

Bebauungsplan 02.14.00, Hansestadt Lübeck

Geniner Ufer / Welsbachstraße

Energiekonzept



Objekt: Bebauungsplan 02.14.00 der Hansestadt Lübeck, Geniner Ufer / Welsbachstraße

Entwickler: Entwicklungsgesellschaft Geniner Ufer GmbH & Co. KG
Wisbystr.2, 23558 Lübeck

Planungsstand: Städtebaulicher Entwurf vom 06.05.2022

Erstellt durch:  MNP Ingenieure GmbH,
Maria-Goeppert-Str. 17, 23562 Lübeck

Bearbeiter: -

Version:	15.06.2023	Energiekonzept

Inhaltsverzeichnis:

1	Städtebaulicher Entwurf	4
2	Aufgabenstellung: Energiekonzept zum Bebauungsplan für ein Wohngebiet	5
3	Vorgehensweise.....	6
4	Überblick gesetzliche Anforderungen gemäß Gebäudeenergiegesetz GEG.....	6
	4.1 Jahresprimärenergiebedarf	6
	4.2 Thermische Gebäudehülle.....	7
	4.3 Nutzung erneuerbarer Energien	7
5	Anforderungen aus KfN-Förderung	9
6	Energetische Vorgaben für das Energiekonzept für ein Wohngebiet	11
	6.1 Genereller energetischer Standard von Wohngebäuden	11
	6.2 Wärmevertei- und -übergabesysteme	11
	6.3 Energieträger	12
	6.4 Lüftung.....	12
	6.5 Darstellung der Energiebedarfe	12
	6.6 Solar-Anlagen	13
	6.7 Flexibilität der vorgesehenen Systeme.....	13
7	Ermittlung des voraussichtlichen Nutzenergiebedarfs	14
	7.1 Flächenermittlung.....	14
	7.2 Nutzenergiebedarf Gebäude.....	14
	7.3 Elektro-Mobilität.....	15
8	Nutzung Erneuerbare Energien	19
	8.1 Grundsätzliche Überlegungen zu Energieträgern	19
	8.2 Dezentrale und zentrale Ansätze	21
	8.3 Potenzialanalyse Erneuerbare Energien	22
	8.4 Potenzial Solarthermie.....	25
	8.5 Potenzial Photovoltaik Stromerträge.....	25
9	Konzeptentwicklung Wohngebäude.....	28
	9.1 Gebäudehülle.....	28
	9.2 Wärmeversorgung	29
	9.3 Technische Realisierung.....	29
10	Endenergie- und CO₂-Bilanz Wohngebäude	31
	10.1 Endenergiebedarfsabschätzung.....	31
	10.2 CO ₂ -Bilanz.....	32

11	Investitionskosten.....	35
11.1	Gebäudehülle	35
11.2	Haustechnik.....	36
12	Lebenszykluskostenbetrachtung	38
12.1	Allgemeines.....	38
12.2	Ansätze.....	38
12.3	Berechnung	40
13	Quartiersbilanzen Wohngebäude.....	42
14	KfN-Förderung - Klimafreundlicher Neubau	45
14.1	Förderstufen.....	45
14.2	Anforderungen	46
14.3	Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG).....	46
15	Zusammenfassung und Empfehlung.....	48

1 Städtebaulicher Entwurf

Der Geltungsbereich des Bebauungsplans „02.14.00 – Geniner Ufer / Welsbachstraße“ liegt im Stadtteil Lübeck-St. Jürgen. Das ca. 12 ha große Plangebiet wird durch

- die Kanal-Trave im Norden,
- die Possehlstraße (B 75) im Osten,
- durch die Welsbachstraße im Süden sowie
- die Straße Bei der Gasanstalt im Westen

begrenzt.

Die Abbildung 1 gibt den Städtebaulichen Entwurf, Stand 06.05.2022, wieder:



Abbildung 1: Städtebaulicher Entwurf Baugebiet Lübeck Geniner Ufer / Welsbachstraße

Der Bebauungsplan soll die planungsrechtlichen Voraussetzungen für die Entwicklung eines Wohngebiets zur Bebauung mit Mehrfamilienhäusern, einer KiTa mit Sporthalle und einer Schule schaffen.

Der Städtebauliche Entwurf, Stand 06.05.2022, sieht folgende Bebauung vor:¹

¹ Die Angaben zu Wohn- und Nutzflächen geben die Schätzung aus der aktuellen Planung wieder.

- Geschosswohnungsbau bzw. Mehrfamilienhäuser mit einer Bruttogrundfläche (BGF) von 60.500 m²
- KiTa mit Sporthalle ca. 1.500 m² Bruttogrundfläche
- Schule mit ca. 3.000 m² Bruttogrundfläche

Die Gebäude sollen in einem hochwertigen energetischen Standard realisiert werden, der mindestens den Anforderungen eines KfW-Effizienzhauses 55 (EH55) entspricht.

2 Aufgabenstellung: Energiekonzept zum Bauungsplan für ein Wohngebiet

Im Rahmen der Erstellung des Bauungsplans für das beschriebene Plangebiet ist ein nachhaltiges Energiekonzept zu entwickeln und umzusetzen.

Hintergrund ist, dass die Bürgerschaft der Hansestadt Lübeck mit Beschluss vom 23.05.2019 (VO/2019/07495) den Klimanotstand festgestellt hat. Mit der Unterstützung der Resolution zur Ausrufung des Climate Emergency („Klimanotstand“) hat sich die Hansestadt Lübeck das Ziel gesetzt, vor dem Jahr 2050 klimaneutral zu sein. Vor diesem Hintergrund gilt es, bei der Entwicklung neuer Baugebiete darauf hinzuwirken, im Zuge der Bebauung und Nutzung der Gebäude klimaschädliche Emissionen so weit als möglich bzw. angemessen zu vermeiden. Das am 25.06.2020 von der Lübecker Bürgerschaft verabschiedete Klimaschutz-Maßnahmen-Paket (VO/2019/07727-01) hat dementsprechend für die Bauleitplanung festgelegt, dass für jedes neue Baugebiet ein Energiegutachten zu erstellen ist. Das Energiegutachten ist gemäß „Anforderungsprofil für die Erstellung eines Energiekonzeptes zu einem Bauungsplan für ein Wohngebiet“ (Stand 16.03.2023) zu erstellen. Das Anforderungsprofil enthält die zugrunde zu legenden Untersuchungsgrundlagen (Annahmen) und Untersuchungsschritte für die Erarbeitung des Energiekonzeptes.

Die Energieversorgung des betrachteten Baugebietes soll insbesondere folgende Zielstellung erfüllen:

- Minimierung der CO₂-Emissionen
- Zukunftsfähigkeit und langfristige Versorgungssicherheit
- Wirtschaftlichkeit in der Nutzungsphase (Lebenszyklus)
- Akzeptanz und Zufriedenheit der Bewohner

Die Hansestadt Lübeck will in ihren Baugebieten zukunftsweisende umweltfreundliche Energiekonzepte mit Vorbildcharakter umsetzen.

3 Vorgehensweise

Für die Erstellung des Energiekonzeptes wurde wie folgt vorgegangen:

1. Ermittlung der Nutzenergiebedarfe je Gebäudetyp
2. Ermittlung des Gesamtnutzenergiebedarfs des Baugebietes
3. Ermittlung von Potenzialen zur Nutzung Erneuerbarer Energien
4. Konzeptentwicklung in Varianten
5. CO₂-Bilanzierung für Varianten
6. Lebenszykluskostenbetrachtung für Varianten
7. Empfehlung

4 Überblick gesetzliche Anforderungen gemäß Gebäudeenergiegesetz GEG

Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über die aktuell geltenden gesetzlichen Anforderungen aus dem Gebäudeenergiegesetz gegeben.

Das GEG gilt grundsätzlich für alle Gebäude, soweit sie unter Einsatz von Energie beheizt oder gekühlt werden. Für die Neubauten im betrachteten B-Plangebiet ist demnach das GEG anzuwenden.

Zum 1. Januar 2023 trat eine Verschärfung des GEG in Kraft. Gebäude, für die seit diesem Datum ein Bauantrag gestellt wird, müssen einen Jahresprimärenergiebedarf von maximal 55% des zugehörigen Referenzgebäudes nach GEG aufweisen. Dieses entspricht bezüglich des Jahresprimärenergiebedarfs der Anforderungen an ein Effizienzhaus 55 nach KfW. Die Anforderung an die energetische Qualität der Gebäudehülle von Wohngebäuden bzw. Nichtwohngebäuden wurde dagegen im Vergleich zum GEG 2020 nicht erhöht.

Gemäß aktueller politischer Zielstellung ist zu erwarten, dass ab dem 01.01.2025 die Anforderungen an ein Effizienzhaus / Effizienzgebäude 40 für Neubauten zu erfüllen sind.

4.1 Jahresprimärenergiebedarf

Neubau Wohngebäude – Gesamtenergiebedarf § 15 Abs. 1 GEG:

Ein zu errichtendes Nichtwohngebäude ist so zu errichten, dass der Jahres-Primärenergiebedarf für Heizung, Warmwasserbereitung, Lüftung und Kühlung das 0,55fache des auf die Gebäudenutzfläche bezogenen Wertes des Jahres-Primärenergiebedarfs eines Referenzgebäudes, das die gleiche Geometrie, Gebäudenutzfläche und Ausrichtung, wie das zu errichtende Gebäude aufweist und der technischen Referenzausführung der Anlage 1 entspricht, nicht überschreitet.

Neubau Nichtwohngebäude – Gesamtenergiebedarf § 18 Abs. 1 GEG:

Ein zu errichtendes Nichtwohngebäude ist so zu errichten, dass der Jahres-Primärenergiebedarf für Heizung, Warmwasserbereitung, Lüftung, Kühlung und eingebaute Beleuchtung das 0,55fache des auf die Nettogrundfläche bezogenen Wertes des Jahres-Primärenergiebedarfs eines Referenzgebäudes, das die gleiche Geometrie, Nettogrundfläche, Ausrichtung und Nutzung, einschließlich der Anordnung der Nutzungseinheiten, wie das zu errichtende Gebäude aufweist und der technischen Referenzausführung der Anlage 2 entspricht, nicht überschreitet.

4.2 Thermische Gebäudehülle

Neubau Wohngebäude – Baulicher Wärmeschutz § 16 GEG:

Ein zu errichtendes Wohngebäude ist so zu errichten, dass der Höchstwert des spezifischen, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlusts das 1,0-fache des entsprechenden Wertes des jeweiligen Referenzgebäudes nach § 15 Absatz 1 nicht überschreitet.

Neubau Nichtwohngebäude – Baulicher Wärmeschutz § 19 GEG:

Ein zu errichtendes Nichtwohngebäude ist so zu errichten, dass die Höchstwerte der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten der wärmeübertragenden Umfassungsfläche der Anlage 3 nicht überschritten werden.

Tabelle 1: Höchstwert der Mittelwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten nach Anlage 3 Tabelle 1 GEG

Bauteil	Höchstwert der Mittelwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten
Opake Außenbauteile	0,28 W/m ² K
Transparente Außenbauteile	1,5 W/m ² K
Vorhangfassaden	1,5 W/m ² K
Glasdächer, Lichtbänder, Lichtkuppeln	2,5 W/m ² K

4.3 Nutzung erneuerbarer Energien

Gebäude sind so zu errichten, dass der Wärme- und Kälteenergiebedarf zumindest anteilig durch die Nutzung erneuerbarer Energien nach Maßgabe der § 34 bis § 45 aus dem GEG gedeckt wird.

Das GEG erlaubt verschiedene Maßnahmen zur Einhaltung der Anforderungen. Diese müssen entweder einzeln oder in Kombination mit anderen Maßnahmen einen definierten vorgesehenen Pflichtanteil des gesamten Wärme- und Kälteenergiebedarfs decken.

Bei einer Kombination der Maßnahmen sind die Anforderungen erfüllt, wenn die prozentualen Anteile der tatsächlichen Nutzung der einzelnen Maßnahmen im Verhältnis der nach §§ 35 bis 40 GEG vorgesehenen Nutzung der jeweiligen Maßnahme in Summe 100 Prozent ergeben.

Zulässige Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien gemäß §§ 35 bis 40 GEG zur Erfüllung der Anforderungen umfassen:

- die Nutzung solarthermischer Anlagen oder die Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien zu einem Anteil von mindestens 15 Prozent am Wärme- und Kälteenergiebedarfs des Gebäudes.
- die Nutzung von Geothermie oder Umweltwärme, fester oder flüssiger Biomasse als Brennstoff in sowohl KWK-Anlagen als auch Brennwertkesseln oder gasförmiger Biomasse als Brennstoff in Brennwertkesseln zu einem Anteil von mindestens 50 Prozent am Wärme- und Kälteenergiebedarfs des Gebäudes.
- die Nutzung gasförmiger Biomasse als Brennstoff in einer KWK-Anlage zu einem Anteil von mindestens 30 Prozent am Wärme- und Kälteenergiebedarfs des Gebäudes.

Anstelle der anteiligen Deckung des Wärme- und Kälteenergiebedarfes durch die Nutzung erneuerbarer Energien können die Anforderung nach §§ 42 bis 45 GEG ebenfalls erfüllt werden, indem:

- der Wärme- und Kälteenergiebedarf, direkt oder mittels Wärmepumpen, durch Abwärme oder durch die Nutzung von Wärme aus einer hocheffizienten KWK-Anlage zu mindestens 50 Prozent gedeckt wird.
- der Wärme- und Kälteenergiebedarf durch die Nutzung von Wärme aus einer Brennstoffzellenheizung zu mindestens 40 Prozent gedeckt wird.
- der Wärme- und Kälteenergiebedarf durch Fernwärme/Fernkälte gedeckt wird, die zu einem wesentlichen Anteil aus erneuerbaren Energien oder zu mindestens 50 Prozent aus Abwärme, KWK-Anlagen oder einer Kombination der letzten 2 Quellen stammt.
- die Anforderungen an den Höchstwert der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten der wärmeübertragenden Umfassungsfläche um mindestens 15 Prozent unterschritten werden.

5 Anforderungen aus KfN-Förderung

Seit dem 01.03.2023 fördert der Bund Nachhaltigkeitsaspekte bei Neubauvorhaben im Rahmen des KfW Förderprogramms *Klimafreundlicher Neubau (KfN)*. Der Klimafreundliche Neubau stellt einen über die Anforderungen des GEG 2023 deutlich hinausgehenden energetischen Standard dar.

Für Wohngebäude stehen die zwei folgenden Förderstufen zur Verfügung:

- Klimafreundliches Wohngebäude (KFWG)
- Klimafreundliches Wohngebäude – mit QNG² (KFWG – Q)

Analog dazu bestehen die Förderstufen für Nichtwohngebäude.

In der folgenden Tabelle sind die grundlegenden Anforderungen an die beiden Förderstufen aufgeführt:

Tabelle 2: Grundlegende Anforderungen KfN-Förderstufen

Kriterium	Förderstufe	
	KFWG	KFWG – Q
Effizienzhausstufe	Energetischer Standard: Effizienzhaus 40	
Energieträger	Keine Verwendung von Öl, Gas oder Biomasse zur Beheizung des Gebäudes	
Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude	Erfüllung der QNG-Anforderungen an die <u>Treibhausgasemissionen im Gebäudezyklus</u>	Erfüllung <u>aller</u> QNG-Anforderungen und die Bestätigung dessen über den Erhalt eines Nachhaltigkeitszertifikats (z. B. DGNB)

Auf die weiteren Förderbedingungen und -konditionen wird in Abschnitt 14 weiter eingegangen.

