



Im Auftrag der Hanse- und Universitätsstadt Rostock

Amt für Umwelt- und Klimaschutz, Abt. Immissions- und Klimaschutz / Umweltplanung

Holbeinplatz 14, 18069 Rostock

Energiekonzept zum Bebauungsplan Warnowquartier 18146 Rostock

Energiekonzept zum Bebauungsplan WarnowQuartier, 18146 Rostock

Auftraggeber

Hanse- und Universitätsstadt Rostock
Amt für Umwelt- und Klimaschutz, Abt. Immissions- und Klimaschutz / Umweltplanung
Holbeinplatz 14, 18069 Rostock

vorgelegt von der target GmbH
HefeHof 8, 31785 Hameln

in Kooperation mit
Architekturbüro Dr. Burkhard Schulze Darup
Sundgauer Straße 54, 14169 Berlin

Passivhaus Institut GmbH
Rheinstraße 44/46, 64283 Darmstadt

Autoren

Dr. Burkhard Schulze Darup, Architekt, Berlin
Dr. Jürgen Schnieders, Passivhaus Institut Darmstadt
Tobias Timm, target GmbH

Stand

6. November 2021

Gender-Hinweis

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird an einigen Stellen auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Bezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.

Hinweis zur Navigation im Text

Angaben zu Kapiteln oder Abbildungen sind jeweils mit einem Link hinterlegt. In der pdf-Fassung kann durch Anklicken der Zahlen zu den Bezugsquellen navigiert werden.

target GmbH

HefeHof 8, 31785 Hameln
www.targetgmbh.de

Inhalt

1.	Zusammenfassung der Ergebnisse und Empfehlungen	11
1.1	Energiebedarf und Empfehlung zum Energiestandard	11
1.2	THG-Bilanz	14
1.3	Investitionen, Förderungen und Lebenszykluskosten	16
1.4	Empfehlungen zur Bebauungsplanung	18
1.5	Empfehlungen zur Errichtung der Gebäude	19
1.6	Empfehlungen zur energetischen Versorgung des Quartiers	21
1.7	Empfehlungen zur Projektbegleitung	21
1.8	Textvorschlag für die Grundstückskaufverträge	22
2.	Einleitung – Städtebauliche Ausgangslage und Ziel des Energiekonzepts	24
2.1	Aufgabenstellung	24
2.2	Ziele des Energiekonzepts	25
2.3	Vorliegende Bebauungsplanung – zentrale Elemente	25
2.3.1	Struktur des Untersuchungsgebietes	27
2.3.2	Nutzungsmix	28
2.3.3	Geschossfläche und Nutzflächen	29
2.3.4	Geschossigkeit und Höhenabwicklung	29
2.3.5	Verkehr und Erschließung	30
2.3.6	Trägermodelle	31
3.	Projektablauf, Zielstandards und Methodik	32
3.1	Klima- und energierelevante Ziele des Vorhabens	32
3.2	Grundlagenermittlung	32
3.3	Definition von Klimaneutralität und Energiestandards	34
3.3.1	Definition von Klimaneutralität	34
3.3.2	Variante GEG-Referenzgebäude	34
3.3.3	Variante GEG mit Fernwärme	35
3.3.4	Variante Effizienzhaus 55	35
3.3.5	Variante Effizienzhaus 40	35
3.3.6	Variante Effizienzhaus 40 Plus	35
3.3.7	Variante Passivhaus Plus	36
3.3.8	Förderung	38
3.3.9	Förderung bei Versorgung mit Fernwärme	39

3.3.10	Quellen zum BEG und weiteren Förderungen	40
3.4	Methodik des Gutachtens	40
3.4.1	Beschreibung des Simulationswerkzeugs	40
3.4.2	Nutzenergie, Endenergie, Primärenergie	42
3.4.3	Erstellen des Quartiersmodells	43
3.4.4	Grundlagen der Simulation	45
3.4.5	Methodik – Kostenberechnung	46
4.	Entwurfsaspekte und Gebäudehülle	46
4.1	Energetische Optimierung der Gebäude	47
4.2	Maßnahmen an der Gebäudehülle	48
4.2.1	Außenwand	50
4.2.2	Dach	52
4.2.3	KG-Decke und Bodenplatte	54
4.2.4	Fenster und Außentüren	55
4.2.5	Luftdichtheit	56
4.2.6	Wärmebrücken	56
4.2.7	Sommerlicher Wärmeschutz & Lärmschutz	57
5.	Gebäudetechnik - Heizung und Kühlung	59
5.1	Heizung mit Fernwärme	60
5.1.1	Wärmeverteilnetz im Quartier	60
5.1.2	Gebäudetechnische Optionen	61
5.1.3	Wärmeübergabe	62
5.2	Heizung mit Wärmepumpe	62
5.2.1	Anlagenkonstellationen	62
5.2.2	Wärmequellen für den Primärkreis	63
5.2.3	Lastprofil	63
5.2.4	Temperaturlauslegung	63
5.2.5	Wärmeübergabe	64
5.2.6	Investitionskosten	64
5.3	Integriertes System Wärmepumpen-Fernwärme	64
5.3.1	Gebäude	65
5.3.2	Anlagenkonstellationen	66
5.3.3	Wärmequellen für den Primärkreis	66
5.3.4	Temperaturlauslegung	67
5.3.5	Speicher	68

5.3.6	Wärmeübergabe	68
5.3.7	Investitionskosten	68
5.3.8	Management und Booster-Konzepte	69
5.3.9	Ausblick	69
5.4	Kühlung	70
6.	Gebäudetechnik – Warmwasser	71
6.1	Fernwärmesystem mit quartierszentraler Versorgung	72
6.2	Dezentrale Wohnungs-Versorgung in Verbindung mit Wärmepumpen	73
6.3	WW-Versorgung für das integrierte Wärmepumpen-Fernwärme-System	73
6.4	Duschwasser-WRG	73
7.	Gebäudetechnik – Lüftung	74
8.	Gebäudetechnik – Elektro und effiziente Stromnutzung	77
8.1	Einsparpotenzial beim Haushaltsstrom	78
9.	Mobilität	79
10.	Erneuerbare Versorgung – Wärme, Strom und Mobilität	81
10.1	Wärmeversorgung mit Fernwärme	82
10.1.1	Wärmeplan Rostock 2035	82
10.1.2	Leitplanken für die Entwicklung der Fernwärme	84
10.1.3	Synergie-Optionen für die Fernwärme	85
10.1.4	Pro & contra – zentral oder dezentral	86
10.1.5	Wärme und Strom wachsen zusammen	86
10.1.6	Förderung nach BEG in Verbindung mit Fernwärme	86
10.2	Versorgung über Wärmepumpen	87
10.2.1	Erdwärme	87
10.2.2	Kanal-Abwasserwärme	92
10.2.3	Dezentrale Abwasserwärmenutzung	94
10.2.4	Kanal-Abwasserwärme aus dem Gebiet	94
10.2.5	Wasser der Warnow	94
10.2.6	Umgebungsluft	95
10.3	Photovoltaik	95
10.3.1	Dach-PV	95
10.3.2	Fassaden-PV	98
10.3.3	PV im Freiflächenbereich	99
10.3.4	Fazit: PV-Potenzial	99
10.4	Kurz- und Langzeitspeicher	101

10.4.1	Batteriespeicher.....	101
10.4.2	Wärmespeicher	101
10.4.3	Sonstige Langzeitspeicher	102
10.4.4	Installation und Betrieb der PV-Anlage	102
10.5	Elektro- und Wasserstoffmobilität	103
11.	Grundlagen zu Investitionskosten und Wartung	104
11.1	Investitionskosten mit Mehr- und Minderinvestitionen	104
11.1.1	Kostengruppe 300 – Transmissionsflächen	104
11.1.2	Kostengruppe 400 – Gebäudetechnik	104
11.1.3	Mehr-/Minderkosten der Erneuerbaren Energien.....	105
11.1.4	Haushaltsgeräte.....	105
11.2	Wartungskosten	105
11.2.1	Lüftung.....	105
11.2.2	Heizung und Warmwasserbereitung.....	106
12.	Energiebedarf und CO ₂ -Emissionen	106
12.1.1	Endenergiebedarf	106
12.1.2	Primärenergie-Bedarf	108
12.1.3	CO ₂ -Emissionen.....	109
12.1.4	Elektrische Lastgänge und PV-Eigenverbrauch	110
12.1.5	Thermische Solaranlagen und Nahwärme	114
13.	Ökobilanzierung	116
13.1	Ergebnisse.....	116
13.2	Grundlagen und Methodik	118
13.2.1	Module der Lebenszyklusphasen	119
13.2.2	Ökobilanz-Indikatoren	120
13.2.3	Beispiele für die Ökobilanzierung von Konstruktionen.....	122
14.	Investitionskosten und Lebenszykluskosten	125
14.1.1	Investitionskosten	125
14.1.2	Lebenszykluskosten	126
15.	Projektbegleitung, Qualitätssicherung und Monitoring	127
15.1	Planungs- und Bauteam.....	128
15.2	Unterstützung der Teams während der Planungsphase	128
15.3	Qualitätssicherung während der Bauphase	129
15.4	Monitoring im Betrieb.....	131
15.5	Dokumentation und öffentliche Darstellung	131

15.6 Betriebskonzept für Wärme, Strom und Erneuerbare	132
16. Literatur & Quellen.....	135

Abbildungen

Abbildung 1 Endenergiebedarf der Varianten für Wärme und Kühlen im Vergleich zu den PV-Erträgen. Hinweis: Die verschiedenen Energieträger (Strom, Gas, Fernwärme) besitzen unterschiedliche Wertigkeiten und sind daher nur bedingt miteinander vergleichbar.....	12
Abbildung 2 Endenergiebedarf inkl. Nutzerstrom, Elektromobilität und Straßenbeleuchtung. Nur die Bestvariante liegt (ohne die E-Mobilität) im Plusenergiebereich.	12
Abbildung 3 Primärenergiebedarf für Wärme und Kühlen (ohne Haushaltsstrom/Stromnutzung)	13
Abbildung 4 CO ₂ -Emissionen der betrachteten Varianten.	15
Abbildung 5 Gesamtbilanzierung inklusive der konstruktionsbedingten THG-Emissionen in kg _{CO₂äq} pro m ² Wohnfläche und Jahr (Module A1-3) für den Standard Passivhaus Plus (drei Säulen links) und EH 40 Plus. Beide Varianten wurden mit Wärmepumpenversorgung gerechnet, die Variante rechts mit zurückhaltender PV-Bestückung, links mit optimierter PV. Im Ergebnis zeigt sich, dass bei baulicher und gebäudetechnischer Optimierung in Verbindung mit konsequenter Holzbauweise fast Klimaneutralität inkl. der Gebäudeerstellung möglich ist, allerdings nicht zu wirtschaftlich optimalen Voraussetzungen.	16
Abbildung 6 Vergleich der Investitionskosten.....	17
Abbildung 7 Lebenszykluskosten der verschiedenen Varianten. Als Investitionen sind nur die Mehrkosten gegenüber der GEG-Variante mit Fernwärme berücksichtigt. Die Werte für die Mehrinvestition sind Barwerte über den Betrachtungszeitraum unter Berücksichtigung des Restwerts (vgl. Abschnitt 3.4.5).	18
Abbildung 8 Vier Bereiche des Entwicklungsgebietes	24
Abbildung 9 Blick auf das Ufer Unterwarnow-abwärts	25
Abbildung 10 Weg in das Gebiet Richtung Unterwarnow	26
Abbildung 11 Visualisierung der zukünftigen Bebauung [Buga/Machleidt 2021]	27
Abbildung 12 Blick vom WarnowQuartier Richtung Rostocker Innenstadt.....	27
Abbildung 13 Baufelder A bis I im Teilbereich West mit einer Bruttogeschossfläche von 54.400 m ² für Wohnen und 29.400 m ² für Gewerbe. Im Teilbereich Ost befinden sich die Baufelder J bis O mit 32.400 m ² für Wohnen und 28.800 m ² für Gewerbe. Dazu kommen die Flächen für Sondernutzung und Quartiersgaragen.....	28
Abbildung 14 Zuordnung der Nutzungen in den Baufeldern	29
Abbildung 15 Darstellung der Höhenentwicklung der einzelnen Baufelder.....	30
Abbildung 16 Erschließungsachsen und Raumbildung im Gebiet.....	31
Abbildung 17 Grafische Darstellung der Monatsmittelwerte für die Klimabedingungen am Standort.....	33
Abbildung 18 Einfluss der Verbesserungen auf dem Weg vom EH 40 zum Passivhaus Plus auf den Nutzenergiebedarf.....	37
Abbildung 19 Einfluss Staffelgeschosse in der Endenergiebilanz. Elektrische Versorgung, Variante Passivhaus Plus, 80% Ausnutzung der Dachflächen für PV, auch auf Nichtwohngebäuden. Die angegebenen Stromverbräuche enthalten den Hilfsstrom für z.B. Pumpen und Ventilatoren. Nutzerstrom, Elektromobilität und Straßenbeleuchtung sind nicht mit bilanziert.	38
Abbildung 20: Übersicht der Förderkonditionen nach BEG für Wohngebäude [KfW 2021]	39
Abbildung 21 Typische Raumwärmebilanz eines EH 40	41
Abbildung 22 Lastprofil für den Haushaltsstromverbrauch in Wohngebäuden.....	41

Abbildung 23 Lastprofil für Elektromobilität.....	42
Abbildung 24 Grundlage für die Erfassung der Gebäudegeometrie der Baukörper	45
Abbildung 25 Mögliche Struktur eines Wärmenetzes im Quartier	61
Abbildung 26 Heizwärme-Lastprofil für die Variante EH 40 Wärmepumpe über den Winter	63
Abbildung 27 Installationsschema Duschwasser-Wärmerückgewinnung in Form einer Duschrinne. Quelle: Wagner Solar	74
Abbildung 28 Beispielhafte Darstellung von Lüftung mit Wärmerückgewinnung: Variante 1 mit optimierter Kaskadenlüftung, bei der das Zuluftvolumen vollständig in den Schlafbereich eingebracht wird, dort für hohe Luftqualität sorgt und sich dann bei der Überströmung im Wohn-Kochbereich verteilt. Variante 2 wird als Standardlösung nach DIN 1946-6 dargestellt. Der Brandschutz ist abzustimmen	75
Abbildung 29 Ziel zur Senkung der CO ₂ -Emissionen im Verkehr	79
Abbildung 31 Ausschnitt Google-Plan – WarnowQuartier rot markiert	88
Abbildung 32 Wärmebedarf im Jahresverlauf – Annahme für das Erdwärmegutachten [Erdwärmebohrer 2021].....	89
Abbildung 33 Temperaturentwicklung im Jahresverlauf	91
Abbildung 34 Temperaturentwicklung über 25 Jahre ohne Regeneration durch Kühlung im Sommer. Mit Kühlfunktion findet eine Regeneration mit deutlich günstigerem Temperaturverlauf statt.	91
Abbildung 35 Funktionsschema des Wärmetauschers im Kanal [UHRIG 2020]	92
Abbildung 36 Volumenstrom in den beiden Druckleitungen (farblich unterschieden) an zwei Tagen im Sommer	93
Abbildung 37 Volumenstrom am Werksausgang Dierkow.....	94
Abbildung 38 Mögliche PV-Flächen im Freiflächen- und Fassadenbereich	99
Abbildung 39: Einfluss der verfügbaren PV-Flächen auf die Endenergiebilanz. Variante Passivhaus Plus.	100
Abbildung 40 Endenergiebilanz der betrachteten Varianten. Die verschiedenen Energieträger (Strom, Gas, Fernwärme) besitzen unterschiedliche Wertigkeiten und sind daher nur bedingt miteinander vergleichbar.....	107
Abbildung 41 Endenergiebilanz der betrachteten Varianten unter Berücksichtigung aller Energieverbraucher im Quartier. Verschiedene Energieträger (hier Strom und Fernwärme) besitzen unterschiedliche Wertigkeiten und sind daher nur bedingt miteinander vergleichbar.....	108
Abbildung 42 Primärenergiebilanz der betrachteten Varianten. Im Rechenverfahren für den BEG-Nachweis darf ein Teil des am Gebäude erzeugten PV-Stroms angerechnet werden, und zwar umso mehr, je mehr PV-Strom erzeugt wird und je mehr Strom für die Haustechnik verbraucht wird. Daher steigen die zum Vergleich eingetragenen Anforderungen nach GEG bzw. BEG am rechten Bildrand an.	109
Abbildung 43 CO ₂ -Emissionen der betrachteten Varianten.	110
Abbildung 44 Stromlastprofil vs. volle PV-Erzeugung im Januar (oben) und Juli (unten). EH 40, Fernwärmeversorgung, keine Elektromobilität.	111
Abbildung 45 Stromlastprofil vs. volle PV-Erzeugung im Januar (oben) und Juli (unten). EH 40, Wärmepumpe, Durchlauferhitzer, Duschwasser-WRG, keine Elektromobilität.	112
Abbildung 46 Stromlastprofil vs. volle PV-Erzeugung im Januar (oben) und Juli (unten)	113
Abbildung 47 Stromlastprofil vs. volle PV-Erzeugung im Januar (oben) und Juli (unten).....	114
Abbildung 48 Energiebilanz der Parabolrinnenanlage.....	115

Abbildung 49 Gesamtbilanzierung inklusive konstruktionsbedingter jährlicher CO ₂ -Emissionen für den Standard EH 40 Plus mit Wärmepumpenversorgung und einer zurückhaltenden PV-Bestückung. In der Summe werden 22 bis 32 kgCO ₂ im Jahr emittiert.	117
Abbildung 50 Jahresbilanzierung der jährlichen CO ₂ -Emissionen für den Standard Passivhaus Plus mit Wärmepumpenversorgung und einer optimierten PV-Bestückung. In der Summe werden beim Massivbau 12 kgCO ₂ im Jahr emittiert, beim Hyridbau 6 kgCO ₂ und beim Holzgebäude wird nahezu bilanzielle Klimaneutralität inkl. der Grauen Energie erzielt.	118
Abbildung 51 Darstellung der Module A, B und C mit ihren Untergruppen nach DIN EN 15804	120
Abbildung 52 Eingabemaske in der eLCA-Berechnung, in der die Bauteile streng nach Vorgabe der EPS's in der Oekobaudat eingegeben werden. Dazu kommen Angaben über die Bauteildicke, den Anteil im Gefach und die Nutzungszeit, d. h. nach wieviel Jahren ein Austausch erforderlich ist.	122
Abbildung 53 Schemadetail (innen = linke Seite) der Außenwand mit Konstruktionsaufbau. ...	123
Abbildung 54 Schemadetail des Dachaufbaus.....	124
Abbildung 55 Investitionskosten als Mehrinvestition gegenüber der GEG-Variante. Die Förderung nach BEG fällt zwischen den Plus-Varianten geringfügig verschieden aus, da in einigen Fällen die förderfähigen Kosten pro Wohneinheit nicht ausgeschöpft werden.....	126
Abbildung 56 Lebenszykluskosten der verschiedenen Varianten. Als Investitionen sind nur die Mehrkosten gegenüber der GEG-Variante mit Fernwärme berücksichtigt. Die Werte für die Mehrinvestition sind Barwerte über den Betrachtungszeitraum unter Berücksichtigung des Restwerts (vgl. Abschnitt 3.4.5) und daher nicht mit den Werten in Abbildung 55 vergleichbar.	127
Abbildung 57 Benutzeroberfläche einer District Manager App [Ampeers Energy 2021]	133

1. Zusammenfassung der Ergebnisse und Empfehlungen

Die Hansestadt Rostock hat sich das Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2035 klimaneutral zu werden. Zur Eröffnung der Bundesgartenschau im Jahr 2025 soll das „Warnow-Quartier“ in großen Teilen entwickelt sein und einen Impuls für die Klimaneutralität im Stadtgebiet geben. Dazu muss die Bebauung im Gebiet den Anspruch der Treibhausgas-Neutralität erfüllen, genau genommen im Hinblick auf den schwieriger zu ertüchtigenden Gebäudebestand sogar übererfüllen. Die Definition für Klimaneutralität wird folgendermaßen gefasst:

1. THG-Jahresbilanz ($\text{kgCO}_2_{\text{äq}}$) negativ für Heizwärmebedarf, Kühlbedarf, Trinkwarmwasser, Haushalts- bzw. Gewerbestrom vs. Erneuerbaren Erträgen
2. Endenergiebilanz ($\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$) positiv für Heizwärmebedarf, Kühlbedarf, Trinkwarmwasser, Haushalts- bzw. Gewerbestrom vs. Erneuerbaren Erträgen

Bilanziert werden darüber hinaus Mobilität und die Graue Energie mittels Ökobilanzierung (Kap13. .

1.1 Energiebedarf und Empfehlung zum Energiestandard

Die Berechnungen wurden für mehrere Effizienzstandards mit unterschiedlichen Versorgungsoptionen im Vergleich durchgeführt. Die energetischen und wirtschaftlichen Ergebnisse werden dargestellt für folgende Standards (Erläuterung in Kapitel 3.3):

- Variante GEG-Referenzgebäude
- Variante GEG mit Fernwärme
- Variante Effizienzhaus 55 mit Fernwärme
- Variante Effizienzhaus 40 mit Fernwärme
- Variante Effizienzhaus 40 Plus mit Fernwärme
- Variante Effizienzhaus 40 Plus mit Wärmepumpen-Versorgung
- Variante Passivhaus Plus mit Wärmepumpenversorgung und optimierter PV-Nutzung im Gebiet.

Endenergiebedarf

Aus dem Blickwinkel des Endenergiebedarfs ist mindestens der Standard EH/EG 40 zu empfehlen, da der Vergleich des Endenergiebedarfs für Wärme und Kühlen sehr deutlich zeigt, dass erst ab diesem Standard der Energiebedarf so weit gesenkt werden kann, dass eine Plusenergiebilanz bei der verdichteten Bebauung möglich wird. Erwartungsgemäß liegen die Endenergiebilanzen für die Wärmepumpen-Varianten aufgrund der Arbeitszahlen deutlich günstiger als für die Fernwärme. Die Effizienzhaus-Anforderungen an die erneuerbaren Erträge reichen für beide Versorgungsvarianten nicht für eine Plusenergiebilanz aus. Das gelingt erst bei erhöhter PV-Belegung der Gebäude (Näheres: Kapitel 10.3.4), ist aber bei optimierter Ausführung im WarnowQuartier möglich, wie der Standard Passivhaus Plus deutlich zeigt.

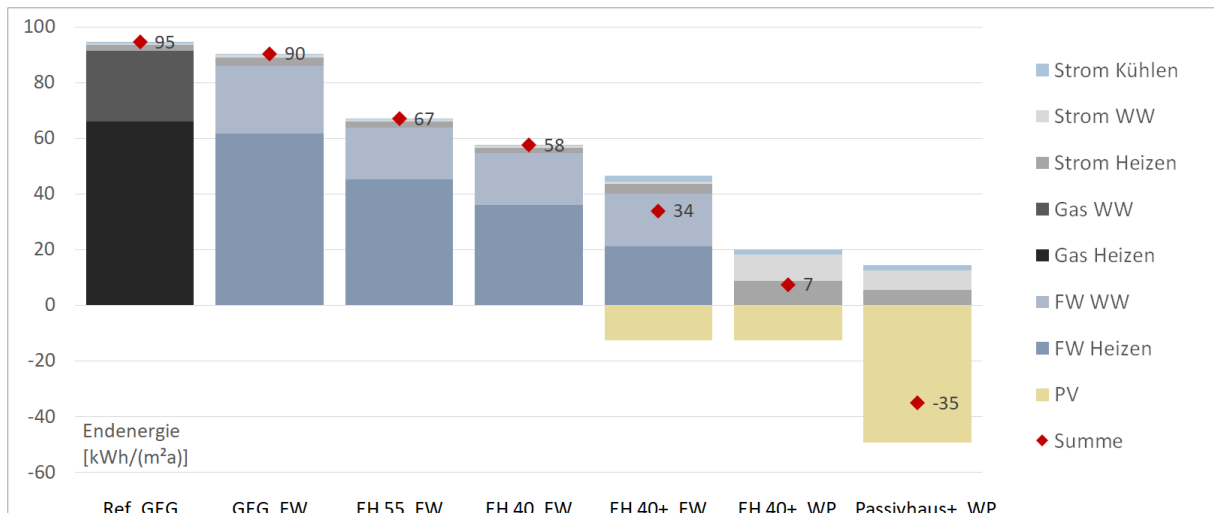


Abbildung 1 Endenergiebedarf der Varianten für Wärme und Kühlen im Vergleich zu den PV-Erträgen. Hinweis: Die verschiedenen Energieträger (Strom, Gas, Fernwärme) besitzen unterschiedliche Wertigkeiten und sind daher nur bedingt miteinander vergleichbar.

Wird darüber hinaus der Nutzerstrom (Haushalts- bzw. Gewerbestromverbrauch) in die Bilanzierung einbezogen, zeigt sich, dass nur die Bestvariante inklusive Nutzerstrom in der Jahresbilanz im Plusenergiebereich liegt. Der Bedarf für die Elektromobilität kann nicht im Gebiet allein gedeckt werden.

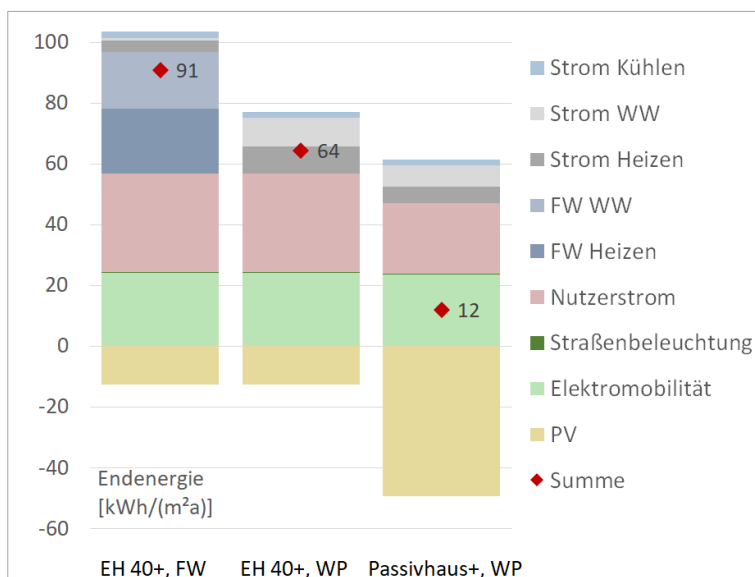


Abbildung 2 Endenergiebedarf inkl. Nutzerstrom, Elektromobilität und Straßenbeleuchtung. Nur die Bestvariante liegt (ohne die E-Mobilität) im Plusenergiebereich.

Primärenergie-Bedarf

Bei der primärenergetischen Betrachtung relativieren sich die Unterschiede zwischen den Versorgungsoptionen. Fernwärme hat gegenüber der Wärmepumpenversorgung einen geringen Vorteil. Es bleibt jedoch die Anforderung, die Effizienz noch weiter zu verbessern und die PV-Nutzung

höher als nach den BEG-Anforderungen für die Pluspakete auszuführen, wie bereits im vorhergehenden Endenergie-Kapitel beschrieben.

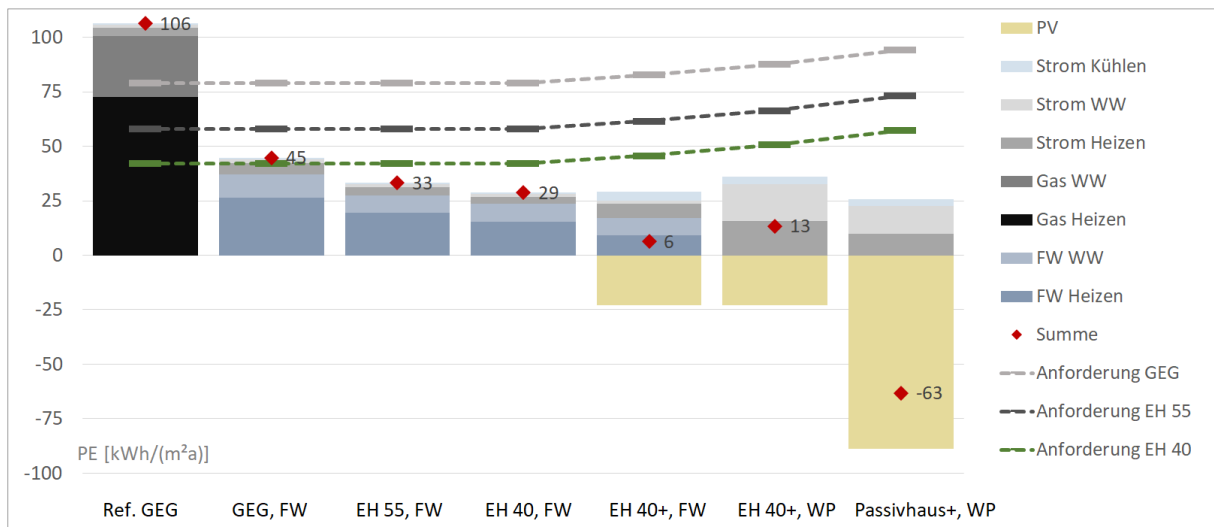


Abbildung 3 Primärenergiebedarf für Wärme und Kühlen (ohne Haushaltsstrom/Stromnutzung)

Empfehlung zu den Energiestandards

Das Gutachten kommt zu dem eindeutigen Ergebnis, mindestens den Standard Effizienzhaus/Effizienzgebäude 40 Plus zu empfehlen in Verbindung mit Passivhaus-Optimierung und mit erhöhtem PV-Ertrag deutlich oberhalb der Plus-Anforderungen des BEG. Die Kurzzusammenfassung der Ergebnisse stellt sich folgendermaßen dar:

GEG-Standard: Der GEG-Standard schneidet sowohl als Referenzvariante als auch mit Fernwärmeversorgung in allen Belangen schlecht ab, sowohl beim End- und Primärenergiebedarf als auch den CO₂-Emissionen. Obwohl die Investitionskosten am niedrigsten liegen, weist die Lebenszyklusbetrachtung den letzten Platz aus, selbst ohne Förderung der effizienten Standards. Die moderaten CO₂-Emissionen der Fernwärme-Variante kommen nur aufgrund des guten Emissionsfaktors zustande.

Effizienzhaus/Effizienzgebäude 55: Der Standard ist aufgrund der überhöhten Förderung der letzten Jahre in der Breite markteingeführt. Bei sorgfältiger Planung liegt er allerdings hinsichtlich aller Aspekte ungünstiger als der Standard EH 40. Der Standard ist nicht mehr als Lösung für die Erreichung der Klimaneutralität anzusehen und wird deshalb ab 1.2.2022 nicht mehr nach BEG gefördert.

Effizienzhaus/Effizienzgebäude 40: Wer das Ziel der Klimaneutralität anstrebt, sollte mindestens diesen Standard ausführen. Selbst ohne Förderung liegt er in der Lebenszyklusbetrachtung gleichauf mit dem EH/EG 55, inklusive Förderung deutlich günstiger. Voraussetzung ist allerdings eine hochwertige Planung durch ein erfahrenes Bauteam. Zu empfehlen ist auf jeden Fall eine Aufrüstung mit erneuerbaren Energieträgern, wie sie in den folgenden Varianten dargestellt wird.

Effizienzhaus/Effizienzgebäude 40 Plus in Verbindung mit Fernwärme: Mit zusätzlicher Photovoltaik stellt sich die Bilanz in allen Belangen nochmal besser dar. Sogar ohne Förderung liegt

die Variante trotz erhöhter Investitionskosten gleichauf mit der EH-55-Option. In der Lebenszyklusbilanz liegt die Variante hinter der Wärmepumpen-Lösung. Insofern ist bei der Weiterentwicklung der erneuerbaren Fernwärme darauf zu achten, dass sie für die Bauherren betriebswirtschaftlich attraktiv bleibt.

Effizienzhaus/Effizienzgebäude 40 Plus in Verbindung mit Wärmepumpen: Die Wärmepumpen-Variante greift auf Abwasser-Abwärme zurück, ergänzt um zusätzliche Erdwärmennutzung. Die Auslegung erfolgt so, dass eine Option für eine sehr geringe Spitzenlast von wenigen Prozent vorgesehen wird. Die gute Bilanz wird erzielt, obwohl die sehr kostengünstige direktelektrische Warmwasserbereitung mit Duschwärmerückgewinnung die PE- und CO₂-Bilanz geringfügig belastet.

Passivhaus Plus in Verbindung mit Wärmepumpen: Durch die Gebäudeoptimierung mit Passivhaus-Qualitäten (bei gleichbleibenden U-Werten im Vergleich zu den Vorvarianten) verbessert sich die Bilanz deutlich, vor allem jedoch durch die umfangreichere Photovoltaik-Nutzung. Damit kann eine Plusenergiebilanz inkl. der Stromanwendungen und bedingt sogar der Elektromobilität erreicht werden. Trotz deutlich erhöhter Investitionskosten liegt die Lebenszyklusbilanz selbst ohne Förderung günstiger als bei den Vergleichsstandards.

1.2 THG-Bilanz

CO₂-Emissionen

Für den Klimaschutz ist vor allem die CO₂-Bilanz des Quartiers entscheidend. Ähnlich wie bei der Primärenergie sind der Fernwärmeanschluss und die Installation der PV-Anlagen die wichtigsten Einzelmaßnahmen.

Unter dem Aspekt eines angemessenen Beitrags zu einem klimaneutralen Rostock 2035 kommt für das WarnowQuartier nur eine Variante mit der Effizienz des Passivhaus Plus und konsequenter Ausnutzung des Potenzials für PV-Stromerzeugung in Betracht. Die Wärmeversorgung kann unter diesen Voraussetzungen sowohl über Fernwärme als auch über Wärmepumpe realisiert werden. Unter den aktuellen Randbedingungen ergibt sich dann über das Jahr insgesamt eine positive CO₂-Bilanz, d. h. auch bei Berücksichtigung des Nutzerstroms liegen die Emissionen in der Jahresbilanz unter Null.

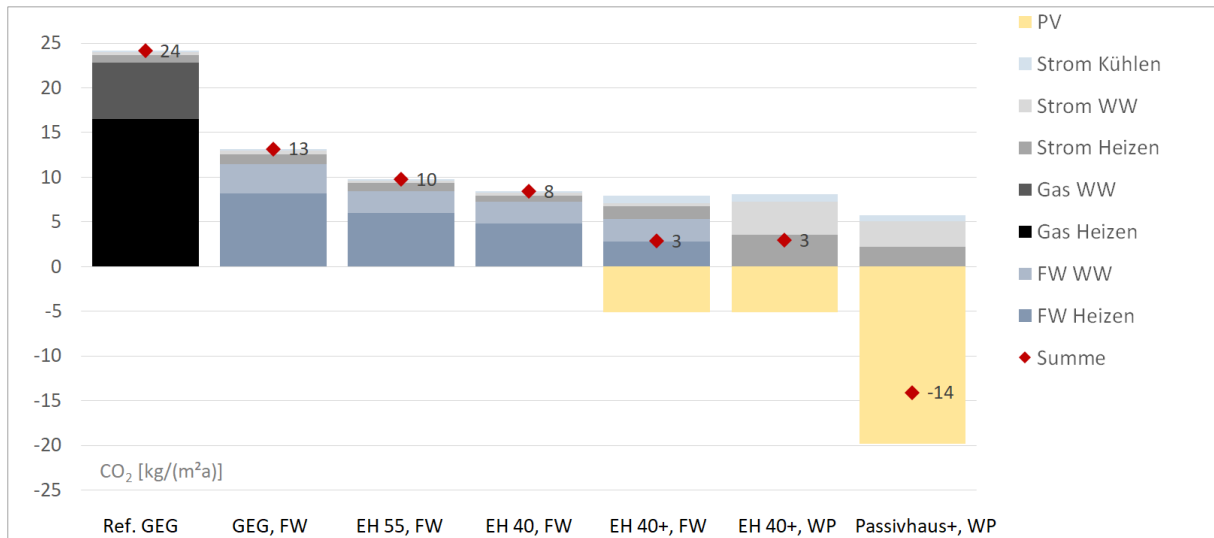


Abbildung 4 CO₂-Emissionen der betrachteten Varianten.

Graue Energie

Auf Grundlage von Benchmarks aus Vergleichsprojekten wurden für das Gebiet die Treibhausgasemissionen für drei Bauweisen und vier Gebäudetypen als Treibhauspotenzial in CO₂-Äquivalenten ermittelt. In der Summe werden durch die Gebäude in Massivbauweise jährlich 2.385 Tonnen CO_{2äq} induziert, durch die Hybridbauweise 1.584 und die Holzbauweise 940 Tonnen CO_{2äq}. Mithin kann durch die Hybridbauweis ca. ein Drittel der Emissionen eingespart werden, durch die Holzbauweise 61 Prozent gegenüber der Massivbauweise. Wichtig ist dabei zu bedenken, dass Unterkellerungen und Tiefgaragen die Bilanz deutlich verschlechtern können. Dabei geht es für alle Bauweisen – bei Bezug auf die Wohnfläche – um eine zusätzliche Belastung von 4 bis 10 kg_{CO_{2äq}}/(m²a).

Tabelle 1 THG-Emissionen der vier Nutzungsarten für die Massiv-, Hybrid- und Holzbauweise im Gebiet [kg_{CO_{2äq}}/a]

Nutzungstyp	BGF gesamt	EBF Gebäude	Massivbauweise		Hybridbauweise		Holzbauweise	
			THG spez	THG ges.	THG spez	THG ges.	THG spez	THG ges.
			THG-Emiss.	THG-Emiss.	THG-Emiss.	THG-Emiss.	THG-Emiss.	THG-Emiss.
	m ²	m ²	kgCO _{2äq} /m ² a	kgCO _{2äq} /a	kgCO _{2äq} /m ² a	kgCO _{2äq} /a	kgCO _{2äq} /m ² a	kgCO _{2äq} /a
Wohnen MFH	94.340	66.735	16,0	1.067.752	10,6	707.386	5,8	387.060
Publ / Gewerbe / Sondernutzung	79.413	58.151	18,0	1.040.837	11,2	649.725	6,5	376.021
Kita / Theater	5.381	3.981	15,0	59.709	10,4	41.398	5,5	21.893
Garage	19.523	15.466	14,0	216.530	12,0	185.597	10,0	154.664
Summe	198.657	144.333		2.384.828		1.584.106		939.639
Prozent				100%		66%		39%

Gesamtbilanzierung

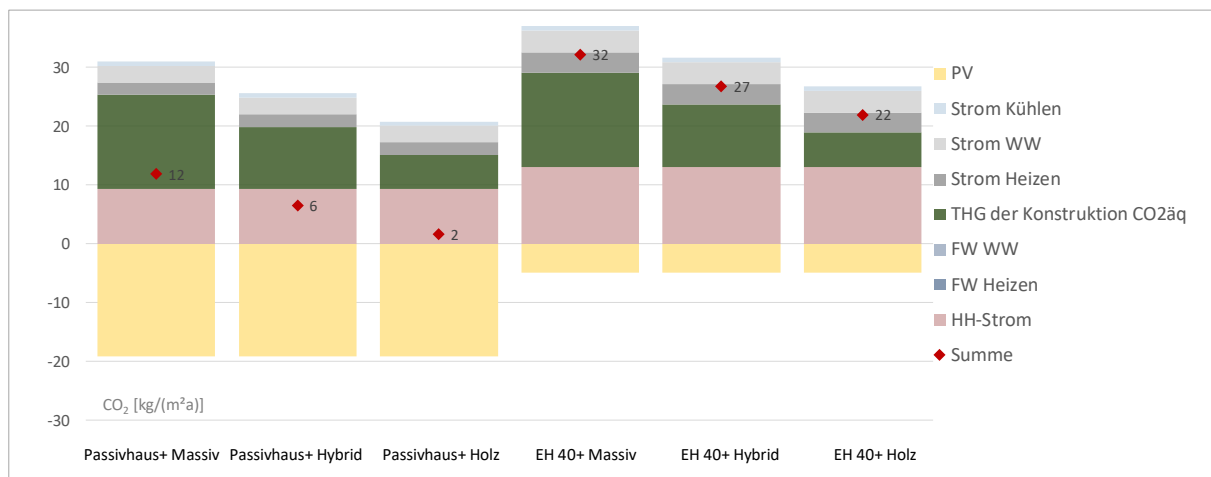


Abbildung 5 Gesamtbilanzierung inklusive der konstruktionsbedingten THG-Emissionen in kg_{CO₂äq} pro m² Wohnfläche und Jahr (Module A1-3) für den Standard Passivhaus Plus (drei Säulen links) und EH 40 Plus. Beide Varianten wurden mit Wärmepumpenversorgung gerechnet, die Variante rechts mit zurückhaltender PV-Bestückung, links mit optimierter PV. Im Ergebnis zeigt sich, dass bei baulicher und gebäudetechnischer Optimierung in Verbindung mit konsequenter Holzbauweise fast Klimaneutralität inkl. der Gebäudeerstellung möglich ist, allerdings nicht zu wirtschaftlich optimalen Voraussetzungen.

Die Bilanzierung der Grauen Energie, also der konstruktionsbedingten THG-Emissionen in kg_{CO₂äq} pro m² Wohnfläche und Jahr (Module A1-3), zusammen mit den CO₂-Emissionen des Gebäudebetriebs (Modul B6) weist in Abbildung 48 die Bilanz der drei Konstruktionstypen für zwei Gebäudestandards auf. Durch die optimierte Anwendung der Photovoltaik wird in der Jahresbilanzierung für den optimierten Passivhausstandard in Verbindung mit dem Holzbau nahezu Klimaneutralität inkl. der Grauen Energie erreicht. Aus Wirtschaftlichkeitserwägungen heraus sollte nicht angestrebt werden, dass die Gebäude „ihre“ Graue Energie zurückgewinnen. Vielmehr ist es Aufgabe der Bauindustrie, ihre Materialien und Produkte innerhalb von zwei Jahrzehnten klima- und ressourcenneutral herzustellen. Auf dem Weg dorthin kann die Ökobilanzierung den Planern und Entscheidern Hilfestellung geben, welche Produkte diesen Weg am konsequentesten und schnellsten beschreiten. Dafür könnte beim WarnowQuartier durch Bilanzierung und Optimierung der Gebäude sowie Sammeln von praxisgerechten Benchmarks ein wichtiger Beitrag geleistet werden.

