



STADTQUARTIER 2050

Partner:

STUTTGART



Fraunhofer
IBP

STADTWERKE
STUTTGART



Universität Stuttgart

IREES
research for future.

überlingen

BGÜ
Baugenossenschaft Überlingen eG

Fraunhofer
FIT
Projektgruppe
Wirtschaftsinformatik

STADTWERK
AM SEE

energieagentur
Ravensburg

puren®

FIW
München

Assoziierte Partner:

SAINT-GOBAIN

SWSG
Städtisches Wärmeversorgungsunternehmen Stuttgart

D3.4.1

Ökobilanzbewertung von Energiekonzepten

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Erstellt im Verbundvorhaben STADTQUARTIER 2050
im Rahmen der Förderinitiative „Solares Bauen/
Energieeffiziente Stadt“ aus dem 6. Energieforschungs-
programm

Autoren:

Katrin Lenz / Kristina Henzler, Fraunhofer IBP (GaBi)

Stuttgart, 24.10.2024

Inhalt

1	Kurzfassung	6
2	Konzept und methodisches Vorgehen	8
3	Ökobilanz	11
3.1	Einführung	11
3.2	Zielstellung	12
3.3	Funktion und funktionelle Einheit	13
3.4	Bilanzgrenzen und Abschneidekriterien	14
3.5	Annahmen und Abschätzungen	16
3.6	Umgang mit dem Gebäudebetrieb	18
3.7	Datenqualität und verwendete Ökobilanzsoftware	18
3.8	Auswertung und Interpretation	20
4	Ökobilanzmodelle: Produkte und Technologien	23
4.1	Zielstellung	23
4.2	Technische Systembeschreibung	23
4.3	Funktion und funktionelle Einheit	23
4.4	Verwendete Ökobilanz-Software, Hintergrunddaten und Datensätze	25
4.5	Systemraumerweiterung und Allokation	25
4.6	Sachbilanz und Modellbildung	25
4.7	Auswertung und Interpretation	28
5	Ökobilanzmodelle: Gebäude	31
5.1	Zielstellung	31
5.2	Funktion und Funktionelle Einheit	31
5.3	Modellbildung, verwendete Daten und Software	32
5.4	AP2.1 Quartier Stuttgart: Bettenhaus	32
5.4.1	Technische Systembeschreibung	32
5.4.2	Sachbilanz	32
5.4.3	Abschätzungen und Annahmen	33
5.4.4	Ergebnisse und Interpretation	34
5.5	AP2.2 Quartier Überlingen: Wohnhaus 10	36
5.5.1	Technische Systembeschreibung	36
5.5.2	Sachbilanz	36
5.5.3	Abschätzungen und Annahmen	37
5.5.4	Ergebnisse und Interpretation	39
5.6	AP3.2 Typgebäude	41
5.6.1	Technische Systembeschreibung	41

5.6.2	Mapping-Verfahren von Gebäudetypen mit Typkonstruktionen	41
5.6.3	Sachbilanz	46
5.6.4	Ergebnisse und Interpretation	47
6	Ökobilanzmodelle: Quartiere	50
6.1	Zielstellung	50
6.2	Quartierskonzepte Stuttgart (AP2.1)	51
6.2.1	Technische Systembeschreibung und Sachbilanz	51
6.2.2	Auswertung und Interpretation	53
6.3	Quartierskonzept Überlingen (AP2.2)	59
6.3.1	Technische Systembeschreibung und Sachbilanz	59
6.3.2	Auswertung und Interpretation	60
6.4	Übertragbare Lösungsansätze und Quartierskonzepte (AP3.2)	63
6.4.1	Technische Systembeschreibung und Sachbilanz	63
6.4.2	Auswertung und Interpretation	65
7	Zusammenfassung und Ausblick	68
8	Literaturverzeichnis	69
9	Anhang	74
A.1	Technologiesteckbriefe für Wärmeerzeuger	74
A.1.1	Kessel	74
1.1.1	Gas-Brennwertgerät	74
1.1.2	Pelletkessel	75
1.1.3	Hackschnitzelkessel	76
A.1.2	Wärmepumpen	77
1.2.2	Zusätzliches Equipment für die Abwasserwärmerückgewinnung	78
1.2.3	Soleverteiler	79
1.2.4	Sole-Umwälzpumpe	80
1.2.5	Erdsonde mit Soleflüssigkeit	81
1.2.6	Erdkollektor mit Soleflüssigkeit	82
1.2.7	Komponenten für Grundwasserwärmenutzung	83
1.2.8	Strom-Wärmepumpe (Luft-Wasser)	84
1.2.9	Agrothermiekollektor mit Monoethylenglykol-Wasser-Gemisch	85
A.1.3	Solarthermie	86
1.3.1	Flachkollektor	86
1.3.2	Vakuumröhrenkollektor	87
A.1.4	Warmwasserbereitstellung	88

1.4.1 Elektrischer Heizstab	88
1.4.2 Elektrischer Durchlauferhitzer	89
A.2 Technologiesteckbriefe für Stromerzeuger	90
A.2.1 Solar und Wind	90
2.1.2 PVT-Kollektor	91
2.1.3 Kleinwindkraft-Anlage	92
A.3 Technologiesteckbriefe für Lüftungsanlagen	93
A.3.1 Lüftungsanlagen	93
3.1.1 Zentrale Lüftungsanlagen mit Zu- und Abluft, 85 % WRG	93
3.1.2 Mechanische Lüftungsanlagen mit WRG > 85%	94
A.3.2 Lüftungskanäle und Zubehör Zu- und Abluftanlagen	95
3.2.1 Lüftungskanäle und Zubehör Zu- und Abluftanlage (EFH)	95
3.2.2 Lüftungskanäle und Zubehör Zu- und Abluftanlage (MFH)	96
A.4 Technologiesteckbriefe für Übergabe/Verteilung	97
A.4.1 Übergabe	97
4.1.1 Übergabestation	97
A.4.2 Netzleitungen	98
A.4.3 Pumpen	100
A.5 Technologiesteckbriefe für Speicher	101
A.5.1 Wärmespeicher	101
5.1.1 Pufferspeicher	101
A.5.2 Stromspeicher	102
5.2.1 Batteriespeicher für PV-Eigenstromnutzung	102
A.6 Technologiesteckbriefe für kombinierte Strom- und Wärmerezeuger	103
A.6.1 Blockheizkraftwerke (BHKW)	103
6.1.1 Biogas-BHKW	103
6.1.2 Erdgas-BHKW	104
6.1.3 Holzgas-BHKW	105
A.7 Gebäudemodell AP2.1: Konstruktionskatalog	106
A.8 Gebäudemodell AP2.1: Verwendete Datensätze	108

A.9	Gebäudemodelle AP3.2: Mapping von Typkonstruktionen	110
A.10	Gebäudemodelle AP3.2: Konstruktionskatalog	113
A.11	Gebäudemodelle AP3.2: Verwendete Datensätze ÖKOBAUDAT	133

1 Kurzfassung

Die ökologische Bewertung von Quartieren und Energiekonzepten in Bezug auf deren Potenziale zum Klimaschutz rückt vor dem Hintergrund der deutschen Klimaschutzziele für 2045 [Bundestag 2024] und steigenden gesetzlichen Anforderungen [Bundestag 2020] immer mehr in den Vordergrund. Der Gebäudebetrieb nimmt hierbei eine Schlüsselrolle ein. Es zeigt sich aber auch, dass mit zunehmendem Ausbau und der Umgestaltung des Energiesystems hinzu erneuerbaren Energien, auch Fragen des gebäudebezogenen Ressourceneinsatzes und der konstruktionsbedingten Emissionen eine zunehmende Rolle spielen.

Im Rahmen des Projektes STADTQUARTIER 2050 wurden in den Demonstrationsstädten Stuttgart und Überlingen, klimaneutrale Energieversorgungskonzepte geplant und umgesetzt [Schrade 2020-1], [Maucher 2023]. Zusätzlich wurden verschiedene übertragbare Lösungsansätze für eine klimaneutrale Energieversorgung anhand definierter Quartierstypen erarbeitet [Schrade 2022-1], die den Fokus auf Klimaneutralität im Gebäudebetrieb legen.

In Bezug auf die zu erwartenden Umweltpotenziale aus konstruktionsbedingten Aspekten bei der Umsetzung dieser Energieversorgungskonzepte im Quartier, unterstützt die Methode der Ökobilanz (engl. Life Cycle Assessment, LCA [Beuth 2021-1] [Beuth 2021-2]). Mit Hilfe der Ökobilanzbewertung werden folgende Fragestellungen im Projekt untersucht:

- Welche absoluten Werte können die konstruktionsbedingten „grauen Umweltwirkungen“ (Emissionen und Energieeinsatz) des Quartierskonzeptes über den Lebenszyklus von 50 Jahren potenziell aufweisen?
- Welche Elemente des Quartierskonzeptes (Gebäude, Energieversorgung, Maßnahmen zur Kompensation wie PV) sind maßgeblich und potenziell verantwortlich für den konstruktionsbezogenen Umweltbeitrag über den Lebenszyklus?
- Welche Energieversorgungskonzepte können für einen möglichst geringen Beitrag zu den potenziellen konstruktionsbedingten Umweltwirkungen über den Lebenszyklus eventuell favorisiert werden?

Die Bilanzgrenzen der ökologischen Analyse erstrecken sich auf die Gebäude sowie die dezentralen und zentralen Technologien der Energieversorgung im jeweiligen untersuchten Quartier. Projektspezifische Ökobilanzmodelle für die Gebäude und die Technologien der Energieversorgung bilden die Grundlage für die ökologische Bewertung. Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse der Ökobilanzbewertung im Projekt zusammen und adressiert dabei:

- ausgewählte Energieversorgungskonzepte im Demonstrationsquartier Stuttgart;
- ein Energieversorgungskonzept im Demonstrationsquartier Überlingen;
- ausgewählte dezentrale und zentrale Energieversorgungskonzepte, die in Bezug auf ihre Energiekosten und/oder ihre Investitionskosten als energetisch vorteilhaft eingestuft wurden, in drei ausgewählten Siedlungstypologien mit drei unterschiedlichen realisierten Gebäudestandards (EH100, EH55, EH40) [Schrade 2022-1].

Ein Großteil, der für die ökologische Analyse erarbeiteten Ökobilanzmodelle für die Gebäude und die Energieversorgung, bildet die Basis für die ökologischen Hintergrunddaten im Ökobilanzmodul für District ECA [Lenz 2024-2]. Sie wurden genutzt um Ökobilanzfunktionalität und -kennwerte für die kombinierte energetische und ökologische Stadtplanung im Stadtplanungstool District ECA zu implementieren.

2 Konzept und methodisches Vorgehen

Die ökologische Bewertung von Quartieren und Energiekonzepten in Bezug auf deren Potenziale zum Klimaschutz rückt vor dem Hintergrund der deutschen Klimaschutzziele für 2045 [Bundestag 2024] und steigenden gesetzlichen Anforderungen [Bundestag 2020] immer mehr in den Vordergrund. Der Gebäudebetrieb nimmt hierbei eine Schlüsselrolle ein. Es zeigt sich aber auch, dass mit zunehmendem Ausbau und der Umgestaltung des Energiesystems hinzu erneuerbaren Energien, auch Fragen des gebäudebezogenen Ressourceneinsatzes und der konstruktionsbedingten Emissionen eine zunehmende Rolle spielen.

Im Rahmen des Projektes STADTQUARTIER 2050 wurden in den Demonstrationsstädten Stuttgart und Überlingen, klimaneutrale Energieversorgungskonzepte geplant und umgesetzt [Schrade 2020-1], [Maucher 2023]. Zusätzlich wurden verschiedene übertragbare Lösungsansätze für eine klimaneutrale Energieversorgung anhand definierter Quartierstypen erarbeitet [Schrade 2022-1], die den Fokus auf Klimaneutralität im Gebäudebetrieb legen.

In Bezug auf die zu erwartenden Umweltpotenziale aus konstruktionsbedingten Aspekten bei der Umsetzung dieser Energieversorgungskonzepte im Quartier, unterstützt die Methode der Ökobilanz (engl. Life Cycle Assessment, LCA [Beuth 2021-1] [Beuth 2021-2]).

Methodisches Vorgehen

Für die Ökobilanzierung wird hierzu ein dreistufiger Ansatz verfolgt (siehe Bild 1), der die Analyse-Ebene (Mikro; Makro; Meso), den Detailgrad der Analyse (Vollständig; Vereinfacht; Screening) [Gantner 2011-1] [Gantner 2011-2] und den Lebenszyklusbezug verknüpft. Der Lebenszyklusbezug ermöglicht die Erweiterung der Bilanzgrenzen für die Fragestellung der Klimaneutralität im Quartier, indem konstruktive Aspekte und Materialeinsatz im Quartier, neben den aus dem Gebäudebetrieb resultierenden CO₂-äquivalenten Emissionen, mit berücksichtigt werden.

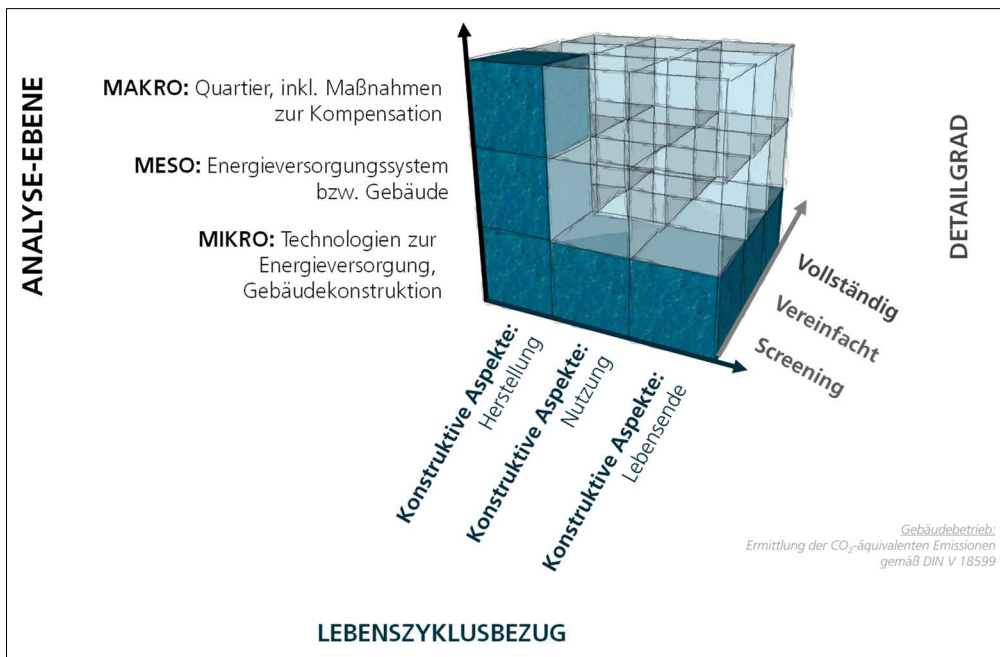


Bild 1:
Dreistufiger Ökobilanz-Ansatz für die Analyse-Ebene, den Lebenszyklusbezug und den Detailgrad [Eigene Darstellung].

Die Analyse-Ebene definiert die Elemente (Meso und Mikro) des jeweiligen Quartiers (Makro), die Teil des sogenannten Untersuchungsrahmens werden. Diese sind:

- Gebäude (Meso) mit unterschiedlichen Bausteinen der Gebäudekonstruktion (Mikro) sowie unterschiedlichen Technologien der dezentralen Energieversorgung (Mikro);
- Energieversorgungssystem (Meso) mit einzelnen Technologie-Bausteinen für die dezentrale (gebäudenah/gebäudeintegrierte) und zentrale Energieversorgung (Mikro) sowie Maßnahmen zur Kompensation (Mikro).

Die Bilanzgrenzen der ökologischen Analyse erstrecken sich damit also auf die Gebäude sowie die dezentralen und zentralen Technologien der Energieversorgung. Projektspezifische Ökobilanzmodelle für die Gebäude und die Technologien der Energieversorgung bilden die Grundlage für die ökologische Bewertung.

Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse der Ökobilanzbewertung im Projekt zusammen und adressiert dabei:

- vier verschiedene Energieversorgungskonzepte im Demonstrationsquartier Stuttgart;

- ein Energieversorgungskonzept im Demonstrationsquartier Überlingen,
- ausgewählte dezentrale und zentrale Energieversorgungskonzepte, die in Bezug auf Energiekosten und/oder Investitionskosten als besonders vorteilhaft energetisch eingestuft wurden, in drei ausgewählten Siedlungstypologien mit drei unterschiedlichen realisierten Gebäudestandards (EH100, EH55, EH40) [Schrade 2022-1].

Der realisierte Detailgrad für die Ökobilanzen in den Quartieren des Projektes SQ2050 ist als „vereinfacht“ einzustufen. Dies liegt u.a. in der Heterogenität der Eigentümerstrukturen in den Quartieren, der Notwendigkeit zur Abschätzung aufgrund fehlender Primärdaten sowie der anschließenden Integration von Ökobilanzkennwerten aus den vorliegenden Arbeiten in das Stadtplanungstool District ECA [Lenz 2024-2]. Spezifisch bilanziert werden die Sanierung des Bettenhauses im Quartier Stuttgart und der Neubau im Quartier Überlingen anhand des Gebäudes „Wohnhaus 10“.

3 Ökobilanz

3.1 Einführung

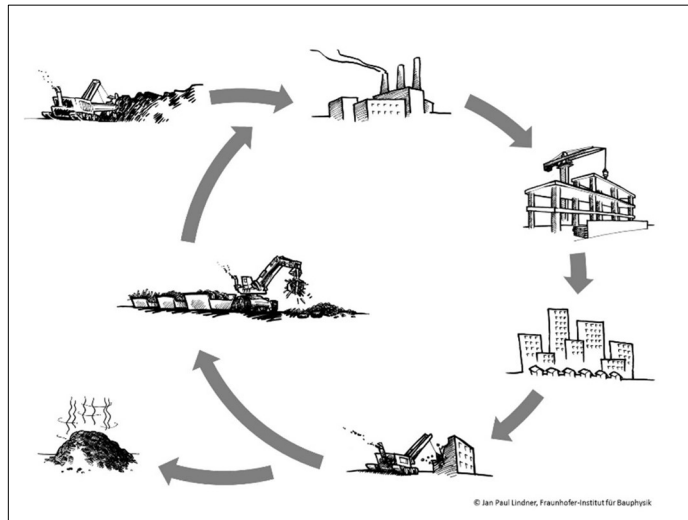


Bild 2:
Lebenszyklus im Bauwesen [Fraunhofer IBP 2016].

Allgemein: Technisch hergestellte und vom Menschen genutzte Produkte haben Wirkungen auf die Umwelt – über ihren gesamten Lebenszyklus (Bild 2), von der Entnahme von Ressourcen aus der Natur, über die Herstellung und Nutzung der Produkte bis hin zu ihrem Lebensende. Die Ökobilanz ist eine international anerkannte und genormte Methode [Beuth 2021-1] [Beuth 2021-2], mit Hilfe derer diese potenziellen Umweltwirkungen (auch Umweltleistung genannt) objektiv und vergleichbar beziffert werden können. Es können unterschiedliche Umweltproblemfelder betrachtet werden. Die wohl gängigsten sind z. B. die globale Erwärmung und der Beitrag zum Klimawandel (GWP) oder aber auch der Verbrauch primärenergetischer fossiler Energieträger und Ressourcen (PENRT). Durch die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus sowie verschiedener Umweltthemen, stellt die Ökobilanz sicher, dass Problemverlagerungen identifiziert werden und ökologische Optimierungsmaßnahmen zielgerichtet erfolgen können.

Ablauf und Durchführung einer Ökobilanz: Um die potenziellen Umweltwirkungen über den Lebenszyklus ermitteln zu können, müssen Ressourcen und Emissionen entlang der Wertschöpfungskette erfasst werden. Hierzu werden Struktur- und Funktionsmodelle in entsprechender Ökobilanz-Software aufgebaut. Zunächst werden die Zielstellung und ein festgelegter Untersuchungsrahmen definiert, um eine funktionelle Einheit (als vergleichbare Bezugsgröße für die Ergebnisse der Ökobilanz), die Systemgrenzen sowie die zu untersuchenden Lebenszyklusphasen abzugrenzen. In Übereinstimmung mit dem Untersuchungsrahmen, werden anschließend alle relevanten

Stoff- und Energieströme identifiziert und erfasst (Sachbilanz) und deren potenzielle Wirkungen auf die Umwelt bestimmt (Wirkungsabschätzung). Das Ziel (Auswertung und Interpretation) kann hierbei z. B. sein, entwicklungsbegleitend ökologische Hot Spots zu identifizieren, ein Ökobilanz-Screening für eine spezielle Lebenszyklusphase vorzunehmen oder eine umfassende Bilanz im Rahmen einer Nachhaltigkeitszertifizierung durchzuführen.

Ökobilanzen im Bauwesen: Ökobilanzen im Bauwesen stellen eine wichtige Grundlage für die Beurteilung der ökologischen Qualität von Bauprodukten, Gebäuden und Quartieren dar. Sie sind obligatorisch im Rahmen der Nachhaltigkeitszertifizierung [DGNB 2023] eingebunden und in Deutschland seit dem Jahr 2021 für die Bundesförderung für energieeffiziente Gebäude (BEG) [KfW 2022], [BMWSB 2022] verpflichtend. Für eine verbesserte Transparenz in der Kommunikation der Umweltleistung von Bauprodukten werden Umweltproduktdeklarationen (engl. Environmental Product Declaration (EPD) [Beuth 2020]) genutzt. EPD-Programmbetreiber sind beispielsweise das Institut für Bauen und Umwelt e.V. (IBU) [IBU 2024] oder das International EPD® System [EPD International 2024]. Die ÖKOBAUDAT [BMWSB 2021] stellt die größte europäische und frei zugänglich Datenbank für Bauprodukte dar, die insbesondere im Rahmen der Gebäudeökobilanz zur Anwendung kommt. Sie enthält Umweltinformationen für gängige Bauprodukte und Energieträger in generischer Form als auch spezifische Bauproduktinformation (EPDs). Die Umweltinformationen der ÖKOBAUDAT sind konform zu den Anforderungen der europäischen Normung [Beuth 2020] und basieren in der Regel auf der professionellen, industrienahen Expertensoftware und Datenbank Sphera LCA for Experts [Sphera 2023]. Die mit einem Gebäude verknüpften potenziellen Umweltwirkungen können mit Hilfe des Instruments der Gebäudeökobilanz [Beuth 2012] bewertet werden. Praxisrelevante Tools für die Gebäudeökobilanz verknüpfen vorhandene Umweltinformationen mit den Bestandteilen des Gebäudes, das in einzelne, strukturierte baukonstruktive und anlagentechnische Elemente und Schichten zerlegt wird. Sie unterstützen damit entwicklungsbegleitend sowohl in den frühen Planungsphasen als auch in der Detail-/Ausführungsplanung.

3.2 Zielstellung

Mit Hilfe der Ökobilanzbewertung soll die Frage beantwortet werden, welche potenziellen Umweltwirkungen sich über den Lebenszyklus für die analysierten Quartiere und die gewählten Energieversorgungskonzepte ergeben.

Die Analyse soll vereinfacht erfolgen und entsprechende Hintergrunddaten (Technologiemodelle, Gebäudemodelle, Quartiersmodelle) hierfür bereit gestellt werden. Der Fokus der Analyse im Quartier liegt auf der Identifikation der sogenannten „grauen Umweltwirkungen (Emissionen und/oder Energie)“ über die Methode der Ökobilanz. Unter dem Begriff der „grauen Umweltwir-

kungen“ werden potenzielle lebenszyklusbezogene Umweltwirkungen verstanden, die konstruktiv mit dem Energieversorgungskonzept einhergehen. Sie fallen zusätzlich neben den potenziellen Umweltwirkungen des Gebäudebetriebes (verursacht durch den Einsatz von Energieträgern für die Bereitstellung von z. B. Wärme, Kälte und Strom) über den Lebenszyklus des Quartiers an. Sie stellen einen zusätzlichen „ökologischen Mehraufwand“ dar, der beim Wunsch zur Zielerreichung einer Klimaneutralität [Braune 2020] über den gesamten Quartierslebenszyklus potenziell mitberücksichtigt und gegebenenfalls zusätzlich kompensiert werden muss.

Mit Hilfe der Ökobilanzbewertung werden folgende Fragestellungen im Projekt untersucht:

- Welche Elemente des Quartierskonzepts (Gebäude, Energieversorgung, Maßnahmen zur Kompensation wie PV) sind maßgeblich und potenziell verantwortlich für den konstruktionsbezogenen Umweltbeitrag über den Lebenszyklus?
- Welche absoluten Werte können die konstruktionsbedingten „grauen Umweltwirkungen“ (Emissionen und Energieeinsatz) des Quartierskonzeptes über den Lebenszyklus von 50 Jahren potenziell aufweisen?
- Welche Energieversorgungskonzepte können für einen möglichst geringen Beitrag zu den potenziellen konstruktionsbedingten Umweltwirkungen über den Lebenszyklus eventuell favorisiert werden?

3.3 Funktion und funktionelle Einheit

Für die Analyse von Umweltpotenzialen im Rahmen der Ökobilanz wird eine Bezugsgröße für die Ergebnisdarstellung, die sogenannte funktionelle Einheit, benötigt. Die funktionelle Einheit repräsentiert eine quantifizierbare Größe zur Abbildung der maßgeblichen Funktion eines Quartiers über einen definierten Betrachtungszeitraum.

Die Funktion der bilanzierten Quartiere wird in der vorliegenden Analyse mit der Bereitstellung von thermisch konditionierter Gebäudefläche für unterschiedliche Nutzungszwecke (Wohnen, Nichtwohnen) über einen definierten Zeitraum gewählt. Die Funktion der zu bilanzierenden Energieversorgungskonzepte ist die Bereitstellung von Wärme, Kälte, Strom etc. und die Versorgung der unterschiedlichen Gebäude im Quartier über einen definierten Zeitraum. In Anlehnung an gängige funktionelle Einheiten aus der Nachhaltigkeitszertifizierung [DGNB 2023] beziehungsweise der Gebäudeförderung [BMWSB 2022] mit Flächenbezug, wird als Bezugseinheit gewählt:

- 1m² konditionierte Nettoraumfläche (NRF) und 1 Jahr des Betrachtungszeitraums (1m²_{NRF}* a)

Als Betrachtungszeitraum werden 50 Jahre zu Grunde gelegt.

Als Flächenbezüge sind in den Quartieren sowohl die Wohnfläche als auch die thermisch konditionierte Nettogrundfläche (nach DIN V 18599) für die Energiebedarfsberechnung je Gebäude verfügbar. Letztere wird als Flächenbezugsgröße im Rahmen der funktionellen Einheit synonym als Nettoraumfläche genutzt. Die konditionierte Nettoraumfläche weicht von der konstruktiven Nettoraumfläche nach DIN 277 [Beuth 2021-3] ab, welche im Rahmen der Nachhaltigkeitszertifizierung für die funktionelle Einheit Berücksichtigung findet. Die Nettoraumfläche nach DIN 277 ist in der Regel höher als die thermisch konditionierte Nettoraumfläche. Die Ergebnisse der Ökobilanz auf Basis der thermisch konditionierten Fläche fallen daher höher aus.

Für die Bausteine des Quartiers auf der Meso- beziehungsweise Makroebene werden spezifische funktionelle Einheiten gemäß Kapitel 4 und Kapitel 0 festgelegt. Sie sind Grundlage für den Aufbau spezifischer Technologie- und Gebäudemodelle, die für die Quartiersbilanzierung benötigt werden.

3.4 Bilanzgrenzen und Abschneidekriterien

Lebenszyklusmodule: Die ökologische Bewertung der konstruktiven Aspekte im Quartier, Energieversorgungskonzepte sowie der Gebäude und eingesetzten Technologien über den Lebenszyklus richtet sich nach den Lebenszyklusmodulen gemäß EN 15978 [Beuth 2012]. Es werden die folgenden Lebenszyklusmodule (Bild 3) berücksichtigt:

- Herstellung (Modul A1-A3),
- Nutzung, d.h. Ersatz und Austausch (Modul B4),
- Lebensende, d.h. Abfallbehandlung für Wiederverwendung, Rückgewinnung und Recycling (Modul C3) und
- Lebensende, d.h. Entsorgung (Modul C4).

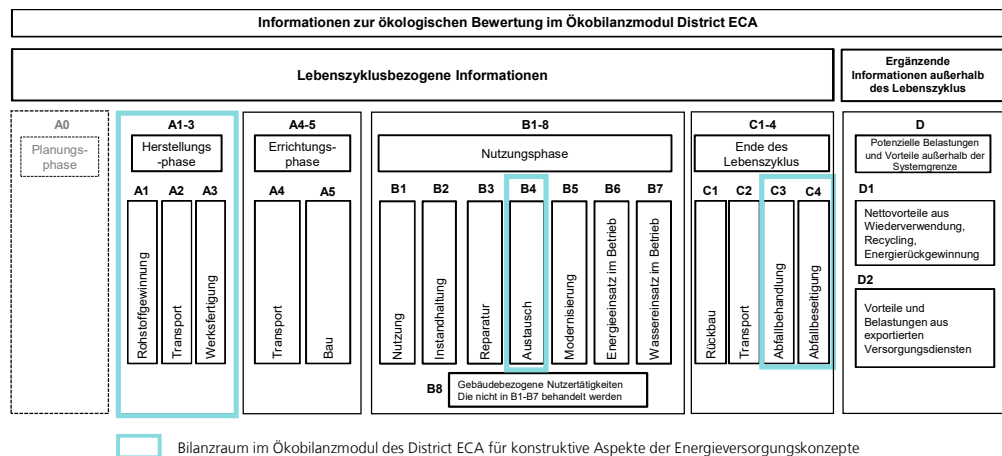


Bild 3:
Berücksichtigte Lebenszyklusmodule für die Ökobilanzbewertung, Darstellung in Anlehnung an EN 15978 [Beuth 2012].

Sonstige Lebenszyklusmodule werden nicht in die Analyse integriert (Abschneidekriterium).

Bestandteile und Elemente: Der Begriff Energieversorgungskonzept schließt nach Projektdefinition sowohl die zu versorgenden Gebäude als auch die zentralen und dezentralen Technologien der Energieversorgung ein, die für die Energieversorgung benötigt werden. In Anlehnung an die Strukturierung von Kostengruppen (KG) der DIN 276 [Beuth 2018-2] werden folgende Kostengruppen differenziert:

- KG300 Baukonstruktion,
- KG400 Technische Anlagen (dezentral), d. h. gebäudeintegriert bzw. gebäudenah eingesetzt und
- KG500 Technische Anlagen (zentral), d. h. gebäudefern.

Für die KG300 Baukonstruktion (Kapitel 0) werden die folgenden Kostengruppen spezifisch berücksichtigt:

- KG320 Gründung, Unterbau;
- KG330 Außenwände/Vertikale Baukonstruktionen, außen;
- KG340 Innenwände/Vertikale Baukonstruktionen, innen;
- KG350 Decken/Horizontale Baukonstruktionen und
- KG360 Dächer.

Für die KG400 Technische Anlagen, zentral (Kapitel 4) werden die folgenden Kostengruppen inkludiert:

- KG420 Wärmeversorgungsanlagen: im Speziellen ausschließlich KG421 Wärmeerzeugungsanlagen;
- KG430 Raumluftechnische Anlagen und
- KG440 Elektrische Anlagen: im Speziellen Eigenstromversorgungsanlagen (PV).

Für die KG500 Technische Anlagen, dezentral (Kapitel 4) werden berücksichtigt:

- KG550 Technische Anlagen: im Speziellen KG554 Wärmeversorgungsanlagen, KG555 Raumluftechnische Anlagen und KG556 Elektrische Anlagen (PV, Windkraft).

Betrachtungszeitraum: Als Betrachtungszeitraum werden 50 Jahre für die Ökobilanz zu Grunde gelegt.

3.5 Annahmen und Abschätzungen

Die im Projekt zu bilanzierenden Quartiere bieten eine breite Variantenvielfalt. Neben der Bewertung von Bestands- und Neubauquartieren müssen auch Sanierungstätigkeiten abgebildet werden. Die hinter der energetischen Analyse liegende Bewertungslogik, ist in allen drei Anwendungsfällen (Bestand, Sanierung, Neubau) ähnlich. Für die ökologische Analyse muss an dieser Stelle allerdings differenziert werden, wie nachfolgend erläutert:

- Umgang mit Bestand: Für Bestandsquartiere und vorhandene Energieversorgungskonzepte ist der Beitrag durch konstruktive Aspekte im Rahmen der ökologischen Nachhaltigkeitsbewertung definitionsgemäß „Null“. Es erfolgt auch keine teilweise Anrechnung. Es werden nur die CO₂-äquivalenten Emissionen ermittelt, die im Rahmen des Gebäudebetriebes (Kapitel 3.6) anfallen.
- Umgang mit Neubau: Es werden alle konstruktiven Elemente des Quartiers und des jeweiligen Energieversorgungskonzeptes im Sinne der Bilanzgrenzen (Kapitel 3.4) bilanziert und vollständig angerechnet. Die Bewertungslogik für konstruktive Aspekte berücksichtigt hier den sogenannten „Bau auf der grünen Wiese“.
- Umgang mit Sanierung: Für den Fall der Sanierung werden Maßnahmen auf Basis von Leistungsverzeichnissen (Primärdaten) spezifisch

abgebildet, generische Sanierungsmaßnahmen bilanziert oder pauschale Ansätze genutzt. Für die spezifische Bilanzierung werden vereinfacht nur die im Rahmen der Sanierung neu eingebrachten Materialströme berücksichtigt und analog dem Neubau in Herstellung, Ersatz/Austausch und Lebensende bilanziert. Im Falle der Energieversorgung (zentral und dezentral) wird vereinfacht immer von einem kompletten Tausch der Erzeugertechnologien (Strom, Wärme, Kälte, Lüftung etc.) ausgegangen.

Ersatz und Austausch von Komponenten (Modul B4): Der Ersatz und Austausch von Komponenten der Baukonstruktion sowie der technischen Anlagen wird über den Zeitraum von 50 Jahren berücksichtigt, sofern die Lebensdauer dieser Komponenten und Anlagen geringer als der Betrachtungszeitraum ist. Hierzu wird eine Austauschhäufigkeit mit ganzzahligem Austausch berücksichtigt. Für die Baukonstruktion werden die Nutzungsdauern gemäß Leitfaden Nachhaltiges Bauen [BMWSB 2021-1] und für die Technischen Anlagen gemäß VDI 2067 [VDI 2012] genutzt.

Szenarien für das Lebensende (Modul C): In Anlehnung an Vorgaben zur Ökobilanz aus der Nachhaltigkeitszertifizierung [DGNB 2023] beziehungsweise der Gebäudeförderung [BMWSB 2022] werden für das Lebensende materialgruppenspezifische Ansätze genutzt:

- Mineralische Materialien: Stoffliche Verwertung und/oder Entsorgung (Inertstoffdeponie);
- Metalle: Stoffliche Verwertung/Recycling;
- Materialien mit Heizwert: Thermische Verwertung;
- Alle sonstigen Materialien: Entsorgung (Inertstoffdeponie).