Die Anforderungen zum Effizienzhausstandard 40 (EH40) sind bspw. in der Richtlinie zur *Bundförderung für effiziente Gebäude (BEG) – Wohngebäude* (Stand: Dezember 2022) festgelegt. Die daraus resultierenden Anforderungen an Wohngebäude im EH40 Standard sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 3: Anforderungen Effizienzhausstandards Wohngebäude

Anforderung	EH 40	EH 55
Q_D in % des $Q_{P,REF}$	40	55
H'_T in % von $H'_{T,REF}$	55	70

² Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude

Q_p	Jahresprimärenergiebedarf Neubau
$Q_{p\text{ REF}}$	Jahresprimärenergiebedarf des Referenzgebäudes
H'_{T}	Transmissionswärmeverlust Neubau
$H'_{T\text{ REF}}$	Transmissionswärmeverlust des Referenzgebäudes

Die energetischen Kennwerte des Referenzgebäudes ($Q_{p\text{ REF}}$; $H'_{T\text{ REF}}$) sind nach Anlage 1 GEG zu berechnen.

Analog gilt für den maximal zulässigen Jahresprimärenergiebedarf für Nichtwohngebäude im Effizienzgebäude 40 (EG40) Standard gemäß Richtlinie zur *Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) – Nichtwohngebäude* (Stand: Dezember 2022):

Tabelle 4: Anforderungen Effizienzhausstandards Wohngebäude

Anforderung	EG 40	EG 55
Q_p in % des $Q_{p\text{ REF}}$	40	55

Q_p	Jahresprimärenergiebedarf Neubau
$Q_{p\text{ REF}}$	Jahresprimärenergiebedarf des Referenzgebäudes

Die energetische Qualität der Gebäudehülle wird für Nichtwohngebäude über die mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteiltypen bewertet. Für den EG40-Standard gilt:

Tabelle 4: Anforderungen GEG / EG40 im Vergleich - Höchstwerte der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten

Höchstwerte der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten \bar{U} [W/m^2K]	Zonen mit Raumsolltemperaturen $T \geq 19^\circ C$		Zonen mit Raumsolltemperaturen $12^\circ C \leq T < 19^\circ C$	
	GEG	EGB40	GEG	EGB40
Opake Außenbauteile \bar{U}_{opak}	0,28	0,18	0,5	0,24
Transparente Außenbauteile $\bar{U}_{\text{transparent}}$ und Vorhangfassade \bar{U}_{Vorhang}	1,5	1,00	2,8 / 3,0	1,30

Die energetischen Kennwerte des Referenzgebäudes ($Q_{p\text{ REF}}$; $H'_{T\text{ REF}}$) sind nach Anlage 2 GEG zu berechnen.

6 Energetische Vorgaben für das Energiekonzept für ein Wohngebiet

6.1 Genereller energetischer Standard von Wohngebäuden

Für die Gebäude wird in der zu untersuchenden Basisvariante ein Energiestandard gefordert, der einem KfW Effizienzhaus 55 (EH55) entspricht. Der EH55 für Wohngebäude ist dadurch charakterisiert, dass der Transmissionswärmeverlust der Gebäudehülle mindestens 30 % unter dem Wert des zugehörigen Referenzgebäudes nach Gebäudeenergiegesetz (GEG) liegt. Der Primärenergiebedarf muss den Wert des zugehörigen Referenzgebäudes nach GEG insgesamt um mindestens 45 % unterschreiten (vgl. Abbildung 2).

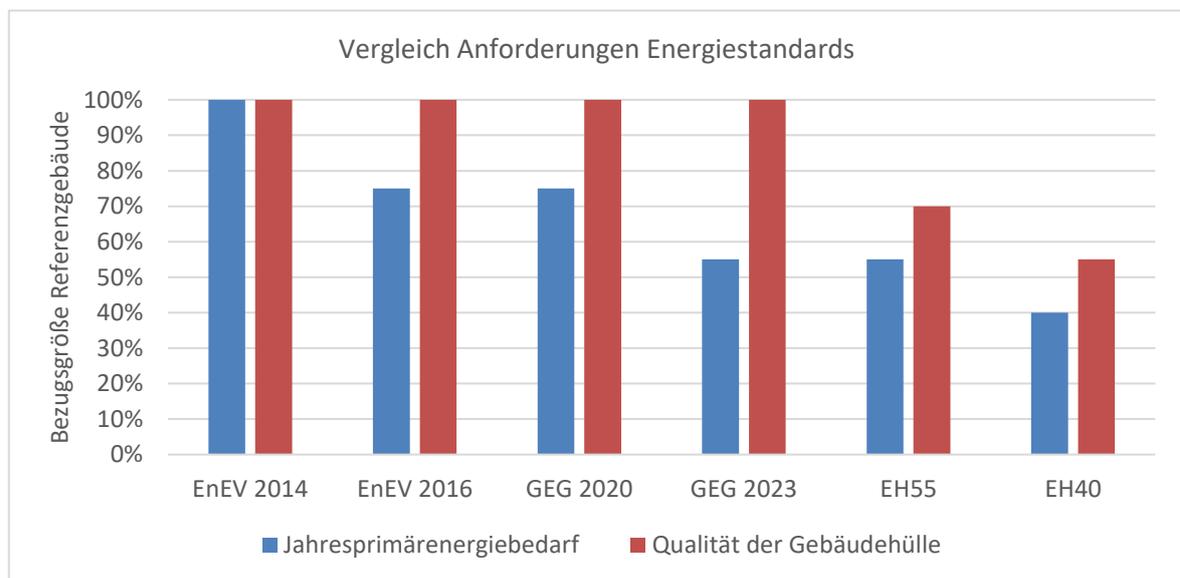


Abbildung 2: Vergleich Anforderungen Energiestandards (bezogen auf Wohnbau)

Aus der vorstehenden Abbildung wird deutlich, dass mit der Realisierung eines Effizienzhausstandards 55 die Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) (über-) erfüllt werden.

Des Weiteren ist im Hinblick auf die angestrebte CO₂-Neutralität eine sogenannte Klimaschutzvariante zu betrachten. Diese beinhaltet entweder einen Passivhausstandard oder einen Effizienzhausstandard 40.

6.2 Wärmeverteil- und -übergabesysteme

Die Systemtemperaturen für Heizungen dürfen im Vorlauf maximal 40°C betragen, um die Nutzung regenerativer Energien (bspw. Geothermie) zu ermöglichen. Darauf sind die Systeme zur Wärmeübergabe abzustimmen, d.h. Flächenheizsysteme sind zu bevorzugen.

6.3 Energieträger

Die Nutzung fossiler Energieträger sowie fester Biomasse ist grundsätzlich auszuschließen.

6.4 Lüftung

Die Art der Belüftung der Gebäude ist nicht vorgegeben, da eine Reglementierung von den Nutzern oft negativ aufgenommen wird.

In vielen Fällen haben sich hybride Lüftungssysteme als Kombination aus natürlicher und mechanischer Lüftung bewährt.

Die Vorteile natürlicher Lüftung (Einfachheit, Nutzereingriff, hoher Luftwechsel bei Nachtauskühlung) und mechanischer Lüftung (kontrollierte Lüftung, erhöhter winterlicher Komfort, Wärmehückgewinnung) können bei hybriden Lüftungskonzepten optimal genutzt werden.

6.5 Darstellung der Energiebedarfe

Im Interesse der Vergleichbarkeit mit anderen Energiekonzepten sind für die unterschiedlichen Gebäudetypen die Jahresenergiebedarfe gemäß Tabelle 5 differenziert nach Heizung, Warmwasser und (Nutzer-) Strom zugrunde zu legen.³

Im Gegensatz zu den Ansätzen aus dem Energiekonzept zum Lauerhofer Feld, welches teilweise die Grundlagen für die weiteren Energiekonzepte der Hansestadt Lübeck bereitstellt, wurde für den jährlichen Energiebedarf für (Nutzer-) Strom⁴ mittlerweile ein pauschaler Wert je Wohneinheit (WE) definiert, der aus dem Stromspiegel für Deutschland 2021/2022 hergeleitet ist. Ebenso wurde ein wohneinheitenbezogener Energiebedarf für die Warmwasserbereitung festgelegt. Beides ist im Bereich Wohngebäude plausibler als ein auf Quadratmeter bezogener Kennwert. Eine dreiköpfige Familie beispielsweise, die auf 80 m² Wohnfläche wohnt, verbraucht nicht mehr Warmwasser als eine gleichgroße, die 95 m² Wohnfläche nutzt.

Die Werte für die KiTa wurden dem Energiekonzept Lauerhofer Feld von KApplus entnommen und auf die Schule und die Sporthalle übertragen.

Die dargestellten Kennwerte beziehen sich auf die Energiebedarfe an der Gebäudegrenze exkl. Anlagenverluste aber inkl. Verteil- und Zirkulationsverlusten der Heizkreise und ggf. Warmwasserkreise bei zentraler Warmwasserbereitung.

³ Siehe auch Anforderungsprofil für die Erstellung eines Energiekonzeptes zu einem Bebauungsplan für ein Wohngebiet; Hansestadt Lübeck, Stand: 16.03.2023

⁴ In Abgrenzung zu dem Strom, der für die Gebäudekonditionierung – also Beheizung und ggf. Lüftung – erforderlich ist.

Zur deutlicheren Unterscheidung zum Endenergiebedarf eines Gebäudes, der auch die Verluste bzw. die Effizienz der Wärmeerzeugungsanlagen berücksichtigt, wird im Folgenden nicht von Energiebedarfen, sondern von Nutzenergiebedarfen gesprochen.

Tabelle 5: Anzusetzende Jahresnutzenergiebedarfe für Heizen, Warmwasser, Strom nach Gebäudetyp im Effizienzhaus 55 Standard (Quelle: Anforderungsprofil Energiekonzept / Energiekonzept Lauerhofer Feld, KApplus Ingenieur-Büro Vollert)

Jahresnutzenergiebedarf	Heizen	Warmwasser	Strom
Mehrfamilienhaus MFH	30 kWh/(m _{BGF} ² *a)	1.750 kWh/a je WE	2.000 kWh/a je WE
Schule	54 kWh/(m _{BGF} ² *a)	21 kWh/(m _{BGF} ² *a)	30 kWh/(m _{BGF} ² *a)
KiTa (mit Sporthalle)	54 kWh/(m _{BGF} ² *a)	21 kWh/(m _{BGF} ² *a)	30 kWh/(m _{BGF} ² *a)

Für darüberhinausgehende Nutzungen sind vom Gutachter Vorschläge zum voraussichtlichen Energiebedarf auf der Grundlage belastbarer Quellen anzunehmen und mit der Klimaleitstelle abzustimmen.

6.6 Solar-Anlagen

Unabhängig vom System der Wärmeversorgung soll eine Belegung der Dachflächen mit Solar-Anlagen (Statik / Gestaltung) in das Energiekonzept einbezogen werden. Hierbei ist davon auszugehen, dass 80 Prozent der für PV-Anlagen geeigneten Dachflächen mit Solarmodulen belegt werden.

Für PV-Anlagen geeignete Dachflächen sind Flächen, auf denen die Einstrahlung mindestens 70 Prozent der maximalen Globalstrahlung für Lübeck erreicht. Für PV-Anlagen geeignete Dachflächen und darauf erreichbare Einstrahlungswerte können anhand einer Einstrahlungsscheibe für Lübeck (siehe Anhang III) ermittelt werden.

6.7 Flexibilität der vorgesehenen Systeme

Die Grundkonzeption der Energieversorgung von neuen Baugebieten und Gebäuden soll unabhängig von der Wahl des heutigen Heizsystems eine Umstellung bzw. Erweiterung auf regenerative Energiesysteme nach dem Erreichen der Lebensdauer des heute installierten Systems zulassen.

7 Ermittlung des voraussichtlichen Nutzenergiebedarfs

Auf der Grundlage der vorgenannten Rahmenbedingungen wurden sowohl die Nutzenergiebedarfe je Gebäudetyp differenziert nach Heizen, Warmwasser und Strom als auch die gesamten Nutzenergiebedarfe für das Baugebiet ermittelt.

Zugrunde gelegt wurde der Städtebauliche Entwurf für das Baugebiet, Stand 06.05.2022.

7.1 Flächenermittlung

Auf der Grundlage des Städtebaulichen Entwurfs können für die Bruttogrundflächen und die beheizten Wohnflächen folgende Werte abgeschätzt werden:

Tabelle 6: Abschätzung Bruttogrundflächen und beheizte Wohnfläche Neubauten im Baugebiet

Gebäudetyp	Bauabschnitt	Anzahl Gebäude	Bruttogrundfläche [m ² _{BGF}]	Beheizte Wohnfläche ca. [m ²]	Anzahl Wohneinheiten
MFH	ges.	22	60.500	50.417	684
	1	9	21.860	18.217	241
	2	13	38.640	32.200	443
Schule	1	1	3.000		
KiTa mit SH	1	1	1.500		
Gesamt		24	65.000		

Die beheizte Wohnfläche wurde aus Kennwerten anderer Geschosswohnungsbauprojekte ermittelt: Demnach ist die Bruttogrundfläche um ca. 20 Prozent größer als die beheizte Wohnfläche anzusetzen.

7.2 Nutzenergiebedarf Gebäude

Mithilfe der ermittelten Bruttogrundflächen und den Werten für die Jahresnutzenergiebedarfe aus Tabelle 5 konnten die Nutzenergiebilanzen für die Gebäudetypen und das Baugebiet insgesamt abgeschätzt werden, unter der Annahme, dass die Neubauten als EH55 bzw. EG55 realisiert werden:

Tabelle 7: Jahresnutzenenergiebedarfe je Gebäudtyp für EH55 / EG55-Standard

Jahresnutzenenergiebedarf EH55 /EG55 [kWh/a]			
Gebäudtyp	Heizen	Warmwasser	Nutzerstrom
MFH 1.BA	655.800	421.750	482.000
MFH 2.BA	1.159.200	775.250	886.000
MFH ges.	1.815.000	1.197.000	1.368.000
Schule	162.000	63.000	90.000
KiTa mit SH	81.000	31.500	45.000
Gesamt	2.058.000	1.291.500	1.503.000

Das Baugebiet weist in Summe einen jährlichen Nutzenenergiebedarf von ca. 2.058 MWh/a für Heizen, ca. 1.292 MWh/a für Warmwasser und rund 1.503 MWh/a für Strom im EH55 / EG55-Standard auf.

Unterstellt man einen um 15 Prozent geringeren Heizwärmebedarf im EH40 / EG40-Standard aufgrund einer weiter verbesserten Gebäudehülle und zusätzlichen Maßnahmen zur Energieeinsparung, bspw. im Lüftungsbereich, so kommt zur folgenden Abschätzung:

Tabelle 8: Jahresnutzenenergiebedarfe je Gebäudtyp für EH40 / EG40-Standard

Jahresnutzenenergiebedarf absolut EH40 /EG40 [kWh/a]			
Gebäudtyp	Heizen	Warmwasser	Nutzerstrom
MFH 1.BA	557.430	421.750	482.000
MFH 2.BA	985.320	775.250	886.000
MFH ges.	1.542.750	1.197.000	1.368.000
Schule	137.700	63.000	90.000
KiTa mit SH	68.850	31.500	45.000
Gesamt	1.749.300	1.291.500	1.503.000

7.3 Elektro-Mobilität

Die Planung des Stromnetzes hat die zunehmende Elektro-Mobilität in den zugehörigen höheren Hausanschlussleistungen zu berücksichtigen.

Im Bereich der Mehrfamilienhäuser ist zu prüfen, inwiefern und in welchem Umfang Ladesäulen bzw. Ladepunkte im Bereich der dortigen Stellplätze hergestellt werden können. Zusätzlich lassen sich Ladesäulen an Stellplätze an der Straße planen.

