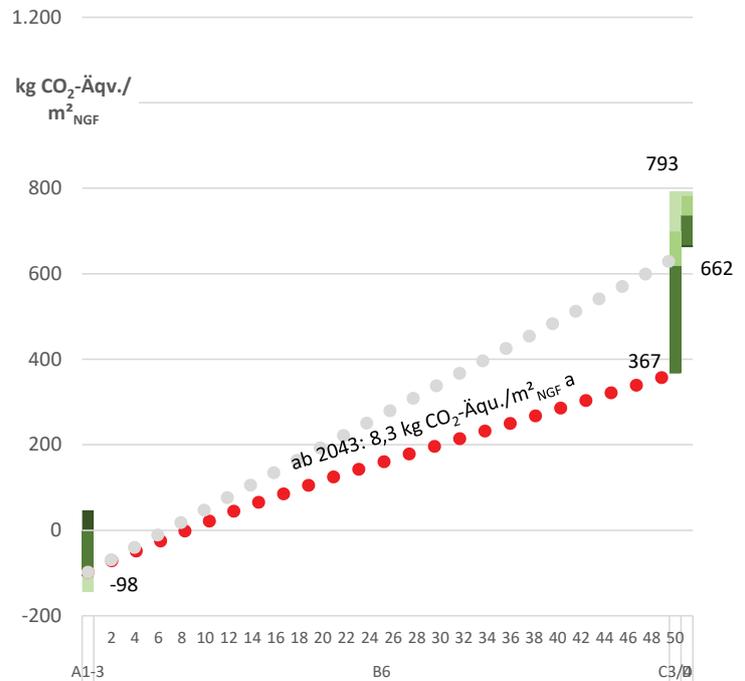


Abb. 11: Kumulierte Treibhausgasemissionen und MFH H1, Ellener Hof (rechts) der Untersuchungsobjekte über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren im zeitlichen Verlauf, unter Zugrundelegung des möglicher Zukunftspfad für die Fernwärmeversorgung in Bremen, gemäß swb-Broschüre „Der Weg der Wärme in die Zukunft“ aus dem Frühjahr 2020 [21]. Die Emissionen für Herstellung und Betrieb werden um 238 kg CO₂-Äquivalent/m² auf 378 kg CO₂-Äquivalent/m² reduziert.

Gartenstadt Werdersee, MFH L1

Bei Projekt MFH L1 betragen die Treibhausgasemissionen für die Errichtung (A1-A3) ca. 332 kg CO₂-Äquivalent/m². Davon resultieren mit

- 86,3 kg CO₂-Äquivalent/m² ca. 26% aus der Gründung,
- 151,0 kg CO₂-Äquivalent/m² ca. 45% aus dem Tragwerk,
- 72,0 kg CO₂-Äquivalent/m² ca. 22% aus der Hülle und
- 22,7 kg CO₂-Äquivalent/m² ca. 7% aus dem Ausbau.

Für die thermische Konditionierung des Gebäudes über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren entfallen mit jährlich 7,31 kg CO₂-Äquivalent/m² in Summe ca. 365,5 kg CO₂-Äquivalent/m² auf die Betriebsphase (B6). Damit sind die Anforderungen für die Verleihung des Siegels Klimaschutzsiedlung erfüllt. Die Treibhausgasemissionen für Errichtung (A1-3) und Betrieb (B6) sind annähernd gleich hoch.

Für die Verwertung (C3) bzw. Entsorgung (C4) der Konstruktion werden ca. 30 kg CO₂-Äquivalent/m² freigesetzt. Das Potential für Wiederverwertung, Rückgewinnung und Recycling (D) liegt bei ca. 26 kg CO₂-Äquivalent/m².

In Summe werden für Errichtung, Betrieb, Verwertung und Entsorgung des Gebäudes also ca. 728 kg CO₂-Äquivalent/m² verursacht. Unter Berücksichtigung des Recyclingpotentials reduziert sich die Menge auf ca. 702 kg CO₂-Äquivalent/m².