In der Regel sind diese materialgruppenspezifischen Ansätze sowie die hiermit verbundenen etwaigen Belastungen und Gutschriften in den hauptsächlich verwendeten Ökobilanzdaten der ÖKOBAUDAT [BMWSB 2021-2] enthalten. Für projektspezifische Modelle zur Abbildung der Energieversorgung werden diese Ansätze entsprechend übernommen und in der Modellbildung berücksichtigt.

Nicht-energetisch relevante Bauteilflächen: Insbesondere die Typgebäude der übertragbaren Lösungsansätze für Klimaneutralität [Schrade 2022-1] weisen nur energetisch relevante Bauteile der Gebäudehülle aus, die im Rahmen der Energiebedarfsberechnung Berücksichtigung finden. Für die Ökobilanz sind aber auch nicht-energetisch relevante Bauteile wie Gründung/Unterbau (KG320), Innenwände (KG340), Treppen (KG350) und Decken (KG350) von Bedeutung. Für die Innenwände (KG340) und Decken (KG350) wurden hierzu vergleichbare Gebäudeprojekte aus dem Baukosteninformationssystem BKI [BKI 2022] auf Flächeninformationen ausgewertet.

Für Gründung/Unterbau (KG320) und Treppen (KG350) wurden Erfahrungswerte für EFH und MFH aus vergangenen Projekten des Fraunhofer IBP zur Abschätzung gewählt. Die Ansätze nutzen für die Schließung vorhandener Datenlücken für Bauteile jeweils den Bezug zur Nettoraumfläche.

Sicherheitsaufschläge: Sicherheitsaufschläge sind in der vorliegenden Analyse bei Anwendung eines vereinfachten Bilanzierungsverfahrens nicht berücksichtigt. Sie führen bei Anwendung konservativer Bewertungsansätze zu erhöhten, absoluten und potenziellen Umweltwirkungen für die Gebäudekonstruktion sowie die Lebenszyklusmodule Herstellung (A1-A3), Austausch/Ersetzung (B4) und Lebensende (C3-C4).

Detaillierte und zusätzliche spezifische Annahmen und Abschätzungen zur Abbildung der Technologien zur Energieversorgung werden im Kapitel 4 dokumentiert. Spezifische Annahmen für die Gebäude sind in Kapitel 5 zu finden. Generell werden konservative Annahmen zu Grunde gelegt.

3.6 Umgang mit dem Gebäudebetrieb

Die Eingangsdaten für die Bilanzierung des Gebäudebetriebs (Modul B6) werden gemäß Methodik der DIN V 18599 [Beuth 2018-1] ermittelt. Hierzu zählen u. a. Energiebedarfswerte für Strom, Wärme, Kälte als auch für die jährliche Energieproduktion bei Nutzung von Photovoltaik und Windkraft. Die so ermittelten Energiebedarfswerte werden mit den gemäß DIN V 18599 anzusetzenden Faktoren für die Ermittlung der CO₂-äquivalenten Emissionen verrechnet. Die Faktoren gemäß DIN V 18599 basieren auf dem Rechenmodell von GEMIS [IINAS 2024]. Sie müssen von den Ökobilanzergebnissen für die konstruktiven Aspekte des Quartiers differenziert werden, da hier nicht zwingend Kongruenz und Deckungsgleichheit im methodischen Ansatz der verwendeten Faktoren und Hintergrunddaten gegeben ist.

3.7 Datenqualität und verwendete Ökobilanzsoftware

Aspekte der Datenqualität im Rahmen der Ökobilanz adressieren u. a. die Repräsentativität, Vollständigkeit, Genauigkeit, Konsistenz und Nachvollziehbarkeit der verwendeten Daten.

Umweltinformationen zur Berücksichtigung der Emissionen aus dem Gebäudebetrieb werden auf Grundlage der DIN V 18599 [Beuth 2018-1] ermittelt. Umweltinformationen zur Berücksichtigung von potenziellen Emissionen aus Herstellung (A1-A3), Ersatz/Austausch (B4) und Lebensende (C3-C4) werden konsistent zur EN 15804+A1 [Beuth 2020] bereitgestellt.

Die Datengrundlage der Ökobilanzmodelle für die Gebäude und die Technologien zur Energieversorgung stellen zu einem großen Anteil (in etwa 90 %)

öffentlich verfügbare Umweltinformationen dar. Hierbei werden zumeist generische Daten der ÖKOBAUDAT [BMWSB 2021-2] verwendet, welche um produktspezifische Daten sogenannter Umweltproduktdeklarationen ergänzt werden. Im Fall von Datenlücken, wurde für Hintergrunddaten der Ökobilanzmodelle der Technologien der Energieversorgung das Software und Datenbanksystem Sphera LCA for Experts [Sphera 2023] genutzt. Die verwendeten Hintergrunddaten sind geografisch repräsentativ für Deutschland und decken zeitlich den Zeitraum der Jahres 2018 bis 2022 ab. Ökologische Informationen für die Technologien der Energieversorgung sind unter Berücksichtigung spezifischer Bandbreiten für unterschiedliche Leistungsbereiche (z. B. Wärmepumpen im Leistungsbereich von 5 bis 500 kW) und auf Basis der Festlegung von Stellvertreter-Technologien (z. B. Photovoltaik, Silizium, monokristallin) bereitgestellt.

Generische wie auch spezifische Daten werden im Gebäudeökobilanz-Tool Generis® [Fraunhofer IBP 2024-4] für die Modellbildung genutzt und in aggregierter Form angebunden. Die Software Generis® [Fraunhofer IBP 2024-4] bietet hierzu die folgenden Hierarchie- bzw. Aggregations-Ebenen zur Strukturierung von Ökobilanzdaten:

- Prozess-Informationen: Sie stellen die unterste Ebene dar und beziehen sich auf spezifische Produkte und Materialien (z. B. Beton), spezifische Energieträger (z. B. Strom-Mix) oder spezifische Technologien der Energieversorgung (z. B. Wärmepumpe). Prozess-Informationen strukturieren sich gemäß EN 15804+A1 [Beuth 2020] und weisen die Umweltwirkungen in den einzelnen Lebenszyklusmodulen separat aus.
- Konstruktions-Informationen: Sie verknüpfen Prozess-Informationen auf Basis einzelner Schichtaufbauten mit Hilfe von Umrechnungsfaktoren zu einer Gesamtinformation für ein spezifisches (auch zusammengesetztes) Bauteil (z. B. eine Außenwand) für eine definierte Bezugsgröße (z. B. 1m²).
- Projekt-Informationen: Sie stellen die oberste Ebene der Aggregation dar und verknüpfen Konstruktions-Informationen zu einer Gesamtinformation für ein spezifisches Bauwerk (z. B. ein Gebäude).

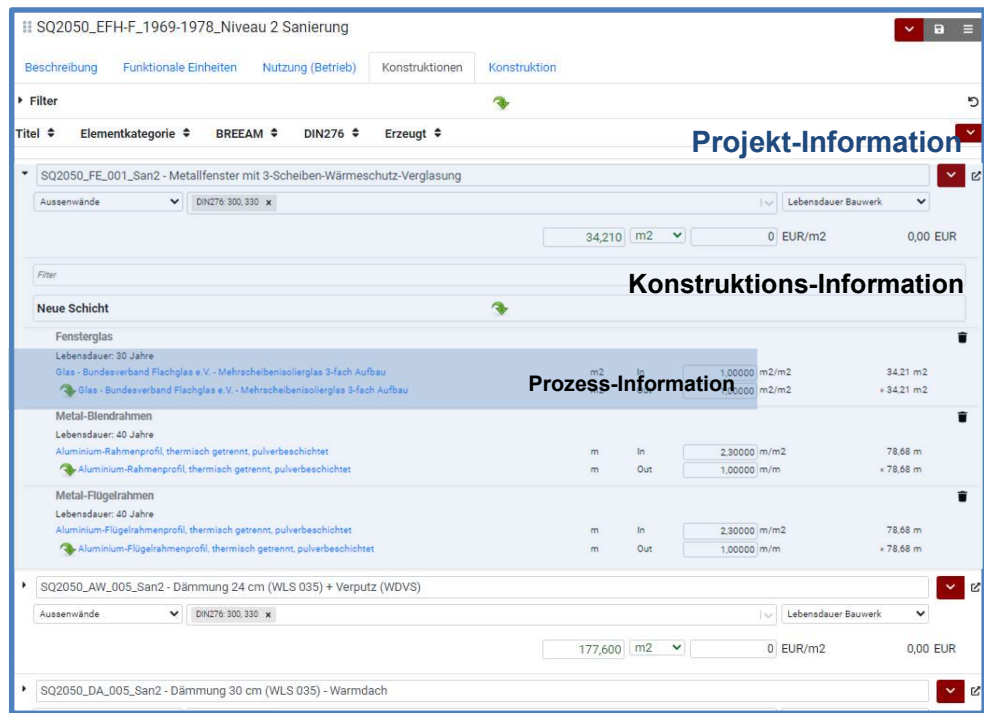


Bild 4:
Strukturierung der Datengrundlage für District ECA im Tool Generis® am Beispiel EFH [Fraunhofer IBP 2024-4].

Konstruktions- und Projekt-Informationen werden unter Zuhilfenahme entsprechender Kategorien, Schlagworte und Auszeichnungsmarkierungen (so genannter Tags) und in Hinblick auf methodische Vorgaben zur Umsetzung der Quartiersökobilanz im Ökobilanzmodul strukturiert. Bild 4 zeigt ein Beispiel für ein Gebäudemodell Sanierung, EFH.

Massen- und Energieströme für die Modellbildung der Gebäude und Technologien der Energieversorgungskonzepte basieren zumeist auf Literaturdaten, u. a. technischen Systembeschreibungen für ausgewählte Stellvertreter-Technologien oder Planungshandbücher. Teilweise stehen auch herstellere-spezifische Primärdaten zur Verfügung, die im Projekt erhoben wurden. Die Qualität der verwendeten Daten kann als gut eingeschätzt werden.

3.8 Auswertung und Interpretation

Für die Wirkungsabschätzung werden international akzeptierte Umweltindikatoren und Wirkungskategorien verwendet, die u. a. auch im Rahmen der Nachhaltigkeitsbewertung und Gebäudeförderung Anwendung finden. Ihnen liegen belastbare wissenschaftliche Modelle zur Wirkungsabschätzung zu Grunde. Es werden die Umweltindikatoren und Wirkungskategorien gemäß EN 15804+A1 [Beuth 2020] genutzt.

Es werden Ergebnisse für folgende Wirkungskategorien und Umweltindikatoren mit Relevanz für die ökologische Bewertung im Projekt zur Verfügung gestellt:

- Einsatz nicht erneuerbarer Primärenergie, total (PENRT) in [MJ]: als potenzieller Beitrag zur stofflichen und energetischen Nutzung von nicht erneuerbaren primärenergetischen Ressourcen sowie
- Treibhauspotenzial (GWP) in [kg CO₂-Äquivalenten]: als potenzieller Beitrag zum Treibhauseffekt (Klimaerwärmung) beziehungsweise zur globalen Klimaänderung und zum globalen Klimawandel.

Anmerkung: Für eine vereinfachte Kommunikation und in Analogie zur energetischen Gebäudebilanzierung werden die Ökobilanzergebnisse zum Einsatz nicht erneuerbarer Primärenergie (PENRT) in Kilowattstunden angegeben.

Für die Interpretation der Ökobilanzergebnisse sind grundsätzlich folgende Sachverhalte relevant:

- Auftretende (negative) potenzielle Umweltwirkungen, die es zu vermeiden gilt, werden aus Sicht der Ökobilanz im mathematischen Sinne als positiver Wert dargestellt. Je geringer der Wert, desto vorteilhafter und desto weniger Emissionen sind potenziell mit dem Quartier verbunden.
- Auftretende (positive) potenzielle Umweltwirkungen, die es gegebenenfalls zu maximieren gilt, werden dagegen im mathematischen Sinne als negativer Wert dargestellt.
- Je näher die ermittelten Werte für das Treibhauspotenzial (GWP) an „Null“ liegen, desto eher kann Klimaneutralität erreicht werden.

Bild 5 gibt einen schematischen Einblick in die Visualisierung und Darstellung der Ökobilanzergebnisse im Projekt für konstruktive Aspekte im Quartierskontext.

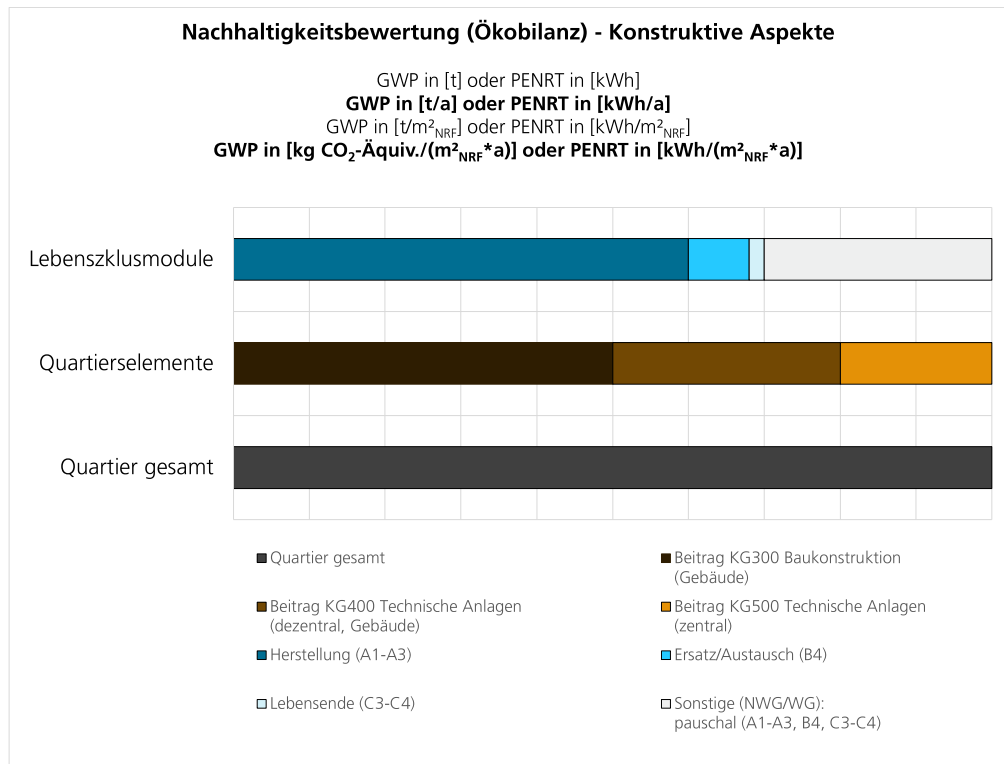


Bild 5:
 Schematische Darstellung der Visualisierung von Ökobilanzergebnissen für die konstruktiven Aspekte – nach Elementen des Quartiers am Beispiel eines mischgenutzten Quartiers [Eigene Darstellung].

Zum einen werden die Ergebnisse der Ökobilanz für konstruktive Aspekte des Quartiers über den Lebenszyklus als absoluter Gesamtwert ausgewiesen. Weiterhin wird differenziert nach den Beiträgen der einzelnen Bausteine des Quartiers: KG300 Baukonstruktion (Gebäude), KG400 Technische Anlagen (dezentral, Gebäude), KG500 Technische Anlagen (zentral). Zum anderen wird der Gesamtwert des Quartiers nach den Beiträgen der einzelnen Lebenszyklusmodule unterschieden: Herstellung (A1-A3), Ersatz/Austausch (B4) und Lebensende (C3-C4). Die Unterscheidung nach Lebenszyklusmodulen ist nur für die Wohngebäude (WG) umsetzbar. Auf Grund der fehlenden Verfügbarkeit und vorhandenen Struktur von Hintergrunddaten zur Ökobilanz für Nichtwohngebäude für die Kostengruppe KG300 Baukonstruktion, können diese nicht nach Lebenszyklusmodulen differenziert werden. Für die Nichtwohngebäude (NWG) wird nur ein aggregierter Wert aus den Lebenszyklusmodulen ausgewiesen und visualisiert (Wert „Sonstige NWG/WG“).

4 Ökobilanzmodelle: Produkte und Technologien

4.1 Zielstellung

Zielstellung des Aufbaus der Produkt- beziehungsweise Technologiemodelle ist es, quantifizierte lebenszyklusbezogene Umweltinformationen für die Quartiersökobilanz auf der Mikro- beziehungsweise Meso-Ebene (Kapitel 2) bereitzustellen. Umweltinformationen werden für die Demonstrationsquartiere Stuttgart (AP2.1) und Überlingen (AP2.2) als auch für die generischen Lösungsansätze (AP3.2) zur Verfügung gestellt. Die Umweltinformationen adressieren die konstruktiven Aspekte, d.h. sie stellen Informationen zum Materialeinsatz und somit zu den konstruktionsbedingten Umweltwirkungen der Technologien bereit.

Umweltinformationen werden für die im Bilanzrahmen des Quartiers (Kapitel 3.4) definierten Kostengruppen KG400 Technische Anlagen (zentral) und KG500 Technische Anlagen (dezentral) mit entsprechenden Ökobilanzmodellen abgebildet. Der Fokus liegt dabei auf den Erzeuger-/Speichertechnologien, Lüftungsanlagen und auf den Anlagenkomponenten für die zentrale Übergabe und Verteilung, die nicht über öffentlich verfügbare Datensätze der ÖKOBAUDAT [BMWSB 2021-2] für die Quartiersökobilanz abgebildet werden.

4.2 Technische Systembeschreibung

In den Technologiesteckbriefen in Anhang A.1 bis A.6 sind die technischen Systeme und TGA-Komponenten unter Angabe ihrer wesentlichen Randbedingungen und Charakteristiken für die Modellbildung beschrieben.

4.3 Funktion und funktionelle Einheit

In Tabelle 1 sind die deklarierten Einheiten der ökobilanziell bewerteten Technologiemodelle (zentral und dezentrale Technische Anlagen) in Anlehnung an EN 15804+A1 aufgeführt.

Tabelle 1:
Gewählte funktionelle Einheiten für die Technologiemodelle.

TGA-Gruppe	TGA-Komponente	Bezugsgröße
Kessel	Gas-Brennwertgerät	1 Stück Definierte Leistung [kW]
	Pelletkessel	1 Stück Definierte Leistung [kW]
	Hackschnitzelkessel	1 Stück Definierte Leistung [kW]
Wärmepumpe	Strom-Wärmepumpe (Sole-Wasser bzw. Wasser-Wasser)	1 Stück Definierte Nenn-Wärmeleistung [kW]
	Zusätzliches Equipment für die Abwasserwärmerückgewinnung	Zusätzliches Equipment für die Abwasserwärmerückgewinnung für eine thermische Leistung von 1 kWth
	Soleverteiler	1 Stück Definierte Anzahl an Solekreisen/Stück
	Sole-Umwälzpumpe	1 Stück Definierte Leistung [kW]
	Erdsonde mit Soleflüssigkeit in Sonde	1 Erdsondenrohr mit 1 m Länge
	Erdkollektor mit Soleflüssigkeit in Erdkollektor	1 Erdkollektorrohr mit 1 m Länge
	Komponenten für Grundwasserwärmenutzung	Komponenten für Grundwasserwärmenutzung für 1 m Länge
	Strom-Wärmepumpe (Luft-Wasser)	1 Stück Definierte Nenn-Wärmeleistung [kW]
	Agrothermiekollektor mit Monoethylenglykol-Wasser-Gemisch	1 m ²
Blockheizkraftwerk (BHKW)	Biogas-BHKW	1 Stück Definierte thermische Leistung [kWth]
	Erdgas-BHKW	1 Stück Definierte thermische Leistung [kWth]
	Holzgas-BHKW	1 Stück Bestehend aus 1 Stück Holzvergaser und 1 Stück Holzgas-BHKW Jeweils definierte thermische Leistung [kWth]
Warm-Wasserbereitstellung	Elektrischer Heizstab	1 Stück Definierte Leistung [kW]
	Elektrischer Durchlauferhitzer	1 Stück Definierte Leistung [kW]
Verteilung	Nahwärmenetz warm / Fernwärmeleitungen	1 gedämmte Rohrleitung mit 1 m Länge Definierte Nennweite (DN)
	Nahwärmenetz kalt	1 ungedämmte Rohrleitung mit 1 m Länge Definierter Außendurchmesser (OD)
	Netzpumpe	1 Stück Definierte Leistung [kW]
	Fern-/Nahwärmeübergabestation	1 Stück
Solarthermie	Flachkollektor	1 m ² Kollektorfläche
	Vakuumröhrenkollektor	1 m ² Kollektorfläche
Lüftungsanlagen	Zentrale Lüftungsanlage mit Zu- und Abluft mit 85 % Wärmerückgewinnung (WRG)	1 Stück Lüftungsanlage Definierter Volumenstrom [m ³ /h]

	Mechanische Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung (WRG > 85 %)	1 Stück Lüftungsanlage pro Definierter Volumenstrom [m³/h]
	Lüftungskanäle und Zubehör Zu- und Abluftanlage	Kanäle und Zubehör pro MFH bzw. pro EFH
Erneuerbare Strombereitstellung	Kleinwindkraft-Anlage	1m² Rotorfläche
	PV-Anlage	1 m² PV-Anlage (monokristallin bzw. multikristallin)
	PVT-Kollektor	1 m² Kollektor-Aperturfläche
Stromspeicher	Batteriespeicher für PV-Eigenstromnutzung	1 Stück pro 1 kWh Speicherkapazität Lithium-Ionen-Batterie bzw. Lithium-Eisenphosphat-Batterie
Wärmespeicher	Pufferspeicher	1 Stück Definiertes Speichervolumen [l]

4.4 Verwendete Ökobilanz-Software, Hintergrunddaten und Datensätze

Es werden repräsentative Anlagenbeschreibungen herangezogen, um generische Ökobilanz-Modelle zu erstellen. Für die Modellierung der Produkte und Technologien wird das prozess- und flussbezogene Software und Datenbanksystem Sphera LCA for Experts, Content Version 2023.1 [Sphera 2023], verwendet.

4.5 Systemraumerweiterung und Allokation

In den verwendeten Hintergrunddatensätzen der ÖKOBAUDAT sowie der Datenbank Sphera LCA for Experts können Allokationen enthalten sein, entsprechende Beschreibungen sind den Dokumentationen der Datensätze unter www.oekobaudat.de bzw. <https://lcadatabase.sphera.com/> zu entnehmen.

4.6 Sachbilanz und Modellbildung

Die Umweltprofile werden, sofern verfügbar, der öffentlichen Ökobilanzdatenbank ÖKOBAUDAT gemäß EN15804+A1 entnommen. Die verwendeten ÖKOBAUDAT-Datensätze sind technologisch und für Deutschland repräsentativ und beziehen sich auf das Referenzjahr 2018. Detaillierte Informationen zur Datenqualität können den Datensatz-Dokumentationen entnommen werden. Sind keine öffentlichen Datensätze verfügbar, so werden projektspezifische Umweltprofile mithilfe der professionellen Datenbank Sphera LCA for Experts [Sphera 2023] erstellt.

Für die Erstellung projektspezifischer Umweltprofile werden auf Basis der technischen Systembeschreibungen der Technologien die Materialströme

der Technischen Anlagen im Rahmen der Sachbilanz ermittelt. Sofern möglich, werden im Zuge von Herstelleranfragen Primärdaten für die verschiedenen technischen Systeme erhoben.

Bei fehlenden Informationen werden Werte aus Sekundärliteratur oder Expertenschätzungen herangezogen. Außerdem werden je nach Notwendigkeit Inter- oder auch Extrapolationen durchgeführt, um Umweltprofile für die geforderten Leistungsbereiche zu erstellen. Die erhobenen und genutzten Daten sind zeitlich repräsentativ für die Jahre 2019 und jünger.

Im Allgemeinen liegt der Modellierung des Lebensendes der technischen Anlagen vereinfacht die Annahme zugrunde, dass die technischen Systeme nach Erreichen ihrer Nutzungsdauer sortenrein in ihre Materialien getrennt werden. Zudem sind für die verschiedenen Materialien/Komponenten der TGA die in Tabelle 2 aufgeführten Sammel- und Recyclingraten angesetzt. Von diesen Modellierungsansätzen gegebenenfalls abweichende sowie ergänzende Annahmen für die Abbildung des Lebensendes (Modul C) in der Software Sphera LCA for Experts sind in den Technologie-Steckbriefen dokumentiert. In den verwendeten Ökobilanz-Datensätzen für das Recycling von Materialien sind mitunter Recyclingverluste berücksichtigt. Informationen hierzu können der Dokumentation der Datensätze entnommen werden (<https://lcadatabase.sphera.com/>).

Tabelle 2:
Materialspezifische Sammel- und Recyclingraten für die Modellierung des Lebensendes (Modul C).

Material/Komponente	Sammel-/Recyclingrate	Quelle
Stahl und Eisen Materialien	99 % Sammelrate (davon 88,9 % Recycling, 11,1 % Wiederverwendung), 1 % Deponierung	https://bauforum-stahl.de/presse/stahl-ist-vorreiter-bei-ressourceneffizienz-und-baustoffrecycling
Edelstahl	90 % Sammelrate	https://www.fsb.de/de/download-dokumente/weitere-downloads/umweltschutz/EPD-FSB-2011211-D_Edelstahl/
	Von den gesammelten Stoffen werden 100 % recycelt. Für den übrigen 10%-igen Teil wird eine Deponierung modelliert.	Eigene Annahme.
Kunststoffteile	80 % Sammelrate (davon 100 % Verbrennung mit Energierückgewinnung), 20 % Deponierung	Gemäß statistischer Daten für die EU: https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/landfill-waste_en
Leichtmetalle (Blechteile oder Gussteile) - Aluminium	„Für das End of Life wird eine Sammelrate von 90 % angenommen. Für den übrigen 10%-igen Teil wird eine Deponierung modelliert.“	https://www.bemo.com/f/d-1094.1/BEMO EP_D Aluminiumprofil DE.pdf
	100 % Sammelrate	Eigene Annahme.

Nichteisenmetalle (z. B. Kupfer)	Davon 90 % Recycling, 10 % Deponierung	Eigene Annahme.
Messing-Bauteil	Gemäß der Dokumentation des verwendeten ÖKOBAUDAT-Datensatzes.	Eigene Annahme. https://oekobaudat.de/OEKO-BAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=d9ee3a94-83a2-4615-b071-9afa3aaeff42&version=20.19.120&stock=OBD_2021_1&lang=de
Elektronik (Leiterplatten)	Sammelrate: 100 % (davon 100 % Verbrennung mit Energierückgewinnung)	Eigene Annahme.
Kabel	Sammelrate: 100 %	Eigene Annahme.
	Davon: Recyclingrate: 90 %, Deponierate: 10 %	https://oekobaudat.de/OEKO-BAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=55e5f6b9-224f-4938-8ae7-5495fade6f19&version=20.19.120&stock=OBD_2021_1&lang=de
Kältemittel R410a	Gemäß der Dokumentation des verwendeten ÖKOBAUDAT-Datensatzes.	Eigene Annahme. https://oekobaudat.de/OEKO-BAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=988bb7c3-0a15-4626-a6c0-0883d4ff33dd&version=20.19.120&stock=OBD_2021_1&lang=de
Pumpen	Sammelrate: 100 %	Eigene Annahme.
	Recyclingrate: 95 %	https://oekobaudat.de/OEKO-BAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=55e5f6b9-224f-4938-8ae7-5495fade6f19&version=20.19.120&stock=OBD_2021_1&lang=de
	Restlicher 5 %-iger Teil der gesammelten Pumpen wird deponiert.	Eigene Annahme.
Schmiermittel	Sammelrate: 100 % Vollständige Beseitigung als Sondermüll	Eigene Annahme.
Hydrauliköl	Sammelrate: 100 % Vollständige Beseitigung als Sondermüll	Eigene Annahme.
PV-Modul	Sammelrate: 100 % Materialspezifisches Lebensende auf Basis des Berichts.	Life Cycle Inventory of Current Photovoltaic Module Recycling Processes in Europe. IEA PVPS Task12, Subtask 2, LCA: Report IEA-PVPS T12-12:2017, December 2017.
Wasser-Glykol-Gemisch	Sammelrate: 100 % Davon 100 % Entsorgung als Sondermüll.	Festlegung auf Basis von DIN 4640, Blatt 2, S. 88.
Beton	Sammelrate: 100 %	Eigene Annahme.
	Davon 100 % Bauschuttzubereitung	ÖKOBAUDAT
Rohrisolierung (PU/EPDM Schaum)	Sammelrate: 100 %	Eigene Annahme.
	Recyclingrate: 90 % (für Kunststoffisolierung)	https://oekobaudat.de/OEKO-BAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=55e5f6b9-224f-4938-8ae7-5495fade6f19&version=20.19.120&stock=OBD_2021_1&lang=de

		4938-8ae7-5495fade6f19&version=20.19.120&stock=OBD_2021_I&lang=de
	Restlicher 10 %-iger Teil der gesammelten Rohrisolierung wird deponiert.	Eigene Annahme.
Mineralwolle	Sammelrate: 100 %	Eigene Annahme.
	100 % Inertstoffdeponie	https://oekobaudat.de/OEKO-BAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=55e5f6b9-224f-4938-8ae7-5495fade6f19&version=20.19.120&stock=OBD_2021_I&lang=de
Wasser von saisonalem Speicher	Wasser wird zu 100 % ins Grundwasser zurückgeführt.	Eigene Abschätzung.
Klebstoff	Sammelrate: 0 % Wird zu 100 % Deponierung zugeführt.	Eigene Annahme.
PP-Vlies	80 % Sammelrate (davon 100 % Verbrennung mit Energierückgewinnung), 20 % Deponierung	Siehe Kunststoffteile.
PC/PET-Folie	80 % Sammelrate (davon 100 % Verbrennung mit Energierückgewinnung), 20 % Deponierung	Siehe Kunststoffteile.

Der Großteil der verwendeten Datensätze der Datenbank Sphera LCA for Experts ist zum Zeitpunkt der Erstellung der projektspezifischen Ökobilanzmodelle nicht älter als zwei Jahre, bildet Durchschnittstechnologien ab und ist geographisch repräsentativ für Deutschland.

4.7 Auswertung und Interpretation

Technologieübergreifend weist die Herstellung (Modul A1-A3) der bilanzierten Produkte und Technologien den größten Beitrag zum Klimawandel und die Nutzung von nicht erneuerbaren primärenergetischen Ressourcen (stofflich und energetisch) auf. Relevanten Einfluss auf die Ökobilanzergebnisse haben beispielsweise Materialien wie Stahl, Eisen, Kupfer und Aluminium. Die Ergebnisse zeigen aber auch die Relevanz und den Einfluss der gewählten Nutzungsdauer der Komponenten (und damit verbundenen Austauschhäufigkeit) über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren (Modul B4).

Die Skalierbarkeit und Übertragbarkeit der zur Verfügung gestellten Umweltinformationen ist nur unter den angegebenen Randbedingungen und technischen Kennwerten gegeben. Es ergeben sich u.a. Einschränkungen durch die konstruktiven Anlagenausführungen. Im Fall einer Lüftungsanlage bedeutet beispielsweise eine Verdoppelung der Leistung des Gerätes nicht, dass das Gerät doppelt so groß beziehungsweise doppelt so schwer ist. Vielmehr ist die Größe von Lüftungsanlagen u. a. von der Nutzungsart (z. B. Büro/Wohnen), dem Luftwechsel und der Raumfläche abhängig.

Es ist grundsätzlich zu beachten, dass die Umweltinformationen der generischen Datensätze der ÖKOBAUDAT je nach Datenqualität mit einem Sicherheitszuschlag von bis zu 30% versehen sind.

Ergebnisse Technologieökobilanz: In Bild 6 sind beispielhaft die Ökobilanzkennwerte einer Sole-Wasser-Wärmepumpe veranschaulicht. In der Bilanzierung sind neben der Wärmepumpe selbst auch die Erdsonde und der Soleverteiler über eine konservative Abschätzung mitberücksichtigt.

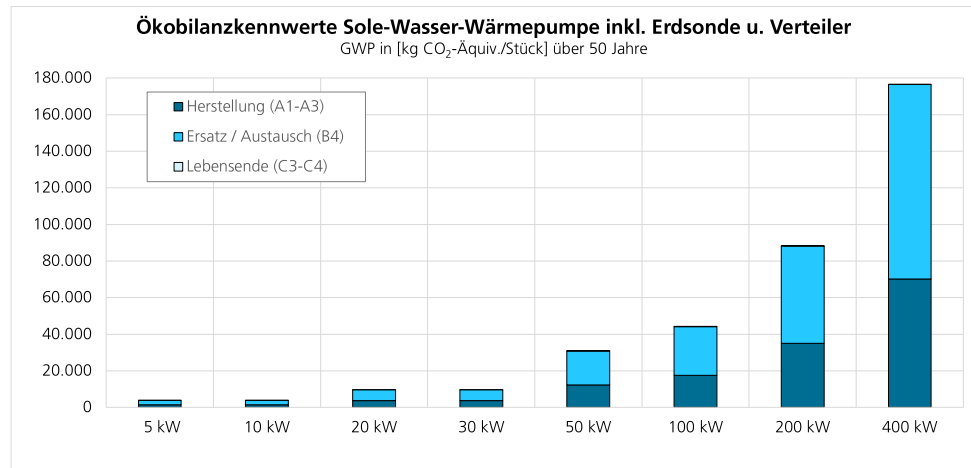


Bild 6: Ökobilanzkennwerte KG400 Technische Anlagen, Sole-Wasser-Wärmepumpe [Eigene Darstellung].

Es wird ersichtlich, dass die Herstellungsphase (Modul A1-A3) sowie der anteilige Austausch/Ersatz (Modul B4) über den Zeitraum von 50 Jahren signifikant zum Treibhauspotenzial über den Lebenszyklus beitragen. Der ökobilanziellen Bewertung liegt eine Nutzungsdauer der Sole-Wasser-Wärmepumpe von 20 Jahren zugrunde. Infolgedessen wird die Wärmepumpe zweimal über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren ausgetauscht. Die Erdsonden hingegen werden mit einer Nutzungsdauer von 50 Jahren berücksichtigt. Kupfer für den Wärmetauscher hat mit etwa 89 % den höchsten Massenanteil an der Materialzusammensetzung der Wärmepumpe. Infolgedessen bestimmt der Wärmetauscher der Wärmepumpe signifikant die Höhe der Umweltwirkungen dieser Komponente.

In Bild 7 sind außerdem die Ergebnisse der Ökobilanz eines Holzgas-Blockheizkraftwerks (BHKW), das mit Hackschnitzeln gespeist wird, mit einem Biomasse-Spitzenlastkessel dargestellt. Die zugrundeliegenden spezifischen Produktmodelle sind konservativ skaliert.

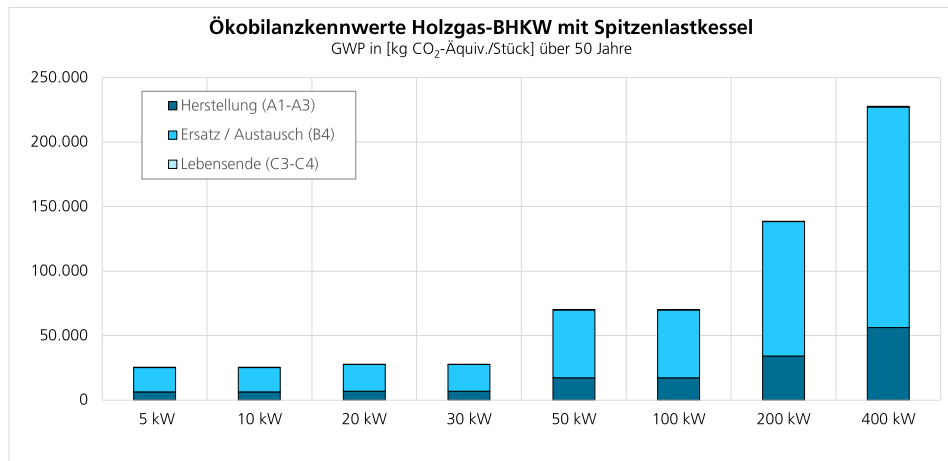


Bild 7:

Ökobilanzkennwerte KG400 Technische Anlagen, Holzgas-Blockheizkraftwerk (BHKW) mit Spitzenlastkessel Biomasse [Eigene Darstellung].