Für die Abschätzung des Energiebedarfes für Elektromobilität sind folgende Größen relevant:

▪ **Jährliche Fahrleistung**

Das Kraftfahrbundesamt gibt die durchschnittliche jährliche Fahrleistung für PKW mit 12.843 km für das Jahr 2021 an⁵ (siehe Abbildung 3).

Es ist zu erkennen, dass bereits vor der Corona-Pandemie eine rückläufige Entwicklung der durchschnittlichen jährlichen Fahrleistung zu verzeichnen war. Daher wird der Wert für 2021 als geeigneter Ansatz für die folgende Betrachtung erachtet. Des Weiteren wird für die Abschätzung des Energiebedarfs für Elektro-Mobilität unterstellt, dass die Fahrleistung bzw. der Wert für die durchschnittliche jährliche Fahrleistung aus 2021 im betrachteten Zeitraum gleichbleibt.

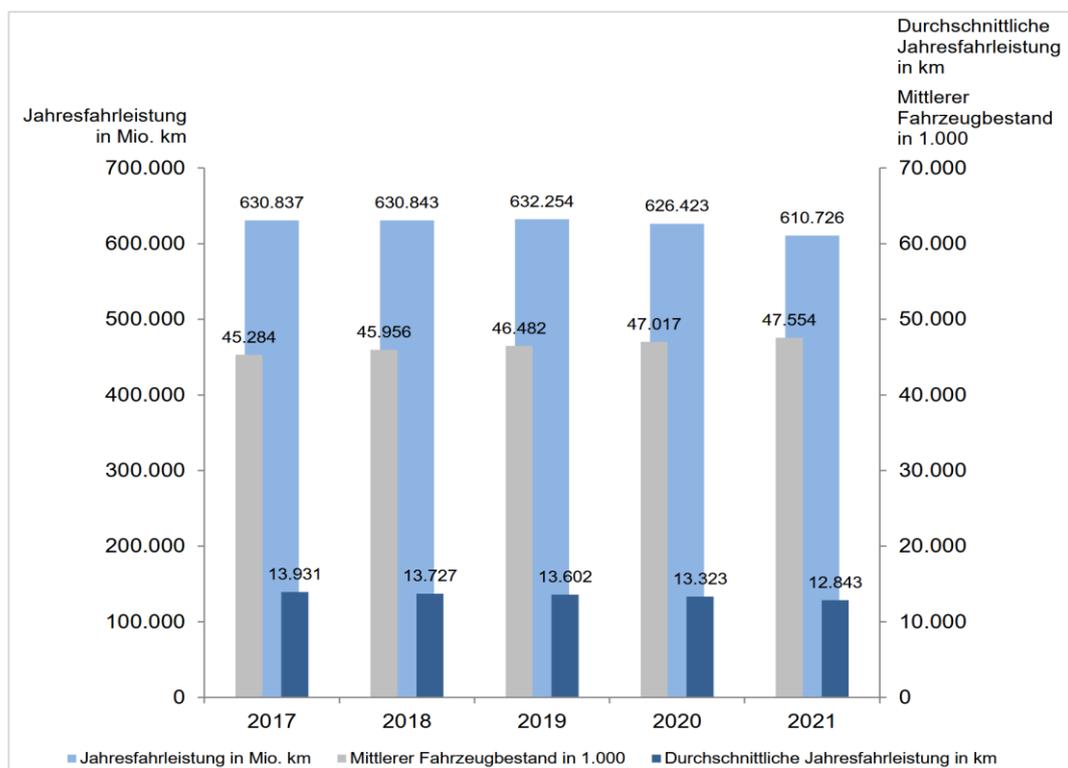


Abbildung 3: Entwicklung der Jahresfahrleistung und des mittleren Fahrzeugbestandes von Pkw seit 2016
(Quelle: Kraftfahrbundesamt)

▪ **Berücksichtigung der Lage des Baugebietes bei Fahrleistung**

Die oben genannte, jährliche Fahrleistung stellt einen Durchschnittswert für ganz Deutschland dar und berücksichtigt demzufolge keine Unterschiede bezüglich Stadtbewohner und Stadtbewohnerinnen und Bewohner und Bewohnerinnen im ländlichen Raum. Aufgrund der zentralen Lage des Baugebietes Geniner Ufer / Welsbachstraße und die Anbindung an

⁵ https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/VerkehrKilometer/vk_inlaenderfahrleistung/vk_inlaenderfahrleistung_node.html?yearFilter=2021

den ÖPNV ist im Hinblick auf die Fahrleistungen der zukünftigen Bewohner und Bewohnerinnen davon auszugehen, dass die Fahrleistung unterdurchschnittlich sein wird.

Einen Ansatz zur Abschätzung eines Korrekturfaktors für die jährliche Fahrleistung liefert die Studie „Mobilität in Deutschland 2017“ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und digitale Infrastruktur. Im Durchschnitt legen in Deutschland alle Menschen jeden Tag mehr als drei Milliarden Personenkilometern auf rund 257 Millionen Wegen zurück. Rund 57 % dieser Wege werden mit dem Pkw zurückgelegt, im ländlichen Raum sind es sogar bis zu 70 %. Für die Abweichung der Verkehrsleistung vom Anteil an der Gesamtbevölkerung nach Raumtyp wird für eine Metropole in einer Stadtregion ein Wert von -4 % genannt. D.h. für Bewohner und Bewohnerinnen in zentraler Lage Lübecks kann abgeschätzt werden, dass die Fahrleistung 4 % geringer liegt als im bundesdeutschen Durchschnitt.

Für den Korrekturfaktor für die jährliche Fahrleistung ist demnach ein Wert von 0,96 anzusetzen.

- **Anzahl PKW pro Haushalt**

Für die Abschätzung der Anzahl an PKW pro Haushalt wurde die Anzahl an aktuell geplanten Stellplätzen von 507 herangezogen werden.

- **Quote Elektromobilität**

Für die Abschätzung der Anteile der Elektroautos am Fahrzeugbestand wurden zum einen auf den „Faktencheck E-Mobilität: Status quo der E-Mobilität in Deutschland - Update 2020“ von Horváth & Partners für die Quote 2025 und zum anderen auf die Studie „eMobil 2050 – Szenarien zum Klimaschutzbeitrag des elektrischen Verkehrs“ vom Öko-Institut e.V. zurückgegriffen.

Die Hochrechnung von Horváth & Partners geht von 3.426.330 Elektroautos in Deutschland im Jahr 2025 aus. Setzt man diese Zahl ins Verhältnis zu einem aktuellen Fahrzeugbestand von ca. 47 Mio. PKW, so erhält man eine E-Quote von 7,3 % für das Jahr 2025.

Für das Jahr 2050 kann der Untersuchung des Öko-Instituts eine E-Quote von rund 90 % entnommen werden.

Mit den dargestellten Größen wird eine Abschätzung für den Elektroenergiebedarf für E-Mobilität für das B-Plangebiet Geniner Ufer / Welsbachstraße getroffen – unter Berücksichtigung der zentralen Lage:

Tabelle 9: Abschätzung Energiebedarf E-Mobilität

Abschätzung Energiebedarf E-Mobilität		
Jährliche durchschnittliche Fahrleistung PKW lt. KBA	km/a	12.843
Korrekturfaktor B-Plangebiet	-	0,96
Jährliche durchschnittliche Fahrleistung PKW B-Plangebiet	km/a	12.329
Abgeschätzte Anzahl PKW im B-Plangebiet		507
Jährliche Fahrleistung B-Plangebiet absolut	km/a	6.250.945
E-Quote 2025	%	7,3%
E-Quote 2050	%	90%
Ansatz Strombedarf / 100 km	kWh/100 km	20
Strombedarf B-Plangebiet E-Mobilität 2025	MWh/a	91
Strombedarf B-Plangebiet E-Mobilität 2050	MWh/a	1.125

Addiert man den Strombedarf für E-Mobilität zum Nutzerstrombedarf in Tabelle 7 hinzu, so ergibt sich ein Anteil von rund 6,3 % der E-Mobilität am sich ergebenden Gesamtstrombedarf (für 2025). In 2050 läge dieser Anteil dann bei 45 %.

8 Nutzung Erneuerbare Energien

8.1 Grundsätzliche Überlegungen zu Energieträgern

Im Vergleich zu Erdgas profitiert der Energieträger Strom von einem steigenden Anteil an Erneuerbarer Energien im Strom-Mix Deutschland, die wesentlich auf die Zunahme von Stromerzeugung aus Wind und Photovoltaik zurückzuführen sind.

Untersucht wurden die künftigen Primärenergie- und CO₂-Emissionsfaktoren im Stromnetz beispielsweise in der Studie IINAS 2020⁶. Die dortigen Berechnungen basieren auf statistischen Daten und für die zukünftigen Daten auf Projektionen von AGE⁷, BMWi und UBA.

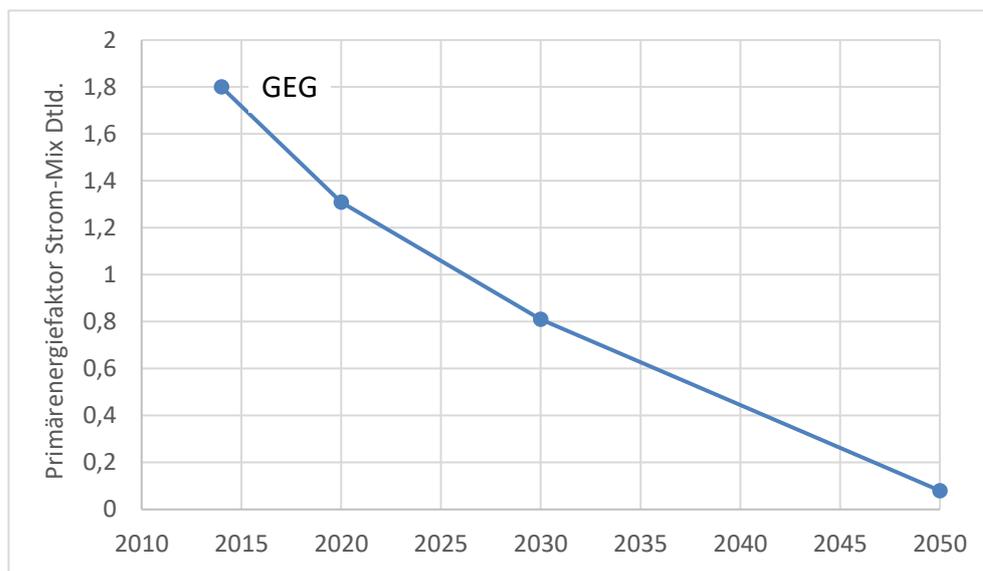


Abbildung 4: Projektion Primärenergiefaktor für den nichterneuerbaren Anteil für den Strommix (Quelle: IINAS 2020, eigene Darstellung)

Der aktuelle, reale Primärenergiefaktor für Strom ist heute bereits deutlich niedriger als jener, welcher für Nachweise nach GEG ($f_p = 1,8$) zu verwenden ist. Die Projektionen weisen darüber hinaus für 2030 einen Primärenergiefaktor von 0,81 und für 2050 0,08 aus. Die starke Absenkung beruht auf der Annahme eines signifikant steigenden Anteils erneuerbarer Energien im Strom-Mix.

Diese Entwicklung wird auch bei der Prognose der zukünftigen CO₂-Emissionen für die Stromerzeugung sichtbar. Dem Anforderungsprofil für die Erstellung eines Energiekonzeptes ist folgende Prognose für die CO₂-Emissionen für die Erzeugung von Strom als Grundlage für die Treibhausgasbilanzen des Baugebietes zu entnehmen:

⁶ Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des deutschen Strommix im Jahr 2019 sowie Ausblicke auf 2020 bis 2050, Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien GmbH, 2020.

⁷ Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.

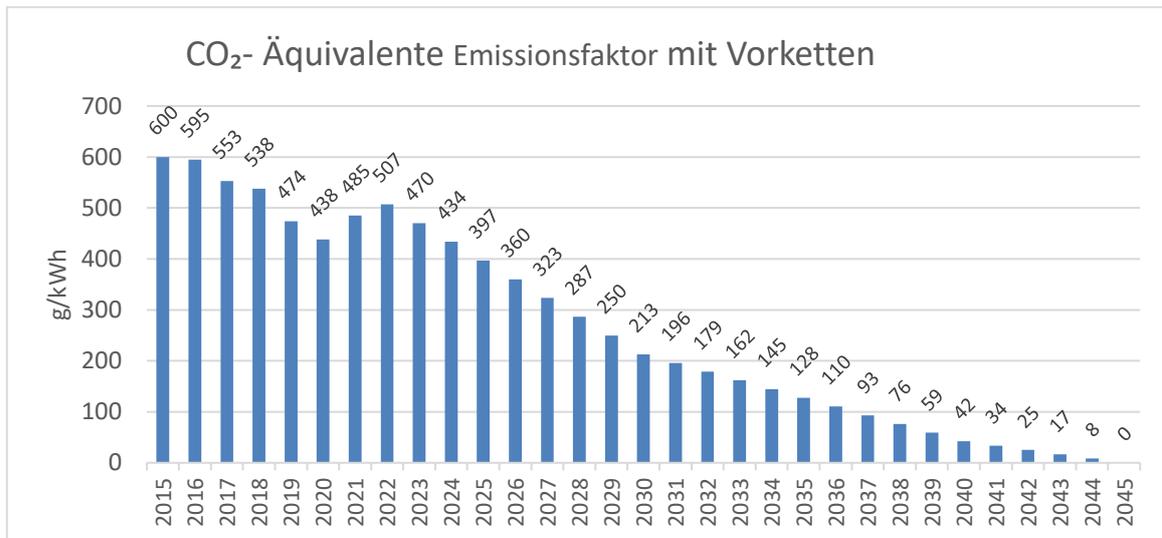


Abbildung 5: CO₂-Emissionsfaktoren für Strom-Mix UBA 2022 (Werte bis 2021) und Prognose Klimaleitstelle Lübeck

Demgegenüber bleiben der Primärenergiefaktor und der CO₂-Emissionsfaktor von Erdgas im Zeitverlauf unverändert. Für die CO₂-Emissionsfaktoren verschiedener Energieträger ist für das Jahr 2023 folgende Prognose zugrunde zu legen:

Tabelle 10: CO₂-Emissionsfaktoren nach Energieträgern - Prognose 2023 (Quelle: Ecospeed, Lübeck-spezifisch nach BSKO 2023)

Energieträger	CO ₂ -Emissionen [g/kWh]	Energieträger	CO ₂ -Emissionen [g/kWh]
Strom	470	Umweltwärme	156
Heizöl EL	318	Sonnenkollektoren	25
Benzin	322	Biogase	110
Diesel	326	Abfall	27
Kerosin	322	Flüssiggas	290
Erdgas	247	Biodiesel	112
Fernwärme	240	Braunkohle	411
Holz	22	Steinkohle	438

Festzuhalten ist, dass im Hinblick auf den Klimaschutz sich kommende, noch höherwertige energetische Standards im Gebäudebereich nicht mehr mit dem Energieträger Erdgas bzw. anderen fossilen Energieträgern verwirklichen lassen. Erdgasbasierte Wärmeerzeugung kann nur als Redundanz in Technikkonzepten für Ausnahmesituationen gesehen werden.

Die Erzeugung und Nutzung von synthetischem Biomethan bzw. Wasserstoff ist zwar aus Sicht des Klimaschutzes nachhaltiger als der Einsatz von Erdgas. Es stellt sich aber die Frage, in welcher Größenordnung die Kapazitäten zur Verfügung stehen, um einen wesentlichen Beitrag für die Wärmewende zu liefern.