1.3 Investitionen, Förderungen und Lebenszykluskosten

Investitionskosten und Förderungen

Die Investitionskosten werden unterschieden in die Standardkosten für das Erreichen des GEG-Standards und die Mehrinvestitionen für erhöhte Standards, die in Abbildung 6 als spezifische Kosten pro Quadratmeter Wohnfläche dargestellt werden. Die Kostenannahmen setzen eine optimierte Planung voraus, weniger erfahrene Planer benötigen um ca. 30 bis 50 Prozent erhöhte Mehrinvestitionen. Es zeigt sich allerdings, dass die Förderhöhe aller Varianten die tatsächlichen Mehrinvestitionen deutlich überschreitet (vgl. Aussagen zur Förderung in Kapitel 3.3.8). Besonders eklatant ist das Missverhältnis beim Standard EH/EG 55. Dem trug die Bundesregierung kurz vor

Fertigstellung dieses Gutachtens Rechnung, indem die EH/EG 55-Förderung zum 1.2.2022 ausläuft. Es ist davon auszugehen, dass durch die dadurch freiwerdenden Fördermittel die BEG-Gestaltung für die Beststandards angepasst wird. Z. B. könnte der Beststandard, der in der aktuellen Systematik keine Zusatzförderung gegenüber dem EH/EG 40-Standard erhält, zukünftig zusätzlich gefördert werden. Dennoch lässt sich bereits bei der aktuellen BEG-Konfiguration aussagen, dass allein schon aus betriebswirtschaftlicher Sicht mindestens der Standard EH/EG 40 Plus geboten ist, da die Förderungen die Mehrinvestitionen deutlich überschreiten und vor allem die Lebenszykluskosten die günstigeren Werte ausweisen.

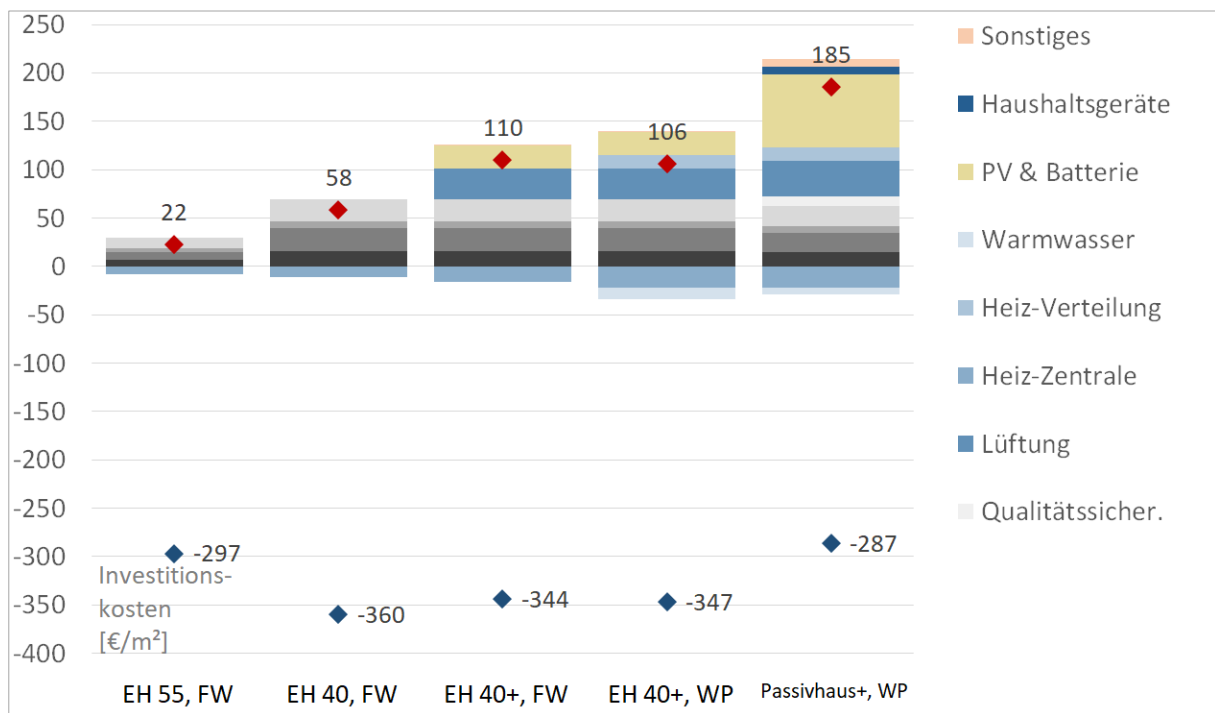


Abbildung 6 Vergleich der Investitionskosten

Lebenszykluskosten

Die Erstellung der wirtschaftlichen Lebenszyklusanalyse für die Gebäude umfasst neben den aus den Investitionen resultierenden Finanzierungskosten die Betriebs- und Unterhaltungskosten für die Gebäude. Die Bilanz enthält eine Restwertbetrachtung, die die Aussagen zur Wirtschaftlichkeit weitgehend unabhängig vom Betrachtungszeitraum macht und damit die Lebenszyklusanalyse deutlich präzisiert. Abbildung 7 zeigt die kumulierten Kosten über den Betrachtungszeitraum pro Quadratmeter Wohnfläche. Die Summe aus den Mehrinvestitionen und den Betriebskosten für die Energie inklusive des Haushaltsstroms sinkt sukzessive mit dem Energiebedarf. Schon ohne Förderung ist die Variante Passivhaus Plus diejenige mit den geringsten Gesamtkosten. Die BEG-Förderung führt zu einer zusätzlichen Verbesserung: Die Netto-Investition bleibt etwa dieselbe, die Energieeinsparung verbleibt als Bonus bei den Nutzern.

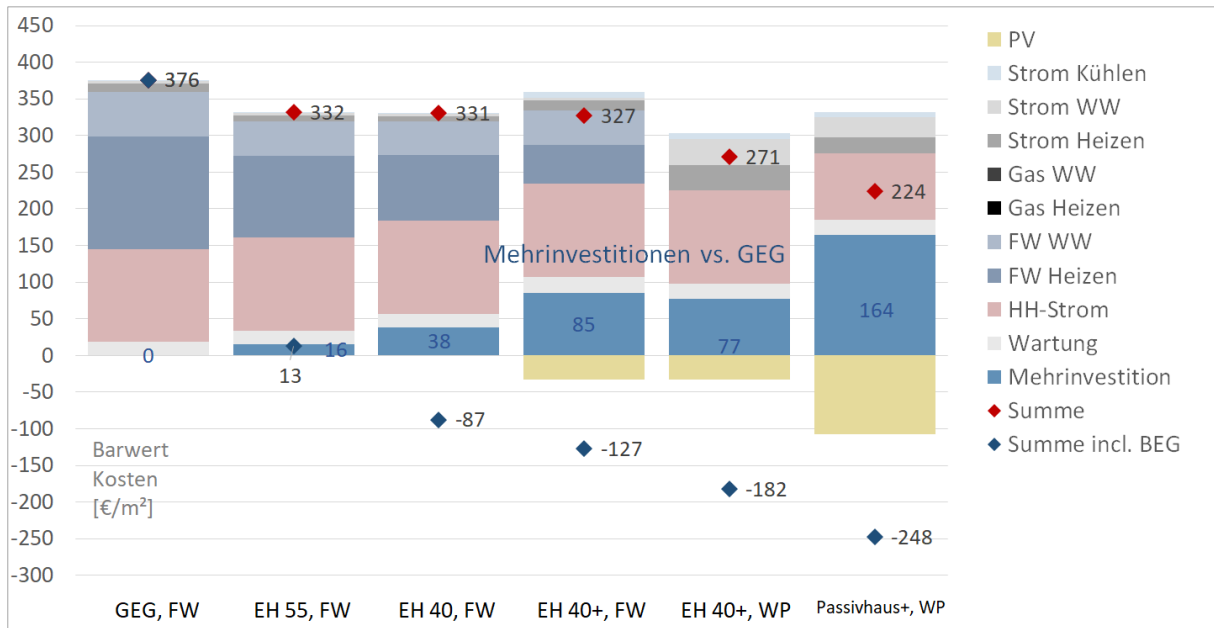


Abbildung 7 Lebenszykluskosten der verschiedenen Varianten. Als Investitionen sind nur die Mehrkosten gegenüber der GEG-Variante mit Fernwärme berücksichtigt. Die Werte für die Mehrinvestition sind Barwerte über den Betrachtungszeitraum unter Berücksichtigung des Restwerts (vgl. Abschnitt 3.4.5).

1.4 Empfehlungen zur Bebauungsplanung

Aus energetischer Sicht werden folgende Empfehlungen hinsichtlich der Bebauungsplanung gegeben:

Entwurfs-Optimierung der Gebäudecluster aus Objektsicht

- Überprüfung der einzelnen Cluster, um hinsichtlich des späteren Projektentwurfs möglichst wirtschaftliche Voraussetzungen zu schaffen. Dadurch entstehen erhöhte Akzeptanz und der finanzielle Spielraum für die Erfüllung weiterer Nachhaltigkeitsanforderungen
- Besondere Beachtung von problematischen Gebäudeformen, z. B. in den Nordost- und Nordwestbereichen der Cluster, um Ausrichtung und solare Erträge für einen hohen Anteil der Flächen zu optimieren
- Möglichst hoher Freiraum für die Objektplanung bei angemessenen Gestaltungsaufgaben
- Hohe Gebäudetiefe ermöglichen, um kompakte und damit kosten- und energieeffiziente Gebäude entwerfen zu können
- Berücksichtigung der erhöhten Wanddicken bei der GFZ-Festlegung, sodass durch die erforderlichen Dämmdicken keine Reduktion der Nutzfläche erzeugt wird. Vorgeschlagen wird eine GFZ zwei Prozent oberhalb der ursprünglich angestrebten Kennwerte.

Anregungen zum Gestaltungshandbuch

- Kompaktheit der Baukörper sollte mit guter Gestaltung in Übereinstimmung gebracht werden, das ist nicht nur gut für die Energieeffizienz, sondern auch für die Wirtschaftlichkeit der Gebäude
- Höhenstaffelung: möglichst moderate Nutzung von Staffelungen, um Eigenverschattung für PV, erhöhte Investitionskosten und ungünstige Beeinflussung des AVV-Verhältnisses zu minimieren
- Staffelgeschoss: möglichst weitgehend vermeiden aufgrund erhöhter Investitionskosten und Reduktion der PV-Fläche
- Fassadenversatz und Rücksprünge für Loggien/Freisitze: wie vor, d. h. nur zurückhaltend einsetzen, um Eigenverschattung in der Fassade möglichst zu reduzieren
- Fassadenbegrünung: kein positiver Einfluss auf Effizienz; sehr aufwändig zu planen und vor allem zu pflegen (alternativ intensivere Begrünung im direkt erfahrbaren Freiflächenraum)
- Fassaden-PV: Vorschlag für die Integration in oberen Geschossen auf den Süd-Ost-West-Seiten der Gebäude
- Fenstergößen & Fenstergestaltung gestalterisch und energetisch optimieren: wichtig sind Effizienz, Wärmeschutz im Winter und Sommer, Belichtung & Beleuchtung, Komfort & subjektives Empfinden sowie die Kosten
- Technisch bedingte Nutzungen im Dachbereich z. B. für Gebäudetechnik oder Aufzugüberfahrten sollten vermieden werden, um PV-Flächen vollständig nutzen zu können.

Plusenergiebilanz durch Photovoltaik

- Mit Blick auf die erneuerbaren Erträge des Gebiets sollten möglichst große Flächenanteile im Dachbereich für Photovoltaik nutzbar sein.
- Um bilanzielle Klimaneutralität zu erzielen, sollten mindestens 75 Prozent der bebauten Fläche als PV-Modulfläche zur Verfügung stehen
- Fassaden-PV sollte in geeigneten Bereichen als Empfehlung aufgenommen werden
- Ergänzend wird empfohlen, PV-Flächen im Freiflächenbereich in die Bebauungsplanung aufzunehmen.

1.5 Empfehlungen zur Errichtung der Gebäude

Baulich energetische Gestaltung der Gebäude

Die Anforderungen an die baulich-energetische Gestaltung der Gebäude und Gebäudecluster werden in Kapitel 4. beschrieben. Es ist der Beststandard nach BEG umzusetzen, der aktuell durch den Standard EH 40 Plus / EG 40 EE gekennzeichnet ist. Die folgende tabellarische Zusammenfassung stellt die Grundlage der Berechnungen dar und kann als Anforderung für die Ausschreibung bei der Gebäudevergabe genutzt werden.

Tabelle 2 Zielstandards der Transmissionsflächen und Effizienzanforderungen

Bauteil		GEG	EH 55	EH 40	PH
Dach	W/(m²K)	0.20	0.14	0.10	0.10
Wand	W/(m²K)	0.28	0.20	0.13	0.13
KG-Decke/Bodenplatte	W/(m²K)	0.35	0.25	0.20	0.20
Fenster U-Wert	W/(m²K)	1.3	0.95	0.78	0.78
Fenster g-Wert	-	0.6	0.5	0.5	0.5
Hautür U-Wert	W/(m²K)	1.8	1.3	1	1
Lüftung WRG	%	0	0	0	0.85
Luftdichtheit n ₅₀	1/h	1.5	1.5	1.5	0.6
Wärmebrückenzuschlag	W/(m²K)	0.05	0.015	0.015	0

Gebäudetechnik

Die Versorgungsoptionen mit Fernwärme oder über Wärmepumpen erweisen sich als die günstigsten Varianten und werden deshalb im Gutachten näher untersucht. Für die Ausbildung der Gebäudetechnik werden die Konstellationen in der folgenden Tabelle vorgeschlagen und in Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** näher beschrieben.

Tabelle 3 Systematik der Versorgung, unterteilt nach Fernwärmeversorgung und Wärmepumpen-Variante

	Fernwärme		Wärmepumpe	
	Wohnen	Gewerbe	Wohnen	Gewerbe
Heizung	Fernwärme		Wärmepumpe & Spitzen-Wärmeerzeuger	
Primärkreis			Abwasserwärme	
Übergabe	Heizkörper		Fußbodenheizung	Betonkerntemperierung
Kühlung	keine Kühlung	Kompressionskälte	Nahwärmenetz	Nahwärmenetz & Kompr.
Warmwasser	Fernwärme, Dreileiter, Wohnungsstationen		Direktelektrisch & Dusch-WRG	Direktelektrisch
Lüftung	Zu-/Abluft mit WRG		Zu-/Abluft mit WRG	
Gemeinstrom	Kundenanlage für PV-Strom & Netzstrom			
Gewerbestrom	Kundenanlage für PV-Strom & Netzstrom			
Haushaltsstrom	Kundenanlage für PV-Strom & Netzstrom mit je < 400 Einheiten			

Kühlung

Bei der Wärmepumpen-Variante ist eine Temperaturabsenkung über die Fußbodenheizung mit sehr geringen Mehrinvestitionen möglich, wodurch in zukünftigen Hitzeperioden die Temperaturspitzen in den Gebäuden um ca. vier Grad gemindert werden können. In Verbindung mit der Lüftungstechnik der Gebäude werden dadurch sehr einfache und effiziente Lösungen für den sommerlichen Wärmeschutz und zugleich den Schallschutz ermöglicht.

Diese Option ist für die Fernwärme-Variante nicht gegeben, bzw. nur mit hohem Mehraufwand möglich. Deshalb werden dort nur Temperierungs- bzw. Kühlmaßnahmen für die gewerblichen Gebäude vorgesehen. Der sommerliche Wärmeschutz ist im Rahmen der weiteren Planung nachzuweisen.

1.6 Empfehlungen zur energetischen Versorgung des Quartiers

Parallel zu diesem Gutachten wird der Wärmeplan für die Stadt Rostock erstellt. Die Dekarbonisierung der Fernwärme soll bis 2035 Klimaneutralität im Gebäudebestand ermöglichen. In Kapitel 10.1.1 werden die umfangreichen Wärmequellen aus Abwärme und Erneuerbaren Energien beschrieben, die über das Fernwärmenetz verteilt werden und die verdichteten Bereiche der Stadt versorgen werden. Die Versorgung des Gebiets mit Fernwärme ist zu empfehlen, weil in diesem zentralen und verdichteten Stadtbereich Fernwärme wirtschaftlich einsetzbar ist und im Sinn des Gemeinwohls das Fernwärmenetz im verdichteten Bereich der Stadt Rostock möglichst flächendeckend genutzt werden sollte. Die Kennwerte der Wärmepumpenvarianten geben ergänzend eine gute Grundlage für die Tarifgestaltung, d. h. die vertretbaren Kosten für Fernwärme, und weiterhin für die Entscheidung, ab welcher Dichte und Lage Quartiere in den äußeren Bereichen von Rostock ausschließlich über das Stromnetz, d. h. über Wärmepumpensysteme versorgt werden. Darüber hinaus wurde ein Ausblick in Kapitel 5.3.9 erstellt, in welchem Umfang dezentrale Wärmequellen in Gebieten wie dem Warnowquartier in die Fernwärmeversorgung integriert werden können. Bei Vorliegen ausreichender kostengünstiger Abwärmeressourcen wie aktuell in Rostock ist diese Option nicht wirtschaftlich umsetzbar. In Kommunen ohne ausreichende zentrale Wärmequellen kann insbesondere zum zukünftigen Lastmanagement in erneuerbaren Fernwärmesystemen die Einbindung mehrerer Quartiere als Wärme- und Spitzenlastlieferanten interessant sein.

Kurz vor Fertigstellung des Gutachtens erfolgte eine Anpassung der Förderung nach BEG, sodass bei Vorliegen eines Transformationsplans die Förderung der BEG-Standards 40 EE und 40 Plus auch bei Fernwärmeversorgung möglich ist. Die bis dahin geltenden Einschränkungen zu diesem Punkt entfallen (s. Kapitel 10.1.6).

Es wird empfohlen, dass die Stadtwerke den Bauherren Angebote für eine Komplettversorgung mit Wärme, Strom und Erneuerbaren inklusive des Betriebs mit zwei Tarifkonzepten unterbreiten, wovon eines als Flatratelösung ausgelegt sein sollte (s. Kap. 15.6). Weiterhin kann das Angebot Wartung, Monitoring, Abrechnung sowie optional weitere Serviceleistungen enthalten. Ergänzend dazu ist es sinnvoll Investitionen in die zentrale Hardware sowie in additive smarte Techniken anzubieten. Alle Angebote können auch in Form eines Contractings umgesetzt werden.

1.7 Empfehlungen zur Projektbegleitung

Da zahlreiche innovative Anforderungen gestellt werden, sollten die Planungsteams gezielt durch die Stadt Rostock (Amt für Umwelt- und Klimaschutz oder BUGA) durch folgende Maßnahmen unterstützt werden (s. Kapitel 15.2). Das dient vorrangig dazu, die Investoren zu unterstützen, zugleich wird eine hohe Qualität auf diesem Weg sichergestellt, auch hinsichtlich der Anforderungen, die mit dem Grundstückskauf vereinbart werden.

- Planer-Workshop: als Voraussetzung für die Umsetzung der besonderen Anforderungen
- Grundstückskaufvertrag: Klare Anforderungen und begleitende Anleitung für den Entwurf

- Projekt-Workshops: Diskussion aller offenen Fragen projektbezogen mit jedem Planungsteam (Vorentwurfsphase, optional in der Entwurfs- und Werkplanungsphase)
- Individuelle Projektberatung: ergänzend zum Workshop seitens eines Expertenteams
- Durchführung der energetischen Berechnung nach DIN V 18599 und PHPP
- BEG-Förderung: Begleitung bei der Antragstellung des BEG-Programms und optional weiterer Förderungen
- Ökobilanzierung: Im Rahmen der Berechnung nach DIN V 18599 mit einem integrierten Rechenprogramm
- Qualitätssicherung während der Bauphase (s. Kapitel 15.3)
- Monitoring im Betrieb: Durchführung gemeinsam mit den Stadtwerken (s. Kapitel 15.4).

1.8 Textvorschlag für die Grundstückskaufverträge

Über die Grundstückskaufverträge können verbindliche Anforderungen für die Errichtung der Gebäude gestellt werden. Im Fall der Nichteinhaltung sollten relevante Nachzahlungen auf den Grundstückspreis vereinbart werden, welche die möglicherweise eingesparten Baukosten um mindestens das doppelte übersteigen. Folgende Formulierung wird für die Aufnahme in den Grundstückskaufvertrag der einzelnen Gebäude empfohlen:

„Im Gebiet des Bebauungsplans Warnowquartier, 18146 Rostock, wird eine Bebauung im Sinn der Klimaneutralität errichtet, wofür folgende Verpflichtungen eingegangen bzw. Unterstützungen gewährt werden:

1. Die Gebäude werden im Beststandard nach BEG (derzeit EH 40 Plus / EG 40 EE) in Passivhausqualität errichtet.
2. Die Wärmeversorgung erfolgt verpflichtend über das Nahwärmenetz im Bebauungsgebiet (präzisieren nach Festlegung der Versorgungsart Fernwärme/Wärmepumpen). Festbrennstoffheizung wird ausdrücklich ausgeschlossen.
3. Warmwasserbereitung erfolgt über wohnungsweise Wärmepumpen oder mittels Durchlauferhitzer in Verbindung mit Dusch-Wärmerückgewinnung (diese Position gilt nur bei der Wärmepumpenvariante)
4. Auf dem Grundstück werden erneuerbare Erträge über Photovoltaik in Höhe von mindestens 100 kWh pro Quadratmeter überbauter Grundfläche generiert. Dies gilt auch, wenn die Anforderungen des BEG geringer sind. Falls diese Anforderung auf dem eigenen Grundstück nicht erfüllt werden kann, ist zum Nachweis eine Beteiligung an sonstigen PV-Anlagen im Bebauungsgebiet zu Kosten von 1.500 €/kW_{peak} möglich.
5. Die Stadtwerke Rostock bieten eine Komplettversorgung des Gebäudes mit Wärme und Strom inkl. Errichtung und Management der PV-Anlagen mit zwei Tarifmodellen an, wobei eines als Flatrate-Modell gestaltet wird in Verbindung mit einem Smart-Home-Angebot für die Bewohner und einem Kommunikations- und Servicekanal für die Verwaltung des Gebäudes.
6. Zur Unterstützung der Grundstückserwerber werden folgende Leistungen seitens der Stadt Rostock angeboten:
 - a. Energetische Berechnung für den GEG- und BEG-Nachweis sowie nach PHPP zur energetischen Optimierung des Gebäudes (durch Amt für Umwelt- und Klimaschutz oder BUGA)

- b. Antragstellung für Fördergelder nach BEG inkl. der erforderlichen Vorabstimmung (Begleitung durch Amt für Umwelt- und Klimaschutz oder BUGA)
- c. Energetische Beratung während der Bauzeit (durch Amt für Umwelt- und Klimaschutz oder BUGA).
- d. Energiedienstleistungen Wärme, Strom und Erneuerbare (Stadtwerke Rostock)
- e. Beratungs- und Incentiveprogramm für effiziente Haushaltsgeräte inkl. einer Förderung pro Haushalt (die Kosten für die Förderung seitens der Stadt Rostock sind bereits im Grundstückspreis enthalten).

Es wird ein Monitoring über drei Jahre nach Fertigstellung der Gebäude durchgeführt. Die Bauherren verpflichten sich, während dieser Zeit dem Monitoring des Energieverbrauchs und der anonymisierten Dokumentation zuzustimmen.

2. Einleitung – Städtebauliche Ausgangslage und Ziel des Energiekonzepts

Die Hansestadt Rostock hat sich das Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2035 klimaneutral zu werden. Im Jahr 2025 findet in Rostock die Bundesgartenschau statt. Im Zuge dessen soll das „Warnow-Quartier“ in großen Teilen entwickelt sein.

Das B-Plangebiet „Warnow-Quartier“ ist Bestandteil des „Rostocker Ovals“ am nordöstlichen Bereich der Unterwarnow. Vor dem Hintergrund der angestrebten Klimaneutralität soll die Chance ergriffen werden, das Quartier zukunftsfähig zu entwickeln. „Ziel des Bebauungsplanes ist es, mit einem hochwertigen, innovativen und städtebaulich-funktionalen Konzept eine ganzheitliche und nachhaltige Entwicklung des Bereiches vorzubereiten und dauerhaft sicherzustellen. Insbesondere soll dieses Quartier zukunftsweisend und beispielhaft hinsichtlich Lebensqualität sowie Ressourcen- und Klimaschutz gestaltet werden.“ (Quelle: Ausschreibungstext)

2.1 Aufgabenstellung



Abbildung 8 Vier Bereiche des Entwicklungsgebietes

Das Warnow-Quartier gliedert sich in vier Teilbereiche. Als zukünftige Nutzung für die Teilbereiche eins bis drei ist eine Mischung aus Wohnen, Gewerbe und Sondernutzungen in einem angestrebten Mischungsverhältnis von 40:40:20 geplant. Es soll ein modernes Quartier mit einer modellhaften Bebauung entstehen, wobei bestehende Gewerbestrukturen umgestaltet und innerhalb eines schrittweisen Transformationsprozesses entwickelt werden. Im Zuge des Energiekonzepts sollen

die Bereiche zwei und drei betrachtet werden. Der Teilbereich 4 „Leben auf dem Wasser“ beinhaltet die Realisierung eines Schwimmstegs. Im Nachtrag wurde darum gebeten, diesen Teilbereich einer schwimmenden Plattform mit zu betrachten, die als Umweltlabor-Außenstelle des Umweltbildungszentrums in Form eines kleinen, autarken, schwimmenden Gebäudes genutzt werden soll (Mail Lisa Tiedemann, 17.5.2021).

Schwerpunkte des Energiekonzeptes sollen die bestmögliche Energieeffizienz der Gebäude und der Energieversorgung sein. Darüber hinaus soll betrachtet werden, wie eine optimale Nutzung der ortsspezifischen und vorrangig regenerativen Energieversorgungsmöglichkeiten sowie der Einsatz nachhaltiger Baumaterialien stattfinden kann. Eine Besonderheit liegt dabei darin, dass sich das Quartier im Fernwärmevorranggebiet der Hansestadt Rostock befindet.

2.2 Ziele des Energiekonzeptes

Das Ziel des Gutachtens liegt für das Quartier in der Erreichung der Klimaneutralität in der Jahresbilanz. Da Rostock bis 2035 in der Gesamtheit klimaneutral gestaltet werden soll, liegt es nahe, dass in einem Modell-Quartier die Werte nach Möglichkeit übererfüllt werden.

Bilanziert werden die Bedarfe für Heizwärme, Kühlen, Trinkwarmwasser, Haushalts- bzw. Gewerbestrom. Darüber hinaus werden die Bedarfswerte für die Infrastruktur im Quartier ermittelt. Mobilität stellt einen weiteren Faktor dar, der erfasst wird. Das Gleiche gilt für die Ökobilanzierung (Graue Energie), die nach Gebäuden bzw. Clustern anhand der flächenbezogenen Benchmarks aus Vergleichsprojekten für Massiv-, Hybrid- und Holzbauweise ermittelt wird.

2.3 Vorliegende Bebauungsplanung – zentrale Elemente



Abbildung 9 Blick auf das Ufer Unterwarnow-abwärts

Die Entwicklung des WarnowQuartiers stellt einen wichtigen Baustein in der gesamtstädtischen Entwicklung der Hanse- und Universitätsstadt Rostock dar und leistet einen wesentlichen Beitrag für die Entwicklung des sogenannten „Warnow-Runds“ zur BUGA 2025. Im Zuge der Entwicklung des ursprünglichen Rahmenplans für die Bundesgartenschau 2025 wurde ein umfassendes Kon-

zept für den Gesamttraum der Unterwarnow entwickelt, dieses sollte dann als Grundlage zur Bewerbung als BUGA-Standort dienen. Eine wesentliche Rolle spielt dabei die Entwicklung des angesprochenen „Warnow-Runds“, die Vernetzung des Raumes rund um die Unterwarnow mit der Stadtmitte zu einem städtischen Gesamttraum. Dabei werden die der Altstadt gegenüberliegenden Stadtteile Gehlsdorf und Dierkow über eine Geh- und Radweg-Brücke, als künftiges neues Wahrzeichen der Stadt, angebunden. Das WarnowQuartier wird langfristig über die Teilräume Silohalbinsel, Holzhalbinsel und Osthafenareal zu einem zusammenhängenden innerstädtischen Bereich an der Warnow entwickelt.



Abbildung 10 Weg in das Gebiet Richtung Unterwarnow

Die Stadt hat die erfolgreiche Bewerbung zur Durchführung der Bundesgartenschau 2025 zum Anlass genommen, die im Rahmenplan (BUGA-Bewerbung) vorgesehenen Entwicklungen zu forcieren. Das WarnowQuartier ist dabei ein wesentlicher Baustein zur Vernetzung des Nordostens mit der Warnow / Innenstadt. Das Gebiet dient als „Gelenk“ zwischen Innenstadt und den Großwohnsiedlungen im Nordosten. Es bildet ein städtebauliches Rückgrat für die Verbindung der Stadtteile sowie für den Übergang zu den geplanten öffentlichen Parkanlagen und dient der Vernetzung der öffentlichen Uferbereiche. Diese Funktion der Vernetzung der Stadtteile kann nur an dieser Stelle mit der Entwicklung eines neuen nutzungsgemischten Quartiers mit entsprechenden Funktionen und Wegeführungen erfüllt werden.“ [Buga/Machleidt 2021]



Abbildung 11 Visualisierung der zukünftigen Bebauung [Buga/Machleidt 2021]

Das „Modellvorhaben WarnowQuartier“ wurde 2019 vom Deutschen Bundestag als eine von sechs Modellkommunen ausgewählt mit dem Ziel, „bis 2026 die Städtebauförderung weiterzuentwickeln und beispielhafte Strategien und Ansätze für zukünftige Themen der Städtebauförderung, wie zum Beispiel die Nachverdichtung und Qualifizierung von bestehenden Stadtstrukturen sowie das Nebeneinander von Gewerbe, Wohnen, Freizeit und Sport, modellhaft zu entwickeln und den sozialen Zusammenhalt in den Städten unmittelbar zu stärken.“



Abbildung 12 Blick vom WarnowQuartier Richtung Rostocker Innenstadt

2.3.1 Struktur des Untersuchungsgebietes

Die wesentlichen Bereiche des Untersuchungsgebietes befinden sich in den Bereichen 2 (Teilbereich West) mit den neun Baufeldern A bis I mit einer Bruttogeschossfläche von 54.400 m² für Wohnen und 29.400 m² für Gewerbe und im Bereich 3 (Teilbereich Ost) mit den sechs Baufeldern J bis O mit den Baufeldern J bis O mit einer BGF von 32.400 m² für Wohnen und 28.800 m² für Gewerbe. Dazu kommen die Flächen für Sondernutzung und Quartiersgaragen und im Baufeld West 14.500 m² für Sondernutzungen und 10.100 m² für Quartiersgaragen. Im Baufeld Ost sind es 9.400 m² für Sondernutzungen und 7.000 m² für Quartiersgaragen.

Im Bereich 4 des WarnowQuartiers befindet sich die Umweltlabor-Außenstelle des Umweltbildungszentrums in Form eines kleinen, autarken, schwimmenden Gebäudes.

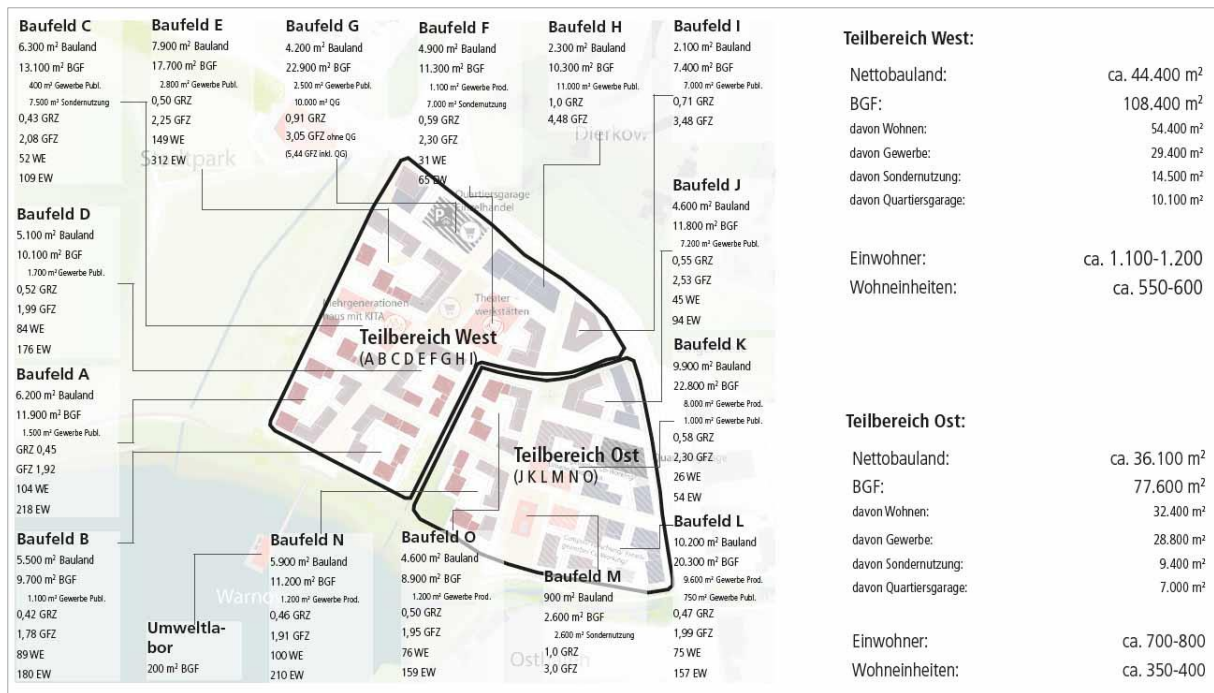


Abbildung 13 Baufelder A bis I im Teilbereich West mit einer Bruttogeschossfläche von 54.400 m² für Wohnen und 29.400 m² für Gewerbe. Im Teilbereich Ost befinden sich die Baufelder J bis O mit 32.400 m² für Wohnen und 28.800 m² für Gewerbe. Dazu kommen die Flächen für Sondernutzung und Quartiersgaragen.

2.3.2 Nutzungsmix

Das Quartier soll eine angemessene Dichte aufweisen und „eine größtmögliche Vielfalt und Mischung auf den Ebenen der Nutzungen, der Typologien, der Eigentümerstrukturen und Bewohnerschaft. Das Miteinander von Wohnen, Arbeiten und Freizeit im Sinne einer Stadt der kurzen Wege ist die Grundlage der funktionalen Mischung. Attraktive Freiräume und Treffpunkte im Quartier sowie vielfältige Nachbarschaftsräume stärken diesen Ansatz. Die Baufeldstruktur mit ihrer kleinteiligen Parzellierung bietet die Voraussetzung für ein urban gemischtes Quartier mit unterschiedlichen Wohn- und Arbeitswelten.“ [Buga/Machleidt 2021]

Im südwestlichen Bereich des Quartiers wird vorrangig Wohnen, z. T. in Verbindung mit Gewerbe im Erdgeschoss, vorgesehen. Ein Mehrgenerationenhaus mit Kita befindet sich in Baufeld C. Im nordöstlichen Bereich zum Dierkower Damm ist ein Gürtel mit vorrangiger Nutzung für Gewerbe, Dienstleistung und Nahversorgung. Dazu kommen Sondernutzungen wie Theaterwerkstätten, Kreativgewerbe, Co-Working-Flächen und urbane Produktion.



Abbildung 14 Zuordnung der Nutzungen in den Baufeldern

2.3.3 Geschossfläche und Nutzflächen

Die folgende Tabelle weist die Geschossflächen und daraus resultierenden Nutzflächen, unterteilt nach Wohn- und gewerblicher Nutzung für die Baufelder aus. Der Wohnfläche von 67.000 m² entsprechen 1.000 Wohnungen bei einer mittleren Wohnungsgröße von 67 m², bei durchschnittlich 75 m² Wohnungsgröße sind es 893 Wohneinheiten.

Tabelle 4 Bruttogeschossfläche und Nutzfläche der Wohn- und Gewerbegebäude

	Baufeld	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	Summe
BGF [m ²]	Wohnen	10.413	8.644	11.936	8.402	14.915	3.116	3.665	0	0	4.536	2.644	7.536	0	10.021	7.676	93.504
	Gewerbe	1.462	1.065	1.194	1.687	2.778	8.747	9.165	10.902	7.368	7.237	13.230	12.785	2.640	1.183	1.202	82.645
Nutzfl. [m ²]	Wohnen	7.473	6.208	8.441	6.030	10.710	2.237	2.632	0	0	3.257	1.901	5.416	0	7.194	5.509	67.008
	Gewerbe	1.080	786	882	1.244	2.051	6.464	6.775	8.061	5.448	5.344	9.772	9.436	1.951	869	885	61.048

2.3.4 Geschossigkeit und Höhenabwicklung

In der Regel weisen die Gebäude im WarnowQuartier eine vier- bis fünfgeschossige Ausbildung auf, zur Akzentuierung an definierten Orten erweitert auf sechs Geschosse. Städtebaulich relevante Stellen weisen bis zu acht Geschosse auf. An den Quartierseingängen sind als Merkzeichen

Akzente gesetzt. Der höchste Baukörper ist ganz im Norden des Gebiets mit bis zu 12 Geschossen vorgesehen. Als weitere Gestaltungsoptionen weist die Bebauungsplanung die Möglichkeit von Staffelgeschossen aus.

Bei der objektbezogenen Planung der Höhenentwicklung ist aus energetischer Sicht neben dem Aspekt der Kompaktheit ein Augenmerk auf die PV-Nutzung zu legen, welche durch die Verschattung der Höhenentwicklungen in ihrem Ertrag sonst merklich reduziert wird.

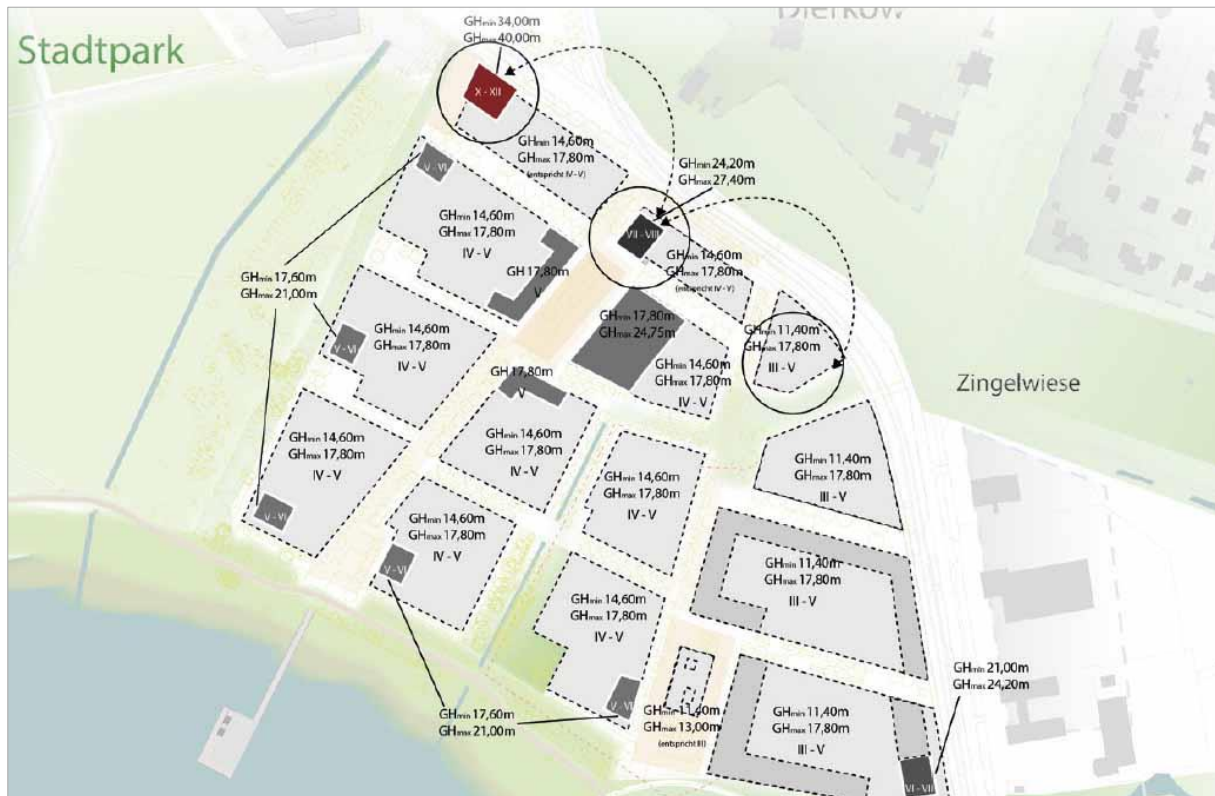


Abbildung 15 Darstellung der Höhenentwicklung der einzelnen Baufelder.

2.3.5 Verkehr und Erschließung

Der wesentliche südwestliche Bereich des Quartiers mit den Baufeldern A bis F, N und O wird autofrei geplant, und es sollen Ansätze für neue Mobilität grundlegend integriert werden. Sonderverkehre können in dem autofreien Bereich über automatisierte Poller geregelt werden. Dadurch wird eine sehr hochwertige Freiflächnennutzung des Quartiers erzielt. Parkierungsmöglichkeiten werden in Quartiersgaragen geschaffen, die direkt vom Dierkower Damm erschlossen werden.

Um eine hohe Akzeptanz der zukünftigen Mobilitätsformen zu erzielen, werden folgende Maßnahmen geplant: „Ein nachhaltiges ÖPNV-Angebot mit der Verlegung der Tramhaltestelle am Dierkower Damm, Bündelung des ruhenden Verkehrs in zwei Quartiersgaragen an den Eingängen des Quartiers (keine straßenbegleitenden Stellplätze), Attraktives Radverkehrsnetz – Premiumroute/Radschnellweg entlang des Dierkower Damms, Engmaschiges und barrierefreies Fußwegnetz und sichere Querungsstellen über den Dierkower Damm.“ [Buga/Machleidt 2021]

Ein wesentlicher Aspekt der Planung liegt in der hohen Qualität der Erschließungs- und Raumsituationen für die Bewohner und Besucher des Gebiets. Das wird einerseits durch die grünen Achsen mit den Platzsituationen im öffentlichen und halböffentlichen bzw. privaten Innenhofbereich erreicht, aber auch durch die Anbindung an den Grünbereich der BUGA im Westen und vor allem durch den hohen Erlebniswert der angrenzenden Warnow im Süden.



