

Bebauungsplan 19.03.00, Hansestadt Lübeck Niendorf / Holzkoppel

Energiekonzept Stufe 1



Objekt: Bebauungsplan 19.03.00 der Hansestadt Lübeck, Niendorf / Holzkoppel

Entwickler: BMF Immobilien GmbH & Co.KG, Am Industriehafen 3, 24937 Flensburg

System: -

Planungsstand: Städtebaulicher Entwurf vom 24.06.2021

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

Bearbeiter: -

Version:	08.03.2022	Energiekonzept
	22.02.2023	Ergänzungen zum Energiekonzept (Abschnitt 14)

Inhaltsverzeichnis:

1	Städtebaulicher Entwurf	4
2	Aufgabenstellung: Energiekonzept zum Bebauungsplan Stufe 1	5
3	Vorgehensweise.....	6
4	Energetische Vorgaben für das Energiekonzept	6
4.1	<i>Genereller energetischer Standard</i>	6
4.2	<i>Wärmeverteil- und -übergabesysteme</i>	7
4.3	<i>Lüftung.....</i>	7
4.4	<i>Energieträger</i>	7
4.5	<i>Darstellung der Energiebedarfe</i>	7
4.6	<i>Solar-Anlagen</i>	8
4.7	<i>Flexibilität der vorgesehenen Systeme.....</i>	8
5	Ermittlung des voraussichtlichen Energiebedarfs	9
5.1	<i>Flächenermittlung.....</i>	9
5.2	<i>Ermittlung des Nutzenergiebedarfs</i>	9
5.3	<i>Elektro-Mobilität.....</i>	12
6	Nutzung Erneuerbare Energien	16
6.1	<i>Grundsätzliche Überlegungen zu Energieträgern</i>	16
6.2	<i>Dezentrale und zentrale Ansätze</i>	18
6.3	<i>Potenzialanalyse Erneuerbare Energien</i>	19
6.4	<i>Potenzial Solarthermie.....</i>	22
6.5	<i>Potenzial Photovoltaik Stromerträge.....</i>	22
7	Konzeptentwicklung	24
7.1	<i>Gebäudehülle.....</i>	24
7.2	<i>Wärmeversorgung</i>	25
7.3	<i>Technische Realisierung.....</i>	25
8	Endenergie- und CO₂-Bilanz Gebäude.....	27
8.1	<i>Endenergiebedarfsabschätzung für Gebäudetypen.....</i>	28
8.2	<i>CO₂-Bilanz für Gebäudetypen</i>	30
8.3	<i>Endenergieabschätzung Quartier</i>	30
9	Investitionskosten.....	33
9.1	<i>Gebäudehülle.....</i>	33
9.2	<i>Haustechnik</i>	34
10	Fördermittel für Effizienzhäuser.....	36

11	Lebenszykluskostenbetrachtung	37
11.1	<i>Lebenszykluskosten Einfamilienhaus</i>	<i>38</i>
11.2	<i>Lebenszykluskosten Doppelhaushälfte.....</i>	<i>40</i>
11.3	<i>Lebenszykluskosten Reihenhauses</i>	<i>42</i>
12	Quartiersbilanzen	45
13	Zusammenfassung und Empfehlung.....	48
14	Ergänzungen zum Energiekonzept – 22.02.2023.....	50
14.1	<i>Wirtschaftlichkeit.....</i>	<i>50</i>
14.2	<i>Förderung der KfW-Bank für Neubauten</i>	<i>50</i>
15	Anhang.....	52

1 Städtebaulicher Entwurf

Der Geltungsbereich des Bebauungsplans „19.03.00 – Niendorf / Holzkoppel“ liegt im Stadtteil Moisling, Ortsteil Niendorf / Moorgarten, südöstlich der Grundstücke Niendorfer Hauptstraße 93b bis 97a zwischen den Straßen Holzkoppel und Hellkamp. Begrenzt wird das ca. 1,67 ha große Plan-
gebiet

- im Südwesten durch die rückwärtigen Gartengrundstücke der Wohnbebauung entlang der Straße Holzkoppel,
- im Nordosten durch die rückwärtigen Gartengrundstücke der Wohnbebauung entlang der Straße Hellkamp,
- im Nordwesten durch die rückwärtigen Gartengrundstücke der Wohnbebauung entlang der Niendorfer Hauptstraße sowie
- im Südosten durch eine landwirtschaftliche Fläche.

Die Abbildung 1 gibt den Städtebaulichen Entwurf, Stand 10.11.2021 wieder:

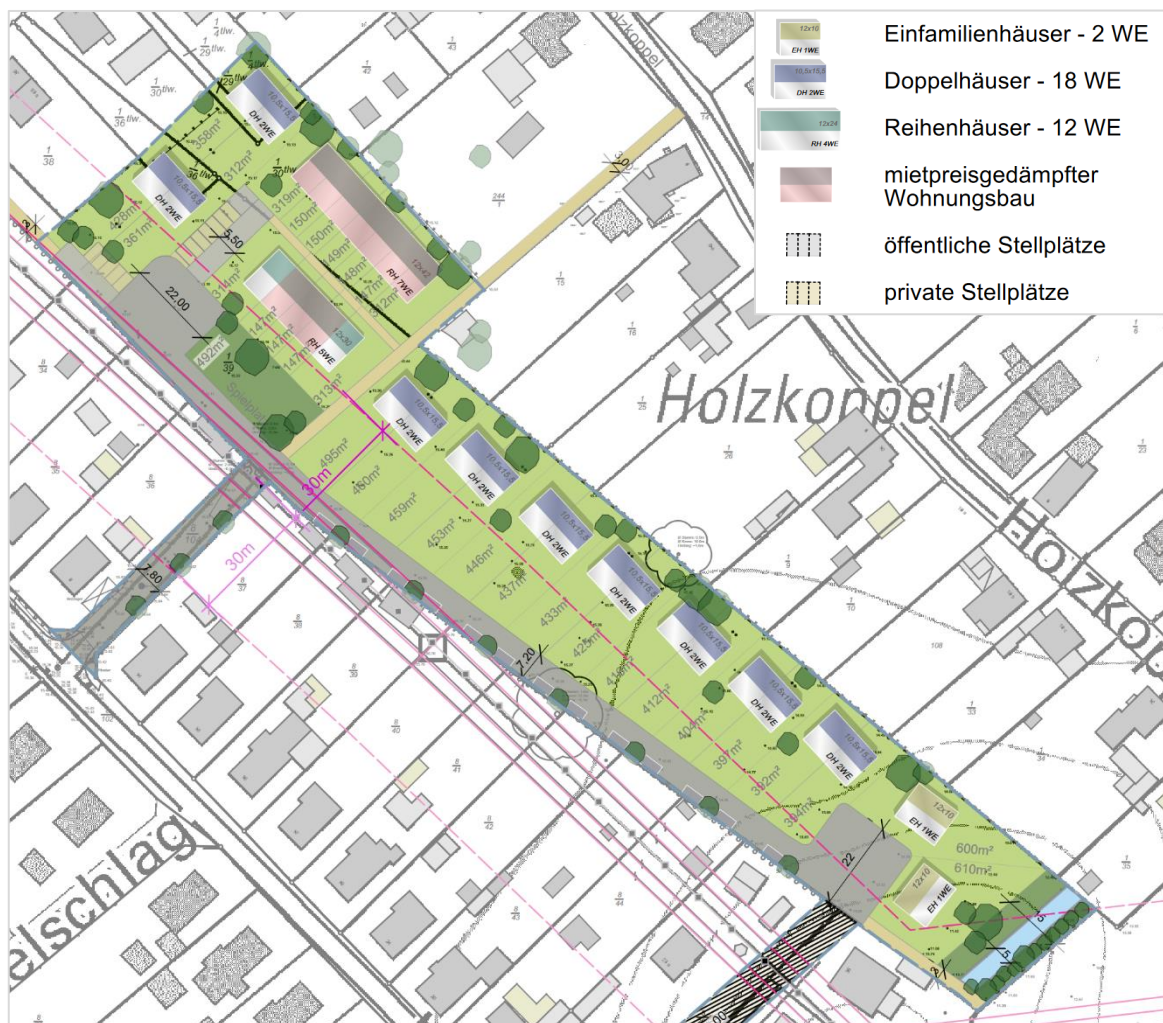


Abbildung 1: Städtebaulicher Entwurf Baugebiet Lübeck Niendorf / Holzkoppel

Der Bebauungsplan soll die planungsrechtlichen Voraussetzungen für die Entwicklung eines Wohngebiets zur Bebauung mit Doppelhäusern, Reihenhäusern und freistehenden Einzelhäusern schaffen.

Der Städtebauliche Entwurf, Stand 10.11.2021, sieht folgende Bebauung vor:¹

- 2 Einfamilienhäuser (EFH) mit Satteldach: 280 m² Wohnfläche
- 18 Doppelhaushälften (DH) mit Satteldach: 2.250 m² Wohnfläche
- 12 Reihenhäuser, verteilt auf zwei Reihenhaus-Baukörper (RH): 1.380 m² Wohnfläche

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

2 Aufgabenstellung: Energiekonzept zum Bebauungsplan Stufe 1

Im Rahmen der Erstellung des Bebauungsplans 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 Ausschreibung eines Energiekonzeptes Stufe 1 – zum Bebauungsplan 19.03.00“ 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.

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

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 Energetische Vorgaben für das Energiekonzept

4.1 Genereller energetischer Standard

Für die Gebäude wird ein Energiestandard gefordert, der mindestens 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).

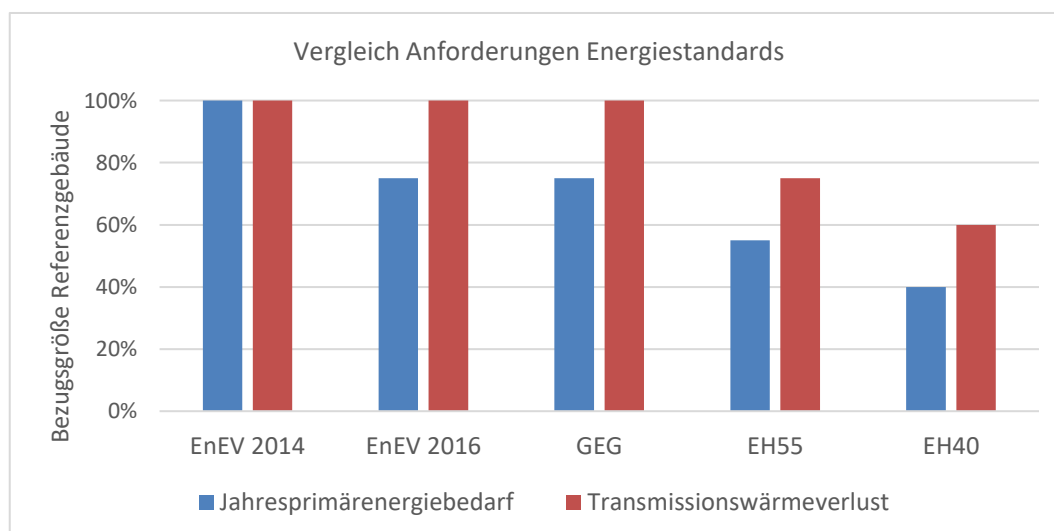


Abbildung 2: Vergleich Anforderungen Energiestandards (bezogen auf Wohnbau)

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. Dieser ist entweder ein Passivhausstandard oder ein KfW-Effizienzhausstandard 40 (EH40) für den jeweiligen Gebäudetyp zugrunde zu legen.

4.2 Wärmeverteils- 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.

4.3 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.

4.4 Energieträger

Die Nutzung fossiler Energieträger ist mit Ausnahme von Erdgas auszuschließen. Die Nutzung von Erdgas soll aber in der Erstellung des Energiekonzeptes nach Möglichkeit vermieden werden.

4.5 Darstellung der Energiebedarfe

Im Interesse der Vergleichbarkeit mit anderen Energiekonzepten sind für die unterschiedlichen Gebäudetypen die Jahresenergiebedarfe gemäß Tabelle 1 in Kilowattstunden je Quadratmeter Nutzfläche [kWh/m²a] differenziert nach Heizung, Warmwasser und Strom zugrunde zu legen.

Tabelle 1: Anzusetzende Jahresenergiebedarfe für Heizen, Warmwasser, Strom nach Gebäudetyp
(Quelle: Anforderungsprofil Energiekonzept / Energiekonzept Lauerhofer Feld, KApplus Ingenieur-Büro
Vollert)

Jahresnutzenenergiebedarf [kWh/m _{BGF} ² *a]	Heizen	Warmwasser	(Nutzer-) Strom
Freistehendes Einfamilienhaus ² (EFH)			
Doppelhaushälfte (DH)	40	18	17
Reihenhaus (RH)	35	18	20

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

4.6 Solar-Anlagen

Unabhängig vom System der Wärmeversorgung soll eine Belegung der Dachflächen mit Solar-Anlagen (Statik / Gestaltung) in das Energiekonzept einbezogen werden.

4.7 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.

² Wurden im Energiekonzept Lauerhofer Feld nicht ermittelt.

5 Ermittlung des voraussichtlichen Energiebedarfs

Auf der Grundlage der vorgenannten Rahmenbedingungen wurden sowohl die Nutzenergiebedarfe je Gebäudotyp differenziert nach Heizen, Warmwasser und Strom als auch die gesamten Nutzenergiebedarfe für das Baugebiet ermittelt.³

Zugrunde gelegt wurde der Städtebauliche Entwurf für das Baugebiet, Stand 20.10.2021.

5.1 Flächenermittlung

Auf der Grundlage des Städtebaulichen Entwurfs vom 10.11.2021 können für die Nutzflächen folgende Werte abgeschätzt werden:

Tabelle 2: Abschätzung Nutzflächen Neubauten im Baugebiet

Gebäudetyp	Anzahl Gebäude	Nutzfläche [m ²]	
		je Gebäudetyp	Gesamt
EFH	2	140	280
DH ⁴	18	125	2.250
RH	12	115	1.380

Die Bruttogrundfläche kann aus den Werten der Nutzflächen abgeschätzt werden:⁵

Tabelle 3: Abschätzung Bruttogrundfläche Neubauten im Baugebiet

Gebäudetyp	Anzahl Gebäude	Bruttogrundfläche BGF [m ²]	
		je Gebäudetyp	Baugebiet gesamt
EFH	2	164,7	329,4
DH	18	147,1	2.647,8
RH	12	135,3	1.623,6

5.2 Ermittlung des Nutzenergiebedarfs

Die vorgegebenen Jahresenergiebedarfe in Abhängigkeit vom Gebäudetyp enthalten keine Angaben für Einfamilienhäuser (vergleiche Tabelle 1). Dementsprechend war für den Gebäudetyp EFH eine Annahme zu treffen.

³ Nutzenergiebedarfe meint hier die Energiebedarfe an der Gebäudegrenze exkl. Anlagenverluste aber inkl. Verteil- und Zirkulationsverlusten (bei zentraler Warmwasserbereitung).

⁴ Im Folgenden Abkürzung für Doppelhaushälfte

⁵ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie / Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat: Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand, Stand 15.04.2021, Abschnitt 4: Umrechnungsfaktor von BGF zu NGF = 0,85

Für die Einfamilienhäuser wurde unterstellt, dass diese – aufgrund des größeren Anteils der thermischen Gebäudehülle bezogen auf die Wohnfläche – einen höheren spezifischen Jahresenergiebedarf Heizen besitzen, verglichen mit Doppelhaushälften. Die Bedarfe für Warmwasser und Strom wurden als identisch zum Doppelhaus angenommen.

Damit ergeben sich die in Tabelle 4 dargestellten spezifische Jahresenergiebedarfe für die Ermittlung der Energiebedarfe des Baugebiets. Zu beachten ist, dass – abweichend von Energiebedarfsrechnungen gemäß GEG bzw. Angaben in Energieausweisen – die Bruttogrundfläche der Gebäudetypen die Bezugsgröße für die Berechnungen darstellt.

Tabelle 4: Ansätze spezifische Jahresnutzenenergiebedarfe je Gebäudetyp für EH55-Standard

Gebäudetyp	Jahresnutzenenergiebedarf spezifisch [kWh/m _{BGF} ² *a]		
	Heizen	Warmwasser	(Nutzer-) Strom
Freistehendes Einfamilienhaus	45	18	17
Doppelhaushälfte	40	18	17
Reihenhaus	35	18	20

Mithilfe der Bruttogrundflächen und Werten für die spezifischen Jahresnutzenenergiebedarfe konnten die Nutzenergiebilanzen für die Gebäudetypen und das Baugebiet insgesamt abgeschätzt werden, unter der Annahme, dass die Neubauten als EH55 realisiert werden:

Tabelle 5: Jahresnutzenenergiebedarfe je Gebäudetyp für EH55-Standard

Gebäudetyp	BGF [m ²]	Jahresnutzenenergiebedarf [kWh/a]		
		Heizen	Warmwasser	(Nutzer-) Strom
Freistehendes Einfamilienhaus	164,7	7.412	2.965	2.800
Doppelhaushälfte	147,1	5.884	2.648	2.501
Reihenhaus	135,3	4.736	2.435	2.706

Tabelle 6: Abschätzung absoluter Jahresnutzenenergiebedarf des Baugebietes für EH55-Standard

Gebäudetyp	Anzahl Gebäude	Jahresnutzenenergiebedarf absolut [kWh/a]		
		Heizen	Warmwasser	(Nutzer-) Strom
Freistehendes Einfamilienhaus	2	14.823	5.929	5.600
Doppelhaushälfte	18	105.912	47.660	45.013
Reihenhaus	12	56.826	29.225	32.472
Summe		177.561	82.814	83.084

Das Baugebiet weist in Summe einen jährlichen Nutzenergiebedarf von ca. 178 MWh/a für Heizen, ca. 83 MWh/a für Warmwasser und rund 83 MWh/a für Strom auf.