Gleichzeitig ist sowohl beim Energieträger Erdgas aufgrund der knapper werdenden Ressource als auch bei den Energieträgern Biogas und Biomethan aufgrund der steigenden Nachfrage davon auszugehen, dass diese zukünftig einer signifikanten Preissteigerung oberhalb der für Strom unterliegen werden.

Gleiches gilt auch für den Energieträger Holz, in Form von Holzhackschnitzel und Holzpellets. Auch hier wird die steigende Nachfrage in Kombination mit einer begrenzten Verfügbarkeit zu signifikanten Preissteigerungen führen.

Demzufolge ist der Energieträger Strom als zukunftsfähigster Energieträger zu bewerten und entsprechend im Energiekonzept zu priorisieren.

8.2 Dezentrale und zentrale Ansätze

Grundsätzlich gibt es unterschiedliche Varianten, die Wärmeversorgung von Gebäuden, insbesondere in Neubaugebieten, zu konzipieren.

▪ Dezentrale Wärmeerzeugung

Jedes Gebäude verfügt über einen eigenen Wärmeerzeuger, der bspw. erdgas- oder strombasiert Wärme erzeugt. Dementsprechend ist ggf. der Anschluss an ein Erdgasversorgungsnetz oder eine erhöhte elektrische Anschlussleistung erforderlich.

▪ Zentrale Wärmeerzeugung – Warmes Nahwärmenetz

Bei einer zentralen Wärmeerzeugung für ein Quartier wird die Wärme über ein Nahwärmenetz zu den Gebäuden verteilt. In den Gebäuden sind Hausübergabestationen installiert. Diese sind technisch gesehen Wärmetauscher, die die Wärme vom Nahwärmenetz in den Heizkreis des jeweiligen Gebäudes abgeben.

Die zentrale Wärmeerzeugung in einer Heizzentrale kann erdgas-/biogas- oder holzbasiert sein. Entsprechend ist entweder ein Anschluss an das Erdgasversorgungsnetz oder aber die Lagerung von fester Biomasse erforderlich. Der Betrieb der Heizzentrale muss in der Regel durch einen Contractor oder Versorgungsunternehmen (bspw. Stadtwerke Lübeck) realisiert werden, um einen effizienten Betrieb und die Versorgungssicherheit zu gewährleisten.

Problematisch sind die Netzverluste bei geringen Wärmeabnahmedichten im Netz aufgrund der hohen Systemtemperaturen im Netz (in der Regel Vorlauftemperaturen zwischen 70-100°C). Die Netzverluste können 10% oder mehr der von der Heizzentrale eingespeisten Wärme betragen.

▪ **Kaltes Nahwärmenetz**

Das kalte Nahwärmenetz zeichnet sich im Unterschied zum „warmen“ Nahwärmenetz dadurch aus, dass es mit wesentlichen geringen Systemtemperaturen betrieben wird. Die Vorlauftemperatur des kalten Nahwärmenetzes liegt im Allgemeinen nicht höher als 20°C.

Aufgrund der geringeren Vorlauftemperaturen kommen eine Reihe von Wärmequellen infrage: Geothermie, Wärmenutzung aus Gewässern, Abwärme aus Abwasser oder industriellen/gewerblichen Prozessen, Eisspeicher mit Solarkollektoren usw. Das kalte Nahwärmenetz kann selbst als zusätzlicher Kollektor dienen – in diesem Fall sind die Rohre unge-dämmt auszuführen.

In den Gebäuden sind Wärmepumpen installiert, die die Umweltwärme aus dem kalten Nahwärmenetz auf Nutztemperatur anheben. Auch hier ist eine erhöhte elektrische Anschlussleistung des Gebäudes erforderlich.

Zentrale Systeme bzw. Wärmenetze sind von einem professionellen Ingenieurbüro der technischen Gebäudeausrüstung in Zusammenarbeit mit einem Energieberater zu planen.

8.3 Potenzialanalyse Erneuerbare Energien

Es wurde geprüft, welche erneuerbaren Energiequellen unter Berücksichtigung des städtebaulichen Konzepts mit den geplanten Gebäudetypen und der Verhältnisse vor Ort potenziell für die Energieversorgung des Gebietes in Betracht kommen und in welchem Umfang die ermittelten Bedarfe hierdurch gedeckt werden können.

Die Bewertung wurde farblich vorgenommen:

- Rot = Kein Potenzial bzw. starkes Missverhältnis Kosten / Nutzen
- Orange = Geringes Potenzial bezüglich Nutzung Erneuerbarer Energie
- Grün = Technisch wie wirtschaftlich nutzbares Potenzial an Erneuerbarer Energie

Tabelle 11: Potenzialanalyse Erneuerbare Energien

Bereich	Beschreibung	Bewer-tung
Nah-/Fernwärme-potenzial	<ul style="list-style-type: none">▪ Es besteht nach Aussage der Stadtwerke Lübeck keine Anschluss-möglichkeit an ein Fernwärmenetz der Stadtwerke Lübeck.▪ Für die Nutzung der Kanal-Trave zur Wärmezeugung würde ein Nahwärmenetz errichtet werden, um die Gebäude mit Nahwärme zu versorgen.	

Bereich	Beschreibung	Bewer- tung
Oberflächennahe Geothermie	<ul style="list-style-type: none"> Der Baugrund enthält nach Aussage des Projektentwicklers Altlasten in tieferen Schichten. In der Regel wird dann in Bauvorhaben das Bohren von Erdsonden vermieden. Nach Abschätzung des Ingenieurbüros Planungsteam Nord lässt sich außerdem die benötigte Anzahl an Sonden nicht auf der Fläche des B-Plangebietes darstellen. Sonden unterhalb der Tiefgaragen sind dabei aufgrund der Zugänglichkeit bzw. Revisionierbarkeit auszuschließen. 	
Tiefengeothermie	<ul style="list-style-type: none"> Das Potenzial wurde durch die Geothermie Neubrandenburg GmbH untersucht. Gemäß Prognose wäre eine Nutzung von Tiefengeothermie möglich und erforderte dazu ein Bohrtiefe von rund 1.500 Metern. Die förderbare Sole hätte gemäß Gutachten eine Temperatur von rund 50°C. Die erforderliche Leistung stünde zur Verfügung. Demgegenüber steht eine erste Schätzung der Investitionskosten nur für die Bohrung und Heizzentrale von rund 14 Mio. Euro netto. Zudem müsste die Prognose durch eine Probebohrung bestätigt werden. Diese Punkte wurden als erhebliche Projektrisiken bewertet, so dass von der Tiefengeothermie abgesehen wurde. 	
Umgebungswärme	<ul style="list-style-type: none"> Die Nutzung von Umgebungswärme mittels sogenannter Luft-Wasser-Wärmepumpen ist Stand der Technik. Die Jahresarbeitszahlen von Luft-Wasser-Wärmepumpen erreichen nicht die von Sole-Wasser-Wärmepumpen. Demzufolge benötigen sie mehr elektrische Energie, um die Umgebungswärme zu nutzen bzw. die Wohneinheit mit Wärme zu versorgen. Im Vergleich zur Geothermie ist die Nutzung von Umgebungswärme als standortunabhängig nutzbar anzusehen. Beschränkungen resultieren ggf. aus den Schallemissionen der Anlagen. 	
Solarthermie	<ul style="list-style-type: none"> Für Solarthermie empfehlen sich Dachneigung nach Süden oder Südwest/Südost, wobei die westliche Ausrichtung vorzuziehen ist. Im Städtebaulichen Entwurf sind alle Mehrfamilienhäuser mit einem Flachdach geplant, so dass die optimale Ausrichtung der Module auf diesen unproblematisch ist. 	
Abwärmenutzung aus Prozessen	<ul style="list-style-type: none"> Ein nutzbares Potenzial zur Nutzung von Abwärme aus gewerblichen/industriellen Prozessen ist nicht vorhanden. 	

Bereich	Beschreibung	Bewer- tung
Abwärmenutzung in Abwasserleitungen	<ul style="list-style-type: none"> Voraussetzung hierfür sind große Kanalquerschnitte und relativ konstante (hohe) Abwasservolumenströme. Aufgrund des hohen technischen Aufwands und der fehlenden (Wohn-) Bebauungsdichte im Umfeld wurde diese Möglichkeit nicht weiterverfolgt. 	
Wärme aus Gewässern	<ul style="list-style-type: none"> Nutzung der Kanal-Trave als Wärmequelle möglich. Die technische Lösung beinhaltet die Nutzung der Gewässerwärme über Wasser-Wasser-Wärmepumpen. 	
Klein- und Mittelwindkraftanlagen	<ul style="list-style-type: none"> Technisch möglich. Akzeptanz bei den Anwohnern evtl. kritisch. 	
Photovoltaik	<ul style="list-style-type: none"> Grundsätzlich sind alle Gebäudedächer für PV nutzbar. Auf das Photovoltaik-Potenzial wird in Abschnitt 8.5 detaillierter eingegangen. 	
Biomasse (für zentrale Wärme-erzeugung)	<ul style="list-style-type: none"> Die Nutzung von Holzhackschnitzel und Holzpellets ist aus Sicht der Hansestadt Lübeck nicht zielführend für den Klimaschutz und wurde daher im Projektverlauf verworfen. Gasförmige Biomasse – Biogas/Biomethan – wäre über das Erdgasversorgungsnetz nutzbar. Der Preis von Biogas/Biomethan ist höher als der von Erdgas. 	
Kraft-Wärme-Kopplung (für zentrale Wärme-erzeugung)	<ul style="list-style-type: none"> Technisch machbar, bspw. als Mini-BHKW oder Brennstoffzelle im Gebäude. Nicht in Neubau-Förderung KfN⁸ der KfW förderfähig. Bei Einsatz von Biogas/Biomethan stellt sich die Frage der Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu Wärmepumpenlösungen. 	
„Grüner“ Wasserstoff aus Windkraft / Bio-masse	<ul style="list-style-type: none"> Erzeugung vor Ort nicht vorhanden. Hierfür ist im Idealfall ein Nahwärmenetz in der Nähe zu den regenerativen Stromerzeugern erforderlich, um die Wärme aus den Umwandlungsprozessen wirtschaftlich nutzen zu können.⁹ 	

Gute und vor allem (wirtschaftlich) nutzbare Potenziale sind demnach in den Bereichen Umgebungswärme, Wärme aus Gewässern, Solarthermie und Photovoltaik zu sehen.

⁸ Klimafreundlicher Neubau

⁹ Der Verfasser hat an einer Machbarkeitsstudie zur Wasserstoffherzeugung in Kombination mit einem Nahwärmenetz mitgewirkt – Projekt unter <https://luebesse-energie.de/projekt-luebesse/> beschrieben.

8.4 Potenzial Solarthermie

Sonnenenergie lässt sich mittels Flach- oder Röhrenkollektoren auf dem Dach (ggf. auch an der Fassade) nutzbar machen. Die Sonne erwärmt die in den Kollektoren zirkulierende Sole, die wiederum ihre Wärme über einen Wärmetauscher an einen Speicher im Gebäude abgibt.

In der einfachsten Lösung ist dieses ein bivalenter Trinkwarmwasserspeicher. Bivalent meint in diesem Zusammenhang, dass der Speicher nicht nur durch die Kollektoren, sondern auch durch einen weiteren Wärmeerzeuger beheizt wird. Die Solarthermie lässt sich aber auch zusätzlich heizungsunterstützend nutzen.

In der Regel sind für eine Wohneinheit Kollektorflächen von ca. 3,5 - 5m² zu planen.

Als Jahresertrag der Solarthermie lässt sich – je nach Ausrichtung und Neigung – eine Größenordnung von bis zu 2.000 kWh/a abschätzen, die heizungsunterstützend und für die Trinkwarmwasserbereitung genutzt werden kann.

8.5 Potenzial Photovoltaik Stromerträge

Für den Standort wurde eine Performance Berechnung mithilfe des Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) des EU Science Hub mit dem Ziel durchgeführt, den durchschnittlichen spezifischen Ertrag für 1 kWp PV-Leistung für die ideale Anordnung von Photovoltaik zu ermitteln. Angenommen wurden daher eine Südausrichtung und eine Neigung der Module von 34° entsprechend der Vorgabe der Hansestadt Lübeck.

Im Ergebnis erhält man für diese Annahmen einen spezifischen Stromertrag von rund 996 kWh je kWp Anlagenleistung und Jahr – bei idealer Anordnung der PV-Module:

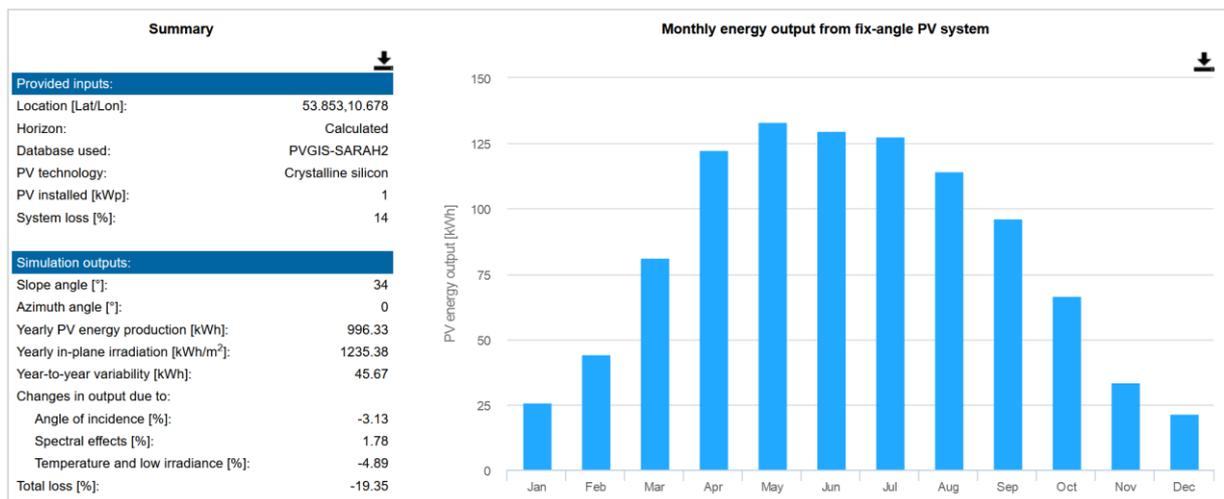


Abbildung 6: Ermittlung des spezifischen PV-Ertrags am Standort für Süd-Ausrichtung der Module (Quelle: EU Science Hub - Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS))

Aufgrund der von der idealen Südausrichtung abweichenden Ausrichtung der Wohngebäude war der ermittelte maximale Wert des spezifischen jährlichen Stromertrags entsprechend anzupassen.

Dabei wurde für die Gebäude angenommen, dass die Aufständigung der PV-Module parallel – ggf. mit geringen Abweichungen – zu den Gebäudeachsen vorgenommen wird.