Abbildung 16 Erschließungsachsen und Raumbildung im Gebiet

2.3.6 Trägermodelle

Es soll ein ausgewogenes Verhältnis zwischen konventionell freifinanziertem und gefördert-preisgedämpftem Mietwohnungsbau erreicht werden, ergänzt durch Wohnungseigentum in unterschiedlichen Organisationsmodellen. Das Spektrum der Träger sollte „von privaten Eigentümer*innen und Investor*innen über Wohnungsbaugenossenschaften bis hin zu Baugruppen als Selbstnutzende reichen.“ [Buga/Machleidt 2021] Die Ausschreibung und die damit verbundenen Vergabemodalitäten werden einen hohen Einfluss auf den Erfolg des Quartiers mit den facettenreichen Anforderungen haben.

3. Projektablauf, Zielstandards und Methodik

Es werden verschiedene Varianten von Baustandards und Versorgungskonzepten verglichen, um so eine belastbare Entscheidungsgrundlage für die weitere Planung zu schaffen und einen langfristig kosteneffizienten Betrieb sicherzustellen. Vor allem soll für das Quartier ein Konzept erstellt werden, wie die geforderte Klimaneutralität des Gebäudebestands zu erreichen ist. Berücksichtigt werden sämtliche Energieverbrauchsbereiche, d.h. Heizung, Warmwasser, Hilfs- und Haushalts-/Gewerbestrom sowie die Mobilität.

3.1 Klima- und energierelevante Ziele des Vorhabens

Zu Beginn der Bearbeitung erfolgte eine Abstimmung der Zieldefinition unter Einbeziehung von übergeordneten Planungen und Zielen sowie der Einordnung in die nähere Umgebung in engem Austausch mit dem AG. Nach den ersten Abstimmungen fand eine Videokonferenz mit allen Beteiligten als Start-Veranstaltung statt, in der die Zielsetzungen grundlegend diskutiert wurden und in die alle vorhandenen Informationen einfließen inkl. Bereitstellung von Grundlagen und Unterlagen, zu denen u. a. folgende Materialien gehören:

- Planstand der Bebauungsplanung
- Flächenermittlung als Excel-Liste mit Zuordnung zu den Baukörpern im Lageplan mit Angabe von Grundstücksfläche, bebauter Fläche, Geschossigkeit, Art der Nutzung und avisiertem Wohnungsschlüssel sowie der Fläche pro Nutzungseinheit bzw. pro Einwohner
- Geplante Ver- und Entsorgung lt. aktuellem Stand
- Geplante Fernwärmeversorgung mit möglichen Optionen des Versorgers und Angaben zu den geplanten Dekarbonisierungs-Stufen und Systemtemperaturen von Vor- und Rücklauf
- Abwasserkanäle mit Angabe von Misch-/Trennsystem und Durchflussmengen
- Angaben zum Verkehrskonzept und zum ruhenden Verkehr

3.2 Grundlagenermittlung

Die systematische Grundlagenermittlung erfolgte als wesentliche Voraussetzung für die spätere Analyse und Darstellung der Ergebnisse, wobei die Ermittlung vor allem für die folgenden drei Bereiche wichtig war:

Darstellung der Kennwerte

Die Darstellung der Kennwerte für die gebäudespezifischen Daten erfolgte auf Grundlage der bereitgestellten Unterlagen. Dargestellt werden Lage und Größe der Baukörper und Erschließungsstrassen, eine tabellarische Aufstellung nach Gebäuden bzw. Clustern für GRZ, GFZ und BGF

mit daraus resultierender Berechnung von NGF nach Nutzungsarten sowie der Anzahl der Einwohner und Wohneinheiten.

Tabelle 5 Charakteristika der Baufelder

		Baufeld							
		A	B	C	D	E	F	G	H
BGF	Wohnen	10413	8644	11936	8402	14915	3116	3665	0
	Gewerbe	1462	1065	1194	1687	2778	8747	9165	10902
Nutzfläche	Wohnen	7122	5918	8103	5799	10334	2158	2632	0
	Gewerbe	1080	786	882	1244	2051	6464	6775	8061

		Baufeld						
		I	J	K	L	M	N	O
BGF	Wohnen	0	4536	2644	7536	0	10021	7676
	Gewerbe	7368	7237	13230	12785	2640	1183	1202
Nutzfläche	Wohnen	0	3204	1901	5324	0	6902	5279
	Gewerbe	5448	4991	9772	9436	1951	869	885

Analyse der standortklimatischen Bedingungen

Die Analyse der standortklimatischen Bedingungen erfolgte auf Basis des Testreferenzjahrs 2015 des DWD für die Station Rostock-Warnemünde. Da insbesondere die Wintertemperaturen in den letzten Jahren deutlich höher lagen, wurden die Außentemperaturen des Testreferenzjahrs entsprechend korrigiert. Dies erfolgte auf Basis von Monatsmittelwerten der betreffenden Wetterstation während der letzten verfügbaren 5 Jahre von Mai 2017 bis April 2021. Der Temperaturanstieg beträgt im Mittel über die Monate Oktober bis März 1,4 °C.

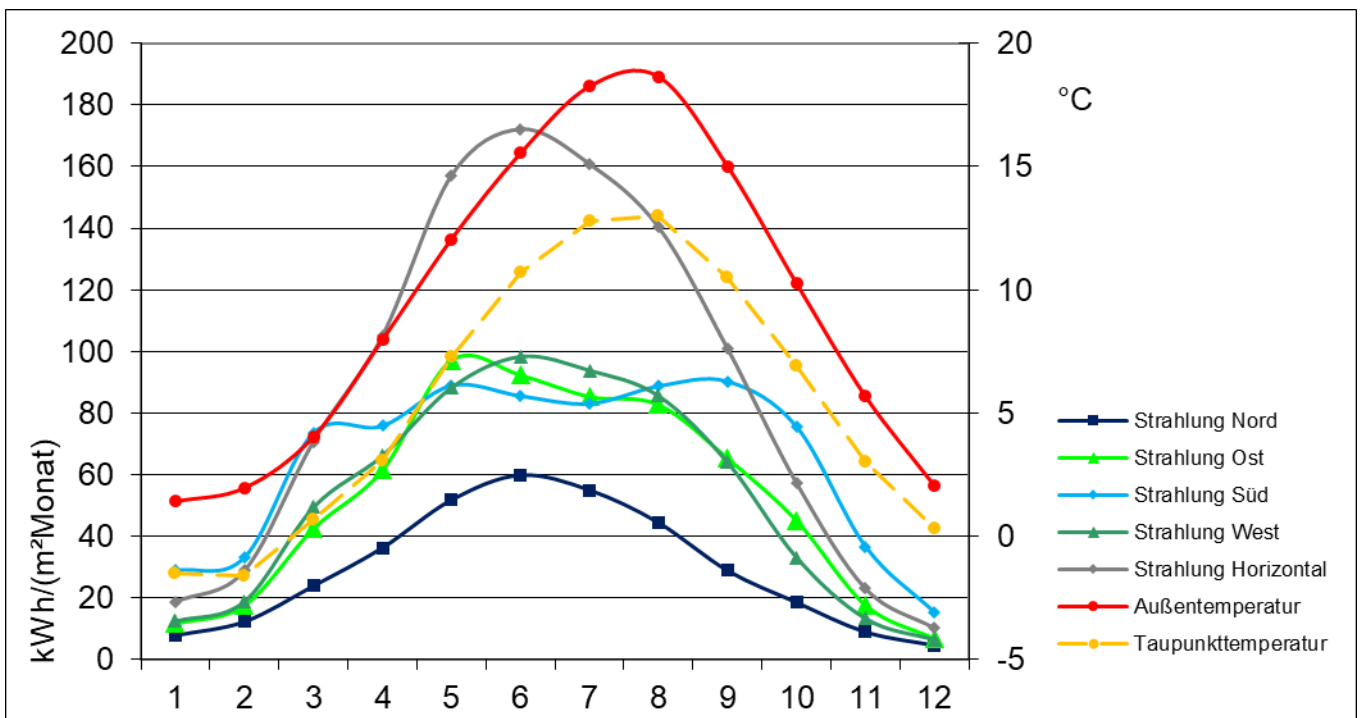


Abbildung 17 Grafische Darstellung der Monatsmittelwerte für die Klimabedingungen am Standort

3.3.1 Definition von Klimaneutralität

Das Gutachten basiert auf der städtebaulichen und objektbezogenen Bestandsaufnahme des Quartiers. Planungsaspekte, die für das Energiekonzept von Bedeutung sind, stehen dabei im Mittelpunkt der Überlegung. Zwar ist eine städtebauliche Planung nicht Gegenstand der Arbeit, dennoch werden relevante Punkte ermittelt und als Grundlage für die Planung benannt. Von besonderer Bedeutung ist die langfristige Ausrichtung der Maßnahmen im Sinne der Nachhaltigkeit unter besonderer Beachtung der Klimaneutralität.

Trotz des erklärten Ziels der Bundesregierung, einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand bis zum Jahr 2045 zu erreichen, existiert keine verbindliche Definition für die Klimaneutralität. Im Gutachten zielen die Maßnahmen darauf hin, dass die Grundlagen für zukunftsfähige Gebäude und Quartiersstrukturen gelegt werden. Das bedeutet, dass einerseits der Energiebedarf für Heizung, Kühlung, Warmwasser, Gemeinschaftsstrom und Nutzerstrom minimiert wird und andererseits möglichst viel erneuerbare Energie im Quartier selbst erzeugt wird.

Die Maßnahmen sind auf einen wirtschaftlich umsetzbaren Best-Practice-Standard ausgerichtet und vor allem auf sozial verträgliche Wohnkosten in der Zukunft. Diese beiden Anforderungen bilden ein synergetisches Doppel, weil die Investition in Effizienz und Erneuerbare Energien zwar erhöhte Investitionskosten bei der Umsetzung der Sanierung beinhaltet. Diese zahlen sich jedoch durch die niedrigen Nebenkosten aus und führen mittel- und langfristig zu kalkulierbar verträglichen Belastungen für die Bewohner im Quartier.

Für das Energiekonzept erfolgt eine Bilanzierung der CO₂-Emissionen und der Endenergie für Heizung, Kühlung, Warmwasser, Gemeinschaftsstrom und Nutzerstrom. Es wird angestrebt, dass in der Endenergie-Jahresbilanz der erneuerbare Ertrag den Bedarf übersteigt und zudem die resultierenden CO₂-Emissionen in der Jahresbilanz negativ sind. Zusätzlich werden die Bedarfswerte für die Mobilität, Infrastruktur und für die Graue Energie ermittelt.

Für die Energieeffizienz der Gebäudehülle werden zunächst drei Varianten betrachtet, wobei die Auswahl sich nach den gesetzlichen Anforderungen richtet sowie nach der aktuellen Fördersituation entsprechend der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG). Im Gutachten werden die Standards Effizienzhaus (EH/Wohngebäude)/Effizienzgebäude (EG/Nichtwohngebäude) 55, EH/EG 40 und Passivhaus Plus betrachtet. Auf der Versorgungsseite erfolgt eine Aufweitung auf den Standard EH 40 Plus bzw. für die Nichtwohngebäude auf das EE-Paket. Die Berechnung des Energiekonzeptes erfolgt über das Programm districtPH.

Die Standards nach BEG werden ungeachtet der je nach Nutzung unterschiedlichen Nomenklatur nachfolgend meist kurz als EH 55 bzw. EH 40 bezeichnet.

3.3.2 Variante GEG-Referenzgebäude

Diese Variante entspricht von der Gebäudehülle her dem Mindeststandard nach dem Gebäudeenergiegesetz [GEG 2020]. Das GEG definiert ein Referenzgebäude, das dieselbe Geometrie und Orientierung besitzt wie das zu errichtende Gebäude, und gibt hierfür bauliche und haustechnische Komponenten vor. Der gesamte Transmissionswärmeverlust (charakterisiert durch H'_{T})

eines Neubaus darf nicht höher sein als derjenige des Referenzgebäudes. Der Primärenergiebedarf des Neubaus darf nicht höher sein als 75% desjenigen des Referenzgebäudes.

Das Referenzgebäude besitzt einen Gaskessel und eine thermische Solaranlage. Als Vergleichsmaßstab wird dieses Gebäude mit berechnet. Allerdings ist zu beachten, dass es aufgrund der genannten Primärenergieanforderung nicht dem GEG entspricht.

Um die Primärenergieanforderung des GEG zu erfüllen, könnten z. B. Außenluft-Wärmepumpen anstelle der Gas-Brennwerttechnik installiert werden, wodurch die Solaranlage dann verzichtbar wäre. Diese Lösung wird in der Studie nicht weiter untersucht, da Außenluftwärmepumpen bei der dichten Bebauung aus Schallschutzgründen Schwierigkeiten aufwerfen würden.

3.3.3 Variante GEG mit Fernwärme

Diese Variante entspricht baulich dem Referenzgebäude. Heizung und Warmwasserbereitung erfolgen über die Rostocker Fernwärme, die einen günstigen Primärenergiefaktor von 0,43 aufweist. Dadurch wird ohne weitere Anstrengungen bereits fast die Primärenergieanforderung des Effizienzhauses 40 erreicht.

3.3.4 Variante Effizienzhaus 55

Für den Standard EH 55 darf H'_T der Gebäudehülle höchstens 70% des Werts für das Referenzgebäude erreichen. Der Primärenergiebedarf darf höchstens 55% des Werts für das Referenzgebäude betragen (*nicht* des Werts für den GEG-Standard). Diese Variante wird in Verbindung mit Fernwärmeversorgung berechnet.

3.3.5 Variante Effizienzhaus 40

Für die Standards EH 40 und EH 40 Plus darf H'_T der Gebäudehülle höchstens 55% des Werts für das Referenzgebäude erreichen. Der Primärenergiebedarf darf höchstens 40% des Werts für das Referenzgebäude betragen. Die Variante wird wiederum mit Fernwärmeversorgung gerechnet.

3.3.6 Variante Effizienzhaus 40 Plus

Das sog. Plus-Paket, das benötigt wird, um den Standard EH 40 Plus zu erreichen, besteht im Wesentlichen aus einer PV-Anlage mit Batterie und Visualisierung und einer Lüftungsanlage mit WRG. Alternativ wären auch andere Varianten einer erneuerbaren Stromerzeugung möglich, diese sind aber weniger attraktiv.

Die PV-Anlage muss mindestens den folgenden jährlichen Stromertrag erzielen:

- 500 kWh/a je Wohneinheit zuzüglich 10 kWh/a je Quadratmeter Gebäudenutzfläche A_N nach GEG

Die Batterie muss eine Mindestanforderung an die nutzbare Speicherkapazität erfüllen:

- 500 Wh je Wohneinheit zuzüglich 10 Wh je Quadratmeter Gebäudenutzfläche A_N nach GEG

In den Förderbedingungen wird ein Nutzerdisplay gefordert, um eine Nachverfolgung der erzielten Einsparungen zu ermöglichen und Motivation bei den Beteiligten zu schaffen. Dafür besteht grundsätzlich die Möglichkeit, dies nicht als Hardware zu liefern, sondern eine App vorzubereiten, die seitens der Mieter und Nutzer heruntergeladen werden kann und auf die sie einen individuellen Zugriff haben. Dafür wurde in der Berechnung pro Wohnung ein Betrag von 100 € veranschlagt.

Das EH 40 Plus wird sowohl mit Fernwärme- als auch mit Wärmepumpenversorgung berechnet.

3.3.7 Variante Passivhaus Plus

Über die im Rahmen des BEG geförderten Maßnahmen hinaus gibt es weitere Optionen, die Energieeffizienz der Gebäude im Hinblick auf die Klimaneutralität der Stadt Rostock zu verbessern. Es zeigt sich, dass diese Optionen auch wirtschaftlich interessant sind. Sie werden unter der Bezeichnung Passivhaus Plus subsummiert:

- bevorzugte Südorientierung der Fensterflächen
- kompaktere Gebäudehülle
- Duschwasser-Wärmerückgewinnung
- effiziente Geräteausstattung
- Ausnutzung der verfügbaren Dachflächen für Photovoltaik
- wärmebrückenfreie Anschlussdetails
- bessere Luftdichtheit
- bessere Lüftungs-Wärmerückgewinnung

Achtung: Diese Variante geht über die Anforderungen an den Passivhaus-Standard in verschiedenen Punkten hinaus. So werden die Gebäude in dieser Variante beispielsweise aus wirtschaftlichen Gründen stets so geplant, dass die Förderung für das EH 40 Plus in Anspruch genommen werden kann. Das führt im vorliegenden Fall auf einen Wärmeschutz der Gebäudehülle, der über der Passivhaus-Anforderung liegt.

Im Vorgriff auf die Energiebilanzen in Kapitel 12. zeigt

Abbildung 18, dass vor allem eine verbesserte Luftdichtheit, eine Lüftungsanlage mit einem Wärmebereitstellungsgrad von 85 statt 75% und eine wärmebrückenfreie Gebäudehülle zu deutlich reduziertem Heizwärmebedarf führen. Die Duschwasserwärmerückgewinnung ist eine der wenigen Möglichkeiten, den Nutzwärmebedarf für Warmwasser zu reduzieren. Günstigere Orientierung und Kubatur haben im vorliegenden Fall einen geringeren Einfluss, am stärksten wirkt sich hiervon der Verzicht auf die Loggien aus.

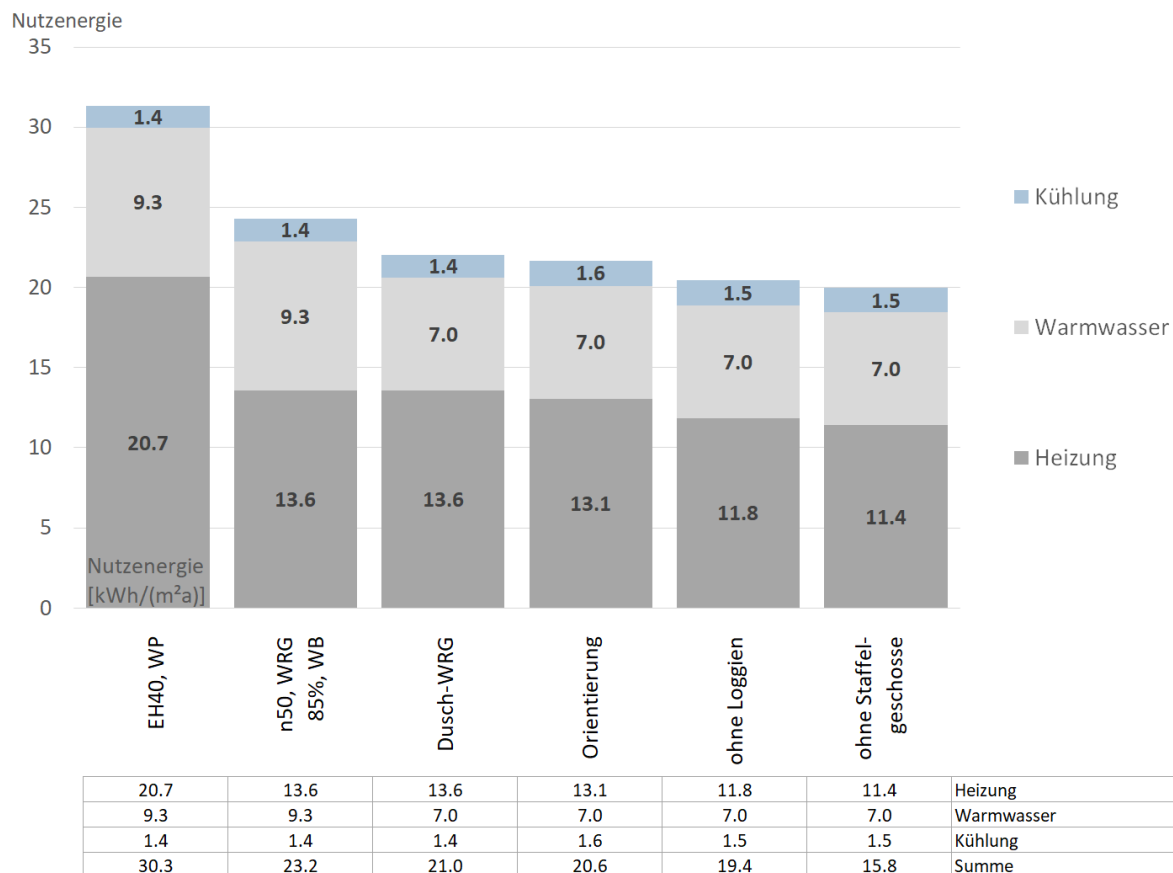


Abbildung 18 Einfluss der Verbesserungen auf dem Weg vom EH 40 zum Passivhaus Plus auf den Nutzenergiebedarf

Die Staffelgeschosse führen nicht nur zu einem etwas höheren Heizwärmebedarf pro Quadratmeter Wohnfläche, sie reduzieren auch die für PV verfügbare Dachfläche. In der Endenergiebilanz in **Abbildung 19** sieht man, dass gestalterische Auflockerungen durchaus möglich sind, aber mit Bedacht eingesetzt werden sollten. Hier wird eine Schwäche der BEG-Anforderung an H'_T deutlich: durch das Referenzgebäudeverfahren des GEG hat die Form der Gebäudehülle keinen Einfluss auf die Förderfähigkeit.

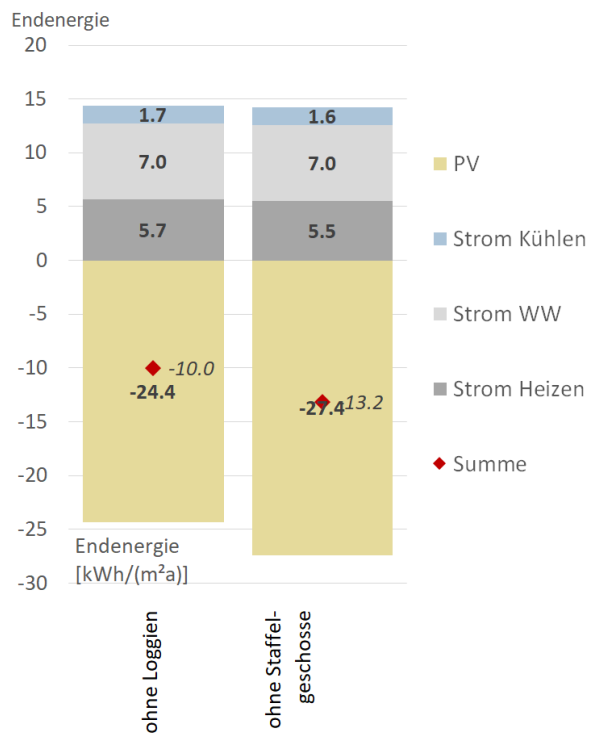


Abbildung 19 Einfluss Staffelgeschosse in der Endenergiebilanz. Elektrische Versorgung, Variante Passivhaus Plus, 80% Ausnutzung der Dachflächen für PV, auch auf Nichtwohngebäuden. Die angegebenen Stromverbräuche enthalten den Hilfsstrom für z.B. Pumpen und Ventilatoren. Nutzerstrom, Elektromobilität und Straßenbeleuchtung sind nicht mit bilanziert.

3.3.8 Förderung

Gegenüber der bisherigen KfW-Förderung ist die Förderung nach BEG nochmals attraktiver geworden. Die Förderung kann künftig wahlweise als Tilgungszuschuss im Rahmen eines Kredits oder als Zuschuss-Förderung, unabhängig von einer Finanzierung durch die KfW, über das BAFA in Anspruch genommen werden. Die Förderbedingungen nach GEG für Wohngebäude sind in Abbildung 20 zusammengefasst.







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 Erneuerbare-Energien-Klasse  oder Nachhaltigkeits-Klasse 	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 Erneuerbare-Energien-Klasse  oder Nachhaltigkeits-Klasse 	17,5 % von maximal 150.000 Euro Kreditbetrag / förderfähigen Kosten	bis zu 26.250 Euro

Abbildung 20: Übersicht der Förderkonditionen nach BEG für Wohngebäude [KfW 2021]

Gemäß der Veröffentlichung im Bundesanzeiger [BEG 2021] ist für den Standard EH 40 Plus eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung erforderlich. Außerdem ist hierfür stets die EE-Klasse zu erreichen (mindestens 55% des Wärmebedarfs werden durch erneuerbare Energien gedeckt, z.B. durch selbst erzeugten PV-Strom oder Erd-/Umweltwärme mittels Wärmepumpe). Dadurch ergibt sich eine Förderung in Höhe von 25 Prozent aus maximal 150.000 €, also maximal 37.500 € pro Wohneinheit bzw. Haus.

3.3.9 Förderung bei Versorgung mit Fernwärme

Als technische Voraussetzung zum Erreichen der Erneuerbare Energien Klasse (EE-Klasse) nach BEG muss der Wärme- und Kältebedarf zu mindestens 55 Prozent regenerativ gedeckt werden, was nach BEG mit folgenden Anlagen und Systemen erreichbar ist:

- Solarthermie für Heizung und / oder Warmwasser
- Photovoltaik zur Wärmeerzeugung im Haus
- Luft-, Erd- oder Wasser-Wasser-Wärmepumpe
- Scheitholz-, Pellet- oder Hackschnitzelkessel
- Gasheizung mit Direktbezug regenerativer Energien
- KWK-Anlagen für Biogas aus dem öffentlichen Netz
- Nah- oder Fernwärmenutzung mit 55 Prozent Erneuerbaren
- Kombinationen der aufgeführten Anlagen und Systeme.

Für die Versorgung des WarnowQuartiers mit Fernwärme ergibt sich daraus die Frage, ob mit dem aktuellen Mix eine Förderung nach den Standards EH/EG 40 EE oder EH 40 Plus möglich ist. Das wäre gemäß BEG-Stand vom 1.7.2021 z.B. dann möglich, wenn sich Teile der Fernwärmeerzeugung kalkulatorisch dem WarnowQuartier zuordnen ließen. Auch mit einer großen thermischen Solaranlage in Verbindung mit ausgezeichnetem Wärmeschutz wäre es möglich, den erneuerbaren Anteil ausreichend weit anzuheben. Dabei ist die Verwendung von Vakuumröhrenkollektoren, die in den Übergangszeiten höhere solare Erträge liefern als Flachkollektoren, angeraten. Im Sinne einer Fördermitteloptimierung wäre ferner ein *Verzicht* auf Effizienzmaßnahmen im Warmwasserbereich vorteilhaft, um den regenerativen *Anteil* zu erhöhen. Eine quantitative Analyse am Beispiel eines großen Parabolrinnenkollektorfelds findet sich in Abschnitt 12.1.5.

Die Überarbeitung des BEG vom Oktober 2021 enthält folgenden Passus in der Anlage 2 f: „Anschluss an Wärme- oder Gebäudenetze: für die Deckung des Anteils erneuerbarer Energien im Wärme- oder Gebäudenetz darf nur Wärmeerzeugung nach den Buchstaben a bis e verwendet werden. Wenn das Wärmenetz einen Primärenergiefaktor von höchstens 0,25 aufweist oder ein nach der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) geförderter Transformationsplan für das Wärmenetz vorliegt, darf für das Wärmenetz ein Anteil von 55 % erneuerbarer Energien zur Erfüllung der EE-Klasse pauschal angesetzt werden.“ Dadurch ist es voraussichtlich möglich, dass die Gebäude bei der Versorgung durch die Rostocker Fernwärme im Standard KfW EH 40 EE oder Plus gefördert werden.

3.3.10 Quellen zum BEG und weiteren Förderungen

Die Förderrichtlinien zur "Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)" inklusive der technischen Mindestanforderungen als Anlage der Richtlinien vom 20. Mai 2021 sind im Bundesanzeiger veröffentlicht worden und können auf der Homepage des BMWi eingesehen werden unter „[BMW - Richtlinien zur Bundesförderung für effiziente Gebäude \(BEG\)](#)“. Wie oben erwähnt gibt es eine Überarbeitung vom 21.10.2021.

Hilfreich ist zudem die DENEFF-Förderübersicht, die auch darüber hinausgehende Förderoptionen darstellt [DENEFF 2021 / in der Anlage].

3.4 Methodik des Gutachtens

3.4.1 Beschreibung des Simulationswerkzeugs

Für die Analyse wurde das am Passivhaus Institut entwickelte Tool districtPH verwendet. Dabei handelt es sich um eine Excel-Arbeitsmappe zur Berechnung von Energiebilanzen für Quartiere. Die Software berücksichtigt den gesamten Energieverbrauch der Gebäude im Quartier für Heizung, Warmwasser, Klimatisierung, Haushaltsstrom (bzw. nutzungsbedingte Stromverbräuche in Nichtwohngebäuden) und Elektromobilität. Neben dem Energieverbrauch wird auch die Energieerzeugung und -versorgung abgebildet, z.B. Stromerzeugung mit PV, Wärmeerzeugung durch Solarthermie oder die Wärmeverteilung durch Fern-/Nahwärmenetze. Auch Speicher für Strom oder Fernwärme lassen sich berechnen.

Grundlage von districtPH ist das bewährte Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP), das vielfach anhand von gemessenen Verbräuchen validiert wurde. Für die Berechnungen verwendet districtPH schlanke Algorithmen, deren Detaillierung und Genauigkeit der Datenlage bei typischen Quartiersanalysen und der erforderlichen Rechengeschwindigkeit angemessen ist. Die Tatsache, dass in Altbauten im Durchschnitt oft niedrigere Raumtemperaturen herrschen und die Wärmeverbräuche entsprechend geringer sind, wird im Hintergrund berücksichtigt. Die Excel-Basis erlaubt je nach Bedarf Nebenrechnungen und projektspezifische Anpassungen.

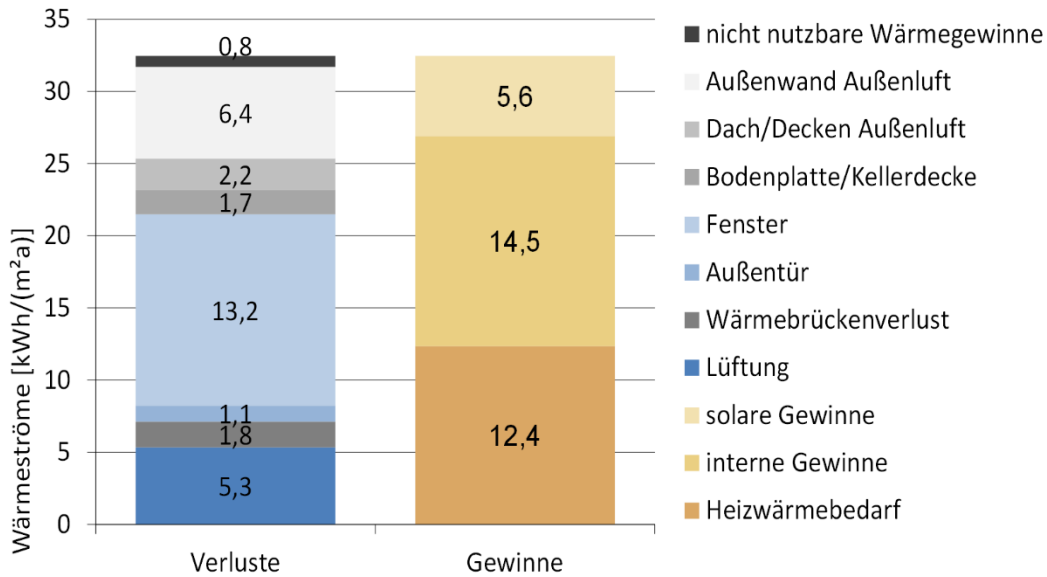


Abbildung 21 Typische Raumwärmebilanz eines EH 40

In den meisten Fällen wird das Last- und Erzeugungsprofil einer typischen Woche im Winter und im Sommer analysiert, um mit geringer Rechenzeit z.B. den Eigenverbrauchsanteil einer PV-Anlage ermitteln zu können. Für genauere Analysen können auch stundenbasierte Algorithmen verwendet werden, um insbesondere den Eigenverbrauchsanteil der PV-Anlage und den Anteil des Spitzenkessels bei Wärmepumpenversorgung genauer erfassen zu können.

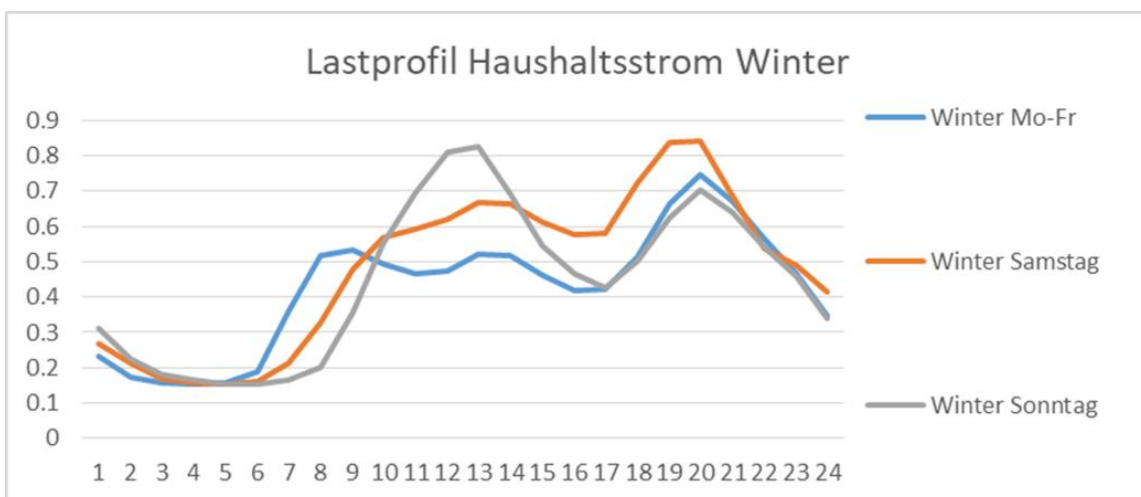


Abbildung 22 Lastprofil für den Haushaltsstromverbrauch in Wohngebäuden

Zusätzlich zum Energiebedarf der eigentlichen Gebäude wird auch der Strombedarf für Straßenbeleuchtung und Elektromobilität im Quartier ermittelt. Den Tagesgang für die Ladesäulen im Wohn- und Gewerbebereich zeigt Abbildung 23.

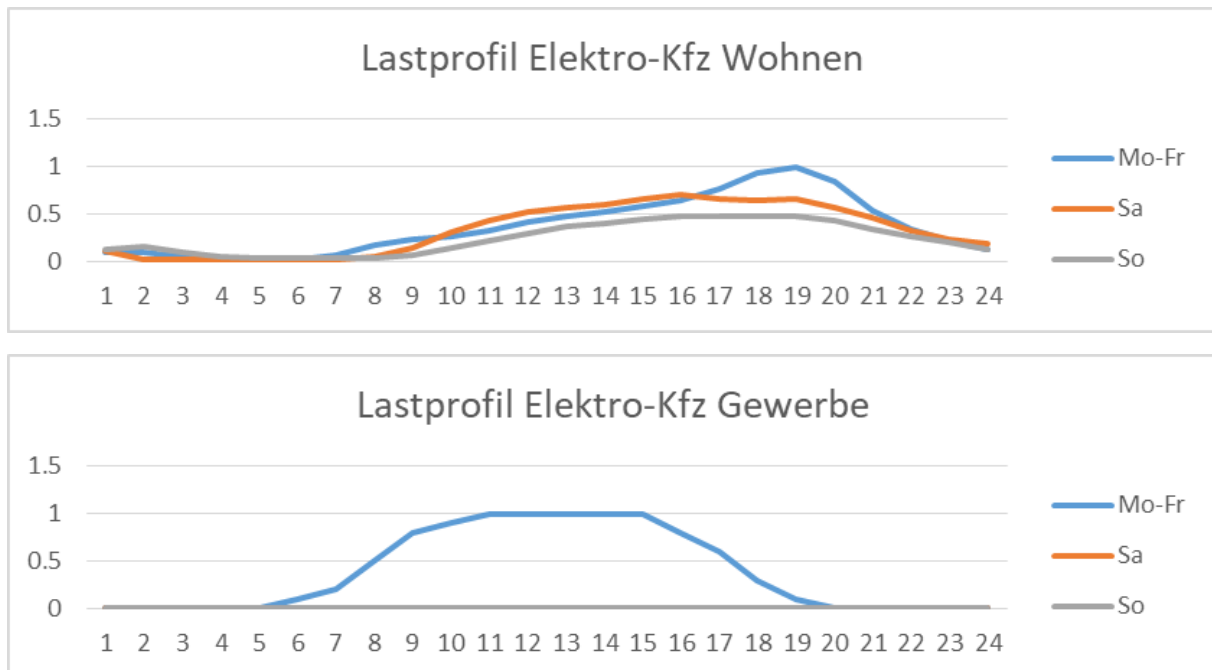


Abbildung 23 Lastprofil für Elektromobilität

Integriert ist in districtPH ferner eine Kostenberechnung, die Investitionskosten für Effizienzmaßnahmen und die resultierenden Energiekosten analysiert. Eine dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung ermittelt die Barwerte aller anfallenden Kosten, dadurch kann man Energie- und Investitionskosten korrekt miteinander verrechnen.

3.4.2 Nutzenergie, Endenergie, Primärenergie

Unter **Nutzenergie** versteht man die für eine Energiedienstleistung tatsächlich benötigte Energiemenge. In den Darstellungen in diesem Bericht bedeuten:

Heizung: Wärmebedarf für Raumheizung entsprechend des Heizwärmebedarfs, der auf Basis der Gebäudekenndaten ermittelt wurde.

Warmwasser: Nutzwärmebedarf Warmwasser, berechnet aus der gezapften Warmwassermenge und der Temperatur im Speicher bzw. nach dem Wärmeerzeuger (Ansatz: für Wohngebäude 25 l pro Person und Tag bei 60 °C, für Nichtwohngebäude 5 l/(Pers. d)). Dieser Wert enthält bereits Speicher- und Verteilverluste.

Kühlung: Nutzwärmebedarf für die Raumkühlung, analog zur Heizung.

Nutzer- und Hilfsstrom: Hier gilt der Stromverbrauch als Nutzenergie.

Unter **Endenergie** versteht man im Allgemeinen die an der Grundstücksgrenze angelieferte Energie.

Heizung und Warmwasser: Die Endenergie Fernwärme wird als Wärmemenge am Eintritt ins Quartier gezählt. Dies ist also nicht die eingesetzte Endenergie in Form von Gas, Kohle etc., die zur

Fernwärmeerzeugung benötigt wird. Die Verluste des Nahwärmenetzes im Quartier sind hierin bereits enthalten.

Bei elektrischer Versorgung zählt als Endenergie der Strom für die Wärmepumpe bzw. den Durchlauferhitzer. Auf der Anwendungsseite werden diese Energiemengen, ggf. mit Hilfe des jeweiligen Wirkungsgrads, auf Heizung und Warmwasser aufgeteilt. Im Endenergiebedarf Warmwasser sind also Umwandlungs-, Speicher- und Verteilverluste enthalten.

Hilfsstrom für z.B. Pumpen, Ventilatoren, Regelung ist in der Endenergie für Heizung und Warmwasser enthalten.

Nutzer- und Hilfsstrom, Mobilität: Hier gilt der Stromverbrauch gleichermaßen als Nutz- wie als Endenergie.

Stromerzeugung: Die Beiträge aus selbst verbrauchtem PV-Strom und importiertem, d.h. zugekauftem sowie exportiertem, d.h. überschüssigem Strom werden separat erfasst. Relevant wird diese Unterscheidung hauptsächlich für die Kostenberechnung.

Verschiedene Arten von Energieträgern, also z.B. Strom und Gas, werden durch **Primärenergiefaktoren** miteinander vergleichbar. Um eine Kilowattstunde Strom an der Grundstücksgrenze verfügbar zu machen, wurden bis zur Jahrtausendwende unter Berücksichtigung der Vorketten (Gewinnung, Transport, Aufbereitung, Umwandlung) ca. 3 kWh fossile Energie benötigt, was der Primärenergiefaktor 3 ausdrückt. Berücksichtigt wird normalerweise nur die nicht erneuerbare Primärenergie. Wir verwenden für die Primärenergiebilanz die gängige Methodik, um die Ergebnisse weitgehend vergleichbar zu machen.

Strom: Der nicht-erneuerbare Primärenergiefaktor für Strom ist im GEG mit 1,8 angegeben. Dieser Wert wird hier verwendet. In den letzten Jahren ist der nicht-erneuerbare Anteil an der Stromversorgung deutlich gesunken, dieser Trend wird sich voraussichtlich fortsetzen.

Exportierter PV-Strom wird ebenfalls mit dem PE-Faktor 1,8 bilanziert.

Heizung, Warmwasser, Strom, Mobilität: Auf der Anwendungsseite wird die eingesetzte Primärenergie den einzelnen Anwendungen zugeordnet.

Zunehmend an Bedeutung gewinnt die Bewertung anhand der **Kohlendioxid**-Emissionen. Diese werden analog zur Primärenergie mit CO₂-Faktoren berechnet. Für importierten Strom wird der aktuelle Wert des UBA für 2019 von 401 g/kWh angesetzt. Die CO₂-Emissionen bewerten allerdings weder die begrenzte Verfügbarkeit von z.B. Biomasse noch die teils erheblichen Verluste, die durch die Speicherung erneuerbarer Energien bis zu ihrer Verwendung entstehen.

Problematisch ist auch, dass es sich bei Primärenergie und CO₂-Emissionen insbesondere beim immer wichtiger werdenden Strom um ein bewegliches Ziel handelt: Von Jahr zu Jahr sinken mit zunehmendem Anteil erneuerbarer Energien die entsprechenden Faktoren. In der vorliegenden Studie werden diese Zusammenhänge qualitativ diskutiert.

3.4.3 Erstellen des Quartiersmodells

Die Planung des WarnowQuartiers befindet sich noch im städtebaulichen Prozess. Die wichtigste Grundlage für die Massenermittlung waren das Quartiersexposé vom 30.3.2021 sowie tabellarische Aufstellungen der Flächen, Geschossigkeiten und Anzahl Wohneinheiten durch das Büro Machleidt. Die Geometrie der Gebäude wurde, nach Baufeldern geordnet, einzeln erfasst. Für

Parameter wie Fensterflächen, die sich erst im weiteren Verlauf der Planung ergeben werden, wurden typische Werte verwendet. Folgende Parameter wurden angesetzt:

Aufmaßparameter		
Faktor Energiebezugsfläche / BGF	0,74	
Geschosshöhe Wohnen	3,20 m	
Geschosshöhe Wohnen	3,40 m	
Fensterflächenanteil an der Außenwand (Standardwerte, für Sonderbauten, z.B. Nahversorger, werden gebäudespezifische Werte verwendet)		
	Standard	Passivhaus Plus
Niwo O	0.4	0.4
Niwo S	0.4	0.5
Niwo N	0.4	0.3
Niwo W	0.4	0.4
Wohnen O	0.275	0.25
Wohnen S	0.275	0.5
Wohnen N	0.275	0.25
Wohnen W	0.275	0.1
Loggien		
Fläche Loggien, falls vorhanden	3 m ² /WE	
Zusätzliche Außenwandfläche durch Loggien	14 m ² /WE	



Abbildung 24 Grundlage für die Erfassung der Gebäudegeometrie der Baukörper

3.4.4 Grundlagen der Simulation

In der Energiebilanzierung ist die gemischte Nutzung des Quartiers mit Wohnen und Gewerbe zu berücksichtigen.