In den nachfolgenden Grafiken sind u.a. die Anteile an den jeweiligen Jahresnutzenergiebedarfen für die Gebäudetypen dargestellt. Auf die Doppelhäuser entfallen demnach jeweils die größten Anteile für Heizen, Warmwasser und Strom.

Aus der Auswertung des gesamten Nutzenergiebedarfs wird deutlich, dass die Beheizung der Gebäude mit 52% den größten Energieanteil einnimmt.

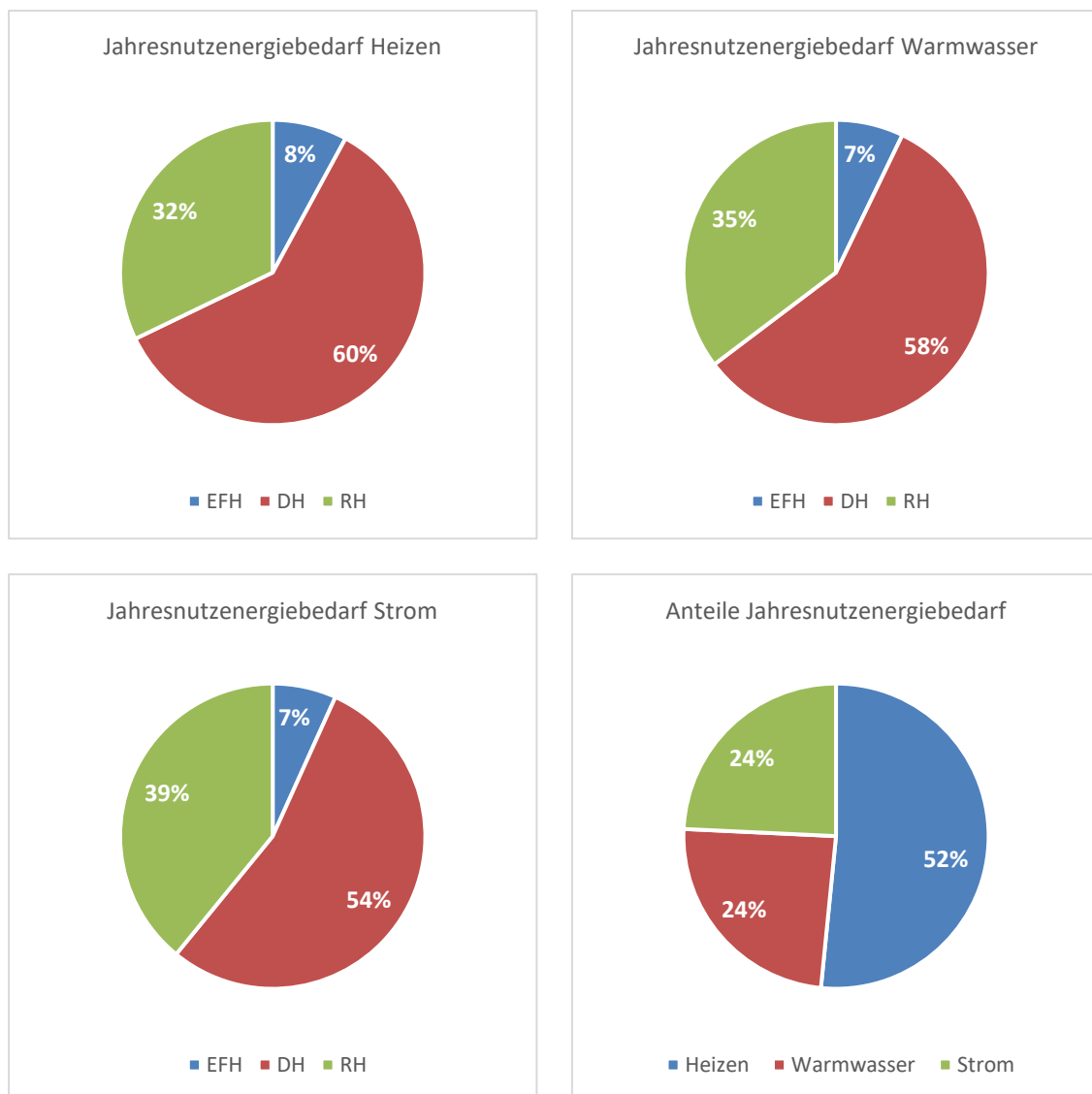


Abbildung 3: Auswertung Anteile an Nutzenergiebedarfen des Baugebietes

5.3 Elektro-Mobilität

Die Planung des Stromnetzes hat die zunehmende Elektro-Mobilität in den zugehörigen höheren Hausanschlussleistungen zu berücksichtigen. Es muss davon ausgegangen werden, dass in der Zukunft je Haus mindestens eine Ladestation benötigt wird.

Im Bereich der EFH und DH lässt sich dieses unproblematisch am oder in direkter Nähe zum Gebäude umsetzen. Für die Reihenhäuser sind Elektroladesäulen in der Nähe der zugehörigen Stellplätze an der Straße zu planen.

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

- **Jährliche Fahrleistung**

Das Kraftfahrtbundesamt gibt die durchschnittliche jährliche Fahrleistung für PKW mit 13.323 km für das Jahr 2020 an:⁶

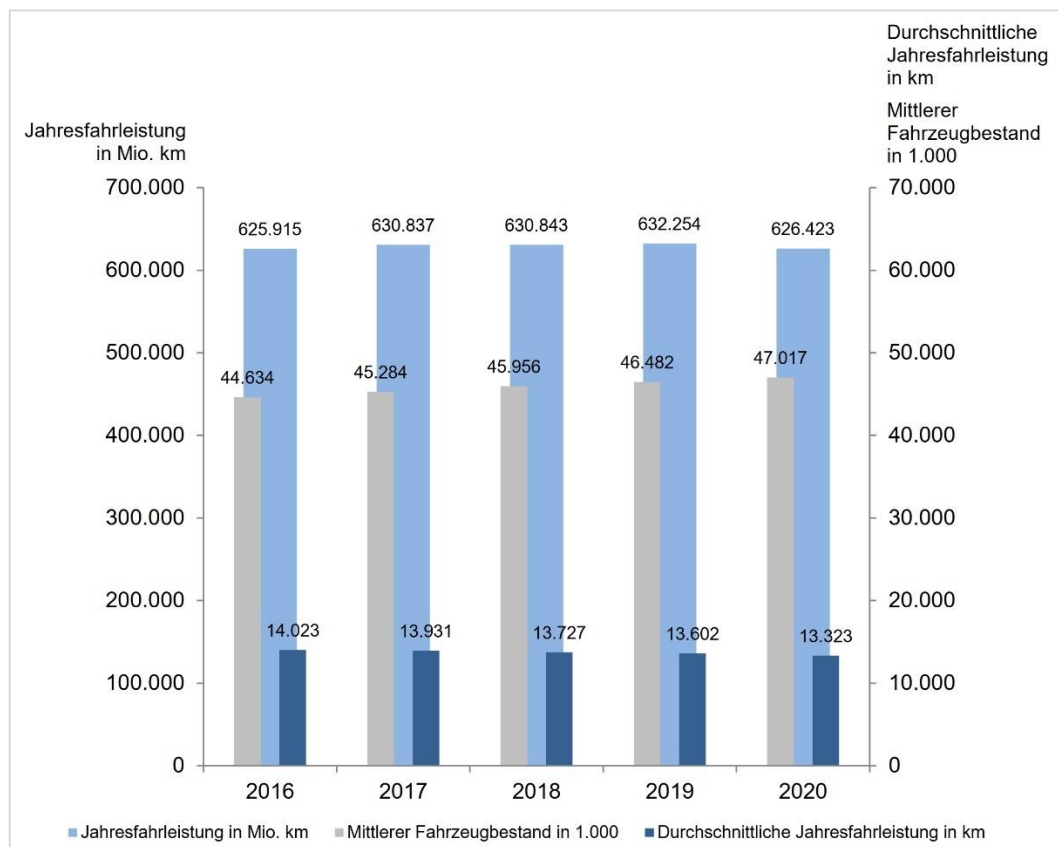


Abbildung 4: Entwicklung der Jahresfahrleistung und des mittleren Fahrzeugbestandes von Pkw seit 2016 (Quelle: Kraftfahrtbundesamt)

Es wird für die Abschätzung des Energiebedarfes unterstellt, dass die Fahrleistung im betrachteten Zeitraum gleichbleibt.

⁶ https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/VerkehrKilometer/vk_inlaenderfahrleistung/vk_inlaenderfahrleistung_node.html?yearFilter=2020

▪ **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 (Rand-) Lage des Baugebietes Niendorf / Holzkoppel ist im Hinblick auf die Fahrleistungen der zukünftigen Bewohner und Bewohnerinnen davon auszugehen, dass die Fahrleistung überdurchschnittlich 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 %. D.h. für den ländlichen Raum kann abgeschätzt werden, dass die Fahrleistung 13 % höher liegt, als für Bewohner und Bewohnerinnen in den Städten.

Für den Korrekturfaktor für die jährliche Fahrleistung ist demnach ein Wert von 1,13 anzusetzen.

▪ **Anzahl PKW pro Haushalt**

Für die Abschätzung der Anzahl an PKW pro Haushalt ist die Anzahl an aktuell geplanten Stellplätzen nur bedingt aussagekräftig, da die Haushalte insbesondere im Bereich der Doppelhäuser und Einfamilienhäuser ihre Stellplatzsituation auf ihrem Grundstück individuell gestalten. Demgegenüber wurde über die Studie „Mobilität in Deutschland“ ein Ansatz generiert. Orientiert wurde sich dabei an der Stadtregion „kleinstädtischer, dörflicher Raum“:

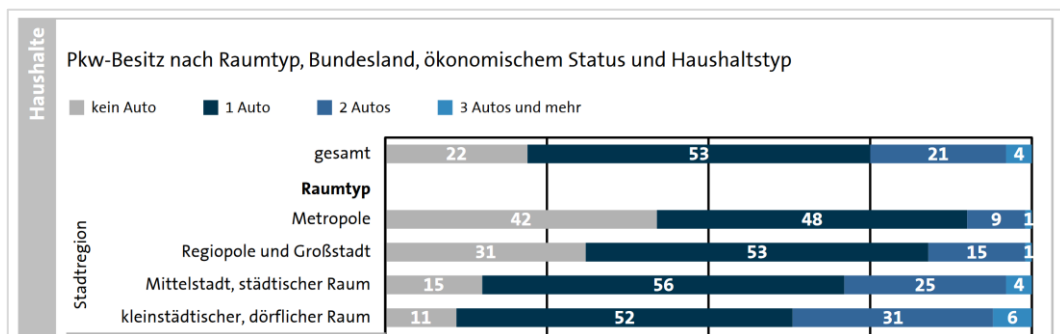


Abbildung 5: PKW-Besitz nach Raumtyp (Quelle: Mobilität in Deutschland – MiD Ergebnisbericht⁷)

⁷ Nobis, Claudia und Kuhnimhof, Tobias (2018): Mobilität in Deutschland – MiD Ergebnisbericht. Studie von infas, DLR, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministers für Verkehr und digitale Infrastruktur (FE-Nr. 70.904/15). Bonn, Berlin. www.mobilitaet-in-deutschland.de

Demzufolge kommen auf 100 Haushalte 132 PKW. Rechnet man diese Werte auf die Anzahl der geplanten Wohneinheiten von 32 um, so kommt man auf rund 42 PKW für das Baugebiet.

Dieses deckt sich fast mit dem Wert, den man aus den von der Hansestadt Lübeck vorgegeben Stellplatzfaktoren für das Baugebiet erhält: 1 Stellplatz pro Wohneinheit und 0,4 je Wohneinheit Besucherstellplätze, im Gesamtergebnis 45 Stellplätze.

Es ist davon auszugehen, dass die Bewohner und Bewohnerinnen auch öffentliche Stellplätze in Anspruch nehmen werden und selbst nicht nur 32 PKW (einer je Wohneinheit) abstellen werden. Daher wird er Ansatz mit 42 PKW weiterverfolgt.

▪ **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 Niendorf / Holzkoppel getroffen – unter Berücksichtigung der städtischen Randlage:

Tabelle 7: Abschätzung Energiebedarf E-Mobilität

Abschätzung Energiebedarf E-Mobilität		
Jährliche durchschnittliche Fahrleistung PKW lt. KBA	km/a	13.323
Korrekturfaktor B-Plangebiet	-	1,13
Jährliche durchschnittliche Fahrleistung PKW B-Plangebiet	km/a	15.055
Abgeschätzte Anzahl PKW im B-Plangebiet		42
Jährliche Fahrleistung B-Plangebiet absolut	km/a	632.310
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	9,23
Strombedarf B-Plangebiet E-Mobilität 2050	MWh/a	113,82

Addiert man den Strombedarf für E-Mobilität zum Nutzerstrombedarf in

Tabelle 6, so ergibt sich ein Anteil von rund 11 % der E-Mobilität am sich ergebenden Gesamtstrombedarf (für 2025). In 2050 läge dieser Anteil dann aber schon bei 57,8%.

6 Nutzung Erneuerbare Energien

6.1 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 2020⁸. Die dortigen Berechnungen basieren auf statistischen Daten und für die zukünftigen Daten auf Projektionen von AGE⁹, BMWi und UBA.

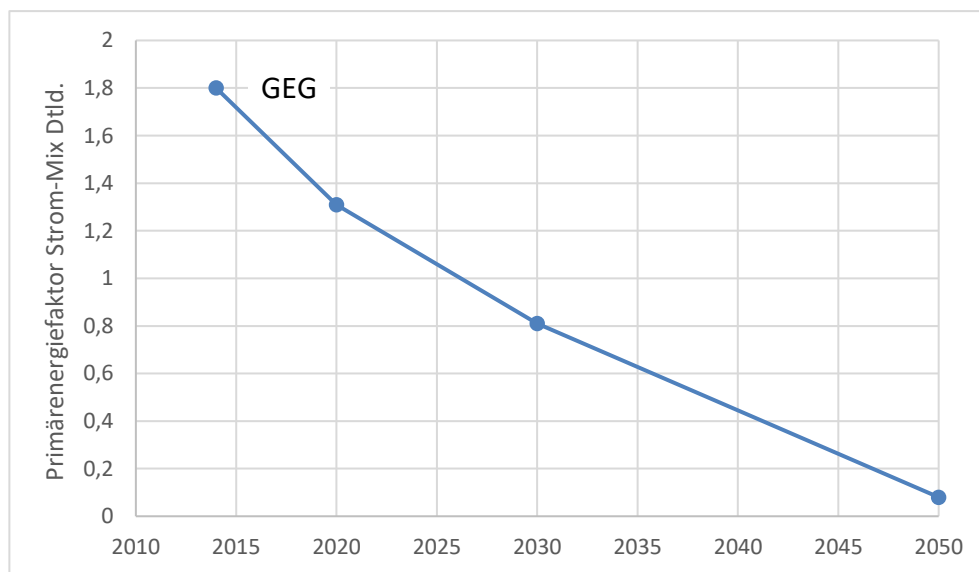


Abbildung 6: Projektion Primärenergiefaktor für den nichterneuerbaren Anteil für den Strommix (Quelle: IINAS 2020, eigene Darstellung)

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.

Eine ähnliche Projektion ergibt sich für die CO₂-Emission, siehe Abbildung 7. Auch die Treibhausgasemissionen werden bis 2050 erheblich abgesenkt, so dass sich für 2030 ein prognostizierter CO₂-Emissionsfaktor von 0,269 kg/ kWh und für 2050 ein Faktor von nur noch 0,03 kg/ kWh aus den Studienergebnissen ergeben.

⁸ 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.

⁹ Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.

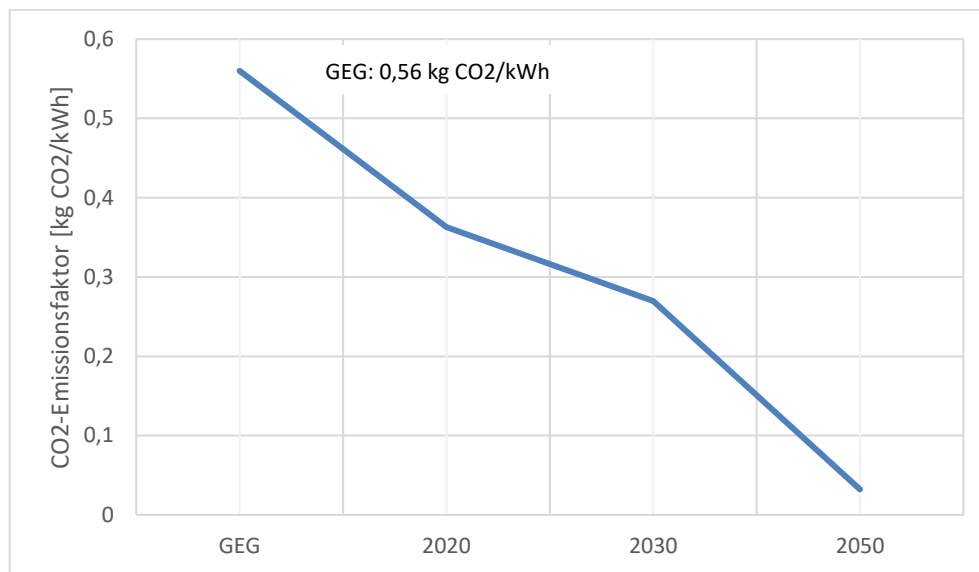


Abbildung 7: Projektion CO2-Emissionsfaktor für den Strom-Mix Deutschland (Netz) (Quelle: IINAS 2020, eigene Darstellung)

Demgegenüber bleiben der Primärenergiefaktor und der CO2-Emissionsfaktor von Erdgas im Zeitverlauf unverändert.