Mithilfe der sogenannten Einstrahlungsscheibe lässt sich der Korrekturfaktor bei nicht idealer Ausrichtung von PV-Modulen ermitteln:

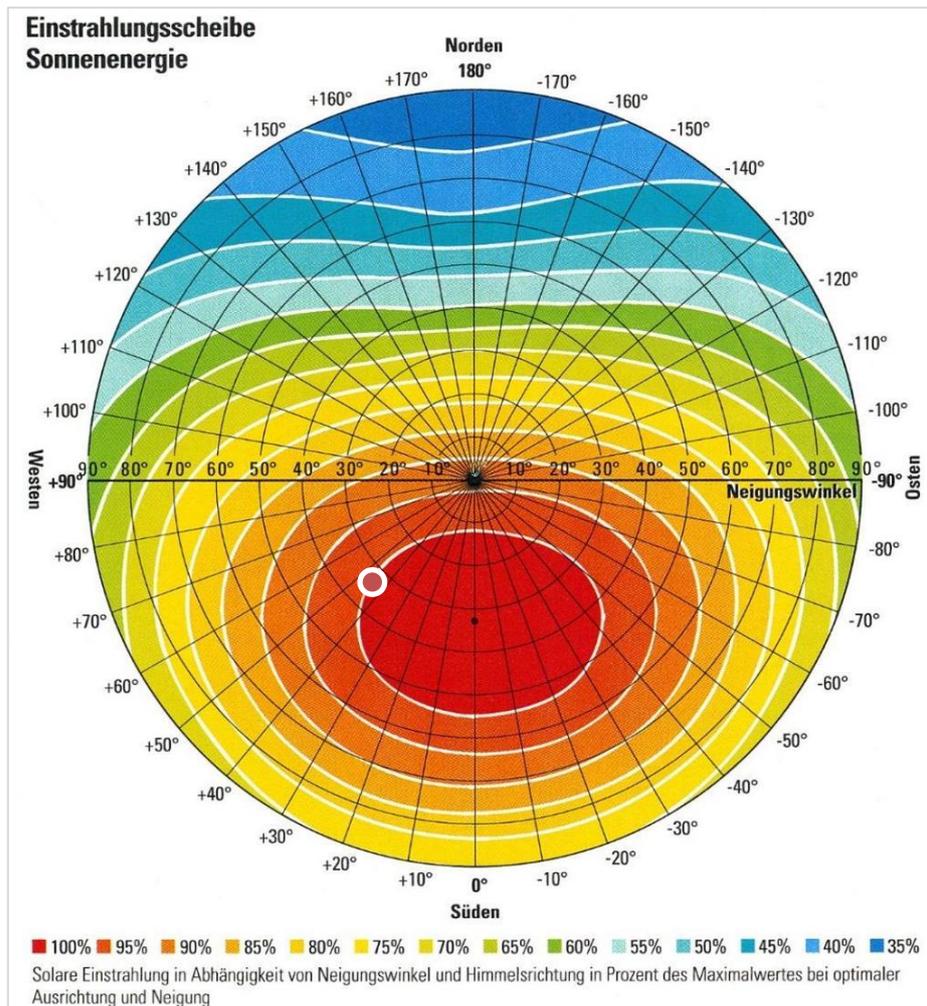


Abbildung 7: Einstrahlungsscheibe Sonnenenergie (Quelle: Photon August 2009)

In Abbildung 7 ist der für die Abschätzung der Solarerträge relevante Bereich markiert:

- ca. +45° im Mittel Abweichung der Ausrichtung der Gebäude von Süden und
- Neigung der Module von ca. 34°

Der durch die genannten Parameter definierte Bereich liegt auf der Grenze zwischen der 95%- und der 100%-Zone, d.h. der Kennwert des spezifischen jährlichen Stromertrags ist nicht durch einen Korrekturfaktor zu mindern bzw. beträgt der Korrekturfaktor 100%.

Die in Frage kommende Dachfläche wurde über die Grundfläche der Dächer unter Berücksichtigung der Staffelgeschosse abgeschätzt.

Um die Lage von Dachdurchdringungen (bspw. für Abluft) sowie die Aufständigung der PV und die Aufstellorte von Wärmepumpen auf den Flachdächern zu berücksichtigen, wurde zur Ermittlung der tatsächlich für PV nutzbaren Dachflächen ein Abschlag von 50 % auf die ermittelten Dachflächen angewendet.

Für die Abschätzung der Anlagenleistungen wurde unterstellt, dass ein PV-Modul eine Leistung von 400 Watt hat.

Tabelle 12: Abschätzung PV-Potenzial des Baugebietes

Dachfläche brutto [m ²]	Tatsächlich nutzbare Dachfläche [m ²]	Abschätzung Anzahl Mo- dule auf Dachfläche	Leistung der Anlagen [kWp]	Jährlicher Ertrag [kWh/a]	CO ₂ - Einsparung [kg CO ₂ /a] ¹⁰
10.331,0	5.165,5	3.228	1.291	1.286.035	604.437

Bei einer Belegung aller für PV nutzbaren Dachflächen lässt sich eine Stromertrag von rund 1.286 MWh pro Jahr generieren. Setzt man diesen Stromertrag in Beziehung zum CO₂-Emissionsfaktor für die Stromerzeugung in 2023 (vgl. Abbildung 5), so kommt man auf eine jährliche Einsparung an CO₂-Emissionen von rund 604 Tonnen im Jahr.

Der in Tabelle 7 dargestellte Strombedarf der Bewohner von insgesamt 1.368 MWh/a (ohne E-Mobilität) kann bilanziell über die Nutzung von Photovoltaik zu 94% gedeckt werden.

Das Photovoltaik-Potenzial für die Nichtwohngebäude wurde aufgrund nicht vorliegender Daten zur Gebäudeplanung / Kubatur nicht betrachtet. Zudem ist festzuhalten, dass die Nutzung der Dachflächen von Nichtwohngebäuden für Photovoltaik wesentlich abhängig von der Gebäudenutzung und der damit verbundenen technischen Gebäudeausrüstung ist, die Dachflächen als Aufstellorte für ggf. erforderliche technische Anlagen benötigt.

¹⁰ Bezogen auf das Jahr 2023

9 Konzeptentwicklung Wohngebäude

Für die Konzeptentwicklung wurde das EH55 als Mindestanforderung und das EH40 für die verbesserte Variante zugrunde gelegt.

Dieses folgte dem Gedanken, dass durch beide energetischen Standards die Effizienzhaus-Systematik beschrieben wird, die auch im Bereich Förderung Neubau angewendet wird. Eine Darstellung der Gebäude im Passivhausstandard mit den dazu gehörenden Randbedingungen wurde aufgrund der abweichenden Bilanzierungssystematik und insbesondere den über den EH40-Standard hinausgehenden baulichen Anforderungen nicht verfolgt.

Die Schule und die KiTa mit Sporthalle als Nichtwohngebäude wurden im Weiteren nicht betrachtet. Begründung hierfür ist, dass der EG40-Standard für Nichtwohngebäude in der Regel ohne überdurchschnittliche Aufwände erreichbar ist. Gerade für den kommunalen Bereich – mit der Vorbildfunktion der öffentlichen Hand – ist außerdem zu beobachten, dass die überwiegende Zahl der Gebäude im EG40-Standard gebaut wird.

9.1 Gebäudehülle

Der Transmissionswärmeverlust der Gebäudehülle ist im EH55 gegenüber dem Referenzgebäude nach Gebäudeenergiegesetz (GEG) 30%, im EH40 45% geringer zu realisieren (vgl. Abbildung 2).

Hierfür müssen die Qualitäten der Bauteile entsprechend dimensioniert werden. Die nachfolgende Tabelle gibt eine Abschätzung der erforderlichen U-Werte der Bauteile bzw. Dämmstärken in den opaken Bauteilen aus der Erfahrung des Verfassers aus begleiteten und gebauten Projekten wieder. Als Vergleichsmaßstab wurde das Referenzgebäude nach GEG 2023 mit aufgeführt.

Tabelle 13: Vergleich Dämmstärken Energiestandards (Wohngebäude)

Bauteil	Referenzgebäude GEG 2023		EH55		EH40	
	U-Wert [W/m ² K]	Dämmstärke WLG	U-Wert [W/m ² K]	Dämmstärke WLG	U-Wert [W/m ² K]	Dämmstärke WLG
Außenwand	0,28	12cm WLG 035	0,17	20cm WLG 035	0,13	24cm WLS 032
(Flach-) Dach	0,20	18cm WLG 035	0,14	24cm WLG 035	0,12	32cm WLS 032
Sohle ¹¹ Außenwand Erdreich	0,35	10cm WLS 036	0,24	14 cm WLS 036	0,17	20cm WLS 036
Fenster	1,3	Zweifach- verglasung	0,90	Dreifach- verglasung	0,76	Dreifach- verglasung
Wärmebrücken ΔU_{WB}	0,05		0,035		0,025	

¹¹ Ohne Trittschalldämmung bei schwimmendem Estrich.

Die Wärmeleitgruppen/-stufen beziehen sich auf die Anwendungsfälle. Angegeben sind die Bemessungswerte der Dämmstoffe. Dämmstoffe aus Polystyrol sollten vermieden werden, da sie eine im Vergleich zu anderen Dämmstoffen, wie bspw. Mineral- und Steinwolle sowie Holzfaserdämmstoffen, schlechtere Ökobilanz aufweisen.

Je nach Konstruktion und Kubatur sind Abweichungen von den abgeschätzten Werten möglich.

9.2 Wärmeversorgung

In Abschnitt 8.3 wurde das Potenzial der verschiedenen Technologien für die Nutzung Erneuerbarer Energie dargestellt. Die Wärmepumpentechnologie wurde als am geeignetsten für die Wärmeerzeugung für die Gebäude am vorliegenden Standort bewertet. Photovoltaik und Solarthermie wurden als ergänzende Komponenten zur Nutzung Erneuerbarer Energie dargestellt.

Folgende Varianten für die Wärmeerzeugung wurden für die Gebäudetypen untersucht:

Tabelle 14: Übersicht Varianten

Variante		Effizienzstandard Gebäude
1	EH55-LW-WP	EH 55 mit Luft-Wasser-Wärmepumpe
2	EH55-WW-WP	EH55 mit Nutzung Kanal-Trave über Wasser-Wasser-Wärmepumpe bspw. als Contracting mit Stadtwerken Lübeck
3	EH40-LW-WP	EH40 mit Luft-Wasser-Wärmepumpe
4	EH40-WW-WP	EH40 mit Nutzung Kanal-Trave über Wasser-Wasser-Wärmepumpe bspw. als Contracting mit Stadtwerken Lübeck

Eine Klimaschutz-Variante wurde nicht untersucht, da in den EH40-Varianten bereits die vollständige Nutzung des Photovoltaik-Potenzials zur Einhaltung des zulässigen Jahresprimärenergiebedarfs aus dem EH40-Standard unterstellt wurde.

9.3 Technische Realisierung

Wärmepumpen

Die Effizienz von Wärmepumpen wird mit dem Kennwert Jahresarbeitszahl (JAZ) beschrieben. Die Jahresarbeitszahl gibt das Verhältnis von zugeführter Energie (Strom) zu erzeugter Energie (abgegebener Wärme) an.

Für die zwei verschiedenen Arten von Wärmepumpen wurden folgende Werte der Jahresarbeitszahl auf der Grundlage von Vergleichsobjekten abgeschätzt. Die angegebenen Werte stellen solide,

technisch machbare Ansätze für beiden Wärmepumpenarten dar und stehen im Einklang mit den Anforderungen der BAFA an die Jahresarbeitszahlen bei Wärmepumpen-Förderung. Der Wert für die Trave-Wasser-Lösung wurde von den Stadtwerken Lübeck abgeschätzt:

Tabelle 15: Ansätze durchschnittliche Werte der Jahresarbeitszahl (JAZ)

Bauart Wärmepumpe	Erreichbare JAZ
Luft-Wasser	3,5
Wasser-Wasser mit Trave-Wasser (Abschätzung Stadtwerke für das Gesamtsystem)	4,0

Trinkwarmwasser

Das Trinkwarmwasser in den Luft-Wasser-Wärmepumpen-Varianten wird in den Gebäuden durch eine sogenannte Exergiemaschine erzeugt. Diese Lösung ist eine Kombination aus einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe, die in Verbindung mit einem Schichtenspeicher energieeffizienter höhere Vorlauftemperaturen im Warmwasserbereich bereitstellen kann, als wenn die Luft-Wasser-Wärmepumpe dieses allein täte. Die Luft-Wasser-Wärmepumpe speist jedoch den Schichtenspeicher mit Wärme und liefert damit die Quelltemperatur, die die Wasser-Wasser-Wärmepumpe dann weiternutzt.

Die Trinkwarmwasserübergabe erfolgt darüber hinaus in allen Varianten mittels Wohnungsstationen. Dieses ermöglicht eine niedrigere Vorlauftemperatur in der Warmwasserzeugung und führt darüber hinaus zu einer Reduzierung von Wärmeverlusten aus Verteilverlusten.

Lüftung

Die Lüftung wurde für alle Gebäude gemäß DIN 1946-6 angenommen. D.h. dass der hygienische Luftwechsel mittels Abluftventilatoren und Nachströmung über Außenluftdurchlässe realisiert wird. Eine Fensterlüftung ist zusätzlich möglich. Diese Annahme, die über eine reine Feuchteschutzlüftung fensterloser Räume nach DIN 18017-3 hinausgeht, ist insofern erforderlich, als dass insbesondere die EH40-Varianten sonst den zulässigen Jahresprimärenergiebedarf nicht erreichen können.

Im Hinblick auf die Erreichung des jeweiligen Effizienzhausstandards wurde anhand von vergleichbaren Objekten und deren Energiebilanz, ermittelt nach DIN V 18599, abgeschätzt, ob und in welcher Größenordnung Photovoltaik-Anlagen erforderlich sind:

Tabelle 16: Ansätze für erforderliche PV-Leistung zur Erreichung EH-Standard

Ansatz PV-Leistung Wohngebäude gesamt [kWp]			
EH55-LW-WP	EH55-WW-WP	EH40-LW-WP	EH40-WW-WP
646	646	1.291	1.291

10 Endenergie- und CO2-Bilanz Wohngebäude

10.1 Endenergiebedarfsabschätzung

In allen betrachteten Wärmeversorgungsvarianten kommen strombasierte Wärmepumpen zum Einsatz. Somit ist als Energieträger für die Gebäudekonditionierung ausschließlich Strom zu betrachten.

Als „Strombedarf Wärmepumpe“ wird im Folgenden die Energie verstanden, die für den Betrieb der Wärmepumpe zur Erzeugung der Wärme für Heizen und Trinkwarmwasserbereitung erforderlich ist. Der „Strombezug extern“ gibt an, wie viel Strom aus dem öffentlichen Netz entweder bezogen wird bzw. – wenn die Strommenge ein negatives Vorzeichen hat – eingespeist wird oder zur Selbstnutzung zur Verfügung steht.