Für die Wohnnutzung werden folgende Werte in Ansatz gebracht:

Die internen Wärmegewinne und die Personenbelegung der Wohnungen richten sich nach den Standardansätzen des districtPH, die eine Funktion der Wohnungsgröße sind. Für typische, 75 m² große Wohnungen ergeben sich 2,8 W/m² und durchschnittlich 1,9 Personen pro Wohnung. Der Haushaltsstromverbrauch ist im Standardfall mit 28 kWh/(m²a) angesetzt. Im Fall Passivhaus Plus wird eine höhere Stromeffizienz angenommen, hier werden 20 kWh/(m²a) verbraucht.

Auch das Mehrgenerationenhaus wird im Wesentlichen mit den gleichen Ansätzen versehen. Allerdings sind die Wohnungen hier nur durchschnittlich 39 m² groß, die Personenbelegung beträgt 1,3 Personen pro Wohnung, die internen Wärmequellen (IWQ) steigen auf 3,4 W/m².

Gewerbenutzung kann zu Verbrauchswerten führen, die sich stark von denen in Wohngebäuden unterscheiden. Auch zwischen verschiedenen Arten von Gewerben gibt es große Unterschiede sowohl im flächenbezogenen Jahresverbrauch als auch in der zeitlichen Verteilung. Da noch nicht im Einzelnen feststeht, welche Nutzung in den Gewerbebereichen zu erwarten ist, geht das Gutachten von folgenden Annahmen aus: Der Zeitverlauf des Stromverbrauchs richtet sich nach dem Standardlastprofil G0 (Gewerbe allgemein) des VDEW. Der jährliche nutzungsbedingte Stromverbrauch (d.h. ohne Heizung/Kühlung/Warmwasser/Hilfsstrom) wird mit 35 kWh/(m²a) etwas höher angesetzt als der Haushaltsstromverbrauch. Die internen Wärmequellen sind ebenfalls höher als in den Wohnbereichen, sie betragen 3,5 W/m². Der Warmwasserbedarf ist in den Nichtwohngebäuden mit 5 l/Pers/Tag bei 60 °C deutlich geringer als in Wohngebäuden, wo 25 l/Pers/Tag angesetzt werden.

Folgende Sondernutzungen wurden berücksichtigt:

Der Supermarkt im Baufeld G wird explizit mit typischen Kennwerten angenommen. Der Stromverbrauch beträgt $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, was neben dem hohen Beleuchtungsstromverbrauch im Wesentlichen auf die Verkaufskühlmöbel zurückzuführen ist. Diese entziehen dem Raum Wärme, sodass die internen Wärmequellen mit $-6 \text{ W}/\text{m}^2$ negativ sind. Trotzdem ist der Energiebedarf für Raumwärme gering, denn Supermärkte können leicht mit der Abwärme aus der Kälteerzeugung ausreichend Raumwärme zur Verfügung stellen.

Für die Kita im Baufeld C können geringere Nutzerstromverbräuche von $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ angesetzt werden.

Die Quartiersgaragen sind unbeheizt, hier wird kein nennenswerter Energiebedarf angenommen. Sie werden trotzdem mitbilanziert, da die Dachflächen wie bei den übrigen Gebäuden im Quartier zur PV-Stromerzeugung genutzt werden können.

3.4.5 Methodik – Kostenberechnung

Als Grundlage für die **Investitionskosten**-Kennwerte dient ein Datenblatt, mit dem Bauteile und haustechnische Komponenten individuell abgebildet werden können. Interessant sind im Zusammenhang mit der vorliegenden Studie vor allem die Differenzkosten zur Ausführung gemäß GEG, sonstige Investitionskosten werden daher nicht berücksichtigt. Zur Ermittlung der Förder-Höchstgrenze werden auch Gesamtbaukosten benötigt; diese werden konservativ mit 1.800 €/m^2 (KG 300 und 400) für die GEG-Variante angesetzt.

Basierend auf den Investitionskosten werden die **Lebenszykluskosten** der Dienstleistung Wohnen mit Heizung, Warmwasser, Lüftung und Strom inkl. Elektromobilität ermittelt, unabhängig davon, wer welche Anteile dieser Kosten tatsächlich trägt. Als Bilanzgrenze für die Betrachtungen wird das Quartier gewählt. Fördermittel sowie Erträge aus Stromeinspeisung werden als Einnahmen betrachtet. Unter Einbezug wohnungswirtschaftlicher Parameter kann sich die Wirtschaftlichkeit anders darstellen.

Um verschiedene Kostenarten, z.B. Investitionen und jährlich wiederkehrende Kosten, vergleichbar zu machen, geben wir Barwerte an: Kosten, die erst zu einem späteren Zeitpunkt auftreten (z.B. Energiekosten), werden auf den heutigen Tag abgezinst. Für einmalige Investitionen, die dieselbe Nutzungsdauer wie der Betrachtungszeitraum haben, entspricht die Investition dem Barwert. Hat die Investition eine kürzere Nutzungsdauer, muss sie im Betrachtungszeitraum wiederholt werden, wobei die später stattfindenden Investitionen wieder entsprechend abgezinst werden. Am Ende des Betrachtungszeitraums verbleibt für die letzte Investition ggf. noch ein Restwert, der ebenfalls berücksichtigt wird.

4. Entwurfsaspekte und Gebäudehülle

Die Grundlage für klimaneutrale Quartierslösungen basiert auf einem optimierten Entwurfskonzept und hoher Energieeffizienz der Gebäude. In den folgenden Kapiteln werden dazu grundlegende Hinweise zusammengestellt, die einerseits in den Ausschreibungstext für die Grundstücke eingehen und zudem für die Projektbeteiligten Hinweise zur weiteren Planung geben.

4.1 Energetische Optimierung der Gebäude

Für die städtebauliche Planung und die Objektplanung wurden aus den Berechnungen Planungsoptimierungen abgeleitet. Da ein Gebäudeentwurf die Optimierung einer hohen Zahl von Parametern darstellt, können nie alle Aspekte gleichermaßen perfekt gelöst sein. Jede Entwurfsaufgabe – beginnend mit den städtebaulichen Festsetzungen – erfordert aufgrund ihrer individuellen Herausforderungen besondere Lösungsansätze. Folgende Entwurfsfaktoren sind wichtig für Wirtschaftlichkeit, hohe Effizienz und Komfort. Sehr gute Lösungen können erzielt werden, wenn diese Aspekte bereits in der Bebauungsplanung einfließen und in der Folge innerhalb der Bau-teams optimiert werden.

Gebäudegeometrie

- Je kompakter ein Gebäude und je niedriger das A/V-Verhältnis, desto günstiger sind Investitionskosten und energetische Kennwerte.
- Kompakte Gebäudeformen sparen nicht nur aus energetischer Sicht Transmissionsfläche ein, sondern zugleich kostenträchtige Außenwandfläche, was zu wirtschaftlichen Gebäuden führt.

Deshalb sollten in den Clustern die Festlegungen des Bebauungsplans so gewählt werden, dass Gebäude mit möglichst vorteilhafter Gebäudegeometrie durch die Planungsteams konzipiert werden können.

Gebäudetiefe

- Hohe Gebäudetiefe ermöglicht effiziente Entwürfe. Hauptaufenthaltsbereiche in Fensterhöhe und untergeordnete Bereiche im Gebäudekern ermöglichen gute und wirtschaftliche Lösungen.
- Durch die ohnehin erforderliche Lüftungstechnik ist die Funktionalität und Raumluftqualität gesichert. Hochwertige Technik ermöglicht einen hohen Komfort für Sanitär- und Nebenräume trotz fehlender direkter Belichtung.
- Deshalb sollten im Bebauungsplan Baulinien vorgesehen werden, die einen sinnvollen Spielraum für die Objektplanung zur Erzielung einer hohen Gebäudetiefe ermöglichen.
- Bei der Festsetzung ist zudem zu bedenken, dass erhöhten Effizienzstandards aufgrund der etwas dickeren thermischen Hülle eine leicht erhöhte bebaute Fläche und Geschossfläche zugestanden werden muss bei gleicher Nutzungsintensität.

Ausrichtung

- Optimierte Ausrichtung erhöht Komfort, Belichtung und auch die passiven solaren Gewinne
- Vorrangig südliche Ausrichtungen der Aufenthaltsräume sind optimal für winterlichen Energieertrag und sommerlichen Wärmeschutz. Ost- und Westseite weisen niedrige Einstrahlwinkel auf, die zu hohem Wärmeeintrag im Sommer führen. Deshalb müssen ost-west ausgerichtete Wohnungen im Quartier hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes besonders untersucht werden.

- Eine Untersuchung zur Optimierung der Fensterflächenanteile in der Fassade ist essentiell, um angemessene Fenstergrößen zu erhalten: zu hoch ist teuer, zu niedrig beeinträchtigt Tageslichtnutzung, energetisch liegt das Optimum auf Südseiten oft zwischen 30 und 50 Prozent der Fassadenfläche.
- Je kompakter ein Gebäude, desto unwichtiger wird die Ausrichtung aus energetischer Sicht.
- Bei der Bebauungsplanung sollte darauf geachtet werden, dass für die Gebäude in den Clustern mit Außenecken nach Nordosten und Nordwesten ein hoher Anteil gut belichteter Wohnungen ermöglicht wird.

Versatz und Versprünge

- Eine besondere Kunst des Entwurfs liegt in hoher Gestaltungsqualität ohne unnötige Versatz- oder Versprüngelemente in der Gebäudehülle, die zu aufwendigen konstruktiven Anschlüssen und erhöhten Transmissionsflächen führen.
- Die bauliche Höhenentwicklung stellt im Warnowquartier ein städtebauliches Merkmal dar. Aus energetischer Sicht sollte dieses Gestaltungselement zurückhaltend eingesetzt werden. Einerseits wird das AV-Verhältnis ungünstig beeinflusst, auf der anderen Seite werden dadurch die erforderlichen PV-Flächen in Teilbereichen verschattet.
- An Höhengsprüngen bzw. Staffelgeschossen entstehen aufwendige Details, die einerseits baukostenerhöhend wirken und zudem hinsichtlich der Wärmebrücken Anforderungen beinhalten. Deshalb sollten die städtebaulichen Vorgaben ermöglichen, dass hinsichtlich dieser Elemente ein Gestaltungsspielraum der Planungsteams für einen dezenten Umgang ermöglicht wird.
- Gleiche Überlegungen gelten für weitere Gestaltungselemente in der Vertikalen und Horizontalen. Einerseits betrifft das Balkons und Loggien, deren Anordnung nicht dazu führen sollte, dass die Transmissionsfläche der Außenwände bei gleicher Wohn-/Nutzfläche deutlich erhöht wird. Andererseits betrifft das auch die Übergänge zu unbeheizten Bereichen, z. B. zum Kellergeschoss.

Verschattung und Belichtung

- Verschattung muss durch den städtebaulichen Entwurf möglichst niedrig gehalten werden. Grundsätzlich wird eine einfache Verschattungssimulation empfohlen. Eine höhere Aussagefähigkeit hat möglicherweise die Betrachtung kritischer Gebäude in Form einer beispielhaften energetischen Planung.
- Besonders ungünstig sind hohe Elemente auf der Südseite von Clustern.
- Wichtig ist eine minimierte Eigenverschattung z. B. durch Überstände, Balkons/Loggien und Versprünge. Dieser Aspekt ist bei der Objektplanung sehr genau zu beachten.
- Minimierte Laibungstiefen und geringe Rahmenanteile der Fenster bringen Effizienz und Tageslicht, günstig sind helle Oberflächen im Belichtungsbereich.
- Minimierte Sturzhöhen der Fenster verbessern Belichtung und Tageslichtkomfort in der Raumtiefe.

4.2 Maßnahmen an der Gebäudehülle

Dieses Kapitel umfasst Empfehlungen für die Ausführung der Transmissionsflächen der Gebäude.

Zugleich werden die vorgeschlagenen Standards für die Rechen-Varianten bei den jeweiligen Bauteilen zusammengestellt nach den Varianten Effizienzhaus 55, Effizienzhaus 40 und Passivhaus Plus. Im Rahmen der späteren Objektplanung werden sich dabei in Abhängigkeit vom Optimierungsgrad der Planung und der jeweiligen individuellen Gebäudegeometrie leichte Abweichungen ergeben.

Die Konstruktion der Gebäude unterliegt vielfachen Anforderungen. Im Rahmen des Energiegutachtens werden vor allem folgende Belange untersucht:

- Anforderungen an den Wärmeschutz, wobei dieser Aspekt immer zusammen gedacht werden muss mit den relevanten Komplementäranforderungen wie Statik, Brand- und Schallschutz.
- Auswahl einer Konstruktion, die sowohl energieeffizient als auch kosteneffizient für den betrachteten Fall ist.
- Beachtung der Nachhaltigkeitsaspekte, vor allem hinsichtlich der herstellungsbedingten Emissionen (GWP) und der Langlebigkeit der Konstruktion, die mindestens 40, besser 60 Jahre betragen sollte.
- In einer sehr frühen Planungsphase sollte überprüft werden, welche Konstruktionsart favorisiert wird. Bei den einzelnen Bauteilen, insbesondere den Außenwandkonstruktionen, werden dazu Vorschläge unterbreitet, die in Kapitel 4.2.1 hinsichtlich ihrer THG-Emissionen betrachtet werden.

In der folgenden Tabelle werden die energetischen Kennwerte zusammengefasst, die im Gutachten ermittelt wurden und bei den Berechnungen Verwendung fanden. Hinsichtlich der Festlegung der U-Werte für die drei untersuchten Effizienz-Standards gilt es zu berücksichtigen, dass die Anforderungen für H_T aus dem Referenzgebäude resultieren. Eine detaillierte Wärmebrückenoptimierung und -berechnung kann sich hier deutlich kostenmindernd auswirken. Im Gutachten wurde ein sicherer Anforderungswert gewählt, der noch Spielraum für die Optimierung bei der weiteren Detailplanung lässt.

In den folgenden Kapiteln werden zu den Kennwerten vertiefende Erläuterungen und Herleitungen beschrieben.

Tabelle 6 Übersicht zu den Standards der Transmissionsflächen und zu den Effizienzanforderungen

Bauteil		GEG	EH 55	EH 40	PH
Dach	W/(m ² K)	0.20	0.14	0.10	0.10
Wand	W/(m ² K)	0.28	0.20	0.13	0.13
KG-Decke/Bodenplatte	W/(m ² K)	0.35	0.25	0.20	0.20
Fenster U-Wert	W/(m ² K)	1.3	0.95	0.78	0.78
Fenster g-Wert	-	0.6	0.5	0.5	0.5
Hautür U-Wert	W/(m ² K)	1.8	1.3	1	1
Lüftung WRG	%	0	0	0	0.85
Luftdichtheit n ₅₀	1/h	1.5	1.5	1.5	0.6
Wärmebrückenzuschlag	W/(m ² K)	0.05	0.015	0.015	0

4.2.1 Außenwand

Die Außenwandkonstruktion hat nicht nur einen hohen Einfluss auf den Energiebedarf des Gebäudes, sondern vor allem auf die Kosten. Hinsichtlich der Anforderungen an diese beiden Parameter gibt es eine gewisse Kongruenz:

1. Je günstiger das A/V-Verhältnis des Gebäudes, desto niedriger der Energiebedarf und die Kosten. Daraus erwächst die Anforderung, einerseits eine hohe Gebäudetiefe zu wählen und zusätzlich in der Fassade möglichst geringe Versprünge und Versatzelemente anzuordnen, die erhöhend auf die Fassadenfläche wirken. Das gilt z. B. für die Anordnung der Freisitze, bei denen ein gewisser Sichtschutz gewünscht wird, was im Extremfall zu einer vollständig eingezogenen Balkonnische für jeden einzelnen Freisitz führt. Eine Optimierung ist möglich, indem zwar eine Fassadengliederung gewählt wird, die Einzugstiefe für die Freisitze aber reduziert wird und Freisitze zusammengefasst werden, die dann jeweils durch Gestaltungselemente abtrennbar sind. In der Summe gilt es, Gestaltung, Funktionalität und Kosten- / Energieeffizienz zu optimieren.
2. Je homogener die Fassadenfläche hinsichtlich der Konstruktion ausgeführt wird, desto kostengünstiger ist die Ausführung und desto weniger problematische Schnittstellen zwischen Konstruktionsarten treten auf.
3. Sinnvoll ist in der Fassade die Trennung von Tragstruktur und den Funktionen Wärme-, Schall- und Brandschutz.
4. Hohe Energieeffizienz erfordert höhere Dämmdicken. Das führt aber nicht unabdingbar zu einer proportional steigenden Wanddicke, wenn gleichzeitig eine optimierte Konstruktionsart gewählt wird. Mehrschalige und vorgefertigte Konstruktionen können Vorteile bieten, insbesondere, wenn bei der seriellen Vorfertigung die konstruktiven Aspekte im Zusammenwirken mit dem Wärmeschutz optimiert werden.

Tabelle 7 U-Werte der Außenwandkonstruktionen für die untersuchten Standards

Bauteil		GEG	EH 55	EH 40	PH
Wand	W/(m ² K)	0.28	0.20	0.13	0.13

Für die Ökobilanzierung in Kapitel 13. werden folgende Konstruktionsarten untersucht:

- a) Massivbauweise
- b) Hybridbauweise als Schotten- / Skelettbau mit Holzfassade und konstruktiven Holzelementen
- c) Holzbauweise ab OK Bodenplatte bzw. OK Kellergeschoss.

Analog dazu werden im Folgenden dazu passende Wandkonstruktionen näher beschrieben.

1. Massivbau

Die Bauindustrie hat in der Breite den sichersten Umgang mit mehreren Massivbau-Varianten. Bei optimierter Bauweise läuft es bei vier- bis siebengeschossiger Bauweise in vielen Fällen auf eine Außenwand in KS-Ausführung in Verbindung mit einem WDVS als günstigste Variante hinaus. Optimierungen liegen in einer möglichst schlanken Tragwand von 17,5 cm Dicke. Allein die innenseitige Spachtelung mit ca. 3 mm statt 15 mm

Innenputz bringt 1,3 Prozent Flächeneinsparung. Stahlbetonwände sind allenfalls günstiger bei den Vorfertigungs-Spezialisten.

a. Tragwand mit WDVS

Die Ausführung eines Wärmedämmverbundsystems ist klassischerweise die kostengünstigste Variante. Die klare Trennung der Funktionen führt zu optimierten Wärmebrücken und einer bauphysikalisch sicheren Konstruktion. Der Nachteil liegt in der Materialität des Dämmstoffs und den wartungsintensiven Oberflächen.

b. Tragwand mit Vorhangfassade

Vorhangfassaden weisen bauphysikalisch die gleichen Vorteile wie das WDVS auf, allerdings wird die Dämmdicke leicht erhöht sein aufgrund der Wärmebrücken des Tragwerks. Die Kosten liegen um 40 bis über 100 €/m² höher als beim WDVS. Der Vorteil liegt in der höheren Gestaltungsvielfalt, der Langlebigkeit der Konstruktion und den geringen Wartungsaufwendungen, falls die Oberfläche richtig gewählt wurde.

2. Hybridbau

a. Schottenbauweise

Wird die Fassade durch die Tragstruktur von statischen Aufgaben befreit, kann sie deutlich vielfältiger und kostengünstiger ausgeführt werden. Hinsichtlich der Tragkonstruktion des Gebäudes wird es sich vornehmlich um Skelett- oder Schottenbauweise handeln. Dadurch werden zahlreiche Fassadenoptionen eröffnet, und es ist grundsätzlich eine Kostenreduzierung gegenüber einer Lösung mit WDVS möglich. Folgende Optionen bieten sich an: Neben einer sehr schlanken KS-Wand mit WDVS sind einschalige Konstruktionen aus Porenbeton oder poriertem Ziegel möglich, die allerdings aus Schallschutzsicht eher Fragestellungen aufwerfen. Alternativ können auch vorgefertigte Holzkonstruktionen vorgehängt werden (vgl. unten) oder seriell gefertigte Fassadenelemente (s. u. Punkt 4).

b. Skelettbau

Es gelten die gleichen Hinweise wie unter 2.a.

3. Holzbau

Holzbau ist in den meisten Fällen um mindestens 10 Prozent kostenaufwendiger als Massivbau. Nur wenige Akteure schaffen in etwa die gleichen Kosten wie in der Massivausführung. Aktuell ist die Nachfrage im Holzbau so hoch, dass hinsichtlich der Fassadenausführungen die Kosten vieler Anbieter um 150 bis über 300 €/m² höher liegen als Massivkonstruktionen.

a. Holzrahmenbau

Im klassischen Holzrahmenbau sind die meisten Gebäude im WarnowQuartier ohne Probleme erstellbar. Es sollte in einer frühen Planungsphase das Gespräch mit Anbietern gesucht werden, um abzuklären, ob ein konkurrenzfähiger Kostenrahmen zum Massivbau erzielt werden kann. Der Vorteil liegt bei hocheffizienten Standards darin, dass Synergien bei den Außenwandkonstruktionen

genutzt werden können, sodass die Differenzkosten zwischen GEG-Standard und KfW EH 40 sehr niedrig liegen können.

- b. Holzmassivbau
Die Ausführungen aus Punkt 3.a. gelten entsprechend.

4. Seriell gefertigte Fassadenelemente

Die Optionen der Punkte 2. a/b und 3 a/b ermöglichen seriell gefertigte Fassadenelemente, die bei der hohen Zahl vergleichbarer Wohnungen im WarnowQuartier sehr interessant sein könnten. Dazu sollte neben der Holzbaubranche in weiteren Fertigungssektoren nach Lösungen gesucht werden. Interessant sind vor allem Industriepartner, die in diesem Segment ein hohes Potenzial an zukünftigem Umsatz sehen. Als mögliche Partner können sowohl Akteure aus dem Bereich Massivbau angesprochen werden, vor allem aber Firmen, die bereits im segmentierten Bau tätig sind, wie z. B. Knauf [Knauf 2021] oder Rockwool [Rockwool 2021] mit seinem neuen RockZero-System.

Mehr-/Minderinvestitionen: Die Standards EH 55 und 40 erfordern verbesserte U-Werte, die sich in einer erhöhten Dämmstärke ausdrücken. In Abhängigkeit von der gewählten Konstruktionsart variieren diese. Für eine Massivwand mit WDVS werden im Gutachten Mehrinvestitionen von 2,65 € pro cm Dämmdicke und m² Konstruktionsfläche angenommen. Daraus resultieren durchschnittliche Mehrinvestitionen von 26,35 € pro m² Wohnfläche für den Standard EH 40 gegenüber dem GEG-Standard. Die angegebenen Kosten beziehen sich auf die VOB-Fläche der Konstruktion. Die Umrechnung auf Wohnfläche erfolgt mittels Korrekturfaktor über die ermittelte Transmissionsfläche und das Verhältnis zur zugrundeliegenden Wohnfläche.

4.2.2 Dach

Die Dächer im Quartier werden als Flachdächer mit hohem Dämmstandard ausgeführt. Im WarnowQuartier weisen sie Zusatzfunktionen hinsichtlich unterschiedlicher Nutzungen, des Wasserhaushalts und des Mikroklimas sowie für die Gewinnung erneuerbarer Energien auf, die im Folgenden gegenübergestellt werden:

Rückhalt und Nutzung von Niederschlagswasser & Mikroklima

Im Fachbeitrag zum Wasserhaushalt für das Bebauungsplangebiet Nr. 13.MU.204 [biota 2021] werden präzise Angaben zu Aspekten der Retention, der Nutzung von Niederschlagswasser und zum Mikroklima formuliert.

- „Niederschlagswasser, welches dem Direktabfluss zugeordnet ist, kann zurückgehalten und grundsätzlich genutzt werden.
- Direktabflussbildungsflächen sind grundsätzlich Dachflächen, deren abfließendes Niederschlagswasser sich auf Grund allgemein geringer Verschmutzung gut für eine Nutzung eignet.
- Speicherlösungen: aus vielerlei Gründen (Platz, Frostfreiheit) Vorzug für unterirdische Lösungen in Form von Zisternen
- Das in einer Zisterne gesammelte Wasser kann dann über ein System Filter Saugpumpe Verteilernetz zu Verbrauchern geleitet werden. ...

- Wassernutzungsmöglichkeiten (theoretisch): Toilettenspülung, Waschmaschinennutzung, Bewässerung/Beregnung
- Dachflächen müssen möglichst chemisch neutral sein, damit Regenwasser umfassend und unproblematisch genutzt werden kann.
- Bei Flachdächern sind heute dichtende Kunststoffbahnen das Mittel der Wahl. Auch geeignet wären Beton, Steinplatten, Glas und Kunststoffflächen anderer Art. Metallische Abdeckungen ohne entsprechende Beschichtung setzen Metallionen frei, die aus Boden- und Gewässerschutzgründen abzulehnen sind. Bitumendächer sind auf Grund der Freisetzung teer-/öhlhaltiger Verbindungen ebenfalls kritisch zu sehen.
- Zu diskutieren ist bei einer beabsichtigten Dachregennwassernutzung eine theoretisch mögliche parallele Nutzung des Daches als Gründach, dann aber rein mineralisches Substrat (Huminstoffe)
- Bei der Gründachnutzung relativ hoher Verdunstungsanteil: je nach Ausführung eines Gründaches nur noch 10...50 % der ursprünglich auftreffenden Regenmenge (fbr 2020); Konterkarierung von Zisternen
- Kosten pro m³ Rückhalt von Niederschlagswasser beim Gründach: ca. beim 3-fachen im Vergleich zu Zisternenlösungen (BBSR 2018): Kombination Gründach und Zisterne macht daher unter wirtschaftlichem, unter nutzungsbezogenem und auch unter hydroökologischem Blickwinkel wenig oder keinen Sinn
- Wird auf Zisternen gesetzt, ist auch eine Blaudachlösung, also eine gezielte Speicherung auf dem Dach, aus Kosten Nutzen Erwägungen heraus eher abzulehnen, weil das Speichervolumen auf dem Dach hohe bauliche Anforderungen, u. a. an die Statik, auslöst. Dies kann preiswerter in Form von Zisternenvolumen abgebildet werden. Für die Kühlung spielen Blaudächer auch nur eine untergeordnete Rolle“ [biota 2021].

Zusammenfassend wird im Gutachten festgehalten: „Fazit: am besten nur Kombi aus Dachnutzung und Zisternen, d. h. „Handlungsfreiheit“ für Photovoltaik“ [biota 2021].

Aufenthaltsbereiche

Dachflächen können als Freiflächenenergänzung einen hohen Freizeitwert aufweisen, weil ein (teil-) privater Raum mit guter Qualität geschaffen werden können. Es ist zu überprüfen, ob eine Kombination mit Begrünung und ggf. Dachgartennutzung möglich ist.

PV-Fläche

Die Anforderung der Klimaneutralität kann nur erreicht werden, wenn innerhalb des Quartiers ein hoher erneuerbarer Ertrag generiert werden kann. Dies erfolgt vor allem durch Photovoltaik (s. Kapitel 10.3). Die Dachflächen haben eine besondere Bedeutung, weil dort PV besonders wirtschaftlich zu nutzen ist.

Konstruktion

Sowohl mit Holz- als auch mit Massivkonstruktionen können effiziente Transmissionsflächen für die avisierten Flachdächer geschaffen werden.

- Hohe Energieeffizienz ist kostengünstig erzielbar, deshalb wird ein U-Wert in den Dachflächen gemäß Tabelle 8 empfohlen.

- Die erhöhte Dämmung ist doppelt lohnend, weil dadurch im obersten Geschoss keine relevant erhöhte Leistung für die Heiztechnik gegenüber den sonstigen Geschossen erforderlich ist und für die Nutzer ein hervorragender Komfort mit hohen Oberflächentemperaturen auch im Deckenbereich entsteht.
- Guter Wärmeschutz des Daches verringert den Eintrag von Solarlasten und damit die Aufheizung des obersten Geschosses im Sommer.
- Gute Detaillösungen an Traufe, Ortgang und Attika führen zu minimierten / negativen Wärmebrücken. Die Attika sollte zudem möglichst schlank und niedrig ausgeführt werden, um die Fläche für die PV-Nutzung nicht zu reduzieren. Bei massiven Flachdächern sollte zudem keine betonierte Attika ausgeführt werden, sondern eine schlanke und wärmebrückenoptimierte Ersatzkonstruktion.
- Am sinnvollsten ist es, das Gefälle zur Gebäudeaußenkante zu richten und die Entwässerung außerhalb des Gebäudekerns abzuführen. Innen liegende Entwässerungsleitungen sind kosten- und schadensträchtig (Aufwand für Brandschotts und Leitungsdämmung; Wohnflächenverlust; kontinuierlicher Wärmeverlust).

Tabelle 8 U-Werte der Dachkonstruktionen für die untersuchten Standards

Bauteil		GEG	EH 55	EH 40	PH
Dach	W/(m ² K)	0.20	0.14	0.10	0.10

Mehr-/Minderinvestitionen: Die verbesserten U-Werte für die Standards EH 55 und EH 40 drücken sich wiederum in einer erhöhten Dämmstärke aus. Im Gutachten werden für die Dachfläche Mehrinvestitionen von 2,40 € pro cm Dämmdicke und m² Konstruktionsfläche angenommen. Daraus resultieren durchschnittliche Mehrinvestitionen von 16,30 € pro m² Wohnfläche.

4.2.3 KG-Decke und Bodenplatte

Für die Gebäude werden hinsichtlich des unteren Abschlusses sowohl Gebäude mit als auch ohne Unterkellerung im Gebiet geplant werden. Der Verzicht auf einen Keller ist sowohl aus Kostensicht als auch hinsichtlich energetischer Belange von Vorteil. Da die Gründung eine hohe Kostenwirkung aufweist, sind auf Basis einer frühzeitigen Baugrunduntersuchung Optimierungen bezüglich Kontamination, eventuell erforderlichem Bodenaustausch und daraus resultierenden Schlussfolgerungen für die Konstruktion, das Tragverhalten und den Unterbau zu ziehen. Ohne Unterkellerung bieten sich selbsttragende Bodenplatten ohne Streifenfundamente an, da sie in der Gesamtbilanz kostengünstiger sind. Wärmebrückenfreie Anschlüsse sind möglich, wenn die gesamte Dämmung oder ein relevanter Teil unterhalb der Bodenplatte platziert werden kann. Bei unterkellerten Gebäuden mit unbeheiztem Keller bietet sich aus Kostensicht meist die Dämmung oberhalb der KG-Decke an.

Tabelle 9 U-Werte der Bodenplatten- bzw. Kellerdeckenkonstruktionen für die untersuchten Standards

Bauteil		GEG	EH 55	EH 40	PH
KG-Decke/Bodenplatte	W/(m ² K)	0.35	0.25	0.20	0.20

Mehr-/Minderinvestitionen: Wie bei Außenwand und Dach werden für die verbesserten U-Werte für die Standards EH 55 und EH 40 gegenüber dem GEG-Standard die Mehrinvestitionen über die erhöhten Dämmdicken ausgedrückt. Für die Bodenplatte bzw. KG-Decke werden Mehrinvestitionen von 2,50 € pro cm Dämmdicke und m² Konstruktionsfläche angenommen. Daraus resultieren Mehrinvestitionen von 6,50 € pro m² Wohnfläche. Der Wert stellt sich wie beim Dach günstig wegen des Verhältnisses dieser Fläche zur Wohnfläche dar. Zudem wurde im Gutachten der U-Wert nach unten bewusst moderat angesetzt, da er aufgrund der Materialien nicht nur besonders kostenträchtig ist, sondern auch aus Nachhaltigkeitssicht oft ungünstige Materialien eingesetzt werden.

4.2.4 Fenster und Außentüren

Fenster haben einen hohen Einfluss auf Komfort, Kosten, Effizienz und natürlich die Gestaltung. Qualitätvolle Planer verbinden diese Anforderungen auf architektonisch hochwertigem Niveau: Ein zurückhaltender Fensterflächenanteil lässt sich gestalterisch hochwertig umsetzen und ist zudem wirtschaftlich sinnvoll und günstig für winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz. Dazu können folgende Aspekte bedacht werden:

- Günstig sind einflügelige Formate von 0,90 – 1,20 m Breite. Raumhoch ist gestalterisch gut (Fenster-Statik beachten), bei vielen Raumnutzungen sind jedoch Brüstungen sinnvoller, z. B. für Kinderzimmer, bei denen mit 60 – 70 cm Brüstung ein angenehmes Raumgefühl für die Kinder geschaffen werden kann und die Absturzsicherung kostengünstig mit einem Querstab außen erstellt wird.
- Minimieren der Rahmenanteile führt nicht nur zu kostengünstigen Lösungen, da Rahmenflächen die teuersten Fensterteile darstellen und zudem energetisch ungünstig sind. Schlanke Fensterrahmen in der Ansicht führen zu einem hohen Glasanteil für das Fenster, was die passiven solaren Gewinne erhöht.
- Fensterteilungen sollten möglichst vermieden oder zumindest auf das Notwendigste reduziert werden, da jede unnötige Teilung aus Kostensicht ungünstig ist.
- Wenn die Fensterebene weit nach außen geplant wird, sind erhöhte solare Gewinne möglich, da die Eigenverschattung durch die Laibung reduziert wird. Zudem hilft die Lage weiter außen dabei, die Einbauwärmebrücken zu minimieren. Zudem kann bei raumhohen Fenstern die Fensternische ab 14 cm Tiefe als Wohnfläche gerechnet werden. Das ergibt bis zu einem Quadratmeter pro Wohnung.
- Einfache Einbausituation und kostengünstige, wärmebrückenminimierte Montage wirken sich kostenmindernd aus.
- Kellerfenster können entfallen oder festverglast ausgeführt werden, wenn über Abluftanlage gelüftet wird (Regelung nach absoluter Feuchte).
- Zielwerte für die EH 40-Varianten: Fenster mit Dreischeibenverglasung und gedämmtem Rahmen $U_{W, eingebaut} = 0,78 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ / $U_f = 0,6-0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ / $U_g = 0,5-0,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Wärmebrücken des Glasrands $\Psi \leq 0,032 \text{ W/(mK)}$ / Wärmebrücke Einbau $\Psi \leq 0,01 \text{ W/(mK)}$.

Mehr-/Minderinvestitionen: Die Mehrinvestitionen gegenüber dem GEG-Standard liegen für den Standard EH 55 bei 38 € pro m² Fensterfläche und für den Standard EH 40 bei 77 €/m². Umgerechnet auf die Wohnfläche ergeben sich für den Standard EH 40 Mehrinvestitionen von 22,20 €/m². Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass im Zuge der weiteren Planung dieser Wert

optimiert werden kann, einerseits durch das Verhältnis der Fensterfläche zur Wohnfläche, vor allem aber durch die zahlreichen Faktoren, die oben in diesem Kapitel beschrieben werden.

4.2.5 Luftdichtheit

Eine hochwertige Qualitätssicherung ist Grundlage für das Erreichen der Energiekennwerte. Von besonderer Bedeutung ist eine hochwertige Planung, die einerseits zu hoher Kosteneffizienz führen soll, zugleich aber sicherstellt, dass die angestrebten Ziele von den Baubeteiligten umgesetzt werden. Wichtig sind dabei Aspekte wie Einfachheit und Detailoptimierung:

- Klare Form der wärmeübertragenden Gebäudehülle mit wenig Materialwechsell
- Optimierte einfache Detailanschlüsse
- Klare Abtrennung zu unbeheizten Bereichen
- Detailplanung der wind- und luftdichten Ebenen
- Länge der Anschlüsse & Durchdringungen minimieren
- optimierte Gebäudetechnik-Planung der Schächte und Installationsebenen.

Bis zum EH 40-Standard wird der geforderte gesetzliche Mindeststandard von $n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$ angenommen. Bessere Ergebnisse für die Luftdichtheit sind gerade in Verbindung mit einer Lüftungswärmerückgewinnung empfehlenswert. Die Passivhausanforderung liegt bei einem n_{50} -Wert $\leq 0,6 \text{ h}^{-1}$, dies zuverlässig zu unterschreiten wird von einer großen Zahl von Baubeteiligten inzwischen gut beherrscht. Der Nachweis ist mittels Luftdichtheitsprüfung zu erbringen, die in den Bauablaufplan integriert werden muss.

Mehr-/Minderinvestitionen: Der GEG-Standard erfordert einen nahezu gleichen Aufwand für die Sicherstellung der Luftdichtheit wie die ambitionierteren Standards. Allerdings wird dies in der Baupraxis oftmals ignoriert. Im Gutachten wird für den n_{50} -Wert von $0,6 \text{ h}^{-1}$ ein Aufschlag von 10 € pro m^2 Wohnfläche veranschlagt.

4.2.6 Wärmebrücken

Der detaillierte Nachweis der Wärmebrücken muss für hoch energieeffiziente Gebäude im Rahmen der energetischen Berechnung durchgeführt werden. In frühen Planungsphasen kann durch einfache Optimierung der Details und Beachtung einfacher Anschlüsse zwischen den Bauteilen eine nahezu kostenneutrale Wärmebrückenoptimierung erreicht werden. Der Zielwert für die Wärmebrücken liegt gemäß Auflistung in der Tabelle bei $\Delta U_{WB} \leq 0,015$ bis $0,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, bezogen auf den Nachweis nach PHPP/districtPH. Beim Nachweis nach DIN V 18599 ergeben sich höhere Werte, da einerseits die Bezugsebene zur Bodenplatte Kellerdecke auf Höhe OK Rohfußboden liegt im Gegensatz zum PHPP, bei dem die Bezugsebene auf der Unterkante der Gesamtkonstruktion liegt, woraus sich im Mittel eine um 0,3 m erhöhte Gebäudefläche in der Vertikalen ergibt. Weiterhin werden beim PHPP die Fenster-Wärmebrücken dem Fenster zugeschlagen, bei der DIN V 18599 der Wärmebrückenbilanz. Daraus ergeben sich in der DIN V 18599 Werte für ΔU_{WB} , die um ca. $0,02 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ höher liegen. In der Tabelle sind die Werte nach PHPP / districtPH aufgeführt.

Tabelle 10 Zielwerter für die Wärmebrücken in ΔU_{WB} [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$]

Bauteil		GEG	EH 55	EH 40	PH
Wärmebrückenzuschlag	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	0.05	0.015	0.015	0

Der detaillierte Nachweis muss bei den einzelnen Gebäuden des WarnowQuartiers auf jeden Fall durchgeführt werden, um auf diesem Weg günstigere Dämmdicken für die sonstigen Bauteile zu erhalten. So besteht z. B. für die Außenwand bei einer optimierten Planung das Potenzial für etwas höhere U-Werte.

Mehr-/Minderinvestitionen: Für die Wärmebrückenoptimierung werden keine Mehr- oder Minderkosten gegenüber dem GEG-Standard angesetzt, da erfahrene Planer von vorneherein diesen Aspekt kostenneutral planen und ausführen.

4.2.7 Sommerlicher Wärmeschutz & Lärmschutz

Die Planung des sommerlichen Wärmeschutzes stellt eine zunehmend zentrale Anforderung für zukunftsfähige Bauten dar. Deshalb müssen die Aspekte dazu möglichst umfassend geplant und in diversen Punkten optimiert werden.

Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes

Für die Gebäude ist der Nachweis zur Einhaltung der Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108-2 zu führen. Der vorhandene Sonneneintragskennwert S sollte den zulässigen Höchstwert S_{zul} um 15 Prozent unterschreiten, damit auch bei passiver Kühlung hoher Sommerkomfort erreicht werden kann.

Passive Maßnahmen

Grundlage für eine kostengünstige Umsetzung des sommerlichen Wärmeschutzes sind passive Maßnahmen, die dazu führen, dass nur eine geringe Überhitzung stattfindet und eventuell erforderliche Technik klein dimensioniert und wirtschaftlich betrieben werden kann.

- Die Größe und Ausrichtung der transparenten Flächen stellen einen relevanten Aspekt dar. Während der Sonneneinfallswinkel auf der Südseite im Sommer sehr steil ist mit der Folge eines reduzierten Wärmeeintrags, führen Fensterflächen auf der Ost- und Westseite durch die niedrigstehende Sonne zu hohen Einträgen. Fenstergröße bzw. Fensterflächenanteil sollten deshalb besonders auf Ost- und Westseite angemessen niedrig sein. Die Fenstergrößen sollten grundsätzlich zurückhaltend bemessen sein, da dies der wichtigste Aspekt des sommerlichen Wärmeschutzes ist.
- Passive solare Gewinne müssen im Sommer begrenzt werden, während sie im Winter erwünscht sind. Es gilt durch die Optimierung der Fenstergrößen innerhalb eines Simulationsprogramms oder der energetischen Berechnung eine möglichst stimmige Balance zu erhalten. Auf Südseiten liegt ein optimierter Fensterflächenanteil schwerpunktmäßig im Bereich von 25 bis 35 % der Grundfläche des dazugehörigen Raumes, auf West- und Ostseiten deutlich niedriger.
- Glas-Kennwerte sind dabei von hoher Bedeutung. Für den winterlichen Ertrag ist ein g -Wert im Bereich von 0,5 bis 0,6 sinnvoll. Eine Reduktion des Wertes aufgrund des sommerlichen Wärmeschutzes sollte möglichst vermieden werden.
- Aktive Verschattung kann Defizite bedingt ausgleichen. Es muss aber darauf geachtet werden, dass eine sinnvolle Regelung möglich ist – gleich ob automatisch oder ggf. manuell durch die Nutzer.

- Die Bauart des Gebäudes ist von großer Bedeutung. Hohe Masse verbessert die sommerliche Situation. Auch für Leichtbauten gilt, dass die obersten 5 bis 8 cm der raumumfassenden Flächen aus möglichst schwerem Material bestehen sollten,
- Dies gilt besonders, wenn durch Nachtlüftung die Temperatur abgesenkt werden kann. Dazu muss ein drei- bis fünffacher Luftwechsel pro Stunde möglich sein. Wirksame Fensterlüftung ist grundsätzlich eine gute Option, die aber nur dann angewandt werden kann, wenn sie dem Schallschutz nicht entgegensteht. Der Rahmenplan für das WarnowQuartier, in dem entlang des Dierkower Damms vorwiegend Gewerbeflächen angeordnet sind, bietet hierfür gute Voraussetzungen.