Auch bei dieser Technologie ist der Großteil der konstruktionsbedingten Umweltwirkungen auf die Herstellungsphase (A1-A3) sowie den anteiligen Austausch/Ersatz (B4) über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren zurückzuführen. Die Nutzungsdauer des BHKWs ist mit 15 Jahren und einem 3-fachen Austausch über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren angesetzt. Die Sprünge in diesem Balkendiagramm spiegeln deutlich wider, dass das Holzgas-BHKW mit Vergaser in definierten Leistungsbereichen arbeitet und die dem Technologiemoell zugrundeliegenden Massen der Komponente von der Leistung des Holzgas-BHKWs und des Vergasers abhängen. Dieses Beispiel zeigt repräsentativ für BHKWs, dass ab einer definierten thermischen Leistung eine Kaskadierung mehrerer kleiner Anlagen erfolgt, um höhere Leistungen bereitstellen zu können.

5 Ökobilanzmodelle: Gebäude

5.1 Zielstellung

Zielstellung des Aufbaus der Gebäudemodelle ist es quantifizierte lebenszyklusbezogene Umweltinformationen für die Quartiersökobilanz auf der Mikro- beziehungsweise Meso-Ebene (Kapitel 2) bereit zu stellen. Umweltinformationen werden für die Demonstrationsquartiere Stuttgart (AP2.1) und Überlingen (AP2.2) als auch für die generischen Lösungsansätze (AP3.2) zur Verfügung gestellt. Die Umweltinformationen adressieren die konstruktiven Aspekte, d.h. sie stellen Informationen zum Materialeinsatz und somit zu den konstruktionsbedingten Umweltwirkungen der Technologien bereit.

Umweltinformationen werden für die im Bilanzrahmen des Quartiers (Kapitel 3.4) definierte Kostengruppe KG300 Baukonstruktion mit entsprechenden Ökobilanzmodellen abgebildet. Im Speziellen werden die folgenden Gebäude ökologisch analysiert:

- Sanierung des Bettenhauses im Quartier Stuttgart (AP2.1);
- Neubau im Quartier Überlingen (AP2.2) anhand des Wohnhauses 10 sowie
- die Sanierung von generischen Typgebäuden und/oder deren Neubau für die Nutzung im Rahmen der übertragbaren Lösungsansätze für die klimaneutrale Energieversorgung (AP3.2).

5.2 Funktion und Funktionelle Einheit

Die Funktion der zu bilanzierenden Gebäude wird als die Bereitstellung von thermisch konditionierter Fläche zu unterschiedlichen Nutzungszwecken über einen spezifischen Zeitraum definiert. In Anlehnung an gängige funktionelle Einheiten aus der Nachhaltigkeitszertifizierung [DGNB] beziehungsweise der Gebäudeförderung [QNG] mit Flächenbezug sowie die gewählte funktionelle Einheit für die Quartiersbilanz, wird als Bezugseinheit gewählt:

- 1m² konditionierte Nettoraumfläche (NRF) und 1 Jahr des Betrachtungszeitraums (1m²_{NRF} * a)

Als Betrachtungszeitraum werden 50 Jahre zu Grunde gelegt.

5.3 Modellbildung, verwendete Daten und Software

Umweltinformationen für Bauprodukte werden der öffentlichen Ökobilanzdatenbank ÖKOBAUDAT mit Datenbankversion 2021-II [BMWSB 2021-2] gemäß EN15804+A1 entnommen. Die verwendeten ÖKOBAUDAT-Datensätze sind technologisch und für Deutschland repräsentativ und beziehen sich auf das Referenzjahr 2021. Detaillierte Informationen zur Datenqualität können den jeweiligen Dokumentationen der Datensätze entnommen werden.

Für die Modellierung der Kostengruppe KG300 Baukonstruktion wird das Gebäudeökobilanztool GENERIS® [Fraunhofer IBP 2024-4] verwendet.

5.4 AP2.1 Quartier Stuttgart: Bettenhaus

Aufgrund der Heterogenität der Eigentümergehörigkeiten, wird die Ökobilanzierung des Bettenhauses mit einem vereinfachten Detailgrad durchgeführt. Für die Ökobilanz des Quartiers Stuttgart werden folgende Elemente berücksichtigt:

- Gebäude (Neubau und Sanierungsmaßnahmen): Baukonstruktion KG300

5.4.1 Technische Systembeschreibung

Untersuchungsgegenstand: Ökobilanziert werden die Sanierungsaktivitäten am Bettenhaus (für den Wohnbereich und den Bereich mit KiTa)

Datenqualität: Die Datenerfassung erfolgt auf Basis von Primärdaten zur Sanierung. Es werden EnEV-Nachweise und Planunterlagen mit Informationen zu den Konstruktionsaufbauten der sanierten Bauteile berücksichtigt, z.B.

- Geometrische Abmessungen und Angaben: Flächen der Konstruktionen in m², Schichtdicken in mm u. ä.;
- Bauteilbezeichnungen und technische Charakterisierung der eingebrachten Komponenten und Produkte.

5.4.2 Sachbilanz

Die Ökobilanz-Modelle für die Sanierungsmaßnahmen der Gebäude-Hülle werden in der Software GENERIS® [Fraunhofer IBP 2024-4] abgebildet.

Die Sachbilanz basiert auf den Konstruktionsangaben (Aufbauschichten), die dem Bauteilkatalog entnommen werden, wobei die Flächenangaben der Konstruktionen auf dem Wärmeschutznachweis basieren.

In Anhang A.7 sind die berücksichtigten Konstruktionen der Bereiche Kita und Wohnen des Bettenhauses zusammengestellt. Anhang A.8 dokumentiert die verwendeten ÖKOBAUDAT-Datensätze.

In Tabelle 3 sind die Flächenangaben, die der Ökobilanzierung des Quartiers Stuttgart zugrunde liegen, aufgeführt. Weitere Sachbilanzdaten sind in den entsprechenden Berichten zum Energiekonzept Stuttgart dokumentiert.

Tabelle 3:
Flächenaufstellung des Quartiers Stuttgart.

Gebäude	NGF [m ²]
Bettenhaus	12.956
Wohnen, Sanierung (über Typgebäude AP3.2 „MFH_G: Sanierung“)	5.743
Wohnen, Neubau (über Typgebäude AP3.2 „MFH_G: Neubau“)	41.507
KITA: Neubau	2.885
Altenheim: Neubau	1.088
Supermarkt: Neubau	1.319
Misch: Neubau	2.128
Büro: Sanierung	1.431
Gesamt	69.057

5.4.3 Abschätzungen und Annahmen

Die Daten für die Modellierung des Bettenhauses basieren auf Primärdaten für den Bauteilkatalog [EGS-Plan 2019-1] und auf den Wärmeschutznachweis [EGS-Plan 2019-2]. Es sind die Bereiche Wohnen und Kita berücksichtigt. Nach Abgleich der Bauteilinformationen der verschiedenen Datenquellen, konnten Inkonsistenzen in den Flächenangaben identifiziert werden. Diese wurden daher sinnhaft und mit einem konservativen Ansatz (z.B. Ansatz der höheren Bauteilfläche) gelöst.

Konstruktionen, für welche aufgrund fehlender Daten keine korrekte Mengenermittlung durchgeführt werden konnte (z.B. Türen), werden nicht berücksichtigt, da ihre Relevanz als gering eingeschätzt wird.

5.4.4 Ergebnisse und Interpretation

Die Ökobilanzergebnisse der Gebäude des Quartiers Stuttgart setzen sich aus der konkreten Bilanzierung des Bettenhauses, der Nutzung von Pauschalwerten aus QNG für Nichtwohngebäude und einem Ansatz für Sanierung nach Niveau 2 aus dem AP3.2 mit Hilfe des Typgebäudes MFH_G (vergleiche Kapitel 5.6) zusammen. Damit werden Ergebnisse für die Gebäude in Stuttgart für alle Gebäudebestandteile im Quartier ermittelt.

Die Ergebnisse für das Treibhauspotenzial (GWP) der Gebäude sowie des Einsatzes von nicht erneuerbarer Primärenergie (PENRT) sind in Bild 8 und Bild 9 dargestellt.

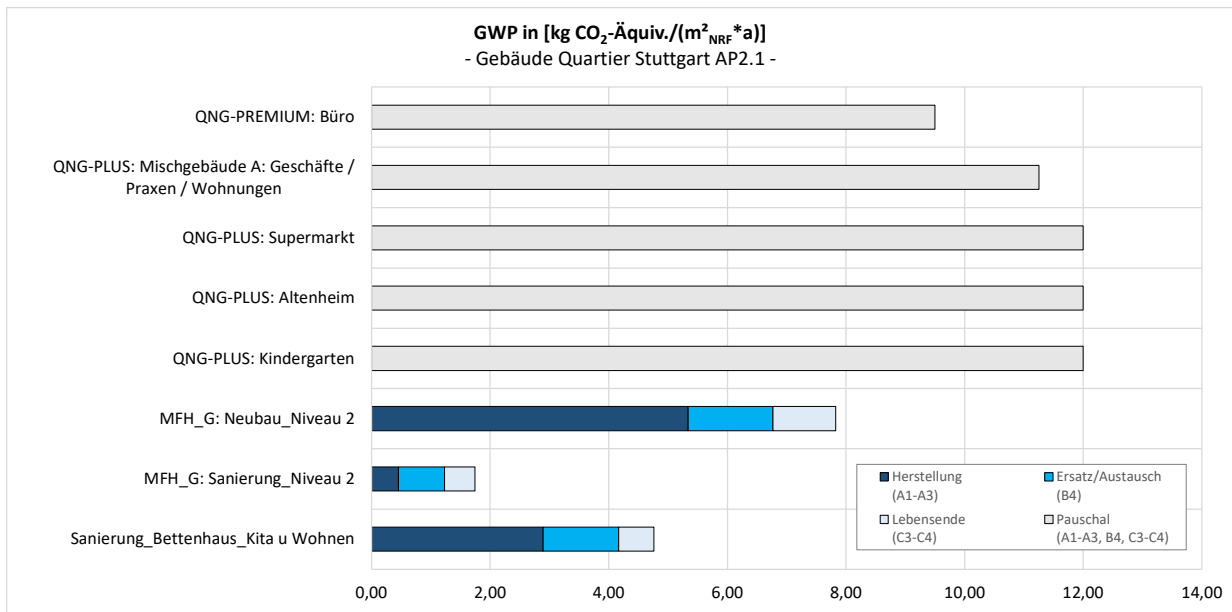


Bild 8:
GWP in [kg CO₂-Äquiv./ (m²_{NRF}*a)] der Gebäude des Quartiers Stuttgart (AP2.1) für die berücksichtigten Lebenszyklusphasen.

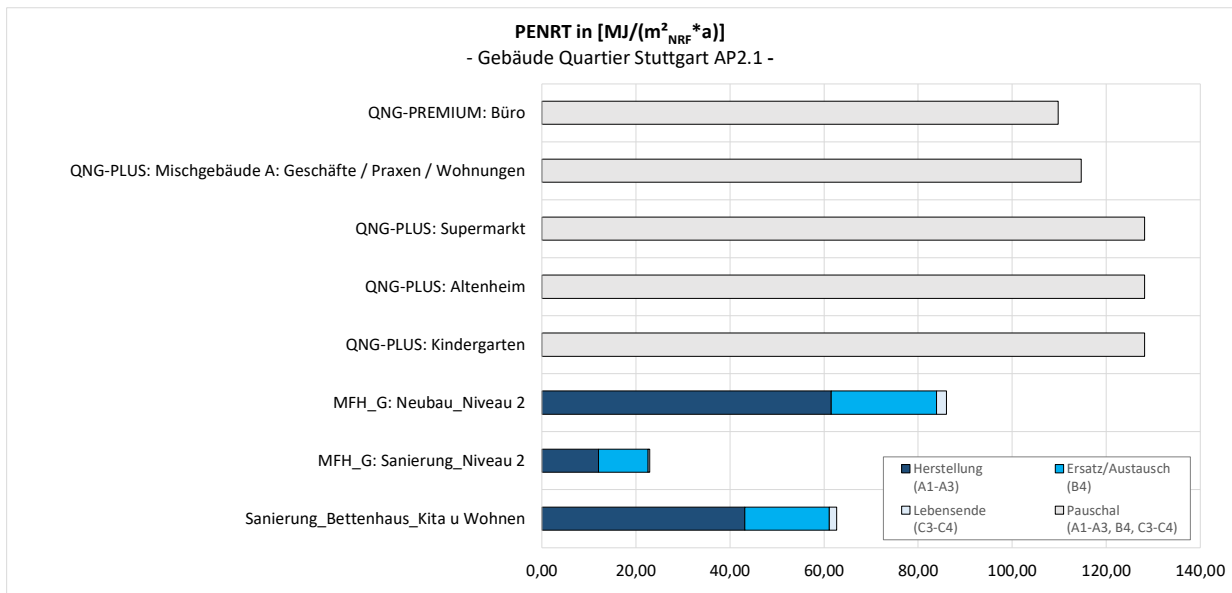


Bild 9:
PENRT in [MJ/(m²_{NRF}*a)] der Gebäude des Quartiers Stuttgart (AP2.1) für die berücksichtigten Lebenszyklusphasen.

Die Bilanzergebnisse der Gebäude zeigen, dass für Neubauaktivitäten im Quartier als auch für die Sanierung des Bettenhauses, die Herstellung der konstruktiven Elemente (Modul A1-A3) relevant ist. In Bezug auf die Sanierung zeigt der vereinfachte Ansatz ebenfalls die reduzierten Umweltwirkungen, bei Nutzung der Option zur Sanierung. In Gegenüberstellung des Ansatzes einer generischen Sanierung nach Niveau 2 am Typgebäude MFHG_G und der konkret bilanzierten Sanierung am Bettenhaus zeigt sich hier ein Faktor von ca. 3-fach höheren Umweltwirkungen bei detaillierter Bilanzierung. In Gegenüberstellung zu den Wohngebäuden, zeigt der vereinfachte Ansatz ebenfalls die höheren Umweltwirkungen je funktioneller Einheit für die Nichtwohngebäude auf.

5.5 AP2.2 Quartier Überlingen: Wohnhaus 10

5.5.1 Technische Systembeschreibung

Gegenstand der Ökobilanzierung ist das Mustergebäude 10 des Wohnquartiers am Schöttlisberg in Überlingen, ohne Einbezug der Außenanlagen. Das Gebäude verfügt über 6 Vollgeschosse mit einer umbauten Bruttogrundfläche (BGF) in Höhe von 2.028 m² und einer Nettoraumfläche (NRF) in Höhe von 1.726 m². In dem Mehrfamilienhaus sind 17 Wohnungen untergebracht. Darüber hinaus verfügt das Gebäude über einen separaten Waschraum, einen Müllraum, Kellerabteile für jede Wohnung sowie je einen Raum für die Heizungsanlage und den Batteriespeicher.

5.5.2 Sachbilanz

Das Bilanzierungsmodell setzt sich aus den Schichtaufbauten der einzelnen Bauteile der Kostengruppen KG300 und der technischen Anlagen KG400 zusammen. Die Ökobilanz berücksichtigt die folgenden Komponenten:

- Außenwände (inkl. Türen und Fenster) und Kellerwände
- Dach und Dachterrasse ohne Dachluke
- Geschossdecken (inklusive Fußbodenaufbau und –beläge)
- Bodenplatten (inkl. Fußbodenaufbau und –beläge)
- Fundamente (nicht berücksichtigt)
- Innenwände und Türen

In Übereinstimmung mit den Vorgabengaben der Gebäudezertifizierung wird bei der Erstellung des Gebäudemodells für die Ökobilanz zwischen Neubau und Bestandskonstruktion differenziert. Aufgrund des Verursacherprinzips, werden vor der Baumaßnahme bereits bestehende Baukonstruktionen, wie beispielsweise die Tiefgarage, nicht bilanziert.

Die eingehenden Sachbilanzdaten sind im Bericht zum Energiekonzept Überlingen dokumentiert: Die Wärmeenerzeugung für das Quartier erfolgt außerhalb des Gebäudes in der Energiezentrale „Stadtwerk am See“. Über ein 3-Leiter-Wärmenetz werden die dezentralen Wärmespeicher in den Gebäuden gespeist. Das Stromversorgungskonzept des Quartiers sieht eine dezentrale Stromerzeugung durch Photovoltaik-Anlagen auf den Dächern der Gebäude mit einem zentralen Batteriespeicher in Haus 10 vor. Zusätzlich

benötigte Energie wird durch Rückgriffe auf das Stromnetz zur Verfügung gestellt. Die Wärmeerzeugung, die Photovoltaik-Anlage sowie der Batteriespeicher wurden in der Gebäude-Ökobilanz nicht berücksichtigt, da diese Anlagen kumuliert über das gesamte Quartier in der Quartiersbilanz (Kapitel 6.3 berücksichtigt werden.

5.5.3 Abschätzungen und Annahmen

Die Mengen und die Schichtaufbauten der einzelnen Bauteile sind, soweit enthalten, aus vorhandenen EnEV-Berechnung entnommen. Schichtaufbauten, welche nicht in der EnEV-Berechnung enthalten sind, werden einer zusätzlich verfügbaren Bauteilaufstellung gemäß Architektenangaben entnommen.

Für einige Bauteile standen keine verlässlichen Schichtaufbauten oder Mengen zur Verfügung. In diesen Fällen wurden Annahmen auf Grundlage der Pläne bzw. von Vergleichswerten getroffen. Die betreffenden Bauteile und die für die Modellierung zu Grunde gelegten Annahmen sind der folgenden Tabelle 4 zu entnehmen und komplettieren das Gebäudemodell.

Tabelle 4:
Bauteile und Modellierungsannahmen.

Innenwände		
- Verhältnis der Bauteildicken der KS-Wände anhand der Architektenpläne bestimmt		
Wandtyp	Flächenanteil	
Kalksandstein mit Wandstärke 24 cm	75 %	
Kalksandstein mit Wandstärke 18 cm	25 %	
Gemittelte Wandstärke	22,5 cm	
Treppen		
- Werden in Kostengruppe KG350 gem. DIN 276 mit berücksichtigt und ausgewiesen		
Pflastersteinbelag Balkone und Dachterasse		
- Der Datensatz für Pflastersteine betrachtet lediglich die Module A1-A3		
- Als End of Life-Szenario wurde die Bauschutttaufbereitung von 1,03 kg Bauschutt zu 1 kg Rezyklat modelliert		
Bodenbeläge		
- Anteile von Fliesen, Zementestrich und Parkett anhand der Architektenpläne bestimmt		
Bodenbelag	Fläche lt. Planunterlagen	Flächenanteil
Massivholzparkett (Durchschnitt DE)	1.160,11 m ²	~73 %
Keramische Fliesen und Platten	101,78 m ²	~6 %
Zementestrich	328,55 m ²	~21 %
Fläche Gesamt	1590,44 m²	100 %
Farben und Lacke		
- Abschätzung des Flächengewichts in Höhe von 0,24 kg/m ² auf Basis von Produktdatenblättern		

Türen

- Maße gemäß Architektenunterlagen:

	Breite [m]	Höhe [m]	Fläche [m ²]
Innentüren	0,885	2,285	5,46
Wohnungstüren	1,01	2,285	5,58

- Konstruktiver Aufbau abgeschätzt mit:

Bezeichnungen gem. ÖKOBAUDAT	Berechnete Mengen	Referenzierte Werte
Innentüren		49 St
Holz-Blendrahmen	267,30 lfm	5,46 lfm/St
Spanplatte (Durchschnitt)	4,9 m ³	0,1 m ³ /St
Lacksysteme Holzfenster Decklack weiß	23,76 kg	0,97 kg/St
Beschlagverbund Fenster Stahl	98 St	2 St/St
Wohnungstüren		17 St
Holz-Blendrahmen	94,86 lfm	5,58 lfm/St
Spanplatte (Durchschnitt)	1,96 m ³	0,12 m ³ /St
Lacksysteme Holzfenster Decklack weiß	18,72 kg	1,11 kg/St
Beschlagverbund Fenster Stahl	34 St	2 St/St

Fenster

- Fläche der Außenwandöffnungen auf Basis der EnEV-Berechnung ermittelt
- Konstruktiver Aufbau der Kunststoff-Fenster abgeschätzt mit (Bezeichnungen gem. ÖKOBAUDAT-Datensatz):

Schichten	Menge	Referenzierte Werte	Berechnung
PVC-Blendrahmen	778,30 lfm	1,97 lfm/m ²	$L [lfm] = \sum_{i=0}^n l_i$ mit: $\forall l_i \text{ mit } b_i = 3 \text{ m:}$ $l_i [lfm] = 2 * b_i [m] + 3 * h_i [m]$ $\forall l_i \text{ mit } b_i \neq 3 \text{ m:}$ $l_i [lfm] = 2 * (b_i [m] + h_i [m])$
PVC-Flügelrahmen	1.050,06 lfm	2,65 lfm/m ²	$L [lfm] = \sum_{i=0}^n l_i$ mit: $\forall l_i \text{ mit } b_i = 3,45 \text{ m:}$ $l_i [lfm] = 2 * b_i [m] + 6 * h_i [m]$ $\forall l_i \text{ mit } b_i \neq 3,45 \text{ m:}$ $l_i [lfm] = 2 * (b_i [m] + h_i [m])$
Dreifachverglasung (Dicke: 0,036 m)	332,08 m ²	0,765 m ² /m ²	Flächenanteil in Höhe von 76,5 % entnommen aus EnEV-Berechnung
Beschlagverbund Fenster Stahl	186 St	0,44 St/m ²	Annahme: 2 Beschläge pro Fenster

- Konstruktiver Aufbau der Stapelfassade mit:

Schichten	Menge	Referenzierte Werte	Berechnung
-----------	-------	---------------------	------------

Aluminium-Rahmenprofil, thermisch getrennt, pulverbeschichtet	102 lfm	2,46 lfm/m ²	
Aluminium-Flügelrahmenprofil, thermisch getrennt, pulverbeschichtet	12,57 lfm	2,60 lfm/m ²	
Dreifachverglasung (Dicke: 0,036 m)	332,08 m ²	0,72 m ² /m ²	
Beschlagverbund Fenster Stahl	4 St	0,09645 St/m ²	Annahme: 2 Beschläge pro Fenster
Paneel			
Aluminiumblech	1,84 m ²	0,18 kg/m ²	
Mineralfaser Deckenplatten (Dicke 0,015m)	1,84 m ²	0,177 m ² /m ²	
Aluminiumblech	1,84 m ²	0,18 kg/m ²	
Dezentrale Lüftungsgeräte			
<ul style="list-style-type: none"> - Anzahl der Lüftungsgeräte abhängig von den Wohnungsgrößen <ul style="list-style-type: none"> - Wohnungen < 70 m² haben 1 Lüftungsgerät - Wohnungen > 70 m² haben 2 Lüftungsgeräte - Insgesamt sind in dem Mustergebäude 24 Lüftungsgeräte 			
Übergabestation Fernwärme			
<ul style="list-style-type: none"> - Das Mustergebäude und das Nachbargebäude teilen sich eine Übergabestation. - Die Nennleistung der Übergabestation beträgt 60 kW. - Im Rahmen der Modellierung wird die Umweltwirkung hälftig dem Mustergebäude angerechnet. 			

Für die Abbildung der Hochleistungsdämmstoffe der puren GmbH werden verfügbare Produkt-EPDs des Verbands genutzt.

5.5.4 Ergebnisse und Interpretation

Die Bilanzierung berücksichtigt für Bestandsgebäude eine Sanierung nach Niveau 1 aus AP3.2 und für den Neubau die konkreten Umweltwirkungen für Gebäude 10 in mehreren Varianten.

Die Varianten berücksichtigen dabei verschiedene Ansätze:

- Variante 0 – flächenoptimiert: Gebäude mit puren Produkten – Herstellung gemäß Verbands-EPD berücksichtigt – Lebensende spezifisch – Flächengewinn ca. 5 % (Abschätzung)
- Variante 0: Gebäude mit puren Produkten – Herstellung gemäß Verbands-EPD berücksichtigt – Lebensende spezifisch
- Variante 1: Gebäude mit puren Produkten – Herstellung und Lebensende gemäß Verbands-EPD berücksichtigt
- Variante 2: Gebäude mit konventionellen PU-Produkten – Herstellung und Lebensende gemäß Verbands-EPD
- Variante 3: Gebäude mit konventionellen EPS-Produkten – Herstellung und Lebensende gemäß Verbands-EPD berücksichtigt

Die Ökobilanzergebnisse für die Konstruktion des Mustergebäudes 10 und die Sanierung der MFHs im Bestandsquartier (anhand des Typgebäudes MFH_G mit Niveau 1 Sanierung (vergleiche Kapitel 5.6) sind für das Treibhauspotenzial (GWP) und den Einsatz von nicht-erneuerbarer Primärenergie total (PENRT) in Bild 10 und in Bild 11 aufgeführt. Die Umweltwirkungen sind dabei nach Lebenszyklusmodulen aufgeschlüsselt dargestellt.

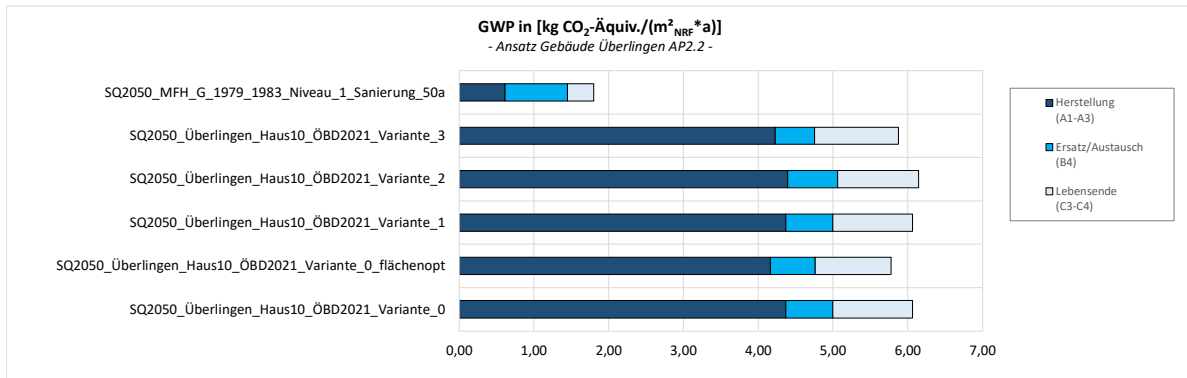


Bild 10:
Ökobilanzergebnisse GWP in [kg CO₂-Äquiv./(m²_{NRF}*a)] für die Gebäude im Quartier Überlingen.

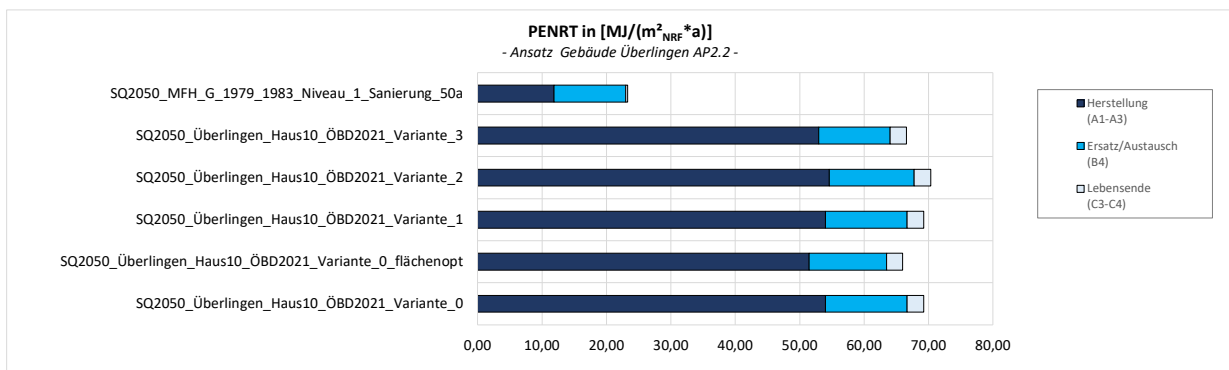


Bild 11:
Ökobilanzergebnisse PENRT in [MJ/(m²_{NRF}*a)] für die Gebäude im Quartier Überlingen.

Der größte Teil der Umwelteinwirkungen der Konstruktion des Mustergebäudes 10 ist der Herstellungsphase zuzuordnen. Es zeigen sich ebenfalls die Unterschiede bei Ansatz unterschiedlicher Dämmmaterialien. Der Einfluss einer Flächenoptimierung und des spezifischen Ansatzes des Lebensendes (Variante 0_flächenoptimiert) zeigt nur geringes Optimierungspotenzial in Bezug auf den Beitrag der Gebäude für die Quartiersökobilanz.

5.6 AP3.2 Typgebäude

5.6.1 Technische Systembeschreibung

Für die Bilanzierung der Typgebäude des AP3.2 werden generische, baualterübergreifende, mittlere Typgebäude verwendet [Schrade 2022-1]. Diese sind in ihrer technischen Charakteristik in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5:
Definierte Gebäudetypen im AP3.2 [Schrade 2022-1].

Gebäudetyp	Definierte Gebäude Bezeichnung	Baujahr nach IWU/Tabelle	Netto- grundfläche	Beheiztes Gebäude- volumen	Oberste Ge- schossde- cke/ Dach	Opake Außen- wand	Fenster
			NGF [m ²]	Vbeh [m ³]	OG [m ²]	AW [m ²]	FE [m ²]
Einfamilienhaus	EFH_F	1969-1978	173,3	606,0	183,1	177,6	34,2
Reihenhaus	RH_C	1919-1948	112,8	423,2	50,4	64,1	21,5
Mehrfamilienhaus	MFH_G	1979-1983	654,0	2040,0	248,3	447,1	99,4
Großmehrfamilienhaus	GMH_F	1969-1978	3322,0	9805,0	540,0	2130,0	545,0
Hochhaus	NBL_HH_F	1970-1980	5275,6	18405,0	598,3	2992,1	756,0

5.6.2 Mapping-Verfahren von Gebäudetypen mit Typkonstruktionen

Die in AP3.2 definierten Gebäudetypen ergeben sich aus der IWU-Gebäudetypologie typischer deutscher Wohngebäude, indem die Konstruktionen jedes Gebäudetyps grob beschrieben und mit dem U-Wert assoziiert wird. Ein detaillierter Aufbau der, für die Modellierung der Gebäude notwendigen, Konstruktionsschichten ist in dieser Quelle nicht vorhanden. Diese Lücke wird mit Hilfe der Anwendung des Katalogs regionaltypischer Materialien im Gebäudebestand (mit Bezug auf die Baualtersklasse und Ableitung typischer Bauteilaufbauten) des Zentrums für Umweltbewusstes Bauen (ZUB) [ZUB 2009] aus den Jahren 2009-2010 geschlossen. Dafür wird ein Mapping der Konstruktionen aus dem IWU-Gebäudetypenkatalog [Loga 2015] mit den typischen Bauteilkonstruktionen des ZUB [ZUB 2009] erforderlich.

Die in den beiden Studien verfügbaren Typkonstruktionen sind in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6:
Berücksichtigte Typkonstruktionen aus dem IWU-Gebäudetypenkatalog [Loga 2015] und dem typischen ZUB-Bauteilkatalog [ZUB 2009].

Gebäudekonstruktion (Bauteil)	Konstruktionen gemäß IWU	Konstruktionen gemäß ZUB	Verfügbarkeit Informationen zu Sanierungsmaßnahmen gemäß IWU
Außenwand	x	x	x
Dach	x	x	x
Decke	x	x	x
Fußboden	x	x	x
Fenster	x		x

In den betrachteten Studien werden den Konstruktionen unterschiedliche, aber verschiedene Merkmale zugeordnet. In Tabelle 7 sind die Objekt-Merkmale der beiden Studien in Vorbereitung des Mappings der Typkonstruktionen zwischen ZUB [ZUB 2009] und IWU [Loga 2015] einander zugeordnet. Merkmale, die beide Studien gemeinsam haben, sind zeilenweise zugeordnet, wobei „1“ jeweils dem in der ZUB-Studie verwendeten Begriff entspricht und „2“ dem in der IWU-Studie verwendeten Begriff.

Tabelle 7:
Übereinstimmungen und Unterschiede der Objekt-Merkmale gemäß IWU [Loga 2015] und ZUB [ZUB 2009].

Objekt-Merkmale	Nach ZUB	Nach IWU	Beispiel – ZUB	Beispiel – IWU
Konstruktionsmerkmale	x	x		
Gebäudemerkmale		x		
Gebiet PLZ ¹ / Typologie Region ²	x	x	80 - 89XXX 90 - 97XXX	N (National)
Zeitraum ¹ / Baualtersklasse ²	x	x	1969-1978	[F] 1969-1978 6
Bauteil ¹ / Konstruktion ²	x	x	Außenwand	Außenwand
Konstruktion ¹ (Bauweise nach ZUB)	x		Massiv, monolithisch	
Material (Aufbau) ¹ / Beschreibung ² Stärke (cm) Rohdichte (kg/m ³) λ-Wert (W/mK)	x x x x	x	Putz: 1,0 cm – k.A. – 0,70 (W/mK) Kalksand-Lochsteine: 24,0 cm – 1.400 kg/m ³ - 0,70 W/(mK) Dämmputz: 3,0-4,0 cm – 30-200 kg/m ³ - 0,04 (W/mK)	Mauerwerk – Mauerwerk aus Hohlblocksteinen, Leicht-Hochlochziegeln oder Glitterziegeln
U-Wert in W/(m ² K)	x	x	0,78 – 0,66	1,0

Wie in Tabelle 7 zu erkennen ist, ist das Merkmal „Material (Aufbau)“ in der ZUB-Studie ausführlich definiert. Die Aufbauschichten und Materialien sind

vorgegeben und die Stärke, die Rohdichte sowie die Wärmeleitfähigkeit jeder Schicht sind in der Regel festgelegt. Die IWU-Studie hingegen stellt mit der Angabe der Dämmstärke der Gesamtkonstruktion eine weniger spezifische Definition der Aufbauschichten zur Verfügung.