Für die Endenergiebedarfe bzw. den aus dem öffentlichen Netz zu beziehendem Strom lassen sich auf der Grundlage der ermittelten Nutzenergiebedarfe und der dargestellten Variantenkonzepte folgende Werte abschätzen:

Tabelle 17: Endenergieabschätzung – EH55-LW-WP

Variante 1: EH 55 mit Luft-Wasser- Wärmepumpe	Endenergiebedarf [kWh/a]			
	Strombedarf Wärmepumpe	Bedarf Nutzerstrom	erzeugter Strom PV	Strombezug extern
MFH	860.571	1.368.000	643.018	1.585.554

Tabelle 18: Endenergieabschätzung – EH55-WW-WP

Variante 2: EH55 mit Wasser-Was- ser-Wärmepumpe	Endenergiebedarf [kWh/a]			
	Strombedarf Wärmepumpe	Bedarf Nutzerstrom	erzeugter Strom PV	Strombezug extern
MFH	753.000	1.368.000	643.018	1.477.982

Tabelle 19: Endenergieabschätzung – EH40-LW-WP

Variante 3: EH40 mit Luft-Wasser- Wärmepumpe	Endenergiebedarf [kWh/a]			
	Strombedarf Wärmepumpe	Bedarf Nutzerstrom	erzeugter Strom PV	Strombezug extern
MFH	782.786	1.368.000	1.286.035	864.751

Tabelle 20: Endenergieabschätzung – EH40-WW-WP

Variante 4: EH40 mit Wasser-Was- ser-Wärmepumpe	Endenergiebedarf [kWh/a]			
	Strombedarf Wärmepumpe	Bedarf Nutzerstrom	erzeugter Strom PV	Strombezug extern
EFH	684.938	1.368.000	1.286.035	766.902

Grafisch lassen sich die Ergebnisse wie folgt darstellen:

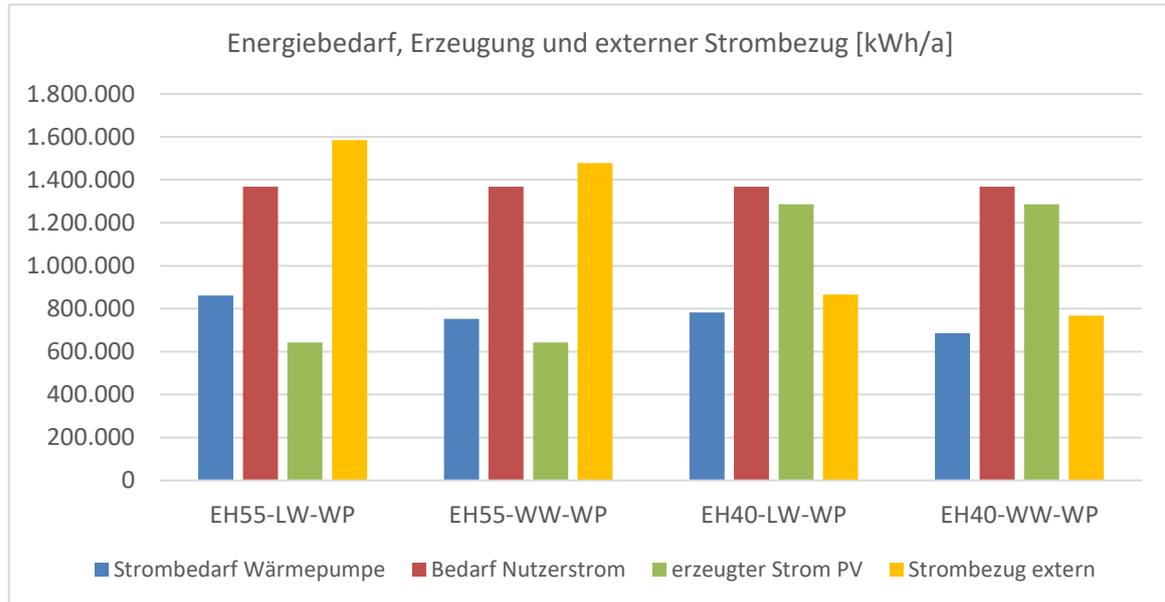


Abbildung 8: Endenergiebedarf Strom pro Jahr in den Varianten

In der vorstehenden Abbildung wird deutlich, dass die EH40-WW-WP deutlich energieeffizienter als die („Standard“-) Variante EH55-LW-WP ist.

10.2 CO₂-Bilanz

Die Endenergiebedarfe aus dem vorigen Abschnitt wurden mit dem CO₂-Emissionsfaktor für den Strom-Mix 2023 gemäß Abbildung 5 bewertet. Dieser liegt bei 0,47 kg CO₂/kWh. Somit ergibt sich unter Berücksichtigung der beheizten Wohnfläche der Gebäude nach Tabelle 6:

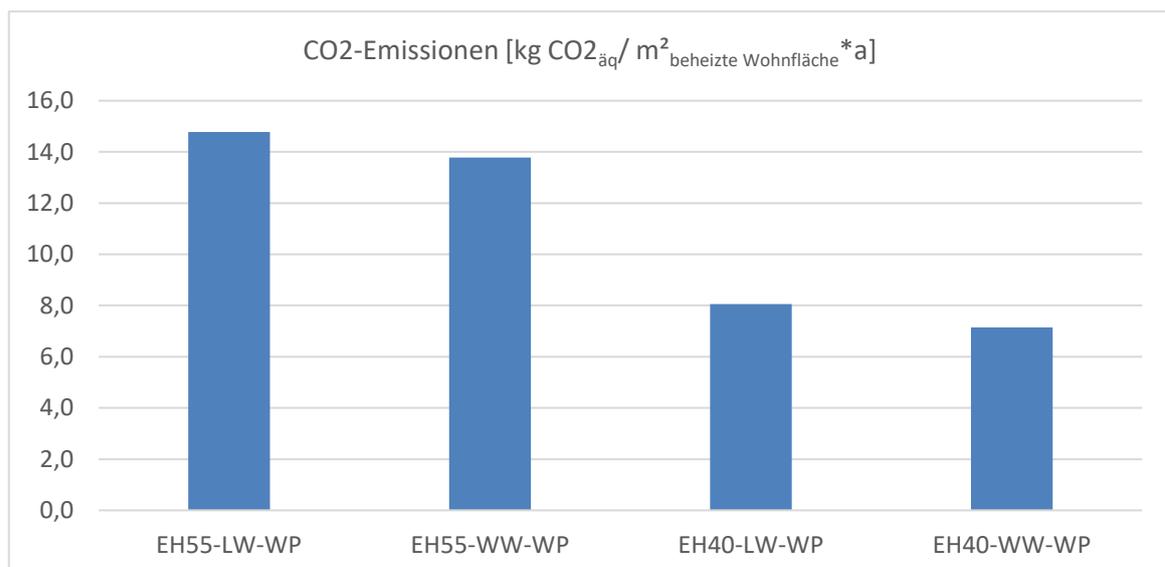


Abbildung 9: Spezifische CO₂-Emissionen in den Varianten

In den EH40-Varianten profitieren die Gebäude vom vollständigen Ansatz des Photovoltaik-Potenzials. Dieses ist in den EH55 Varianten nur zur Hälfte angesetzt, um den Effizienzhausstandard 55 zu erreichen.

Für die Entwicklung der CO₂-Emissionen aus der Wohnbebauung lassen sich auf der Grundlage der Ergebnisse des vorherigen Abschnittes und den CO₂-Emissionsfaktoren für Stromerzeugung gemäß Abbildung 5 folgende Werte abschätzen

Tabelle 21: Abschätzung CO₂-Emissionen Wohngebäude bis 2045

CO ₂ -Emissionen Wohngebäude gesamt [kg CO ₂ äq /a]			
EH55-LW-WP	EH55-SW-WP	EH40-LW-WP	EH40-SW-WP
745.210	694.652	406.433	360.444
688.130	641.444	375.302	332.836
629.465	586.759	343.306	304.460
570.799	532.074	311.310	276.085
512.134	477.388	279.314	247.709
455.054	424.181	248.183	220.101
396.388	369.496	216.188	191.726
337.723	314.810	184.192	163.350
310.769	289.685	169.491	150.313
283.814	264.559	154.790	137.276
256.860	239.433	140.090	124.238
229.905	214.307	125.389	111.201
202.951	189.182	110.688	98.163
174.411	162.578	95.123	84.359
147.457	137.452	80.422	71.322
120.502	112.327	65.721	58.285
93.548	87.201	51.020	45.247
66.593	62.075	36.320	32.210
53.909	50.251	29.402	26.075
39.639	36.950	21.619	19.173
26.954	25.126	14.701	13.037
12.684	11.824	6.918	6.135
0	0	0	0

In der nachstehenden Abbildung sind die gesamten CO₂-Emissionen im Zeitverlauf je Variante aufgetragen:

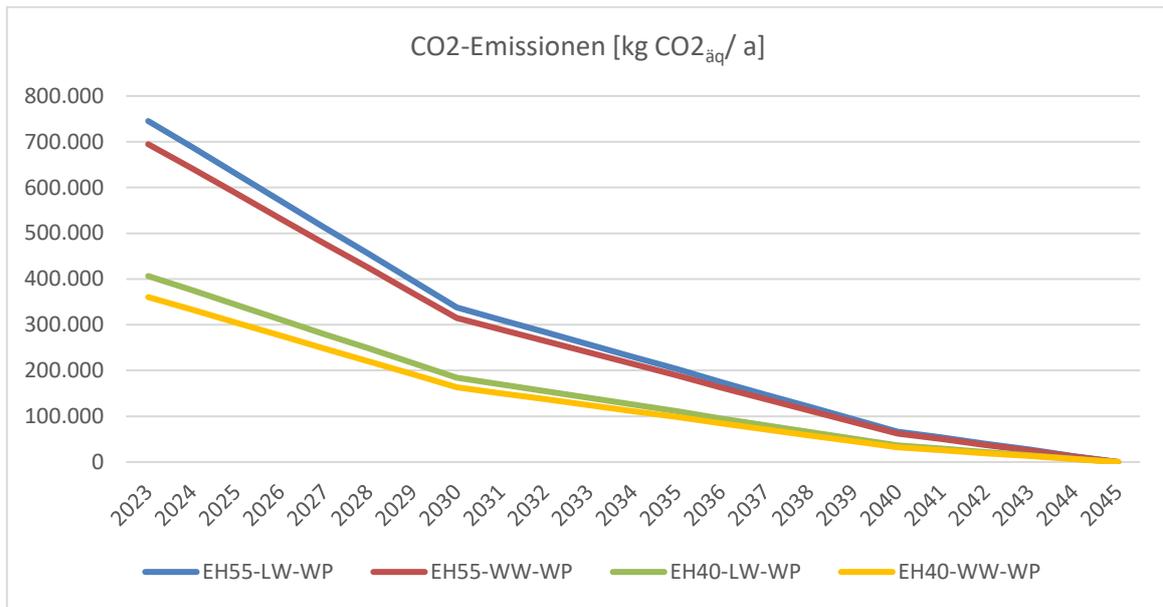


Abbildung 10: Absolute CO2-Emissionen der Varianten im Zeitverlauf bis 2045

11 Investitionskosten

Für die Durchführung der Lebenszykluskostenbetrachtungen sind nur die Kostenpositionen ergebnisrelevant, in denen sich die Varianten unterscheiden. Insofern wurden die Kosten der Baukörper nicht betrachtet. **Berücksichtigt wurden die Investitionskosten für die dargestellte Haustechnik sowie für die energetisch relevanten Bauteile der Gebäudehülle.**

Die Abschätzung der Ansätze für die jeweiligen Investitionskosten erfolgte aus Erfahrungswerten aus vergleichbaren Projekten mit vergleichbaren Gebäuden sowie Kennwerten aus dem BKI.

11.1 Gebäudehülle

Die Kostenabschätzung erfolgte auf der Grundlage der Kostengruppen nach DIN 276. Für Geschosswohnungsbau im mittleren Standard können aktuell folgende Kosten in den Kostengruppen der dritten Ebene der Kostengruppe 300 (Bauwerk – Baukonstruktionen) angesetzt werden:

Tabelle 22: Abschätzung spezifische Investitionskosten der Bauteile für EH55 brutto

KG nach DIN 276	Bezeichnung Kostengruppe	€/m ² BGF
325	Bodenbeläge	20,93 €
334	Außentüren und Fenster	76,25 €
335	Außenwandbekleidung	91,20 €
363	Dachbeläge	47,84 €

Für die Realisierung des EH40-Standards sind aktuell Mehrkosten in den genannten Kostengruppen von 20 Prozent anzusetzen. Diese sind zurückzuführen auf höhere Dämmstärken, energetische hochwertigere Fenster, aber auch baukonstruktive (Mehr-) Maßnahmen, um bspw. im Außenwandbereich die erforderlichen Dämmstärken herstellen zu können.

Tabelle 23: Abschätzung spezifische Investitionskosten der Bauteile für EH40 brutto

KG nach DIN 276	Bezeichnung Kostengruppe	€/m ² BGF
325	Bodenbeläge	25,12 €
334	Außentüren und Fenster	91,49 €
335	Außenwandbekleidung	109,43 €
363	Dachbeläge	57,41 €

Mit den Bruttogrundflächen und den Kostenkennwerten wurde dann auf die hochbaulichen Kostenbestandteile geschlossen, die für den Vergleich relevant sind:

Tabelle 24: (Differenz-) Investitionskosten thermische Gebäudehülle

(Differenz-) Investitionskosten thermische Gebäudehülle			
KG nach DIN 276	Bezeichnung Kostengruppe	EH55	EH40
325	Bodenbeläge	1.266.274 €	1.519.529 €
334	Außentüren und Fenster	4.612.857 €	5.535.428 €
335	Außenwandbekleidung	5.517.338 €	6.620.806 €
363	Dachbeläge	2.894.341 €	3.473.210 €

11.2 Haustechnik

Varianten mit Luft-Wasser-Wärmepumpen

Für die erforderlichen haustechnischen Anlagen in den dezentralen Varianten mit Luft-Wasser-Wärmepumpen wurden vom Ingenieurbüro Planungsteam Nord folgende Ansätze bereitgestellt:

Tabelle 25: Abschätzung Investitionskosten Technikkomponenten in Varianten mit Luft-Wasser-Wärmepumpe brutto

Anzahl	Objekte	Kosten je Einheit	Gesamtkosten
25	Wärmeversorgung Häuser bis 24 WE (inkl. Speicher und Heizungssteuerung, mit Exergiemaschine), mit Inbetriebnahme, ohne Montage	59.500,00 €	1.487.500,00 €
5	Wärmeversorgung Häuser bis 67 WE (inkl. Speicher und Heizungssteuerung, mit Exergiemaschine), mit Inbetriebnahme, ohne Montage	113.050,00 €	565.250,00 €
4	Wärmepumpen für MFH, Heizleistung: 29, 32, 37, 41 kW	41.650,00 €	166.600,00 €
2	Wärmepumpen für MFH, Heizleistung: 50, 52 kW	42.840,00 €	85.680,00 €
5	Wärmepumpen für MFH, Heizleistung: 65, 72, 80, 86 kW	60.690,00 €	303.450,00 €
4	Wärmepumpen für MFH, Heizleistung: 94, 100 kW	61.880,00 €	247.520,00 €
1	Wärmepumpe für MFH, Heizleistung: 107 kW	71.400,00 €	71.400,00 €
1	Wärmepumpe für MFH, Heizleistung: 166 kW	108.290,00 €	108.290,00 €
1	Wärmepumpe für MFH, Heizleistung: 174 kW	115.430,00 €	115.430,00 €
1	Wärmepumpe für MFH, Heizleistung: 209 kW	132.090,00 €	132.090,00 €

Varianten mit Wasser-Wasser-Wärmepumpen

Für das Nahwärmenetz in den Varianten mit Wasser-Wasser-Wärmepumpe hat das Ingenieurbüro Planungsteam Nord Investitionskosten in Höhe von 1,1 Mio. Euro brutto abgeschätzt.

Die Stadtwerke Lübeck haben sich intensiv mit der Wärmeerzeugung unter Nutzung der Kanal-
Trave beschäftigt und untersuchen diese Möglichkeit aktuell weiter.

Eine erste Kostenschätzung geht von Investitionskosten in Höhe von 9,02 Mio. Euro brutto aus.

Darin enthalten ist das Wasserbauwerk, die Heizzentrale mit den Wärmepumpen, ein Erdgas-
Brennwertkessel als Redundanz sowie das Nahwärmenetz und die Hausübergabestationen.

Zieht man die genannten 1,1 Mio. Euro für das Nahwärmenetz inkl. Hausübergabestationen ab, so
kann man für die Realisierung der Heizzentrale bzw. Wärmeerzeugung Investitionskosten von 7,92
Mio. Euro brutto abschätzen.

Photovoltaik

Aufgrund der Anlagengrößen ist von einem spezifischen Kostenkennwert unterhalb derer für Ein-
familienhäuser etc. auszugehen. Aktuelle Vergleichsprojekte haben einen spezifischen Kosten-
kennwert von rund 2.100 Euro je kWp brutto.