Im Hinblick auf den Klimaschutz lassen sich also kommende, noch höherwertige energetische Standards im Gebäudebereich nicht mehr mit dem Energieträger Erdgas verwirklichen. Erdgasbasierte Wärmeerzeugung kann nur als Redundanz in Technikkonzepten für Ausnahmesituationen gesehen werden.

Die Erzeugung und Nutzung von synthetischem Biomethan bzw. die Biogasproduktion 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.

6.2 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 ungedämmt 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.

6.3 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.

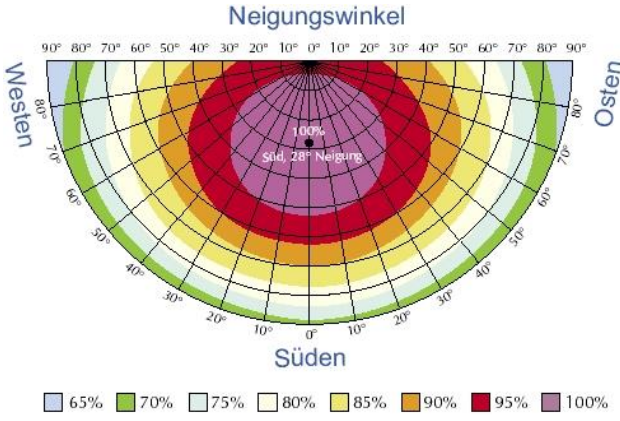
Die Bewertung wurde farblich vorgenommen:

- 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 8: Potenzialanalyse Erneuerbare Energien

Bereich	Beschreibung	Bewertung
Nah-/Fernwärmepotenzial	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Es besteht ein Fernwärmenetz der Stadtwerke Lübeck nord-östlich vom Baugebiet. Eine Erweiterung dieses Netzes ist nicht geplant. ▪ Der (wirtschaftliche) Aufwand für die Errichtung eines Nahwärmenetzes kann als unverhältnismäßig hoch im Vergleich zum Jahresnutzenenergiebedarf Wärme (Heizen + WW) bewertet werden. Ursächlich dafür ist die Größe des Baugebietes und die ausschließliche Bebauung mit EFH, DH und RH, die nur eine geringe Wärmeabnahme vorweisen – im Vergleich zum Geschosswohnungsbau. ▪ Es ist kein Standort für eine Heizzentrale verfügbar, ohne dass dafür Wohneinheiten wegfallen würden. Der Aufwand würde damit noch unverhältnismäßiger. 	
Oberflächennahe Geothermie	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Die Wärmeleitfähigkeiten der Bodenschichten betragen lt. Landwirtschafts- und Umweltatlas S-H 1,6-1,8 W/mK sowohl für Bohrtiefe 0-50m als auch für 0-100m). Es existieren keine Trinkwasserschutzgebiete im Bereich. Das Gebiet ist als geeignet für Erdwärmennutzung zu bewerten. ▪ Aufgrund des Flächenbedarfs von Erdwärmekollektoren/-körben und den zur Verfügung stehenden freien Flächen ist die Realisierung über Sonden vorzuziehen. 	

Bereich	Beschreibung	Bewertung
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. <p>Im Städtebaulichen Entwurf sind die Satteldächer so ausgerichtet, dass entweder die südwestliche oder aber die südöstliche Dachfläche eines Gebäudes nutzbar ist.</p>	
Abwärmenutzung aus Prozessen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Potenzial zur Nutzung von Abwärme aus gewerblichen/industriellen Prozessen ist aufgrund fehlender Unternehmen nicht vorhanden. 	
Abwärmenutzung in Abwasserleitungen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abwärmenutzung aus Abwasserleitungen erfordert einen hohen technischen Aufwand. Voraussetzung hierfür sind große Kanalquerschnitte und relativ konstante (hohe) Abwasservolumenströme. Nach Aussage von Hr. Thyen, Technischem Leiter der Stadtentwässerung bei den Entsorgungsbetrieben Lübeck, vom 02.02.2022 sind zum einen die Kanalquerschnitte zu gering, und zum anderen sind die Abwasservolumenströme nicht ausreichend, um eine Abwärmenutzung aus Abwasser zu realisieren. 	
Wärme aus Gewässern	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Keine angrenzenden Gewässer vorhanden. 	
Klein- und Mittelwindkraftanlagen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Technisch möglich. ▪ Akzeptanz bei den Anwohnern evtl. kritisch. 	

Bereich	Beschreibung	Bewertung
Photovoltaik	<ul style="list-style-type: none"> Grundsätzlich sind alle Gebäudedächer für PV nutzbar. Nach Südwesten / Südosten geneigte Dächer sind mit Abschlägen von max. 10% auf den Jahresertrag nutzbar. 	
Biomasse (für zentrale Wärme- erzeugung)	<ul style="list-style-type: none"> Für Brennstofflagerung von fester Biomasse steht keine Fläche zur Verfügung (Zentrale Wärme-erzeugung), ohne dass Wohneinheiten wegfallen würden. 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. Bei Einsatz von Erdgas stellt sich die Frage, ob KWK wirklich als Erneuerbare Energie betrachtet wird.¹⁰ 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.¹¹ 	

Gute und vor allem nutzbare Potenziale sind demnach in den Bereichen Geothermie, Umgebungswärme, Solarthermie und Photovoltaik zu sehen.

¹⁰ Für die Erneuerbare Energien Klasse der KfW in den Effizienzhausprogramm gilt KWK aus Erdgas nicht als Erneuerbare Energie.

¹¹ Der Verfasser hat an einer Machbarkeitsstudie zur Wasserstoffherzeugung in Kombination mit einem Nahwärmenetz mitgewirkt – Projekt unter <https://luebesse-energie.de/projekt-luebesse/> beschrieben.

6.4 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.

6.5 Potenzial Photovoltaik Stromerträge

Für den Standort wurde eine Performance Berechnung mit dem PVGIS des EU Science Hub mit dem Ziel durchgeführt, den durchschnittlichen spezifischen Ertrag für 1 kWp PV-Leistung zu ermitteln.

Im Ergebnis erhält man für eine Südwest-Ausrichtung und Neigung der Module von 45° einen spezifischen Stromertrag von rund 900 kWh je kWp Anlagenleistung und Jahr. Für eine Südost-Ausrichtung mit 45° Modulneigung wird ein spezifischer Ertrag von 906 kWh/kWp*a simuliert.

Da beide Ertragswerte nur geringfügig voneinander abweichen wurde zur Vereinfachung mit dem spezifischen Jahresertrag von 900 kWh je kWp installierter Leistung auf den Dächern gerechnet.

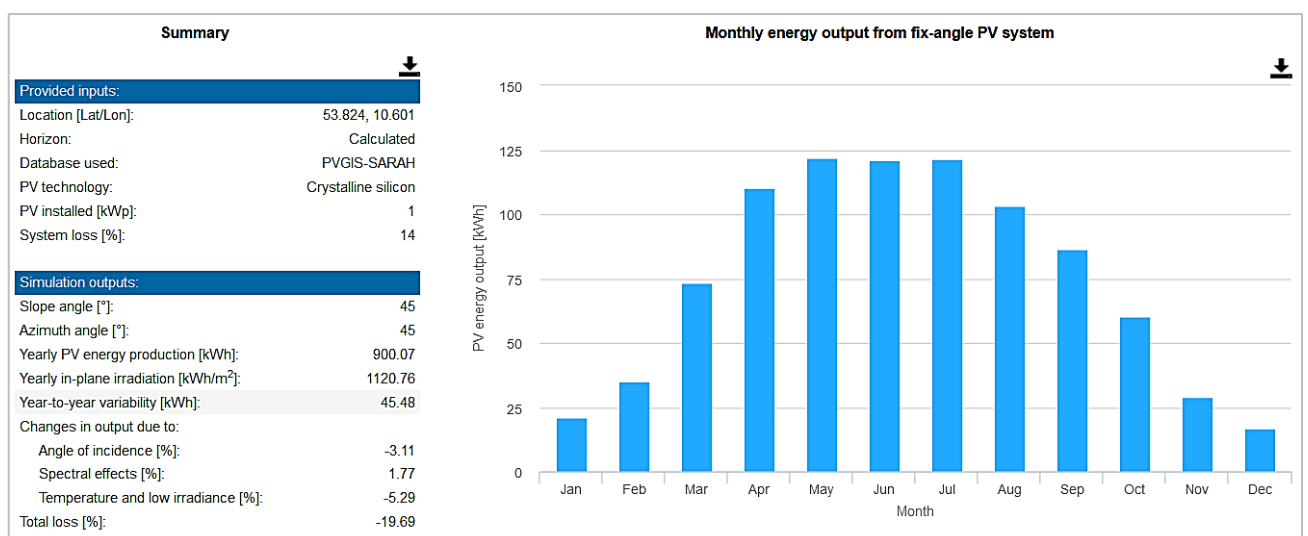


Abbildung 8: Ermittlung des spezifischen PV-Ertrags am Standort für Südwest Ausrichtung der Module (Quelle: EU Science Hub - Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS))

Mit diesem spezifischen Ertragswert wurde für das Baugebiet das Photovoltaik-Potenzial abgeschätzt. Die in Frage kommende Dachfläche wurde über die Grundfläche der Gebäude abgeschätzt. Von der Grundfläche wurde zunächst 50% als nutzbare Dachfläche ermittelt. In einem zweiten Schritt wurden nochmals 25% für die Lage von Dachfenster o.ä. abgezogen:

Tabelle 9: Abschätzung PV-Potenzial des Baugebietes

	A	B	C	D = B*C*50%	E = D*75%	F = E/1,6m ²	G = F*0,3 kWp	H = G*900 kWh/kWp	I = H*0,56 kg/kWh
Gebäude- typ	An- zahl	Breite [m]	Länge [m]	50% Ge- samtgrund- fläche je Gebäude [m ²]	Abschät- zung beleg- bare Dach- fläche (75%) [m ²]	Abschät- zung Anzahl Module je Gebäude	Abschät- zung Leis- tung je Ge- bäude bei Ansatz 300 W/Modul [kWp]	Abschät- zung Jah- resertrag mit 900 kWh/kWp [kWh/a]	Abschät- zung Ein- sarpoten- zial CO2- Emission [kg CO2Äq/a]
EFH	2	10	12	120,0	45	28	8,4	7.560	4.234
DH	18	10,5	7,75	81,4	31	19	5,7	5.130	2.873
RH	12	12	6	72,0	27	16	4,8	4.320	2.419
Summe alle Gebäude				1.284	963	590	177	159.300	89.208

Bei einer Belegung aller für PV nutzbaren Dachflächen lässt sich eine Stromertrag von rund 159.300 kWh pro Jahr generieren bzw. CO2-Emissionen in der Größenordnung von 91 t einsparen. Bspw. könnte der in

Tabelle 6 dargestellte Strombedarf des Baugebietes von rund 83.000 kWh pro Jahr (ohne E-Mobilität) bilanziell über die Nutzung von Photovoltaik auf ca. 93% der Dächer gedeckt werden.

7 Konzeptentwicklung

Für die Konzeptentwicklung wurden das EH55 und das EH40 für die verbesserte Variante zugrunde gelegt. Da das EH55 als Mindestanforderung zugrunde zu legen und damit auch die Effizienzhaus-Systematik zu beschreiben war, wurde sich für das EH40 entschieden – auch weil eine Darstellung des Passivhausstandards mit den dazu gehörenden Randbedingungen komplexer ist.

7.1 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.

Tabelle 10: Vergleich Dämmstärken Energiestandards (Wohngebäude)

Bauteil	GEG		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	22cm WLS 032
(Flach-) Dach	0,20	18cm WLG 035	0,14	24cm WLG 035	0,12	32cm WLS 032
Sohle ¹² 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	0,8	Dreifach- verglasung
Wärmebrücken ΔU_{WB}	0,05		0,035		0,025	

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.

¹² Ohne Trittschalldämmung bei schwimmendem Estrich.

7.2 Wärmeversorgung

In Abschnitt 6.3 wurde das Potenzial der verschiedenen Technologien für die Nutzung Erneuerbarer Energie dargestellt. Die Wärmepumpentechnologie wurde als am geeignetsten für die Wärmeerzeugung für die Gebäude bewertet. Photovoltaik und Solarthermie wurden als ergänzende Komponenten zur Nutzung Erneuerbarer Energie dargestellt.

Folgende Varianten für die Wärmeerzeugung wurden für die Gebäudetypen untersucht:

Tabelle 11: Übersicht Varianten

Variante		Effizienzstandard Gebäude
1	EH55-LW-WP	EH 55 mit Luft-Wasser-Wärmepumpe
2	EH55-SW-WP	EH55 mit Sole-Wasser-Wärmepumpe (Geothermie)
3	EH40-LW-WP	EH40 mit Luft-Wasser-Wärmepumpe
4	EH40-SW-WP	EH40 mit Sole-Wasser-Wärmepumpe (Geothermie)
5	„Klimaschutz“	EH40 mit Sole-Wasser-Wärmepumpe (Geothermie) sowie vollständiger Ausnutzung des Photovoltaik-Potenzials

Alle Gebäude werden als natürlich belüftet angenommen. Für fensterlose Sanitärräume wird eine ventilatorgestützte Feuchteschutzlüftung unterstellt.

Die Klimaschutz-Variante wurde von der Variante EH40-SW-WP abgeleitet. In dieser Variante wurde die vollständige Realisierung des Photovoltaik-Potenzials der Dachflächen angenommen.

7.3 Technische Realisierung

Folgende Heizleistungen wurden für die Wärmeerzeuger auf der Grundlage von Erfahrungswerten aus anderen Projekten angesetzt:

Tabelle 12: Ansätze erforderliche Heizleistung Wärmeerzeuger

Gebäudetyp	Heizleistung [kW]	
	EH55	EH40
EFH	6,6	5,6
DH	5,9	5,0
RH	5,4	4,6

Die Heizlast eines Effizienzhausstandard 55 kann mit $40 \text{ W/m}^2_{\text{BGF}}$ abgeschätzt werden. Die des EH40 wurde mit dann mit 15 % weniger, also $30 \text{ W/m}^2_{\text{BGF}}$ abgeschätzt.

Aufgrund der geringen Heizleistungen sind die vorhandenen (unbebauten) Flächen für eine Sondierung als ausreichend zu bewerten, so dass auch die erforderlichen Abstände zwischen den Sonden untereinander, aber auch zu Grundstücksgrenzen und Baukörper eingehalten werden können.

Hinsichtlich der Anzahl an erforderlichen Sonden kann auf Basis der Abschätzung der Heizlast für ein EFH, DH oder RH von maximal 2 Sonden für den EH55 und einer Sonde für EH40 ausgegangen werden, bei einer Sondentiefe von max. 100m und einer Entzugsleistung von ca. 50-60 W/m je Sonde.

Die Effizienz von Wärmepumpen wird mit dem Kennwert COP (Coefficient of Performance) beschrieben. Für die zwei verschiedenen Arten von Wärmepumpen wurden folgende COP-Werte auf der Grundlage von Vergleichsobjekten abgeschätzt. Die angegebenen Werte stellen solide, technisch machbare Ansätze für die beiden Wärmepumpenarten dar:

Tabelle 13: Abschätzung durchschnittliche COP-Werte

Bauart Wärmepumpe	Erreichbarer COP
Luft-Wasser	3,8
Sole-Wasser	4,5

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

Tabelle 14: Ansätze für erforderliche PV Leistung zur Erreichung EH-Standard bzw. Klimaschutz-Variante

Gebäudetyp	PV Leistung [kWp]				Klimaschutz
	EH55-LW-WP	EH55-SW-WP	EH40-LW-WP	EH40-SW-WP	
EFH	-	-	1,0	-	8,4
DH	-	-	1,2	0,5	5,7
RH	-	-	1,6	0,9	4,8

Für den EH40-Standard mit Luft-Wasser-Wärmepumpe ist grundsätzlich eine PV-Anlage erforderlich. Bei Einsatz einer Sole-Wasser-Wärmepumpe ist nur beim EFH keine PV-Anlage zur Erreichung des EH40 erforderlich.

In der Klimaschutz-Variante wurden die in 6.5 ermittelten, maximal möglichen Leistungen der Photovoltaik-Anlagen je Gebäudetyp angesetzt. Für die komplette Ausnutzung des Potenzials wurde in dieser Variante im Weiteren ein Batteriespeicher mitberücksichtigt.

8 Endenergie- und CO2-Bilanz Gebäude

Auf der Grundlage der dargelegten Daten und Annahmen wurden folgende Endenergie- und CO2-Bilanzen für die Neubauten und das Baugebiet abgeschätzt.