Das Mapping typischer Konstruktionen der beiden berücksichtigten Studien basiert auf dem Kriterium der Übereinstimmung gemeinsamer Merkmale. Gemeinsame Merkmale sind gemäß Tabelle 7: das Bauteil¹ bzw. die Konstruktion² (Funktion der Konstruktion, z. B. Außenwand, Dach, Decke oder Fenster), der Zeitraum¹ bzw. die Baualtersklasse², das Material (Aufbau)¹ bzw. die Beschreibung² sowie der U-Wert. Das Mapping erfolgt in einer bestimmten Reihenfolge, die sich nach der Signifikanz der gemeinsamen Merkmale richtet. Die definierte Reihenfolge der Merkmale ist nachfolgend aufgeführt:

- 1- Bauteil¹/ Konstruktion²
- 2- Zeitraum¹/ Baualtersklasse²
- 3- Material (Aufbau)¹/ Beschreibung²
- 4- U-Wert

Zunächst werden Bauteile mit gleicher Funktion gesucht und miteinander verglichen, um Ähnlichkeiten der weiteren Merkmale zu identifizieren (d.h. Außenwandkonstruktionen aus der IWU-Studie werden nur mit Außenwandkonstruktionen aus der ZUB-Studie verglichen). Im zweiten Schritt wird der Zeitraum¹ bzw. die Baualtersklasse² betrachtet. Konstruktionen, die der gleichen Baualtersklasse angehören, werden für den Vergleich der folgenden Merkmale (hinsichtlich ihres Materials/ Aufbaus und ihres U-Werts) herangezogen. Um Gemeinsamkeiten zweier Konstruktionen hinsichtlich der Merkmale „Material (Aufbau)¹ bzw. Beschreibung²“ zu ermitteln, werden diese gleichzeitig betrachtet und während des Mapping-Prozesses gegenübergestellt. Die Reihenfolge der Wichtigkeit dieser beiden Merkmale alterniert in Abhängigkeit der Datenverfügbarkeit. Das Merkmal „Material (Aufbau)¹ bzw. Beschreibung²“ wird als erstes Kriterium für das Mapping berücksichtigt und bei einer Übereinstimmung dieses Kriteriums zwischen zwei Konstruktionen aufgrund ausreichender Kompatibilität, wird als nächstes das Kriterium U-Wert herangezogen. Im Falle fehlender Informationen, die für die Kompatibilität des Merkmals „Material (Aufbau)¹ bzw. Beschreibung²“ zweier Konstruktionen beider Studien erforderlich sind, wird die Übereinstimmung des U-Wertes als erstes Kriterium betrachtet.

In Anhang A.9 sind die Ergebnisse des Mappings der Gebäudekonstruktionen der für AP3.2 definierten Gebäudetypen zu den Typkonstruktionen aus der ZUB-Studie [ZUB 2009] dargestellt. Wie aus dem Mapping hervorgeht, ist nicht für alle Konstruktionen ein vollständiges Mapping zwischen den IWU-Typkonstruktionen und den ZUB-Typkonstruktionen möglich. Damit sind für die Ökobilanzierung zunächst Datenlücken vorhanden. Fensterkonstruktionen werden im ZUB-Katalog nicht berücksichtigt, daher werden zusätzliche Referenzen sowie projektbezogenes Fachwissen auf Basis ähnlicher Studien herangezogen. Zudem stimmen einige Konstruktionen der IWU-Studie nicht mit dem ZUB-Katalog überein (z.B. Betonfertigteile-Sandwich), was die Verwendung zusätzlicher Literatur erfordert. Solche Datenlücken werden durch die Verwendung spezifischer Studien, Literatur und/oder Online-Recherche

geschlossen. Die Datenlücken, die sich im Anhang A.9 präsentieren, werden wie in nachfolgender Tabelle 8 aufgeführt geschlossen.

Tabelle 8:
Ansatz zur Schließung von Datenlücken während des Mappings der Konstruktionen zwischen der IWU-Studie [Loga 2015] und der ZUB-Studie [ZUB 2009].

Gebäudetyp	Bauteil/ Konstruktion	Konstruktion (IWU)	Konstruktion (ZUB)	Aufbauschichten	Quelle
EFH_F	Fenster - FE	Holzfenster mit Zweischeiben-Isolierverglasung	Keine Fensterkonstruktionen sind in der ZUB enthalten	Holz-Blendrahmen Holz-Flügelrahmen Isolierglas - 2 Scheiben	Verfügbare Fachwissen (Forschungserfahrung)
RH_C	Fenster - FE	Holzfenster mit Zweischeiben-Isolierverglasung	Keine Fensterkonstruktionen sind in der ZUB enthalten	Holz-Blendrahmen Holz-Flügelrahmen Isolierglas - 2 Scheiben	Verfügbare Fachwissen (Forschungserfahrung)
MFH_G	Fenster - FE	Kunststofffenster mit Zweischeiben-Isolierverglasung	Keine Fensterkonstruktionen sind in der ZUB enthalten	Blendrahmen PVC-U Flügelrahmen PVC-U Isolierglas - 2 Scheiben	Verfügbare Fachwissen (Forschungserfahrung)
	Decke/ Fußboden - DE	Betondecke mit 4 cm Dämmung	keine verfügbaren Fußbodenkonstruktionen ab dem Jahr 1979 in ZUB	Schwimmender Estrich Dämmung Betondecke	auf der Grundlage verfügbarer ähnlicher Konstruktionenaufbauten
GMH_F	Außenwand - AW	Beton-Fertigteile	keine Typkonstruktion aus ZUB entspricht den IWU Konstruktion für Beton-Fertigteile	Kalkgipsputz Stahlbeton Schicht 1 Wärmedämmung Stahlbeton Schicht 2 Kalkgipsputz	Web: beton.org/wissen/wohnungsbau/wand/
	Fenster - FE	Kunststofffenster mit Zweischeiben-Isolierverglasung	Keine Fensterkonstruktionen sind in der ZUB enthalten	Blendrahmen PVC-U Flügelrahmen PVC-U Isolierglas - 2 Scheiben	Verfügbare Fachwissen (Forschungserfahrung)
NBL_HH_F	Außenwand - AW	Beton-Fertigteile Sandwich-Element (Drei-Schicht-Platte)	keine Typkonstruktion aus ZUB entspricht den IWU Konstruktion für Beton-Fertigteile	Kalkgipsputz Stahlbeton Schicht 1 Wärmedämmung Stahlbeton Schicht 2 Kalkgipsputz	Web: beton.org/wissen/wohnungsbau/wand/
	Fenster - FE	Verbundfenster: 2 Scheiben m Holzrahmen	Keine Fensterkonstruktionen sind in der ZUB enthalten	Holz-Blendrahmen Holz-Flügelrahmen Glas - Bundesverband Flachglas e.V. - Mehrscheibenisoliertes Glas 2-fach Aufbau	Verfügbare Fachwissen (Forschungserfahrung)

Die Schließung von Datenlücken mithilfe von Sekundärdaten, ermöglicht die Vervollständigung von Gebäudemodellen im Bestand. Ausgehend von den Gebäudemodellen des Bestands und unter Verwendung der in der IWU-Studie beschriebenen Sanierungsmaßnahmen in zwei Sanierung-Niveaus, werden Gebäudemodelle erstellt. Die Gebäudemodelle werden in der Ökobilanzsoftware GENERIS® [Fraunhofer IBP 2024-4] modelliert, um die Sanierungsmaßnahmen auf zwei Niveaus ökobilanziell zu bewerten.

Für die Erstellung der Gebäudemodelle, die die Sanierungsmaßnahmen abbilden, werden die in der IWU-Studie [Loga 2015] definierten Informationen für zwei Niveaus der Sanierung verwendet. Die IWU-Studie definiert spezifisch für jeden Gebäudetyp beispielhafte Sanierungsmaßnahmen für

die Gebäudehülle (KG300). Die für die Sanierung berücksichtigten Konstruktionen je Niveau der Sanierung (Niveau 1 und Niveau 2) sind in Tabelle 9 aufgeführt.

Tabelle 9:
Sanierungsmaßnahmen der definierten Gebäudetypen für die beiden Sanierungsniveaus „Niveau 1“ und „Niveau 2“ auf Basis von [Loga 2015].

Gebäudetyp	Bauteil/ Konstruktion	Niveau 1 Sanierung „konventionell“		Niveau 2 Sanierung „zukunftsweisend“	
		Konstruktion	U-Wert [W/m²K]	Konstruktion	U-Wert [W/m²K]
EFH_F	Außenwand - AW	Dämmung 12 cm (WLS 035) + Verputz (Wärmedämmverbundsystem), alternativ: hinterlüftete Fassade (z.B. Zellulose zwischen Traghölzern, größere Dämmstärke für gleichen Wärmeschutz)	0,22	Dämmung 24 cm (WLS 035) + Verputz (Wärmedämmverbundsystem), alternativ: hinterlüftete Fassade (z.B. Zellulose zwischen Traghölzern, größere Dämmstärke für gleichen Wärmeschutz)	0,13
	Dach – DA/ oberste Geschossdecke – DE	Dämmung 12 cm (WLS 035) auf der Decke + Dachabdichtung	0,18	Dämmung 30 cm (WLS 035) auf der Decke + Dachabdichtung	0,09
	Fenster – FE	Fenster mit 2-Scheiben-Wärmeschutz-Verglasung	1,30	Fenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutz-Verglasung und gedämmtem Rahmen (Passivhaus-Fenster)	0,80
	Fußboden – DE	Dämmung 8 cm (WLS 035) unter der Decke / alternativ: auf der Decke (im Fall einer Fußboden-sanierung)	0,30	Dämmung 12 cm (WLS 035) unter der Decke (bei ausreichender Kellerraumhöhe) / alternativ: auf der Decke (im Fall einer Fußb.-sanierung) oder Kombin. unter/auf	0,23
RH_C	Außenwand - AW	Dämmung 12 cm (WLS 035) + Verputz (Wärmedämmverbundsystem), alternativ: hinterlüftete Fassade (z.B. Zellulose zwischen Traghölzern, größere Dämmstärke für gleichen Wärmeschutz)	0,25	Dämmung 24 cm (WLS 035) + Verputz (Wärmedämmverbundsystem), alternativ: hinterlüftete Fassade (z.B. Zellulose zwischen Traghölzern, größere Dämmstärke für gleichen Wärmeschutz)	0,13
	Dach – DA/ oberste Geschossdecke – DE	Dämmung 12 cm (WLS 035) auf der Decke (+ begehbare Platten sofern notwendig)	0,21	Dämmung 30 cm (WLS 035) auf der Decke (+ begehbare Platten sofern notwendig)	0,10
	Fenster – FE	Fenster mit 2-Scheiben-Wärmeschutz-Verglasung	1,30	Fenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutz-Verglasung und gedämmtem Rahmen (Passivhaus-Fenster)	0,80
	Fußboden – DE	Dämmung 8 cm (WLS 035) unter der Decke / alternativ: auf der Decke (im Fall einer Fußboden-sanierung)	0,30	Dämmung 12 cm (WLS 035) unter der Decke (bei ausreichender Kellerraumhöhe) / alternativ: auf der Decke (im Fall einer Fußb.-sanierung) oder Kombin. unter/auf	0,23
MFH_G	Außenwand - AW	Dämmung 12 cm (WLS 035) + Verputz (Wärmedämmverbundsystem), alternativ: hinterlüftete Fassade (z.B. Zellulose zwischen Traghölzern, größere Dämmstärke für gleichen Wärmeschutz)	0,21	Dämmung 24 cm (WLS 035) + Verputz (Wärmedämmverbundsystem), alternativ: hinterlüftete Fassade	0,12
	Dach – DA/ oberste Geschossdecke – DE	Dämmung 12 cm (WLS 035) auf der Decke (+ begehbare Platten sofern notwendig)	0,18	Dämmung 30 cm (WLS 035) auf der Decke (+ begehbare Platten sofern notwendig)	0,09
	Fenster – FE	Fenster mit 2-Scheiben-Wärmeschutz-Verglasung	1,30	Fenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutz-Verglasung und gedämmtem Rahmen (Passivhaus-Fenster)	0,80

	Fußboden – DE	Dämmung 8 cm (WLS 035) unter der Decke / alternativ: auf der Decke (im Fall einer Fußboden-sanierung)	0,28	Dämmung 12 cm (WLS 035) unter der Decke (bei ausreichender Kellerraumhöhe) / alternativ: auf der Decke (im Fall einer Fußb.-sanierung) oder Kombin. unter/auf	0,21
GMH_F	Außenwand - AW	Dämmung 12 cm (WLS 035) + Verputz (Wärmedämmverbundsystem), alternativ: hinterlüftete Fassade (z.B. Zellulose zwischen Traghölzern, größere Dämmstärke für gleichen Wärmeschutz)	0,23	Dämmung 24 cm (WLS 035) + Verputz (Wärmedämmverbundsystem), alternativ: hinterlüftete Fassade	0,13
	Dach – DA/ oberste Geschossdecke – DE	Dämmung 12 cm (WLS 035) auf der Decke + Dachabdichtung	0,20	Dämmung 30 cm (WLS 035) auf der Decke + Dachabdichtung	0,10
	Fenster – FE	Fenster mit 2-Scheiben-Wärmeschutz-Verglasung	1,30	Fenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutz-Verglasung und gedämmtem Rahmen (Passivhaus-Fenster)	0,80
	Fußboden – DE	Dämmung 8 cm (WLS 035) unter der Decke / alternativ: auf der Decke (im Fall einer Fußboden-sanierung)	0,30	Dämmung 12 cm (WLS 035) unter der Decke (bei ausreichender Kellerraumhöhe) / alternativ: auf der Decke (im Fall einer Fußb.-sanierung) oder Kombin. unter/auf	0,23
NBL_HH_F	Außenwand - AW	Dämmung 12 cm (WLS 035) + Verputz (Wärmedämmverbundsystem), alternativ: hinterlüftete Fassade (z.B. Zellulose zwischen Traghölzern, größere Dämmstärke für gleichen Wärmeschutz)	0,23	Dämmung 24 cm (WLS 035) + Verputz (Wärmedämmverbundsystem), alternativ: hinterlüftete Fassade	0,13
	Dach – DA/ oberste Geschossdecke – DE	Dämmung 12 cm (WLS 035) auf der Decke (+ begehbare Platten sofern notwendig)	0,20	Dämmung 30 cm (WLS 035) auf der Decke (+ begehbare Platten sofern notwendig)	0,10
	Fenster – FE	Fenster mit 2-Scheiben-Wärmeschutz-Verglasung	1,30	Fenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutz-Verglasung und gedämmtem Rahmen (Passivhaus-Fenster)	0,80
	Fußboden – DE	Dämmung 8 cm (WLS 035) unter der Decke / alternativ: auf der Decke (im Fall einer Fußboden-sanierung)	0,30	Dämmung 12 cm (WLS 035) unter der Decke (bei ausreichender Kellerraumhöhe) / alternativ: auf der Decke (im Fall einer Fußb.-sanierung) oder Kombin. unter/auf	0,23

5.6.3 Sachbilanz

Für die Erstellung der Sachbilanz dient als Datenquelle das Mapping von Konstruktionen der IWU-Studie und der ZUB-Studie, wobei Datenlücken durch zusätzliche Literatur bzw. externe Quellen geschlossen werden.

Die Sachbilanz der Gebäudemodelle wird in Anhang A.10 ausführlich dargestellt. Die hier dokumentierten Angaben in Tabelle 25 bis Tabelle 29 stellen die Grundlage zur Modellierung der zwei Sanierungsniveaus jedes Gebäudetyps sowie des fiktiven Bestandsgebäudes (EH100-Neubau) bereit. Die für die Ökobilanz verwendeten Datensätze können Anhang A.11 entnommen werden.

5.6.4 Ergebnisse und Interpretation

In Bild 12 sind das Treibhauspotenzial (GWP) sowie der Einsatz nicht erneuerbarer Primärenergie (PENRT) der Sanierungsmaßnahmen für das Niveau 1 Sanierung „konventionell“ für die in AP3.2 definierten Typgebäude dargestellt.

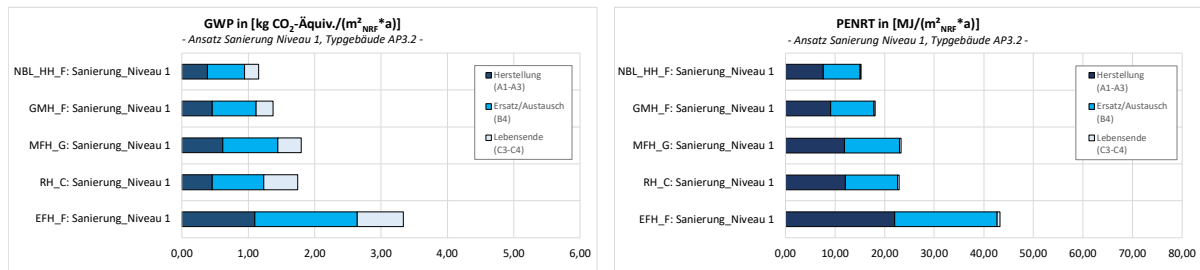


Bild 12:

Niveau 1 Sanierung „konventionell“ - AP3.2 Gebäudetypen: Treibhauspotenzial in [kg CO₂-Äquiv. / (m²_{NRF} * a)] (links), Primärenergie nicht erneuerbar in [MJ / (m²_{NRF} * a)] (rechts) [Eigene Darstellung].

In Bild 13 sind die Ergebnisse für das Treibhauspotenzial sowie den PENRT-Einsatz der Sanierungsmaßnahmen für das Niveau 2 Sanierung „zukunftsweisend“ für die in AP3.2 definierten Gebäudetypen dargestellt.

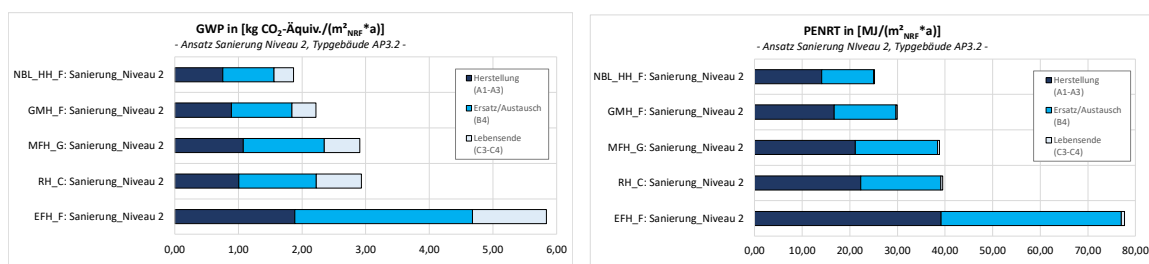


Bild 13:

Niveau 2 Sanierung „zukunftsweisend“ - AP3.2 Gebäudetypen: Treibhauspotenzial in [kg CO₂-Äquiv. / (m²_{NRF} * a)] (links), Primärenergie nicht erneuerbar in [MJ / (m²_{NRF} * a)] (rechts) [Eigene Darstellung].

In Anlehnung an die definierten energetischen Standards im AP3.2 [Schrade 2022-1] werden die Typgebäude ebenfalls in drei Neubau-Standard bilanziert (EH100, EH55, EH40), um die Gegenüberstellung mit potenzieller Sanierungsaktivitäten zu ermöglichen. In Bild 14 sind die Ergebnisse für das Treibhauspotenzial und den PENRT-Einsatz des EH100-Neubaus für die in AP3.2 definierten Gebäudetypen dargestellt.

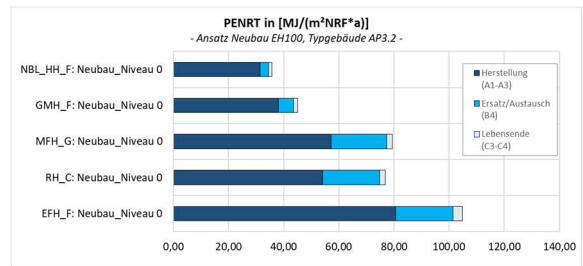
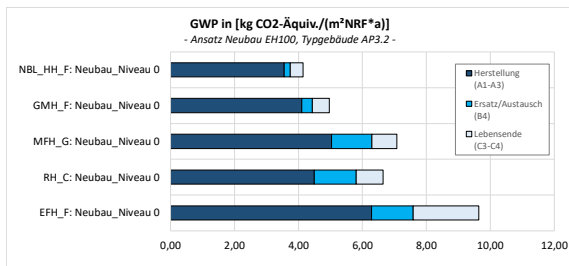


Bild 14:
EH100 Neubau - AP3.2 Gebäudetypen: Treibhauspotenzial in [kg CO₂-Äquiv./m²_{NRF}*a] (links), Primärenergie nicht erneuerbar in [MJ/(m²_{NRF}*a)] (rechts) [Eigene Darstellung].

In Bild 15 sind die Ergebnisse für das Treibhauspotenzial und den PENRT-Einsatz des EH55-Neubaus für die in AP3.2 definierten Gebäudetypen dargestellt.

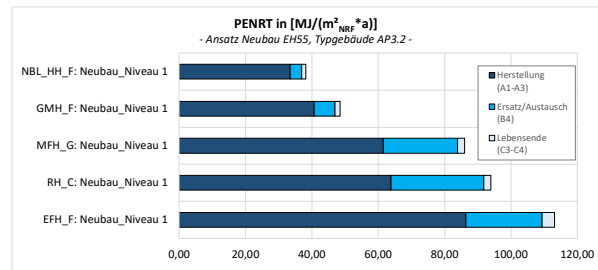
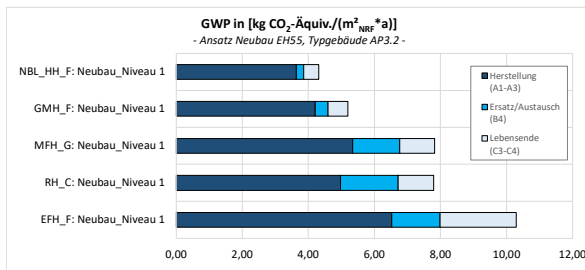


Bild 15:
EH55 Neubau - AP3.2 Gebäudetypen: Treibhauspotenzial in [kg CO₂-Äquiv./m²_{NRF}*a] (links), Primärenergie nicht erneuerbar in [MJ/(m²_{NRF}*a)] (rechts) [Eigene Darstellung].

In Bild 16 sind die Ergebnisse für das Treibhauspotenzial und den PENRT-Einsatz des EH40-Neubaus für die in AP3.2 definierten Gebäudetypen dargestellt.

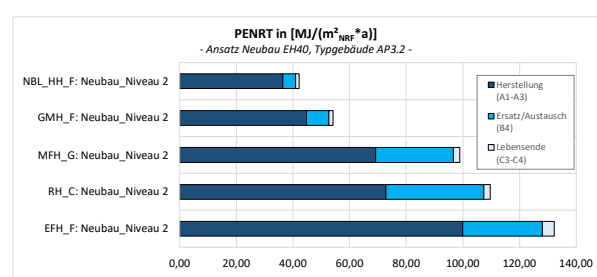
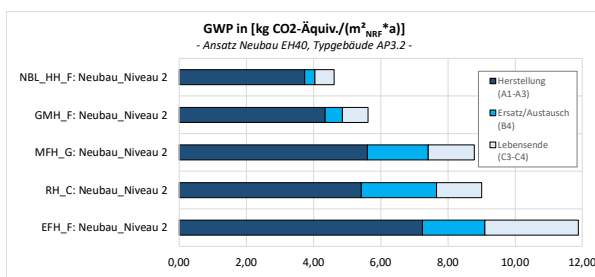


Bild 16:
EH40 Neubau - AP3.2 Gebäudetypen: Treibhauspotenzial in [kg CO₂-Äquiv./m²_{NRF}*a] (links), Primärenergie nicht erneuerbar in [MJ/(m²_{NRF}*a)] (rechts) [Eigene Darstellung].

Die Bilanzergebnisse unterstreichen die Bedeutung der Wahl zwischen Neubau und Sanierung sowie die Festlegung des energetischen Sanierungsniveaus. Der Neubau ist mit tendenziell höheren konstruktionsbedingten Umweltwirkungen verbunden als die Bestandsanierung für KG300 Baukonstruktion. Die Ergebnisse zeigen zudem einen erhöhten konstruktionsbedingten Aufwand im Falle eines steigenden energetischen Standards an (vergleiche Ergebnisse EH100 zu Ergebnisse EH40).

6 Ökobilanzmodelle: Quartiere

6.1 Zielstellung

Zielstellung des Aufbaus der Ökobilanzmodelle ist es quantifizierte lebenszyklusbezogene Umweltinformationen für die Quartiersökobilanz auf der Makro-Ebene (Kapitel 2) bereit zu stellen. Umweltinformationen werden für die Demonstrationsquartiere Stuttgart (AP2.1) und Überlingen (AP2.2) als auch für die generischen Lösungsansätze (AP3.2) zur Verfügung gestellt. Die Umweltinformationen adressieren die konstruktiven Aspekte, d.h. sie stellen Informationen zum Materialeinsatz und somit zu den konstruktionsbedingten Umweltwirkungen der Technologien bereit.

Umweltinformationen werden für die im Bilanzrahmen des Quartiers (Kapitel 3.4) definierten Kostengruppe KG300 Baukonstruktion, KG400 Technische Anlagen (dezentral) und KG500 Technische Anlagen (zentral) mit entsprechenden Ökobilanzmodellen abgebildet.

Mit Hilfe der Ökobilanzbewertung werden folgende Fragestellungen im Projekt untersucht:

- Welche Elemente des Quartierskonzepts (Gebäude, Energieversorgung, Maßnahmen zur Kompensation wie PV) sind maßgeblich und potenziell verantwortlich für den konstruktionsbezogenen Umweltbeitrag über den Lebenszyklus?
- Welche absoluten Werte können die konstruktionsbedingten „grauen Umweltwirkungen“ (Emissionen und Energieeinsatz) des Quartierskonzepts über den Lebenszyklus von 50 Jahren potenziell aufweisen?
- Welche Energieversorgungskonzepte können für einen möglichst geringen Beitrag zu den potenziellen konstruktionsbedingten Umweltwirkungen über den Lebenszyklus eventuell favorisiert werden?

6.2 Quartierskonzepte Stuttgart (AP2.1)

6.2.1 Technische Systembeschreibung und Sachbilanz

Die untenstehende Tabelle 10 gibt eine Übersicht über die 4 Versorgungskonzepte und die Eingangsdaten für die Sachbilanz.

Tabelle 10:
Versorgungskonzepte 1 bis 4 des Quartiers Stuttgart [Schrade 2020-1].

Konzept	Anlagentyp	Komponenten			
1: Kaltes Nahwärmenetz mit dezentralen Sole-Wasser-Wärmepumpen	Dezentrale Wärmepumpen	Sole-Wasser-Wärmepumpe (Strom): Nenn-Wärmeleistung: 2.335 kW	Sole-Umwälzpumpe: 2 Stück á 17,5 kW	Erdsonden: Entzugsleistung: 1868 kW, Länge Bohrloch: 46700 m, Rohrlänge Doppel-U-Rohrsonden: 186800 m	
	Kaltes Nahwärmenetz	Hauptverteilungen: ungedämmte Rohrleitungen (OD: 0,5 m), Rohrlänge: 3480 m	Hausanschlussleitungen: ungedämmte Rohrleitungen (OD: 0,202 m), Rohrlänge: 1480 m	Netzpumpen: 2 Stück á 26,25 kW	Übergabestation: Heizleistung Gebäude: 2335 kW
	Elektrischer Durchlauferhitzer	Elektrischer Durchlauferhitzer: 111 Stück á 21 kW			
	Mechanische Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung (WRG>85%)	Mechanische Lüftungsanlagen mit WRG > 85 %: 17 Stück á Volumenstrom 60000 m³/h			
	Photovoltaik	Mono-c-si-Anlagen: Leistung: 2020 kWp, Fläche: 10102 m² für Dachflächen			
		Multi-c-si-Anlagen: Leistung: 611 kWp, Fläche: 3054 m² für Fassadenflächen			
2: Heizzentrale mit zentraler Sole-Wasser-Wärmepumpe	Zentrale Sole-Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe (Strom): Nennwärmeleistung: 1830 kW	Sole-Umwälzpumpe: 2 Stück á 17,5 kW	Erdsonden: Entzugsleistung: 1304 kW, Länge Bohrloch: 32600 m, Rohrlänge Doppel-U-Rohrsonden: 130400 m	
	Nahwärmenetz mit Heizzentrale	Hauptverteilungen: Gedämmte Rohrleitung (DN: 65), Rohrlänge: 3480 m	Hausanschlussleitungen: Gedämmte Rohrleitung (DN: 25), Rohrlänge: 1480 m	Netzpumpen: 2 Stück á 40,4 kW	Übergabestation: Heizleistung Gebäude: 2335 kW, Heizleistung Heizzentrale: 1830 kW
	Elektrischer Durchlauferhitzer	Elektrischer Durchlauferhitzer: 111 Stück á 21 kW			
	Mechanische Lüftungsanlagen mit	Mechanische Lüftungsanlagen mit WRG > 85 %:			

	Wärmerückgewinnung (WRG>85%)	17 Stück á Volumenstrom 60000 m³/h			
	Photovoltaik	Mono-c-si-Anlagen: Leistung: 2020 kWp, Fläche: 10102 m² für Dachflächen			
		Multi-c-si-Anlagen: Leistung: 611 kWp, Fläche: 3054 m² für Fassadenflächen			
3: Heizzentrale mit Biogas-BHKW und Spitzenlastkessel	Biogas-BHKW	Biogas-BHKW: Thermische Leistung: 900 kW, elektrischer Wirkungsgrad: 37 %, thermischer Wirkungsgrad: 50 %			
	Biogas-Spitzenlastkessel	Biogas-Spitzenlastkessel: Thermische Leistung: 950 kW			
	Nahwärmenetz mit Heizzentrale	Hauptverteilungen: Gedämmte Rohrleitung (DN: 65), Rohrlänge: 3480 m	Hausanschlussleitungen: Gedämmte Rohrleitung (DN: 25), Rohrlänge: 1480 m	Netzpumpen: 2 Stück á 15 kW	Übergabestation: Heizleistung Gebäude: 2335 kW, Heizleistung Heizzentrale: 1830 kW
	Elektrischer Durchlauferhitzer	Elektrischer Durchlauferhitzer: 111 Stück á 21 kW			
	Mechanische Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung (WRG>85%)	Mechanische Lüftungsanlagen mit WRG > 85 %: 17 Stück á Volumenstrom 60000 m³/h			
	Photovoltaik	Mono-c-si-Anlagen: Leistung: 2020 kWp, Fläche: 10102 m² für Dachflächen			
		Multi-c-si-Anlagen: Leistung: 611 kWp, Fläche: 3054 m² für Fassadenflächen			
4: Solarunterstützte Fernwärme	Nahwärmenetz mit Heizzentrale	Hauptverteilungen: Gedämmte Rohrleitung (DN: 65), Rohrlänge: 3480 m	Hausanschlussleitungen: Gedämmte Rohrleitung (DN: 25), Rohrlänge: 1480 m	Netzpumpen: 2 Stück á 15 kW	Übergabestation: Heizleistung Gebäude: 2335 kW, Heizleistung Heizzentrale: 1830 kW
	Elektrischer Durchlauferhitzer	Elektrischer Durchlauferhitzer: 111 Stück á 21 kW			
	Solarthermie	Solarthermie – Flachkollektoren: Fläche: 4500 m²			
	Mechanische Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung (WRG>85%)	Mechanische Lüftungsanlagen mit WRG > 85 %: 17 Stück á Volumenstrom 60000 m³/h			
	Pufferspeicher	Pufferspeicher: Volumen: 2000 l, Speichermedium: Wasser			
	Photovoltaik	Mono-c-si-Anlagen: Leistung: 1120 kWp, Fläche: 5.602 m² für Dachflächen			

		Multi-c-si-Anlagen: Leistung: 611 kWp, Fläche: 3054 m ² für Fassadenflächen			
--	--	--	--	--	--

6.2.2 Auswertung und Interpretation

In Bild 17 bis Bild 19 sind die Ökobilanzergebnisse des Quartiers Stuttgart exemplarisch für Variante 3 – Heizzentrale mit Biogas-BHKW und Spitzenlastkessel dargestellt.

In Bild 17 und Bild 18 ist zu erkennen, dass die Kostengruppe KG300 die höchsten klimarelevanten Umweltwirkungen bedingt. Etwa 58 % des GWP des Quartiers sind auf dieses Quartierelement zurückzuführen. Mit Blick auf die Lebenszyklusmodule zeigt sich, dass die Herstellung einen signifikanten Anteil der Umweltwirkungen verursacht.

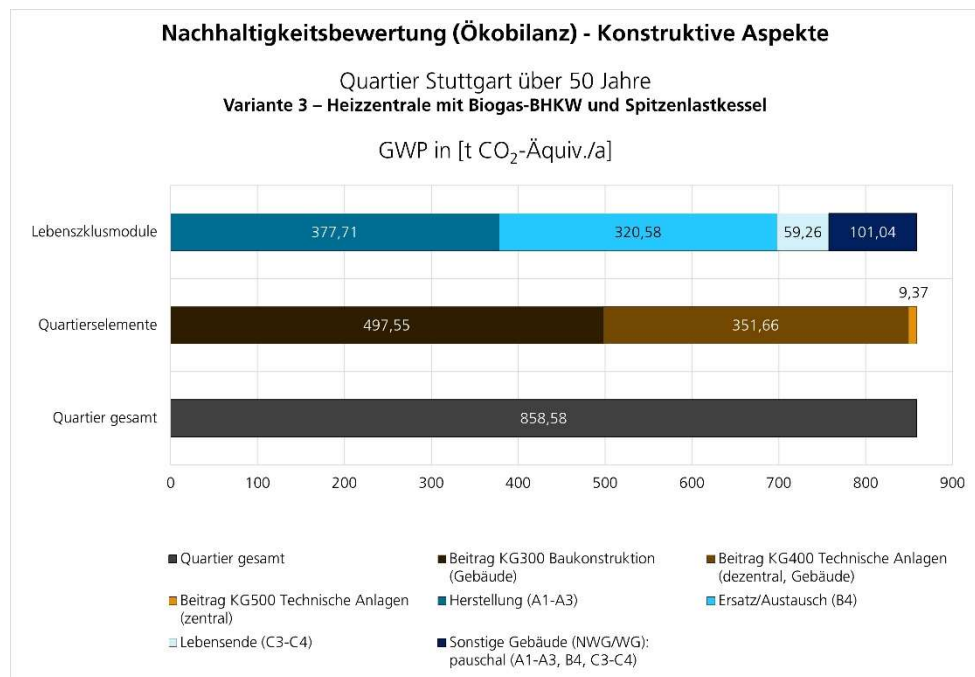


Bild 17: Ökobilanzergebnisse GWP in [t CO₂-Äquiv./a], Quartier Stuttgart, Variante 3 – Heizzentrale mit Biogas-BHKW und Spitzenlastkessel [Eigene Darstellung].