Aktive Maßnahmen

Als Ergänzung kann eine aktive Temperierung oder in besonders beanspruchten gewerblichen Bereichen eine Kühlung erfolgen. Dabei ist Folgendes zu bedenken:

- Bei der Versorgungsvariante mit der Kombination aus Photovoltaik und Wärmepumpe ist mit eher geringem Aufwand eine Temperierung oder Kühlung möglich, während bei einem Versorgungskonzept mit Fernwärme ein zusätzliches Kühlsystem installiert werden muss, das zu deutlichen Mehrinvestitionen führt.
- Besonders kostengünstig ist dies bei einem erdgekoppelten Primärkreis der Wärmepumpe erzielbar. Die Erdkühle reicht aus, um die Temperatur bei gut geplanten Gebäuden über die Flächenaktivierung im komfortablen Bereich zu halten. Zugleich kann damit das Erdsondenfeld regeneriert werden. Das ist die energetisch günstigste Option. Auch die Abwasserwärmenutzung ermöglicht im Sommer eine Kühlung oder Temperierung.
- Bei Fernwärmeversorgung muss Kühlung über Kompressionskälte oder andere aktive Techniken als zusätzliches System zur Verfügung gestellt werden. Werden Kühlsysteme gebäude- oder wohnungsweise installiert oder gar nachgerüstet, ist dies mit störenden Schallemissionen durch die Rückkühler verbunden.
- Die Dämmung der Transmissionsflächen ist auch für den sommerlichen Wärmeschutz wichtig. Schlecht gedämmte Konstruktionen führen zu höherer Erwärmung der Umfassungsfläche, gut gedämmte Gebäude verbessern den sommerlichen Wärmeschutz.

Maßnahmen über Lüftung und Nachtauskühlung

Das übliche Konzept der Nachtauskühlung über manuelle Lüftung in der Nacht ist in lärmexponierten Lagen nur bedingt einsetzbar. Ein besonders hoher Komfort für die Bewohner wird durch Lüftungstechnik mit Wärmerückgewinnung geschaffen, sodass sie bei geschlossenen Fenstern einen hohen Schallschutz genießen und zugleich kontinuierlich frische Außenluft zugeführt bekommen. Im Sommerfall reicht das Luftvolumen der Anlagen jedoch bei weitem nicht aus, um eine angemessene Nachtkühlung zu erreichen. An der Schnittstelle zwischen sommerlichem Wärmeschutz und Lärmschutz spricht Vieles für ein wasserbasiertes System zur Gebäudekühlung, das bei geschlossenen Fenstern mit geringem Aufwand und niedrigen Kosten funktioniert. Das gilt, wie oben bereits beschrieben, allerdings nur bei ohnehin installierter Flächenaktivierung (bzw. bedingt bei Fußbodenaktivierung/-heizung) und bei Einsatz von Primärkreisen für Wärmepumpen.

Lärmschutz

Das Lärmschutzkonzept erfordert eine umfassende Betrachtung aller Bebauungsteile mit ihren jeweiligen Expositionen gegenüber von außen einwirkenden Lärmeinflüssen. Das ist insbesondere im Bereich zum Dierkower Damm von hoher Bedeutung. Das kostengünstigste Lärmschutzkonzept lässt sich in dem Baugebiet erzielen über Lüftung mit Wärmerückgewinnung, das

geschlossene Fenster bei hohem Wohn- und Nutzungskomfort ermöglicht. Wie oben bereits beschrieben, gilt es dabei aber den sommerlichen Wärmeschutz mit einzubeziehen.

5. Gebäudetechnik - Heizung und Kühlung

In diesem Kapitel werden zunächst die Aspekte für die Heizung und Kühlung der Gebäude betrachtet. Obwohl bei hocheffizienten Gebäuden der Heizenergiebedarf nicht mehr die dominante Größe ist, kommt der Auslegung eine besondere Bedeutung zu, weil die Spitzenleistungen in den Hauptheizmonaten benötigt werden, was für eine erneuerbare Versorgung eine besondere Herausforderung darstellt, weil insbesondere die PV-Erträge in diesem Zeitraum sehr gering sind.

Im Vorfeld wurden die möglichen Versorgungsoptionen abgestimmt und dabei die Besonderheiten des Quartiers einbezogen. Insbesondere die erneuerbaren Energien, die aktivierbar sind, spielen dabei eine wesentliche Rolle und werden detailliert in Kapitel 10.3 beschrieben. Aus diesem Abstimmungsprozess ergeben sich folgende Versorgungsvarianten, die in diesem Gutachten untersucht werden.

Tabelle 11 Systematik der Versorgung, unterteilt nach Fernwärmeversorgung und Wärmepumpen-Variante

	Fernwärme		Wärmepumpe	
	Wohnen	Gewerbe	Wohnen	Gewerbe
Heizung	Fernwärme		Wärmepumpe & Spitzen-Wärmeerzeuger	
Primärkreis			Abwasserwärme	
Übergabe	Heizkörper		Fußbodenheizung	Betonkerntemperierung
Kühlung	keine Kühlung	Kompressionskälte	Nahwärmenetz	Nahwärmenetz & Kompr.
Warmwasser	Fernwärme, Dreileiter, Wohnungsstationen		Direktelektrisch & Dusch-WRG	Direktelektrisch
Lüftung	Zu-/Abluft mit WRG		Zu-/Abluft mit WRG	
Gemeinstrom	Kundenanlage für PV-Strom & Netzstrom			
Gewerbestrom	Kundenanlage für PV-Strom & Netzstrom			
Haushaltsstrom	Kundenanlage für PV-Strom & Netzstrom mit je < 400 Einheiten			

Die Versorgungsvarianten werden in Kapitel 10. beschrieben. Dabei geht es zunächst um die Fernwärmelösung und weiterhin um eine Variante mit Wärmepumpentechnik. Es bietet sich an, für das WarnowQuartier als dritte Option eine Verbindung zwischen der Fernwärme- und Wärmepumpenversorgung unter Beachtung der gesamten Energiebedarfssektoren im Gebiet anzustreben. Diese Lösung wird dann interessant, wenn sie in das Fernwärmekonzept der Stadt Rostock sinnvoll eingebunden ist.

5.1 Heizung mit Fernwärme

Fernwärme bietet in innerstädtischen, verdichteten Quartieren den großen Vorteil, dass ein relevanter Teil der Anlagentechnik ausgegliedert wird und mithin günstige Investitionskosten gegeben sind. Die zentralisierte Technik ist in fossil betriebenen Versorgungssystemen durchweg kosteneffizienter. Im Gutachten gilt es zu untersuchen, welche Auswirkungen eine zukünftige erneuerbare Versorgung auf die Versorgungsstruktur und die Wirtschaftlichkeit des Betriebs hat. Dabei kommt den Tarifstrukturen eine besondere Bedeutung zu. Ein weiterer wichtiger Aspekt liegt hinsichtlich der Zielstellung von Klimaneutralität in den aktuellen und zukünftigen Primärenergie- und CO₂-Emissionswerten. Planungen für eine Dekarbonisierung der Rostocker Fernwärme bis 2035 sind bereits im Gange. Die Grundlagen für die Versorgung mit Fernwärme werden in Kapitel 10.1 detailliert beschrieben.

5.1.1 Wärmeverteilnetz im Quartier

Die hohe bauliche Dichte des WarnowQuartiers bietet gute Voraussetzungen für den Betrieb eines Wärmenetzes im Quartier. Die angenommene Topologie eines Fernwärmenetzes zeigt Abbildung 25.



Abbildung 25 Mögliche Struktur eines Wärmenetzes im Quartier

5.1.2 Gebäudetechnische Optionen

Auf gebäudetechnischer Ebene erfolgt bei Versorgung mit Fernwärme die Verteilung für Heizen (und Warmwasser, s. Kapitel 6.1) sinnvollerweise über eine der folgenden Varianten:

- Fünfleitersystem (Heizungs-Vor-/Rücklauf, WW-Vor-/Rücklauf, Kaltwasser). Der Vorteil liegt in der klaren funktionalen Trennung und der einfachen und robusten Anlagentechnik, der Nachteil in der hohen Anzahl der Leitungen und der hohen Vorlauftemperatur der WW-Verteilung von mindestens 60 °C.
- Eine Optimierung kann OPTIONAL erzielt werden durch Ultrafiltration für die Warmwasserversorgung
- Dreileitersystem (Heizungs-Vor-/Rücklauf, Kaltwasser) mit Frischwasserstationen in den Nutzungseinheiten. Dadurch kann mit einer vorteilhaften Vorlauftemperatur von 50 bis

55 °C und durchschnittlichen Rücklauftemperaturen bis herunter zu 30 °C gefahren werden. Als Nachteil ist das Technikmodul in den Wohnungen inkl. Platzverlust zu sehen, der bei geschickter Platzierung jedoch durch die geringeren Querschnitte des Verteilsystems ausgeglichen werden kann.

Ein durchaus relevanter Aspekt hinsichtlich der Beurteilung dieser drei Systemvarianten sind sowohl die winterlichen Verteilverluste als auch die im Sommer, die zugleich als interne Wärmelasten wirken und damit erschweren, ein komfortables Sommerklima zu erreichen. Die entsprechenden Wärmelasten liegen bei den Varianten bei 0,8 W/m² und sind damit nicht unbedeutend. In den unmittelbar an die Verteiltrasse angrenzenden Räumen ist dieser Aspekt in der Detailplanung zu berücksichtigen.

5.1.3 Wärmeübergabe

Für die Übergabe wird folgende Technik als Grundlage der Variantenberechnung gewählt:

- Wohngebäude: Heizkörper
- Bürogebäude: Heizkörper
- Wärmeverteilung: Fünfleitersystem.

5.2 Heizung mit Wärmepumpe

Wärmepumpenversorgung in Verbindung mit dem guten Wärmeschutz der Gebäude und der niedrigen Vorlauftemperatur stellt im Allgemeinen ein zukunftsfähiges System dar. Als zweite Variante wird deshalb die Versorgung des WarnowQuartiers mit Wärmepumpentechnik untersucht.

5.2.1 Anlagenkonstellationen

Folgende Optionen können für die Anlagenkonstellation gewählt werden:

- Option 1: Vollversorgung des Quartiers über eine zentrale Wärmepumpenanlage und Verteilung der Wärme über ein Niedertemperatur-Leitungssystem mit 35 bis 40 °C Vorlauftemperatur
- Option 2: Kalte Nahwärme für den Primärkreis in Verbindung mit dezentralen Wärmepumpen pro Gebäude oder Cluster. Dadurch werden die Nahwärmeleitungen sehr kosteneffizient.
- Option 3: Wie Option 1, jedoch mit Spitzenlast-Wärmeerzeuger als Kessel oder BHKW
- Option 4: Wie Option 2, jedoch mit Rücklauf-Wärmeeinspeisung in den Primärkreis auf sehr niedrigem Temperaturniveau aus der Fernwärme der Stadt Rostock.

Grundvoraussetzung für eine wirtschaftliche Wärmepumpenlösung ist eine optimierte Heizlastauslegung, die entgegen der Auslegungsnorm nur die tatsächlich zu erwartenden Lasten abbildet. Bei hocheffizienten Gebäuden mit einem Heizwärmebedarf von 15 bis 20 kWh/(m²a) ist von einer maximalen Heizlast von 10 bis 15 W/m² auszugehen gegenüber Auslegungswerten nach Norm, die oftmals über 25 W/m² liegen. Dies hat einen relevanten Einfluss auf die Investitionskosten von Wärmepumpensystemen.

5.2.2 Wärmequellen für den Primärkreis

Für den Primärkreis der Wärmepumpen werden folgende Quellen untersucht:

- Erdwärme
- Kanal-Abwasserwärme aus dem Sammler im Dierkower Damm
- Kanal-Abwasserwärme aus dem Gebiet
- Wasser der Warnow
- Optional: Abwärme aus Gewerbebetrieben im Gebiet.

5.2.3 Lastprofil

Zur Erzielung einer effizienten und kostengünstigen Versorgung wird die Grundlast durch die Abwärme aus dem Kanal sowie aus den Erdsonden in Verbindung mit Wärmepumpentechnik gespeist. Dazu wird ein Spitzenlastkessel oder alternativ ein Spitzen-BHKW installiert. Die Abbildung zeigt das resultierende Heizwärme-Lastprofil für die Effizienzhaus 40 Variante während des Kernwinters. Grundvoraussetzung für eine wirtschaftliche Anlagenkonstellation ist die niedrige Auslegung der Heizlast für den Wohn- und Gewerbebereich, wie sie in Kapitel 5.2.1 beschrieben wird.

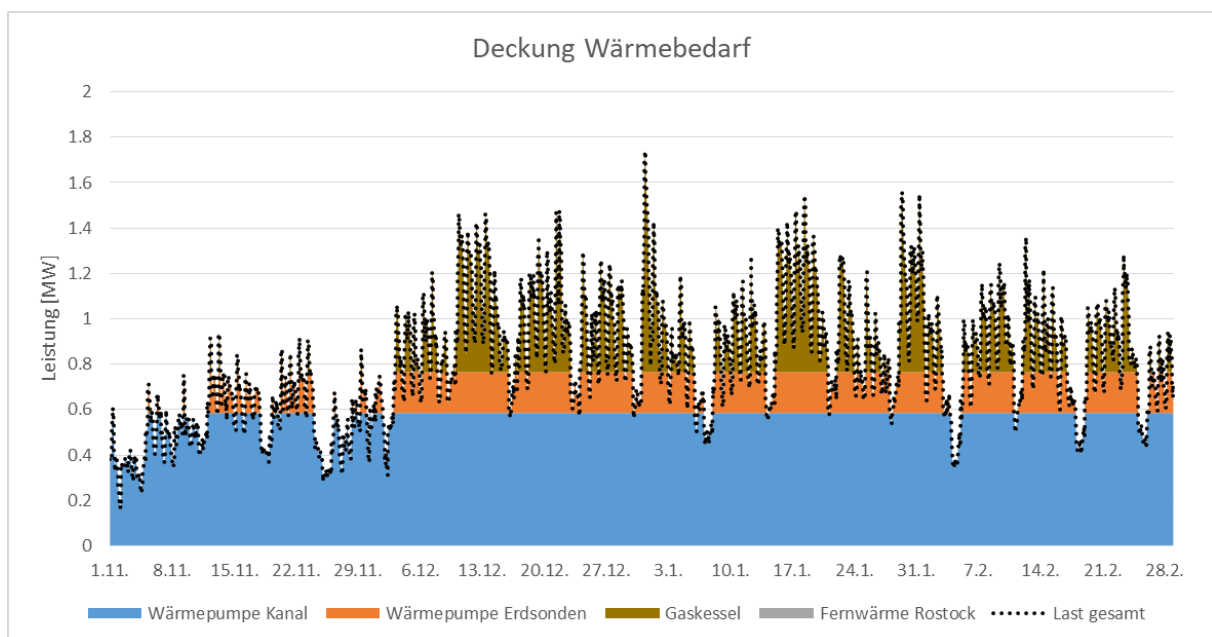


Abbildung 26 Heizwärme-Lastprofil für die Variante EH 40 Wärmepumpe über den Winter

5.2.4 Temperaturlauslegung

Darüber hinaus kann in der Versorgungsvariante Wärmepumpe für den Winter eine sehr niedrige Temperaturpaarung von 35/25 °C angesetzt werden. Im Sommer wird die Wärmeverteilung entweder abgeschaltet oder mit niedrigeren Temperaturen zur Kühlung genutzt, sodass keine Heizwärme zur Verfügung steht. Deshalb sollte in den Bädern grundsätzlich eine sehr kleine direktelektrische Heizleistung eingeplant werden zur Bereitstellung der geforderten Komforttemperaturen.

Durch die niedrigen Vor-/Rücklauftemperaturen ergeben sich im Verteilsystem nur sehr geringe Verluste in Höhe von 2 Prozent. Nachteilige Wärmelasten im Sommer entfallen. Die Trassenführung könnte analog zur Beschreibung bei der Fernwärme erfolgen.

5.2.5 Wärmeübergabe

Für die Übergabe ergeben sich folgende Optionen, die gleichzeitig für die Temperierung bzw. Kühlung nutzbar sein sollten:

Wohngebäude: Fußbodenheizung als Voraussetzung für günstige Arbeitszahlen

Bürogebäude: Betonkernaktivierung, für die im Gewerbebereich eine Vielzahl von erfolgreichen Referenzen in Verbindung mit einer Gebäudehülle auf Passivhausniveau gegeben ist.

5.2.6 Investitionskosten

Für die Investitionskosten der Wärmepumpen-Zentrale inkl. Gas-Spitzenkessel wurden inkl. eines Betrags für die erforderliche Fläche Investitionskosten von 9,80 €/m² veranschlagt. Für die beiden Primärkreise Kanal und Erdsonden entstehen zusätzlich Investitionskosten von jeweils ca. 2,00 € pro m² Energiebezugsfläche. Dass diese Kosten so niedrig liegen, ist auf die geringe Heizlast von nur 11 W/m² in den KfW 40-Gebäuden mit Lüftungs-Wärmerückgewinnung zurückzuführen. Für das Flächenheizsystem fallen 60 €/m² an, das sind 14 €/m² mehr als die Kosten für die Radiatoren mit 46 € pro m² beheizter Fläche. Die normgerechte Heizlastberechnung wird zu relevant höheren Leistungswerten führen. Dazu sollte bereits bei der Vergabe an die Gebäudetechnik-Fachingenieure ein vertiefter Austausch stattfinden, um einerseits überhöhte Leistungsansätze mit zu hohen Kosten zu vermeiden, auf der anderen Seite eine hohe Versorgungssicherheit zu erzielen. Ein sinnvoller Ansatz dazu kann eine kaskadenförmige Anordnung sowohl auf Seiten der Wärmepumpen als auch bei der gasbasierten Spitzenleistung mit jeweils mehreren Geräten führen. Das kommt sowohl den Ausbaustufen während des sukzessiven Baufortschritts entgegen als auch dem Betrieb mit einer hohen Anpassungsfähigkeit, weiterhin geringen Betriebsstunden bei einem Teil der Aggregate mit entsprechend geringeren Wartungsaufwendungen und schließlich der Möglichkeit, zusätzliche Leistung zu installieren. Dazu sollte ein angemessener Raum und eine sehr einfache Anschlussmöglichkeit vorbereitet werden.

5.3 Integriertes System Wärmepumpen-Fernwärme

In dieser dritten Variante soll untersucht werden, ob Quartiere neben dem Wärmebezug auch eine Funktion für die Wärmeeinspeisung in das Rostocker Fernwärmenetz übernehmen können. Der Grundansatz geht davon aus, dass im Gebiet ein möglichst hohes Maß an Umweltwärme generiert und mittels Wärmepumpentechnik auf das erforderliche Temperaturniveau gehoben wird. Der Unterschied zur Wärmepumpenvariante 2 liegt darin, dass eine deutlich höhere Leistung bereitgestellt werden kann, die über den Bedarf des Quartiers hinausgeht. Aufgrund der Speicheroptionen im Gebiet kann diese Leistung in Bedarfsfällen zu relevanten Anteilen für das Fernwärmenetz genutzt und mithin ein gezieltes Lastmanagement betrieben werden.

Angesichts des derzeit hohen Angebots an Wärmekapazitäten für das Rostocker Fernwärmenetz erscheint diese dezentrale Option eher nicht interessant aufgrund der höheren spezifischen Investitionskosten. Im Zuge einer weiteren Dekarbonisierung kann ein Netz von dezentralen Anlagen aber zunehmend lukrativ werden, insbesondere im Zusammenwirken mit einem gezielten Lastmanagement, das auch den erneuerbaren Stromsektor wie z. B. die PV-Erträge in diesen Gebieten integriert.

Diese Untersuchung soll also zeigen, ob mittelfristig weitere dezentrale Versorgungseinheiten in diesem Sinn sinnvoll in das Gesamtnetz eingebunden werden können. In vielen Kommunen deutet sich an, dass solche Lösungen in den 2040er Jahren hochinteressant sein könnten. Dies gilt insbesondere, wenn sukzessive Übergangslösungen in Zukunft wegfallen oder reduziert werden. Das gilt für Müllverbrennung und Abwärme aus industriellen Prozessen, die in zwei Jahrzehnten möglicherweise mit deutlich reduzierten Abwärmeevolumina betrieben werden. Mit hoher Wahrscheinlichkeit gilt dieser Effekt auch für den Wasserstoffsektor, der als zentrale Anlage zwar kosteneffizienter zu betreiben sein wird, allerdings mit der Einschränkung, dass bei zunehmend wirtschaftlich umsetzbarer dezentraler Wasserstoffnutzung die Abwärme aus Elektrolyse und ggf. Rückverstromung mit deutlich geringeren Verlusten zu nutzen ist.

Eine detaillierte quantitative Untersuchung eines solchen integrierten Systems war nicht möglich, da das Last- und Angebotsprofil des künftigen Fernwärmesystems noch nicht bekannt sind. Man kann lediglich annehmen, dass

- Abwärme aus der Elektrolyse überschüssigen Windstroms entsprechend dem Windangebot stark fluktuierend zur Verfügung steht
- Wärme aus überschüssigem PV-Strom, die über Großwärmepumpen gewonnen wird, nur im Sommer verfügbar ist
- Abwärme aus der Rückverstromung von EE-Wasserstoff bzw. –Methan eher in den Wintermonaten anfallen wird
- industrielle Abwärme über das Jahr weitgehend konstant verfügbar ist
- Klärschlamm- und Müllverbrennung bei entsprechender Vergütung in gewissem Rahmen an den saisonal schwankenden Wärmebedarf angepasst werden können
- die größte Wärmelast weiterhin im Winter für die Raumheizung anfallen wird.

Ziel einer Systemintegration wäre es demnach, den winterlichen Wärmebedarf des Netzes zu entlasten und das Quartier als virtuellen Wärmespeicher nutzbar zu machen.

5.3.1 Gebäude

Die primäre, weil kostengünstige und vielfach realisierte Maßnahme zur Reduzierung der winterlichen Last, ist die Minimierung des Heizwärmeverbrauchs im Quartier. In der Variante Passivhaus Plus ist dieser gegenüber der GEG-Variante um etwa einen Faktor 5 reduziert, sie wirkt daher auf das Fernwärmesystem ähnlich wie ein saisonaler Wärmespeicher, der die winterlichen Lasten dämpft.

Die effizienteren Gebäude kommen ein bis zwei Tage ohne Heizwärmezufuhr aus und können daher im Prinzip als Kurzzeitspeicher eingesetzt werden. Die Raumtemperatur sinkt dabei um ca. 1 °C pro Tag. Aus Sicht der Bewohner kann das durchaus einen Komfortverlust bedeuten, dem ein anderer Vorteil gegenüberstehen müsste. Da die Kosten für die Beheizung einer Passivhauswohnung (70 m², 80% der Auslegungslast, 8 Ct/kWh Wärme) etwa 1 € pro Tag betragen, dürfte

ein solcher Ansatz für die Bewohner eher unattraktiv sein. Auch die Wärmeleistung, die sich auf diese Weise verfügbar machen lässt (im Auslegungsfall maximal 2 MW), dürfte in keinem Verhältnis zum organisatorischen Aufwand stehen.

5.3.2 Anlagenkonstellationen

Als Anlagenkonstellation wird für diese Variante eine quartierszentrale Lösung mit Nahwärmenetz und Anbindung an die Fernwärme gewählt. Die Nahwärme im Quartier wird über ein Niedertemperatur-Leitungssystem mit 35 bis 50 °C Vorlauftemperatur betrieben. Die zentralen Wärmepumpen werden allerdings so ausgelegt, dass sie temporär bei Bedarf im Fernwärmenetz höhere Temperaturen bereitstellen können. Zugleich gilt es zu prüfen, wie ein kostengünstiges, aber effizientes Speicherkonzept für das Quartier vorgehalten werden kann, um ein möglichst hohes Leistungsspektrum für ein Lastmanagement bereitstellen zu können.

Folgende Betriebsweisen können mit diesem System gefahren werden:

- Option 1 – Standardbetrieb: Im Fernwärmesystem ist ausreichend Wärme verfügbar. Je ca. 50 Prozent der Leistung werden aus dem Fernwärmenetz und dem Wärmepumpensystem des Quartiers entnommen. Das gilt vollständig für den Heizbetrieb und weitestgehend für die Warmwasserbereitung, die in den Wohnungsstationen mittels eines kleinen Durchlauferhitzers bei Bedarf auf ein höheres Temperaturniveau gehoben wird. Im Standardbetrieb können zudem Speicher nachgeladen werden, s. Abschnitt 5.3.5.
- Option 2 – Lastfall 1: Bei erhöhtem Leistungsbedarf im Fernwärmesystem erfolgt die Wärmebereitstellung ausschließlich über das Wärmepumpensystem. Dabei kann die Vorlauftemperatur ggf. auf die Heizungsanforderung mit Vorlauftemperaturen um 35 °C abgesenkt werden, sodass die Durchlauferhitzer für die Warmwasserbereitung einen etwas erhöhten Temperaturhub bereitstellen müssen.
- Option 3 – Lastfall 2: Bei sehr hohem Leistungsbedarf im Fernwärmenetz kann – je nach Auslegung – für einen Zeitraum von mehreren Stunden bis hin zu drei Tagen die erhöhte Wärmepumpenleistung vollständig für die Beladung des Fernwärmenetzes bereitgestellt werden. Das Temperaturniveau hängt von der Anlagenkonstellation der additiv installierten Großwärmepumpe ab, die für diesen kurzen Zeitabschnitt den Primärkreis des Quartiers sehr stark beansprucht. Die Wärme für das Quartier wird während dieser Zeit ausschließlich über die gespeicherte Wärme bereitgestellt.

5.3.3 Wärmequellen für den Primärkreis

Für diese Variante muss eine deutlich erhöhte Kapazität für den Primärkreis vorgehalten werden. Hierfür wären denkbar:

- Erdwärme mit möglichst hoher Ausnutzung des Grundstücks
- Kanal-Abwasserwärme aus dem Sammler im Dierkower Damm
- Kanal-Abwasserwärme aus dem Gebiet
- Wasser der Warnow mit einem temporär erhöhten Volumen
- Abwärme aus Gewerbebetrieben und Kälteerzeugung im Gebiet.

Die Leistung sollte bei 150 Prozent der Leistungsanforderung im Quartier liegen. Vor allem könnte aber eine Konstellation angestrebt werden, die temporär eine deutlich erhöhte Leistung ermög-

licht, um in das Fernwärmenetz zu Zeiten der oben beschriebenen Lastspitzen mit relevanten Leistungen einzuspeisen. Hierfür kommen vor allem die Erdsonden in Betracht, die kurzzeitige Leistungsspitzen besser als andere Wärmequellen abpuffern können, vor allem, wenn sie in Verbindung mit einer Regenerationsstrategie gefahren werden.

Ob sich eine Rückspeisung von Wärme ins Fernwärmenetz lohnt, hängt auch stark von den Temperaturverhältnissen im Fernwärmenetz ab. Bei den derzeit üblichen, hohen Temperaturen ist der COP einer Wärmepumpe generell sehr gering. Kann dagegen Wärme in ein künftiges Netz mit niedrigem Temperaturniveau abgegeben werden, entstehen attraktive Arbeitszahlen. In Tabelle 12 ist das für den Fall, dass die sommerliche Rückkühlung eines Kältekreis ans Fernwärmenetz erfolgt, quantifiziert.

Tabelle 12 Beispiele für den COP der Wärmeabgabe ans Fernwärmenetz. Kältekreis 16 °C, Grädigkeit Wärmeübertrager 5 K, Carnot-Gütegrad Wärmepumpe 0,4, COP Kälteerzeugung ohne Abwärmenutzung 8. Der eff. COP ist das Verhältnis der ins Fernwärmenetz eingespeisten Wärme zum zusätzlich benötigten Strom, um diese Wärme verfügbar zu machen.

Temperaturpaarung	Einspeisung in	eff. COP
80 / 50 °C	Vorlauf	2.2
80 / 50 °C	Rücklauf	4
55 / 35 °C	Rücklauf	7.4

In diesem Fall würden ca. 1.000 MWh/a an überschüssiger Wärme zur Verfügung stehen. Das ist etwa ein Tausendstel der ca. 800 GWh/a, die insgesamt an Fernwärme in Rostock verbraucht werden. Hinzu kommt, dass ein Teil der Abwärme aus der Kälteerzeugung sinnvollerweise zur Regeneration des Erdsondenfeldes eingesetzt werden sollte. So gesehen fallen diese Beiträge also kaum ins Gewicht. Das gilt sogar in Bezug auf den Hochsommer: Geht man überschlagsmäßig davon aus, dass in der Zeit, wo die genannten Abwärmemengen anfallen, nur ca. 5% der jährlich gelieferten 800 GWh/a benötigt werden, so handelt es sich immer noch um 40 GWh/a bzw. 40.000 MWh/a. Die Abwärme aus der Kühlung im Quartier würde mit gerade einmal 2,5 % also keinen relevanten Beitrag hierzu leisten können.

5.3.4 Temperatúrauslegung

Wie in der Versorgungsvariante Wärmepumpe würde auch für ein integriertes System im Winter eine Auslegungs-Temperaturpaarung von 35/25 °C angesetzt. Es gelten mithin die Überlegungen aus Abschnitt 5.2.4.

Die niedrigen Temperaturen im Nahwärmenetz sind Voraussetzung für den im nächsten Abschnitt beschriebenen Pufferspeicher, für die Abwärmenutzung im Fernwärmenetz, für geringe Verteilungsverluste und für die zeitweise Versorgung über die Wärmepumpe. Höhere Temperaturen sollten bei Fernwärme-Überschuss im Netz möglich sein, denn dann könnte z.B. die elektrische Nachheizung des Warmwassers ganz oder teilweise entfallen.

5.3.5 Speicher

Der Unterschied im Temperaturniveau des Fernwärmenetzes ($> 50\text{ °C}$) und des Nahwärmenetzes im Quartier ($< 35\text{ °C}$) eröffnet die Option, einen Kurzzeit-Wärmespeicher zwischen beiden Temperaturniveaus pendeln zu lassen. Vorteil: dieser Speicher benötigt zur Be- und Entladung keine zusätzlichen Temperaturdifferenzen.

Ein solcher Speicher kann gleichzeitig dazu dienen, das schwankende Wärmeangebot aus dem Kanal auszugleichen: Ist nicht genug Wärme aus dem Kanal verfügbar, wird der restliche Bedarf aus dem Speicher gedeckt.

Auch der umgekehrte Fall kann eintreten: Der Kanal könnte Wärme liefern, das Quartier benötigt diese Wärme aber nicht. Das wird vor allem im Sommer der Fall sein. In dieser Situation kann die bereits vorhandene Kanal-Wärmepumpe bei Bedarf Wärme ans Fernwärmesystem abgeben.

5.3.6 Wärmeübergabe

Für die Übergabe ergeben sich folgende Optionen, die gleichzeitig für die Temperierung bzw. Kühlung nutzbar sein sollten:

Wohngebäude: Fußbodenheizung als Voraussetzung für günstige Arbeitszahlen

Bürogebäude: Betonkernaktivierung, für die im Gewerbebereich eine Vielzahl von erfolgreichen Referenzen in Verbindung mit einer Gebäudehülle auf Passivhausniveau gegeben ist.

5.3.7 Investitionskosten

Wie bei Variante 2 ist eine Grundvoraussetzung für eine wirtschaftliche Lösung eine optimierte Heizlastauslegung, die entgegen der Auslegungsnorm nur die tatsächlich zu erwartenden Lasten abbildet. Bei den auch für diese Variante angenommenen hocheffizienten Gebäuden mit einem Heizwärmebedarf von 15 bis 20 kWh/(m²a) wird wiederum von einer maximalen Heizlast von 10 bis 15 W/m² ausgegangen um die Investitionskosten für das Wärmepumpensystem niedrig zu halten.

Als weitere Grundvoraussetzung muss eine Kostenzuordnung für die erhöhte Leistungsbereitstellung getroffen werden, die dem Rostocker Fernwärmenetz zuzuordnen ist. Dabei ist zu beachten, dass es sich um eine Investition in die Zukunft handelt, die möglicherweise keine sehr kurzfristige Amortisation ermöglicht.

Die Kopplung ans Fernwärmenetz bietet andererseits auch in ökonomischer Hinsicht die Chance auf Synergien. Würde man in Variante 2 z.B. die Option eines Gas-BHKW im Quartier als Spitzenwärmeerzeuger in Betracht ziehen, gibt es in Variante 3 auch die Möglichkeit, die Spitzenlast aus dem Fernwärmenetz zu decken und die entsprechende Wärmemenge durch ein dort ggf. vorhandenes Heizkraftwerk abhängig von der aktuellen Situation wesentlich kostengünstiger zu erzeugen. Ähnliches gilt für eine Nutzung der Warnow als Wärmequelle/-senke: Dieselben Wärmemengen lassen sich mit großen, zentralen Anlagen in der Ostsee preiswerter erzeugen. Nachteilig ist allerdings in beiden Fällen das unnötig hohe Temperaturniveau, auf dem die Wärme zum Warnowquartier transportiert wird.

5.3.8 Management und Booster-Konzepte

Die beschriebenen Optionen machen es erforderlich, in einem System mit vielen Wärmeerzeugern, Speichern und Verbrauchern die zu jedem Zeitpunkt günstigste Betriebsweise zu wählen. Aufgrund der beteiligten realen und virtuellen Speicher sind dabei die Vorgeschichte und die erwarteten künftigen Lasten und Wärmeangebote zu berücksichtigen.

Um diese Komplexität überhaupt bewältigen zu können, muss der Zugriff auf alle Systeme in einer Hand liegen. Hierfür kommen im Prinzip nur die Stadtwerke als Betreiber des Fernwärmenetzes in Frage, da die entsprechenden Kompetenzen für die Dekarbonisierung des Fernwärmenetzes ohnehin in ähnlicher Weise benötigt werden.

Zukünftig wird Lastmanagement zu Spitzenlastzeiten eine hohe Relevanz für die Wirtschaftlichkeit der Versorgungssysteme ausmachen. Wenn es gelingt, Leistungsspitzen über Zeiträume von einigen Stunden bis Tagen kostengünstig zu decken, ergeben sich wichtige wirtschaftliche Vorteile. Dazu können „Booster“-Konzepte auf Quartiersebene beitragen, indem für kurzzeitige Lastspitzen eine Einspeisung aus dem Quartier ins Netz erfolgt. In Verbindung mit einem Wärmepumpensystem sind dafür allerdings eher niedrige Netztemperaturen Grundbedingung. In dem Fall ist es grundsätzlich möglich, in Abhängigkeit von der Anlagen- und Speicherkonzeption im Quartier die 1,5- bis zweifache Leistung des Quartiers kurzzeitig dem Netz zur Verfügung zu stellen.

5.3.9 Ausblick

Im Zuge des Wärmeplans werden Szenarien für die zukünftige Entwicklung erstellt, die für die weitere Entwicklung der Fernwärme von entscheidender Bedeutung sind. Grundsätzlich können Quartiere in solche Versorgungssysteme sinnvoll – auch als Wärmelieferant und zur Spitzenlastabdeckung – einbezogen werden. Deshalb wurde bei dieser dritten Versorgungsvariante qualitativ untersucht, ob Quartiere als dezentrale Quellen für das Fernwärmenetz eingebunden werden können. Das erscheint grundsätzlich möglich, Synergien könnten sich z.B. ergeben durch:

- Nutzung der Temperaturdifferenz zwischen Fernwärmenetz und Quartiersnetz zur relativ kostengünstigen Wärmespeicherung
- Stützung des Fernwärmenetzes in winterlichen Spitzenlastperioden durch Nutzung von Erdsonden, die kurzzeitig relativ hohe Leistungen liefern können
- Abgabe von im Quartier nicht benötigter Wärme z.B. aus dem Abwasserkanal ins Fernwärmenetz
- Nutzung von sommerlicher Abwärme aus der Raumkühlung im Quartier im Fernwärmenetz
- Optional: gemeinsame Nutzung der geplanten Parabolrinnenkollektoren im Buga-Bürgerpark durch das WarnowQuartier und das Fernwärmenetz.

Aufgrund der hohen Effizienz des WarnowQuartiers sind die verfügbaren Wärmemengen in Relation zur Wärmelast im Fernwärmenetz gering. Dennoch kann ein Zusammenwirken zwischen (mehreren) Quartieren und dem Fernwärmesystem grundsätzlich zu sinnvollen Synergien führen. Dazu wird im Folgenden eine überschlägige Abschätzung der Relevanz eines einzelnen Quartiers dargestellt.

Tabelle 13 Szenarien bei Quartierserstellung 2025 und im Jahr 2045 für den Anteil des WarnowQuartiers am Wärmebedarf und an der erforderlichen Heizleistung für die Fernwärme in Rostock in Abhängigkeit vom Versorgungsanteil (35/50/65%). Der Leistungsanteil des WarnowQuartiers in der 50-Prozent-Variante beträgt im Jahr 2045 immerhin knapp 2 Prozent. Mit einem Booster-Konzept könnten zehn solcher Gebiete zum kurzzeitigen Lastmanagement bis zu 40 Prozent der Leistung beitragen.

		WarnowQuartier	Anteil Fernwärme Stadtgebiet Rostock		
			35%	50%	65%
Nutzfläche	m ²	128.000	3.817.541	5.453.630	7.089.719
Anteil WarnowQuartier	Prozent	100%	3,4%	2,3%	1,8%
Szenario 2025					
Spez. Heizenergiebedarf i. M. inkl. TWW	kWh/(m ² a)	42	95	95	95
Wärmebedarf (ohne FW-Netz-Verluste)	MWh/a	5.376	362.666	518.095	673.523
Spezifische Heizleistung i. M.	kW/m ²	0,025	0,058	0,058	0,058
Erforderliche Heizleistung (Übergabe)	MW	3,2	221,4	316,3	411,2
Anteil WarnowQuartier	Prozent	100%	1,45%	1,01%	0,78%
Szenario 2045					
Spez. Heizenergiebedarf i. M. inkl. TWW	kWh/(m ² a)	42	50	50	50
Wärmebedarf (ohne FW-Netz-Verluste)	MWh/a	5.376	190.877	272.682	354.486
Spezifische Heizleistung i. M.	kW/m ²	0,025	0,030	0,030	0,030
Erforderliche Heizleistung (Übergabe)	MW	3,2	114,5	163,6	212,7
Anteil WarnowQuartier	Prozent	100%	2,79%	1,96%	1,50%

In Tabelle 13 werden Szenarien für den Anteil des WarnowQuartiers am Wärmebedarf und an der erforderlichen Heizleistung für die Fernwärme in Rostock in Abhängigkeit vom Versorgungsanteil zwischen 35 und 65 Prozent illustriert. Für die Stadt Rostock wurden die Werte für diesen Screening-Vergleich über die Einwohner (209.755) sowie eine angenommene Fläche pro Einwohner von i. M. 40 m² und einen Zuschlag für Nichtwohngebäude (30 %) hochgerechnet. Der Leistungsanteil des WarnowQuartiers in der 50-Prozent-Variante beträgt im Jahr 2045 immerhin knapp 2 Prozent. Mit einem Booster-Konzept könnten zehn solcher Gebiete zum kurzzeitigen Lastmanagement 30 bis 40 Prozent der gesamten Netz-Leistung beitragen. Das ist wirtschaftlich uninteressant, solange kosteneffiziente zentrale erneuerbare Ressourcen gehoben werden können wie sie im Wärmeplan für Rostock dargestellt werden. Für Kommunen ohne diese Optionen ist diese Art der dezentralen Versorgung eine lohnenswerte Option.

5.4 Kühlung

In den zunehmend wärmeren Sommermonaten lässt sich hoher thermischer Komfort allein mit passiven Maßnahmen insbesondere in innerstädtischen verdichteten Lagen mit den entsprechenden städtischen Wärmeinseln kaum herstellen. Im Fall des WarnowQuartiers kommt dazu in Teilbereichen zum Dierkower Damm die eingeschränkte Möglichkeit zur Nachtlüftung über Fenster aufgrund der Lärmimmissionen, wodurch das Risiko von sommerlichen Komfortproblemen besonders hoch ist.

Bei der Wärmepumpen-Variante kann Temperierung bzw. Kühlung äußerst günstig integriert werden. Durch die Trennung von Heizen und Warmwasserbereitung ist es zudem möglich, das Heiz-Verteilnetz und die Flächenaktivierung im Sommer für die Kühlung zu nutzen. Üblicherweise wird die Heizverteilung in den Übergangszeiten und im Sommer abgeschaltet. Sobald Kühlbedarf besteht, kann das Netz mit niedrigeren Temperaturen zur Temperaturabsenkung der Räume genutzt werden, sodass keine Wärmelasten im Gebäude auftreten.

Eine kostengünstige Lösung bietet eine Kühlung über Flächentemperierung:

1. Wohngebäude über Fußbodenheizung: Von verschiedenen Herstellern (z.B. [Uponor 2021]) werden Fußbodenheizungen bereits standardmäßig auch zur Raumkühlung eingesetzt. Bleibt man innerhalb der Komfortgrenzen der ISO 7730 und lässt eine Untertemperatur der Fußbodenoberfläche von 2 K zu, so lassen sich allein durch den Strahlungswärmeübergang ca. 10 W/m^2 abführen. Damit ist für den Wohnungsbau bereits eine ausreichende Wärmeabfuhr möglich.
2. Bürogebäude über Betonkernaktivierung: eine Kühlleistung von 20 bis 30 W/m^2 ist möglich und hat sich insbesondere in Bürogebäuden vielfach gut bewährt bei hohem Komfort.

Aufgrund der nur geringen Temperaturdifferenzen kann die Abwärme im Sommer ohne Einsatz einer Wärmepumpe an den Abwasserkanal oder die Erdsonden abgeführt werden, bei denen dies gleichzeitig zur Regeneration des Erdreichs beiträgt und die Zahl der möglichen Volllaststunden für die Heizung erhöht. Bei beiden Varianten fällt lediglich Hilfsstrom an. Bei korrekter Auslegung und Inbetriebnahme werden so Arbeitszahlen für die Kühlung von mehr als 8 möglich.