Abweichend von der eigenen Darstellung in Abschnitt 6.1 sollten die CO2-Emissionsfaktoren für Strom für die CO2-Bilanzierung dem Anforderungsprofil für die Ausschreibung eines Energiekonzeptes – Stufe 1 zum Bebauungsplan 19.03.00 der Hansestadt Lübeck entnommen werden:

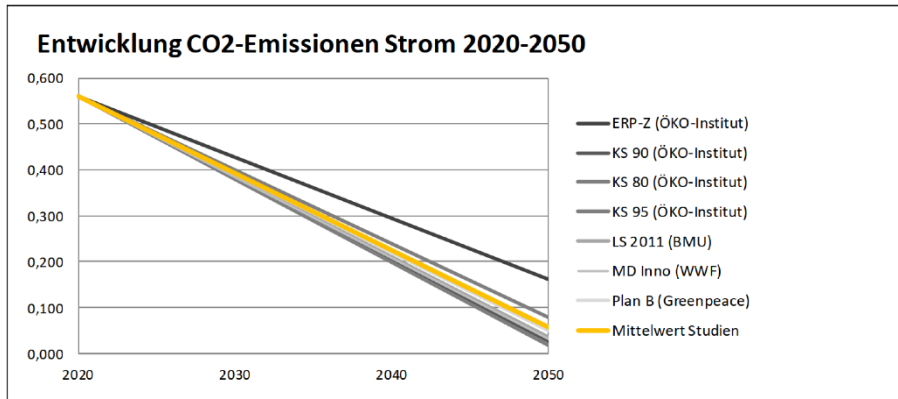


Abbildung 9: Entwicklung CO2-Emissionen Strom (Quelle: Anforderungsprofil für die Ausschreibung eines Energiekonzeptes Stufe 1, Hansestadt Lübeck / Energiekonzept Lauerhofer Feld. KApplus Ingenieur-Büro Volpert)

Für den Mittelwert der Studien erhält man für die zu betrachtenden Zeitpunkte:

Tabelle 15: Ansätze CO2-Emissionsfaktoren Strom

	2021	2030	2050
CO2-Emissionsfaktor [kg CO ₂ / kWh]	0,56	0,39	0,05

Diese CO2-Emissionsfaktoren wurden im Folgenden für die CO2-Bilanzierung angesetzt.

8.1 Endenergiebedarfsabschätzung für Gebäudetypen

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 der jeweiligen Gebäudetypen lassen sich auf der Grundlage der ermittelten Nutzenergiebedarfe und der dargestellten Variantenkonzepte folgende Werte abschätzen:

Tabelle 16: Endenergieabschätzung auf Einzelgebäudeebene – EH55-LW-WP

Variante 1: EH 55 mit Luft-Wasser- Wärmepumpe	Endenergiebedarf [kWh/a]			
	Strombedarf Wärmepumpe	Bedarf Nutzerstrom	erzeugter Strom PV	Strombezug extern
EFH	4.150	2.800	0	6.950
DH	3.413	2.501	0	5.914
RH	2.868	2.706	0	5.574

Tabelle 17: Endenergieabschätzung auf Einzelgebäudeebene – EH55-SW-WP

Variante 2: EH55 mit Sole-Wasser- Wärmepumpe	Endenergiebedarf [kWh/a]			
	Strombedarf Wärmepumpe	Bedarf Nutzerstrom	erzeugter Strom PV	Strombezug extern
EFH	3.459	2.800	0	6.259
DH	2.844	2.501	0	5.345
RH	2.390	2.706	0	5.096

Tabelle 18: Endenergieabschätzung auf Einzelgebäudeebene – EH40-LW-WP

Variante 3: EH40 mit Luft-Wasser- Wärmepumpe	Endenergiebedarf [kWh/a]			
	Strombedarf Wärmepumpe	Bedarf Nutzerstrom	erzeugter Strom PV	Strombezug extern
EFH	3.706	2.800	900	5.606
DH	3.060	2.501	1.080	4.481
RH	2.584	2.706	1.440	3.850

Tabelle 19: Endenergieabschätzung auf Einzelgebäudeebene – EH40-SW-WP

Variante 4: EH40 mit Sole-Wasser- Wärmepumpe	Endenergiebedarf [kWh/a]			
	Strombedarf Wärmepumpe	Bedarf Nutzerstrom	erzeugter Strom PV	Strombezug extern
EFH	3.088	2.800	0	5.888
DH	2.550	2.501	450	4.601
RH	2.154	2.706	810	4.050

Tabelle 20: Endenergieabschätzung auf Einzelgebäudeebene – Klimaschutz-Variante

Variante 5: Klimaschutz	Endenergiebedarf [kWh/a]			
	Strombedarf Wärmepumpe	Bedarf Nutzerstrom	erzeugter Strom PV	Strombezug extern
EFH	3.088	2.800	7.560	-1.672
DH	2.550	2.501	5.130	-79
RH	2.154	2.706	4.320	540

Grafisch lassen sich die Ergebnisse wie folgt darstellen:

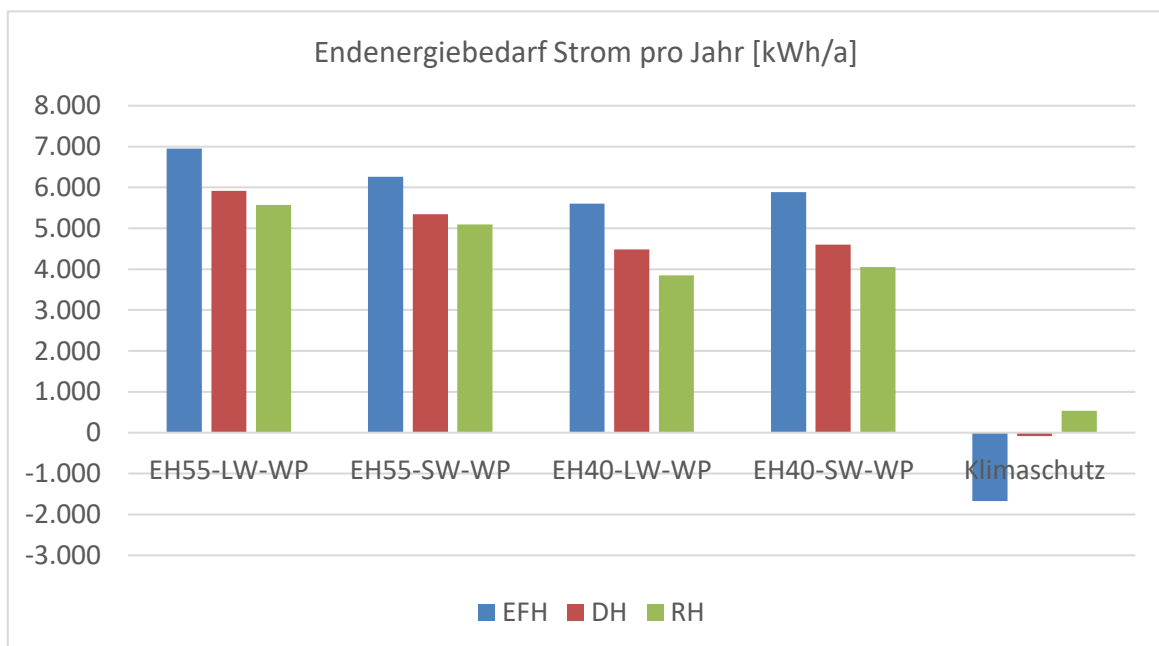


Abbildung 10: Endenergiebedarf Strom pro Jahr in den Varianten nach Gebäudetypen

In der vorstehenden Abbildung wird der bessere (bauliche) energetische Standard deutlich: Die EH40-Varianten liegen hinsichtlich ihres Endenergiebedarfes deutlich unter den EH55-Varianten der jeweiligen Gebäudetypen.

Die Klimaschutz-Variante wird für die Gebäudetypen EFH und DH zu einer Plusenergiehaus-Variante.

8.2 CO₂-Bilanz für Gebäudetypen

Die Endenergiebedarfe aus dem vorigen Abschnitt lassen sich mit dem CO₂-Emissionsfaktor für den Strom-Mix Deutschland gemäß Gebäudeenergiegesetz bewerten. Derzeit liegt dieser bei 0,56 kg CO₂/kWh. Somit ergibt sich unter Berücksichtigung der Bruttogrundflächen der Gebäudetypen nach Tabelle 3:

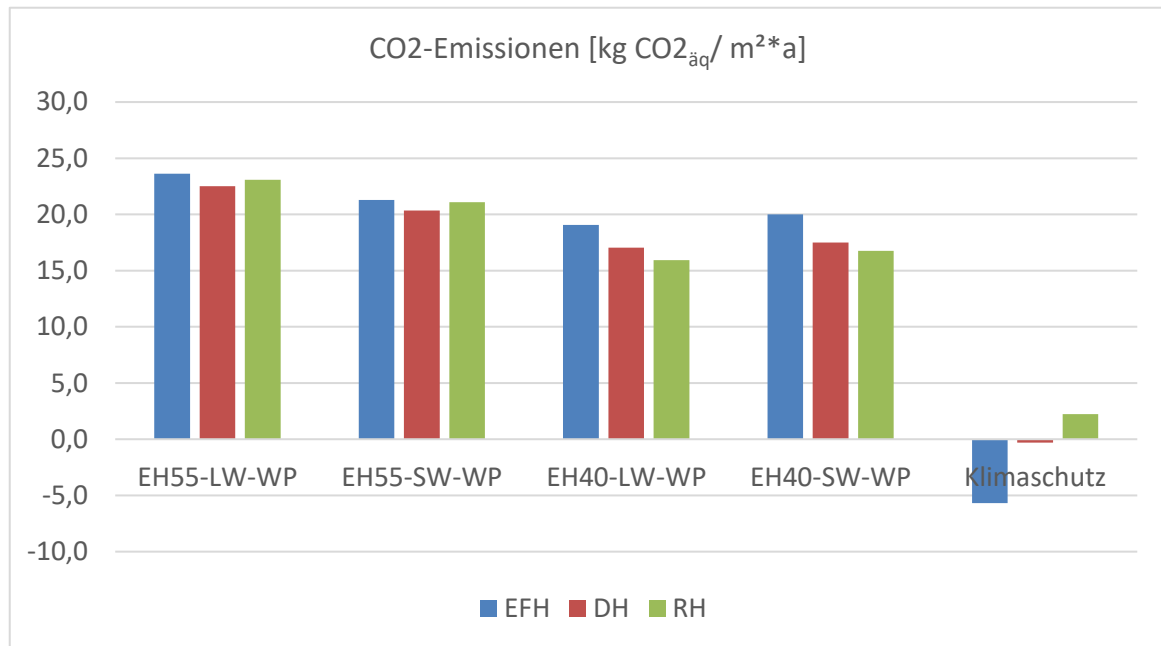


Abbildung 11: Spezifische CO₂-Emissionen in den Varianten nach Gebäudetypen

In den EH40-Varianten profitieren insbesondere die Reihenhäuser vom Ansatz der Photovoltaik. Diese ist in den EH55 Varianten nicht enthalten, da sie zur Erreichung des Effizienzhausstandards nicht erforderlich ist.

8.3 Endenergieabschätzung Quartier

Für das gesamte Bebauungsgebiet lassen sich auf der Grundlage der Ergebnisse des vorherigen Abschnittes folgende Energiebedarfe für die Varianten abschätzen:

Tabelle 21: Endenergieabschätzung gesamt mit zugehörigen CO₂-Emissionen – EH55-LW-WP

Gebäude	Strombezug gesamt [kWh/a]	CO ₂ -Emission nach GEG [kg CO ₂ /a]	CO ₂ -Emission Prognose 2030 [kg CO ₂ /a]	CO ₂ -Emission Prognose 2050 [kg CO ₂ /a]
EFH	13.901	7.784	5.421	695
DH	106.447	59.610	41.514	5.322
RH	66.892	37.460	26.088	3.345
Gesamt	187.240	104.854	73.024	9.362

Tabelle 22: Endenergieabschätzung gesamt mit zugehörigen CO₂-Emissionen – EH55-SW-WP

Gebäude	Strombezug gesamt [kWh/a]	CO ₂ -Emission nach GEG [kg CO ₂ /a]	CO ₂ -Emissionen Prognose 2030 [kg CO ₂ /a]	CO ₂ -Emission Prognose 2050 [kg CO ₂ /a]
EFH	12.517	7.010	4.882	626
DH	96.209	53.877	37.521	4.810
RH	61.156	34.247	23.851	3.058
Gesamt	169.882	95.134	66.254	8.494

Tabelle 23: Endenergieabschätzung gesamt mit zugehörigen CO₂-Emissionen – EH40-LW-WP

Gebäude	Strombezug gesamt [kWh/a]	CO ₂ -Emission nach GEG [kg CO ₂ /a]	CO ₂ -Emissionen Prognose 2030 [kg CO ₂ /a]	CO ₂ -Emission Prognose 2050 [kg CO ₂ /a]
EFH	11.211	6.278	4.372	561
DH	80.652	45.165	31.454	4.033
RH	46.203	25.874	18.019	2.310
Gesamt	138.066	77.317	53.846	6.903

Tabelle 24: Endenergieabschätzung gesamt mit zugehörigen CO₂-Emissionen – EH40-SW-WP

Gebäude	Strombezug gesamt [kWh/a]	CO ₂ -Emission nach GEG [kg CO ₂ /a]	CO ₂ -Emissionen Prognose 2030 [kg CO ₂ /a]	CO ₂ -Emission Prognose 2050 [kg CO ₂ /a]
EFH	11.776	6.595	4.593	589
DH	82.813	46.375	32.297	4.141
RH	48.594	27.213	18.952	2.430
Gesamt	143.184	80.183	55.842	7.159

Tabelle 25: Endenergieabschätzung gesamt mit zugehörigen CO₂-Emissionen – Klimaschutz-Variante

Gebäude	Strombezug gesamt [kWh/a]	CO ₂ -Emission nach GEG [kg CO ₂ /a]	CO ₂ -Emissionen Prognose 2030 [kg CO ₂ /a]	CO ₂ -Emission Prognose 2050 [kg CO ₂ /a]
EFH	-3.344	-1.873	-1.304	-167
DH	-1.427	-799	-556	-71
RH	6.474	3.626	2.525	324
Gesamt	1.704	954	664	85

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

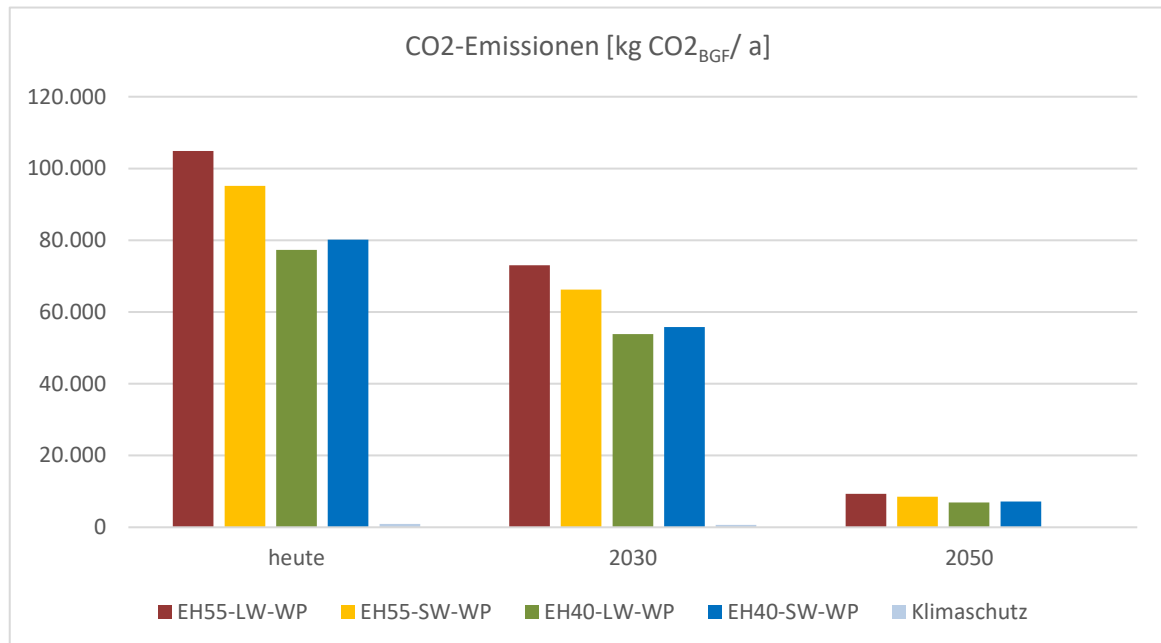


Abbildung 12: Absolute CO₂-Emissionen der Varianten

Die absoluten CO₂-Emissionen sind in Bezug auf eine Vergleichbarkeit nicht geeignet, sondern müssen ins Verhältnis zur jeweiligen Bruttogrundfläche gesetzt werden.