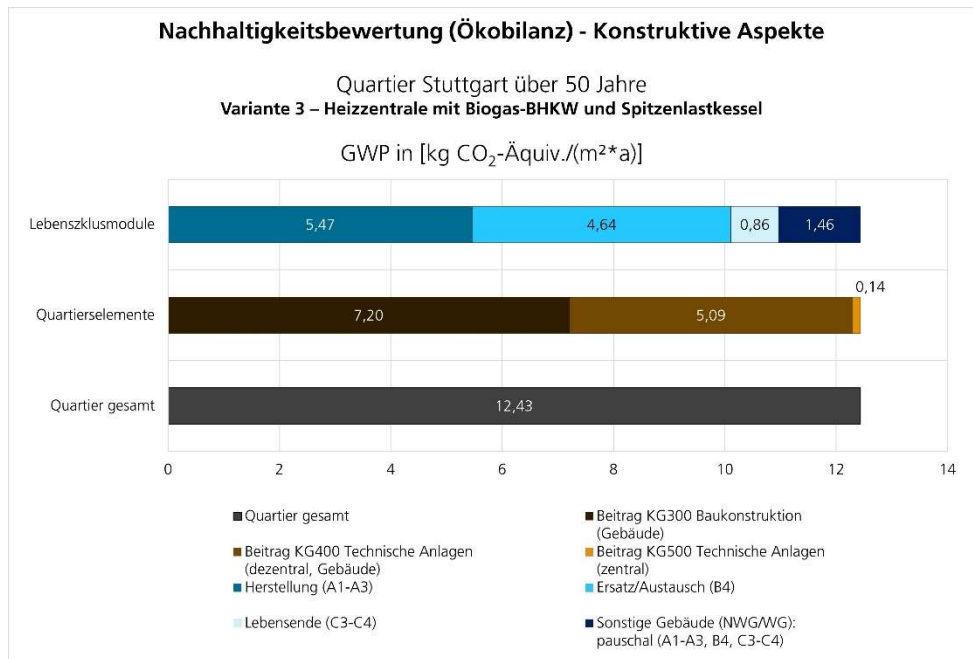


Bild 18:
 Ökobilanzergebnisse GWP in [kg CO₂-Äquiv./(m²*a)] - Quartier Stuttgart, Variante 3 – Heizzentrale mit Biogas-BHKW und Spitzenlastkessel [Eigene Darstellung].

Die Betrachtung des PENRT-Einsatzes in Bild 19 und Bild 20 zeigt, dass die Kostengruppe KG500 lediglich etwa 1 % der Umweltwirkungen im Quartier verursacht. Der Großteil der Umweltwirkungen des Lebenszyklusmoduls Lebensende sind auf die KG300 Baukonstruktion zurückzuführen. Dieses Quartiers-element bedingt ca. 85 % des PENRT-Einsatzes über den Lebenszyklus.

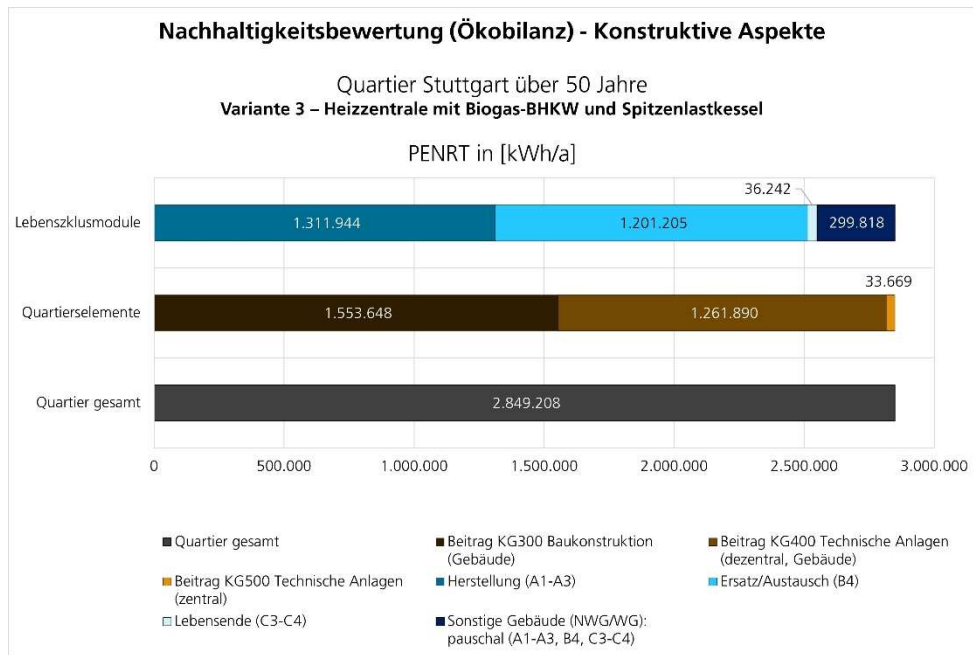


Bild 19:
Ökobilanzergebnisse PENRT in [kWh/a] - Quartier Stuttgart, Variante 3 – Heizzentrale mit Biogas-BHKW und Spitzenlastkessel [Eigene Darstellung].

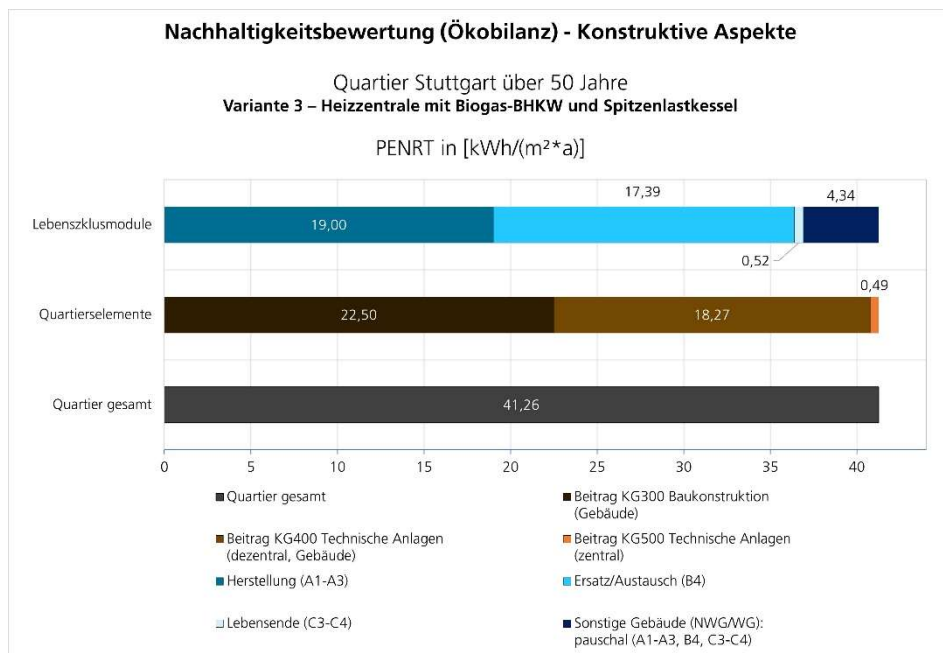


Bild 20:
Ökobilanzergebnisse PENRT in [kWh/(m²*a)] - Quartier Stuttgart, Variante 3 – Heizzentrale mit Biogas-BHKW und Spitzenlastkessel [Eigene Darstellung].

In Bild 21 bis Bild 24 sind die Ökobilanzergebnisse beispielhaft für das Quartier Stuttgart, Variante 2 – Heizzentrale mit zentraler Sole-Wasser-Wärmepumpe dargestellt.

Der Vergleich des GWP der Variante 2 mit Variante 3 des Quartiers Stuttgart zeigt den Einfluss der Kostengruppe KG500 Technische Anlagen (zentral). Während Variante 2 eine zentrale Sole-Wasser-Wärmepumpe vorsieht, umfasst die Variante 3 ein Biogas-BHKW und einen Biogas-Spitzenlastkessel als zentrale Technische Anlagen. In Variante 2 ist das GWP der KG500 etwa Faktor 2,5 höher als in Variante 3.

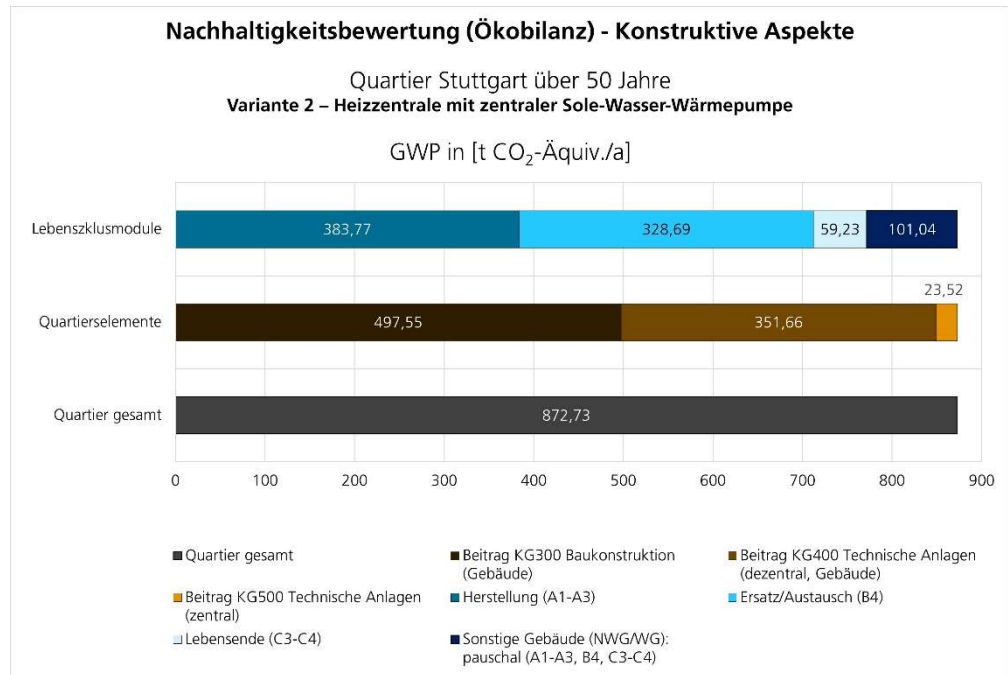


Bild 21:
Ökobilanzergebnisse GWP in [t CO₂-Äquiv./a] – Quartier Stuttgart, Variante 2 – Heizzentrale mit zentraler Sole-Wasser-Wärmepumpe [Eigene Darstellung].

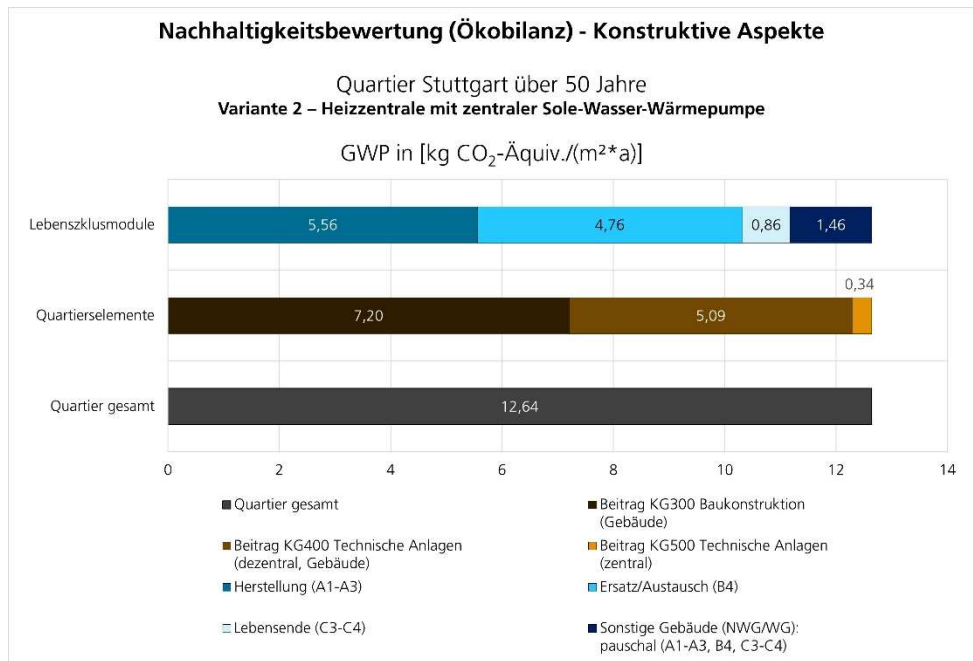


Bild 22:
 Ökobilanzergebnisse GWP in [kg CO₂-Äquiv./((m²*a))] – Quartier Stuttgart, Variante 2 – Heizzentrale mit zentraler Sole-Wasser-Wärmepumpe [Eigene Darstellung].

In Bild 23 und Bild 24 sind die Ökobilanzergebnisse für den PENRT-Einsatz der Variante 2 des Quartiers Stuttgart über 50 Jahre dargestellt. Die Umweltwirkungen des Quartiers gesamt sind in Variante 2 leicht höher als in Variante 3. Dies ist auf die Kostengruppe KG500 zurückzuführen.

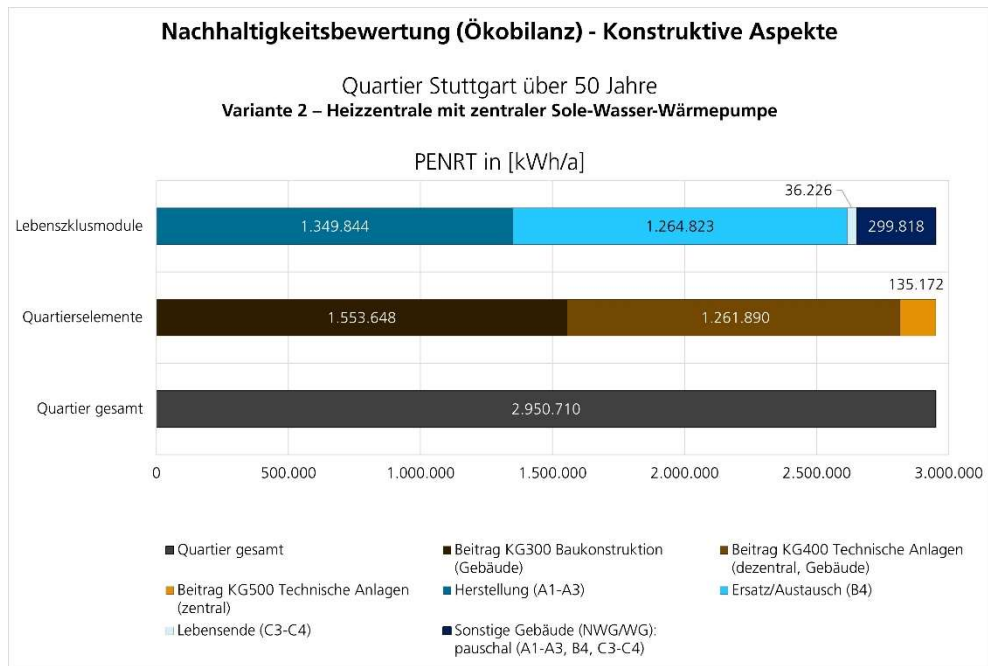


Bild 23:
Ökobilanzergebnisse PENRT in [kWh/a] – Quartier Stuttgart, Variante 2 – Heizzentrale mit zentraler Sole-Wasser-Wärmepumpe [Eigene Darstellung].

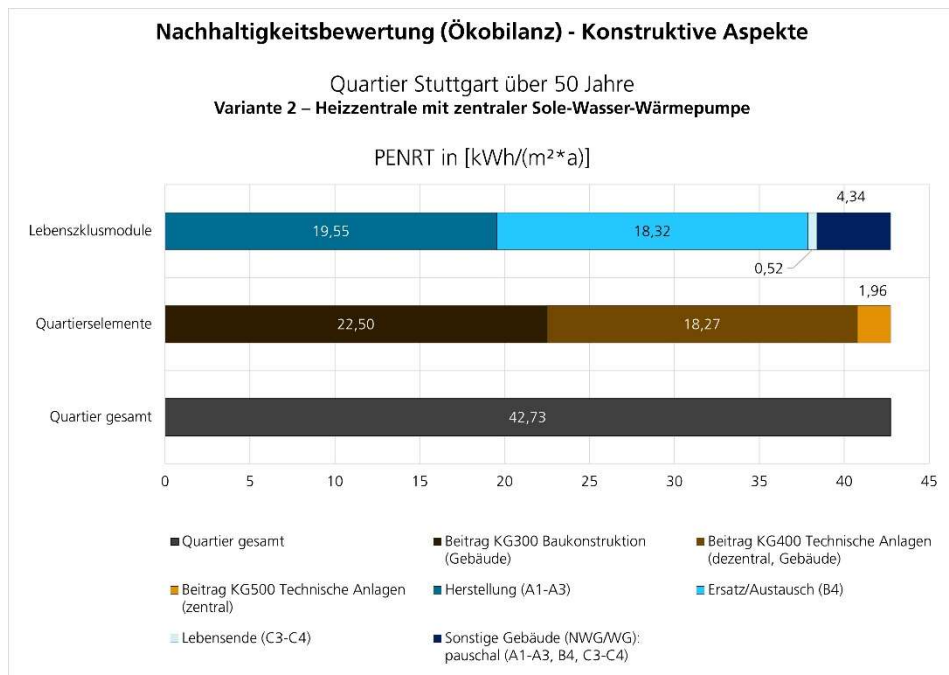


Bild 24:
Ökobilanzergebnisse PENRT in [kWh/(m²*a)] – Quartier Stuttgart, Variante 2 – Heizzentrale mit zentraler Sole-Wasser-Wärmepumpe [Eigene Darstellung].

6.3 Quartierskonzept Überlingen (AP2.2)

6.3.1 Technische Systembeschreibung und Sachbilanz

Für die Berücksichtigung des Gebäudes 10 in der Quartiersbilanz wurde Variante 0 angesetzt, die die Nutzung des innovativen reinen Dämmstoffes mit einem spezifischen Ansatz für das Lebensende (Rücknahme Dämmstoff statt thermischer Verwertung) vorsieht.

Die untenstehende Tabelle 11 gibt eine Übersicht über das Energiekonzept des BGÜ-Quartiers.

Tabelle 11:
Bilanzierte Anlagentypen und Komponenten des Energiekonzepts Überlingen [Maucher 2023].

	Anlagentyp	Komponente	Bilanzierungsansatz
Erzeugerseite	Holz hackschnitzel	Holz hackschnitzelkessel: 1,6 MW _{th}	verursachungsgerechte Anrechnung. 60 % Anrechnung.
	Erdgas-Spitzenlast	Erdgasspitzenlastkessel: 2 x 2 MW	verursachungsgerechte Anrechnung. 15 % Anrechnung.
	BHKW	Erdgas-BHKW: 50 kW _{el} / 90 kW _{th}	verursachungsgerechte Anrechnung. 5 % Anrechnung.
	Solarthermie	Vakuumröhrenkollektoren: 4268 m ² / 2,4 MW	verursachungsgerechte Anrechnung; Installation explizit für das Energiekonzept in Überlingen. Konservative Abschätzung über 100% Anrechnung (auch wenn außerhalb des Quartiers installiert).
	PV	Photovoltaik: 75,33 m ²	verursachungsgerechte Anrechnung; installiert im Neubau und Bestandsbau. 100% Anrechnung.
	Speicher	Batteriespeicher: Lithium-Ionen: 154 kWh Lithium-Eisenphosphat: 6 x 15,4 kWh	
Verteilung und Übergabe	Nahwärmenetz	Nahwärmenetzleitungen: 2-Leiter DN80 -> 215 m Hauptleitung (Trasse) -> 430 m Rohr DN50 -> 200 m Hausanschluss (Trasse) -> 400 m Rohr Material: Stahl (Kunststoffmantelrohr KMR, Einzelrohr) Wandstärke: 3,0 Dämmstärke: 1x verstärkte Dämmung	Verursachergerechte Anrechnung der Bausteine, die zusätzlich ins Quartier eingebracht werden. 100 % Anrechnung.
		Nahwärmenetzleitungen: 3-Leiter DN80 -> 320 m Hauptleitung (Trasse) -> 960 m Rohr DN50 -> 90 m Hausanschluss (Trasse) -> 270 m Rohr Material: Stahl (Kunststoffmantelrohr KMR, Einzelrohr) Wandstärke: 3,0 Dämmstärke: 1x verstärkte Dämmung	

6.3.2 Auswertung und Interpretation

Die Ökobilanzergebnisse des Quartiers Überlingen sind in Bild 25 bis Bild 28 veranschaulicht. In Bild 25 und Bild 26 ist zu erkennen, dass die Kostengruppe KG300 die größten Umweltwirkungen der verschiedenen Quartierselemente verursacht. Etwa 81 % des GWP sind auf diese Kostengruppe zurückzuführen. Etwa 59 % der Umweltwirkungen sind durch das Lebenszyklusmodul Herstellung bedingt. Um die 94 % des GWP der Herstellungsphase werden durch die KG300 verursacht.

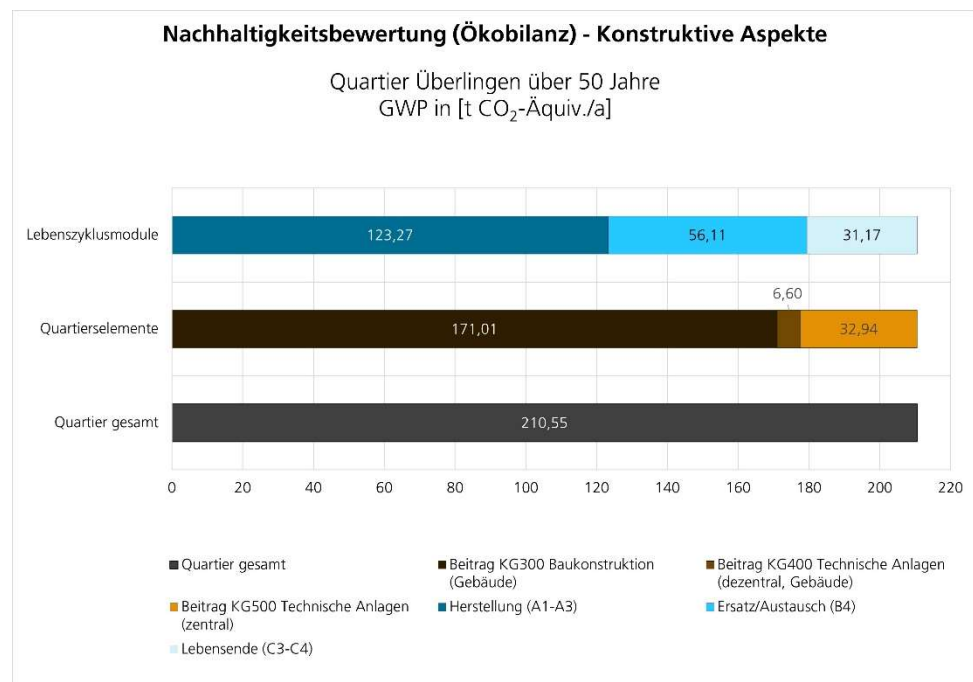


Bild 25:
Ökobilanzergebnisse GWP in [t CO₂-Äquiv./a] - Quartier Überlingen [Eigene Darstellung].

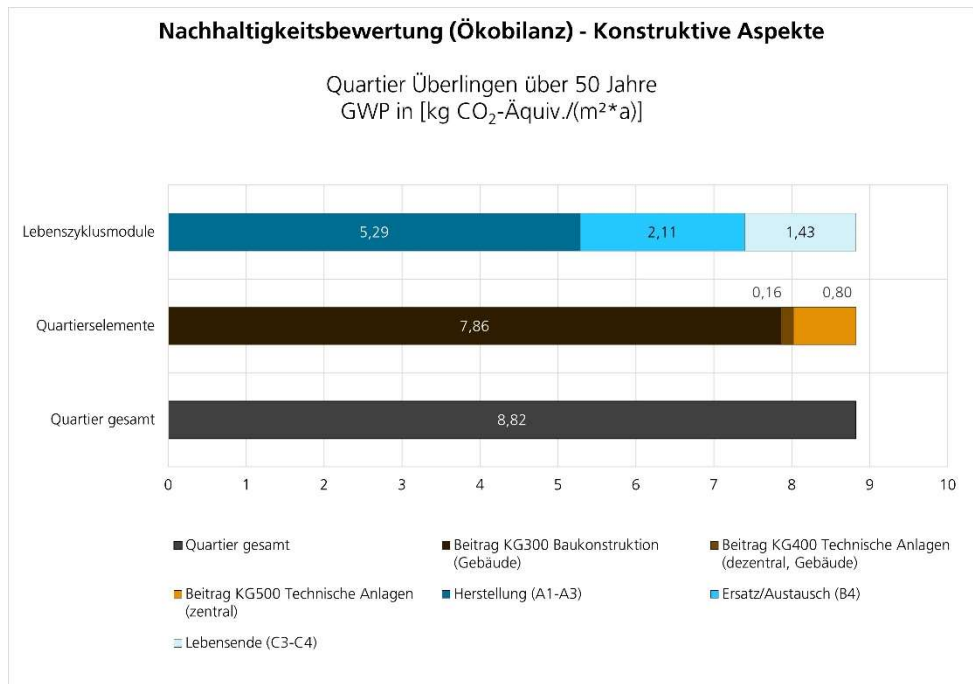


Bild 26:
Ökobilanzergebnisse GWP in [kg CO₂-Äquiv./(m²*a)] – Quartier Überlingen [Eigene Darstellung].

Der Blick auf Bild 27 und Bild 28 zeigt den großen Einfluss der Kosten-
gruppe KG300 Baukonstruktion auf die Umweltwirkungen mit Blick auf den
PENRT-Einsatz. Auch die Kostengruppe KG500 ist hier nicht unwesentlich.
Die zentralen Technischen Anlagen tragen etwa zu 16 % der Umweltwirkun-
gen des Quartiers bei.

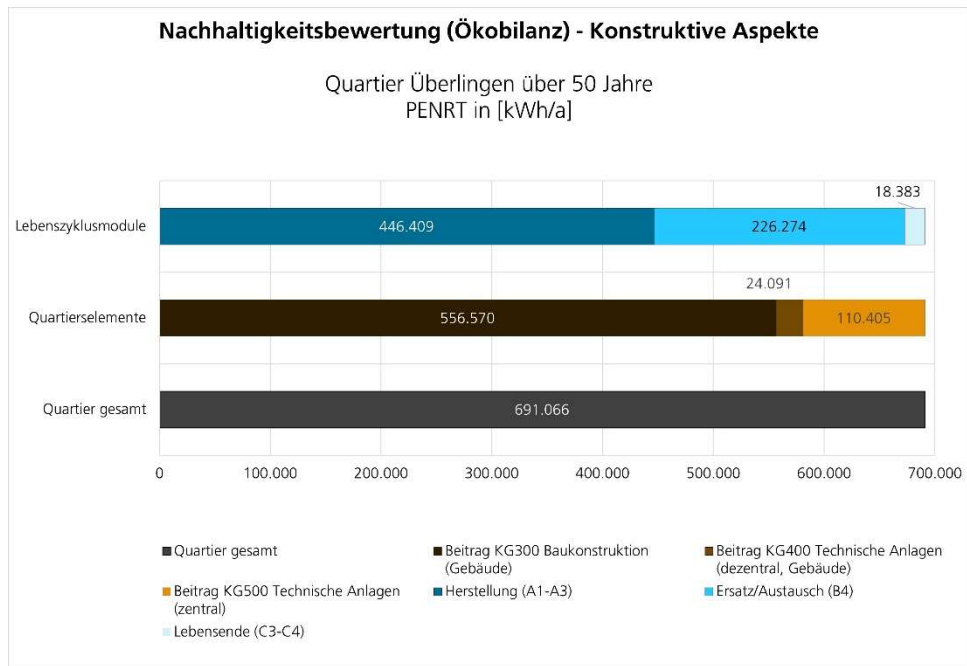


Bild 27:
Ökobilanzergebnisse PENRT in [kWh/a] – Quartier Überlingen [Eigene Darstellung].

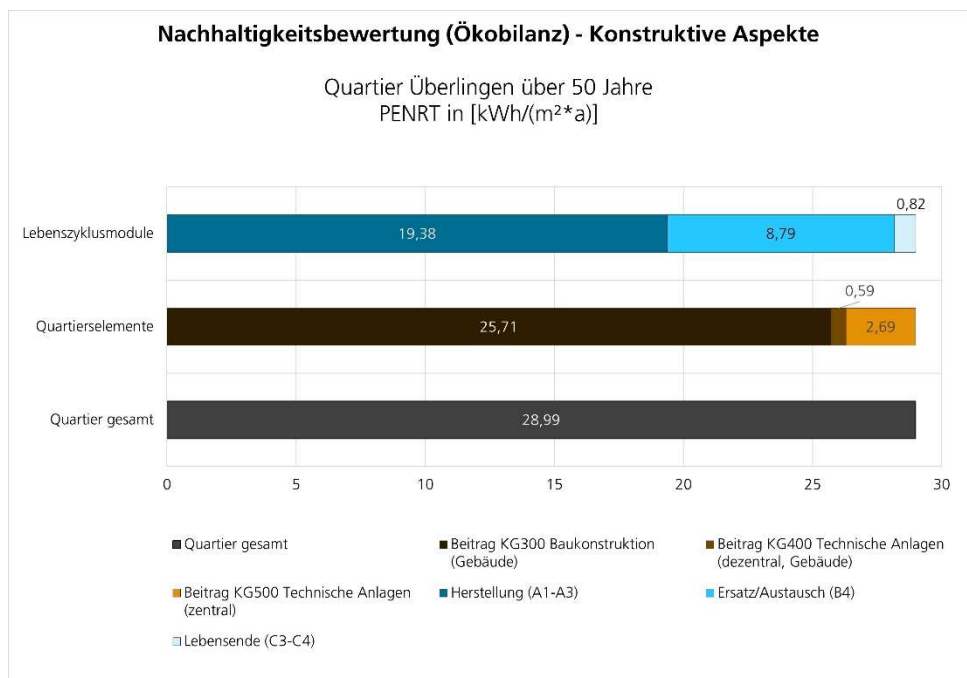


Bild 28:
Ökobilanzergebnisse PENRT in [kWh/(m²*a)] – Quartier Überlingen [Eigene Darstellung].

6.4 Übertragbare Lösungsansätze und Quartierskonzepte (AP3.2)

6.4.1 Technische Systembeschreibung und Sachbilanz

Für die übertragbaren Lösungsansätze wurden ausgewählte Energieversorgungskonzepte priorisiert. Zur Vereinfachung werden die Quartiere nur im Anwendungsfall Neubau bilanziert. Es stehen die Quartiere ST 2, ST 5b und ST 7a im Fokus der Analyse.

In Tabelle 12 sind die gewählten Energieversorgungskonzepte für die Quartiersbilanzen spezifiziert. Diese wurden exemplarisch herausgegriffen, da sie mit Blick auf die Energiekosten, und somit aus Bewohnersicht, sehr positiv bzw. positiv bewertet sind. Ergänzend sind die Eingangsdaten der Gebäude (Neubau) für die Quartiersbilanzen festgehalten.

Tabelle 12:
Eingangsdaten der Quartiersbilanzen [Schrade 2022-1].

Quartier	Gebäude-typen	Wärme-nutzniveau	Anlagentyp	Komponenten
ST 2	EFH: 84 Gebäude	EG40	Dezentrale Wärmepumpen	Luft/Wasser-Wärmepumpe (Außenluft, Strom): 84 Stück á 6,5 kW
			Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung (85 %)	Lüftungsanlagen mit Zu- und Abluft und Wärmerückgewinnung (85 %): 84 Stück á Volumenstrom von 250 m³/h
			Dezentrale Photovoltaik	Mono-c-si-Anlagen: Ermittelte Fläche: 5749,29 m² (mit 926 kWh/kW _p und 200 W _p /m²)
ST 5b	MFH: 21 Gebäude, GMH: 10 Gebäude	EG40	Dezentrale Gas-BHKWs	Biogas-BHKW: 21 Stück á 15 kW, 10 Stück á 65 kW
			Dezentrale Spitzenlastkessel	Gas- Spitzenlastkessel: 21 Stück á 15 kW, 10 Stück á 65 kW
			Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung (85 %)	Lüftungsanlagen mit Zu- und Abluft und Wärmerückgewinnung (85 %): 21 Stück á Volumenstrom 800 m³/h, 10 Stück á Volumenstrom 4000 m³/h
			Dezentrale Photovoltaik	Mono-c-si-Anlagen: Ermittelte Fläche: 3856,05 m² (mit 926 kWh/kW _p und 200 W _p /m²)
ST 7a	MFH: 49 Stück, GMH: 52 Stück	EG40	Dezentrale Biomasse-Kessel	Biomasse-Kessel: 49 Stück á 15 kW, 52 Stück á 65 kW
			Dezentrale Solare Trinkwarmwasser- und Heizungsunterstützung	Solare Trinkwarmwasser- und Heizungsunterstützung: Vakuumröhrenkollektoren, Fläche: 7800 m²
			Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung (85 %)	Lüftungsanlagen mit Zu- und Abluft und Wärmerückgewinnung (85 %): 49 Stück á Volumenstrom 800 m³/h, 52 Stück á Volumenstrom 4000 m³/h
			Dezentrale Photovoltaik	Mono-c-si-Anlagen: Ermittelte Fläche: 30588,6 m² (mit 926 kWh/kW _p und 200 W _p /m²)

Die Ergebnisse für die KG300 Baukonstruktion wurden zusätzlich einmal für alle Siedlungstypologien ökobilanziell betrachtet, da sich aus den Demonstrationsquartieren bereits die Relevanz der Kostengruppe KG300 Baukonstruktion abzeichnet. Tabelle 13 bis Tabelle 16 dokumentieren hierfür die wesentlichen Eingangsdaten für die Sachbilanz.

Tabelle 13:
Angesetzte Siedlungsfläche sowie Gebäudetypologie und Anzahl je Siedlungstypologie [Schrade 2022-1].

Quartiersbezeichnung	Siedlungsfläche des Quartiers [km ²]	Anzahl EFH Typgebäude:	Anzahl RH Typgebäude:	Anzahl MFH Typgebäude:	Anzahl GMH Typgebäude:	Anzahl HH Typgebäude:
ST 2	0,075	84	0	0	0	0
ST 4	0,027	0	92	0	0	0
ST 5b	0,057	0	0	21	10	0
ST 6	0,046	0	0	0	0	16
ST 7a	0,095	0	0	49	52	0
ST3a	0,155	208	0	42	0	0
ST5a	0,037	0	0	51	0	0
ST7b	0,147	0	0	59	108	0
ST1	0,112	98	0	0	0	0
A _{NGF} [m ²] je Gebäudetyp		173,3	112,8	654,0	3.322,0	5275,6

Tabelle 14:
Angesetzte Nettogrundflächen gesamt je Siedlungstypologie [Schrade 2022-1].

Quartiersbezeichnung	Nettogrundfläche (A _{NGF})					Summe
	EFH	RH	MFH	GMH	HH	
ST2	14.553	0	0	0	0	14.553
ST4	0	10.373	0	0	0	10.373
ST5b	0	0	13.733	33.220	0	46.953
ST6	0	0	0	0	84.410	84.410
ST7a	0	0	32.044	172.744	0	204.788
ST3a	36.036	0	27.466	0	0	63.502
ST5a	0	0	33.351	0	0	33.351
ST7b	0	0	38.583	358.776	0	397.359
ST1	16.979	0	0	0	0	16.979

Tabelle 15:
Geometrische Grunddaten der verwendeten Typgebäude [Schrade 2022-1].

Typbezeichnung	EFH_F	RH_C	MFH_G	GMH_F	NBL_HH_F
Anzahl Wohneinheiten	1	1	9	48	80
Anzahl Stockwerke	2	2	3	8	10
Nettoraumfläche [m ²]	173,3	112,8	654,0	3322,0	5275,6
Wohnfläche [m ²]	157,5	102,5	594,5	3020,0	4796,0
Außenwandfläche [m ²]	177,6	66,1	447,1	2130,0	2994,0
Dachfläche [m ²]	183,1	50,4	248,3	540,0	598,3
Fläche Kellerdecke [m ²]	152,3	50,4	248,3	540,0	598,3
Fensterfläche [m ²]	34,2	21,5	99,4	545,0	756,0

Tabelle 16:
Bauphysikalische Kennwerte der Gebäudehülle [Schrade 2022-1].