Ein Teil der Gebäude weist eine Mischnutzung mit einem gewissen Gewerbe-Anteil auf. Der dadurch entstehende, zusätzliche Kühlbedarf ist derzeit noch schwer zu beziffern, da die Details der Nutzung noch nicht feststehen; ein effizientes Büro mäßiger Belegungsdichte hat einen anderen Kühlbedarf als ein Callcenter oder ein Labor. Für diese Bereiche wurde pauschal mit internen Wärmelasten von 6 W/m^2 der Kühlbedarf berechnet, er beträgt $21 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Für Räume mit maximalen Kühllasten über 30 W/m^2 ist die Betonkerntemperierung nicht mehr geeignet, eine Kühlung über Kühldecken, Fan-coils oder andere Verfahren wird erforderlich. Für den berechneten zusätzlichen Gewerbe-Kältebedarf wurde eine Jahresarbeitszahl von 4 für dezentrale, bedarfsangepasste Kühlgeräte mit erforderlichenfalls auch höherer Leistung angenommen. Der entsprechende Energiebedarf wurde mit einem geeigneten Lastprofil versehen und im Stromverbrauch berücksichtigt.

6. Gebäudetechnik – Warmwasser

Der Energieverbrauch für die Warmwasserbereitung liegt bei hocheffizienten Wohngebäuden aufgrund der Anlagenverluste durch die hohen Systemtemperaturen vielfach höher als der Heizenergieverbrauch. Deshalb werden im Gutachten vor allem zwei Zielszenarien näher betrachtet, die entweder mit niedrigeren Vorlauftemperaturen arbeiten oder aber aufgrund der dezentralen Anordnung nur ein Minimum an Anlagenverlusten aufweisen.

Der Nutzenergiebedarf für die Warmwasserbereitung liegt nach GEG bei $12,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ für die Bezugsfläche A_N . Bei Umrechnung auf die Wohnfläche entspricht das etwa 15 bis $16 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Dazu kommen die angesprochenen Anlagenverluste, die zu Verbrauchswerten von 25 bis über $30 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bei Neubauten reichen. Folgende Aspekte sind dabei von Bedeutung:

- Effiziente Planung erfolgt durch die Minimierung der Steigstränge, Leitungslängen und Schächte, die Anordnung von Sanitärzellen vertikal übereinander und kurze Anbindungen ohne Zirkulation in den Wohnungen, dazu Leitungsdämmung mit doppeltem GEG-Standard.

- Je einfacher das System und je geringer die Systemtemperatur, desto günstiger für Investition & Betrieb.
- Das gilt besonders für Systeme mit einem großen Verteilnetz wie im WarnowQuartier.
- Trinkwasserverordnung & Legionellen: die Temperatur am Warmwasseraustritt sollte 60 °C (mindestens 55 °C) bei einer Temperaturdifferenz von max. 5 K in den Zirkulationsleitungen betragen. Bei einem Leitungsvolumen unter 3 Litern sind keine Maßnahmen notwendig.

Das Wärmenetz für die WW-Versorgung muss nicht nur im hohen Maß erneuerbar sein, sondern muss zudem verlustminimiert geplant werden. Folgende Konstellationen wurden im Gutachten untersucht:

6.1 Fernwärmesystem mit quartierszentraler Versorgung

Vorteile der zentralen Versorgung liegen in der Wärmebereitstellung durch eine Wärmezentrale mit wenig Technik. Dadurch liegt der Wartungsaufwand niedrig. In den Wohnungen befindet sich keinerlei Technik. Es muss allerdings eine optimierte Planung erfolgen, um die Anlagenverluste möglichst niedrig zu halten. Folgende Optionen sind möglich:

- Fünfleitersystem: Heizen (Vor- & Rücklauf), WW (Vorlauf & Zirkulation) und Kaltwasserleitung (wichtig: Abstand zu warmen Leitungen, gut gedämmt) ergeben fünf Leitungen. Das System bringt erhöhte Verteilverluste aber geringe Wartungskosten.
- Dreileitersystem mit Frischwasserstation: Nur ein Wärmeverteilsystem aus Vor-/Rücklauf, das mit Temperaturen um 55 Grad Vorlauftemperatur betrieben werden kann. Die Rücklauftemperaturen sind im Mittel wesentlich niedriger, vor allem in großen Gebäuden, da bei Warmwasserzapfung die Rücklauftemperatur bis nahe an die Kaltwassertemperatur absinkt. In der Frischwasserstation befindet sich die Verteilung für das Heizsystem und ein Wärmetauscher für das Warmwasser, der eine Temperatur von mindestens 45 ° bereitstellt. Wichtig: die Verteilsysteme in den Wohnungen dürfen nur 3 Liter Leitungsvolumen aufweisen. Dieses System wird für die Fernwärme-Variante gewählt.
- Das gleiche System kann mit wärmepumpen-kompatiblen 35-40 °C gefahren werden, wenn ein kleiner Durchlauferhitzer in der Frischwasserstation die Spitzenleistung abdeckt.
- Ultrafiltration: Legionellen werden weitestgehend herausgefiltert, sodass niedrigere Systemtemperaturen mit geringen Verlusten auch im Fünfleitersystem möglich sind. Diese Variante wurde nicht gewählt, weil sie sich noch in der Pilotphase befindet und ein erhöhter Aufwand für die Legionellenuntersuchungen erforderlich ist.

Die GEG-Varianten sind mit Fünfleitersystem, die verbesserten Varianten mit Dreileitersystem und Frischwasserstationen ausgeführt.

Für die Nichtwohngebäude wurde ein geringerer Warmwasserbedarf, aber dasselbe Verteilsystem angenommen, sodass die Verteilverluste prozentual höher zu Buche schlagen.

Die Investitionskosten für die Frischwasserstationen betragen 1.500 bis 1.800 € pro Wohneinheit.

6.2 Dezentrale Wohnungs-Versorgung in Verbindung mit Wärmepumpen

Durch Umstellung auf erneuerbar-strombasierte Versorgung werden dezentrale Systeme pro Wohnung attraktiv. Diese Situation ist beim WarnowQuartier durch die PV-Anlagen gegeben. Die Erzeugungs- und Verteilverluste für Warmwasser können dadurch auf 2 – 5 % reduziert werden. Ein großer Vorteil für das Heiz- und Kühlkonzept ergibt sich aus dem Umstand, dass das zentrale Wärmeverteilnetz nicht mehr ganzjährig betrieben werden muss, sodass Heizen und Kühlen kostengünstig und platzsparend über dasselbe Verteilleitungs-Paar erfolgen kann. Folgende Lösungen sind möglich:

- Wohnungsweise Mini-Wärmepumpen mit Warmwasserspeicher, die die Fortluft der Lüftungsanlage oder die Außenluft als Wärmequelle nutzen. Vorteil: hocheffizient. Nachteil: viel Technik in der Wohnung. Deshalb wurde diese Variante in den Berechnungen nicht realisiert.
- Durchlauferhitzer mit Duschwärmerückgewinnung. Vorteil: sehr kostengünstig, Nachteil: erhöhter Bedarf gegenüber einer Wärmepumpe, deshalb wird die Kombination mit der Duschwasser-Wärmerückgewinnung (s. Kapitel 6.4) empfohlen. Zudem ist unabdingbar die Kopplung mit erneuerbarer Energie, die durch die PV-Anlage im WarnowQuartier gegeben ist. Grundsätzlich ist auch eine Verbindung mit Batterie-Speicherung sinnvoll, sodass die Leistungsanforderung des Gebäudes zu Spitzenzeiten reduziert werden kann. Diese Option ist für sich derzeit nicht wirtschaftlich umsetzbar, allerdings Voraussetzung für die Förderung als EH 40 Plus. Für diesen Fall wird sie daher berücksichtigt.

Die Höhe der Investitionskosten liegt bei 500 € pro Durchlauferhitzer zzgl. 400 € für den Drehstromanschluss pro Wohnung.

6.3 WW-Versorgung für das integrierte Wärmepumpen-Fernwärme-System

Die höhere Leistung des integrierten Wärmepumpen-Fernwärme-Systems ermöglicht eine höhere Vorlauftemperatur und damit erweiterte Optionen für die Warmwasserversorgung:

- Dreileitersystem mit Frischwasserstation: Nur ein Wärmeverteilsystem aus Vor-/Rücklauf, das mit Temperaturen zwischen 35 und 50 Grad Vorlauftemperatur betrieben werden kann. In der Frischwasserstation befindet sich die Verteilung für das Heizsystem und ein Wärmetauscher zuzüglich eines Durchlauferhitzers für das Warmwasser, der eine Temperaturerhöhung auf die geforderte WW-Temperatur bereitstellt. Dies ist aufgrund der geringen additiven Leistung bei richtiger Auslegung ohne Drehstromanschluss möglich.
- Alternativ: Durchlauferhitzer zzgl. Duschwasserwärmerückgewinnung wie bei der vorherigen Variante 2. Diese wird im Folgenden beschrieben.

6.4 Duschwasser-WRG

Der größte Anteil an der Warmwasserversorgung wird für das Duschen benötigt. Durch Installation einer passiven Duschwasser-Wärmerückgewinnung lässt sich der Nutzwärmebedarf für Warmwasser deutlich reduzieren. Es handelt es sich um ein ca. 2,50 m langes Stück Abwasser-

Fallrohr, um das im Gegenstrom das Kaltwasser auf dem Weg zum Warmwasserspeicher geführt wird. Ein solcher Wärmetauscher hat einen Wirkungsgrad von ca. 70 Prozent und ermöglicht im Praxisbetrieb in der Gesamtsicht eine Einsparung von etwa 30 Prozent Nutzwärme im Warmwasserbereich.

Die Kosten für die Duschwärmerückgewinnung liegen für wirtschaftliche Lösungen bei 750 € pro Wohnung.

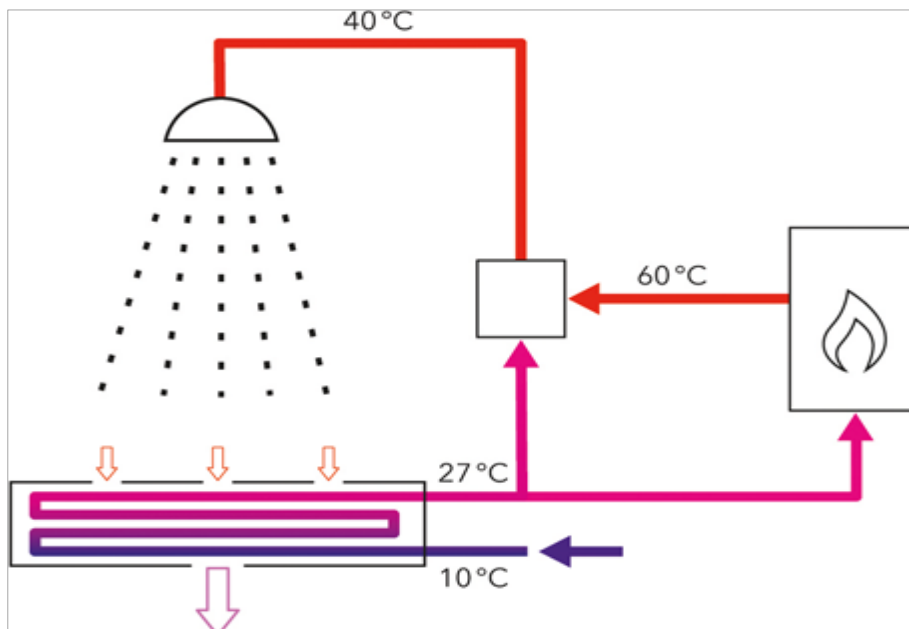


Abbildung 27 Installationsschema Duschwasser-Wärmerückgewinnung in Form einer Duschrinne.
Quelle: Wagner Solar

7. Gebäudetechnik – Lüftung

In den kommenden Jahren wird sich zunehmend das Bedürfnis nach Lüftungskonzepten mit hohem Komfort durchsetzen. Dazu kommt in Teilbereichen des Warnow-Gebiets der Aspekt des Lärmschutzes, der nach einem Lüftungskonzept mit hohem Schallschutz ohne Öffnen der Fenster verlangt. Durch Abluftsysteme ist diese Anforderung aufgrund der Außenwandluftdurchlässe nur bedingt zu erfüllen, sodass sich allein schon aus diesem Grund Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung anbieten. Der Nachteil der Systeme liegt in den erhöhten Investitionskosten. Diese können in den meisten Fällen durch die erhöhte Förderung ausgeglichen werden. Die Vorteile überwiegen allerdings bei weitem:

- Vor allem ist ein hoher Komfort gegeben durch die kontinuierliche Zufuhr frischer Außenluft und ein daraus resultierendes positives Raumluftempfinden ohne den Zwang, manuell über Fenster lüften zu müssen. Selbstverständlich dürfen die Nutzer Fenster öffnen. Sie erhalten eine einfach zu handhabende Kurzinformation über den Umgang mit

der Lüftung. Nutzer gut funktionierender Lüftungssysteme bestätigen bei Umfragen, dass sie diesen Komfort nicht mehr missen wollen.

- Der energetische Aspekt: Reduktion des Heizwärmebedarfs um ca. 20 kWh/(m²a).
- Dadurch halbiert sich bei effizienten Gebäuden wie im WarnowQuartier die Heizlast, so dass bei der Investition für die Heizanlage 10 – 40 € pro m² Wohnfläche eingespart werden können.
- Hohe Raumluftqualität mit der zusätzlichen Möglichkeit, über die Filterung Vorteile für Allergiker zu sichern.
- Schallschutz (s. o.) ist gewährleistet, weil das Lüftungssystem eine hohe Dämpfung sicherstellt und bei geschlossenen Fenstern gelüftet wird.

Alle Lüftungsanlagen im Gebiet sollten so ausgelegt sein, dass sie im Wohnbereich die Anforderungen der DIN 1946-6 erfüllen, bei der Inbetriebnahme allerdings gezielt im Sinn der Passivhaus-Anforderungen eingestellt und möglichst Aspekte der Kaskadenlüftung genutzt werden. D. h. die frische Außenluft wird zunächst in Aufenthaltsräume geleitet, ggf. durch Überströmelemente doppelt genutzt und dann via Überströmbereich in die Ablufträume geleitet. Das System gilt sowohl für die Wohnnutzungen als auch für das Gewerbe. Die Nutzer sollen auf keinen Fall durch das Lüftungssystem bevormundet werden, es ist erwünscht, dass sie bei Bedarf auch gerne mal zusätzlich eine Querlüftung ausführen, z. B. wenn besonders intensiv gekocht wurde oder Gäste zu Besuch sind.

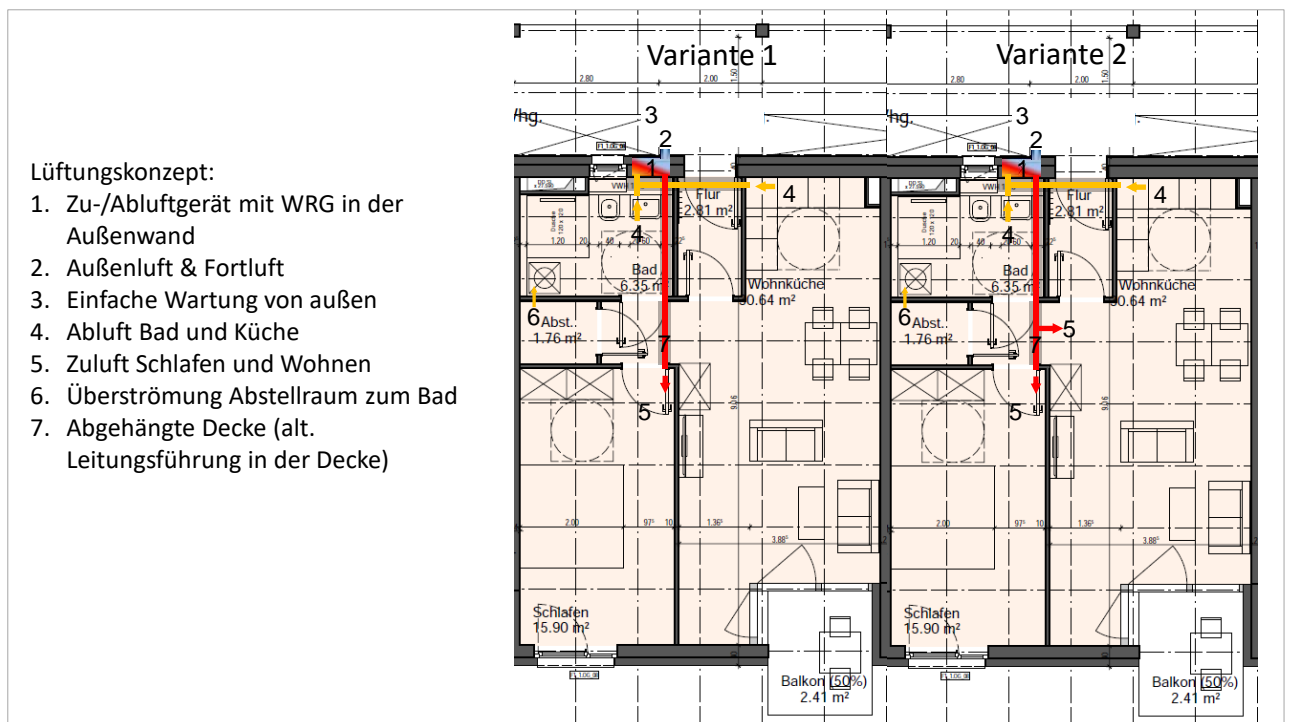


Abbildung 28 Beispielhafte Darstellung von Lüftung mit Wärmerückgewinnung: Variante 1 mit optimierter Kaskadenlüftung, bei der das Zuluftvolumen vollständig in den Schlafbereich eingebracht wird, dort für hohe Luftqualität sorgt und sich dann bei der Überströmung im Wohn-Kochbereich verteilt. Variante 2 wird als Standardlösung nach DIN 1946-6 dargestellt. Der Brandschutz ist abzustimmen.

Folgende Aspekte sind darüber hinaus bei der Planung des Lüftungssystems zu beachten, wobei zunächst dezentrale Systeme mit einem Gerät pro Wohnung beschrieben werden, wie sie kostengünstig bei vielen Gebäuden einsetzbar sind:

- Der Wärmebereitstellungsgrad (WRG) der Anlage sollte bei mindestens 75% liegen.
- Dezentrale Anlagen benötigen pro Wohnung ein Lüftungsgerät, das möglichst direkt an der Außenhülle liegen sollte, um die Wege für kalte Leitungen zu minimieren. Die Luftführung innerhalb der Wohnung sollte einfach gehalten werden.
- Zuluft wird in die Aufenthaltsräume eingebracht.
- Kaskadenlüftung mit Doppelnutzung der frischen Luft in mehreren Räumen ermöglicht gute Raumluftqualität mit sehr geringem Luftwechsel.
- Wichtig ist, dass Schlafzimmer im Nachtbetrieb pro Person etwa 20 m³/h erhalten. Ideal ist es, wenn das auf der Stufe „reduzierte Lüftung“ erfüllt wird.
- Als wichtiger Aspekt der Planung muss ein möglichst einfacher Filterwechsel durch die Nutzer der Wohnungen ermöglicht werden, sodass nur sehr geringe Kosten für die Wartung anfallen. Falls die Wartung zentral ohne Zutun der Wohnungsnutzer ausgeführt werden soll, zeigt das Beispiel der Abbildung 28 eine sehr einfache Lösung, indem das Gerät in der Wand zu einem Laubengang eingebaut wird und dadurch von außen zu warten ist. Wichtig ist zudem, dass die Filtersätze sehr kostengünstig sind. Dies ist bei der Ausschreibung der Geräte sicherzustellen.
- Die Gestaltung der Außen- und Fortluftdurchlässe in der Fassade sollte hochwertig geplant werden.

Alternativ können zentrale Zu-/Abluftanlagen geplant werden. Sie bestehen aus einer Lüftungszentrale, einem Steigstrang, der Brandschutzaspekten genügen muss, sowie der oben beschriebenen Verteilung innerhalb der Wohnungen oder entsprechend angepasst bei den Gewerbeeinheiten.

- Vorteil: Wartung außerhalb der Wohnungen
- Nachteil: Aufwand für den Steigstrang-Brandschutz
- Bei Einsatz von Volumenstromreglern Verwendung z. B. von Konstantvolumenstromreglern der Fa. Aldes, die kostengünstig sind und durch Mieter nicht manipulierbar
- Hinweis zur Wartung: bei allen Lüftungsanlagen, auch Abluftanlagen, ist ein regelmäßiger, meist jährlicher Filterwechsel erforderlich. Die Filter sollten so positioniert und ausgebildet sein, dass Mieter sie in wenigen Sekunden auf einfache Art austauschen können. Es gibt plausible Wartungsstrategien mit minimalen Kosten, die darauf aufbauen.
- Kostenziel: 3.500 – 5.000 € brutto inkl. Montage für eine Wohnung mit 60 – 80 m² Wohnfläche.

Die Ausführung der Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung bei den Gewerbeeinheiten hängt stark von den individuellen Nutzungsanforderungen ab. Bei der Planung sind u. a. folgende Aspekte zu beachten, wobei an dieser Stelle nur einige Stichpunkte benannt werden:

- Auslegung so gering wie möglich und nur so hoch wie nötig. D. h. zurückhaltende Annahmen zu den Nutzungsrandbedingungen in Abstimmung mit dem Bauherrn oder späteren Nutzer. Dadurch werden sowohl die Investitionskosten als auch die Betriebskosten niedrig gehalten.
- Optimierte Ausführung mit einem möglichst einfachen System und einer möglichst einfachen Regelung.

- Sorgfältige Inbetriebnahme mit Berücksichtigung der Stillstandszeiten (bzw. stark reduzierten Luftwechseln).

Mehr-/Minderinvestitionen: Der GEG-Standard erfordert Lüftungstechnik als Abluftanlage. Für die erhöhten Effizienzstandards EH 55 und EH 40 wird ebenfalls zunächst eine Abluftanlage angenommen. Im Standard EH 40 Plus und im Passivhaus ist eine Wärmerückgewinnung dagegen obligatorisch. Die angenommenen Kosten für die Abluftanlage liegen bei 28 € pro m² Wohn-/Nutzfläche, für eine Lüftung mit 75% WRG (EH 40 Plus) bei 60 €/m², mit 85% WRG bei 64 €/m².

8. Gebäudetechnik – Elektro und effiziente Stromnutzung

Im Gegensatz zur GEG-Betrachtung muss ein Quartierskonzept den Gewerbe- und Haushaltsstrombedarf in die Überlegungen einbeziehen, weil diese Bereiche bei hocheffizienten Gebäuden einen vergleichsweise hohen bis dominanten Part ausmachen und somit eine prägende Bedeutung für das Versorgungskonzept aufweisen. Mit dem zunehmenden Einsatz der Elektromobilität wird sich dieser Aspekt noch verstärken.

Die Digitalisierung in der Versorgungstechnik ist in vollem Gange. Deshalb stoßen bisherige Regel-, Monitoring und Abrechnungstechnologien an ihre Grenzen. Durch eine neue Vernetzung dieser Bereiche ergeben sich zukünftig zahlreiche positive Synergien. Dezentrale Generierung und Lieferung elektrischer Energie im Quartiersumfeld wird zur aktuellen Herausforderung, Block-Chain-Optionen sollten überlegt werden, Nutzer- und Mieterstrommodelle werden zur Notwendigkeit und zunehmend zur Selbstverständlichkeit.

Gebäudetechnikregelung, Monitoring und Abrechnung sind bisher drei getrennte Sektoren. Im Zuge der Digitalisierung werden diese Aspekte – quasi nebenbei – zusammengeführt. Daraus ergeben sich einerseits Qualitätsvorteile, weil die Regelungen eines Techniksystems ähnlich wie Apps auf einem zentralen Prozessor zusammengeführt werden, der bei üblichen Gebäuden nicht leistungsfähiger sein muss als beim Smartphone. Standard-Software übernimmt die übergreifende Regelung und gleichzeitig das Monitoring mit der darauf basierenden Abrechnung. Mieter erhalten einen Zugang auf ihre digitalen Medien und können ihre Daten in Echtzeit verfolgen. Außerdem sind die Wohnungen, Gebäude und Quartiere als Bausteine in einem Strom-Liefer- & Bezugsnetzwerk mit synergetischem Lastmanagement zu sehen. Es bietet sich an, dass die Rostocker Stadtwerke die Initiative ergreifen, um diese Belange in beispielhafter und innovativer Form zusammenzuführen.

Ein besonderes Potenzial ergibt sich, wenn Heizen und Warmwasserbereitung unter Beteiligung von Wärmepumpentechnik erfolgt und ein hoher Effizienzstandard Wärmespeicherung in der Gebäudemasse ermöglicht. Hocheffiziente Gebäude verlieren in 24 Stunden bei vollständiger Abschaltung der Heizung gerade einmal ein Kelvin, z. B. von 22,5 auf 21,5 °C. Zudem werden Mobilität und Dienstleistungen künftig in das Lastmanagement einbezogen, wodurch ein hoher Nutzen für Vermieter und Nutzer entsteht.

Für die Organisationsform bieten sich zahlreiche Optionen an. Es gibt Beispiele, bei denen Kundenanlagen für jeweils bis zu 400 Anschlüsse zusammengefasst und betrieben werden. Die Abrechnung erfolgt in Eigenregie inkl. Einbeziehung der PV-Erträge als Mieterstromlösung. Dadurch können für alle Seiten deutliche Kosten eingespart werden. Eine Option für die Zukunft zur weiteren Einsparung bei der Abrechnung kann durch Flatrate-Modelle für Heizen, Warmwasser und

Haushaltsstrom ermöglicht werden. Jede Mieteinheit erhält ein Verbrauchskontingent, das eine effiziente Ausstattung und ein sparsames Verhalten impliziert. Werden diese Werte relevant überschritten, wird der Mehrverbrauch gesondert in Rechnung gestellt. Flatrate-Lösungen haben sich vor allem für Quartiere bewährt, in denen hocheffiziente Gebäude errichtet werden. Zudem zeigt die Erfahrung, dass ein Rating motivierend sein kann: wenn jeder Mieter sehen kann, wo sein Verbrauch im Vergleich zu den anderen liegt, wirkt das verbrauchs-dämpfend.

Haushaltsstrom wird bisher zu wenig hinsichtlich der Effizienz betrachtet, obwohl er eine sehr relevante Größe darstellt und Einsparungen durch effiziente Haushaltsgeräte und LED-Beleuchtung leicht zu erzielen sind. Der Zielwert für eine Haushaltsstrom-Flatrate könnte pro Wohnung bei 750 kWh/a zzgl. 10 kWh pro m² Wohnfläche liegen. Das sind 1.500 kWh/a für eine 75 m²-Wohnung. Mit einer effizienten Stromausrüstung in der Wohnung ist dieser Wert von 20 kWh/(m²a) bei einem Zwei- bis Dreipersonenhaushalt gut zu erreichen. Der darüber hinaus gehende Verbrauch wird abgerechnet.

Es lohnt sich für alle Beteiligten, eine Haushaltsstrom-Effizienz-Initiative zu starten: Mieter sparen mehrere hundert Euro pro Jahr, Vermieter könnten – bei sinnvollen Rahmenbedingungen – Synergien für sich und ihre Mieter heben und der Klimaschutz profitiert stark.

8.1 Einsparpotenzial beim Haushaltsstrom

Da, wie beschrieben, bei zukünftig klimaneutralen Gebäuden der Haushaltsstrom den größten Anteil an den CO₂-Emissionen umfasst, was einer Umkehrung der Situation gegenüber unsanierten Bestandsgebäuden entspricht, könnte es aus Sicht des Klimaschutzes äußerst sinnvoll sein, Impulse für die Reduzierung des Stromverbrauchs in den Wohnungen zu geben.

Bewährt hat sich in dieser Hinsicht eine Mischung aus Informationsvermittlung und finanziellen Anreizen. Ein mögliches Konzept für die Wohngebäude könnte folgende Elemente enthalten:

- Vor Einzug werden seitens des Vermieters Küchen in der je Kategorie besten verfügbaren Effizienzklasse eingebaut. Die Abschreibung der Küche würde über eine Zusatzvereinbarung im Mietvertrag erfolgen.
- Alternativ erhalten die Mieter bzw. Erwerber einen Zuschuss von je 200 € für den Kauf effizienter Haushaltsgroßgeräte wie Herd, Spülmaschine, Waschmaschine, Wäschetrockner, Kühl-/Gefrierschrank in der je Kategorie besten verfügbaren Effizienzklasse.
- Die Bewohner erhalten bei Einzug ein kostenloses „Einsteiger-Set“ mit LED-Lampen.
- Beratungsbroschüre für sonstige IT- und Elektroausstattung.
- Angebot einer kostenlosen, individuellen Energieberatung zur Relevanz sonstiger Verbraucher wie Wasserbett, Aquarium etc.

Durch diese Maßnahmen werden Haushalte in die Lage versetzt, ohne Komfortverlust auf die oben beschriebenen 20 kWh pro Quadratmeter Wohnfläche zu kommen. Für die Bedarfsberechnung des Standards Passivhaus Plus wird dieser Wert in diesem Gutachten angesetzt. Für die anderen Standards wird von 28 kWh/(m²a) ausgegangen.

In den Nichtwohngebäuden kann ebenfalls in relevantem Umfang Strom eingespart werden. Da die Energieanwendungen je nach Nutzung sehr unterschiedlich sind, können hier keine pauschalen Empfehlungen gegeben werden. Im Gutachten gehen wir davon aus, dass eine Kombination

aus Beratungsangeboten und Anreizen bei ähnlichen Quadratmeterkosten wie in den Wohngebäuden zu ähnlichen prozentualen Einsparungen führt.

Die Höhe des Zuschusses, der im Mittel an die Mieter gezahlt wird, liegt für die Berechnung bei 1.000 € pro Wohnung.

9. Mobilität

Pkw emittieren heute im Durchschnitt weniger Treibhausgase und Luftschadstoffe als noch 1995. So sanken die kilometerbezogenen bzw. spezifischen Emissionen des Treibhausgases Kohlendioxid im Schnitt bei Pkw um neun Prozent. Das hat vor allem zwei Gründe: Der Gesetzgeber hat stufenweise Abgasvorschriften für neu zugelassene Pkw verschärft, woraufhin Autohersteller ihre Motoren und Abgastechik verbesserten. Zum zweiten verpflichtete er dazu, die Qualität des in den Verkehr gebrachten Kraftstoffes zu verbessern.

Allerdings hat der Pkw-Verkehr zwischen 1995 und 2018 um knapp 14 Prozent zugenommen. Das hebt die bislang erreichten Verbesserungen wieder auf. Die Umwelt- und Klimaentlastung im Personenverkehr kann letztlich nicht allein durch technische Verbesserungen am Fahrzeug erreicht werden. Diese Herausforderung kann nur in Kombination mit Maßnahmen wie einer Erhöhung der Verkehrseffizienz, einer veränderten Verkehrsmittelwahl sowie Reduzierung des Verkehrs gelöst werden.

Die Bundesregierung hat sich zum Ziel gesetzt, die deutschen Treibhausgas-Emissionen bis 2030 um 40 bis 42 Prozent gegenüber zu mindern. Die THG-Bilanz des Verkehrssektors hat sich allerdings durch den Anstieg der Fahrzeuganzahl im Vergleich zu 1990 so gut wie nicht verändert, sondern ist sogar gestiegen. Außerdem fahren 95 Prozent der neuen Fahrzeuge noch immer mit Benzin und Diesel. Wo also vorher ein 40-Jahres-Zeitraum zur Zielerreichung bestand, sind nun nur noch 10 Jahre Zeit.

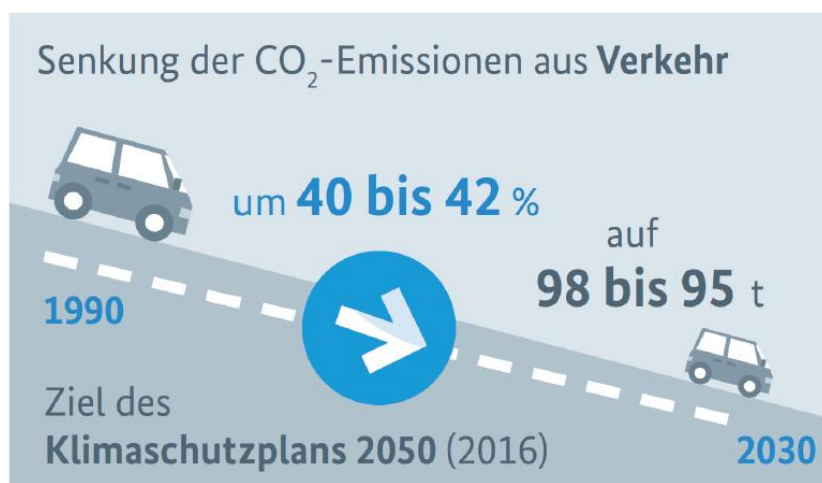


Abbildung 29 Ziel zur Senkung der CO₂-Emissionen im Verkehr

Voraussetzung für eine Reduzierung der THG-Emissionen im Verkehrssektor ist eine deutliche Reduzierung des motorisierten Individualverkehrs. Dies setzt eine entsprechende Infrastruktur voraus, um die Bereitschaft der Menschen zur Veränderung ihres Mobilitätsverhaltens zu bewegen. Im WarnowQuartier besteht die Chance, aufzuzeigen, wie mit einer modernen und klimafreundlichen Alltagsmobilität ein Beitrag zur bundesweiten Zielerreichung geleistet werden kann.

Das Mobilitätsverhalten einer Person wird maßgeblich von der Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln beeinflusst. Ergänzt durch Verkehrsverknüpfungspunkte und entsprechende Informationstechnik wird für die Zukunft ein multi- und intermodales Mobilitätsverhalten gefördert, so dass die Kategorien Individualverkehr und öffentlicher Verkehr vermutlich an Bedeutung verlieren werden, wie die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen ausführt.

Multimodalität umschreibt die Nutzung verschiedener Verkehrsmittel für verschiedene Wege, z.B. an unterschiedlichen Tagen in der Woche. Intermodalität ist eine Sonderform der Multimodalität und bedeutet die Nutzung verschiedener Verkehrsmittel für eine Wegstrecke. Eine klassische Form der Intermodalität ist die Fahrt mit dem Fahrrad zum Bahnhof, das Umsteigen in den Zug und dann in den Bus.

Der Markt für Mobilitätsdienstleistungen wird vielfältiger und größer und verstärkt so die Möglichkeiten der Multimodalität. So gibt es heutzutage viele Anbieter für Carsharing, die vor 10 Jahren noch gar nicht auf dem Markt waren. Neue Konzepte wie Ridepooling und andere On-demand-Ideen werden auch durch die Digitalisierung immer mehr Einzug finden. Ermöglichen doch Smartphones heute stationslose Bereitstellung von Informationen, Angeboten sowie Buchungsmöglichkeiten. Ebenso sind die Anmeldungen und Kumulierung von Bedarfen über Mobilitätsplattformen in Echtzeit möglich.

Neben einem spezifischen Carsharing im WarnowQuartier gibt es weitere Konzepte, die aufgegriffen werden könnten:

BikeSharing (Mietradsystem) ist eine Form der Fahrradvermietung, bei der die Mieträder als kommerzielles Angebot zuvor registrierten Kunden zur Verfügung stehen (wie beim kommerziellen Carsharing stationsbasiert, free-floating oder hybrid).

Beim **Peer-to-Peer-Carsharing**, auch als privates Autoteilen bezeichnet, werden Privatfahrzeuge über eine Internetplattform Autosuchenden vermittelt. Bei den Fahrzeugen sollte es sich dabei um klimafreundliche Elektro-Pkw handeln.

Unter **Rideselling** (auch **Ridehailing** genannt) versteht man das privatwirtschaftliche (kommerzielle) Anmieten von taxiähnlichen Fahrten in einem Kfz.

Mobilitätspunkte sind öffentliche, räumlich und gestalterisch verknüpfte Infrastrukturanlagen, an denen mindestens ein geteiltes Verkehrsmittelangebot bereitgestellt wird. Sie können sowohl als intermodale Verknüpfungspunkte als auch als Zugangspunkte zu multimodalen Mobilitätsdienstleistungen dienen.

Mobilitätsstationen sind Mobilitätspunkte, an denen zusätzlich eine Anbindung an den Linienverkehr des ÖPNV bereitgestellt wird.

10. Erneuerbare Versorgung – Wärme, Strom und Mobilität

Eine zentrale Aufgabe des Gutachtens besteht darin, die Kopplung der erneuerbaren Versorgung für Wärme, Strom und Mobilität vor auszudenken. Aktuelle Rahmenbedingungen von Wärmeversorgung, Mieterstromkonzepten und Fördermodalitäten ermöglichen nur bedingt integrale Konzepte. Da allein die formalen Herausforderungen gewaltig sind, könnte ein sehr guter Ansatzpunkt darin liegen, die Stadtwerke Rostock in den Prozess intensiv einzubinden.

Die zu untersuchenden Versorgungsvarianten für Wärme müssen im Kontext mit dem zeitlich parallel erstellten Wärmeplan der Stadt Rostock betrachtet werden. Es geht darum, gemeinwohlinteresstiert die Optionen für das Bebauungsgebiet und für die Stadt Rostock miteinander in Verbindung zu bringen und als Gesamtsystem zu optimieren. Es fanden zahlreiche Abstimmungen unter Beteiligung der Stadtwerke statt, bei denen es darum ging, die Aspekte des Energiekonzepts, des Wärmeplans der Stadt Rostock sowie der Stadtplanung und Aspekte der Bundesgartenschau zusammenzubringen.

Tabelle 14 Abstimmungstermine unter Mitwirkung der Stadtwerke

Datum	Besprechungs- und Präsentationstermine
31.03.2021	Vorabstimmung zur Startkonferenz
27.04.2021	Startkonferenz im großen Team
07.05.2021	Videokonferenz mit den Stadtwerken
10.05.2021	Videokonferenz mit zum Thema Stadtplanung
16.06.2021	Zwischenpräsentation im großen Team
22.06.2021	Videokonferenz mit den Stadtwerken
24.06.2021	Abstimmungen zur Fernwärme mit Hr. Hempfling

Als Ergebnis aus diesen Gesprächen und aus Sicht des Wärmeplans Rostock 2035 ist dabei zunächst die Fernwärme-Lösung für Heizung und Warmwasser die favorisierte Lösung.

Als offene Frage bleibt dabei das Thema der Kühlung. Aus Innensicht des Bebauungsgebietes stellt die Wärmepumpen-Variante eine sehr attraktive und kostengünstige Option dar, bei der Temperierung bzw. Kühlung als systemimmanente Komponente zur Reaktivierung des Primärkreises mit sehr geringen Kosten und Energieaufwand integriert werden kann. Die Gegenüberstellung dieser beiden Varianten soll Rückschlüsse ermöglichen auf die Wirtschaftlichkeit und die energetische Bilanzierung bezüglich einer klimaneutralen Versorgung. Diese Erkenntnisse können im Wärmeplan extrapoliert werden auf zukünftige Neubebauungen. Eine zusätzliche dritte Variante wird gemäß Abstimmungsgespräch am 23.6.2021 nicht berechnet. Es werden aber auf Basis der vorliegenden Benchmarks Abschätzungen zu möglichen integralen Ansätzen zwischen Gebietsversorgung und Wärmeplan erstellt. Diese können zukünftig in die Überlegungen zum Wärmeplan aufgenommen werden.

Von hoher Bedeutung bei der Beurteilung werden die Wirtschaftlichkeit und die Förderoptionen sein. Zudem ist für die Abwicklung des Bauvorhabens und den späteren Betrieb der Gebäude von zentraler Bedeutung, welche Aufgaben die Stadtwerke übernehmen. Das Spektrum beginnt bei

der konventionellen Versorgung, es bietet sich aber an, dass Investoren und Baugruppen hinsichtlich der Investitionskosten durch die Stadtwerke entlastet werden und im Gegenzug der Betrieb inklusive Kopplung zwischen erneuerbarem Strom und Wärme durch die Stadtwerke erfolgt bis hin zu Flatrate-Modellen für Haushaltsstrom, Heizung und Warmwasser. Dadurch können Win-win-Effekte für alle Beteiligten erzielt werden.

10.1 Wärmeversorgung mit Fernwärme

Für die Berechnung der Variante mit Fernwärmeversorgung wird von einem Anschluss an das vorhandene Rostocker Fernwärmenetz mit dem derzeitigen Energiemix und entsprechenden Primärenergie- und CO₂-Emissionsfaktoren ausgegangen. Es werden sowohl der Heizenergiebedarf als auch Warmwasser und Prozesswärme betrachtet. Darauf aufbauend werden die Rahmenbedingungen für Fernwärme in einem künftigen, erneuerbaren Szenario gegenübergestellt, das durch den Wärmeplan Rostock 2035 erzielt werden soll.

10.1.1 Wärmeplan Rostock 2035

Grundsätzlich ist die Fernwärmevariante aus Sicht des Wärmeplans Rostock 2035 die favorisierte Lösung, da das Bebauungsgebiet relativ zentral im Stadtgebiet liegt und eine möglichst vollflächige Versorgung technisch und wirtschaftlich sinnvoll ist. [Hempfling 2021]

Das gilt insbesondere, da es unter den Rostocker Rahmenbedingungen gute und ausreichende Potentiale zur Nutzung von großen Umwelt- und Abwärmequellen im Stadtgebiet gibt. Diese können gemäß Wärmeplan durch ein zentrales Netz optimal eingesammelt, zwischengespeichert und verteilt werden. Das gilt vor allem für zentral gelegene Stadtteile, die zudem eine hohe urbane Dichte aufweisen und in der Nähe von Fernwärmeleitungen liegen. Dezentrale Lösungen zur Wärmeversorgung, bzw. Inselnetzkonzepte kommen in Rostock für dünn besiedelte Siedlungsstruktur in Randlagen in Betracht.