Diese auf die Bruttogrundfläche bezogenen spezifischen CO₂-Emissionen sind in folgender Abbildung dargestellt:

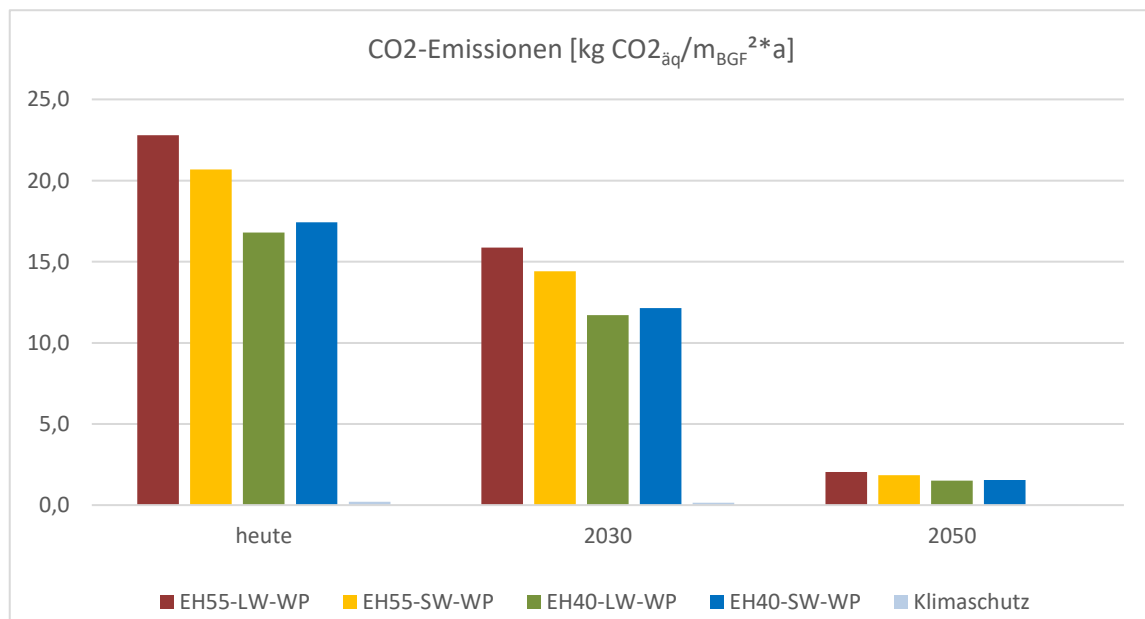


Abbildung 13: Spezifische CO₂-Emissionen der Varianten

Aus Sicht der Höhe der CO₂-Emissionen in den Varianten ist die Klimaschutz-Variante vor der Variante „EH40-LW-WP“ als vorteilhafteste für den Klimaschutz zu bewerten.

9 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.

9.1 Gebäudehülle

Für die Dämmung bzw. erforderlichen Dämmstärken in den Varianten sowie die Fenster wurden folgende Ansätze auf Basis eigener Kostenrecherchen für die Investitionskosten getroffen. Nicht enthalten sind Montagekosten, da sie in allen Varianten in gleicher Höhe entstehen. Die Kostenansätze gelten für alle Gebäudetypen.

Tabelle 26: Abschätzung spezifische Investitionskosten der Bauteile brutto

Bauteil	EH55 [€/m ² brutto]	EH40 [€/m ² brutto]
Dämmung Außenwand	112 €	138 €
Dämmung Bodenplatte	88 €	110 €
Dämmung Dach	131 €	154 €
Fenster	902 €	1.045 €

Eine konkrete Planung der Gebäude liegt noch nicht vor. Aus den Grundflächen der Gebäude wurde auf die Bauteilflächen geschlossen.

Tabelle 27: Für Kostenbetrachtung zugrunde gelegte Bauteilflächen

Bauteilfläche [m ²]	EH	DH	RH
Außenwand	147,0	100,0	30,0
Bodenplatte	120,0	81,4	72,0
Dach	170,0	115,3	102,0
Fenster	35,0	30,0	25,0

Mit den Bauteilflächen und den spezifischen Investitionskosten wurde dann auf die hochbaulichen Kostenbestandteile geschlossen, die für den Vergleich relevant sind.

Tabelle 28: Abschätzung absolute Investitionskosten brutto Dämmung und Fenster

Bauteil	EFH		DH		RH	
	EH55	EH40	EH55	EH40	EH55	EH40
Dämmung Außenwand	16.464 €	20.286 €	11.200,00 €	13.800,00 €	3.360 €	4.140 €
Dämmung Bodenplatte	10.560 €	13.200 €	7.163,20 €	8.954,00 €	6.336 €	7.920 €
Dämmung Dach	22.270 €	26.180 €	15.106,48 €	17.758,77 €	13.362 €	15.708 €
Fenster	31.570 €	36.575 €	27.060,00 €	31.350,00 €	22.550 €	26.125 €
Gesamt	80.864 €	96.241 €	60.529,68 €	71.862,77 €	45.608,00 €	53.893,00 €
Mehraufwand EH40 zu EH55		19,0 %		18,7 %		18,2 %

Für die energetisch bessere Hülle des EH 40 sind zwischen 18 bis 19% höhere Investitionskosten aufzuwenden.

9.2 Haustechnik

Für die erforderlichen haustechnischen Anlagen wurden folgende Ansätze, insbesondere auf Basis der abgeschätzten Heizlast, für die Investitionskosten getroffen:

Tabelle 29: Abschätzung Investitionskosten Technikkomponenten brutto

Technikkomponente	Spezifische Kosten brutto
Luft-Wasser-Wärmepumpe bis 7 kW	8.000 €/Stck.
Sole-Wasser-Wärmepumpe bis 5 kW	9.000 €/Stck.
Sole-Wasser-Wärmepumpe bis 7 kW	12.000 €/Stck.
Erdsonde	1.500 €/10m Bohrtiefe
PV-Anlage	2.500 € je kWp Leistung
Batteriespeicher 10 kW DH und RH	10.000 €
Batteriespeicher 12,8 kWh EFH	13.000 €

Abhängig von der erforderlichen Heizleistung der Gebäudetypen lässt sich folgende Abschätzung für die betrachteten Investitionskosten je Gebäudetyp und Variante treffen:

Tabelle 30: Abschätzung Investitionskosten Haustechnik je Gebäudetyp und Variante brutto

Gebäude- typ	Variante	Wärmepumpe	Erdsonde	PV + Batterie- speicher	Gesamt
EFH	EH55-LW-WP	8.000 €	-	-	8.000 €
	EH55-SW-WP	12.000 €	16.470 €	-	28.470 €
	EH40-LW-WP	8.000 €	-	2.500 €	10.500 €
	EH40-SW-WP	12.000 €	14.000 €	-	26.000 €
	Klimaschutz	12.000 €	14.000 €	34.000 €	60.000 €
DH	EH55-LW-WP	8.000 €	-	-	8.000 €
	EH55-SW-WP	12.000 €	14.710 €	-	26.710 €
	EH40-LW-WP	8.000 €	-	3.000 €	11.000 €
	EH40-SW-WP	9.000 €	12.504 €	1.250 €	22.754 €
	Klimaschutz	9.000 €	12.504 €	24.250 €	24.250 €
RH	EH55-LW-WP	8.000 €	-	-	8.000 €
	EH55-SW-WP	12.000 €	13.530 €	-	25.530 €
	EH40-LW-WP	8.000 €	-	4.000 €	12.000 €
	EH40-SW-WP	9.000 €	11.501 €	2.250 €	22.751 €
	Klimaschutz	9.000 €	11.501 €	22.000 €	42.501 €

Es entstehen deutlich höhere Kosten für die Geothermie in den Varianten.

10 Fördermittel für Effizienzhäuser

Im Rahmen des Klimaschutzprogrammes 2030 hat die Bundesregierung die Förderung für energieeffiziente Gebäude weiterentwickelt. Effizienzhäuser wurden seit dem 01.07.2021 in der sogenannten „Bundesförderung für effiziente Gebäude“, abgekürzt BEG, von der KfW gefördert.

Effizienzhaus	(Tilgungs-)zuschuss in % je Wohneinheit 	Betrag je Wohneinheit 
Effizienzhaus 40 Plus	25 % von maximal 150.000 Euro Kreditbetrag / förderfähigen Kosten	bis zu 37.500 Euro
Effizienzhaus 40	20 % von maximal 120.000 Euro Kreditbetrag / förderfähigen Kosten	bis zu 24.000 Euro
Effizienzhaus 40 <u>Erneuerbare-Energien-Klasse </u> oder <u>Nachhaltigkeits-Klasse </u>	22,5 % von maximal 150.000 Euro Kreditbetrag / förderfähigen Kosten	bis zu 33.750 Euro
Effizienzhaus 55	15 % von maximal 120.000 Euro Kreditbetrag / förderfähigen Kosten	bis zu 18.000 Euro
Effizienzhaus 55 <u>Erneuerbare-Energien-Klasse </u> oder <u>Nachhaltigkeits-Klasse </u>	17,5 % von maximal 150.000 Euro Kreditbetrag / förderfähigen Kosten	bis zu 26.250 Euro

Abbildung 14: Fördersystematik im BEG für Neubau von Wohngebäuden bis zum 24.01.2022 (Quelle: KfW)

Für die Erreichung der „EE-Klasse“ erhöht sich zum einen der Förderzuschuss um 2,5% zum anderen auch die förderfähigen Kosten als Bemessungsgrundlage des Zuschusses. Eine EE-Klasse wird dann erreicht, wenn mehr als 55% der im Gebäude benötigten Wärme durch Erneuerbare Energien gedeckt werden. Als Erneuerbare Energien werden in diesem Zusammenhang u.a. der Einsatz von Solarthermie, Holz und Biogas gesehen, nicht aber Photovoltaik oder ein mit Erdgas betriebenes BHKW.

Die „NH-Klasse“ Nachhaltigkeitsklasse wird durch eine Nachhaltigkeitszertifizierung des Gebäudes entsprechend den Vorgaben der KfW erreicht.

Seit 24.01.2022 ist die beschriebene Förderung für Effizienzhäuser gestoppt. Zum jetzigen Zeitpunkt ist sicher, dass das Effizienzhaus 55 künftig nicht mehr gefördert wird. Ob und in welcher Größenordnung Effizienzhäuser 40 weitergefördert werden, war zum Zeitpunkt der Konzepterstellung nicht bekannt.

11 Lebenszykluskostenbetrachtung

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 Barwert der Zahlungen zu berechnen.

Folgende Ansätze wurden getroffen:

Tabelle 31: Grundlegende Ansätze für die Lebenszykluskostenbetrachtung

	Ansatz
Betrachtungszeitraum	30 Jahre
Kalkulationszinssatz	1,5 % nominal p.a.
Allgemeine Preissteigerungsrate	2,0 % p.a.
Energiepreissteigerungsrate	2,0 % p.a.
Preisansatz Strombezug brutto	0,30 €/kWh
Ansatz CO ₂ -Steuer	180 €/ t CO ₂
Nutzungsdauer Luft-Wasser-Wärmepumpe nach VDI 2067	18 Jahre
Nutzungsdauer Sole-Wasser-Wärmepumpe nach VDI 2067	20 Jahre

Die Ansätze wurden auf der Grundlage der jeweiligen Werte des 3. Quartals 2021 getroffen. Die Verwendung aktueller Preis und Preissteigerungsansätze wurde aufgrund der zum Berichtszeitpunkt auszumachenden Unsicherheiten der Entwicklung von Preisen und Preissteigerungsraten verworfen.

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.

11.1 Lebenszykluskosten Einfamilienhaus

Für den Gebäudetyp EFH wurden folgende Lebenszykluskosten ermittelt:

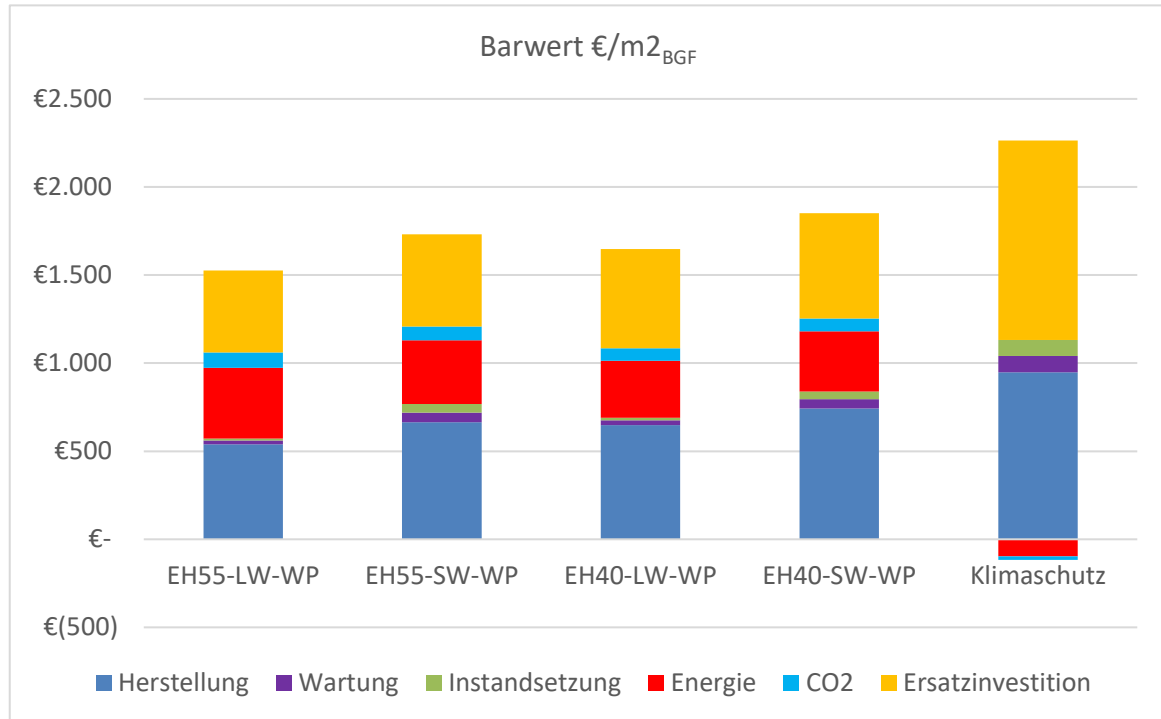


Abbildung 15: Barwerte der Varianten unterteilt in Kostenarten für den Gebäudetyp EFH

Nachfolgend sind die zugehörigen absoluten Barwerte nochmals tabellarisch dargestellt:

Tabelle 32: Barwerte der Varianten unterteilt in Kostenarten bezogen auf m²_{BGF} für Gebäudetyp EFH

Barwert €/m ² _{BGF}	Herstellung	Wartung	Instandsetzung	Energie	CO2-Steuer	Ersatzinvestition	Gesamt	Nutzung + Betrieb
EH55-LW-WP	540 €	22 €	10 €	402 €	87 €	466 €	1.527 €	987 €
EH55-SW-WP	664 €	55 €	49 €	362 €	78 €	523 €	1.731 €	1.067 €
EH40-LW-WP	648 €	28 €	14 €	324 €	70 €	563 €	1.647 €	999 €
EH40-SW-WP	742 €	53 €	44 €	341 €	73 €	598 €	1.852 €	1.110 €
Klimaschutz	949 €	93 €	90 €	-97 €	-21 €	1.132 €	2.146 €	1.197 €

Etwas anschaulicher als die abgezinsten Zahlungen sind die absoluten Zahlungen im Zeitraum von 30 Jahren. Hierfür ergeben sich folgende Werte:

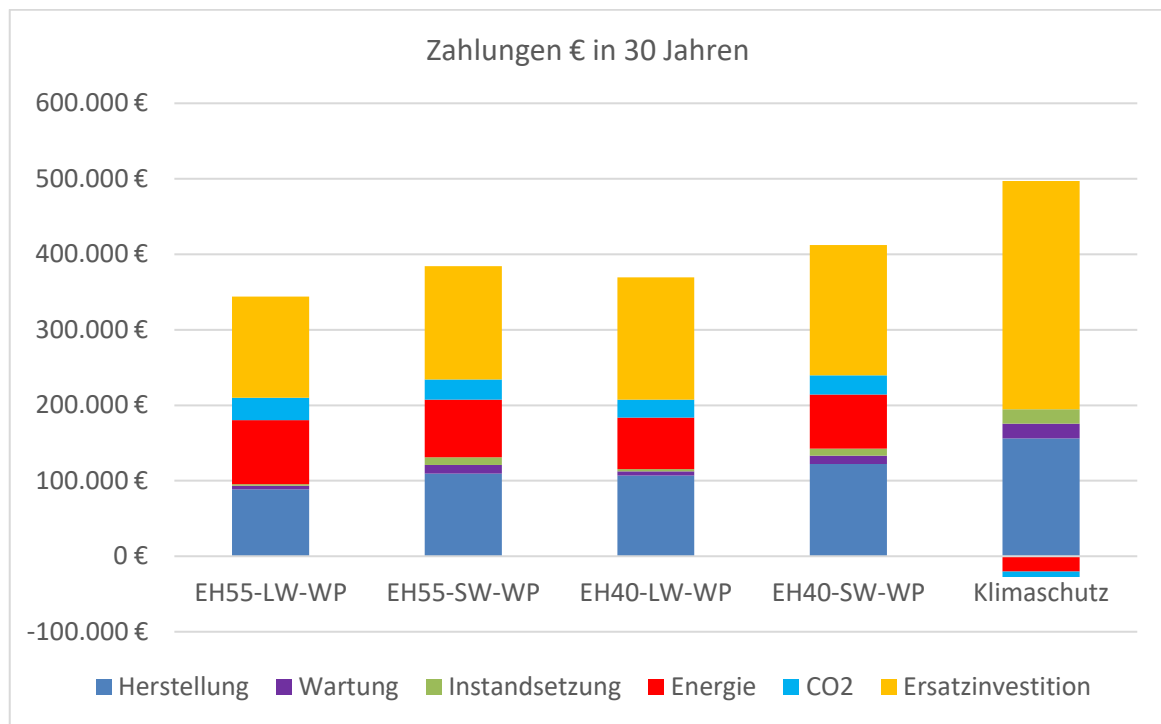


Abbildung 16: Zahlungen der Varianten im Zeitraum 30 Jahre für den Gebäudetyp EFH

Nachfolgend sind die zugehörigen absoluten Zahlungen im Zeitraum von 30 Jahren nochmal tabellarisch dargestellt.