Ellener Hof, MFH H1

Bei Projekt MFH H1 betragen die Treibhausgasemissionen für die Errichtung (A1-A3) ca. -98 kg CO₂-Äquivalent/m². Durch die Holzkonstruktion werden hier ca. 142 kg CO₂-Äquivalent/m² eingespeichert wodurch die durch andere Materialien verursachten Emissionen zumindest teilweise ausgeglichen werden. So verursacht alleine die Gründung in der Herstellung 46,7 kg CO₂-Äquivalent/m². Zu diesem Effekt tragen

- Tragwerk und Hülle mit -109,8 kg CO₂-Äquivalent/m² ca. 76%,
- der Ausbau mit -34,9 kg CO₂-Äquivalent/m² ca. 24% bei.

Für die thermische Konditionierung des Gebäudes über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren entfallen mit jährlich 14,7 kg CO₂-Äquivalent/m² in Summe ca. 735 kg CO₂-Äquivalent/m² auf die Betriebsphase (B6).

Anmerkung: Tragwerk und Hülle sind hier gemeinsam erfasst, da die zur Verfügung gestellten Daten zum Modulsystem der Firma Lukas Lang eine saubere Trennung zwischen Tragwerk und Hülle schwierig machen.

Für die Verwertung (C3) bzw. Entsorgung (C4) der Konstruktion werden ca. 426 kg CO₂-Äquivalent/m² freigesetzt,

- 2,4 kg CO₂-Äquivalent/m² ca. 1% aus der Gründung,
- 329,5 kg CO₂-Äquivalent/m² ca. 77% aus Tragwerk und Hülle, sowie
- 94,0 kg CO₂-Äquivalent/m² ca. 22% aus dem Ausbau.

Das liegt an den für die Verwertungsphase vorgegebenen Verwertungswegen (siehe Kapitel „2.3 Berechnungsmethode und Datengrundlagen“): Materialien mit einem Heizwert werden für die Berechnung zur Energiegewinnung verbrannt (z.B. Holz, Kunststoffe etc.).

Das Potential für Wiederverwertung, Rückgewinnung und Recycling (D) liegt bei ca. 130 kg CO₂-Äquivalent/m². Diese verteilen sich wie folgt:

- 4,7 kg CO₂-Äquivalent/m² ca. 4% aus der Gründung,
- 116 kg CO₂-Äquivalent/m² ca. 89% aus Tragwerk und Hülle und
- 9,5 kg CO₂-Äquivalent/m² ca. 7% aus dem Ausbau.

In Summe werden für Errichtung, Betrieb, Verwertung und Entsorgung des Gebäudes also ca. 1.063 kg CO₂-Äquivalent/m² verursacht. Unter Berücksichtigung des Recyclingpotentials reduziert sich die Menge auf ca. 932 kg CO₂-Äquivalent/m².

2.6 Kommentar zu den Ergebnissen

Graue Energie

Betrachtet man beide Gebäude über alle Lebenszyklusphasen, wird deutlich, dass trotz des sehr hohen Energiestandards in beiden Fällen der Gebäudebetrieb über 50 Jahre den größeren Anteil am nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf (graue Energie) hat. In Zahlen bedeutet dies, dass die Erstellung der Gebäude ebenso viel nicht erneuerbare Primärenergie erfordert wie ca. 33 Jahre Gebäudebetrieb.

Treibhauspotenzial

Gartenstadt Werdersee, MFH L1

Bezüglich des Beitrags zur Erderwärmung über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren werden für Erstellung und Gebäudebetrieb in etwa gleich große Mengen an Treibhausgasemissionen verursacht. Das Gebäude herzustellen verursacht damit ebenso viele Treibhausgasemissionen wie es 50 Jahre zu heizen und mit warmem Wasser zu versorgen.