Konkret gibt es in Rostock aktuell folgende Fernwärme-Planungen mit Bezug zum Klimaschutz [Hempfling 2021]:

- „Die Rostocker Fernwärme wird auf Grundlage des Wärmeplans Rostock 2035 innerhalb der kommenden 15 Jahre konsequent auf Erneuerbare Wärmeenergie umgestellt.
- Zielstellung des Oberbürgermeisters ist die Klimaneutralität von Rostock und damit auch der Fernwärme für das Jahr 2035.
- Erste Umsetzungsschritte bei der Fernwärmeerzeugung, die auch der CO₂-Reduzierung dienen, werden bereits gemacht.
- Ein Großwärmespeicher wird zur Zeit in Marienehe errichtet. Er hat eine Wärme-Speicherkapazität, mit der Rostock für zwei Tage versorgt werden kann.
- Die Realisierung einer Power2Heat Anlage zur Nutzung von Überschussstrom am Standort Marienehe ist in Vorbereitung.
- Zur Realisierung einer ersten Großwärmepumpe für die Nutzung der Abwasserwärme aus der zentralen Kläranlage von Nordwasser in Bramow haben die vorbereitenden Planungen begonnen.
- Die Netztemperaturabsenkung ist anhand von Pilotprojekten bereits in Vorbereitung.“

Die folgenden Ziele und Projekte werden im Rahmen des Wärmeplans und bei den Stadtwerken bearbeitet, wobei insbesondere mehrere Erneuerbare Wärmequellen und Speichertechnologien untersucht werden. Ziel ist die zeitnahe Umsetzung der wirtschaftlich optimalen Technologien (nach [Hempfling 2021]):

- Im Wärmeplan werden insgesamt drei Großwärmepumpen vorkonzipiert (Abwasser Klärwerk ca. 17 MW / Unterwarnow ca. 60 MW / Ostsee bis zu 100 MW)
- Die zentrale Klärschlammverbrennungsanlage in Rostock ist fester Bestandteil des Wärmeplans und wird ab 2025 in das Fernwärmenetz integriert.
- Die Müllverbrennungsanlage im Überseehafen kann zukünftig in die Rostocker Fernwärmeversorgung integriert werden und wird noch langfristig Abwärme liefern, auch wenn der Gesamtumsatz sinken sollte.
- Für große Solarthermieanlagen wird im Rahmen des Wärmeplans ein Fachgutachten erstellt. Erste Flächensicherungen dafür werden vorbereitet. Dabei wird auch eine Fläche im Buga-Bürgerpark untersucht, angestrebt werden 2 ha. Der Park liegt direkt benachbart zum Warnow-Quartier. Die von den Stadtwerken grundsätzlich für Rostock favorisierte Kollektor-Technologie sind Parabolrinnen-Kollektoren, die bis zu 500 °C heißes Wasser erzeugen können. Damit wäre eine direkte Einspeisung in das Fernwärmenetz möglich. Das Fernwärmenetz soll die Wärme zu großen Saisonalwärmespeichern im Nordosten transportieren.
- Die Leistungspotentiale für oberflächennahe und Tiefengeothermie wurden ermittelt. Die Potentiale zur Einbindung in das Fernwärmenetz oder als Inselösungen werden im Rahmen des Wärmeplans untersucht.
- Im Zuge der Nationalen Wasserstoffstrategie ist Rostock für vertiefende Untersuchungen ausgewählt worden. Die Errichtung eines Elektrolyseurs im Überseehafen Rostock zur Nutzung des Offshore-Windstroms wird angestrebt und ist sinnvoll. Hier werden erhebliche Abwärmemengen nutzbar sein.
- Für große Saisonalpeicher und Aquiferspeicher werden die Leistungspotentiale ermittelt und Flächensicherungen vorbereitet.
- Ziel ist es, die sommerlichen Wärmeüberschüsse aus Solar- und dauerhaft speisenden Großanlagen sinnvoll in die kalten Monate zu verschieben und nutzbar zu machen.
- Biomassepotentiale im Territorium der Stadt werden im Wärmeplan untersucht. Es zeichnet sich inzwischen ab, dass das Leistungspotential aufgrund von stofflichen Nutzungskonkurrenzen mittel- und langfristig begrenzt ist.
- Ein großes Abwärmepotential in der Region Rostock ist das YARA-Düngemittelwerk. Hierzu werden Nutzungsoptionen im Wärmeplan dargestellt.

Fazit: Rostock hat große und ausreichende Wärmequellen aus Umwelt- und Abwärme, die ideal mit einem zentralen Netz eingesammelt und verteilt werden können. Für Rostock bietet sich vor allem in den zentralen und den urban verdichteten Stadtteilen die Nutzung und grüne Transformation des Fernwärmenetzes für die klimafreundliche Wärmeversorgung an. Für Randlagen mit geringer Siedlungsdichte können sich auch Inselnetze als sinnvoll erweisen.

Das Warnow-Quartier wird seitens der Stadtwerke als zentrale Lage mit direkter Anschlussmöglichkeit an die Fernwärme bewertet. Das Quartier sollte die oben genannten Optionen der Umwelt- und Abwärme im Stadtgebiet über das zentrale Fernwärmenetz nutzen.

Doppelstrukturen aus zentraler städtischer und dezentraler quartiersbezogener Wärmeversorgung sollten im Sinne des Gemeinwohls vermieden werden. Doppelte Investitionen in Erzeugerkapazitäten, bei gleichzeitiger Verdrängungswirkung in der Leistungsabnahme zwischen den Stadtwerken und auf den Stadtteilebenen sind zu vermeiden.

Das Energiekonzept des Warnow-Quartiers sollte in diesem Sinne das Wärmeenergiekonzept der Gesamtstadt im Blick behalten und berücksichtigen. Die lokal begrenzte Optimierung eines einzelnen Quartiers sollte aus betriebswirtschaftlichen und volkswirtschaftlichen Gründen nicht auf Kosten des Gesamtsystems erfolgen. (Bezug: [Hempfling 2021])

10.1.2 Leitplanken für die Entwicklung der Fernwärme

Die Fernwärme steht bei der zukünftigen Wärmeversorgung von Gebäuden in Konkurrenz zu dezentralen strombasierten Wärmeerzeugungsanlagen. Zugleich sollten gegenseitige Synergien der unterschiedlichen Versorgungsoptionen genutzt werden. Zukünftige Fernwärme-Benchmarks müssen deshalb mit Best-Practice-Technik von dezentralen Nur-Strom-Gebäuden verglichen werden. Dieses Gutachten zeigt, dass Neubauten mit Wärmepumpentechnik einen Endenergiebedarf für Heizen und Warmwasser von 10 bis 18 kWh/(m²a) benötigen, der in der Jahresbilanz vollständig durch PV-Strom gedeckt wird. In der Monatsbilanz liegt der PV-Ertrag im Sommer deutlich über dem Gebäudebedarf, in den Kern-Wintermonaten muss dagegen ein hoher Anteil über das Netz gedeckt werden. Aus dieser Dysbalance ergeben sich neue Aufgaben für die Stadtwerke.

Tabelle 15 Überschlüssiger Kostenvergleich zwischen Fernwärme und individuellen Wärmepumpen-/PV-Systemen: als Ergebnis werden Zielkosten für Wärmekosten der Fernwärme dargestellt. Zu den Werten müssen ca. 3 – 5 €-Cent pro Kilowattstunde hinzugerechnet werden für die Heizzentrale der Wärmepumpenlösung.

Beschreibung	Einheit	Fernwärme		Wärmepumpe	
		Neubau	Sanierung	Neubau	Sanierung
Heizwärmebedarf	kWh/(m ² a)	18	30	18	30
Anlagenaufwand Heizen	Prozent	110%	115%	110%	115%
Wärmepumpen-Arbeitszahl				3,50	3,00
Nutzenergie Warmwasser	kWh/(m ² a)	16	16	16	16
Anlagenaufwand Warmwasser	Prozent	150%	170%	150%	170%
Wärmepumpen-Arbeitszahl				3,00	3,00
Endenergiebedarf Übergabe	kWh/(m ² a)	43,8	61,7	13,7	20,6
Eigenstromanteil PV	Prozent			65%	55%
Kosten PV-Strom	€/kWh			0,10 €	0,10 €
Kosten Netzstrom	€/kWh			0,32 €	0,32 €
Wärmekosten pro kWh	€/kWh	0,055 €	0,066 €		
Kosten pro m ² Wohnfläche	€/m ² a	2,42 €	4,09 €	2,42 €	4,09 €
Kosten für MFH 1000 m ²	€/a			2.417 €	4.093 €
Kosten 75 m ² -Wohnung	€/a			181,30 €	306,96 €

Wichtig ist eine realistische Einschätzung der energiebedingten Kosten dezentraler Vergleichsprojekte. In Tabelle 15 wird eine überschlägige Berechnung dazu erstellt. Bei guter Planung hocheffizienter Gebäude können 65 Prozent des Bedarfs aus Eigenstromnutzung zu Kosten um 0,10

€/kWh bezogen werden, für den Rest aus dem Netz wird ein Preis von 0,32 €/kWh angesetzt. Auf dieser Grundlage ergibt die Berechnung für Heizen und Warmwasser Kosten in Höhe von 2,42 € pro m² Wohnfläche im Jahr für Neubauten und 4,09 €/(m²a) für sanierte Bestandsgebäude.

Die Umrechnung dieser Kosten auf die Fernwärme ergibt spezifische Wärmekosten von 5,5 bis 6,6 €-Cent pro kWh. Addiert werden kann die Umlage für die Kosten der Heizzentrale in Höhe von 3 bis 5 €-Cent. Dadurch ergeben sich Vergleichskosten von 8,5 bis 11 €-Cent pro Kilowattstunde für die Fernwärme.

Mithin muss es Ziel der Fernwärmeversorgung sein, zu diesem Kostenniveau in Zukunft erneuerbare Wärme liefern zu können. Mit hoher Wahrscheinlichkeit ist darüber hinaus davon auszugehen, dass die individuellen Gebäudetechnik-Lösungen auf Wärmepumpen- und PV-Basis in den kommenden Jahren kostengünstiger werden, sodass eher ein Kostenziel am unteren Rand der angegebenen Werte anzustreben ist, um am Markt konkurrenzfähig zu sein. Dem steht wiederum der Aspekt entgegen, dass Spitzenlaststrom in Dunkelflaute-Situationen möglicherweise teurer wird.

10.1.3 Synergie-Optionen für die Fernwärme

In den verschiedenen veröffentlichten Szenarien zur Klimaneutralität nimmt der Energieträger Strom eine herausragende Rolle für die Sektoren Gebäude, Mobilität und GHD ein. Zumindest mittelfristig sind dem erneuerbaren Strom allerdings Grenzen in der für die Versorgung dieser Sektoren zur Verfügung stehenden Menge gesetzt. Besonders in innerstädtischer Lage und im verdichteten Raum haben Wärmenetze deshalb neben dem grundlegenden Ansatz, mittels Großtechnologie kostengünstiger als dezentrale Versorger zu sein, wichtige zusätzliche Funktionen:

- Erneuerbare Wärme bei hoher städtebaulicher Dichte: In hoch verdichteten Gebieten können Erneuerbare Energien in den Siedlungsstrukturen nur bedingt generiert werden. Zur Erzielung der Klimaneutralität dieser Quartiere und Gebäude ist dekarbonisierte Fernwärme Voraussetzung.
- Sammeln und Verteilen von Abwärmepotenzialen: bei der Nutzung industrieller Abwärme sollte achtsam auf die langfristige Versorgungssicherheit geschaut werden, da bei Müllverbrennung und industriellen Prozessen mittelfristig im Rahmen zunehmender Ressourceneffizienz und neuer industrieller Verfahren deutlich reduzierte Wärmemengen bereitstehen werden.
- Erneuerbare Großtechnologie: Ebenfalls kritisch geprüft werden muss die Art der erneuerbaren Versorgung innerhalb des Fernwärmenetzes, da zwar einerseits Kosten- und Prozesseffizienz gegeben sind, aber dennoch der Aufwand und die Verluste des Netzes zu betrachten sind. Deshalb muss z. B. untersucht werden, ob in dem wichtigen Wärmepumpensektor dezentrale Anlagen und Kleinstgeräte ohne nennenswerte Verluste in Verbindung mit Direktnutzung von PV-Strom wirtschaftliche Vorteile gegenüber Großanlagen aufweisen könnten und mithin Investoren dazu verleiten, aus wirtschaftlichen Erwägungen heraus dezentrale Technik einzusetzen.
- Kopplung zwischen den Sektoren Strom und Wärme: wie bereits beschrieben liegt eine elementare Aufgabe der Fernwärme im Ausgleich der jahreszeitlichen Bedarfswerte. Insbesondere zu Zeiten winterlicher Dunkelflaute wird in zukünftigen Versorgungssystemen die Spitzenleistung auf der Stromseite sehr stark ansteigen. Fernwärmesysteme können

darauf sehr gut reagieren, indem sie mittels KWK Wärme und Strom gleichzeitig bereitstellen und damit sowohl das Wärmenetz mit hohem Bedarf bedienen können als auch für die dezentralen Wärmepumpensysteme den erhöhten Strombedarf bereitstellen. Es bleibt zu überprüfen, wie diese Leistung zur Netzstabilisierung tariflich behandelt wird, um dadurch Fernwärmesysteme wirtschaftlicher zu machen.

10.1.4 Pro & contra – zentral oder dezentral

Es ist davon auszugehen, dass bei den derzeitigen günstigen zentralen Wärmeangeboten auf dem Stadtgebiet Rostock großtechnische Techniken für die Fernwärme am wirtschaftlichsten sind. Es sollte allerdings ein Szenario sehr genau geprüft werden, bei dem die Quellen und der Wärmebedarf der Gebäude geringer werden und aus den zahlreichen Quartieren heraus Teile der Versorgungsoptionen übernommen werden können. Das ergibt besonders dann eine hohe Relevanz, wenn das gesamte Energiemanagement mit dem Schwerpunkt der strombasierten Erneuerbaren zu großen Teilen innerhalb der Region durch die Stadtwerke erfolgen kann. Möglicherweise ergeben sich dann Synergien aus kleinteiligen Strukturen, die bisher noch nicht bedacht worden sind. Die Benchmarks, die in Kapitel 5.3 und 6.3 dazu diskutiert werden, sind in diesem Zusammenhang zu sehen.

10.1.5 Wärme und Strom wachsen zusammen

Ein wesentlicher Aspekt für die zukünftige Kundenbindung liegt im Zusammenführen der Sektoren Wärme und Strom. Da die erneuerbare Versorgung weitestgehend strombasiert ist – selbst in relevanten Bereichen der Fernwärme – werden diejenigen Systemlösungen zu favorisieren sein, bei denen das Energiemanagement umfassend auf Basis regenerativer Techniken innerhalb der Siedlungsstrukturen, ergänzt um regionale Erneuerbare durchgeführt wird. Für diese Dienstleistung sind Stadtwerke prädestiniert. Sie haben den Kundenkontakt, die kommunale Unterstützung und die Möglichkeit, alle benannten Aspekte zusammenzuführen. Was oftmals noch fehlt, ist das Know-how im Bereich der Digitalisierung dieser Leistungen. Darüber hinaus werden sich zunehmend bei hoher Effizienz vereinfachte Abrechnungsmodalitäten durchsetzen bis hin zu Flatrate-Modellen für Wärme und Strom. Umgekehrt ist es in anderen europäischen Ländern bereits Usus, dass die Tarife angebotsorientiert im Stundenrhythmus wechseln, die Kunde dazu am Vortag per App Informationen erhalten und ihr Nutzerverhalten darauf abstimmen – bis hin zu nächtlichen Waschsessions.

10.1.6 Förderung nach BEG in Verbindung mit Fernwärme

Ein sehr relevanter Wirtschaftlichkeitsaspekt liegt in der Förderfähigkeit nach BEG in Verbindung mit der Rostocker Fernwärme. Die Standards EH 40 EE bzw. 40 Plus erfordern eine 55-prozentige erneuerbare Versorgung. Die anrechenbaren Versorgungsoptionen wurden mit Einführung des BEG am 1.7.2021 von der aktuellen Rostocker Fernwärme wie auch zahlreichen weiteren Fernwärmeversorgern nicht erfüllt. Deshalb wurden in Zusammenarbeit mit der AGFW Ansatzpunkte zum Umgang mit dieser Fragestellung untersucht und mit dem BMWi diskutiert. Als mögliche Lösungswege wurden folgende Optionen vorgeschlagen:

1. Verpflichtung des Versorgers auf einen verbindlichen Transformationspfad, der bei der BEG-Förderung anerkannt wird

2. Der Versorger verpflichtet sich auf Basis der AGFW-Richtlinie FW309 innerhalb eines festgelegten Zeitraums die Anforderungen zu erfüllen
3. Unterteilung des Fernwärmenetzes in unterschiedliche Bereiche, d. h. Teilbilanzkreise mit örtlicher Nähe bzw. Zurechnung erneuerbarer Anteile des Fernwärmenetzes auf das Quartier.

In der Novelle zum BEG vom September 2021 wurden diese Anregungen aufgegriffen und für den Anschluss an Wärme- und Gebäudenetze folgende Ergänzung in Anlage 2 f. des BEG formuliert: für die „Deckung des Anteils erneuerbarer Energien im Wärme- oder Gebäudenetz darf nur Wärmeerzeugung nach den Buchstaben a bis e verwendet werden. Wenn das Wärmenetz einen Primärenergiefaktor von höchstens 0,25 aufweist oder ein nach der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) geförderter Transformationsplan für das Wärmenetz vorliegt, darf für das Wärmenetz ein Anteil von 55 % erneuerbarer Energien zur Erfüllung der EE-Klasse pauschal angesetzt werden.“

Mit dieser Formulierung wird die BEG-Förderung für die Standards EG/EH 40 EE und 40 Plus ermöglicht bei Versorgung der Gebäude über das Rostocker Fernwärmenetz vorbehaltlich der Erfüllung der Auflagen im derzeit bearbeiteten Wärmeplan und des Nachweises durch einen Transformationsplan.

10.2 Versorgung über Wärmepumpen

Bei Versorgung des Gebiets über Wärmepumpen erfolgt die Auslegung gemäß den Angaben in Kapitel 5.2. Im Winter stellt das Nahwärmenetz Temperaturen auf einem Niveau von 30 bis 35 °C für die Raumheizung zur Verfügung. Die Heizleistung wird mit 10 bis 15 W/m² realistisch ausgelegt, sodass sich für das Quartier eine Heizlast von unter 2 MW ergibt.

Die Warmwasserbereitung erfolgt direktelektrisch bzw. direktelektrisch mit Duschwasser-Wärmehückgewinnung. Optional können wohnungsweise Wärmepumpen eingesetzt werden, die eine ähnliche Effizienz und Wirtschaftlichkeit besitzen; diese Entscheidung kann den Planern der einzelnen Gebäude überlassen bleiben.

Als Quellen für die Umweltwärme wurden folgende Optionen für den Primärkreis näher untersucht:

10.2.1 Erdwärme

Für das Potenzial an Erdwärme wurde für das Quartier ein Screeninggutachten durchgeführt [Erdwärmebohrer 2021]. Grundlage waren die folgenden Angaben zum Gebiet:

1. Lageplan mit rot markiertem WarnowQuartier (s. folgende Abbildung)
2. Visualisierung des Gebietes mit der Bebauung
3. Baufelder mit Flächenangaben: Teilbereich West mit einer Bruttogeschossfläche von 54.400 m² für Wohnen und 29.400 m² für Gewerbe. Im Teilbereich Ost befinden sich die Baufelder J bis O mit 32.400 m² für Wohnen und 28.800 m² für Gewerbe. Dazu kommen die Flächen für Sondernutzung und Quartiersgaragen.

Dabei wurde vorab von folgendem Heizwärmebedarf ausgegangen: bei einer Bruttogeschossfläche von insgesamt 145.000 m², also ca. 110.000 m² Wohn-/Nutzfläche (Wohnen und Büros etc.)

mit einem Heizwärmebedarf von jeweils 25 kWh/(m²a) inkl. Anlagenverlusten. Daraus ergeben sich 2.750 MWh pro Jahr. Warmwasser wird aufgrund der direktelektrischen Versorgung nicht mit einbezogen.

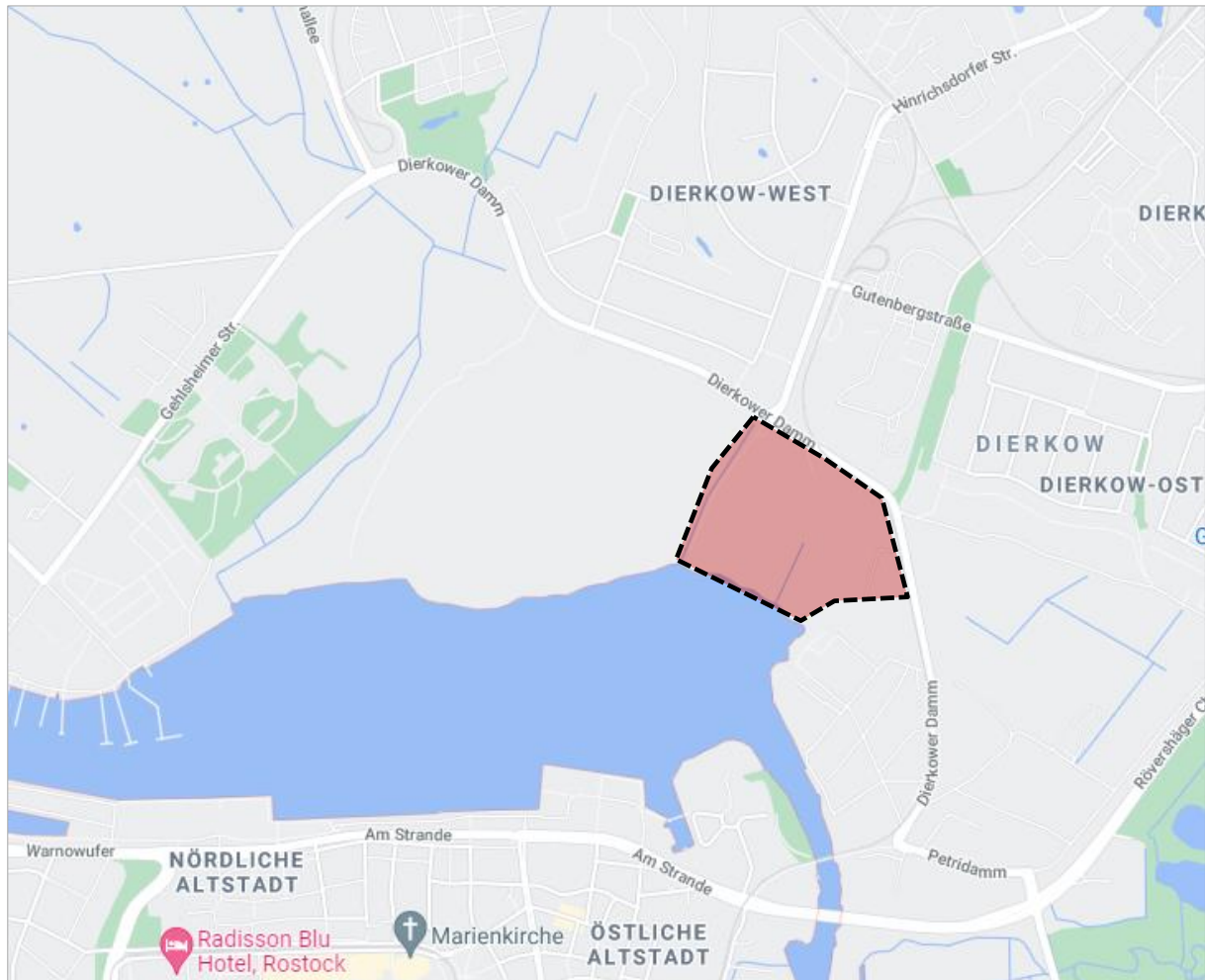


Abbildung 30 Ausschnitt Google-Plan – WarnowQuartier rot markiert

Geologie

„Die Geologie ist ein entscheidender Faktor für die Effizienz einer Erdwärmequelle. Der wichtigste Parameter ist die effektive Wärmeleitfähigkeit des umgebenden Gesteins. Diese bestimmt wie schnell Wärmeenergie im Gestein per Konduktion (von Molekül zu Molekül) fließen kann. Dabei haben wasserführende Schichten eine höhere Wärmeleitfähigkeit als nicht wasserführende Schichten und Festgesteine im Normalfall eine höhere Wärmeleitfähigkeit als Lockergesteine. Zur Vereinfachung wird bei EED der Wärmetransport per Konvektion (Moleküle bewegen sich mit ihrer Energie) nicht berücksichtigt. Bei Grundwasserströmung können die realen Temperaturen also wesentlich besser sein als die Simulationsergebnisse.

Ein zweiter Faktor für die Effizienz der Wärmequelle ist die ungestörte Untergrundtemperatur des Erdreichs. Diese steigt mit zunehmender Tiefe in Deutschland um 3-4 Kelvin pro 100 Meter. In Höhenlagen ist sie meist niedriger als in Tiefenlagen und in Städten höher als auf dem Land. Je

höher die ungestörte Untergrundtemperatur ist, desto mehr Energie kann man entziehen, bis kein frostfreier Betrieb mehr gewährleistet werden kann.“ [Erdwärmebohrer 2021]

Geometrie

„Die Geometrie des Sondenfeldes ist entscheidend, da benachbarte Bohrungen auf dieselben Wärmeressourcen zugreifen. Je weniger Bohrungen es gibt und je weiter diese auseinanderliegen, desto geringer sind die Verluste durch diese "Doppelnutzung". Deshalb macht es Sinn wenige tiefe Bohrungen abzuteufen anstelle von vielen flachen Bohrungen. Das beste Sondenfeld besteht aus einer einzelnen Bohrung. Genehmigungsrechtliche, bohrtechnische und fördertechnische Herausforderungen machen allerdings Bohrtiefen mit mehr als 200 Meter Endteufe unwirtschaftlich.“ [Erdwärmebohrer 2021]

Effektive Wärmeleitfähigkeit des Gesteins in W/m ² K	2.200
ungestörte Untergrundtemperatur in °C	9.10
Anzahl Bohrungen	390
Teufe in m	140
Anordnung	in Linie
Abstand zwischen den Sonden in m	14

Bei einer angenommenen Fläche von ca. 400 x 400 m, einer Leistungsanforderung von 1,9 MW und 2.750 MWh ohne Warmwasserbereitung ist bei einer Bohrtiefe von 130 m ein Bohrfeld mit einer Größe von 406 m x 168 m ausreichend. Die Bohrabstände betragen jeweils 14 Meter.

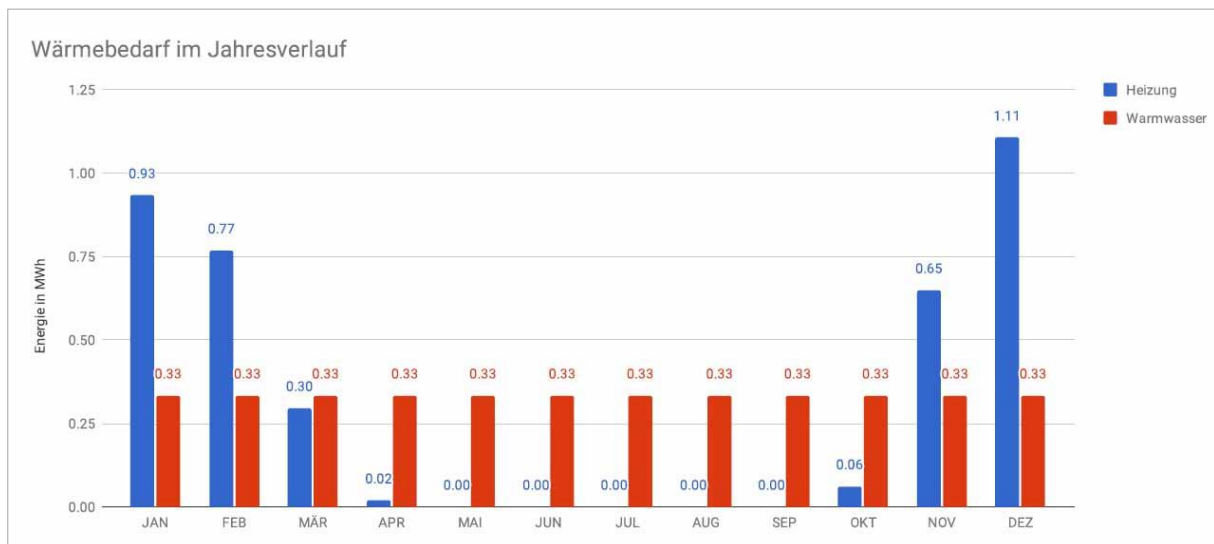


Abbildung 31 Wärmebedarf im Jahresverlauf – Annahme für das Erdwärmegutachten [Erdwärmebohrer 2021]

Wärmeleitfähigkeit des Verpressmaterials

„Das Verpressmaterial umschließt die Plastikrohre der Erdwärmesonde. Wenn dieses Material die Wärme schlecht leitet, dann kommt nur wenig Wärme in der Soleflüssigkeit an und lässt sich somit von der Wärmepumpe nutzen. Thermisch verbessertes Verpressmaterial bringt etwa 10% mehr als Leistung als nicht thermisch verbessertes Verpressmaterial und ist damit zu empfehlen.“ [Erdwärmebohrer 2021]

Erdwärmesonde

„Die Erdwärmesonde besteht aus 2-4 Plastikrohren die am Sondenfuß miteinander verbunden sind, so dass die Soleflüssigkeit in einem Rohr abwärts und im anderen Rohr aufwärts strömt. Einfache U-Sonden machen Sinn, wenn dadurch eine turbulente Strömung in der Erdwärmesonde erreicht wird. Dies geschieht automatisch, wenn der Durchfluss über die kritische Reynoldszahl von 2300 erhöht wird. Das verbessert den Entzug um etwa 15%. Einfache U-Sonden machen keinen Sinn, wenn durch die höhere Strömungsgeschwindigkeit der Druckverlust über die Pumpleistung der Umwälzpumpe hinaus ansteigt. Es muss in jedem Fall eine Druckverlustberechnung durchgeführt werden.“ [Erdwärmebohrer 2021]

effektive Wärmeleitfähigkeit des Verpressmaterials in W/m*K	2.000
Sondentyp	DOUBLE-U
Sondengröße Durchmesser x Wandstärke in mm	32x3.0
Reynoldszahl	3162
Effektiver thermischer Bohrlochwiderstand m*K/W	0.1010

„Die aktuell gültige allgemein anerkannte Richtlinie für den Bau von Erdwärmequellen VDI4640 schreibt in Blatt 2 folgende Temperaturgrenzen vor:

- Grundlastbetrieb: Empfehlung auf nicht weniger als 0°C
- Spitzenlastbetrieb: -5°C bei 3 Kelvin Spreizung -> -3,5°C mittlere Soletemperatur
- Die allgemein gebräuchlichen Watt pro Meter - Werte orientieren sich an diesen Temperaturgrenzen!

Man hat in Deutschland in Untersuchungen festgestellt, dass bei überbeanspruchten Erdwärmesonden entlang des Ringraums Eislinsen entstehen. Wenn diese Eislinsen im Sommer abtauen, dann entstehen Wegsamkeiten für Flüssigkeiten. Durch diese Wegsamkeiten können Schadstoffe über natürliche Schichtgrenzen im Erdreich transportiert werden. Das kann zur Gefährdung von unterirdischen Trinkwasserreservoirs führen. Zur Vermeidung der Bildung von Eislinsen darf die Soletemperatur in der Erdwärmesonde eine Temperatur von -3 °C nicht unterschreiten. Bei 3 Kelvin Spreizung bedeutet das eine minimale Soletemperatur nach 25 Jahren am kältesten Tag des Jahres von -1.50 °C.“ [Erdwärmebohrer 2021]

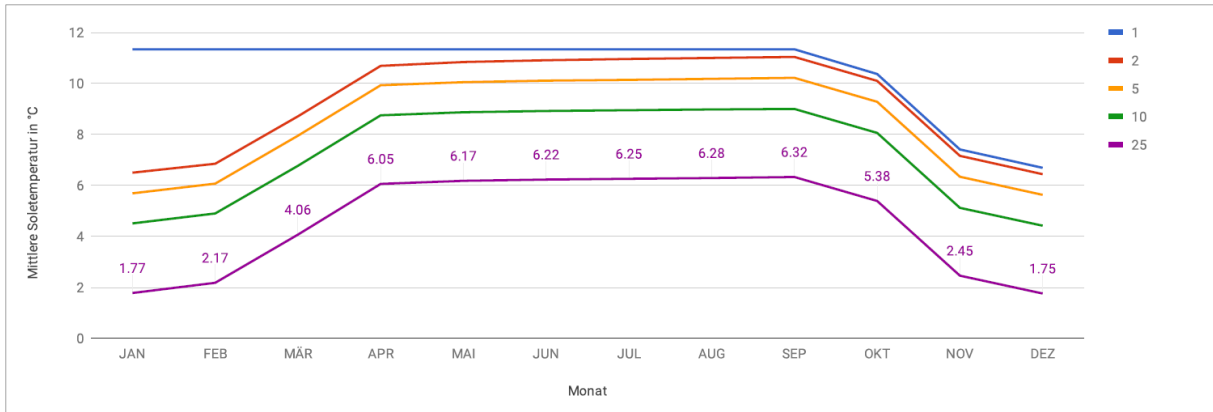


Abbildung 32 Temperaturentwicklung im Jahresverlauf

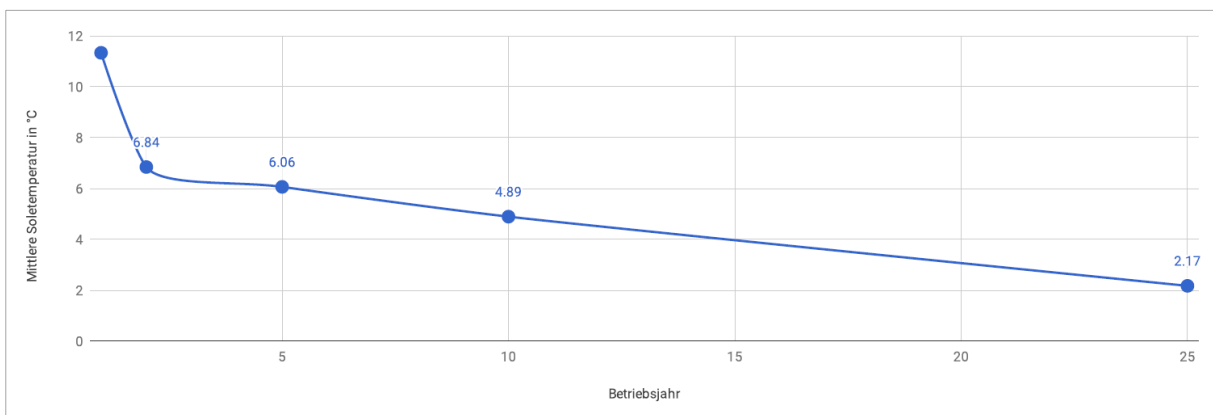


Abbildung 33 Temperaturentwicklung über 25 Jahre ohne Regeneration durch Kühlung im Sommer. Mit Kühlfunktion findet eine Regeneration mit deutlich günstigerem Temperaturverlauf statt.

Werden große Erdsondenfelder nicht ausreichend balanciert betrieben, d.h. gibt es einen zu großen Netto-Wärmeentzug, erschöpfen sie sich im Laufe einiger Jahrzehnte. Wie man aus Abbildung 32 und Abbildung 33 entnimmt, wäre das auch im WarnowQuartier der Fall. Die Auslegung auf 25 Jahre Betriebsdauer ist üblich, bedeutet aber, dass nach dieser Zeit eine andere Wärmequelle erschlossen werden muss.

Die Lösung besteht darin, das Erdsondenfeld im Wesentlichen als saisonalen Speicher zu verwenden und es im Sommer durch Abwärme zu regenerieren. Die Variante Passivhaus Plus bietet hierfür die besten Voraussetzungen: Der Nutzwärmebedarf des Quartiers beträgt in dieser Variante ca. 1.500 MWh/a, bei einer Arbeitszahl von 4 müssen dem Erdreich dann 1.125 MWh/a entzogen werden. Der Nutzkältebedarf von etwa 500 MWh/a (incl. Verteilverluste) deckt hiervon bei passiver Rückkühlung bereits einen relevanten Anteil. Wird eine Wärmepumpe mit derselben Arbeitszahl wie oben eingesetzt, beträgt die Abwärmemenge schon 630 MWh/a. Bei entsprechender Tarifgestaltung können im Sommer auch leicht höhere Abwärmemengen generiert werden, so dass Wärmeentzug und -eintrag langfristig balanciert werden können.

Das Erdsondenfeld könnte also wesentlich kleiner ausgelegt werden als es für einen reinen Heizbetrieb erforderlich wäre.

10.2.2 Kanal-Abwasserwärme

Seitens der Stadtwerke und WWAV besteht Offenheit für die Nutzung von Abwasserwärme, wobei zunächst an eine zentrale Nutzung auf der Kläranlage Rostock gedacht wird. Im Abstimmungsgespräch zum Gutachten mit Stadtwerken und BUGA [Stadtwerke/BUGA 2021] wurden weitere Optionen durchdacht. Die Stadtwerke analysieren Ab- und Umweltwärmepotenziale schon seit längerem. Diese Potenziale sollen gehoben werden, wozu bereits einige Projekte konkret untersucht werden. Obwohl viele kleine dezentrale Lösungen teurer sind als eine zentrale Lösung, haben auch dezentrale Lösungen ihre Berechtigung. Im WarnowQuartier kann das Potenzial aus dem Gebiet und aus der Druckleitung im Dierkower Damm untersucht werden. Einerseits geht es um die Überprüfung, ob an der Stelle eine wirtschaftliche Lösung möglich ist. Als weiterer Aspekt wäre zu untersuchen, in welchem Umfang durch den Wärmeentzug an dezentraler Stelle die zentrale Abwärmenutzung in der Kläranlage gemindert wird. Bei vergleichbaren Projekten, bei denen eine Temperaturdifferenz von 1 bis 1,5 K entzogen wird, ist drei bis fünf Kilometer Kanalabwärts kein Entzugseffekt mehr feststellbar.

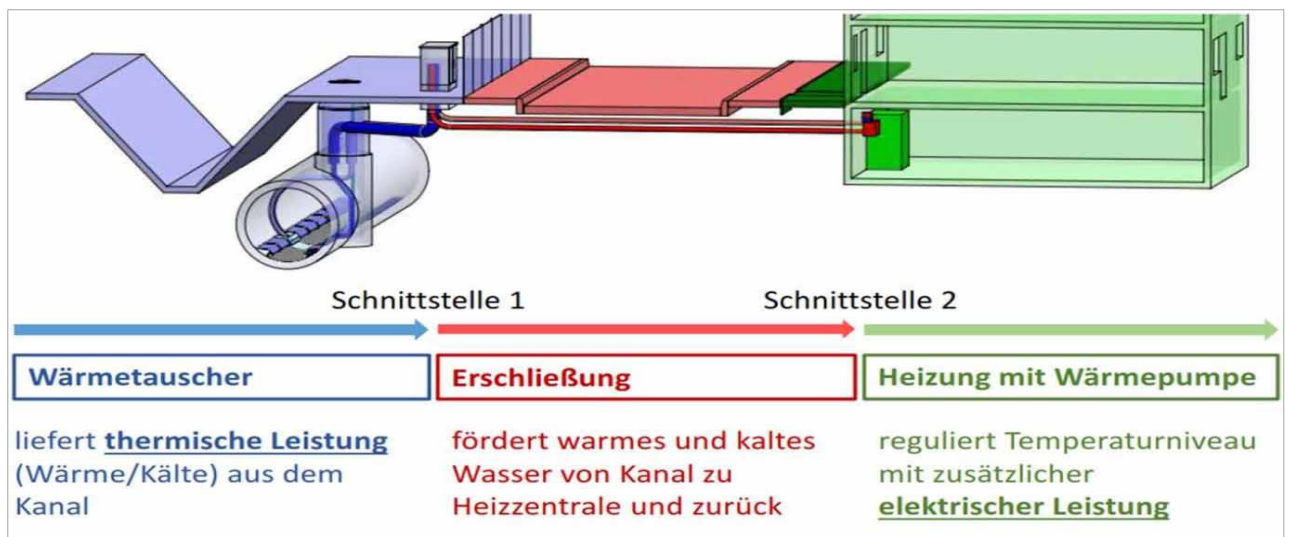


Abbildung 34 Funktionsschema des Wärmetauschers im Kanal [UHRIG 2020]

In unmittelbarer Nähe des WarnowQuartiers verlaufen zwei Druckrohrleitungen mit DN 300 bis 400 nördlich am Dierkower Damm in Richtung Westen, die zu unterschiedlichen Zeiten in Betrieb sind. Es handelt sich um Mischwasserleitungen, die sowohl Abwasser als auch Regenwasser transportieren. Als nutzbares Potenzial ist nur der Trockenwetterabfluss zu betrachten. Abbildung 35 zeigt ein Beispiel. Der mittlere Abfluss beträgt 29 l/s, die stark schwankenden Volumenströme würden für eine thermische Nutzung einen Wärmespeicher erforderlich machen.

Eine Abkühlung dieses Volumenstroms um 1,5 K würde einer mittleren thermischen Leistung von 170 kW entsprechen. Zum Spitzenwärmebedarf des Quartiers von 1,9 MW wäre das nur ein vernachlässigbarer Beitrag.

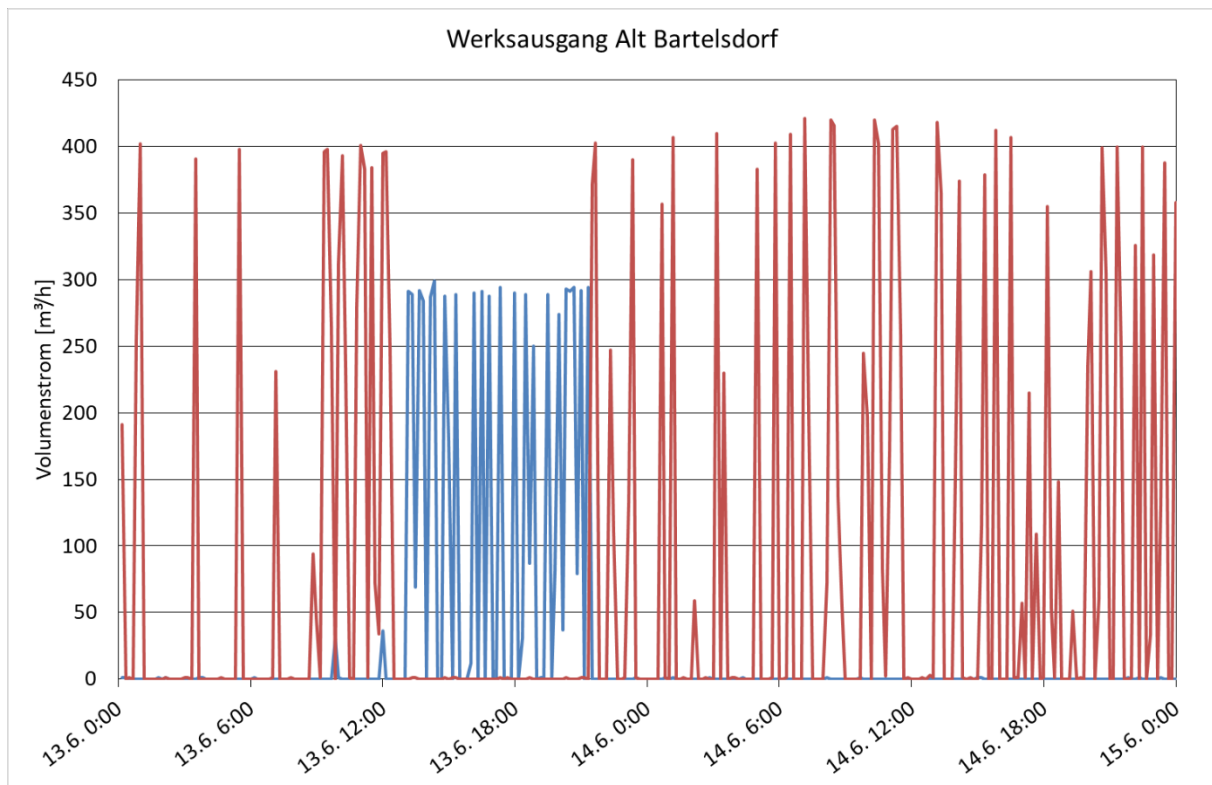


Abbildung 35 Volumenstrom in den beiden Druckleitungen (farblich unterschieden) an zwei Tagen im Sommer

Ein größeres Potenzial bietet sich etwas weiter stromabwärts in Richtung Westen. Die Hinrichsdorfer Straße entlang von Norden wird das Abwasser fast des gesamten östlichen Teils der Stadt bis zum Überseehafen geführt. Daran sind neben zahlreichen Wohnungen auch noch einige Großverbraucher angeschlossen. Die Leitung verläuft im Freigefälle DN 1.000 entlang der Straße weiter bis zu einem Pumpwerk, dann übers Feld und durch die Warnow hindurch zum Klärwerk. Die gemessenen Durchflüsse zeigt Abbildung 36. Aus dieser Leitung könnte eine mittlere Wärmeleistung von ca. 600 kW entnommen werden. Damit wäre ein nennenswerter Beitrag zur Heizwärmeversorgung realisierbar.