Tabelle 33: Zahlungen der Varianten im Zeitraum 30 Jahre für Gebäudetyp EFH

Zahlungen €/a	Herstellung	Wartung	Instandsetzung	Energie	CO2-Steuer	Ersatzinvestition	Gesamt	Nutzung + Betrieb
EH55-LW-WP	88.864 €	4.611 €	2.142 €	84.584 €	29.721 €	133.910 €	343.832 €	254.968 €
EH55-SW-WP	109.334 €	11.490 €	10.362 €	76.175 €	26.765 €	150.168 €	384.294 €	274.960 €
EH40-LW-WP	106.741 €	5.843 €	2.852 €	68.227 €	23.971 €	161.630 €	369.264 €	262.523 €
EH40-SW-WP	122.241 €	11.182 €	9.290 €	71.659 €	25.181 €	172.620 €	412.174 €	289.933 €
Klimaschutz	156.241 €	19.458 €	18.945 €	-20.349 €	-7.151 €	302.566 €	469.710 €	313.469 €

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. Auch wird deutlich, dass eine PV-Anlage in der Lage ist, die Energiekosten zu senken – vergleicht man die Energiekostenergebnisse für EH40-LW-WP mit PV und EH40-SW-WP ohne PV.

Das Ergebnis für die Klimaschutzvariante 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 durch die Bewohner und Bewohnerinnen selbst verbraucht wird.

Die Variante EH55-LW-WP generiert für den Gebäudetyp EFH die geringsten Herstellungskosten und ist auch bei der Betrachtung sowohl der Gesamtkosten im Zeitraum von 30 Jahren als auch der Kosten von Nutzung und Betrieb des Gebäudes (Wartung, Instandhaltung, Energie, CO₂-Steuer, Ersatzinvestitionen) am wirtschaftlichsten.

11.2 Lebenszykluskosten Doppelhaushälfte

Für den Gebäudetyp DH wurden folgende Lebenszykluskosten ermittelt:

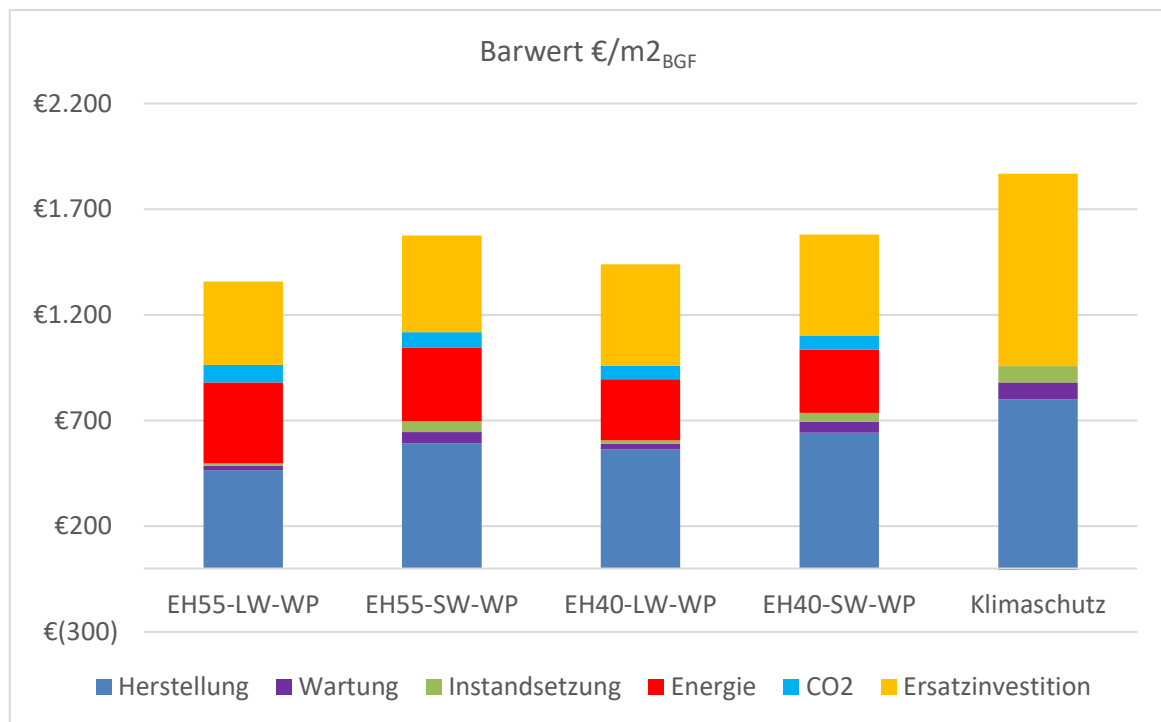


Abbildung 17: Barwerte der Varianten unterteilt in Kostenarten für den Gebäudetyp DH

Nachfolgend sind die zugehörigen absoluten Barwerte nochmals tabellarisch dargestellt:

Tabelle 34: Barwerte der Varianten unterteilt in Kostenarten bezogen auf m²_{BGF} für Gebäudetyp DH

Barwert €/m ² _{BGF}	Herstellung	Wartung	Instandsetzung	Energie	CO2-Steuer	Ersatzinvestition	Gesamt	Nutzung + Betrieb
EH55-LW-WP	466 €	20 €	11 €	383 €	83 €	393 €	1.357 €	891 €
EH55-SW-WP	593 €	53 €	51 €	346 €	75 €	457 €	1.576 €	982 €
EH40-LW-WP	563 €	26 €	16 €	290 €	63 €	480 €	1.439 €	875 €
EH40-SW-WP	643 €	50 €	44 €	298 €	64 €	480 €	1.580 €	936 €
Klimaschutz	800 €	80 €	78 €	-5 €	-1 €	909 €	1.861 €	1.062 €

Etwas anschaulicher als die abgezinste Zahlungen sind die absoluten Zahlungen im Zeitraum von 30 Jahren. Hierfür ergeben sich folgende Werte:

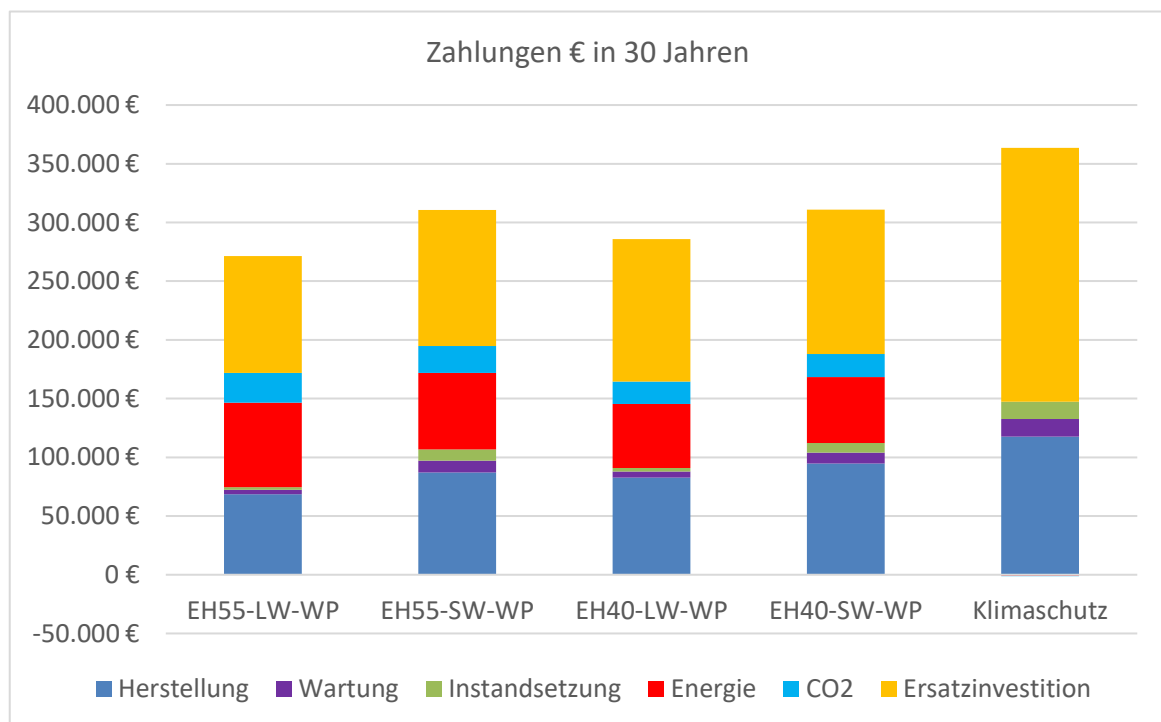


Abbildung 18: Zahlungen der Varianten im Zeitraum 30 Jahre für den Gebäudetyp DH

Nachfolgend sind die zugehörigen absoluten Zahlungen im Zeitraum von 30 Jahren nochmals tabellarisch dargestellt:

Tabelle 35: Zahlungen der Varianten im Zeitraum 30 Jahre für Gebäudetyp DH

Zahlungen €/a	Herstellung	Wartung	Instandsetzung	Energie	CO2-Steuer	Ersatzinvestition	Gesamt	Nutzung + Betrieb
EH55-LW-WP	68.530 €	3.786 €	2.142 €	71.976 €	25.327 €	99.654 €	271.415 €	202.886 €
EH55-SW-WP	87.240 €	10.001 €	9.598 €	65.051 €	22.891 €	115.912 €	310.694 €	223.454 €
EH40-LW-WP	82.863 €	4.976 €	2.994 €	54.536 €	19.190 €	121.221 €	285.780 €	202.917 €
EH40-SW-WP	94.617 €	9.434 €	8.192 €	55.996 €	19.704 €	122.927 €	310.871 €	216.254 €
Klimaschutz	117.617 €	15.033 €	14.724 €	-961 €	-339 €	216.241 €	362.313 €	244.697 €

Die Variante EH55-LW-WP generiert für den Gebäudetyp DH die geringsten Herstellungskosten und ist auch bei der Betrachtung sowohl der Gesamtkosten im Zeitraum von 30 Jahren die wirtschaftlichste Variante. Betrachtet man nur die Kosten in der Nutzungsphase des Gebäudes in 30 Jahren, so ist die Variante EH40-LW-WP am wirtschaftlichsten.

11.3 Lebenszykluskosten Reihenhhaus

Für den Gebäudetypen RH wurden folgende Lebenszykluskosten ermittelt:

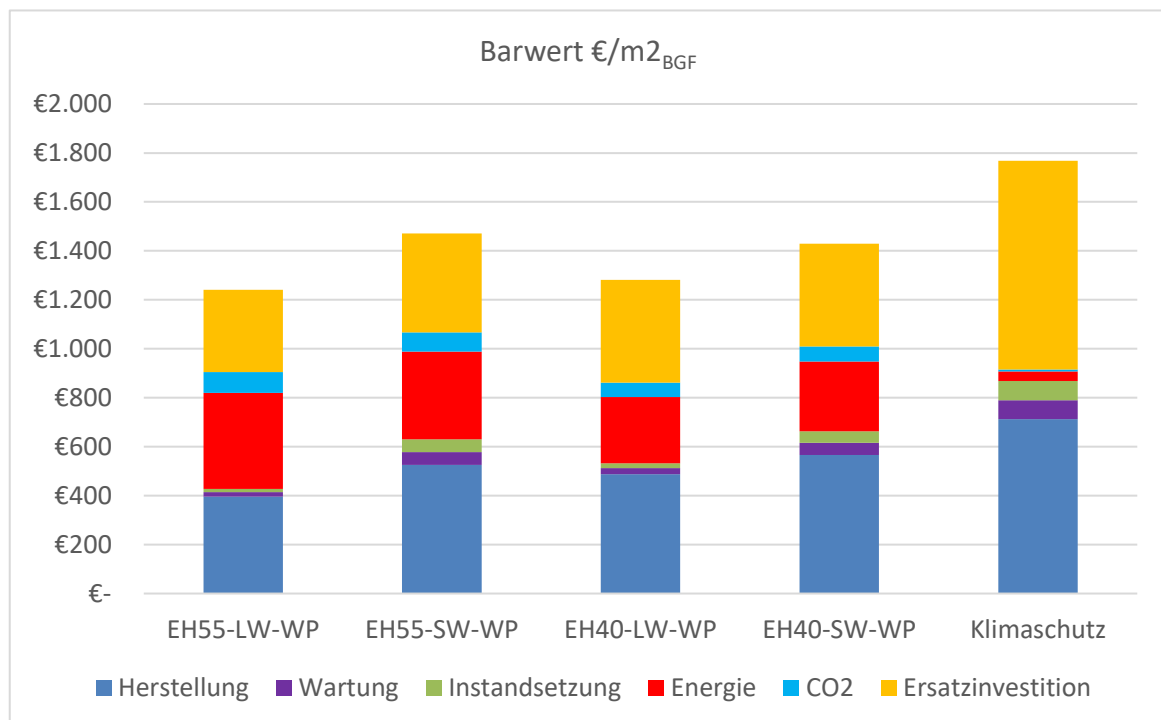


Abbildung 19: Barwerte der Varianten unterteilt in Kostenarten für den Gebäudetyp RH

Nachfolgend sind die zugehörigen absoluten Barwerte nochmals tabellarisch dargestellt:

Tabelle 36: Barwerte der Varianten unterteilt in Kostenarten bezogen auf m^2_{BGF} für Gebäudetyp RH

Barwert €/m ² _{BGF}	Herstellung	Wartung	Instand- setzung	Energie	CO2-Steuer	Ersatz- investition	Gesamt	Nutzung + Betrieb
EH55- LW-WP	396 €	18 €	12 €	393 €	85 €	336 €	1.240 €	844 €
EH55- SW-WP	526 €	52 €	53 €	359 €	78 €	405 €	1.472 €	946 €
EH40- LW-WP	487 €	26 €	19 €	271 €	59 €	420 €	1.282 €	795 €
EH40- SW-WP	566 €	50 €	47 €	285 €	62 €	420 €	1.430 €	863 €
Klima- schutz	712 €	77 €	79 €	38 €	8 €	852 €	1.767 €	1.055 €

Etwas anschaulicher als die abgezinsten Zahlungen sind die absoluten Zahlungen im Zeitraum von 30 Jahren. Hierfür ergeben sich folgende Werte:

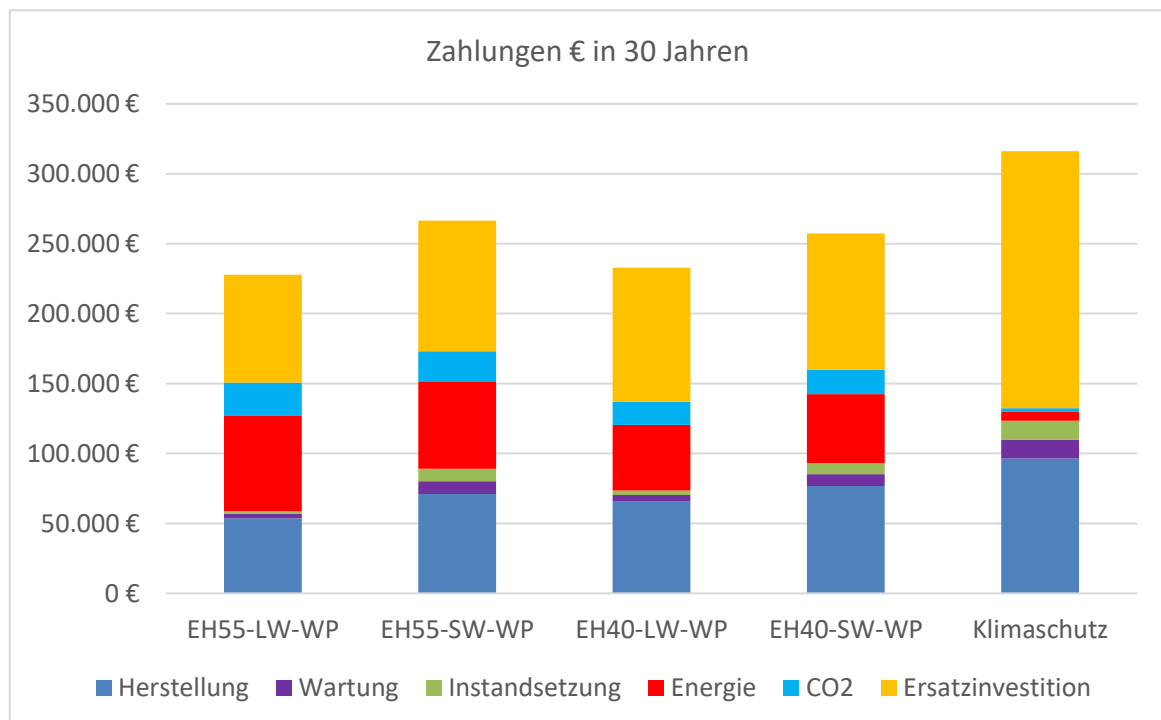


Abbildung 20: Zahlungen der Varianten im Zeitraum 30 Jahre für den Gebäudetyp RH

Nachfolgend sind die zugehörigen absoluten Zahlungen im Zeitraum von 30 Jahren nochmals tabellarisch dargestellt:

Tabelle 37: Zahlungen der Varianten im Zeitraum 30 Jahre für Gebäudetyp RH

Zahlungen €/a	Herstellung	Wartung	Instandsetzung	Energie	CO2-Steuer	Ersatzinvestition	Gesamt	Nutzung + Betrieb
EH55-LW-WP	53.608 €	3.181 €	2.142 €	67.838 €	23.880 €	77.116 €	227.764 €	174.156 €
EH55-SW-WP	71.138 €	8.951 €	9.086 €	62.020 €	21.832 €	93.373 €	266.400 €	195.262 €
EH40-LW-WP	65.893 €	4.491 €	3.278 €	46.856 €	16.494 €	95.739 €	232.751 €	166.858 €
EH40-SW-WP	76.644 €	8.570 €	8.041 €	49.290 €	17.348 €	97.445 €	257.338 €	180.694 €
Klimaschutz	96.394 €	13.377 €	13.650 €	6.572 €	2.311 €	183.912 €	316.216 €	219.822 €

Die Variante EH55-LW-WP generiert für den Gebäudetyp DH die geringsten Herstellungskosten und ist auch bei der Betrachtung der Gesamtkosten im Zeitraum von 30 Jahren am wirtschaftlichsten.