Ellener Hof, MFH H1

Recyclinggerecht konstruieren

Die Firma Lukas Lang hat mit ihrem beim MFH H1 eingesetzten Baukastensystem ein Holzbausystem entwickelt, das aufgrund der vorgefertigten, kleinteiligen Komponenten und der einfachen Schraub- und Steckverbindungen erlaubt das Gebäude zerstörungsfrei rückzubauen. Die Bauteile können nach Angabe der Firma beliebig neu kombiniert und jederzeit auch wieder werterhaltend verändert werden.

Insofern scheint es zur ökologischen Bewertung dieses Gebäudes vertretbar die Verwertung- und Entsorgung der Elemente (C3/4) nicht in die Lebenszyklusbetrachtung mit einzubeziehen. Unter Vernachlässigung der Phasen C und D ergibt sich ein anderes Bild, das Treibhauspotenzial des Gebäudes betreffend: Für Errichtung, Betrieb des Gebäudes werden nur ca. 637 kg CO₂-Äquivalent/m² verursacht.

Rechnet man die 14,7 kg CO₂-Äquivalent/m² für die thermische Konditionierung des Gebäudes linear über 50 Jahre hoch, ergeben sich verhältnismäßig hohe Treibhausgasemissionen für die thermische Konditionierung des Gebäudes. Die CO₂-Gutschrift aus der Holzsystembauweise wird übermäßig schnell aufgebraucht. Dies wird durch die zugrunde gelegte Energieversorgung (Abb. 6 auf Seite 17) verursacht:

Energieversorgung dekarbonisieren

- 27% der benötigten Energie werden durch ein quartiers-eigenes biomethanbetriebens BHKW bereit gestellt,
- die restlichen 73% durch die Fernwärme der Stadtwerke Bremen.

Legt man der Lebenszyklusanalyse allerdings die zukünftige Entwicklung gemäß des Zukunftspfads für die Fernwärmeversorgung in Bremen (Abb. 5 auf Seite 14) zugrunde, ergibt sich ein wesentlich günstigeres Bild: die jährlichen CO₂-Emissionen für die thermische Konditionierung reduzieren sich mit jedem Technologieentwicklungsschritt. Durch Errichtung, Betrieb des Gebäudes werden nur mehr ca. 367 kg CO₂-Äquivalent/m² verursacht.

Damit entsprechen die für Errichtung und Betrieb von Gebäudes MFH H1 verursachten Emissionen in etwa der Menge an Emissionen die durch das Vergleichsgebäudes MFH L1 alleine für dessen Errichtung verursacht werden, wie in Abb. 11 auf Seite 27 dargestellt.

3 Schlüsse

1. Die in Kapitel 2 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass beide betrachteten Klimaschutzansätze - die Reduktion der Treibhausgasemissionen für Heizung und Trinkwarmwassererwärmung bei den Klimaschutzsiedlungen und der Einsatz nachwachsender Rohstoffe beim Modellquartier Ellener Hof - für sich genommen erfolgreich sind. Das zeigt die Gegenüberstellung mit den **Anforderungen aus dem Bewertungssystem** DGNB Wohnungsbau bzw. Qualitätssiegel Nachhaltiger Wohnungsbau in Tab. 4 auf Seite 23. Hier werden die Anforderungen überwiegend **erfüllt bzw. (zum Teil sogar deutlich) übererfüllt**. Allerdings zeigen die Ergebnisse auch vorhandene Verbesserungspotenziale auf.

2. Es wird klar, dass es im Hinblick auf eine klimaneutrale Zukunft nicht genügt, sich in der Planung auf Einzelaspekte wie die Optimierung der Betriebsphase oder die Minimierung der Umweltwirkungen in der Errichtung zu fokussieren. Es gilt die **Stärken der untersuchten Konzepte zu kombinieren** um eine **Minimierung der Umweltwirkungen über den gesamten Lebenszyklus** zu erreichen (Seiten 29 ff.).