Kennwerte	EG100	EH 55	EH 40
$U_{\text{Außenwand}}$ [W/m ² K]	0,28	0,20	0,13
U_{Dach} [W/m ² K]	0,20	0,15	0,11
U_{Boden} [W/m ² K]	0,35	0,25	0,20
U_{Fenster} [W/m ² K]	1,30	0,90	0,80

Die Konstruktionsaufbauten für die Gebäudemodelle Neubau werden in Anlehnung der Gebäudemodelle für das Ökobilanzmodul des District ECA [Lenz 2024-2] gewählt und in massiver Bauweise ausgeführt. Detaillierte Informationen zu den Konstruktionsaufbauten können dem erweiterten Nutzerhandbuch [Lenz 2024-2] entnommen werden.

6.4.2 Auswertung und Interpretation

Tabelle 17 fasst die Ergebnisse der Ökobilanzbewertung für die KG300 Baukonstruktion für alle Siedlungstypologien und die drei energetischen Standards EH100, EH55 und EH40 zusammen. Deutlich zu erkennen ist ein erhöhter konstruktionsbedingter Aufwand im Falle eines steigenden energetischen Standards (vergleiche Ergebnisse EH100 zu Ergebnisse EH40) sowie eine Reduktion der konstruktionsbedingten Umweltwirkungen je funktioneller Einheit bei erhöhter Bebauungsdichte (vergleiche Ergebnisse Siedlungstypologie ST1 mit lockerer Bebauung zu Siedlungstypologie ST7a Blockbebauung).

Tabelle 17:
 Ökobilanzkennwerte KG300 Baukonstruktion für übertragbare Lösungsansätze (AP3.2) im Neubau und unterschiedlichen energetischen Standards.

Quartier	Nettoraumfläche (NRF)		Flächenanteile		Flächenanteile		LCA-Ansatz Gebäude		GWP		PENRT		GWP		PENRT	
	[m ²]	[m ²]	[%]	[m ²]	[%]	Neubau	Sanierung	[kg/(m ² *a)]	[kWh/(m ² *a)]	[kg/(m ² *a)]	[kWh/(m ² *a)]	[kg/(m ² *a)]	[kWh/(m ² *a)]	[kg/(m ² *a)]	[kWh/(m ² *a)]	
										EH40	EH50			EH100		
ST2	14.553	14.553	100%	0	0%	generisch	--	11,88	36,76	10,30	31,45	9,64	29,14			
ST4	10.373	10.373	100%	0	0%	generisch	--	9,00	30,48	7,80	26,10	6,65	21,33			
ST5b	46.953	46.953	100%	0	0%	generisch	--	6,55	18,69	5,96	16,51	5,58	15,30			
ST6	84.410	84.410	100%	0	0%	generisch	--	4,61	11,73	4,31	10,61	4,14	9,92			
ST7a	204.788	204.788	100%	0	0%	generisch	--	6,12	17,01	5,60	15,09	5,29	14,00			
ST3a	63.502	63.502	100%	0	0%	generisch	--	10,54	32,74	9,23	28,18	8,53	26,07			
ST5a	33.351	33.351	100%	0	0%	generisch	--	8,78	27,47	7,83	23,90	7,07	22,04			
ST7b	397.359	397.359	100%	0	0%	generisch	--	5,93	16,27	5,45	14,47	5,16	13,44			
ST1	16.979	16.979	100%	0	0%	generisch	--	11,88	36,76	10,30	31,45	9,64	29,14			

In Bild 29 und Bild 30 sind die Bilanzergebnisse für das Treibhauspotenzial bzw. den PENRT-Einsatz der konstruktiven Aspekte verschiedener Energieversorgungskonzepte und Siedlungstypen des AP3.2 dargestellt. Es zeigt sich der hohe Einfluss der gewählten Siedlungstypologie und der Technischen Anlagen auf die Bilanzergebnisse. Das Fokusquartier ST5b weist deutlich geringere Umweltwirkungen als die anderen betrachteten Quartiere auf, dies ist u. a. auf die reduzierten ökologischen Auswirkungen in dem Lebenszyklusmodul Ersatz/Austausch zurückzuführen.

Quartiersbilanz: Verschiedene Energieversorgungskonzepte und Siedlungstypen | Neubau EG40
 - Herstellung, Austausch, Lebensende über 50 a -
 GWP in [kg CO₂-Äquiv./(m²*a)]

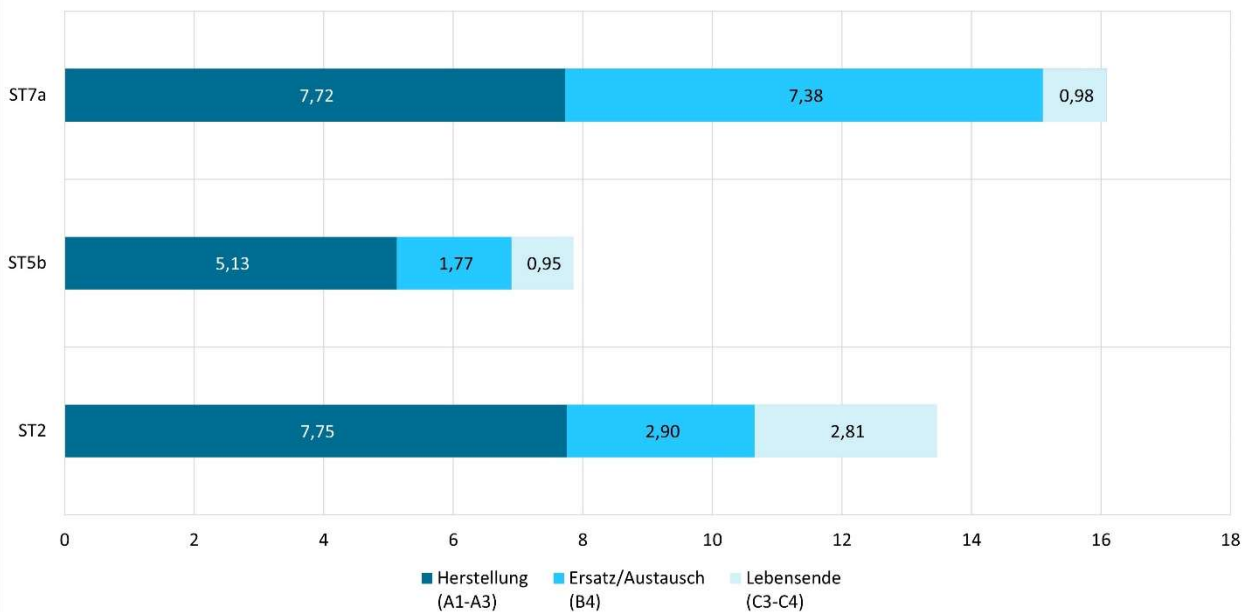


Bild 29:
 Ausgewählte Ökobilanzergebnisse GWP in [kg CO₂-Äquiv./(m²*a)] für die konstruktiven Aspekte verschiedener Energieversorgungskonzepte und Siedlungstypen in AP3.2 [Eigene Darstellung].

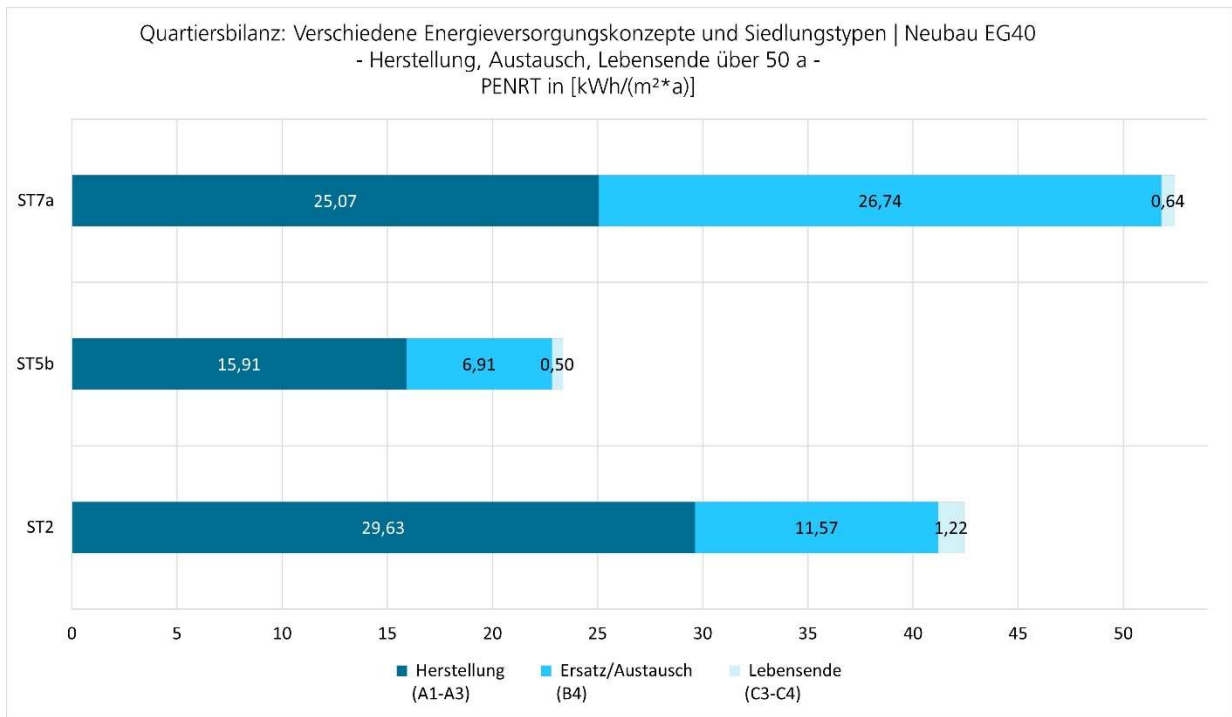


Bild 30:
 Ausgewählte Ökobilanzergebnisse PENRT in [kWh/(m²*a)] für die konstruktiven Aspekte verschiedener Energieversorgungskonzepte und Siedlungstypen in AP3.2 [Eigene Darstellung].

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die ökologische Bewertung der Quartiere und Energieversorgungskonzepten zeigt, dass die Herstellung (A1-A3) einen maßgeblichen Anteil der konstruktionsbezogenen Umweltwirkungen verursacht. Auch die Kostengruppe KG300 Baukonstruktion (Gebäude) ist maßgeblich für die Höhe der ökologischen Auswirkungen des Quartiers. Bezogen auf die funktionelle Einheit von 1 m² NRF und Jahr sind wesentliche Anteile der Gesamtauswirkungen diesem Quartierelement zuzuschreiben. Bebauungsdichte Quartiere (z. B. MFH, MFH Block) sowie Energieversorgungskonzepte mit zentralen Technischen Anlagen gehen tendenziell mit geringeren konstruktiven Umweltwirkungen einher (je 1m² NRF und Jahr) und sind folglich aus ökologischer Sicht als effizienter als Quartiere mit niedriger Bebauungsdichte und Energieversorgungskonzepte mit einem hohen Anteil gebäudenaher technischer Anlagen einzuordnen. Außerdem geht der Neubau mit tendenziell höheren konstruktionsbedingten Umweltwirkungen einher als die Bestandsanierung für KG300 Baukonstruktion. Die Ergebnisse zeigen außerdem die Relevanz der Austauschzyklen (Modul B4) der gewählten Technologien für die Energieversorgung.

Ein Großteil, der für die ökologische Analyse erarbeiteten Ökobilanzmodelle bildet die Basis für die ökologischen Hintergrunddaten im Ökobilanzmodul für District ECA [Lenz 2024-2]. Sie wurden genutzt um Ökobilanzkennwerte für die kombinierte energetische und ökologische Stadtplanung im Stadtplanungstool District ECA zu implementieren. Der vorliegende Bericht dokumentiert damit zusätzliche und weiterführende Annahmen, die über das den Bericht zum erweiterten User Manual [Lenz 2024-2] hinaus gehen.

8 Literaturverzeichnis

- [Beuth 2012] Beuth Verlag (Herausgeber): DIN EN 15978. Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode. Deutsche Fassung EN 15978:2012-10. Verfügbar unter <https://www.dinmedia.de/de/norm/din-en-15978/164252701>. Letzter Abruf: 29.04.2024.
- [Beuth 2018-1] Beuth Verlag (Herausgeber): DIN V 18599:2018-09. Energetische Bewertung von Gebäuden. Verfügbar in den einzelnen Teilen z. B. unter <https://www.dinmedia.de/de/vornorm/din-v-18599-1/293515783>. Letzter Abruf: 23.07.2024
- [Beuth 2018-2] Beuth Verlag (Herausgeber): DIN 276. Kosten im Bauwesen. Deutsche Fassung DIN 276:2018-12. Verfügbar unter <https://www.dinmedia.de/de/norm/din-276/293154016>. Letzter Abruf: 12.07.2024.
- [Beuth 2020] Beuth Verlag (Herausgeber): DIN EN 15804. Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte. Deutsche Fassung EN 15804+:2012+A2:2019. Verfügbar unter <https://www.dinmedia.de/de/norm/din-en-15978/164252701>. Letzter Abruf: 29.04.2024.
- [Beuth 2021-1] Beuth Verlag (Herausgeber): DIN EN ISO 14040:2021-02. Umweltmanagement - Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006 + Amd 1:2020); Deutsche Fassung EN ISO 14040:2006 + A1:2020. Verfügbar unter <https://www.dinmedia.de/de/norm/din-en-iso-14044/325953813>. Letzter Abruf: 29.04.2024.
- [Beuth 2021-2] Beuth Verlag (Herausgeber): DIN EN ISO 14044:2021-02. Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006 + Amd 1:2017 + Amd 2:2020); Deutsche Fassung EN ISO 14044:2006 + A1:2018 + A2:2020. Verfügbar unter <https://www.dinmedia.de/de/norm/din-en-iso-14044/325953813>. Letzter Abruf: 29.04.2024.
- [Beuth 2021-3] Beuth Verlag (Herausgeber): DIN 277. Grundflächen und Rauminhalte im Hochbau. Deutsche Fassung DIN 277:2021-08. Verfügbar unter <https://www.dinmedia.de/de/norm/din-277/342217323>. Letzter Abruf: 29.04.2024.
- [BKI 2022] Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern GmbH (BKI): BKI Kostenplaner. Regionalfaktoren 2022. Version 2021.62.9.
- [Blesl 2002] Blesl, M.: Räumlich hoch aufgelöste Modellierung leitungsgebundener Energieversorgungssystem zur Deckung des Niedertemperaturwärmebedarfs. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung. Universität Stuttgart, 2002

- [BMWSB 2021-1] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, Hg., „Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB): Stand 24.02.2017. Berlin, Deutschland, 2021. Verfügbar unter: <https://www.nachhaltigesbauen.de/austausch/nutzungsdauern-von-bauteilen/>. Letzter Zugriff am: 25. März 2022.
- [BMWSB 2021-2] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB), Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR): ÖKOBAUDAT 2021-II (25.06.2021). Verfügbar unter <https://www.oekobaudat.de/datenbank/archiv/oekobaudat-2021-ii.html>. Letzter Abruf: 12.07.2024.
- [BMWSB 2022] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, Hg., „Bilanzierungsregeln des QNG für Nichtwohngebäude. Stand 25.06.2021: Anhang 3.1.1 zur ANLAGE 3“, Berlin, Deutschland, 1. Juli 2021. Verfügbar unter: <https://www.nachhaltigesbauen.de/austausch/beg/>. Letzter Zugriff am: 25. März 2022.
- [Bundestag 2020] Bundestag: Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz – GEG). Bundesgesetzblatt Jahrgang 2020 Teil I Nr. 37. Bundesanzeiger Verlag GmbH. Bonn. 13. August 2020. Verfügbar unter https://www.geg-info.de/geg/2020.08.13_bundesgesetzblatt_geg_2020_verkundung.pdf. Letzter Zugriff: 28.07.2024.
- [Bundestag 2024] Zweites Gesetz zur Änderung des Klimaschutzgesetzes: Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG), 2021. BGBl. 2024 I Nr. 235 vom 16.07.2024. Verfügbar unter: <https://www.recht.bund.de/bgbl/1/2024/235/VO.html>. Letzter Zugriff: 28.07.2024.
- [Braune 2020] Braune, A. et al.: Rahmenwerk für klimaneutrale Gebäude und Standorte. Bericht. März, 2020. Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e. V. (Hrsg.).
- [Braune 2021] Braune, A. et al.: Benchmarks für die Treibhausgasemissionen der Gebäudekonstruktion. Bericht. August, 2021. Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e. V. (Hrsg.).
- [dataholz 2024] Holzforschung Austria: Katalog bauphysikalisch und ökologisch geprüfter Holzbauteile. Verfügbar unter: <https://www.dataholz.eu>. Letzter Zugriff: 04.07.2023).
- [destatis 2019] Statistisches Bundesamt (DESTATIS): Fortschreibung Wohngebäude- und Wohnungsbestand: Wohngebäude, Wohnungen, Wohnfläche; Stand 25.07.2019. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden. 2019

- [destatis 2020] Statistisches Bundesamt (DESTATIS): Baufertigstellungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden (Neubau) nach überwiegend verwendetem Baustoff. Lange Reihen ab 2000. Erschienen 14. Juli 2020. Statistisches Bundesamt Wiesbaden, 2020.
- [EGS-plan 2019-1] EGS-plan Ingenieurgesellschaft für Energie-, Gebäude- und Solartechnik mbH, Bauteilkatalog für das Bauvorhaben Bürgerhospital Stuttgart, 2019
- [EGS-plan 2019-2] EGS-plan Ingenieurgesellschaft für Energie-, Gebäude- und Solartechnik mbH, Wärmeschutznachweis nach der Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV2014) für das Bauvorhaben Sanierung und Umnutzung des früheren Bettenhauses des Bürgerhospitals in Stuttgart, 2019
- [EPD International 2024] EPD International AB: <https://environdec.com/home>.
- [Fraunhofer IBP 2016] Jan Paul Lindner: Lebenszyklus im Bauwesen. Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, 2016.
- [Fraunhofer IBP 2024-4] Fraunhofer IBP: Generis®. Software zur Gebäudeökobilanz. Stuttgart, 2024. Verfügbar unter <https://www.generis.live/#/signin>. Letzter Abruf: 12.07.2024.
- [Gantner 2011-1] Gantner, J. et al.: EeBGuide: Operational guidance for Life Cycle Assessment studies of the Energy Efficient Building Initiative: Part B: Buildings 2011.
- [Gantner 2011-2] Gantner, J. et al.: EeBGuide: Operational guidance for Life Cycle Assessment studies of the Energy Efficient Building Initiative: Part A: Products 2011.
- [Gantner 2018] Gantner et al., Ökobilanz – Integration in den Entwurfsprozess, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin · Bauphysik 40 (2018), Heft 5, 2018.
- [Hegger 2014] Hegger, M.; Dettmar, J: Energetische Stadtraumtypen – Strukturelle und energetische Kennwerte von Stadträumen. Schriftenreihe EnEff:Stadt. 2014. ISBN 978-3-8167-9292-5.
- [DGNB 2023] DGNB GmbH: DGNB System – Kriterienkatalog Gebäude Neubau. Version 2023. Stuttgart, Deutschland.
- [IBU 2024] Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU): <https://ibu-epd.com/>.

- [IINAS 2022] IINAS GmbH: GEMIS: Globales Emissions-Modell integrierter Systeme. Aktuelle Version: 5.1 (2022). Verfügbar unter <https://iinas.org/downloads/gemis-downloads/>.
- [IWU 2021] Institut Wohnen und Umwelt GmbH: ENOB:dataNWG. Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude. Fkz.: 03ET1315. Verfügbar unter: <https://dat-anwg.de>. Letzter Zugriff: 04.07.2023.
- [Kaufmann 2022] Kaufmann, H. et al.: Atlas mehrgeschossiger Holzbau: Grundlagen – Konstruktionen - Beispiele, 4. Aufl. München: Edition Detail, 2022.
- [KfW 2022] Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) (2022). Merkblatt Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEEG). Nichtwohngebäude. Verfügbar unter [www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-\(Inlandsf%C3%B6rderung\)/PDF-Dokumente/6000004860_M_463.pdf](http://www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-(Inlandsf%C3%B6rderung)/PDF-Dokumente/6000004860_M_463.pdf), Letzter Abruf: 10.07.2024.
- [Lenz 2024-2] Lenz, K., Henzler, K.: Ökobilanzmodul für District ECA. Deliverable D5.4.1 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050. Stuttgart, 2024. Verfügbar unter <https://www.stadtquartier2050.de>. Letzter Abruf: Oktober 2024.
- [Loga 2015] Loga, T.; Stein, B.; Diefenbach, N.; Born, R.: Deutsche Wohngebäudetypologie – Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden. Zweite erweiterte Auflage. Bericht des Instituts für Wohnen und Umwelt. Darmstadt, 2015. Verfügbar unter https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/gebaeudebestand/episcope/2015_IWU_LogaEtAl_Deutsche-Wohngeb%C3%A4udetypologie.pdf. Letzter Abruf: 28.07.2024.
- [Mahler 2019] Mahler, B.; Idler, S.; Nusser, T.; Gantner, J.: Energieaufwand für Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus. Bericht. FKZ 3715 41 111 0. Februar, 2019. Umweltbundesamt (Hrsg.). Verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>. Letzter Zugriff: 02.07.2024.
- [Maucher 2023] Maucher, M.; Söder, A.: Energiekonzept für das Demonstrationsquartier Schöttlisberg in Überlingen. Meilenstein M2.2.1 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050. Ravensburg, 2023.
- [Schrade 2020-1] Schrade, J.; Erhorn, H.; Erhorn-Kluttig, H.: Entwicklung eines klimaneutralen Versorgungskonzepts für das Bürgerhospital Stuttgart. Wissenschaftliches Hintergrunddokument. Meilenstein 2.1.1 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050. Stuttgart, 2020. Verfügbar unter https://www.stadtquartier2050.de/images/M2.1.1_Wissenschaftliches_Hintergrunddokument_Energiekonzept_B%C3%BCrgerhospital_14_08_20.pdf. Letzter Abruf: 27.07.2024.

- [Schrade 2022-1] Schrade, J.; Illner, M.; Erhorn-Kluttig, H.; Erhorn, H.: Leitfaden für die Entwicklung von klimaneutralen Energieversorgungskonzepten für Wohnquartiere. Deliverable 3.2.1 des Verbundvorhabens STADTQUARTIER 2050. Stuttgart, 2022. Verfügbar unter https://www.stadtquartier2050.de/images/D3_2_1_LeitfadenKlimaneutraleQuartiere_final.pdf.
Letzter Abruf: 29.04.2024.
- [Sphera 2023] Sphera LCA For Experts (ehemals GaBi Software System) mit den zugehörigen Datenbanken Managed LCA Content MLC (ehemals GaBi Datenbanken), Sphera Solutions GmbH. CUP Version: 2023.2. University of Stuttgart, Leinfelden Echterdingen, MLC Datendokumentation unter <https://sphera.com/productsustainabilitygabidatasearch/> (März 2024).
- [VDI 2012] Verein Deutscher Ingenieure e.V., VDI-Fachbereich Technische Gebäudeausrüstung: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen: Grundlagen und Kostenberechnung. Düsseldorf, September, 2012.
- [Wienerberger 2022] Wienerberger GmbH (Hrsg.): Poroton Wandlösungen: Planungs- und Verarbeitungshandbuch“. Technische Information, Hannover, Deutschland, 2022.
- [Willems 2021] Willems, W.M. et al. (InformationsZentrum Beton GmbH, Hrsg.): Planungsatlas für den Hochbau. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.planungsatlas-hochbau.de/>. Letzter Zugriff am 20.11.2021.
- [ZUB 2009] Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V., Katalog regionaltypischer Materialien im Gebäudebestand mit Bezug auf die Baualterklasse und Ableitung typischer Bauteilaufbauten, 2009

9 Anhang

A.1 Technologiesteckbriefe für Wärmeerzeuger

A.1.1 Kessel

1.1.1 Gas-Brennwertgerät

Gas-Brennwertgerät	
Energieträger	Erdgas, Biogas
Nutzungsdauer	20 Jahre
Leistungsbereich [kW]	5, 10, 15, 20, 30, 50, 65, 100, 200, 400, 500, 950, 2000
Funktionelle Einheit / Deklarierte Einheit	1 Stück Gas-Brennwertgerät mit einer definierten Leistung [kW/Stück]
Sachbilanz	Gemäß Angaben ÖKOBAUDAT
Wesentliche Annahmen und Abschätzungen	Verwendete Datensätze der ÖKOBAUDAT: Gas-Brennwertgerät < 20 kW (Standgerät) Gas-Brennwertgerät 20-120 kW (Standgerät) Gas-Brennwertgerät 120-400 kW (Standgerät)
Quellen	[ÖKOBAUDAT]

1.1.2 Pelletkessel

Pelletkessel	
Energieträger	Biomasse (Holzpellets)
Nutzungsdauer	15 Jahre
Leistungsbereich [kW]	5, 10, 15, 20, 30, 50, 65, 100, 200, 400
Funktionelle Einheit / Deklarierte Einheit	1 Stück Pelletkessel mit einer definierten Leistung [kW/Stück]
Sachbilanz	Gem. ÖKOBAUDAT
Wesentliche Annahmen und Abschätzungen	Verwendete Datensätze der ÖKOBAUDAT: Leistungsbereich 5, 10, 15 kW: Pelletkessel < 20 kW Leistungsbereich 20, 30, 50, 65, 100 kW: Pelletkessel 20-120 kW Leistungsbereich 200, 400 kW: Hackschnitzelkessel 120 - 400 kW
Quellen	[ÖKOBAUDAT]

1.1.3 Hackschnitzelkessel

Hackschnitzelkessel	
Energieträger	Biomasse (Holzhackschnitzel)
Nutzungsdauer	15 Jahre
Leistungsbereich [kW]	10, 50, 100, 200, 500, 1600
Funktionelle Einheit / Deklarierte Einheit	1 Stück Hackschnitzelkessel mit einer definierten Leistung [kW/Stück]
Sachbilanz	Gem. ÖKOBAUDAT
Wesentliche Annahmen und Abschätzungen	Verwendete Datensätze der ÖKOBAUDAT: Leistungsbereich 10 kW: Hackschnitzelkessel < 20 kW Leistungsbereich 50, 100 kW: Hackschnitzelkessel 20 - 120 kW Leistungsbereich 200 kW: Hackschnitzelkessel 120 - 400 kW Leistungsbereich 500 kW: Hackschnitzelkessel 120 - 400 kW * 1,1 Leistungsbereich 1600 kW: Hackschnitzelkessel 120 - 400 kW * 4
Quellen	[ÖKOBAUDAT]

A.1.2 Wärmepumpen

1.2.1 Strom-Wärmepumpe

Strom-Wärmepumpe (Sole-Wasser bzw. Wasser-Wasser)	
Energieträger	Strom
Nutzungsdauer	20 Jahre
Leistungsbereich [kW]	20 - 1830
Funktionelle Einheit / Deklarierte Einheit	1 Stück Strom-Wärmepumpe (Sole-Wasser bzw. Wasser-Wasser) mit einer definierten Nenn-Wärmeleistung [kW/Stück]
Sachbilanz	<p>Materialmix: Kupfer: 89,18% Verzinkter Stahl: 1,78% Isolierung: 2,38% Kältemittel: 5,95% Leistungselektronik: 0,71%</p> <p>Ausnahme Bilanzierung Quartier Stuttgart, Variante 2: Gem. ÖKOBAUDAT.</p>
Wesentliche Annahmen und Abschätzungen	<p>Projektspezifisch (eigene Modelle). Die Equipment, das z. B. für die Nutzung der Wärmequellen Erdreich oder Grundwasser zusätzlich zur Strom-Wärmepumpe benötigt wird, wird separat bilanziert und technologieabhängig zu der Strom-Wärmepumpe dazugerechnet. Beispiele hierfür sind die Erdsonde und der Erdkollektor.</p> <p>Ausnahme Bilanzierung Quartier Stuttgart, Variante 2: Verwendeter Datensatz der ÖKOBAUDAT: Strom-Wärmepumpe (Sole-Wasser, Erdsonde) 70 kW Skaliert mit Faktor 26,14.</p>
Quellen	Primärdaten und Technologie-Broschüren eines Herstellers

1.2.2 Zusätzliches Equipment für die Abwasserwärmerückgewinnung

Zusätzliches Equipment für die Abwasserwärmerückgewinnung	
Nutzungsdauer	Subkomponentenabhängig
Entzugsleistung [kW]	2100
Funktionelle Einheit / Deklarierte Einheit	Zusätzliches Equipment für die Abwasserwärmerückgewinnung für eine thermische Leistung von 1 kW
Sachbilanz	Materialmix: Spülschild: Großteil Edelstähle und Beton Wärmetauschermodul mit Rohrleitung: Großteil Edelstahl, Wasser-Glykol-Gemisch Zusätzliche Verrohrung: gleiche Teile Edelstahl und Wasser-Glykol-Gemisch Nebenkomponenten: Großteil Umwälzpumpe und Stahl
Wesentliche Annahmen und Abschätzungen	Projektspezifisch (eigene Modelle). Für die Abwasserwärmerückgewinnung wird eine Strom-Wärmepumpe (Sole-Wasser) durch weitere Komponenten ergänzt. Der Modellierung liegt die Annahme zugrunde, dass die Komponenten linear auf 1 kWth skaliert werden können. Im Modell sind berücksichtigt: <ul style="list-style-type: none"> - Spülschild - Zusätzliche Verrohrung mit Wasser-Glykol-Gemisch - Wärmetauschermodul mit Rohrleitung an Unterseite des Wärmetauschermoduls mit Wasser-Glykol-Gemisch - Nebenkomponenten für die Abwasserwärmerückgewinnung, bestehend aus kompressorgesteuerter Druckhaltestation mit Gefäß, Vakuumsprühentgaser und Pumpen
Quellen	Produktdatenblätter

1.2.3 Soleverteiler

Soleverteiler	
Nutzungsdauer	20 Jahre
Funktionelle Einheit / Deklarierte Einheit	1 Stück Soleverteiler für eine definierte Anzahl an Solekreisen/Stück
Sachbilanz	Materialmix: Kunststoff: 80 % Messing: 20 %
Wesentliche Annahmen und Abschätzungen	Projektspezifisch (eigene Modelle). Angesetzte Produktgewichte in Abhängigkeit der Anzahl Solekreise: - Soleverteiler für 2 Solekreise: 5,2 kg - Soleverteiler für 3 Solekreise: 12,1 kg - Soleverteiler für 4 Solekreise: 12,1 kg
Quellen	Produktdaten eines Herstellers

1.2.4 Sole-Umwälzpumpe

Sole-Umwälzpumpe	
Energieträger	Strom
Nutzungsdauer	20 Jahre
Leistung [kW]	5 - 300
Funktionelle Einheit / Deklarierte Einheit	1 Stück Sole-Umwälzpumpe mit einer definierten Leistung von 1 kW
Sachbilanz	Gemäß Datensatz Dokumentation Sphera LCA for Experts
Wesentliche Annahmen und Abschätzungen	Skalierung des Umweltprofils einer Umwälzpumpe über das Gewicht auf die benötigte Leistung [kW]: $\text{Gewicht [kg]} = 66,705 \cdot (\text{Leistung [kW]})^{0,6261}$
Quellen	Sphera LCA for Experts

1.2.5 Erdsonde mit Soleflüssigkeit

Erdsonde mit Soleflüssigkeit	
Nutzungsdauer	50 Jahre
Funktionelle Einheit / Deklarierte Einheit	1 Erdsondenrohr mit 1 m Länge, gefüllt mit Soleflüssigkeit
Sachbilanz	<p>Materialmix: Rohre: PE-HD: 100 % Soleflüssigkeit: Wasser/Ethylenglycol: ca. 70 Vol-% / 30 Vol-%</p> <p>Ausnahme Bilanzierung Quartier Stuttgart, Variante 2: Gem. ÖKOBAUDAT.</p>
Wesentliche Annahmen und Abschätzungen	<p>Projektspezifisch (eigene Modelle). Rohre: OD: 32 mm</p> <p>Ausnahme Bilanzierung Quartier Stuttgart, Variante 2: Verwendeter Datensatz der ÖKOBAUDAT: Rohre für Strom-Wärmepumpe (Sole-Wasser, Erdsonde) 70 kW Skaliert mit Faktor 26,14.</p>
Quellen	Abgeleitet von VDI 4640, Blatt 1 und Blatt 2

1.2.6 Erdkolektor mit Soleflüssigkeit

Erdkolektor mit Soleflüssigkeit	
Nutzungsdauer	50 Jahre
Funktionelle Einheit / Deklarierte Einheit	1 Erdkolektorrohr mit 1 m Länge, gefüllt mit Soleflüssigkeit
Sachbilanz	Materialmix: Rohre: PE-HD: 100 % Soleflüssigkeit: Wasser/Ethylenglycol: ca. 70 Vol-% / 30 Vol-%
Wesentliche Annahmen und Abschätzungen	Projektspezifisch (eigene Modelle). Rohre: OD: 32 mm und Wandstärke: 3 mm
Quellen	Abgeleitet von VDI 4640, Blatt 1 und Blatt 2

1.2.7 Komponenten für Grundwasserwärmenutzung

Komponenten für Grundwasserwärmenutzung	
Nutzungsdauer	50 Jahre
Funktionelle Einheit / Deklarierte Einheit	Komponenten für Grundwasserwärmenutzung für 1 m Länge
Sachbilanz	Materialmix: Stahl: 75 % Kies: 14 % PVC: 11 %
Wesentliche Annahmen und Abschätzungen	Projektspezifisch (eigene Modelle). In dem Modell sind die Komponenten Grundwasserbrunnen, Rohrleitungen für Grundwasserbrunnen sowie Kies berücksichtigt.
Quellen	Relevante Normen und Produktdatenblätter

1.2.8 Strom-Wärmepumpe (Luft-Wasser)

Strom-Wärmepumpe (Luft-Wasser)	
Energieträger	Strom
Nutzungsdauer	18 Jahre
Leistung [kW]	20 - 500
Funktionelle Einheit / Deklarierte Einheit	1 Stück Strom-Wärmepumpe (Luft-Wasser) mit einer definierten Nenn-Wärmeleistung [kW/Stück]
Sachbilanz	Materialmix: Kupfer: 89,18% Verzinkter Stahl: 1,78% Isolierung: 2,38% Kältemittel: 5,95% Leistungselektronik: 0,71%
Wesentliche Annahmen und Abschätzungen	Projektspezifisch (eigene Modelle). Für zusätzliches Equipment, das für die Nutzung der Wärmequellen Abluft und Außenluft benötigt wird, werden separate Umweltprofile bereitgestellt bzw. die Zuluft- und Abluftkanäle sind bei der Auslegung der Rohrleitung in den Gebäuden bereits enthalten.
Quellen	Primärdaten und Technologie-Broschüren eines Herstellers