Die Variante EH40-LW-WP ist bei der ausschließlichen Betrachtung der Kosten von Nutzung und Betrieb des Gebäudes (Wartung, Instandhaltung, Energie, CO2-Steuer, Ersatzinvestitionen) am wirtschaftlichsten.

Auch bei diesem Gebäudetypen ist der Energiekostenvorteil nicht in der Höhe vorhanden, als dass er die höheren Investitions- und Folgekosten im Zeitraum von 30 Jahren kompensieren kann.

12 Quartiersbilanzen

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 2050 aufzustellen.

Die durch PV erzeugten Strommengen in den Varianten wurden beim PV-Potenzial abgezogen.

Für die Endenergie-Quartiersbilanz ergibt sich damit:

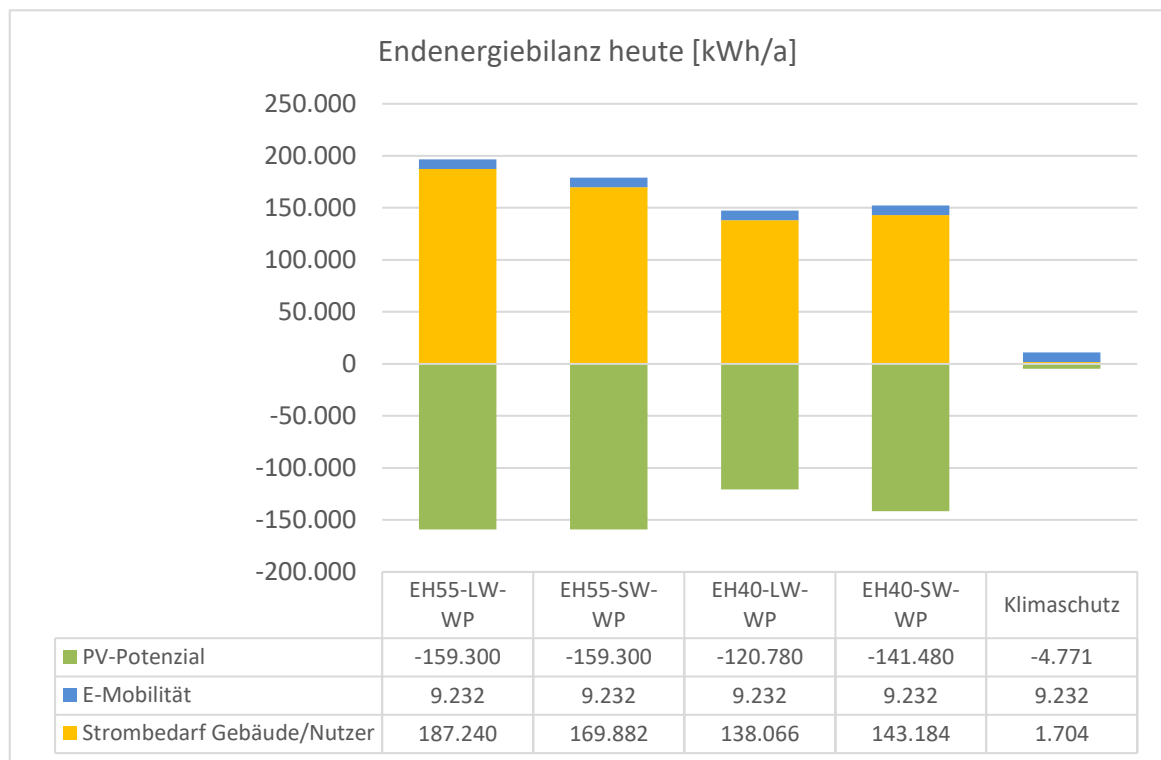


Abbildung 21: Endenergiebilanz für das Baugebiet für den heutigen Zeitpunkt

Das ermittelte PV-Potenzial des Gebietes ist demnach rechnerisch in der Lage, die Endenergiebedarfe größtenteils bilanziell zu kompensieren. Die E-Mobilität würde aktuell nur einen unwesentlichen Anteil zum Endenergiebedarf des Quartiers beitragen. Insbesondere wird dieses anhand des Ergebnisses für die „Klimaschutz“-Variante deutlich.

Für das Jahr 2050 stellt sich der Sachverhalt anders dar, wesentlich beeinflusst durch den zukünftigen Anteil des Endenergiebedarfs für E-Mobilität am gesamten Endenergiebedarf – siehe nachfolgende Abbildung.

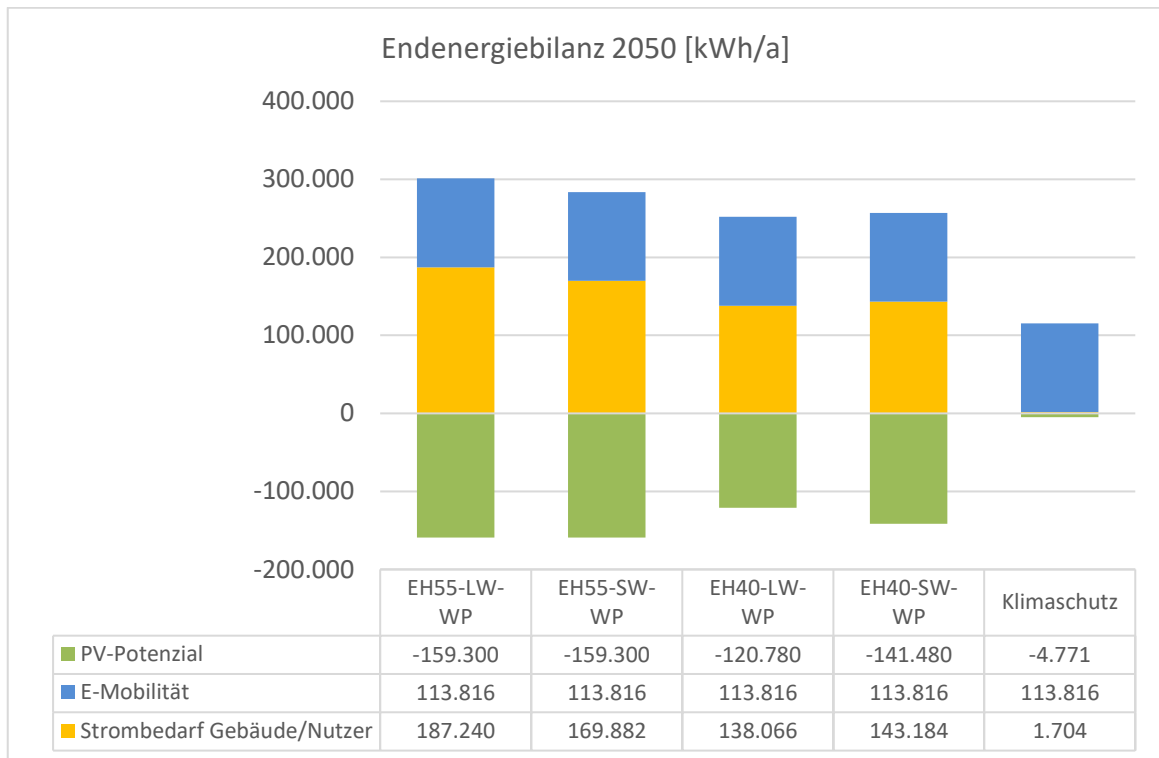


Abbildung 22: Endenergiebilanz für das Baugebiet für das Jahr 2050

Die Größenordnungen in den CO₂-Bilanzen für das Quartier verhalten sich analog den dargestellten Endenergiebedarfen:

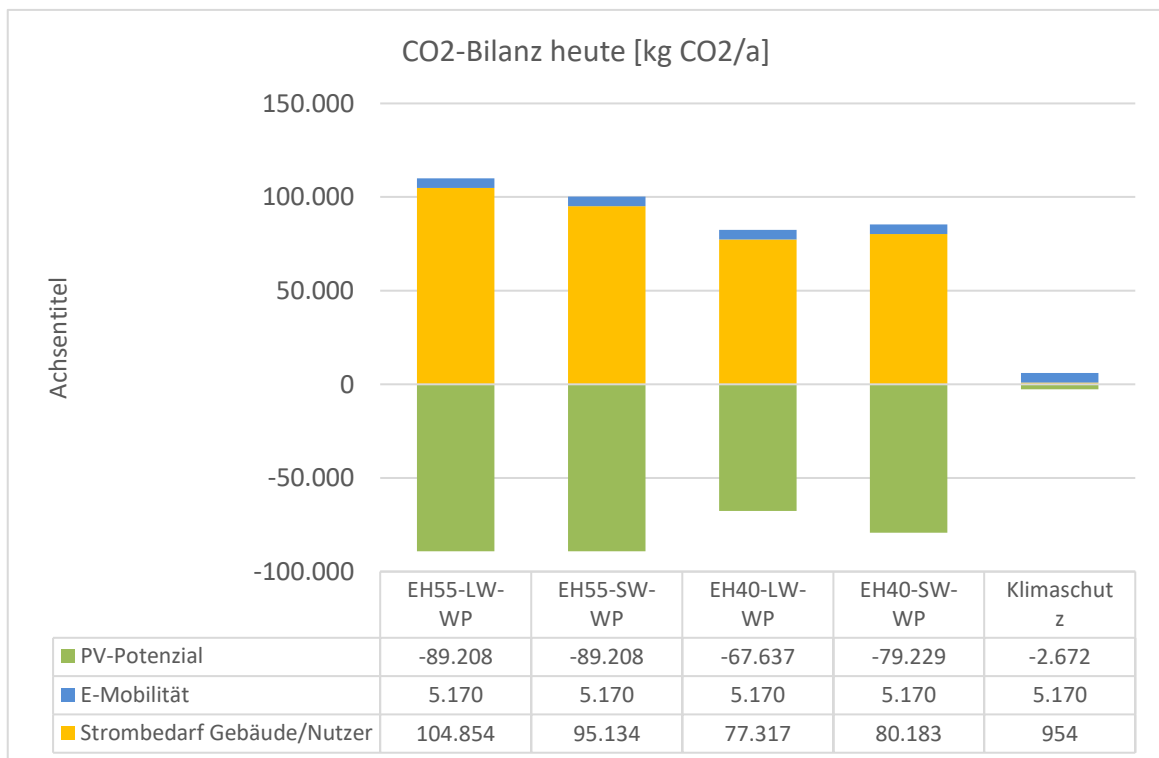


Abbildung 23: CO₂-Bilanz für das Baugebiet für den heutigen Zeitpunkt

Das dargestellte Potenzial der Stromerzeugung durch Photovoltaik auf den Dächern der Gebäude ist bilanziell in der Lage, das Baugebiet je nach Variante, aber insbesondere in den Varianten „EH40-SW-WP“ und „Klimaschutz“ nahezu emissionsfrei für den heutigen Zeitpunkt auszuweisen.

In der Variante „EH40-SW-WP“ beträgt der Unterschied 6.124 kg CO₂ pro Jahr zwischen dem Strombedarf Nutzer/Gebäude/E-Mobilität zum PV-Potenzial. Das entspricht einem Anteil von 7,2 % der gesamten CO₂-Emissionen aus dem Strombedarf Nutzer/Gebäude/E-Mobilität in dieser Variante.

Die Wirkung des wachsenden Anteils der E-Mobilität am Endenergiebedarf und damit an den CO₂-Emissionen bis 2050 für das Quartier zeigt nachstehende Abbildung. Der prognostizierte CO₂-Emissionsfaktor für Strom im Jahr 2050 aus Abschnitt 8 wurde dafür berücksichtigt:

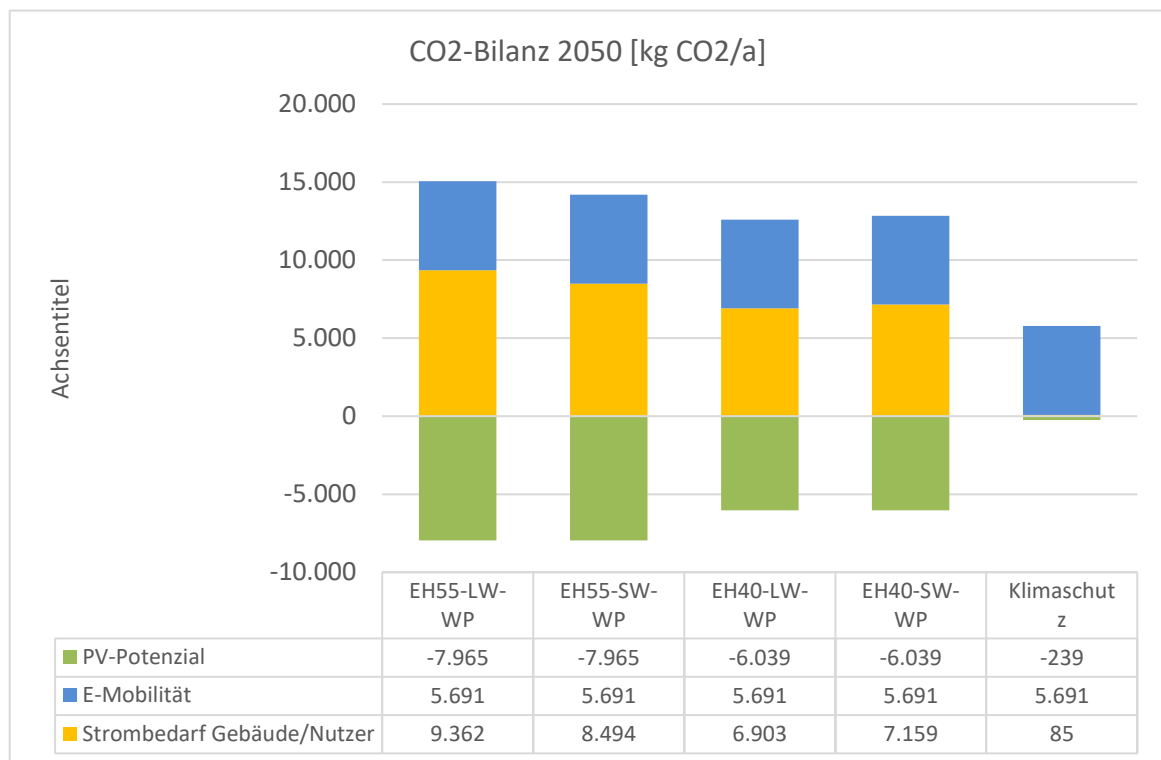


Abbildung 24: CO₂-Bilanz für das Baugebiet für das Jahr 2050

Für das Jahr 2050 kann für die Variante „EH40-SW-WP“ ein Unterschied von 6.811 kg CO₂ pro Jahr zwischen dem Strombedarf Nutzer/Gebäude/E-Mobilität zum PV-Potenzial abgeschätzt werden. Das entspricht einem Anteil von 5,3 % der gesamten CO₂-Emissionen in dieser Variante.

Trotz wesentlich höheren Energiebedarfen für die E-Mobilität in 2050 bleibt die Größenordnung der CO₂-Emissionen annähernd gleich. Ursächlich dafür ist der wesentlich geringere CO₂-Emissionsfaktor von 0,05 kg CO₂/kWh für Strom in 2050.

13 Zusammenfassung und Empfehlung

Für das Baugebiet Niendorf / Holzkoppel in der Hansestadt Lübeck wurde auf der Grundlage des Städtebaulichen Entwurfs vom 10.11.2021 ein Energiekonzept erstellt.

Die Bebauung des Baulands soll mit 2 Einfamilienhäusern, 18 Doppelhaushälften und 12 Reihenhäuser erfolgen. Mehrfamilienhäuser im Sinne eines Wohnungsgeschossbaus sind nicht geplant. Die Gebäude sind mindestens in einem Effizienzhausstandard 55 zu errichten.

Aus diesem hochwertigen energetischen Standard und der vergleichsweise geringen Anzahl an Wohneinheiten resultieren geringe Wärmedichten. Aus diesem Grund wurde von der Untersuchung von zentralen Lösungen mit Wärmenetzen abgesehen, da der wirtschaftliche Aufwand als unverhältnismäßig bewertet wurde.

Untersucht wurden daher dezentrale Konzepte zur Wärmeerzeugung mittels Wärmepumpen. Dieses ist zum einen dadurch begründet, dass Effizienzhausstandards mit erdgasbasierten Technologien schwierig zu erreichen sind. Zum anderen resultiert der Ansatz aus der positiven Bewertung des Energieträgers Strom im Hinblick auf die deutliche Reduzierung des CO₂-Emissionsfaktors im Strom-Mix Deutschland bis 2050.

Aus den Ergebnissen der CO₂-Bilanzierung für die Gebäude gehen die Varianten „Klimaschutz“ und „EH40-LW-WP“ als klimafreundlichste Varianten – bezogen auf den heutigen Zeitpunkt – hervor. Die CO₂-Emissionen der Variante „EH40-LW-WP“ sind um

- ca. 19 % bis 31 % geringer als in „EH55-LW-WP“,
- 10 % bis 24 % % geringer als in „EH55-SW-WP“ und
- 3 % bis 5 % geringer als die aus „EH40-SW-WP“ –

je nach Gebäudetyp.