3. Bauen mit nachwachsenden Rohstoffen bietet ein wunderbares Potential Emissionen aus der Gegenwart in die Zukunft zu verlagern, das zeigt Abb. 10 auf Seite 27. Durch die vorliegende Untersuchung wird aber auch deutlich, wie wichtig es ist **Bauteile und Materialien im Stoffkreislauf zu halten** um diese zukünftigen Emissionen zu vermeiden bzw. möglichst weit hinauszuzögern, siehe auch Seite 29.

4. Ohne einen Umbau der Energieversorgung geht es nicht. Das Potenzial geringer Umweltwirkungen aus Errichtung und hoher Energieeffizienz (und damit geringe Treibhausgasemissionen) im Betrieb können nur in Kombination mit einem **hohen Dekarbonisierungsgrad der Energieversorgung** voll ausgeschöpft werden, wie auf Seite 30 dargestellt.

Nachweise

Literatur

- [01] Anderson, John Erik. 2014. Expanding the use of life-cycle assessment to capture induced impacts in the built environment. s.l. : Dissertation an der Technischen Universität München, 2014.
- [02] Badr, et al. 2018. Nachhaltigkeit gestalten. München : Bayerische Architektenkammer, 2018.
- [03] Bremer Energie-Konsens GmbH. energiekonsens. Start. Bau-Fachleute. Klimaschutzsiedlungen. [Online] [Zitat vom: 29. 12 2021.] <https://energiekonsens.de/bau-fachleute/zertifizierung-fur-siedlungsbau>.
- [04] —. 2019. Klimaschutzsiedlungen. Bremen : Bremer Energie-Konsens GmbH, 2019.
- [05] Bremer Heimstiftung. 2020. Stadtleben Ellener Hof. [Online] 2020. [Zitat vom: 29. 10 2020.] <https://stadtleben-ellenerhof.de/>.
- [06] —. 2020. Stiftungsdorf Ellener Hof. Ein sozial-ökologisches Modellquartier. Bremen : s.n., 2020.
- [07] Bremische Bürgerschaft. 2021. Abschlussbericht der Enquete-kommission „Klimaschutzstrategie für das Land Bremen“. [Online] Dezember 2021. [Zitat vom: 14. März 2022.] <https://www.bremische-buergerschaft.de/index.php?id=747>.
- [08] Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat. 2015. Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) Büro- und Verwaltungsgebäude. Ökologische Qualität Ressourceninanspruchnahme Primärenergiebedarf. [Online] 2015. [Zitat vom: 14. Januar 2022.] <https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/bewertungssystem/buerogebaeude/>.
- [09] —. 2015. Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen. Büro- und Verwaltungsgebäude (BNB_BN). [Online] 2015. [Zitat vom: 14. Januar 2022.] <https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/bewertungssystem/buerogebaeude/>.
- [10] Die Bundesregierung. 2020. Die Bundesregierung. Themen. Klimaschutz. [Online] 2020. Dezember 2020. [Zitat vom: 12. März 2021.] <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/mehr-klimaschutz-in-der-eu-1824308>.