12 Lebenszykluskostenbetrachtung

12.1 Allgemeines

In der Lebenszykluskostenberechnung (LCC) wird in der Regel ein Zeitraum von 50 Jahren betrachtet. Grundlage sind die Herstellungskosten der Kostengruppen 300, 400 und 540 nach DIN 276.

Im vorliegenden Fall handelt es sich um eine **Differenzkostenbetrachtung** für den Variantenvergleich. Daher werden **nur die Kostenpositionen** betrachtet, **die für das Ergebnis des Vergleichs relevant** sind.

Die Berechnung erfolgt dynamisch mit jährlichen Preissteigerungen (allgemeine Preissteigerung, Preissteigerung Energiekosten). Der Berechnung liegt die dynamische Kapitalwertmethode zugrunde. Dabei werden alle Zahlungen im Zeitraum mit dem Kalkulationszinssatz auf den heutigen Zeitpunkt abgezinst, um den sogenannten Barwert der Zahlungen zu berechnen.

Der Barwert wurde als durchschnittlicher Kostenkennwert pro Quadratmeter beheizter Wohnfläche im Betrachtungszeitraum interpretiert.

12.2 Ansätze

Für die Berechnung der entstehenden Kosten durch CO₂-Emissionen ist gemäß „Anforderungsprofil für die Erstellung eines Energiekonzeptes“ für 2023 ein Kostensatz von 205 €/t CO₂_{äq} zu wählen. Dies ist höher als die derzeit geltende CO₂-Steuer, entspricht jedoch (in Anlehnung) der Empfehlung des Umweltbundesamtes (Quelle: Umweltbundesamt, Methodenkonvention 3.1 zur Ermittlung von Umweltkosten; Kostenansätze; 12/2020). Für die Folgejahre ist mit einem jährlichen Anstieg der Folgekosten in Höhe von 2,0 €/t CO₂_{äq} zu rechnen. Die für die CO₂-Kosten zugrunde zu legenden CO₂-Emissionen wurden mithilfe der CO₂-Emissionsfaktoren gemäß Abbildung 5 und der Endenergiebedarfe der Varianten ermittelt.

Folgende Ansätze wurden getroffen:

Tabelle 26: Grundlegende Ansätze für die Lebenszykluskostenbetrachtung

	Ansatz
Betrachtungszeitraum	30 Jahre
Kalkulationszinssatz	2,0 % nominal p.a.
Allgemeine Preissteigerungsrate	2,0 % p.a.
Energiepreissteigerungsrate	2,0 % p.a.
Preisansatz Strombezug brutto	0,38 €/kWh
Ansatz CO ₂ -Steuer	gemäß Anforderungsprofil
Nutzungsdauer Luft-Wasser-Wärmepumpe nach VDI 2067	18 Jahre
Nutzungsdauer Wasser-Wasser-Wärmepumpe nach VDI 2067	20 Jahre
Instandsetzung Wärmepumpe nach VDI 2067	1% der Herstellkosten
Wartung und Inspektion Wärmepumpe nach VDI 2067	1,5% der Herstellkosten

In Bezug auf die allgemeine Preissteigerungsrate wurde angenommen, dass sich innerhalb des 30-jährigen Betrachtungszeitraums wieder eine moderatere als die derzeitige Preissteigerungsrate einstellt – insbesondere auch aufgrund der Maßnahmen, die durch die EZB getroffen werden, um die Inflation in einem Bereich um 2 Prozent zu halten.

Die Kosten im Lebenszyklus für den Strombedarf wurden mit den aktuellen im historischen Vergleich hohen Arbeitspreisen angesetzt. Es wird dabei davon ausgegangen, dass damit ein historisch hohes Preisniveau erreicht ist. Die bspw. in Zertifizierungssystemen genutzte Preissteigerung von 5% im Jahr erscheint daher zu hoch. Es wurde daher für die Energiekosten eine jährliche dynamische Preissteigerung von 2% angesetzt.

Auf der Grundlage der bisher ermittelten Ergebnisse und Ansätze wurde die Lebenszyklusbetrachtung für die Varianten durchgeführt.

Die Kostenarten Wartung und Instandsetzung sind dabei als Summenpositionen zu verstehen, in denen die jeweiligen Wartungs- und Instandsetzungskosten für die verschiedenen Technikkomponenten einer Variante aufsummiert sind.

Der Nutzerstrom wurde nicht berücksichtigt. Würde er in die Berechnung der Lebenszykluskosten miteingehen, so kann man den Kostenkennwert nicht mehr in Bezug auf einen Mietpreisanteil pro m² Wohnfläche interpretieren. Zudem ist der Nutzerstrom in allen Varianten in gleicher Höhe vorhanden und damit nicht ergebnisrelevant.

12.3 Berechnung

Für die Gebäude wurden folgende Lebenszykluskosten ermittelt:

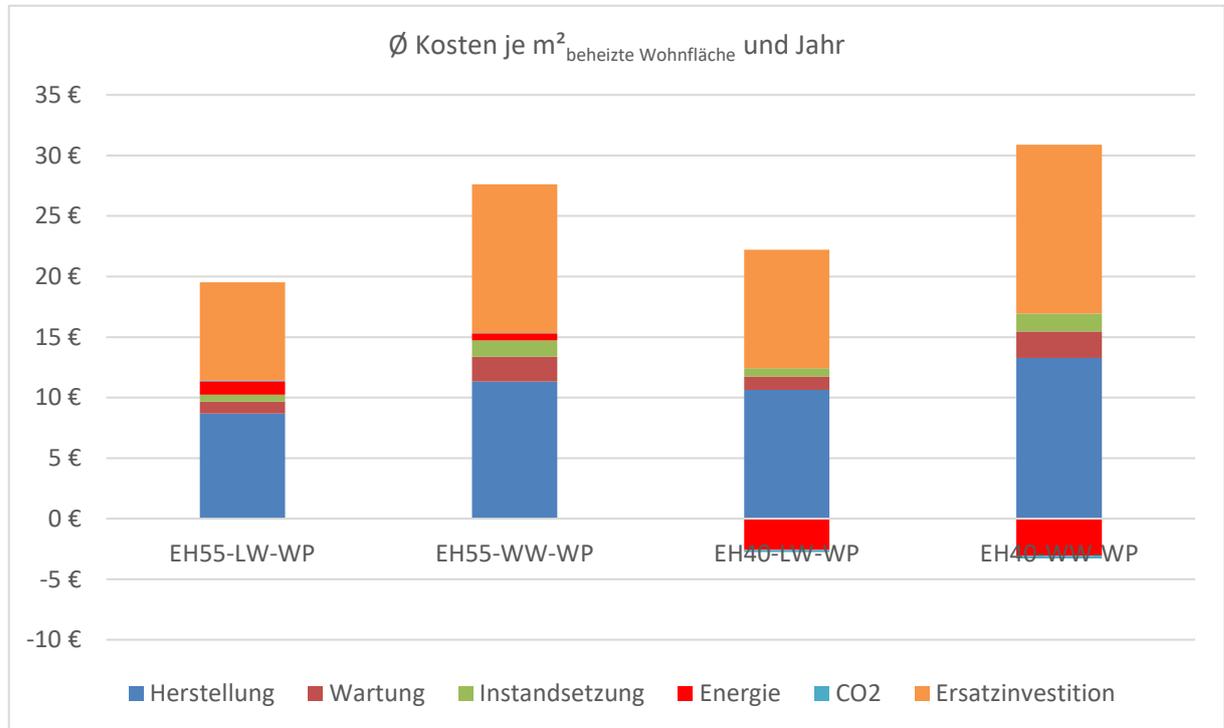


Abbildung 11: Ø Kosten je m²_{beheizte Wohnfläche} und Jahr der Varianten unterteilt in Kostenarten

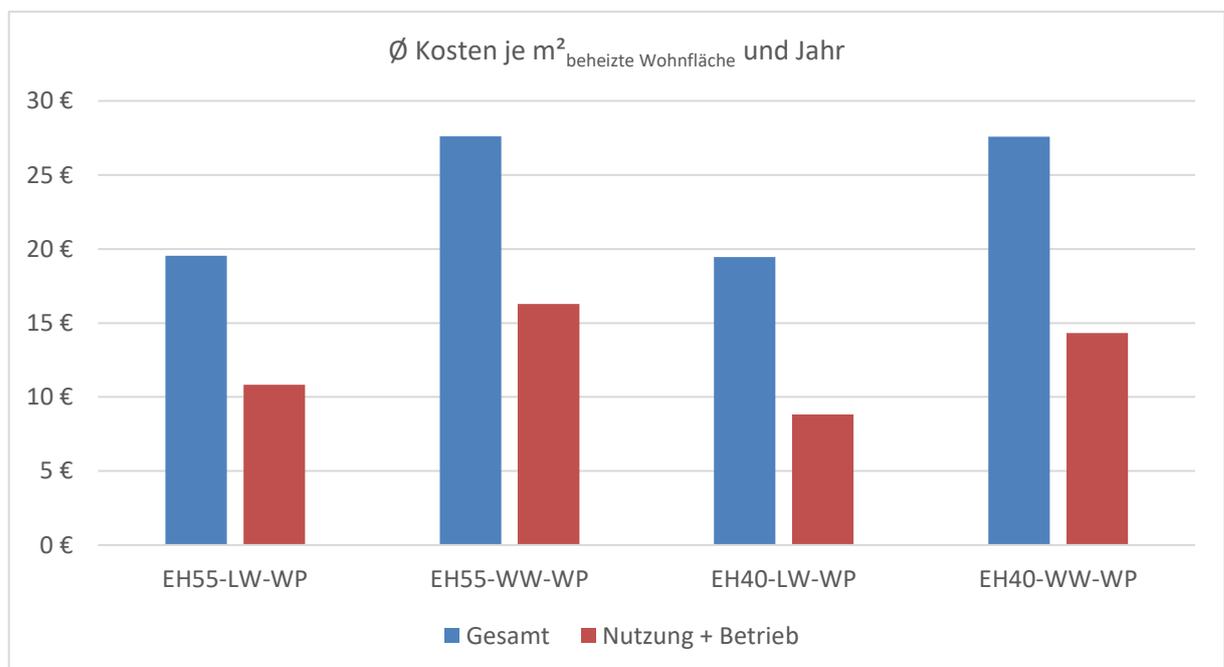


Abbildung 12: Ø Kosten je m²_{Nutzfläche} und Jahr der Varianten

Nachfolgend sind die zugehörigen durchschnittlichen Kostenkennwerte nochmals tabellarisch dargestellt:

Tabelle 27: Barwerte der Varianten unterteilt in Kostenarten bezogen auf m^2_{beheizte} Wohnfläche

Barwert €/m ² _{BGF}	Herstellung	Wartung	Instand- setzung	Energie	CO2-Steuer	Ersatz- investition	Gesamt	Nutzung + Betrieb
EH55- LW-WP	261 €	29 €	17 €	33 €	2 €	243 €	586 €	325 €
EH55- WW-WP	340 €	61 €	41 €	17 €	1 €	368 €	828 €	489 €
EH40- LW-WP	319 €	33 €	21 €	-77 €	-5 €	293 €	584 €	265 €
EH40- WW-WP	398 €	66 €	45 €	-93 €	-6 €	418 €	828 €	430 €

Die Spalte Nutzung und Betrieb umfasst alle Kosten, die nach der Errichtung des Gebäudes und seiner technischen Anlagen entstehen. Die Spalte Ersatzinvestition spiegelt die Kosten wider, die für den Austausch von Anlagen nach Ablauf ihrer Nutzungsdauer durch gleichwertige Anlagen entstehen.

Deutlich wird, dass der höherwertige Standard EH40 mit geringeren Energiekosten als beim EH55 einhergeht.

Das Ergebnis für die EH40-Varianten in der Spalte Energie und CO2-Steuer ist so zu interpretieren, dass eine Gutschrift bei den Energiekosten (und CO2-Kosten) generiert wird, die insbesondere für die Elektromobilität nutzbar ist. Dieser Sichtweise liegt die Annahme zugrunde, dass der erzeugte Strom auch vollständig für die Gebäudekonditionierung verwendet wird.

Die Variante EH55-LW-WP generiert die geringsten Herstellungskosten, kann aber sowohl bei der Betrachtung der Gesamtkosten im Zeitraum von 30 Jahren als auch der Kosten von Nutzung und Betrieb des Gebäudes (Wartung, Instandhaltung, Energie, CO2-Steuer, Ersatzinvestitionen) daraus keinen Vorteil ziehen. Am wirtschaftlichsten ist die Variante EH40-LW-WP.

13 Quartiersbilanzen Wohngebäude

Die Ergebnisse der vorherigen Abschnitte wurden genutzt, um Quartiersbilanzen für den Endenergiebedarf und die CO₂-Emissionen inklusive E-Mobilität und Ausnutzung des abgeschätzten Photovoltaik-Potenzials zum einen für den heutigen Zeitpunkt, zum anderen für das Jahr 2045 aufzustellen.

Die durch PV erzeugten Strommengen in den Varianten, um den Effizienzhausstandard zu erreichen, wurden beim PV-Potenzial abgezogen.

Für die Endenergie-Quartiersbilanz ergibt sich damit:

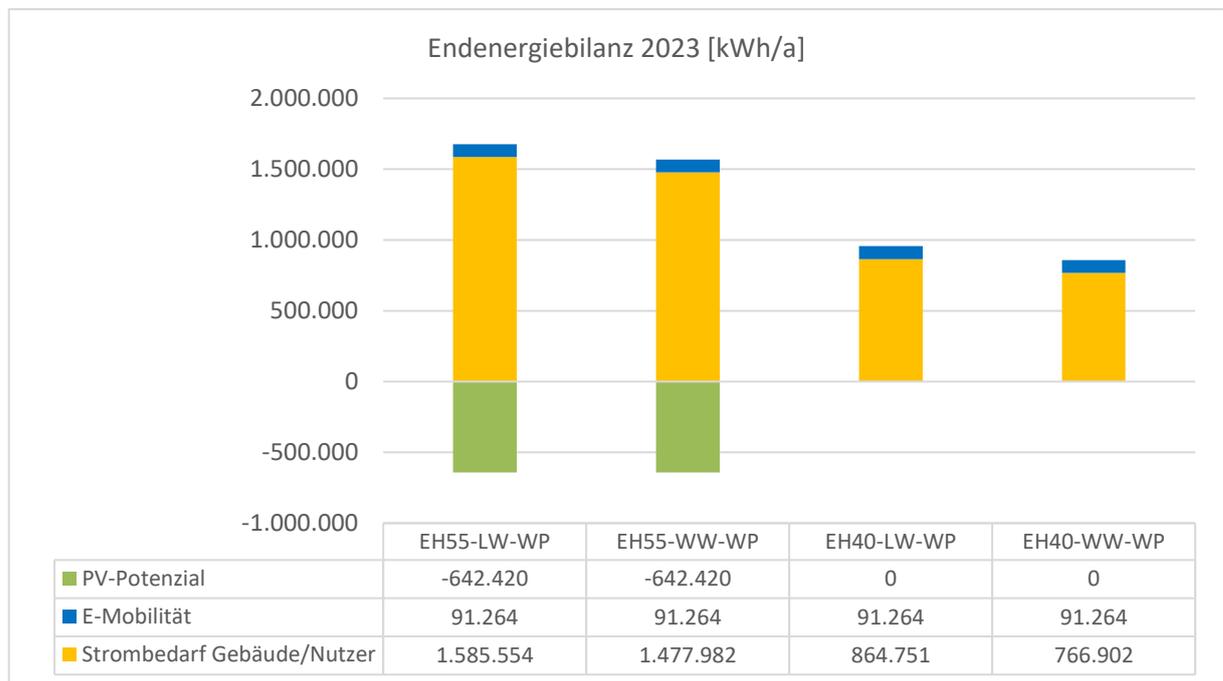


Abbildung 13: Endenergiebilanz für das Baugebiet für den heutigen Zeitpunkt

Das ermittelte PV-Potenzial des Gebietes ist demnach rechnerisch nicht in der Lage, die Endenergiebedarfe bilanziell zu kompensieren.