Im Jahr 2050 besitzt die Variante „Klimaschutz“ die geringsten CO₂-Emissionen, gefolgt von der Variante „EH40-LW-WP“. Der Unterschied zwischen den beiden Varianten beträgt 6.818 kg CO₂-Emissionen pro Jahr.

Aus den Ergebnissen der Lebenszykluskostenbetrachtungen für die Gesamtkosten der Konzepte geht das Konzept „EH55 mit Luft-Wasser-Wärmepumpe“ als wirtschaftlich vorteilhaftestes für alle drei Gebäudetypen hervor.

Die Ergebnisse der Lebenszykluskostenbetrachtungen für die Gebäudetypen führen zu der Empfehlung die Gebäudetypen EFH, DH und RH im Konzept „EH55 mit Luft-Wasser-Wärmepumpen“ umzusetzen und zu prüfen, ob für die Reihenhauskörper auch jeweils der Einsatz zentraler Luft-Wasser-Wärmepumpen in Frage kommt. Dieses ist insbesondere im Hinblick auf eine eventuelle Reduzierung der Herstellungskosten interessant – auch unter dem Aspekt, dass es sich bei den Reihenhäusern um geförderten Wohnungsbau mit einem auf 8 €/m² begrenzten Mietpreis handelt

Die Nutzung des solaren Potenzials wird als abhängig von den zukünftigen Hauseigentümern und Hauseigentümerinnen gesehen. Die Nutzung von Solarthermie in Abhängigkeit vom individuellen Warmwasserbedarf bzw. der im Haushalt lebenden Personenanzahl ist als sinnvolle Ergänzung zum energetischen Gebäudekonzept zu sehen. In diesem Punkt sollten sich die zukünftigen Bauherrn und Bauherrinnen von einem Energieberater oder Energieberaterin über Optionen, Leistungsgrößen entsprechender Anlagen und Fördermöglichkeiten beraten lassen.

Zielführend ist auch die Analyse des elektrischen Nutzungs- bzw. Lastprofils des jeweiligen Bauherrn bzw. der jeweiligen Bauherrin, insbesondere in Bezug darauf, ob diese E-Mobilität nutzen oder nicht. Insbesondere im Falle einer Nutzung von E-Mobilität ist dann die Kombination Photovoltaik mit einem Batteriespeicher als empfehlenswert zu erachten. Auch hier wird eine individuelle Beratung durch einen Experten oder eine Expertin für solche Lösungen und zugehörige Fördermöglichkeiten angeraten.

Hinsichtlich der Fördermöglichkeit des Effizienzhausstandards muss zum gegenwärtigen Zeitpunkt festgehalten werden, dass diese aufgrund des jetzigen Förderstopps in Frage steht.

Angesichts der zu erwartenden Novellierung des GEG bis spätestens 1. Januar 2023 mit der Festbeschreibung des Effizienzhausstandards 55 als Mindestanforderung an Neubauten kann bei einer Neuauflage der Effizienzhausförderung davon ausgegangen werden, dass die Zuschusshöhen für Effizienzhäusern, die bis 24.01.2022 galten, nicht wieder erreicht werden.

Zudem ist auch die darauffolgende Festschreibung des Effizienzhausstandards 40 bis spätestens 2025 bereits in der Diskussion.

14 Ergänzungen zum Energiekonzept – 22.02.2023

14.1 Wirtschaftlichkeit

Die Baukosten unterliegen aktuell sowohl im Bereich Hochbau als auch im Bereich der technischen Gebäudeausrüstung Schwankungen.

Seitens der Hansestadt Lübeck wurde daher angeregt, einen Vergleich der Kosten von klimafreundlichster („Klimaschutz“) und wirtschaftlichster Variante („EH55-LW-WP“) ohne die Berücksichtigung der Herstellkosten¹³ durchzuführen.

Für die Gebäudetypen ergibt sich auf der Grundlage der Ergebnisse aus den Tabelle 33, Tabelle 35 und Tabelle 37 für die Zahlungen im Betrachtungszeitraum von 30 Jahren:

Tabelle 38: Vergleich Varianten „EH55-LW-WP“ und „Klimaschutz“ ohne Zahlungen für Herstellung und Ersatz

Gebäude- typ	Zahlungen ohne Herstellung und Ersatzinvestitionen			
	„EH55-LW-WP“	„Klimaschutz“	Differenz	Differenz über 30 Jahre gemittelt
EFH	121.058 €	10.903 €	110.155 €	3.672 €
DH	103.231 €	28.457 €	74.744 €	2.492 €
RH	97.041 €	35.910 €	61.131 €	2.038 €

Die Ergebnisse zeigen, dass ohne die Berücksichtigung der Zahlungen für die Herstellung des Gebäudes und zukünftig notwendigen Ersatzinvestitionen, die Variante „Klimaschutz“ für jeden Gebäudetypen geringere Zahlungen im Betrachtungszeitraum von 30 Jahren bzw. pro Jahr aufweist.

Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass diese Art der Betrachtung aber die signifikant höheren Herstellkosten der Variante „Klimaschutz“ gegenüber der Variante „EH55-LW-WP“ unberücksichtigt lässt.

14.2 Förderung der KfW-Bank für Neubauten

Die Ausführungen in Abschnitt 10 zu Fördermöglichkeiten im Neubaubereich können wie folgt für den Stichtag 22.02.2023 ergänzt werden:

- Zum 01.03.2023 startet die Förderung „Klimafreundlicher Neubau“, die dann die Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) ersetzt.
- Gefördert wird der Neubau oder Erstkauf von Wohngebäuden in den Programmen 297/298.

¹³ Und ohne Kosten von Ersatzinvestitionen, da diese aus den Herstellungskosten abgeleitet sind.

- Es wird zwei Förderstufen geben:
 - **Klimafreundliches Wohngebäude**

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 QNG¹⁴**

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

¹⁴ Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude

15 Anhang

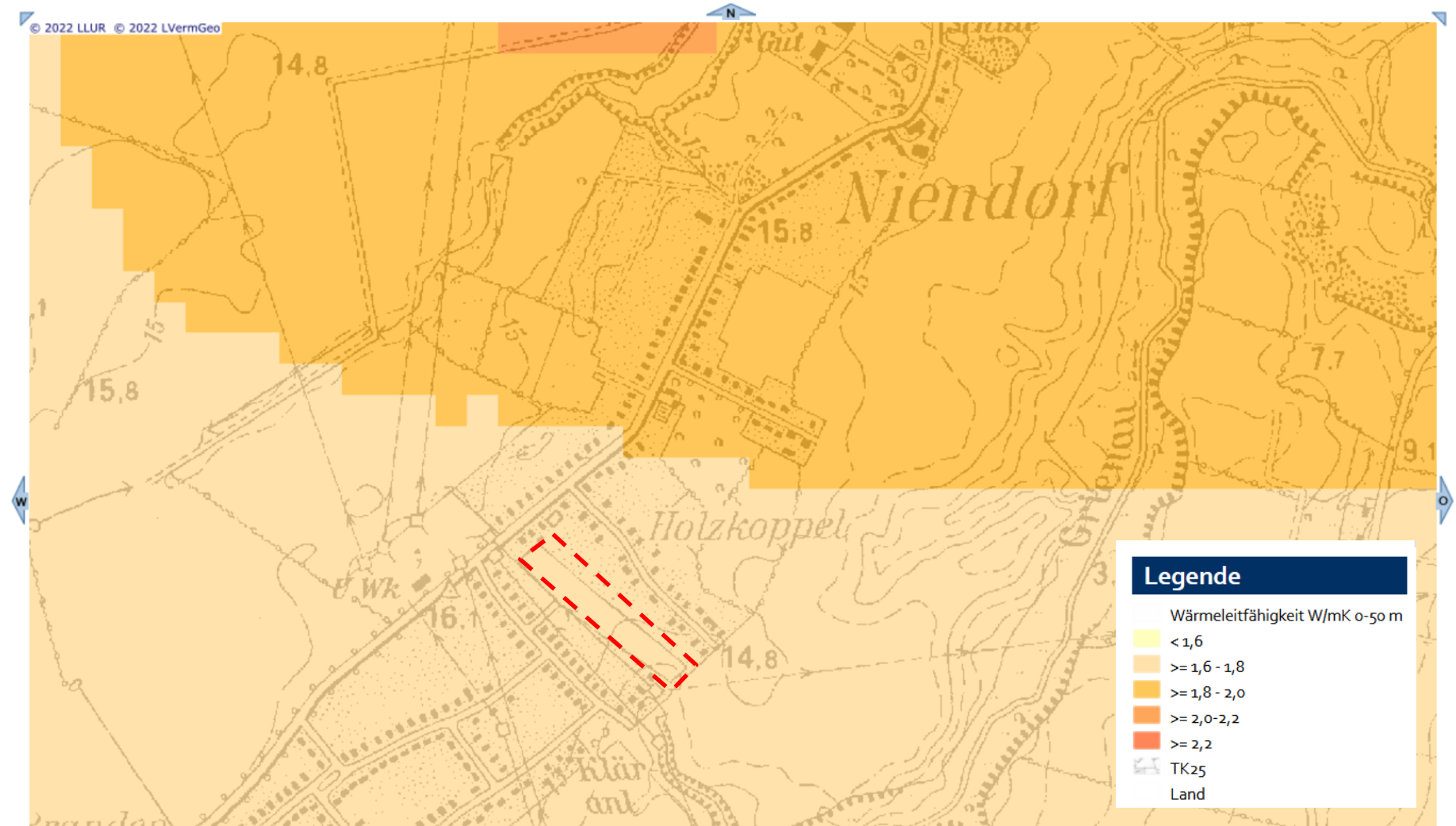


Abbildung 25: Oberflächennahe Geothermie (0-50m) – Wärmeleitfähigkeiten im Baugebiet Niendorf / Holzkoppel (Markierung) (Quelle: Landwirtschafts- und Umweltatlas S-H)

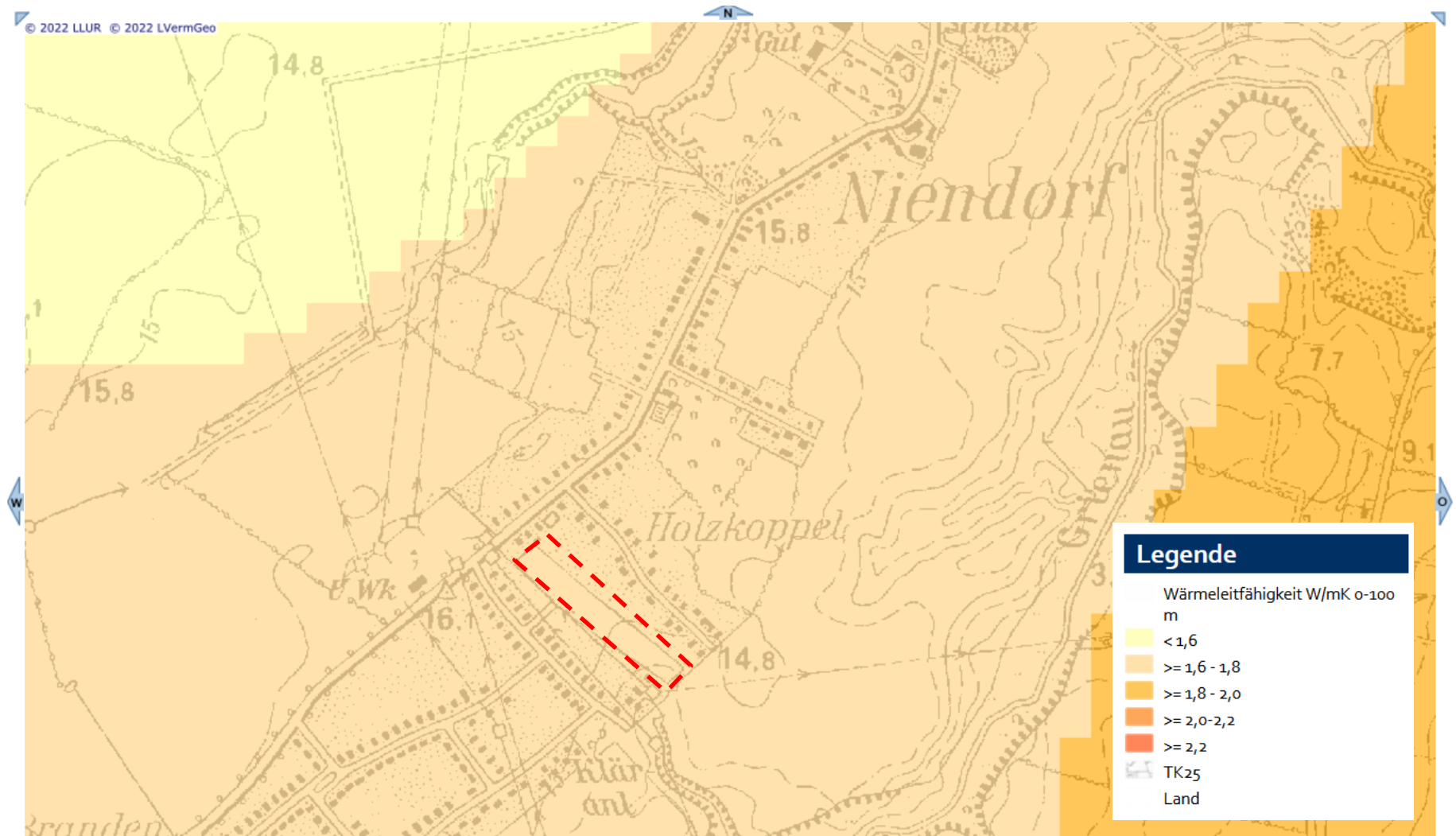


Abbildung 26: Oberflächennahe Geothermie (0-100m) – Wärmeleitfähigkeiten im Baugebiet Niendorf / Holzkoppel (Markierung) (Quelle: Landwirtschafts- und Umweltatlas S-H)

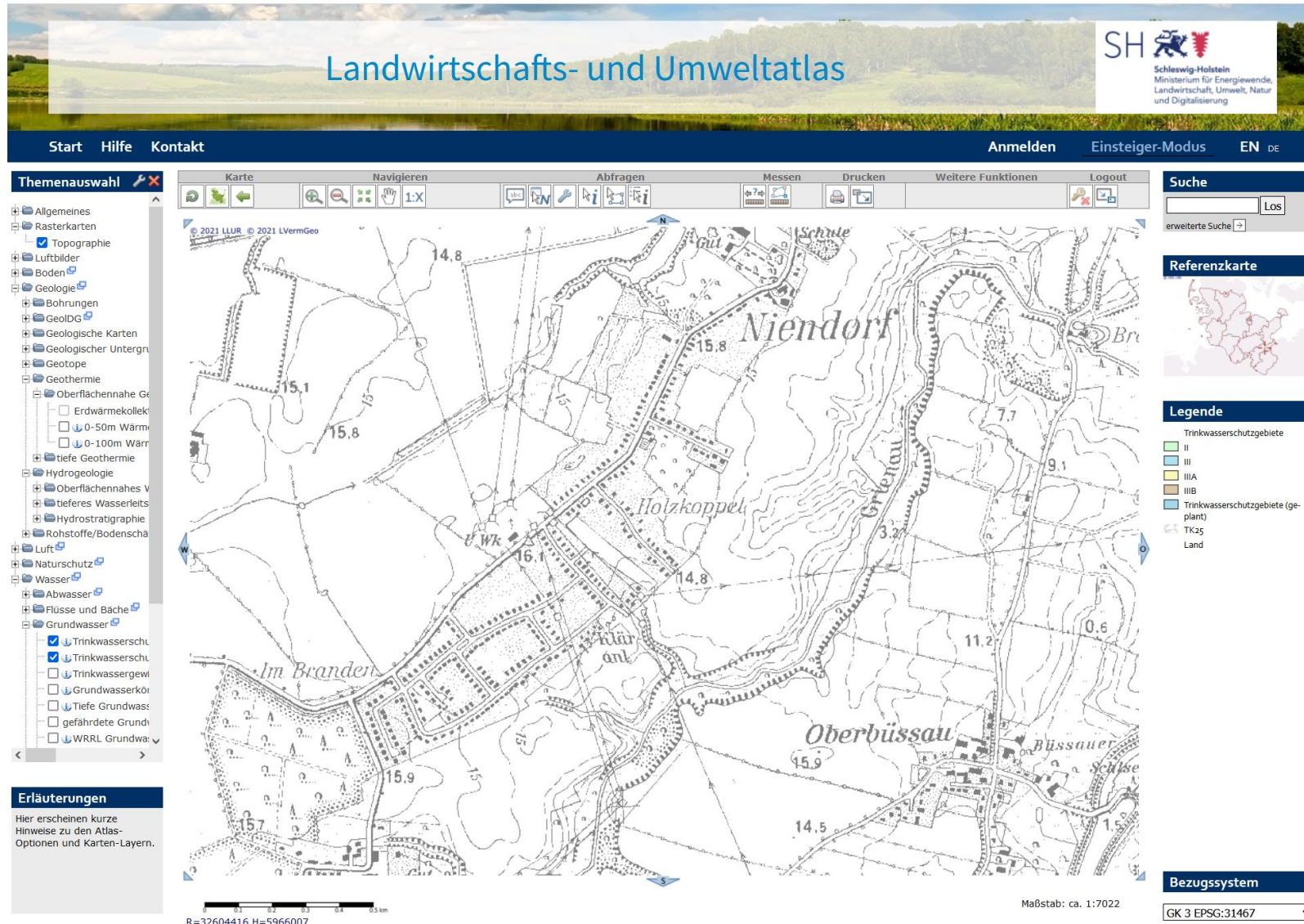


Abbildung 27: Trinkwasserschutzgebiete im Bereich Lübeck Niendorf