- [11] DIN EN ISO 14040 Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. Beuth Verlag, Berlin, 2006
- [12] DIN EN 15978 Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode. Beuth Verlag, Berlin, 2011
- [13] energiekonsens. 2019. Klimaschutzsiedlungen . Leitfaden zur Erstellung von Klimaschutzsiedlungen. [Online] Oktober 2019. [Zitat vom: 30. 10 2020.] <https://energiekonsens.de/bau-fachleute/zertifizierung-fur-siedlungsbau>.
- [14] Habert, Guillaume, et al. 2020. Carbon budgets for buildings: harmonising temporal, spatial and sectoral dimensions. Buildings and Cities. 2020, S. 429-452.
- [15] Hamburg Institut. 2021. Hamburg Institut. Gutachten zur CO2-neutralen Wärmeversorgung im Land Bremen. [Online] 23. August 2021. [Zitat vom: 14. Januar 2022.] <https://www.hamburg-institut.com/news/gutachten-zur-co2-neutralen-waermeversorgung-im-land-bremen/>.
- [16] Hauser, Gerd, Eßig, Natalie und Lützkendorf, Thomas. 2015. Durchführung einer Pilotphase für die Bewertungsmethode „Kleinwohnhausbauten (Ein- und Zweifamilienhäuser)“. Berlin, München : Durchführung einer Pilotphase für die Bewertungsmethode „Kleinwohnhausbauten (Ein- und Zweifamilienhäuser)“, 2015.
- [17] KfW. 2020. Maßstab für Energieeffizienz. Der KfW-Effizienzhaus-Standard für einen Neubau. [Online] 2020. [Zitat vom: 30. 10 2020.] <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Neubau/Das-KfW-Effizienzhaus/>.
- [18] Lang, Werner; Schneider, Patricia (2017): Gemeinschaftlich Nachhaltig Bauen. Forschungsbericht Begleitforschung ökologische Untersuchung des genossenschaftlichen Wohnbauprojektes wagnisART. Materialien zum Wohnungsbau. Hg. v. Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr. München. Online verfügbar unter www.bestellen.bayern.de/shoplinc/03500205.htm.

- [19] Schneider-Marin, Patricia, Harter, Hannes und Vollmer, Michael. 2021. Wecobis. Ökologisches Baustoffinformationssystem. Baustoffe und Klimaschutz. [Online] 2021. [Zitat vom: 04. 03 2022.] <https://www.wecobis.de/en/service/sonderthemen-info/gesamttext-baustoffe-klimaschutz-info/baustoffe-klimaschutz-gesamttext-info.html>.
- [20] SPD. Bündnis 90 / Die Grünen. Die Linke. 2019. Vereinbarung zur Zusammenarbeit in einer Regierungskoalition für die 20. Wahlperiode der Bremischen Bürgerschaft 2019-2023. [Online] 13. August 2019.
- [21] swb AG . DER WEG DER WÄRME IN DIE ZUKUNFT Langfristige Wärmestrategie für Bremen und Bremerhaven. [Online] [Zitat vom: 14. Januar 2022.] <https://www.wesernetz.de/-/media/wesernetz/downloads/waermenetzkarte/broschuerewaermestrategie.pdf>.
- [22] swb AG. 2019. swb Presse Presseinformationen. [Online] swb AG, 12. Juli 2019. [Zitat vom: 14. Januar 2022.] <https://www.swb.de/ueber-swb/presse/presseinformationen/2019-07-12-besonders-umweltfreundliche-waerme-fuer-den-ellener-hof>.
- [23] Theiling, Christoph und Roswag-Klinge, Eike. 2021. Arbeitsgespräch vom 15.3.2021. 15. März 2021.
- [24] Theiling, Christoph, et al. 2018. Gestaltungshandbuch Stiftungsdorf Ellener Hof. [Hrsg.] Bremer Heimstiftung. Bremen : s.n., 2018.
- [25] Umweltbundesamt. 2014. Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050. [Online] April 2014. [Zitat vom: 12. März 2021.] https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/07_2014_climate_change_dt.pdf.
- [26] United Nations. 1987. Report of the World Commission on Environment and Development. Our Common Future. 1987.
- [27] Qualitätssiegel Nachhaltiger Wohnungsbau. 2016. Bewertungssystem Nachhaltiger Wohnungsbau Mehrfamilienhäuser - Neubau. Ökologische Qualität. [Online] 01. 10 2016. [Zitat vom: 14. 01 2022.] <https://www.nawoh.de/downloads/kriteriensteckbriefe>.