1.2.9 Agrothermiekollektor mit Monoethylenglykol-Wasser-Gemisch

Agrothermiekollektor mit Monoethylenglykol-Wasser-Gemisch	
Nutzungsdauer	50 Jahre
Funktionelle Einheit / Deklarierte Einheit	1 m ² Agrothermiekollektor mit Monoethylenglykol-Wasser-Gemisch
Sachbilanz	Materialmix: Rohre: PE-HD: 100 % Monoethylenglykol-Wasser-Gemisch: Wasser/Ethylenglycol: ca. 71 %-Vol. / 29 Vol.-%
Wesentliche Annahmen und Abschätzungen	Projektspezifisch (eigene Modelle). Für 1 m ² Agrothermiekollektor: 1,02 m DN 40 Rohr (Kollektorleitung) und 0,04 m DN 200 (Sammel- bzw. Verteilleitung) und 2,75 L Monoethylenglykol-Wasser-Gemisch.
Quellen	Produktdatenblatt und Technologiebroschüre eines Herstellers

A.1.3 Solarthermie

1.3.1 Flachkollektor

Flachkollektor	
Energieträger	Solar
Nutzungsdauer	20 Jahre
Leistung [kW]	ÖKOBAUDAT
Funktionelle Einheit / Deklarierte Einheit	1 m ² Flachkollektor
Sachbilanz	Gemäß Dokumentation ÖKOBAUDAT
Wesentliche Annahmen und Abschätzungen	Verwendeter Datensatz der ÖKOBAUDAT: Solaranlage Flachkollektor
Quellen	ÖKOBAUDAT

1.3.2 Vakuumröhrenkollektor

Vakuumröhrenkollektor	
Energieträger	Solar
Nutzungsdauer	18 Jahre
Leistung [kW]	Gemäß Dokumentation ÖKOBAUDAT
Funktionelle Einheit / Deklarierte Einheit	1 m ² Vakuumröhrenkollektor
Sachbilanz	Gemäß Dokumentation ÖKOBAUDAT
Wesentliche Annahmen und Abschätzungen	Verwendeter Datensatz der ÖKOBAUDAT: Solaranlage Vakuumröhrenkollektor
Quellen	ÖKOBAUDAT

A.1.4 Warmwasserbereitstellung

1.4.1 Elektrischer Heizstab

Elektrischer Heizstab	
Energieträger	Strom
Nutzungsdauer	18 Jahre
Leistung [kW]	1,5, 2, 3, 4,5, 6, 9
Funktionelle Einheit / Deklarierte Einheit	1 Stück elektrischer Heizstab mit einer definierten Leistung [kW/Stück]
Sachbilanz	Materialmix: Kunststoff: zwischen 17 und 10 % Kabel: zwischen 8 und 5 % Messing: zwischen 7 und 4 % Stahl: zwischen 44 und 52 % Kupfer: zwischen 24 und 29 %
Wesentliche Annahmen und Abschätzungen	Projektspezifisch (eigene Modelle). Der Modellierung sind die folgenden Produktgewichte zugrunde gelegt: - Leistung [kW]: 1,5 bis 3 – Produktgewicht [kg]: 1,2 - Leistung [kW]: 4,5 – Produktgewicht [kg]: 1,5 - Leistung [kW]: 6 – Produktgewicht [kg]: 2,1 - Leistung [kW]: 9 – Produktgewicht [kg]: 2,1 Der Stahlanteil wird mithilfe eines Datensatzes für Edelstahl 1.4404 abgeschätzt. Die absoluten Massen der Materialien Kunststoff, Kabel und Messing sind bei allen Produktgewichten gleichbleibend.
Quellen	Produktdaten eines Herstellers

1.4.2 Elektrischer Durchlauferhitzer

Elektrischer Durchlauferhitzer	
Energieträger	Strom
Nutzungsdauer	12 Jahre
Leistung [kW]	21
Funktionelle Einheit / Deklarierte Einheit	1 Stück elektrischer Durchlauferhitzer mit einer Leistung von 21 kW
Sachbilanz	Gemäß Dokumentation ÖKOBAUDAT
Wesentliche Annahmen und Abschätzungen	Verwendeter Datensatz der ÖKOBAUDAT: Elektrischer Durchlauferhitzer (21 kW)
Quellen	ÖKOBAUDAT

A.2 Technologiesteckbriefe für Stromerzeuger

A.2.1 Solar und Wind

2.1.1 PV-Anlage

PV-Module (Mono-c-Si-Anlage und Multi-c-Si-Anlage)	
Energieträger	Solar
Nutzungsdauer	18 Jahre
Funktionelle Einheit / Deklarierte Einheit	1 m ² Fläche Photovoltaikanlage
Sachbilanz	Gemäß Dokumentation ÖKOBAUDAT
Wesentliche Annahmen und Abschätzungen	Verwendeter Datensatz der ÖKOBAUDAT: Photovoltaiksystem 1200 kWh/m ² *a (ohne Stromgutschrift)
Quellen	ÖKOBAUDAT

2.1.2 PVT-Kollektor

PVT-Kollektor	
Nennleistung [Wp]	340
Nutzungsdauer	18 Jahre
Funktionelle Einheit / Deklarierte Einheit	PVT-Kollektor mit 1 m ² Kollektor-Aperturfläche
Sachbilanz	Materialmix: PV-Modul: 55 % Aluminium: 31 % Kupfer: 12 % MS-Polymer Klebstoff: 3 % ASA: 0,01 %
Wesentliche Annahmen und Abschätzungen	Projektspezifisch (eigene Modelle). In der Modellierung sind die folgenden Komponenten berücksichtigt: - PV-Modul - Wärmetauscher - Kleber - Kunststoff-Ecken - Aufständerung
Quellen	Primärdaten eines Herstellers und Datenblatt

2.1.3 Kleinwindkraft-Anlage

Kleinwindkraft-Anlage	
Energieträger	Wind
Nutzungsdauer	20 Jahre
Leistungsbereich [kW]	2,5 bzw. 12
Funktionelle Einheit / Deklarierte Einheit	1 m ² Rotorfläche
Sachbilanz	<p>Materialmix: Für 1 Stück WKA mit einer Leistung von 2,5 kW bzw. 12 kW: PP: 1 % Verzinkter Stahl: 5 % Dämmung: 3 bzw. 2 % PVC: 3 bzw. 2 % Edelstahl: 41 bzw. 42 % Kupfer: 7 % Lack: 2 bzw. 1 % Aluminium: 8 bzw. 10 % Magnet: 7 bzw. 8 % Glasfaser: 12 bzw. 9 % Stahl: 12 bzw. 13 %</p>
Wesentliche Annahmen und Abschätzungen	<p>Projektspezifisch (eigene Modelle). In dem Modell sind der Generator vollständig, der Rotor, der Mast und die Elektronik bestmöglich berücksichtigt. Das Fundament ist nicht Bestandteil des Bilanzmodells. Die WKA mit einer Leistung von 2,5 kW weist eine Nabenhöhe von 18 m und einen Rotordurchmesser von 3 m auf. Die WKA mit einer Leistung von 12 kW weist eine Nabenhöhe von 25 m und einen Rotordurchmesser von 5,8 m auf.</p>
Quellen	Produktdatenblätter

A.3 Technologiesteckbriefe für Lüftungsanlagen

A.3.1 Lüftungsanlagen

3.1.1 Zentrale Lüftungsanlagen mit Zu- und Abluft, 85 % WRG

Zentrale Lüftungsanlagen mit Zu- und Abluft, 85 % WRG	
Energieträger	Strom
Nutzungsdauer	20 Jahre
Volumenstrom [m³/h]	250, 800, 4000
Funktionelle Einheit / Deklarierte Einheit	1 Stück Lüftungsanlage mit einem definierten Volumenstrom [m³/h]
Sachbilanz	<p>Materialmix Typ 1 und 3: Kunststoff: 75 % Stahlblech: 25 %</p> <p>Materialmix Typ 2: Verzinkter Stahl: 60 % Aluminium: 25 % Kunststoff: 10 % Kupferblech: 5 %</p>
Wesentliche Annahmen und Abschätzungen	<p>Projektspezifisch (eigene Modelle). In den generischen Quartieren ST7a, ST2 und ST5b des AP 3.2 kommen drei verschiedene Lüftungsanlagentypen zum Einsatz:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Typ 1 (ST7a, ST5b) : Zentrale Lüftungsanlagen mit Zu- und Abluft, 85 % WRG, Volumenstrom: jeweils 800 m³/h, - Typ 2 (ST7a, ST5b): Zentrale Lüftungsanlagen mit Zu- und Abluft, 85 % WRG, Volumenstrom: jeweils 4000 m³/h, - Typ 3 (ST2): Zentrale Lüftungsanlagen mit Zu- und Abluft, 85 % WRG, Volumenstrom: jeweils 250 m³/h.
Quellen	Primärdaten eines Herstellers

3.1.2 Mechanische Lüftungsanlagen mit WRG > 85%

Mechanische Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung (WRG) > 85%	
Energieträger	Strom
Nutzungsdauer	20 Jahre
Volumenstrom [m³/h]	60000
Funktionelle Einheit / Deklarierte Einheit	1 Stück Lüftungsanlage mit einem definierten Volumenstrom [m³/h]
Sachbilanz	Materialmix: Verzinkter Stahl: 60 % Aluminium: 25 % Kunststoff: 10 % Kupfer: 5 %
Wesentliche Annahmen und Abschätzungen	Projektspezifisch (eigenes Modell).
Quellen	Primärdaten eines Herstellers

A.3.2 Lüftungskanäle und Zubehör Zu- und Abluftanlagen

3.2.1 Lüftungskanäle und Zubehör Zu- und Abluftanlage (EFH)

Lüftungskanäle und Zubehör Zu- und Abluftanlage (EFH)	
Nutzungsdauer	Luftführung/-kanäle: 30 Jahre Schalldämpfer: 20 Jahre
Funktionelle Einheit / Deklarierte Einheit	Lüftungskanäle und Zubehör für Zu- und Abluftanlage (mit/ohne WRG) pro Einfamilienhaus (EFH) (NGF = 125 m ²).
Sachbilanz	Materialmix: Verzinkter Stahl: 49 % PE und PE-HD: 28 % Stahl: 10 % Mineralwolle: 9 % PP: 3 %
Wesentliche Annahmen und Abschätzungen	Projektspezifisch (eigene Modelle). Die folgenden Komponenten sind in dem Bilanzmodell berücksichtigt: - 10 m Ø180mm Isoduct (Außendurchmesser 180, Innendurchmesser 150mm) - 13m Ø150mm galvanized steel ducts - 17m Ø125mm galvanized steel ducts - 50 m Ø80mm HDPE connection ducts - 4 Subverteilerboxen - 4 Rundschalldämpfer - 7 Luftauslässe - 7 Luftabsaugungen
Quellen	Produktdaten eines Herstellers

3.2.2 Lüftungskanäle und Zubehör Zu- und Abluftanlage (MFH)

Lüftungskanäle und Zubehör Zu- und Abluftanlage (MFH)	
Nutzungsdauer	Luftführung/-kanäle: 30 Jahre Schalldämpfer: 20 Jahre
Funktionelle Einheit / Deklarierte Einheit	Lüftungskanäle und Zubehör Zu- und Abluftanlage (sowohl mit als auch ohne WRG) pro Mehrfamilienhaus (NGF = 984,8 m ²)
Sachbilanz	Materialmix: Verzinkter Stahl: 49 % PE und PE-HD: 29 % Stahl: 12 % Mineralwolle: 10 %
Wesentliche Annahmen und Abschätzungen	Projektspezifisch (eigene Modelle). Die folgenden Komponenten sind in dem Bilanzmodell berücksichtigt: - 60 m Ø180mm Abluftrohre aus verzinktem Stahl - 90 m Ø100mm Abluftrohre aus verzinktem Stahl - 240 m Ø50mm Rohranschlüsse aus HDPE - 30 Subverteilerboxen - 15 Rundschalldämpfer - 90 Lüftauslässe/WE - 45 Luftansaugungen/WE
Quellen	Produktdaten eines Herstellers

A.4 Technologiesteckbriefe für Übergabe/Verteilung

A.4.1 Übergabe

4.1.1 Übergabestation

Übergabestation	
Nutzungsdauer	20 Jahre
Leistung [kW]	1
Funktionelle Einheit / Deklarierte Einheit	1 Stück Übergabestation mit 1 kW Nennleistung
Sachbilanz	Gemäß Dokumentation ÖKOBAUDAT
Wesentliche Annahmen und Abschätzungen	Verwendeter Datensatz der ÖKOBAUDAT: Übergabestation Fernwärme
Quellen	ÖKOBAUDAT

A.4.2 Netzleitungen

4.2.1 Gedämmte Leitungen

Gedämmte Leitungen	
Nutzungsdauer	50 Jahre
Funktionelle Einheit / Deklarierte Einheit	1 m gedämmte Rohrleitung mit einem definierten DN
Sachbilanz	Materialmix: Mediumrohr: Edelstahl Mantelrohr: PE-HD PU-Dämmung Massenermittlung über DN gemäß Produktblatt.
Wesentliche Annahmen und Abschätzungen	Projektspezifisch (eigenes Modell). Es ist das Rohrsystem von isoplus, Modell: Diskontinuierliche Fertigung - Mediumrohr geschweißt (Dämmstärke: 1x verstärkte Dämmung) abgebildet.
Quellen	Produktblatt des Herstellers

4.2.2 Ungedämmte Leitungen

Ungedämmte Leitungen	
Nutzungsdauer	50 Jahre
Funktionelle Einheit / Deklarierte Einheit	1 m ungedämmte Rohrleitung
Sachbilanz	Material: PE-HD: 100 %
Wesentliche Annahmen und Abschätzungen	Projektspezifisch (eigenes Modell). Es sind Rohre des Herstellers Wavin, Modell: Wavin TS DOQ, Trinkwasserrohre mit erweiterter Qualitätssicherung, PE100-RC, SDR11 abgebildet. Massenermittlung über OD gemäß Produktblatt.
Quellen	Produktblatt des Herstellers

A.4.3 Pumpen

4.3.1 Netzpumpen

Netzpumpen	
Energieträger	Strom
Nutzungsdauer	20 Jahre
Leistung [kW]	5 - 300
Funktionelle Einheit / Deklarierte Einheit	1 Stück Netzpumpe mit einer definierten Leistung von 1 kW
Sachbilanz	Gemäß Dokumentation Sphera LCA for Experts
Wesentliche Annahmen und Abschätzungen	Skalierung des Umweltprofils einer Umwälzpumpe über das Gewicht auf die benötigte Leistung [kW]: Gewicht [kg] = 66,705*(Leistung [kW]) ^{0,6261}
Quellen	Sphera LCA for Experts

A.5 Technologiesteckbriefe für Speicher

A.5.1 Wärmespeicher

5.1.1 Pufferspeicher

Pufferspeicher	
Nutzungsdauer	20 Jahre
Speichervolumen [l]	200 – 2000 l
Funktionelle Einheit / Deklarierte Einheit	1 Stück Pufferspeicher mit einem definierten Speichervolumen [l/Stück], inkl. Wasser
Sachbilanz	Gemäß Dokumentation Sphera LCA for Experts
Wesentliche Annahmen und Abschätzungen	Skalierung von Datensätzen für einen Edelstahl-Pufferspeicher und Wasser über das Speichervolumen. In der Modellierung ist das Speichermedium Wasser mitberücksichtigt.
Quellen	Sphera LCA for Experts

A.5.2 Stromspeicher

5.2.1 Batteriespeicher für PV-Eigenstromnutzung

Batteriespeicher für PV-Eigenstromnutzung (Lithium-Ionen-Batterie bzw. Lithium-Eisenphosphat-Batterie)	
Nutzungsdauer	15 Jahre
Speicherkapazität [kWh]	1 - 40
Funktionelle Einheit / Deklarierte Einheit	1 Stück Lithium Eisenphosphat (LFP) Batterie (pro 1kWh Speicherkapazität)
Sachbilanz	Gemäß Dokumentation ÖKOBAUDAT
Wesentliche Annahmen und Abschätzungen	Verwendeter Datensatz der ÖKOBAUDAT: Lithium Eisenphosphat (LFP) Batterie (pro 1kWh Speicherkapazität)
Quellen	ÖKOBAUDAT

A.6 Technologiesteckbriefe für kombinierte Strom- und Wärmeerzeuger

A.6.1 Blockheizkraftwerke (BHKW)

6.1.1 Biogas-BHKW

Biogas-BHKW	
Energieträger	Biogas
Nutzungsdauer	15 Jahre
Leistungsbereich [kW]	5, 10, 15, 20, 30, 50, 65, 100, 200, 400, 500, 950, 2000
Funktionelle Einheit / Deklarierte Einheit	1 Stück Biogas-BHKW mit einer definierten thermischen Leistung [kW]
Sachbilanz	Materialmix: Metalle: 83 % Kunststoffe: 4 % Leistungselektronik: 10 % Schmiermittel: 3 %
Wesentliche Annahmen und Abschätzungen	Projektspezifisch (eigenes Modell). Für die Abbildung der konstruktiven Aspekte des Biogas-BHKWs ist das Modell des Holzgas-BHKWs angesetzt.
Quellen	Siehe Holzgas-BHKW

6.1.2 Erdgas-BHKW

Erdgas-BHKW	
Energieträger	Erdgas
Nutzungsdauer	15 Jahre
Leistungsbereich [kW]	90 kWth
Funktionelle Einheit / Deklarierte Einheit	1 Stück Erdgas-BHKW mit einer thermischen Leistung von 90 kWth
Sachbilanz	Materialmix: Metalle: 83 % Kunststoffe: 4 % Leistungselektronik: 10 % Schmiermittel: 3 %
Wesentliche Annahmen und Abschätzungen	Projektspezifisch (eigenes Modell). Für die Abbildung der konstruktiven Aspekte des Erdgas-BHKWs ist das Modell des Holzgas-BHKWs angesetzt.
Quellen	Siehe Holzgas-BHKW

6.1.3 Holzgas-BHKW

Holzgas-BHKW	
Energieträger	Holzgas
Nutzungsdauer	15 Jahre
Leistungsbereich [kW]	5, 10, 15, 20, 30, 50, 65, 100, 200, 400, 500, 950, 2000
Funktionelle Einheit / Deklarierte Einheit	1 Stück Holzgas-BHKW und 1 Stück Holzvergaser mit einer definierten thermischen Leistung [kW].
Sachbilanz	<p>Materialmix:</p> <p>Holzgas-BHKW:</p> <p>Metalle: 83 %</p> <p>Kunststoffe: 4 %</p> <p>Leistungselektronik: 10 %</p> <p>Schmiermittel: 3 %</p> <p>Holzvergaser:</p> <p>Metalle: 86 %</p> <p>Kunststoffe: 4 %</p> <p>Leistungselektronik: 10 %</p>
Wesentliche Annahmen und Abschätzungen	Projektspezifisch (eigenes Modell). Das Hackschnitzel-BHKW besteht aus einem Holzgas-BHKW sowie dem zugehörigen Holzvergaser.
Quellen	Primärdaten und Produktwebsite eines Herstellers

A.7 Gebäudemodell AP2.1: Konstruktionskatalog

Tabelle 18:
Berücksichtigte Konstruktionen des Kita-Bereiches, Bettenhaus.

Angaben des Wärmeschutz-nachweises		Angaben des Bauteilkataloges		Modellierungsan-gabe	
Kurzbe-zeichnung	Fläche (m ²)	Kurzbe-zeichnung	Spezifikation	Fläche (m ²)	Mo-del-liert
FB04	40,3	FB(E)01	Fußboden gegen Erdreich	40,3	Ja
DA12	626,75	DA06	Schubladendach über EG	626,75	Ja
DE12	DE12: 901,26	DE01	DE01: Decke gegen Außenluft (Auskra-gung über Kita) BILEI-Decke	DE01: 683,10	Ja
FB12	FB12: 464,95	DE06	DE06: Decke über 2.UG Kita gg unbe-heizt	DE06: 683,10	Ja
AW29	AW29: 136,80	AW(E)01	Außenwand beheizte Bereiche gegen Erdreich	358,55	Ja
IW29	IW29: 221,75				
AW41	273,33	AW01	AW01: Außenwand allgemein	AW01:54,66	Ja
		AW02	AW02: Außenwand Süd Brüstungsberei-che und Loggia	AW02:54,66	
		AW09	AW09: Außenwand mit Klinkerriemchen 10cm Dämmung	AW09:54,66	
		IW01	IW01: Wand gg unbeheizt		
		AW06	AW06: Außenwand hinterlüftet (Schub-lade)	IW01:54,66	
				AW06:54,66	
AW50	200,52	AW04	AW04: Außenwand Nord	AW04: 66,84	Ja
		AW05	AW05: Außenwand Nord Brüstungsberei-che	AW05:66,84	
		AW10	AW10: Außenwand mit Klinkerriemchen 20cm Dämmung	AW10:66,84	
AF08	380,65	FE02	Außenfenster	380,65	Ja
AT03	16,45	T01	Glastür KiTa Süd		Nein
IT11	7,56	-	Kellertür		Nein
IT12	6,6	T06	Aufzugtür		Nein

Tabelle 19:
Berücksichtigte Konstruktionen des Wohnbereiches, Bettenhaus.

Angaben des Wärmeschutznachweises		Angaben des Bauteilkataloges		Modellierungsangabe	
Kurzbezeichnung	Fläche (m ²)	Kurzbezeichnung	Spezifikation	Fläche (m ²)	Modelliert
FB04	127,38	FB(E)01	Fußboden gegen Erdreich	127,38	Ja
DA14	1494,92	DA01	DA01: Hauptdach	DA01: 747,46	Ja
		DA11	DA11: Dach Schrittplattenbereich	DA11: 747,46	
DA15	385,51	DA02	DA02: Wellendach	DA02: 192,75	Ja
		DA03	DA03: Dach Haupttreppenhaus	DA03: 192,75	Ja
DA19	66,81	DA09	Terrasse EG über beheizt (Achse A-B/ 3-6)	66,81	Ja
FB13 FB14	FB13: 709,99 FB14: 62,27	DE02	DE02: Decke über unbeheizt (Massivdecke Wohnen) (Nutzlast 1,5 kN/m)	DE02: 257,42	Ja
		DE04	DE04: Decke über unbeheizt Massivdecke Flure außerhalb Wohnen (Nutzlast 1,5 kN/m ²)	DE04: 257,42	
		DE05	DE05: Decke über unbeheizt Rippendecke Wohnen (Nutzlast 1,5 kN/m ²)	DE05: 257,42	
AW40 IW40	AW40: 124,44 IW40: 83,88	AW(E)01	Außenwand beheizte Bereiche gegen Erdreich	208,32	Ja
AW61	2868,21	AW01	AW01: Außenwand allgemein	AW01: 717,05	Ja
		AW02	AW02: Außenwand Süd Brüstungsbereiche und Loggia	AW02: 717,05	
		AW09	AW09: Außenwand mit Klinkerriemchen 10cm Dämmung	AW09: 717,05	
		IW01	IW01: Wand gg unbeheizt	IW01: 717,05	
AW62	1572,83	AW04	AW04: Außenwand Nord	AW04: 524,27	Ja
		AW05	AW05: Außenwand Nord Brüstungsbereiche	AW05: 524,27	
		AW10	AW10: Außenwand mit Klinkerriemchen 20cm Dämmung	AW10: 524,27	
AW64	468,86	AW07	Außenwand Haupttreppenhaus (Mitte)	468,86	Ja
AF07	1850,75	FE01	Außenfenster	1850,75	Ja
IT10	15,14	-	Kellertür		Nein
IT12	6,13	T06	Aufzugtür		Nein
AT09	5,65	T02	Hauseingang Drehtüre		Nein
IF06	1,91	FE04	Kellerfenster		Nein

A.8 Gebäudemodell AP2.1: Verwendete Datensätze

Prozess / Energieträger / Rohstoff	Gewählter Datensatz	Repräsentativität		
		Geografisch	Zeitlich	Technolo- gisch
Glattstrich; Dicke nach baulichen Erfordernissen	Estrichmörtel-Zementestrich - kg	RER	2019-2024	Technologie-Mix
Polymer-Bitumen-Schweißbahn; Oberseite beschiefert	Bitumenbahnen PYE-PV 200 S5 ns (geschiefert) - m2	DE	2018-2022	Technologie-Mix
Polymer-Bitumen-Kaltselbstklebebahn PYE-KTG KSP 3 nach DIN 52132	Bitumen Kaltkleber (60% Bitumen, 23%LM, 17% Wasser) - kg	DE	2018-2022	Technologie-Mix
-Wärmedämmung aus Mineralfaserplatten -Mineralfaserplatte -Systemdämmplatte aus Mineralfaser	Mineralfaser Deckenplatten (Dicke 0,015m) - m2	DE	2018-2022	Technologie-Mix
Bitumen-Dampfsperr-Schweißbahn AL + V 60 S4	Bitumenbahnen V 60 - m2	DE	2018-2022	Technologie-Mix
Bitumenemulsion als Voranstrich	Bitumen Emulsion (40% Bitumen, 60% Wasser) - kg	DE	2018-2022	Technologie-Mix
Brandschutzbauplatte	Calziumsilikatplatte - m3	DE	2018-2022	Technologie-Mix
Akustikplatte	Knauf Silentboard GKF - m2	DE	2017-2022	Technologie-Mix
-Calciumsulfatfließestrich als Heizestrich -Calciumsulfatestrich als Fließestrich	Estrichmörtel-Calciumsulfatestrich - kg	DE	2019-2024	Technologie-Mix
Ausgleichsdämmplatte aus nicht brennbarer druckfester Steinwolle	ROCKWOOL Steinwolle-Dämmstoff im mittleren Rohdichtebereich - m3	DE	2018-2023	Technologie-Mix
Klebe- Armierungsmörtel als Systemkomponente des zugelassenen Wärmedämm Verbundsystems	Armierung (Kunstharzspachtel) - kg	DE	2018-2022	Technologie-Mix
Armierungsputz mit eingelegter Glasittergewebe und mineralischer Edelputz	Putzmörtel-Armierungsputz - kg	DE	2019-2024	Technologie-Mix
Holzwolle-Mehrschichtplatte	Holzwolle-Leichtbauplatte - m3	DE	2018-2022	Technologie-Mix
Bituminöse Dickbeschichtung	Kunststoffmodifizierte Bitumendickbeschichtungen - kg	DE	2013-2018	Technologie-Mix
Wärmedämmung aus Schaumglasplatten nach DIN EN 13167, Anwendungstyp: PW nach DIN V 4108-10; Produkteigenschaft: $\lambda_{BW} \leq 0,042$ W/mK; Richtqualität: Foamglas T4+	FOAMGLAS® T4+ - kg	RER	2014-2019	Technologie-Mix
-Putz -Ausgleichsputz Kalkzement	Kalkzement Putzmörtel - m3	DE	2018-2022	Technologie-Mix
Klebemörtel	PCI FT® Klebemörtel - kg	DE	2016-2018	Technologie-Mix
Klinkerriemchen	Fassadenklinker - m3	DE	2018-2022	Technologie-Mix
Bestandswand bzw. neue Ausführung aus Porenbeton oder Kalksandstein Bestandswand	Porenbeton P2 04 unbeehrt - m3	DE	2018-2022	Technologie-Mix

bzw. neue Ausführung aus Porenbeton oder Kalksandstein				
Bodenplatte aus Stahlbeton	Betonfertigteile Decke 20cm - m2	DE	2018-2022	Technologie-Mix
Wärmedämmung aus Schaumglasplatten	MISAPOR Schaumglas 10/50 - m3	DE	2015-2020	Technologie-Mix
Trennschicht aus 1-lagiger Polyethylenfolie	Dampfbremse PE (Dicke 0,0002 m) - m2	DE	2018-2022	Technologie-Mix
Trittschalldämmung aus Mineralwolleplatten	Mineralwolle (Boden-Dämmung) - m3	DE	2018-2022	Technologie-Mix
Hartgipsplatte	Gipsfaserplatten - m2	DE	2016-2021	Technologie-Mix
Fliesen auf Verbundabdichtung	Keramische Fliesen und Platten - m2	DE	2016-2022	Technologie-Mix
Hochkunststoffvergüteter Schnelllestrich	Estrichmörtel und Estriche auf Basis von Methacrylatharzen, hochgefüllt, Fließbeschichtungen - kg	DE	2013-2018	Technologie-Mix
Beton-Verbundpflaster	Betonpflaster- Standardstein grau mit Vorsatz - m2	DE	2015-2020	Technologie-Mix
Splitt	Splitt 2/15 - kg	DE	2018-2022	Technologie-Mix
VGV-Gittervlies	Tensar TriAX TX 130 S-G Geogitter - m2	GB	2017-2022	Technologie-Mix
Gussasphaltschicht	Gussasphalt - m3	DE	2018-2022	Technologie-Mix
Trennlage	PE/PP Vlies - m2	DE	2018-2022	Technologie-Mix
Elastomerbitumen-Schweißbahn mit Polyestervlieseinlage PYE PV 200 S5	Bitumenbahnen PYE PV 200 S5 (ungeschiefert) (Dicke 0,004 m) - m2	DE	2018-2022	Technologie-Mix
Voranstrich	Voranstrich (Kunstharz) - kg	DE	2018-2022	Technologie-Mix
Extensive Dachbegrünung	Vegetationssubstrat - kg	DE	2018-2022	Technologie-Mix
Filterschicht	PE/PP Vlies - m2	DE	2018-2022	Technologie-Mix
Drainelement	Stabilenka® - m2	DE	2016-2021	Technologie-Mix
2 x 12,5 mm Gipskartonplatte	Knauf - Gipskartonplatten GKB - Bauplatte 12,5 mm (680 kg/m ³ u. 8,5 kg/m ²) - m2	DE	2021	Technologie-Mix
CW-50-Profil mit 40 mm Mineralwolleinlage	Profil - König GmbH & Co. KG - Wandprofil korrosionsgeschützt CW50 - m	DE	2017-2022	Technologie-Mix
	Mineralwolle (Innenausbau-Dämmung) - m3	DE	2018-2022	Technologie-Mix
Bautenschutzmatte	Gummi-Bodenbelag profiliert EN 12199 (Dicke 0,00355) - m2	DE	2018-2022	Technologie-Mix
Schaumglasschotterschicht	MISAPOR Schaumglas 10/50 - m3	DE	2015-2020	Technologie-Mix
Gipskartonplatte mit Materialzulassung	KNAUF GYPSUM PLASTERBOARDS Type A, Type H, Type DF, Type DFH2 and type DFH2IR	BG	2019-2024	Technologie-Mix
Mineralfaserdämmplatte zwischen CW-Profilen	WDVS mit Mineralfaser Dämmplatte geklebt und gedübelt - m2	DE	2017-2022	Technologie-Mix

A.9 Gebäudemodelle AP3.2: Mapping von Typkonstruktionen

Tabelle 20:
Mapping von Konstruktionen für Gebäudetyp EFH_F - Bestand (Baualter-
klasse: 1969-1978).

Bauteil/ Konstruktion	Konstruktion (IWU)	U-Wert in IWU (W/m ² K)	Menge (m ²)	Konstruktion (ZUB)	U-Wert in ZUB (W/m ² K)	Aufbauschichte nach ZUB	Schichtdi- cke in ZUB (m)
Außen- wand-AW	Mauerwerk	1,0	177,6	Außenwand, massiv, 2-scha- lig	1,01-1,15	- Kalkgipsputz - Hochlochziegel - Luftschicht - Vormauerziegel	-0,01 -0,175- 0,24 - -0,115
Dach-DA	Flachdach mit 6 cm Däm- mung	0,5	183,1	Flachdach, Holz- bauweise, Däm- mung	-	- Beton - Dämmung - Abdichtung - Kies	-0,15 - 0,06 - - k.A.
Fenster-FE	Holzfenster mit Zweischi- ben-Isolierver- glasung	2,8	34,2	Keine Fenster- konstruktionen sind in der ZUB enthalten	-	-	-
Decke/ Fuß- boden-DE	(Stahl-)Beton- decke mit schwimmen- dem Estrich auf 2 cm Dämmung (IWU)	1,0	152,32	Fußboden, mas- siv, Beton	0,77	- Schwimmender Estrich - Dämmung - Betondecke	- 0,04 - 0,02 - 0,14

Tabelle 21:
Mapping von Konstruktionen für Gebäudetyp RH_C - Bestand (Baualter-
klasse: 1919-1948).

Bauteil/ Konstruktion	Konstruktion (IWU)	U-Wert in IWU (W/m ² K)	Menge (m ²)	Konstruktion (ZUB)	U-Wert in ZUB (W/m ² K)	Aufbauschichte nach ZUB	Schichtdi- cke in ZUB (m)
Außenwand - AW	Vollziegel- Mauerwerk	1,7	64,1	Außenwand, massiv, Ziegel	1,8-2,0	- Putz - Vollziegel - Putz	- 0,01 - 0,24-0,30 - 0,01
Dach - DA	Holzbalkende- cke	0,8	50,4	Steildach, Holz- bauweise	1,21-1,8	- Putz - Holzwolle-Leicht- bauplatte - Sparschalung - Sparren - Luftschicht - Ziegel auf Lat- tung	- 0,015 - 0,025 - 0,024 - 0,04 - - k. A.
Fenster - FE	Holzfenster mit Zweischi- ben-Isolierver- glasung	2,8	21,48	Keine Fenster- konstruktionen sind in der ZUB enthalten	-	-	-
Decke/ Fuß- boden - DE	Stahlträger- /Ortbeton-De- cke mit Holz- fußboden	0,1	50,4	Fußboden, mas- siv, Beton	3,14	- Verbundestrich - Beton - Holzfußboden	- 0,06 - 0,16 - k. A.

Tabelle 22:
Mapping von Konstruktionen für Gebäudetyp MFH_G - Bestand (Baualter-
klasse: 1979-1983).

Bauteil/ Konstruk- tion	Konstruktion (IWU)	U-Wert in IWU (W/m ² K)	Menge (m ²)	Konstruktion (ZUB)	U-Wert in ZUB (W/m ² K)	Aufbauschichte nach ZUB	Schicht- dicke in ZUB (m)
Außenwand - AW	Mauerwerk aus Leicht- Hochlochzie- geln / Leicht- mörtel	0,8	447,1	Außenwand, massiv, poro- sierter Hoch- lochziegel	0,88-1,04- 1,26	- Putz - porosierte Hoch- lochziegel - Putz	- 0,01 - 0,24- 0,3 - 0,365 - 0,015
Dach - DA	Betondecke mit 6 cm Däm- mung	0,5	248,3	Flachdach, mas- siv, Beton, Däm- mung	k. A.	- Beton - Schaumglas - Abdichtung - Kies	- 0,15 - 0,06 - k. A. - k. A.
Fenster - FE	Kunststoff- fenster mit Zweischeiben- Isoliervergla- sung	3,0	99,38	Keine Fenster- konstruktionen sind in der ZUB enthalten	-	-	-
Decke/ Fuß- boden - DE	Betondecke mit 4 cm Däm- mung	0,8	248,3	keine verfügba- ren Fußboden- konstruktionen ab dem Jahr 1979 in ZUB	-	-	-

Tabelle 23:
Mapping von Konstruktionen für Gebäudetyp GMH_F - Bestand (Baualter-
klasse: 1969-1978).