Die E-Mobilität würde aktuell nur einen unwesentlichen Anteil zum Endenergiebedarf des Quartiers beitragen.

Die Größenordnungen in der CO₂-Bilanz für das Quartier für 2023 verhalten sich analog den dargestellten Endenergiebedarfen:

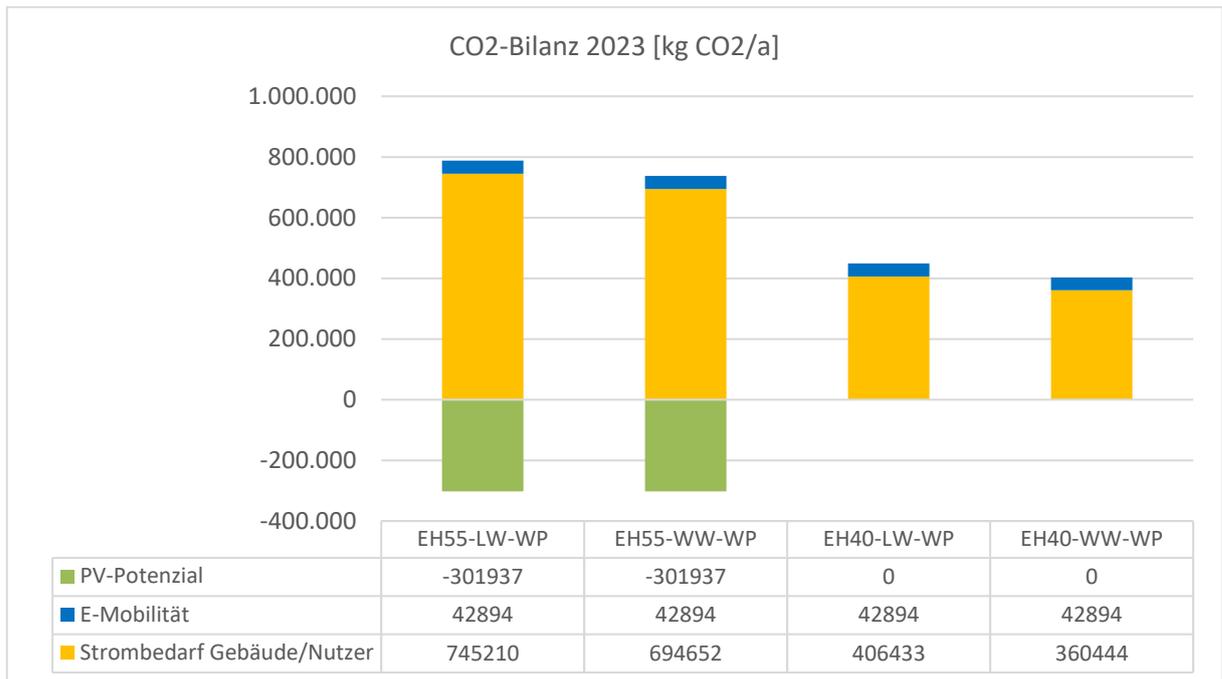


Abbildung 14: CO₂-Bilanz für das Baugebiet für den heutigen Zeitpunkt

Das dargestellte Potenzial der Stromerzeugung durch Photovoltaik auf den Dächern der Gebäude ist bilanziell nicht in der Lage, das Baugebiet in allen emissionsfrei für den heutigen Zeitpunkt auszuweisen.

Für das Jahr 2045 stellt sich der Sachverhalt anders dar, wesentlich beeinflusst durch den zukünftigen Anteil des Endenergiebedarfs für E-Mobilität am gesamten Endenergiebedarf – siehe nachfolgende Abbildung.

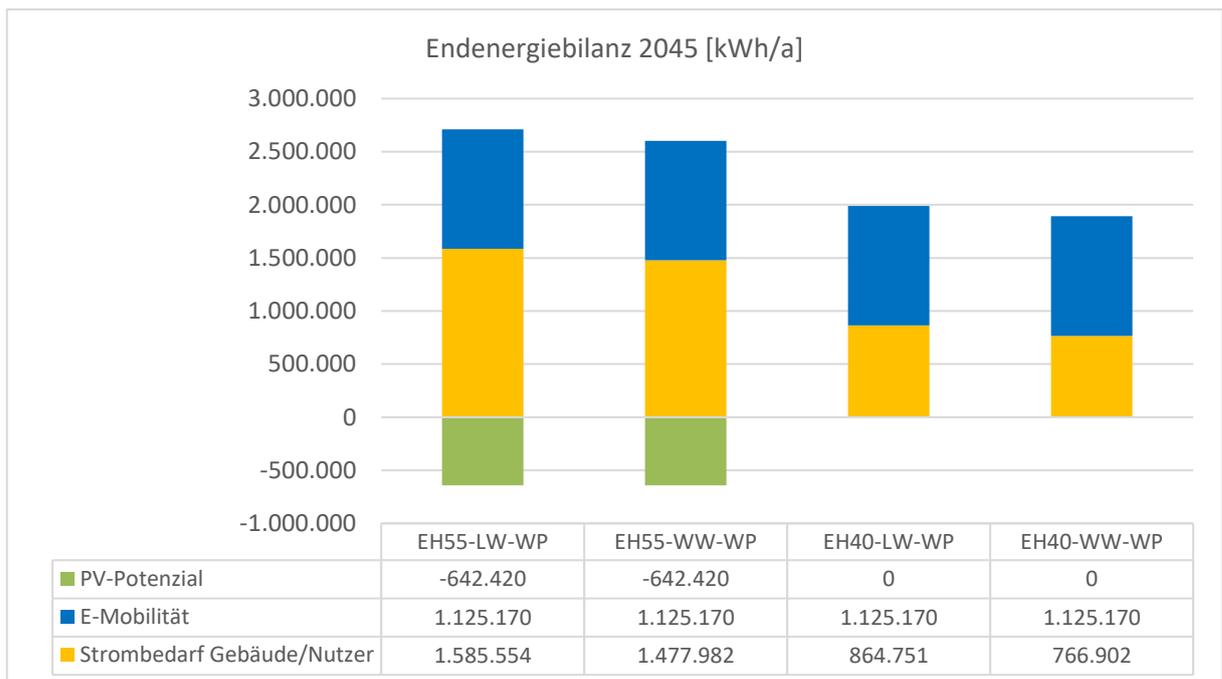


Abbildung 15: Endenergiebilanz für das Baugebiet für das Jahr 2045



Die Wirkung des wachsenden Anteils der E-Mobilität am Endenergiebedarf wird aber durch den ab 2045 prognostizierten CO₂-Emissionsfaktor für die Stromerzeugung von Null kg CO₂/kWh kompensiert. Demzufolge ist das Quartier ab 2045 emissionsfrei.

14 KfN-Förderung - Klimafreundlicher Neubau

Seit dem 01.03.2023 fördert der Bund Neubauvorhaben im Rahmen des KfW Förderprogramms *Klimafreundlicher Neubau (KfN)*. Dieses Förderprogramm ersetzt im Neubaubereich die Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG).

Gefördert wird der Neubau oder Erstkauf von Wohngebäuden in den Programmen 297/298.

14.1 Förderstufen

Für Wohngebäude stehen die zwei folgenden Förderstufen zur Verfügung:

- Klimafreundliches Wohngebäude (KFWG)
Ein Wohngebäude erreicht diese Förderstufe, wenn es die Effizienzhaus-Stufe 40 erreicht, in seinem Lebenszyklus so wenig CO₂ ausstößt, dass die Anforderung an Treibhausgasemissionen des „Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude Plus“ erfüllt werden und nicht mit Öl, Gas oder Biomasse beheizt wird.
- Klimafreundliches Wohngebäude – mit QNG (KFWG – Q)
Ein Wohngebäude erreicht diese Förderstufe, wenn es die Effizienzhaus-Stufe 40 erreicht, die Anforderungen des „Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude Plus“ (QNG-PLUS) oder des „Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude Premium (QNG-PREMIUM)“ erfüllt – bestätigt durch ein Nachhaltigkeitszertifikat und nicht mit Öl, Gas oder Biomasse beheizt wird.
D.h. für das Erreichen dieser Förderstufe ist eine Nachhaltigkeitszertifizierung für das Gebäude durchzuführen.

Der maximale Kreditbetrag richtet sich nach der angestrebten Förderstufe:

- Klimafreundliches Wohngebäude: 100.000 Euro je Wohneinheit
- Klimafreundliches Wohngebäude mit QNG: 150.000 Euro je Wohneinheit

Zuschüsse werden nicht mehr gewährt.

Es ist eine Kreditlaufzeit von bis zu 35 Jahren möglich, die Zinsbindung beträgt bis zu 10 Jahren.

In beiden Förderstufen sind folgende Maßnahmen förderfähig:

- den Bau und den Kauf einschließlich Nebenkosten
- die Planung und Baubegleitung durch die Experten für Energieeffizienz und Nachhaltigkeit
- die Nachhaltigkeitszertifizierung

14.2 Anforderungen

Die Anforderungen zur Erreichung der einzelnen Förderstufen wurden bereits in Tabelle 2 dargestellt.

14.3 Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG)

Das „Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude“ (QNG) des Bundes ist ein staatliches Qualitätssiegel für Gebäude. Das Qualitätssiegel wird in den Anforderungsniveaus „PLUS“ oder „PREMIUM“ vergeben. Mit beiden Stufen (Plus oder Premium) erreicht man die Förderung KFN – Q. Voraussetzung für seine Vergabe ist ein Nachweis der Erfüllung allgemeiner und besonderer Anforderungen an die ökologische, soziokulturelle und ökonomische Qualität von Gebäuden. Die Bundesregierung, vertreten durch das jeweilige Bundesministerium mit der Zuständigkeit für das Bauwesen (Bundesbauministerium), legt die Kriterien und Bedingungen für das Qualitätssiegel fest. Das Qualitätssiegel wird nach einer Zertifizierung im Auftrag des Bundesbauministeriums durch unabhängige Stellen vergeben.

Die Erfüllung der Anforderungen ist durch eine unabhängige Prüfung nach Baufertigstellung anhand der abgeschlossenen Planungs- und Bauprozesse und auf Grundlage der Überprüfung ausgewählter realisierter Qualitäten nachzuweisen.

Die Anforderungen für die Vergabe eines QNG-Siegels für Wohngebäude gliedern sich in die allgemeinen und die besonderen Anforderungen. Im Folgenden sind die verschiedenen Anforderungen aufgeführt und es wird dargestellt, welche Anforderungen für die beiden Förderstufen jeweils notwendig sind.

Tabelle 28: Anforderungen QNG Wohngebäude

Anforderung		Notwendig für	
		KFWG	KFWG – Q
Allgemeine	Nachhaltigkeitszertifizierung durch ein registriertes Bewertungssystem (z.B. DGNB)	Nein	Ja
Besondere	1. Treibhausgasemissionen und Primärenergiebedarf	-	-
	a) Treibhausgasemissionen (GWP) kleiner als 24 kg CO ₂ Äqu./m ² a (für Konstruktion und Nutzung über 50 Jahre)	Ja	Ja
	b) Primärenergiebedarf nicht erneuerbar kleiner als 96 kWh/m ² a (für Konstruktion und Nutzung über 50 Jahre)	Nein	Ja

Anforderung		Notwendig für	
		KFWG	KFWG – Q
2. Nachhaltige Materialgewinnung	Mindestens 50% der verbauten Hölzer, Holzprodukte und/oder Holzwerkstoffe nachweislich aus nachhaltiger Forstwirtschaft (FSC, PEFC und CoC Nachweise).	Nein	Ja
3. Schadstoffvermeidung in Baumaterialien	Alle bauausführenden Firmen sind vertraglich zur Einhaltung der QNG Qualitätsanforderungen an die Schadstoffvermeidung verpflichtet plus die Firmen erklären nach Fertigstellung ihrer Leistungen deren Erfüllung.	Nein	Ja
4. Barrierefreiheit	Für mindestens 80% der Wohneinheiten und der Gemeinschaftsflächen des Gebäudes wird die Erfüllung von 7 der 8 Anforderungen des Standards „ready besuchsgesegnet“ nachgewiesen. Für Reihen- und Einfamilienhäuser entfällt das Kriterium (s. unten „Leitkriterien zur Barrierefreiheit“).	Nein	Ja

15 Zusammenfassung und Empfehlung

Für das Baugebiet Geniner Ufer / Welsbachstraße in der Hansestadt Lübeck wurde auf der Grundlage des Städtebaulichen Entwurfs vom 06.05.2022 ein Energiekonzept erstellt.

Die Bebauung des Baulands soll mit 22 Mehrfamilienhäusern, einer Schule und einer KiTa mit Sporthalle erfolgen. Die Gebäude sind mindestens in einem Effizienzhausstandard 55 zu errichten.

Für die Nichtwohngebäude wurde unterstellt, dass diese generell im EG40-Standard errichtet werden, insbesondere auch aufgrund der Vorbildfunktion der öffentlichen Hand, aber auch um Zuschüsse aus dem Förderprogramm „Klimafreundlicher Neubau“ erlangen zu können.

Im Rahmen der Entwicklung des Energiekonzeptes wurden mehrere Varianten zur Wärmeerzeugung untersucht:

1. Holzhackschnitzelverbrennung mit Holzvergasung und BHKW
2. Tiefengeothermie
3. Dezentrale Lösung mittels Wärmeerzeugung durch Luft-Wasser-Wärmepumpen je Gebäude
4. Zentrale Lösung mit Nutzung des Trave-Wassers durch Wasser-Wasser-Wärmepumpen und Verteilung der Wärme über ein Nahwärmenetz

Die erste Variante wurde aufgrund der Auflage der Hansestadt Lübeck, Holz als Energieträger auszuschließen, verworfen.

Für die zweite Variante wurden erheblich Projektrisiken ermittelt. Insbesondere die mit Abstand höchsten Investitionskosten führten zu einem Ausschluss der Variante.

Die Varianten drei und vier sind nach derzeitigem Stand technisch machbar und wurden daher im vorliegenden Energiekonzept betrachtet. In Kombination mit den zwei verschiedenen energetischen Standards EH55 und EH40 konnten vier hochwertige energetische Lösungen untersucht werden.

Alle Variante sind aufgrund der Wärmepumpentechnologie rein strombasiert. Im Hinblick auf die deutliche Reduzierung des CO₂-Emissionsfaktors im Strom-Mix Deutschland bis 2045 nehmen die CO₂-Emissionen aller Varianten stetig ab, bis dann in 2045 – der Prognose nach – alle Varianten emissionsfrei sein werden.

Aus den Ergebnissen der Lebenszykluskostenbetrachtungen gehen die Konzepte mit Luft-Wasser-Wärmepumpe als Favoriten hervor. Insbesondere das Konzept „EH40 mit Luft-Wasser-Wärmepumpe“ stellt sich als wirtschaftlich vorteilhaftestes für die Gebäude dar.

Die Ergebnisse der Lebenszykluskostenbetrachtungen für die Gebäudetypen führen zu der Empfehlung, die Konzept mit Luft-Wasser-Wärmepumpe weiter zu planen und in einer vertieften Kostenschätzung auf der Grundlage der konkreten Gebäudeplanung gegenüberzustellen.