Abbildungen

- Abb. 1: Kumulierter, nicht erneuerbarer Energieaufwand während des Lebenszyklus eines Wohngebäudes. Das Standardgebäude erfüllt qualitativ die zu Bauantragstellung gültigen gesetzlichen Anforderungen (aus „Gemeinschaftlich Nachhaltig Bauen“ [18])
- Abb. 2: Gartenstadt Werdersee, Lageplan ohne Maßstab (vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt)
- Abb. 3: Ellerner Hof, Lageplan ohne Maßstab (vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt)
- Abb. 4: Zugrundegelegte Zusammensetzung der Wärmeversorgung in den betrachteten Quartieren (eigene Darstellung)
- Abb. 5: Möglicher Zukunftspfad für die Fernwärmeversorgung in Bremen, gemäß swb-Broschüre „Der Weg der Wärme in die Zukunft“ aus dem Frühjahr 2020 (ebenda)
- Abb. 6: Lebenszyklus von Gebäuden (vereinfacht) (aus „Gemeinschaftlich Nachhaltig Bauen“ [18])
- Abb. 7: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf (PE_{ne}) oder „graue Energie“ der Untersuchungsobjekte über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren im Vergleich (aus „Gemeinschaftlich Nachhaltig Bauen“ [18])
- Abb. 8: Treibhausgasemissionen der Untersuchungsobjekte über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren im Vergleich (eigene Darstellung)
- Abb. 9: Kumulierter nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf (PE_{ne}) oder „graue Energie“ MFH L1, Gartenstadt Werdersee (links) und MFH H1, Ellener Hof (rechts) der Untersuchungsobjekte über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren im zeitlichen Verlauf (eigene Darstellung)
- Abb. 10: Kumulierte Treibhausgasemissionen MFH L1, Gartenstadt Werdersee (links) und MFH H1, Ellener Hof (rechts) der Untersuchungsobjekte über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren im zeitlichen Verlauf (eigene Darstellung)

Abb. 11: Kumulierte Treibhausgasemissionen und MFH H1, Ellener Hof (rechts) der Untersuchungsobjekte über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren im zeitlichen Verlauf, unter Zugrundelegung des möglicher Zukunftspfad für die Fernwärmeversorgung in Bremen, gemäß swb-Broschüre „Der Weg der Wärme in die Zukunft“ aus dem Frühjahr 2020 (eigene Darstellung)

Abkürzungen

A/V-Verhältnis	Verhältnis von umbauten Volumen zu Nutzfläche
CO ₂	Kohlendioxid
CO ₂ -Äquiv.	Kohlendioxid-Äquivalente (Einheit für das Treibhauspotenzial)
DGNB	Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen
EnEV	Energieeinsparverordnung
GEG	Gebäude-Energiegesetz
GJ	Gigajoule (1 GJ = 1000 MJ)
GWP	Global Warming Potential (Treibhauspotenzial)
GK	Gipskarton
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
KG	Kostengruppe
KS	Kalksandstein
kWh	Kilowattstunde
MFH	Mehrfamilienhaus
MJ	Megajoule (1 MJ = 3,6 kWh)
MW	Mineralwolle (Dämmung)
NaWoh	Bewertungssystem Nachhaltiger Wohnungsbau
NGF	Nettogrundfläche
NWG	Nichtwohngebäude
PE ne / e	nicht erneuerbare / erneuerbare Primärenergie
PIR	Polyisocyanurat-Hartschaum (Dämmung)
PV	Photovoltaik
REH	Reihenendhaus
RMH	Reihenmittelhaus
SKUMS	Die Senatorin für Klimaschutz, Umwelt, Mobilität, Stadtplanung und Wohnungsbau der Freien Hansestadt Bremen
Stb.	Stahlbeton
SWB	Stadtwerke Bremen
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
TSD	Trittschalldämmung
WDVS	Wärmedämmverbundsystem
WG	Wohngebäude
XPS	extrudierter Polystyrol-Hartschaum (Dämmung)
ZSD	Zwischensparrendämmung