Bauteil/ Konstruk- tion	Konstruktion (IWU)	U-Wert in IWU (W/m ² K)	Menge (m ²)	Konstruktion (ZUB)	U-Wert in ZUB (W/m ² K)	Aufbauschichte nach ZUB	Schichtdi- cke in ZUB (m)
Außenwand - AW	Beton-Fertig- teile	1,1	2130	*keine Typkon- struktion aus ZUB entspricht den IWU Kon- struktion für Be- ton-Fertigteile	-	-	-
Dach - DA	Betondecke mit 5 cm Däm- mung	0,6	540,0	Flachdach, mas- siv, Beton, Däm- mung	k. A.	- Beton - Schaumglas - Abdichtung - Kies	- 0,15 - 0,06 - k. A. - k. A.
Fenster - FE	Kunststoff- fenster mit Zweischeiben- Isoliervergla- sung	3,0	545,0	Keine Fenster- konstruktionen sind in der ZUB enthalten	-	-	-
Decke/ Fuß- boden - DE	(Stahl-)Beton- decke mit schwimmen- dem Estrich auf 2 cm Däm- mung	0,77	540,0	Fußboden, mas- siv, Beton	k. A.	- Schwimmender Estrich - Dämmung - Betondecke	- 0,04 - 0,02 - 0,14

Tabelle 24:
Mapping von Konstruktionen für Gebäudetyp NBL_HH_F - Bestand (Baualterklasse: 1969-1978).

Bauteil/ Konstruktion	Konstruktion (IWU)	U-Wert in IWU (W/m ² K)	Menge (m ²)	Konstruktion (ZUB)	U-Wert in ZUB (W/m ² K)	Aufbauschichte nach ZUB	Schicht- dicke in ZUB (m)
Außenwand - AW	Beton-Fertigteile Sandwich-Element (Drei-Schicht-Platte)	1,1	2992,09	*keine Typkonstruktion aus ZUB entspricht den IWU Konstruktion für Beton-Fertigteile	-	-	-
Dach - DA	Betondecke mit 5 cm Dämmung	0,6	598,34	Flachdach, massiv, Beton, Dämmung	k. A.	- Beton - Schaumglas - Abdichtung - Kies	- 0,15 - 0,06 - k. A. - k. A.
Fenster - FE	Verbundfenster: 2 Scheiben im Holzrahmen	2,7	756,0	Keine Fensterkonstruktionen sind in der ZUB enthalten	-	-	-
Decke/ Fußboden - DE	(Stahl-)Betondecke mit schwimmendem Estrich auf 2 cm Dämmung	1,0	598,34	Fußboden, massiv, Beton	0,77	- Schwimmender Estrich - Dämmung - Betondecke	- 0,04 - 0,02 - 0,14

Tabelle 25:
Modellierungsangaben für die Ökobilanzierung des Gebäudetyps EFH_F in Bestand, Niveau 1-Sanierung sowie Niveau 2-Sanierung.

Gebäude- typ							
EFH_F							
Konstruktionen - Angaben							
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m ²]		
AW	Mauerwerk aus Hohlblock- steinen, Leicht-Hochloch- ziegeln oder Gitterziegeln	330	Bestand	1,0	177,60		
	Konstruktionsaufbau						
	Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer	
	Kalkgipsputz	0,01	900				
	Hochlochziegel	0,175- 0,24	k. A.				
	Luftschicht, ruhend	0,06					
Vormauerziegel	0,115	1800					
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m ²]		
DA	Flachdach mit 6 cm Däm- mung	360	Bestand	0,5	183,10		
	Konstruktionsaufbau						
	Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer	
	Beton	0,15	2400				
	Dämmung	0,06	145				
Abdichtung	-	-					
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m ²]		
FE	Holzfenster mit Zweischi- ben-Isolierverglasung	330	Bestand	2,8	34,21		
	Konstruktionsaufbau						
	Material	Breite [m] x Länge [m]	Fläche [m ²]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer	
	Holz-Blendrahmen	1,5 x 2,2		2,2	m/m ²		
	Holz-Flügelrahmen	1,5 x 2,2		2,2	m/m ²		
Isolierglas 2-Scheiben		3,3	1	m ²			
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m ²]		
DE	(Stahl-)Betondecke mit schwimmendem Estrich auf 2 cm Dämmung	350	Bestand	1,0	152,32		
	Konstruktionsaufbau						
	Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer	
Schwimmender Estrich	0,04	1500					
Dämmung	0,02	85					

	Betondecke	0,14	2300			
Gebäude- typ	EFH_F Niveau 1 Sanierung					
Konstruktionen - Angaben						
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m²]	
AW	Dämmung 12 cm (WLS 035) + Verputz (Wärmedämmverbundsystem)	330	Niveau 1 Sanierung - konventionell	0,22	177,60	
Konstruktionsaufbau						
	Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer
	Befestigung			5,0	Stk/m ²	50
	Dämmung	0,12	145	0,12	m ³ /m ²	40
	Armierung	0,01	1600	16,0	kg/m ²	45
	Außenputz	0,015	1300	19,5	kg/m ²	40
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m²]	
DA	Dämmung 12 cm (WLS 035) auf der Decke + Dachabdichtung	360	Niveau 1 Sanierung - konventionell	0,18	183,10	
Konstruktionsaufbau						
	Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer
	Dämmung	0,12	145	0,12	m ³ /m ²	40
	Abdichtung	0,00125	1,2	1,0	m ² /m ²	40
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m²]	
FE	Fenster mit 2-Scheiben-Wärmeschutz-Verglasung	330	Niveau 1 Sanierung - konventionell	1,3	34,21	
Konstruktionsaufbau						
	Material	Breite [m] x Länge [m]	Fläche [m²]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer
	Holz-Blendrahmen	1,5 x 2,2		2,2	m/m ²	40
	Holz-Flügelrahmen	1,5 x 2,2		2,2	m/m ²	40
	Glas - Bundesverband Flachglas e.V. - Mehrscheibenisoliertes Glas 2-fach Aufbau		1		m ² /m ²	30
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m²]	
DE	Dämmung 8 cm	320	Niveau 1 Sanierung - konventionell	0,3	152,32	
Konstruktionsaufbau						

	Material	Schichtdicke [m]	Dichte [kg/m³]	Modellierungsmenge	Modellierungseinheit	Lebensdauer
	Schwimmender Estrich	0,04	2400	0,04	m³/m²	50
	Dämmung	0,08	25,9	0,08	m³/m²	40
Gebäudetyp	EFH_F Niveau 2 Sanierung					
Konstruktionen - Angaben						
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein-griffs-stufe	U-Wert	Ausge-führte Menge [m²]	
AW	Dämmung 24 cm (WLS 035) + Verputz (Wärmedämmverbundsystem)	330	Niveau 2 Sanierung - zukunftsweisend	0,13	177,60	
Konstruktionsaufbau						
Material	Schichtdicke [m]	Dichte [kg/m³]	Modellierungsmenge	Modellierungseinheit	Lebensdauer	
Befestigung			5,0	Stk/m²	50	
Dämmung	0,24	145	0,24	m³/m²	40	
Armierung	0,01	1600	16,0	kg/m²	45	
Außenputz	0,015	1300	19,5	kg/m²	40	
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein-griffs-stufe	U-Wert	Ausge-führte Menge [m²]	
DA	Dämmung 30 cm (WLS 035) auf der Decke + Dachabdichtung (IWU)	360	Niveau 2 Sanierung - zukunftsweisend	0,09	183,10	
Konstruktionsaufbau						
Material	Schichtdicke [m]	Dichte [kg/m³]	Modellierungsmenge	Modellierungseinheit	Lebensdauer	
Dämmung	0,3	145	0,3	m³/m²	40	
Abdichtung	0,00125	1,2	1,0	m²/m²	40	
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein-griffs-stufe	U-Wert	Ausge-führte Menge [m²]	
FE	Fenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutz-Verglasung und gedämmtem Rahmen (Passivhaus-Fenster)	330	Niveau 2 Sanierung - zukunftsweisend	0,8	34,20	
Konstruktionsaufbau						
Material	Breite [m] x Länge [m]	Fläche [m²]	Modellierungsmenge	Modellierungseinheit	Lebensdauer	
Aluminium-Rahmenprofil, thermisch getrennt, pulverbeschichtet	1,5 x 2,2		2,2	m/m²	50	
Aluminium-Flügelrahmenprofil, thermisch getrennt, pulverbeschichtet	1,5 x 2,2		2,2	m/m²	50	
Glas - Bundesverband Flachglas e.V. - Mehrscheibenisolierverglasung 3-fach Aufbau		1,0	2,2	m/m²	30	

Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein-griffs-stufe	U-Wert	Ausge-führte Menge [m ²]	
DE	Dämmung 12 cm (WLS 035)	320	Niveau 2 Sanie-rung - zu-kunfts-weisend	0,23	152,32	
	Konstruktionsaufbau					
	Material	Schicht-dicke [m]	Dichte [kg/m³]	Modellie-rungs-menge	Modellie-rungsein-heit	Lebens-dauer
	Schwimmender Estrich	0,04	2400	80	kg/m ²	50
Dämmung	0,12	25,9	0,12	m ³ /m ²	40	

Tabelle 26:
Modellierungsangaben für die Ökobilanzierung des Gebäudetyps RH_C in Bestand, Niveau 1–Sanierung sowie Niveau 2-Sanierung.

Gebäude- typ	RH_C					
Konstruktionen - Angaben						
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m ²]	
AW	Vollziegel-Mauerwerk	330	Bestand	1,7	64,1	
	Konstruktionsaufbau					
	Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer
	Putz	0,01	900			
	Vollziegel	0,24-0,30	575			
Putz	0,01	1800				
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m ²]	
DA	Holzbalkendecke	360	Bestand	0,8	50,40	
	Konstruktionsaufbau					
	Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer
	Putz	0,015	900			
	Holzwohle-Leichtbauplatte	0,025	360			
	Sparschalung	0,024	500,36			
	Sparren	0,04	500,36			
	Luftschicht, stark belüftet	-	-			
Ziegel auf Lattung	k. A.	1800				
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m ²]	
FE	Holzfenster mit Zweischei- ben-Isolierverglasung	330	Bestand	2,8	21,48	
	Konstruktionsaufbau					
	Material	Breite [m] x Länge [m]	Fläche [m ²]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer
	Holz-Blendrahmen	1,5 x 2,2				
	Holz-Flügelrahmen	1,5 x 2,2				
Isolierglas 2-Scheiben		3,3				
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m ²]	
DE	Stahlträger-/Ortbeton-De- cke mit Holzfußboden	320	Bestand	0,77	50,40	
	Konstruktionsaufbau					
	Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer
	Verbundestrich	0,06	2400			
Beton	0,16	2360				
Holzfußboden	k. A.	665,34				
Gebäude- typ	RH_C Niveau 1 Sanierung					
Konstruktionen - Angaben						

Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein-griffs-stufe	U-Wert	Ausge-führte Menge [m ²]	
AW	Dämmung 12 cm (WLS 035) + Verputz (Wärmedämmverbundsystem)	330	Niveau 1 Sanierung - konventionell	0,25	64,1	
	Konstruktionsaufbau					
	Material	Schicht-dicke [m]	Dichte [kg/m³]	Modellie-rungs-menge	Modellie-rungsein-heit	Lebens-dauer
	Befestigung			5,0	Stk/m ²	50
	Dämmung	0,12	22,7	0,12	m ³ /m ²	40
	Armierung	0,01	1600	16,0	kg/m ²	45
Außenputz	0,015	1300	19,5	kg/m ²	40	
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein-griffs-stufe	U-Wert	Ausge-führte Menge [m ²]	
DA/DE	Dämmung 12 cm (WLS 035) auf der Decke	350	Niveau 1 Sanierung - konventionell	0,21	50,40	
	Konstruktionsaufbau					
	Material	Schicht-dicke [m]	Dichte [kg/m³]	Modellie-rungs-menge	Modellie-rungsein-heit	Lebens-dauer
	Dämmung	0,12	22,7	0,12	m ³ /m ²	40
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein-griffs-stufe	U-Wert	Ausge-führte Menge [m ²]	
FE	Fenster mit 2-Scheiben-Wärmeschutz-Verglasung	330	Niveau 1 Sanierung - konventionell	1,3	21,48	
	Konstruktionsaufbau					
	Material	Breite [m] x Länge [m]	Fläche [m²]	Modellie-rungs-menge	Modellie-rungsein-heit	Lebens-dauer
	Holz-Blendrahmen	1,5 x 2,2		2,2	m/m ²	40
	Holz-Flügelrahmen	1,5 x 2,2		2,2	m/m ²	40
Glas - Bundesverband Flachglas e.V. - Mehrscheibenisoliertglas 2-fach Aufbau		1		m ² /m ²	30	
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein-griffs-stufe	U-Wert	Ausge-führte Menge [m ²]	
DE	Dämmung 8 cm	320	Niveau 1 Sanierung - konventionell	0,3	50,40	
	Konstruktionsaufbau					
	Material	Schicht-dicke [m]	Dichte [kg/m³]	Modellie-rungs-menge	Modellie-rungsein-heit	Lebens-dauer
	Schwimmender Estrich	0,04	2400	0,04	m ³ /m ²	50
	Dämmung	0,08	25,9	0,08	m ³ /m ²	40
Holzfußboden	k. A.	665,34	1,0	m ² /m ²	50	

Gebäude- typ	RH_C Niveau 2 Sanierung						
Konstruktionen - Angaben							
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m ²]		
AW	Dämmung 24 cm (WLS 035) + Verputz (Wärmedämmverbundsystem)	330	Niveau 2 Sanierung - zukunftsweisend	0,13	64,1		
	Konstruktionsaufbau						
	Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer	
	Befestigung			5,0	Stk/m ²	50	
	Dämmung	0,24	22,7	0,24	m ³ /m ²	40	
	Armierung	0,01	1600	16,0	kg/m ²	45	
Außenputz	0,015	1300	19,5	kg/m ²	40		
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m ²]		
DA/DE	Dämmung 30 cm (WLS 035) auf der Decke	350	Niveau 2 Sanierung - zukunftsweisend	0,10	50,40		
	Konstruktionsaufbau						
	Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer	
Dämmung	0,3	22,7	0,3	m ³ /m ²	40		
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m ²]		
FE	Fenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutz-Verglasung und gedämmtem Rahmen (Passivhaus-Fenster)	330	Niveau 2 Sanierung - zukunftsweisend	0,8	21,48		
	Konstruktionsaufbau						
	Material	Breite [m] x Länge [m]	Fläche [m ²]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer	
	Aluminium-Rahmenprofil, thermisch getrennt, pulverbeschichtet	1,5 x 2,2		2,2	m/m ²	50	
	Aluminium-Flügelrahmenprofil, thermisch getrennt, pulverbeschichtet	1,5 x 2,2		2,2	m/m ²	50	
Glas - Bundesverband Flachglas e.V. - Mehrscheibenisolierverglasung 3-fach Aufbau		1,0	2,2	m/m ²	30		
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m ²]		
DE	Dämmung 12 cm (WLS 035)	320	Niveau 2 Sanierung - zukunftsweisend	0,23	50,40		

Konstruktionsaufbau						
Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer	
Schwimmender Estrich	0,04	2400	80	kg/m ²	50	
Dämmung	0,12	25,9	0,12	m ³ /m ²	40	
Holzfußboden	k. A.	665,34	1,0	m ² /m ²	50	

Tabelle 27:
Modellierungsangaben für die Ökobilanzierung des Gebäudetyps MFH_G in Bestand, Niveau 1–Sanierung sowie Niveau 2-Sanierung.

Gebäude- typ	MFH_G						
Konstruktionen - Angaben							
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m ²]		
AW	Mauerwerk aus Leicht- Hochlochziegeln / Leicht- mörtel	330	Bestand	0,8	447,10		
	Konstruktionsaufbau						
	Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer	
	Putz	0,01	900				
	porosierte Hochlochziegel	0,24- 0,365					
Putz	0,015	1400					
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m ²]		
DA	Betondecke mit 6 cm Däm- mung	360	Bestand	0,43	248,3		
	Konstruktionsaufbau						
	Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer	
	Beton	0,15	2300				
	Schaumglas	0,06	165				
Abdichtung	0,125	-					
Zementestrich	0,04	1500					
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m ²]		
FE	Holzfenster mit Zweischi- ben-Isolierverglasung	330	Bestand	3,0	99,38		
	Konstruktionsaufbau						
	Material	Breite [m] x Länge [m]	Fläche [m ²]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer	
	Blendrahmen PVC-U	1,5 x 2,2					
	Flügelrahmen PVC-U	1,5 x 2,2					
Isolierglas 2-Scheiben		3,3					
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m ²]		
DE	Betondecke mit 4 cm Däm- mung	320	Bestand	0,65	248,3		
	Konstruktionsaufbau						
	Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer	
	Schwimmender Estrich	0,04	1500				
	Dämmung	0,04	85				
Betondecke	0,15	2300					
Gebäude- typ	MFH_G Niveau 1 Sanierung						

Konstruktionen - Angaben						
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein-griffs-stufe	U-Wert	Ausge-führte Menge [m ²]	
AW	Dämmung 12 cm (WLS 035) + Verputz (Wärmedämmverbundsystem)	330	Niveau 1 Sanierung - konventionell	0,21	447,10	
	Konstruktionsaufbau					
	Material	Schichtdicke [m]	Dichte [kg/m³]	Modellierungs-menge	Modellierungseinheit	Lebens-dauer
	Befestigung			6,0	Stk/m ²	50
	Dämmung	0,12	145	0,12	m ³ /m ²	40
	Armierung	0,01	1600	16,0	kg/m ²	45
Außenputz	0,015	1300	19,5	kg/m ²	40	
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein-griffs-stufe	U-Wert	Ausge-führte Menge [m ²]	
DA/DE	Dämmung 12 cm (WLS 035) auf der Decke	360	Niveau 1 Sanierung - konventionell	0,17	248,3	
	Konstruktionsaufbau					
	Material	Schichtdicke [m]	Dichte [kg/m³]	Modellierungs-menge	Modellierungseinheit	Lebens-dauer
	Dämmung	0,12	145	0,12	m ³ /m ²	40
	Abdichtung	0,00125		1,0	m ² /m ²	40
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein-griffs-stufe	U-Wert	Ausge-führte Menge [m ²]	
FE	Fenster mit 2-Scheiben-Wärmeschutz-Verglasung	330	Niveau 1 Sanierung - konventionell	1,3	99,38	
	Konstruktionsaufbau					
	Material	Breite [m] x Länge [m]	Fläche [m²]	Modellierungs-menge	Modellierungseinheit	Lebens-dauer
	Holz-Blendrahmen	1,5 x 2,2		2,2	m/m ²	40
	Holz-Flügelrahmen	1,5 x 2,2		2,2	m/m ²	40
Glas - Bundesverband Flachglas e.V. - Mehrscheibenisoliertglas 2-fach Aufbau		1		m ² /m ²	30	
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein-griffs-stufe	U-Wert	Ausge-führte Menge [m ²]	
DE	Dämmung 8 cm	320	Niveau 1 Sanierung - konventionell	0,26	248,3	
	Konstruktionsaufbau					
	Material	Schichtdicke [m]	Dichte [kg/m³]	Modellierungs-menge	Modellierungseinheit	Lebens-dauer
Schwimmender Estrich	0,04	2400	80,0	m ³ /m ²	50	

	Dämmung	0,08	25,9	0,08	m³/m²	40
Gebäude- typ	MFH_G Niveau 2 Sanierung					
Konstruktionen - Angaben						
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m²]	
AW	Dämmung 24 cm (WLS 035) + Verputz (Wärmedämmverbundsystem)	330	Niveau 2 Sanierung - zukunftsweisend	0,12	447,10	
Konstruktionsaufbau						
	Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer
	Befestigung			6,0	Stk/m²	50
	Dämmung	0,24	145	0,24	m³/m²	40
	Armierung	0,01	1600	16,0	kg/m²	45
	Außenputz	0,015	1300	19,5	kg/m²	40
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m²]	
DA/DE	Dämmung 30 cm (WLS 035) auf der Decke	360	Niveau 2 Sanierung - zukunftsweisend	0,09	248,3	
Konstruktionsaufbau						
	Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer
	Dämmung	0,3	145	0,3	m³/m²	40
	Abdichtung	0,00125		1,0	m²/m²	40
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m²]	
FE	Fenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutz-Verglasung und gedämmtem Rahmen (Passivhaus-Fenster)	330	Niveau 2 Sanierung - zukunftsweisend	0,8	99,38	
Konstruktionsaufbau						
	Material	Breite [m] x Länge [m]	Fläche [m²]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer
	Aluminium-Rahmenprofil, thermisch getrennt, pulverbeschichtet	1,5 x 2,2		2,2	m/m²	50
	Aluminium-Flügelrahmenprofil, thermisch getrennt, pulverbeschichtet	1,5 x 2,2		2,2	m/m²	50
	Glas - Bundesverband Flachglas e.V. - Mehrscheibenisolierverglasung 3-fach Aufbau		1,0	2,2	m/m²	30
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m²]	
DE	Dämmung 12 cm (WLS 035)	320	Niveau 2 Sanierung	0,20	248,3	

			zung - zu- kunfts- weisend			
Konstruktionsaufbau						
	Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer
	Schwimmender Estrich	0,04	2400	80	kg/m²	50
	Dämmung	0,12	25,9	0,12	m³/m²	40

Tabelle 28:
Modellierungsangaben für die Ökobilanzierung des Gebäudetyps GMH_F in Bestand, Niveau 1–Sanierung sowie Niveau 2-Sanierung.

Gebäude- typ	GMH_F					
Konstruktionen - Angaben						
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m ²]	
AW	Beton-Fertigteile	330	Bestand	1,1	2130,0	
	Konstruktionsaufbau					
	Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer
	Kalkgipsputz	0,01	900			
	Stahlbeton Schicht 1	0,175- 0,24	291,3			
	Wärmedämmung	0,06	22,7			
	Stahlbeton Schicht 2	0,115	291,3			
Kalkgipsputz	0,01					
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m ²]	
DA	Betondecke mit 5 cm Däm- mung	360	Bestand	0,51	540,0	
	Konstruktionsaufbau					
	Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer
	Beton	0,15	2300			
	Schaumglas	0,06	165			
	Abdichtung	0,00125	-			
	Zementestrich	0,04	2400			
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m ²]	
FE	Holzfenster mit Zweischi- ben-Isolierverglasung	330	Bestand	3,0	545,0	
	Konstruktionsaufbau					
	Material	Breite [m] x Länge [m]	Fläche [m ²]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer
	Blendrahmen PVC-U	1,5 x 2,2				
	Flügelrahmen PVC-U	1,5 x 2,2				
	Isolierglas 2-Scheiben		3,3			
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m ²]	
DE	(Stahl-)Betondecke mit schwimmendem Estrich auf 2 cm Dämmung (IWU)	320	Bestand	0,77	540,0	
	Konstruktionsaufbau					
	Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer
	Schwimmender Estrich	0,04	2400			
	Dämmung	0,02	25,9			
Betondecke	0,14	2300				

Gebäude- typ	GMH_F Niveau 1 Sanierung						
Konstruktionen - Angaben							
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m ²]		
AW	Dämmung 12 cm (WLS 035) + Verputz (Wärme- dämmverbundsystem)	330	Niveau 1 Sanie- rung - konventi- onell	0,23	2130,0		
	Konstruktionsaufbau						
	Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer	
	Befestigung			7,0	Stk/m ²	50	
	Dämmung	0,12	145	0,12	m ³ /m ²	40	
	Armierung	0,01	1600	16,0	kg/m ²	45	
Außenputz	0,015	1300	19,5	kg/m ²	40		
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m ²]		
DA/DE	Dämmung 12 cm (WLS 035) auf der Decke	360	Niveau 1 Sanie- rung - konventi- onell	0,2	540,0		
	Konstruktionsaufbau						
	Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer	
	Dämmung	0,12	22,7	0,12	m ³ /m ²	40	
Abdichtung	0,00125		1,0	m ² /m ²	40		
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m ²]		
FE	Fenster mit 2-Scheiben- Wärmeschutz-Verglasung	330	Niveau 1 Sanie- rung - konventi- onell	1,3	545,0		
	Konstruktionsaufbau						
	Material	Breite [m] x Länge [m]	Fläche [m ²]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer	
	Holz-Blendrahmen	1,5 x 2,2		2,2	m/m ²	40	
	Holz-Flügelrahmen	1,5 x 2,2		2,2	m/m ²	40	
Glas - Bundesverband Flachglas e.V. - Mehrschei- benisolierglas 2-fach Auf- bau		1		m ² /m ²	30		
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m ²]		
DE	Dämmung 8 cm	320	Niveau 1 Sanie- rung - konventi- onell	0,30	540,0		
	Konstruktionsaufbau						

	Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer
	Schwimmender Estrich	0,04	2400	80,0	m³/m²	50
	Dämmung	0,08	25,9	0,08	m³/m²	40
Gebäude- typ	GMH_F Niveau 2 Sanierung					
Konstruktionen - Angaben						
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m²]	
AW	Dämmung 24 cm (WLS 035) + Verputz (Wärmedämmverbundsystem)	330	Niveau 2 Sanierung - zukunftsweisend	0,13	2130,0	
Konstruktionsaufbau						
Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer	
Befestigung			7,0	Stk/m²	50	
Dämmung	0,24	145	0,24	m³/m²	40	
Armierung	0,01	1600	16,0	kg/m²	45	
Außenputz	0,015	1300	19,5	kg/m²	40	
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m²]	
DA/DE	Dämmung 30 cm (WLS 035) auf der Decke	360	Niveau 2 Sanierung - zukunftsweisend	0,09	540,0	
Konstruktionsaufbau						
Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer	
Dämmung	0,3	22,7	0,3	m³/m²	40	
Abdichtung	0,00125		1,0	m²/m²	40	
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m²]	
FE	Fenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutz-Verglasung und gedämmtem Rahmen (Passivhaus-Fenster)	330	Niveau 2 Sanierung - zukunftsweisend	0,8	545,0	
Konstruktionsaufbau						
Material	Breite [m] x Länge [m]	Fläche [m²]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer	
Aluminium-Rahmenprofil, thermisch getrennt, pulverbeschichtet	1,5 x 2,2		2,2	m/m²	50	
Aluminium-Flügelrahmenprofil, thermisch getrennt, pulverbeschichtet	1,5 x 2,2		2,2	m/m²	50	
Glas - Bundesverband Flachglas e.V. - Mehrscheibenisoliervglas 3-fach Aufbau		1,0	2,2	m/m²	30	

Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein-griffs-stufe	U-Wert	Ausge-führte Menge [m ²]	
DE	Dämmung 12 cm (WLS 035)	320	Niveau 2 Sanie-rung - zu-kunfts-weisend	0,21	540,0	
	Konstruktionsaufbau					
	Material	Schicht-dicke [m]	Dichte [kg/m³]	Modellie-rungs-menge	Modellie-rungsein-heit	Lebens-dauer
	Schwimmender Estrich	0,04	2400	80	kg/m ²	50
Dämmung	0,12	25,9	0,12	m ³ /m ²	40	

Tabelle 29:
Modellierungsangaben für die Ökobilanzierung des Gebäudetyps
NBL_HH_F in Bestand, Niveau 1–Sanierung sowie Niveau 2-Sanierung.

Gebäude- typ	NBL_HH_F					
Konstruktionen - Angaben						
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m ²]	
AW	Beton-Fertigteile	330	Bestand	1,1	2992,09	
	Konstruktionsaufbau					
	Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer
	Kalkgipsputz	0,01	900			
	Stahlbeton Schicht 1	0,175- 0,24	291,3			
	Wärmedämmung	0,06	22,7			
	Stahlbeton Schicht 2	0,115	291,3			
Kalkgipsputz	0,01					
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m ²]	
DA	Betondecke mit 5 cm Däm- mung	360	Bestand	0,6	598,34	
	Konstruktionsaufbau					
	Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer
	Beton	0,15	2300			
	Schaumglas	0,05	165			
Zementestrich	0,04	2400				
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m ²]	
FE	Verbundfenster: 2 Schei- ben im Holzrahmen	330	Bestand	2,7	756,0	
	Konstruktionsaufbau					
	Material	Breite [m] x Länge [m]	Fläche [m ²]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer
	Holz-Blendrahmen	1,5 x 2,2				
	Holz-Flügelrahmen	1,5 x 2,2				
	Glas - Bundesverband Flachglas e.V. - Mehrschei- benisoliertglas 2-fach Auf- bau - m2		3,3			
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m ²]	
DE	(Stahl-)Betondecke mit schwimmendem Estrich auf 2 cm Dämmung (IWU)	320	Bestand	1,0	598,34	
	Konstruktionsaufbau					
	Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer
	Schwimmender Estrich	0,04	2400			
Dämmung	0,02	25,9				

	Betondecke	0,14	2300			
Gebäude- typ	NBL_HH_F Niveau 1 Sanierung					
Konstruktionen - Angaben						
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m²]	
AW	Dämmung 12 cm (WLS 035) + Verputz (Wärmedämmverbundsystem)	330	Niveau 1 Sanierung - konventionell	0,23	2992,09	
Konstruktionsaufbau						
	Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer
	Befestigung			7,0	Stk/m ²	50
	Dämmung	0,12	145	0,12	m ³ /m ²	40
	Armierung	0,01	1600	16,0	kg/m ²	45
	Außenputz	0,015	1300	19,5	kg/m ²	40
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m²]	
DA/DE	Dämmung 12 cm (WLS 035) auf der Decke	360	Niveau 1 Sanierung - konventionell	0,2	598,34	
Konstruktionsaufbau						
	Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer
	Dämmung	0,12	22,7	0,12	m ³ /m ²	40
	Abdichtung	0,00125		1,0	m ² /m ²	40
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m²]	
FE	Fenster mit 2-Scheiben-Wärmeschutz-Verglasung	330	Niveau 1 Sanierung - konventionell	1,3	756,0	
Konstruktionsaufbau						
	Material	Breite [m] x Länge [m]	Fläche [m²]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer
	Holz-Blendrahmen	1,5 x 2,2		2,2	m/m ²	40
	Holz-Flügelrahmen	1,5 x 2,2		2,2	m/m ²	40
	Glas - Bundesverband Flachglas e.V. - Mehrscheibenisolierverglasung 2-fach Aufbau		1		m ² /m ²	30
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m²]	
DE	Dämmung 8 cm	320	Niveau 1 Sanierung - konventionell	0,28	598,34	
Konstruktionsaufbau						

	Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer
	Schwimmender Estrich	0,04	2400	80,0	m ³ /m ²	50
	Dämmung	0,08	25,9	0,08	m ³ /m ²	40
Gebäude- typ	NBL_HH_F Niveau 2 Sanierung					
Konstruktionen - Angaben						
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m ²]	
AW	Dämmung 24 cm (WLS 035) + Verputz (Wärmedämmverbundsystem)	330	Niveau 2 Sanierung - zukunftsweisend	0,13	2992,09	
Konstruktionsaufbau						
Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer	
Befestigung			7,0	Stk/m ²	50	
Dämmung	0,24	145	0,24	m ³ /m ²	40	
Armierung	0,01	1600	16,0	kg/m ²	45	
Außenputz	0,015	1300	19,5	kg/m ²	40	
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m ²]	
DA/DE	Dämmung 30 cm (WLS 035) auf der Decke	360	Niveau 2 Sanierung - zukunftsweisend	0,1	598,34	
Konstruktionsaufbau						
Material	Schicht- dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer	
Dämmung	0,3	22,7	0,3	m ³ /m ²	40	
Abdichtung	0,00125		1,0	m ² /m ²	40	
Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein- griffs- stufe	U-Wert	Ausge- führte Menge [m ²]	
FE	Fenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutz-Verglasung und gedämmtem Rahmen (Passivhaus-Fenster)	330	Niveau 2 Sanierung - zukunftsweisend	0,8	756,0	
Konstruktionsaufbau						
Material	Breite [m] x Länge [m]	Fläche [m ²]	Modellie- rungs- menge	Modellie- rungsein- heit	Lebens- dauer	
Aluminium-Rahmenprofil, thermisch getrennt, pulverbeschichtet	1,5 x 2,2		2,2	m/m ²	50	
Aluminium-Flügelrahmenprofil, thermisch getrennt, pulverbeschichtet	1,5 x 2,2		2,2	m/m ²	50	
Glas - Bundesverband Flachglas e.V. - Mehrscheibenisoliervglas 3-fach Aufbau		1,0	2,2	m/m ²	30	

Konstruktion	Beschreibung	KG	Ein-griffs-stufe	U-Wert	Ausge-führte Menge [m ²]	
DE	Dämmung 12 cm (WLS 035)	320	Niveau 2 Sanie-rung - zu-kunfts-weisend	0,23	598,34	
	Konstruktionsaufbau					
	Material	Schicht-dicke [m]	Dichte [kg/m³]	Modellie-rungs-menge	Modellie-rungsein-heit	Lebens-dauer
	Schwimmender Estrich	0,04	2400	80	kg/m ²	50
Dämmung	0,12	25,9	0,12	m ³ /m ²	40	

A.11 Gebäudemodelle AP3.2: Verwendete Datensätze ÖKOBAUDAT

Prozess / Energieträger / Rohstoff	Gewählter Datensatz	Repräsentativität		
		Geogra- fisch	Zeitlich	Technolo- gisch
Befestigung	Befestigungssysteme für WDVS - Stk	DE	2014-2019	Technologie- Mix
Dämmung (Wände und Dächer)	EPS-Hartschaum (Styropor®) für Wände und Dächer W/D-035 - m ³	DE	2015-2020	Technologie- Mix
Armierung	Putzmörtel-Armierungsputz - kg	DE	2019-2024	Technologie- Mix
Außenputz	Putzmörtel-Leichtputz - kg (16 kg/m ²)	DE	2019-2024	Technologie- Mix
Abdichtung	PE-Noppenfolie zur Abdichtung (Dicke 0,00125 m) – m ²	DE	2018-2022	Technologie- Mix
Blendrahmen (Holz)	Holz-Blendrahmen - m	DE	2018-2022	Technologie- Mix
Flügelrahmen (Holz)	Holz-Flügelrahmen – m	DE	2018-2022	Technologie- Mix
Fensterglas (zwei- scheiben)	Glas - Bundesverband Flachglas e.V. - Mehrscheibenisolierverglas 2-fach Aufbau - m ²	RER	2017-2022	Technologie- Mix
Schwimmender Estrich	Estrichmörtel-Zementestrich - kg	DE	2014-2019	Technologie- Mix
Dämmung (De- cken und Böden)	EPS-Hartschaum (Styropor®) für De- cken/Böden und als Perimeterdämmung B/P-035 - m ³	DE	2015-2020	Technologie- Mix
Blendrahmen (Metall)	Aluminium-Rahmenprofil, thermisch ge- trennt, pulverbeschichtet - m	DE	2018-2022	Technologie- Mix
Flügelrahmen (Metall)	Aluminium-Flügelrahmenprofil, thermisch getrennt, pulverbeschichtet - m	DE	2018-2022	Technologie- Mix
Fensterglas (drei- scheiben)	Glas - Bundesverband Flachglas e.V. - Mehrscheibenisolierverglas 3-fach Aufbau - m ²	RER	2017-2022	Technologie- Mix
Kalkgipsputz	Kalk-Innenputz - kg	DE	2018-2022	Technologie- Mix
Hochlochziegel	DIN V 4108 4.1.3 Hochlochziegel mit Nor- malmörtel – m ³	DE	2021	-
Vormauerziegel	Vormauerziegel - m ³	DE	2018-2022	Technologie- Mix
Beton/ Betonde- cke	DIN EN 12524 Beton armiert (mit 1% Stahl) 2300 - m ³	DE	2021	-
Kies	Kies 2/32 (de) - kg	DE	2018-2022	Technologie- Mix
Holzfußboden	Massivholzparkett (Durchschnitt DE) - m ²	DE	2020-2025	Technologie- Mix
Schaumglas	FOAMGLAS® F - kg	RER	2015-2020	Technologie- Mix
Dämmung	Mineralwolle (Boden-Dämmung) – m ³	DE	2018-2022	Technologie- Mix