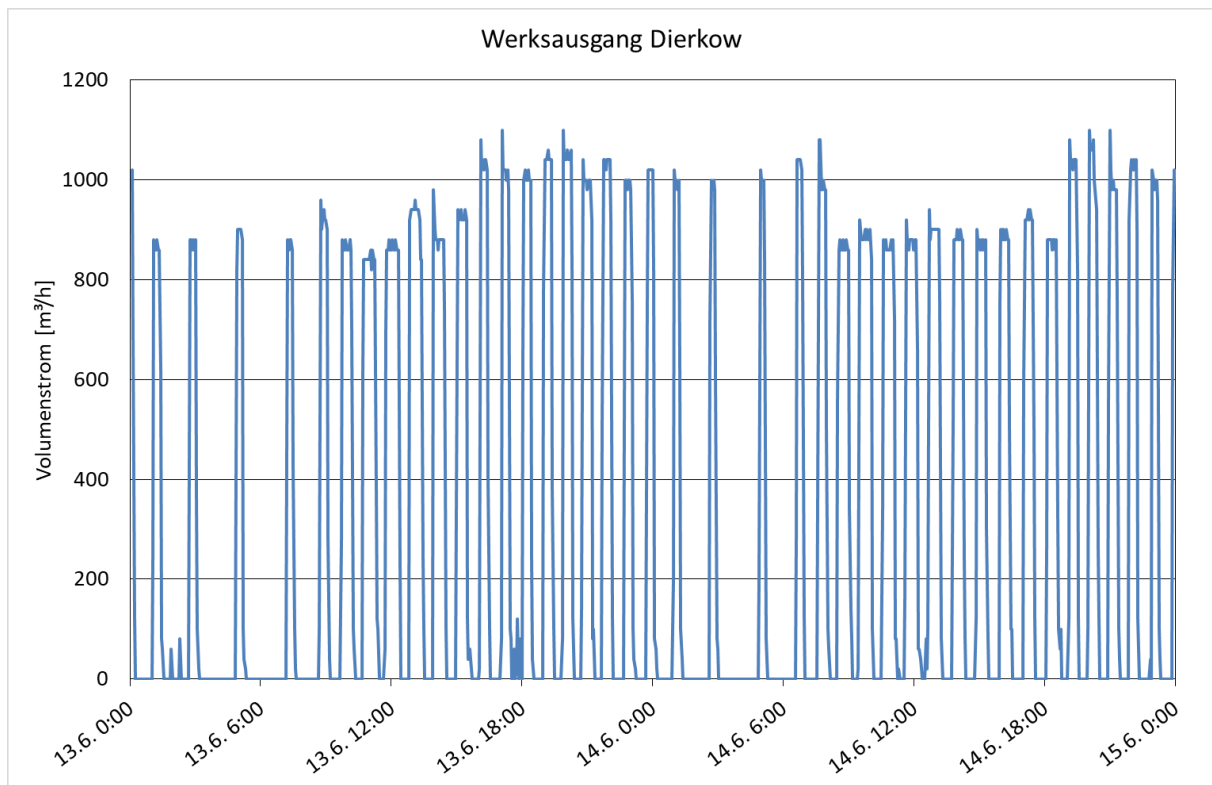


Abbildung 36 Volumenstrom am Werksausgang Dierkow

10.2.3 Dezentrale Abwasserwärmenutzung

Dezentrale Abwasserwärmenutzung auf Gebäudeebene ist sowohl als direkte Maßnahme, z. B. als Duschwärmerückgewinnung (s. Kap. 6.4), vorstellbar als auch gebäudebezogen durch Abwasserwärmerückgewinnung in Verbindung mit Nutzung der Wärme über gebäudezentrale Wärmepumpen.

10.2.4 Kanal-Abwasserwärme aus dem Gebiet

Bei der Erschließung des Gebietes kann kostengünstig ein Wärmetauscher am Ende des Gebietsnetzes der Abwasserleitungen integriert werden. Eine detaillierte Analyse dazu sollte im Rahmen der weiteren Planung durchgeführt werden. Es ist davon auszugehen, dass 10 bis 15 Prozent des Heizungsbedarfs für das Quartier auf diesem Weg bereitzustellen sind.

10.2.5 Wasser der Warnow

Die Unterwarnow ist in der Nähe des Warnowquartiers einige hundert Meter breit, weist aber nur eine geringe Strömungsgeschwindigkeit und einen Durchfluss von minimal 5 m³/s auf. Die Nutzung der Unterwarnow für den Primärkreis der Wärmepumpenvariante wurde nicht in Betracht gezogen.

10.2.6 Umgebungsluft

Umgebungsluft ist eine sehr kostengünstige Wärmequelle, erfordert jedoch die Umwälzung großer Mengen von Luft, was in der Regel mit Geräuschemissionen verbunden ist. Bei stark verdichteter Bebauung wie im Warnowquartier sind Schwierigkeiten mit dem Schallschutz kaum zu vermeiden. Daher wurde diese Option nicht weiter analysiert. Unter dem Vorbehalt des Schallschutzes könnte Umgebungsluft aber eine relevante weitere Wärmequelle darstellen, die besonders im Hybridbetrieb sehr gut nutzbar ist, wenn jahres- und tageszeitlich durch eine intelligente Regelung die Primärkreise unterschiedlich gewichtet und genutzt werden können.

10.3 Photovoltaik

Ein möglichst hoher Anteil an erneuerbaren Energien soll in den Siedlungsstrukturen des Untersuchungsgebietes generiert werden. In diesem Abschnitt werden die Erträge bei PV-Nutzung auf allen Dächern sowie weitere Optionen in den Fassaden und im Bereich von Freiflächen etc. innerhalb des Gebiets untersucht und dargestellt.

Darüber hinaus werden folgende Potenziale mitbilanziert:

- Abwasserwärme-Potenzialen auf Basis von Angaben des AG und Darstellung der daraus resultierenden Optionen für die Wärmeversorgung
- mögliche geothermische Primärkreis-Erträge bei oberflächennahen Optionen
- solarthermische Optionen.

Photovoltaik soll im Gebiet für einen möglichst hohen erneuerbaren Ertrag sorgen. Es werden folgende Bilanzierungen durchgeführt:

- a) Flachdach mit Attika und 80-85-prozentiger Flächennutzung für PV (optional: Mehrfachnutzung der Dachflächen; Annahmen gem. gemeinsamer Abstimmung)
- b) Leicht geneigte Pultdächer mit 90-100-prozentiger Flächennutzung für PV
- c) Potenziale von Überdachungen im Freiflächenbereich (Ansatz: überdachte Fläche von 350 m², entsprechend 70 kWpeak, Ertrag geringer, z. B. 750 kWh/kWp im Jahr, d. h. ca. 50.000 kWh/a)
- d) Potenziale von PV-Flächen im angrenzenden Park, z. B. im Bereich eines überdachten Gehweges (100 m lang, 5 Meter breit, entspricht 100 kWpeak, etwa 85-90.000 kWh/a Ertrag)

10.3.1 Dach-PV

Die Integration von Photovoltaik legt die Grundlage für dauerhafte Klimaneutralität der Gebäude. Deshalb sollten möglichst die gesamten Dachflächen mittels PV genutzt werden, da dies die wirt-

schaftlichste Form erneuerbarer Energiegewinnung innerhalb der Siedlungsstrukturen ist. Allerdings gilt es eine Güterabwägung zu treffen, da mehrere Konkurrenzanforderungen für Nutzungen im Dachbereich gelten. Grundsätzlich besteht der Wunsch der Stadt Rostock, Kombinationsmöglichkeiten zu prüfen und experimentelle Lösungen ins Auge zu fassen.

Konkurrenznutzungen im Dachbereich

Aufenthaltsnutzung: Die Nutzung der Dächer für die Bewohner bzw. Nutzer der Gebäude ermöglicht Rückzugsmöglichkeiten in einem halböffentlichen Bereich mit hoher Aufenthaltsqualität. Allerdings sind dazu Treppenhauserschließungen über das oberste Geschoss hinaus erforderlich, was architektonisch und kostenseitig eher ungünstig ist. Alternativ könnte eine Erschließung über ein Staffelgeschoss erfolgen mit einer leichten Treppenerschließung auf die oberste Ebene. Der nutzbare Bereich muss zudem absturzsicher eingefriedet werden. Möglich wäre ein Bereich im mittleren Segment des Daches. Grundsätzlich kann dabei überlegt werden, ob diese Freifläche in Teilen mit einer Pergola versehen wird, die einerseits Schatten bietet und darüber hinaus mit PV belegt werden kann.

Spielplatz: Die Spielplatznutzung wird von mehreren Planungsbeteiligten kritisch gesehen aufgrund der zeitlich begrenzten Nutzbarkeit und des hohen Aufwands für die Sicherheitsmaßnahmen.

Urban Gardening: Als Erweiterung der Aufenthaltsnutzung sind gärtnerische Nutzungen und Begrünungen in mannigfacher Form möglich. Diese sollte wiederum mit der PV-Nutzung abgestimmt werden.

Begrünung im Dachbereich: Eine Begrünung im Dachbereich ist grundsätzlich Fall sinnvoll. Eine Kombination mit Photovoltaik wäre möglich ohne Reduzierung der PV-Flächen. Die Auslegung müsste so erfolgen, dass die PV-Wartungsgänge auch für die Begrünung ausreichend sind. Gegenseitige Synergien in einem sehr geringen Umfang sind gegeben durch die Verschattung der Sedum-Begrünung in Trockenzeiten und umgekehrt durch eine dezente Temperaturdämpfung für die PV durch die Begrünung, was die Erträge minimal heben kann. Allerdings ist eine regelmäßige Wartung erforderlich, weil im Fall von eingetragenen Fremdpflanzen mit Verschattungseffekten der PV-Ertrag relevant sinken könnte. Zu beachten sind wiederum die Mehrinvestitionen für die Begrünung in Höhe von ca. 100 € pro m² begrünter Fläche. Im „Fachbeitrag zum Wasserhaushalt“ von Dr. Mehl/BIOTA [BIOTA 2021] wird die Nutzung von Zisternen in Verbindung mit den Dachflächen vorgeschlagen und empfohlen, keine Dachbegrünung auszuführen, da das Wasser möglichst rein in die Zisternen gelangen soll.

Retentionsflächen im Dachbereich: Zurückhaltung von Niederschlagswasser in Dachbereichen ist grundsätzlich sehr sinnvoll. Da der Abfluss allerdings ohne Gefahr von Hochwasser direkt in die Unterwarnow, also mittelbar ins Meer, geführt werden kann, ist es der hohe Investitionsaufwand eher nicht sinnvoll. Dazu kommt die Konkurrenz mit den Belangen der Photovoltaik.

Beeinflussung des Mikroklimas: Das Mikroklima wird durch Retentionsflächen oder Begrünung günstig beeinflusst. Allerdings ist zu hinterfragen, ob durch (investiv geringere) Zusatz-Maßnahmen im direkten Erlebnisbereich der Quartiersbewohner, z. B. im öffentlichen Freiflächenbereich, nicht ein höherer Effekt bewirkt werden kann. Zudem wird das Mikroklima massiv positiv geprägt durch die sehr günstige direkte Lage an der Unterwarnow.

Gebäudetechnik: Alle sonstigen Installationen im Dachbereich müssen unbedingt vermieden werden und die verbleibenden Dachflächen sollten vollständig für die PV-Nutzung in Verbindung

mit dem Gründach genutzt werden. Das betrifft Aufzugüberfahrten, Gebäudetechnik-Aggregate im Dachbereich und auch die Entlüftung der Sanitärstränge, die in Abstimmung mit der PV-Installation unterhalb enden. Alternativ gibt es erfolgreich durchgeführte Projekte mit Innenraum-Entlüftung.

Eingeschränkte PV-Nutzung bei Hochhäusern: Bei höheren Gebäuden sind Sicherheitsauflagen zu erfüllen, die es schwierig machen, die Dachfläche bis an die Ränder mit PV zu nutzen. Es gibt Beispiele, wie diesen Einschränkungen begegnet werden kann. Z. B. die Firma Anerdgy [Anerdgy 2020] ermöglicht die PV-Nutzung im Ortgangbereich in Verbindung mit einer sicheren Absturzsicherung und weitere Synergien. Die Kosten liegen mit 1.500 bis 2.100 €/kW_{peak} höher als die für flächige Dachmodule, die bereits ab 1.200 € pro kW_{peak} angeboten werden. Das Anerdgy-System ermöglicht die rundumlaufende Nutzung der Fläche für PV-Module mit einer Tiefe bis zu etwa 2,5 Metern. Gegenüber dem ursprünglichen System mit einer Neigung von etwa 35 ° wird eine möglichst flache Ausführung im äußeren Bereich vorgeschlagen, um die Optik des Flachdachs nicht zu verändern. Im Innenbereich der Hochhaus-Dachflächen kann die übliche PV-Dachmontage zu günstigen Kosten erfolgen. Auf dieser Basis ist eine Ausnutzung von 70 Prozent der Fläche als Modulfläche und ein gemittelter Kostenansatz von 1.450 €/kW_{peak} möglich. Außerdem könnten in Innenbereichen alternative Nutzungen durchgeführt werden bei bereits montierter Absturzsicherung.

Konkurrierende Nutzungen zur PV im Dachbereich

Im Zuge der Bebauungs- und Objektplanung ist darauf zu achten, dass möglichst große, zusammenhängende Flächen verfügbar sind. Bei der Ausführung von flachen Dachformen sind grundsätzlich zwei Optionen möglich. Zum einen die Ausführung als sehr flache Pultdächer mit einem gewissen Dachüberstand, die voll belegt werden können. Meistens werden jedoch Flachdächer mit Attika realisiert. Für die Planung sollte vorgegeben werden, dass die Attika sehr schmal und möglichst niedrig ausgeführt wird, damit die PV-Module so nah wie möglich an die Attika heranrücken können ohne verschattet zu sein. Die optimale Ausrichtung erfolgt parallel zu den Baukörpern in etwa in Ost-West-Richtung (d. h. leicht gedreht um etwa 10-25 Grad analog zu den Gebäuden ONO-WSW). Modulweise erfolgt jeweils eine gegenläufige Aufständigung mit 12 bis 15 Grad Neigung zueinander. Dadurch wird der Lastgang über den Tag relativ ausgeglichen.

Für die Erfassung des PV-Potenzials werden die bebauten Flächen der jeweils betrachteten Gebäude bzw. Cluster als Grundlage genommen und dann über prozentuale Abschläge die tatsächliche Modulfläche und mithin die Leistung der Anlagen in kW_{peak} zu erhalten.

Folgende Faktoren werden für die Berechnung der PV-Nutzung in Ansatz gebracht. Wird alternativen Dachnutzungen ein großer Raum gegeben, sinken die verfügbaren PV-Flächen deutlich.

- Variante 1: In allen drei Varianten wird für Revisionswege und Randabstände der Photovoltaik 15 Prozent Fläche abgezogen. 20 Prozent der bebauten Fläche werden im Staffelgeschoss für Dachterrassenflächen genutzt. Der gleiche Abschlag wird für Konkurrenznutzungen wie Aufenthaltsflächen oder Urban Gardening veranschlagt. Für die Dachbegrünung wurde kein Abschlag in Ansatz gebracht, sondern eine Ausführung gewählt, die ohne Reduktion der PV-Fläche möglich ist.
- Variante 2: Die Reduktionen durch das Staffelgeschoss belaufen sich nur noch auf 10 Prozent. Ebenfalls 10 Prozent Abschlag wird für Konkurrenznutzungen wie Aufenthaltsflächen oder Urban Gardening veranschlagt.

- Variante 3: Kein Abschlag wird veranschlagt für das Staffelgeschoss. Das ist z. B. möglich durch eine Überdachung in den Einzugsbereichen der Dachterrassen, die gleichzeitig für PV-Belegung genutzt wird. Alternativ können die Balkons aus den darunterliegenden Geschossen bis oben durchgezogen werden. Konkurrenznutzungen kommen nur in Einzelfällen zum Tragen mit einem Abschlag über die gesamte Fläche von fünf Prozent.

Tabelle 16 Abschlüsse für die Berechnung der PV-Nutzung: je mehr Nutzung von konkurrierenden/alternativen Dachnutzungen, desto geringer fällt die verbleibende PV-Nutzung aus. Bei Variante 1 ist nur gut die Hälfte der Dachfläche als Modulfläche nutzbar, bei Variante 3 gut 80 Prozent.

Faktoren für PV-Abschlüsse und Konkurrenznutzung	Var 1 mäßig	Var 2 mittel	Var 3 gut
Abschlag für PV-Wartungswege, Randausbildung etc.	0,85	0,85	0,85
Abschlag für Verluste durch das Staffelgeschoss	0,80	0,90	1,00
Abschlag für Verluste durch Konkurrenznutzungen	0,80	0,90	0,95
Resultierender Abschlag	0,54	0,69	0,81

Das Ergebnis für den resultierenden Abschlag beträgt bei Variante 1 immerhin 54 Prozent, d. h. nur gut die Hälfte der Dachfläche sind als Modulfläche nutzbar, bei Variante 2 sind es 69 Prozent bei Variante 3 können gut 80 Prozent als PV-Modulfläche genutzt werden.

10.3.2 Fassaden-PV

Da PV-Fassadenelemente kostenintensiver als gängige Dachanlagen sind, müssen einige grundlegende Überlegungen bedacht werden. Grundvoraussetzung für eine erträgliche Wirtschaftlichkeit ist der Einsatz von Standard-PV-Modulen. Die Gestaltung der Vorhangfassade sollte in den definierten PV-Bereichen hinsichtlich der Rasterung von den sonstigen Gestaltungselementen entkoppelt sein. Deshalb ist es günstig, bei der Fassadengestaltung in sich abgeschlossene Felder zu definieren, z. B. als vertikale Fassadenstreifen, die vollständig von PV im eigenen Raster belegt werden. Es sollte frühzeitig eine Festlegung auf die gängigen PV-Modulgrößen erfolgen, wie z. B. 60-zellige Module mit 1,64/1,60 m Länge und 1,00 m Breite.

Gängige Modulgrößen orientieren sich an der Anzahl der Zellen und der Verteilung im Photovoltaik-Modul. Bei gängigen Zellen mit 156 mm x 156 mm (6-Zoll-Zellen) ergeben sich folgende Modulgrößen.		
36 Zellen	4 x 9	1500 x 690 mm
48 Zellen	6 x 8	1320 x 1000 mm
54 Zellen	6 x 9	1480 x 1000 mm
60 Zellen	6 x 10	1640 x 1000 mm
72 Zellen	6 x 12	2000 x 1000 mm

Es ist zu empfehlen, im Zuge der Objektplanung Flächen für Fassaden-PV zu aktivieren und dazu im Rahmen der städtebaulichen Festsetzungen Anreize dafür zu geben. Für die Bilanzierung im Gutachten werden keine Ansätze für Fassaden-PV erstellt. Das erschließbare Potenzial liegt bei 10 bis 20 Prozent zusätzlicher PV-Leistung gegenüber Variante 3.

10.3.3 PV im Freiflächenbereich

Zusätzlich zu den gebäudeintegrierten PV-Flächen kann PV auch im Freiflächenbereich, z. B. bei Überdachungen von Freiflächenmöbliering oder von Wegen integriert werden, soweit dies nicht mit anderen Belangen kollidiert. Schematisch wird in der folgenden Abbildung und Tabelle dargestellt, welcher Umfang z. B. im Freiflächenbereich und im westlich angrenzenden Grüngürtel am Speckgraben zu welchen Erträgen führt.

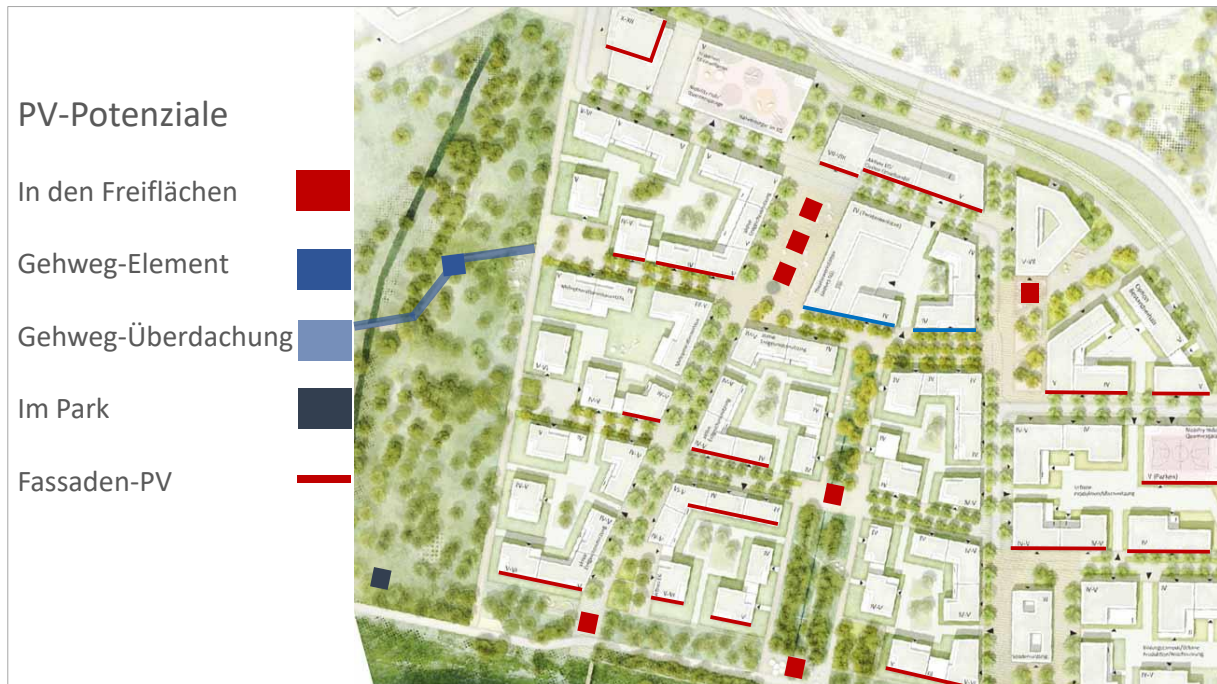


Abbildung 37 Mögliche PV-Flächen im Freiflächen- und Fassadenbereich

Tabelle 17 Potenzial der Flächen und Erträge für PV in den Freiflächen

Position der PV-Elemente	Anzahl	Länge	Breite	Fläche	Faktor	PV-Leistung	Spez. Ertrag	PV-Ertrag
		m	m					
PV-Elemente in den Freiflächen	7	10	10	700	5,5	127	750	95.455
PV-Gehweg-Überdachung Park	1	75	5	375	5,5	68	840	57.273
PV-Element am Gehweg	1	12	12	144	5,5	26	840	21.993
PV-Elemente im Park	1	10	10	100	5,5	18	840	15.273
Summe				1.319	22	240	3.270	189.993

Für die weiteren Berechnungen wurden PV-Module mit einer Leistung von 150 kW_{peak} im Bereich der Freiflächen einberechnet. Das tatsächliche Potenzial liegt höher.

10.3.4 Fazit: PV-Potenzial

Für die Förderung von Wohngebäuden als EH 40 Plus ist ein Minimum an PV-Ertrag pro Quadratmeter Gebäudenutzfläche A_N und Jahr nachzuweisen. Im WarnowQuartier sind dafür bei den meisten Baufeldern 40% der Dachfläche mit PV zu belegen. Größer ist der Anteil vor allem im Mehrgenerationenhaus, wo kleinere Wohnungen angenommen wurden. Wie Abbildung 38 zeigt,

entspricht der jährliche PV-Ertrag damit bereits etwa dem Strombedarf für Heizung, Kühlung und Warmwasser für das gesamte Quartier.

Um zu den übrigen Stromverbräuchen einen relevanten Beitrag leisten zu können, sind weit größere PV-Flächen erforderlich. Erreichbar erscheint die Ausnutzung von 80% der verfügbaren Dachflächen, und zwar auch auf den Nichtwohngebäuden einschließlich der Quartiersgaragen. Zusammen mit den oben beschriebenen Freiflächen, Überdachungen und Südfassaden lässt sich der PV-Ertrag gegenüber dem BEG-Minimum mehr als verdreifachen. Auf diese Weise können – die hohe Effizienz des Passivhaus Plus vorausgesetzt - auch der Nutzerstrombedarf und die Straßenbeleuchtung mit abgedeckt werden.

Gleichzeitig verdeutlicht Abbildung 38, dass hohe Effizienz und maximale Nutzung des PV-Potenzials erforderlich sind, damit sich das WarnowQuartier in eine klimaneutrale Energieversorgung der Stadt Rostock einfügt.

Bei einer Nutzung der Dachflächen zu 80 Prozent und Photovoltaik mit 150 kW_{peak} im Bereich der Freiflächen werden insgesamt 7,3 MW_{peak} erreicht und bilanzielle Klimaneutralität im Jahreszyklus im Gebiet erreicht, wenn die Mobilität nicht mitgerechnet wird. Voraussetzung dafür ist hohe Effizienz der Gebäude im Passivhaus Standard.

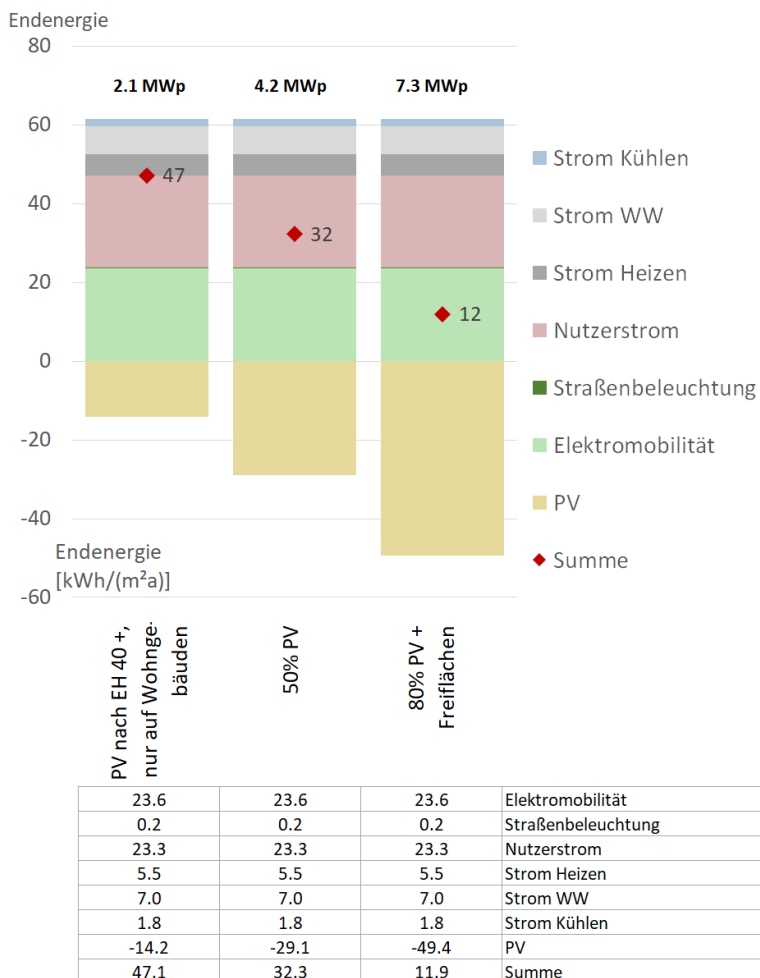


Abbildung 38: Einfluss der verfügbaren PV-Flächen auf die Endenergiebilanz. Variante Passivhaus Plus.

10.4 Kurz- und Langzeitspeicher

10.4.1 Batteriespeicher

Batteriespeicher werden für die beiden Standards KfW 40 Plus im Versorgungssystem mit Fernwärme und mit Wärmepumpen berücksichtigt nach den Vorgaben der KfW-Förderung. Pro Wohneinheit müssen 0,5 kWh veranschlagt werden zuzüglich 10 Watt pro m² Wohnfläche. Der Bezug ist A_N nach GEG, was von der Wohnfläche mit einem Faktor von 1,25 abgeleitet wird.

Für die Investitionskosten werden 650 € pro kWh in Ansatz gebracht. Mit der Annahme, dass für 1.000 Wohnungen die erhöhte Förderstufe KfW EH 40 Plus gewählt wird, entspricht das einem Batterien-Ladevolumen von 1.150 kWh, woraus sich Investitionskosten von 862.500 € ergeben. Nicht enthalten ist die Investition in die Photovoltaik von etwa 1,4 Mio. für die 1.000 Wohnungen sowie die erforderlichen Displays, die z. B. in Form von Apps implementiert werden könnten. Bei einem Kostenansatz von 100 Euro pro Wohneinheit ergeben sich noch einmal 100.000 € Investitionskosten. Dagegen steht die erhöhte Förderung von 6 Mio. €.

Die Auslegungsgrundlagen für die KfW EH 40 Plus-Förderung basieren vermutlich vor allem auf der Betrachtung von Einfamilienhäusern. Für das WarnowQuartier ist die Förderung zwar hochinteressant, der Effekt für die Eigenstromnutzung und die Wirtschaftlichkeit im Betrieb ist dagegen eher niedrig. Während im Sommer geringe Überschüsse gegeben sind, wird im Winter und den angrenzenden Übergangszeiten der Strom ohnehin vollständig im Quartier direkt genutzt. Das gilt vor allem für die Variante mit der Wärmepumpenlösung. Andererseits können durch die Pufferwirkung der Batterien Leistungsspitzen durch die direktelektrische Warmwasserversorgung niedrig gehalten werden.

10.4.2 Wärmespeicher

Für Wärmepumpen ist in aller Regel die Installation eines Pufferspeichers sinnvoll. Dieser sorgt dafür, dass bei Teillast – also im Normalfall – die Wärmepumpe weniger häufig ein- und ausgeschaltet werden muss. Das wirkt sich nicht nur positiv auf die Lebensdauer aus, sondern auch auf die Effizienz; häufiges Takten führt zu erhöhten Verlusten.

Auch in Verbindung mit der in Kapitel 10.2.2 beschriebenen Nutzung von Abwärme aus dem Kanal ist ein ausreichend dimensionierter Pufferspeicher zwingend erforderlich, um das schwankende Wärmeangebot nutzbar machen zu können.

Schon früh wurden Versuche mit saisonaler Wärmespeicherung unternommen. Um die Jahrtausendwende sind mehrere solche Systeme realisiert und intensiv wissenschaftlich begleitet worden, sie haben sich aber letztlich nicht durchsetzen können. Mehrere detailliert beschriebene Installationen finden sich z.B. in [Bodmann 2005]. Diese Versuche muss man als weitgehenden Fehlschlag werten: Die erzielten solaren Deckungsgrade lagen um 30%, die Speicherverluste waren aus baupraktischen Gründen bis zu viermal so hoch wie geplant, die Rücklauftemperaturen waren zu hoch, die Kollektorfelder waren teilweise außer Betrieb. Die solaren Wärmekosten in den Projekten betragen bis zu 40 Ct/kWh. Langfristig wurden von den Beteiligten ca. 10 Ct/kWh als erreichbar angesehen, konnten aber nicht demonstriert werden.

Andererseits werden große Solaranlagen in Verbindung mit Speichern z.B. im wenig sonnigen Dänemark häufiger in Wärmenetzen eingesetzt. Dort werden die Netze mit niedrigen Temperaturen betrieben, und es gelingt, die hydraulischen Probleme zu lösen. In jedem Fall sind aber hohe Kosten ein grundsätzliches Problem von saisonalen Speichern, da sie nur einmal im Jahr be- bzw. entladen werden. Für das WarnowQuartier erscheint eine thermische Langzeitspeicherung nicht sinnvoll.

10.4.3 Sonstige Langzeitspeicher

Am ehesten für eine saisonale Speicherung geeignet sind chemische Speicher, insbesondere Wasserstoff, der sich mit Hilfe von CO₂ in Methan (Erdgas) umwandeln lässt, für das bereits große Speicher vorhanden sind. Erzeugung aus (erneuerbarem) Strom und Rückverstromung sind mit hohen Verlusten von zusammen über 60% verbunden, die eigentliche Speicherung ist aber weitgehend verlustfrei. Da die Verluste bei Elektrolyse und Rückverstromung größtenteils als Wärme auf einem nutzbaren Temperaturniveau entstehen, bietet sich eine Kopplung von Wasserstoffsystemen mit dem Fernwärmenetz an.

Ein weiterer Grund hierfür besteht in geringeren Kosten bei größeren Anlagen. Im Quartiersmaßstab sind Wasserstoff- oder Methanspeicher weniger sinnvoll, daher werden sie hier nicht explizit untersucht.

Durch die hohen Verluste in der Wasserstoffkette ist saisonal gespeicherter Strom teuer. Deshalb ist seine Verwendung nur dann sinnvoll, wenn andere erneuerbare Energieträger nicht zur Verfügung stehen. Zudem tragen die resultierenden geringen Volllaststunden dieser Technologie zu den hohen Kosten bei.

10.4.4 Installation und Betrieb der PV-Anlage

Zudem gilt es, ein Betreibermodell für die PV-Anlagen zu erstellen, um einen wirtschaftlichen Betrieb, möglichst mit direkter Einbindung von Gewerbe- und Mieterstrom zu ermöglichen. Es bietet sich an, dass der Betrieb durch die Stadtwerke Rostock erfolgt. In wessen Namen die Installation geschieht, hängt auch von der Organisation der unterschiedlichen Baugruppen und Investoren ab, aber auch von den Optionen der Förderung. So ist zu entscheiden, ob die Auslegung nach den Kriterien der BEG EH 40 Plus-Förderung erfolgt oder nach davon unabhängigen Konzepten.

Folgende Aspekte sollten bei der Gebäudeplanung bedacht werden:

1. Steigepunkte: Zu jeder Dachfläche ist im Zuge der Errichtung des Neubauquartiers ein Steigepunkt von einem geeigneten ELT-Raum zum Dach vorzusehen.
2. In jedem dieser Steigepunkte ist ein Kabelsystem durch den AN zu installieren inkl. 2x CAT 7 Datenleitung und Schutzpotentialausgleich bspw. NYY-J 1x16 mm². Das Energiekabel ist vorzugsweise als NYCWY auszuführen entsprechend der zu erwartenden Anlagengrößen.
3. Mieterstrommodell mit virtuellen Zählpunkten (Summenstromzählern) an jedem Hausanschluss/Hauptverteiler mit einem Wandlerzählerplatz.
4. Zusammenlegung von Hausanschlüssen, sodass hinter jedem HA bis zu 400 Zähler (nicht Mieteinheiten) zusammengefasst werden.

5. An jeder HA-/HV-Kombination bzw. Hauptverteilung (HV) ist ein zusätzlicher NH Abgang für die Aufschaltung der PV-Anlage vorzusehen. Der NH Abgang ist nach dem Wandlerzählerplatz (Summenzähler) und parallel zu den Abgängen der Hausaufgänge auf die Hauptsammelschiene einzubinden.
6. Platzvorhaltung von 2 m mal 2 m an einer freien Stelle an einer Wand für die Verteilung inkl. Erzeugungszähler für die zukünftige PV-Anlage.
7. Zählersetzung
8. Notausschalter für die Feuerwehr und weitere Detailpunkte.
9. Traglastreserve für Dächer für PV-Anlagen: Grundsätzlich ist eine flächenübergreifende Traglastreserve von mind. 0,4 kN/m² vorzusehen und zu berücksichtigen. Die Installation erfolgt als Drauflegung der PV aufs Dach inkl. Unterkonstruktion und Beschwerung.

Selbstverständlich gibt es auch andere Systemlösungen hinsichtlich der Montage und der Einbindung in das Netz. Diese sollten frühzeitig festgelegt und in die Gebäudeplanung einbezogen werden.

10.5 Elektro- und Wasserstoffmobilität

Klimafreundliche Mobilität bedeutet neben einer Verbesserung der Infrastruktur nicht nur eine Reduzierung des Verkehrs sondern beinhaltet auch das Thema alternativer Antriebe als Ersatz für Diesel und Benzin. Elektro-Fahrzeuge, Hybrid-Fahrzeuge oder Plug-in-Hybride sind Alternativen zum klassischen Fahrzeug mit Verbrennungsmotor. Als ein weiteres Zukunftsmodell gilt das E-Auto mit Brennstoffzelle. Fahrzeuge mit Brennstoffzelle beruhen auf dem Einsatz von Wasserstoff. Statt eines Verbrennungsmotors sorgt ein Elektromotor für den Antrieb, der aus einer Brennstoffzelle samt Pufferbatterie gespeist wird. Im Grunde genommen ist ein Brennstoffzellenfahrzeug ein Elektrofahrzeug mit Onboard-Stromerzeugung. Die Brennstoffzelle erzeugt den elektrischen Strom durch die Umkehrung der Elektrolyse. Dabei reagieren Wasserstoff und Luftsauerstoff zu Wasser unter Abgabe von elektrischer Energie und Wärme. Die dadurch erzeugte Energie treibt einen Elektromotor an. Dies geschieht lokal emissionsfrei, es wird nur Wasserdampf freigesetzt. Zu berücksichtigen sind allerdings auch die Emissionen und Energieverluste, die bei der Erzeugung des Wasserstoffs anfallen.

Bis die Wasserstofftechnologie im Alltagsverkehr vermehrt zum Einsatz kommen wird, gibt es noch diverse Hürden: hohe Kosten, geringer Wirkungsgrad, entsprechend hoher Energiebedarf und fehlende Infrastruktur. Während die Wasserstofftechnologie im Pkw-Bereich noch nicht wirklich wettbewerbsfähig ist, sieht es in anderen Einsatzfeldern vielversprechender aus. Gerade dort, wo Antriebsarten wie etwa die Elektromobilität an ihre Grenzen stoßen, kann Wasserstoff die bessere Lösung sein. Dazu gehören besonders Langstrecken- und Schwerlastverkehr. Im kommunalen Bereich und für das WarnowQuartier kann der Einsatz wasserstoffbetriebener Fahrzeuge z.B. beim Müll- oder Busverkehr eine interessante Stellschraube werden.

11. Grundlagen zu Investitionskosten und Wartung

Für die untersuchten Varianten werden Lebenszykluskosten ermittelt. Die Ergebnisse werden im Kapitel 14. dargestellt, die Methodik wird in Kapitel 3.4.5 erläutert. Eine wesentliche Basis für die Berechnung bilden die Investitionskosten, auf deren Grundlage Optimierungsoptionen für die energetischen Standards untersucht wurden, um möglichst wirtschaftliche Lösungen zu erreichen. Ziel ist es, gegenüber einer Standard-Lösung nach GEG einen verbesserten Zielstandard mit hoher Gesamtwirtschaftlichkeit inkl. Einbeziehung der Förderung zu erreichen, die wiederum im Kapitel 3.3.8 detailliert beschrieben wird. Die Betriebskosten hinsichtlich des Energiebedarfs basieren auf den Endenergiekennwerten (s. Kapitel 12.1.1). Die Wartungskosten werden in Kapitel 11.2 erläutert. Aus diesen Kostengrößen werden die kurz- und mittelfristigen Kosten für den Betrieb in der Lebenszyklusanalyse zusammengestellt. Es handelt sich dabei nicht um eine wohnungswirtschaftliche Betrachtungsweise.

11.1 Investitionskosten mit Mehr- und Minderinvestitionen

Grundlage der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Lebenszyklusanalyse sind die Investitionskosten des Bauvorhabens. Ausgangspunkt ist der GEG-Standard, zu dem Kostenannahmen für die Gebäude getroffen werden. Die energetisch relevanten Maßnahmen führen im Vergleich zu diesen Kennwerten zu Mehr- bzw. Minderkosten. Diese werden pro Maßnahme erfasst und auf die Kosten pro m² Wohn-/Nutzfläche umgerechnet. Als Grundlage dazu dienen die Kostenangaben, die bei den relevanten Komponenten in den Kapiteln 4. , 5. und 6. jeweils benannt werden.

11.1.1 Kostengruppe 300 – Transmissionsflächen

Für die Bauteile der opaken Hülle werden die Aufwendungen für den erhöhten Wärmeschutz anhand der zusätzlich erforderlichen Dämmdicke ermittelt. Die Kosten pro cm Dämmdicke und m² Konstruktionsfläche werden auf die Wohnfläche umgerechnet und die spezifischen Mehrkosten pro cm und m² jeweils am Ende der Kapitel 4.1 bis 4.3 aufgeführt sowie für die Fenster in Kapitel 4.4 pro m² Fensterfläche. Die Ergebnisse für die Umrechnung auf die Wohnfläche werden in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ausgewiesen.

11.1.2 Kostengruppe 400 – Gebäudetechnik

Die Kostengrundlagen für die Berechnung der Mehr- und Minderkosten werden bei den jeweiligen Gebäudetechnik-Komponenten in Kapitel 5. benannt.

Die jeweils gewählte Konstellation wird in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** unterteilt nach Lüftung, Heiz-Zentrale, Heiz-Verteilung und Warmwasser unterteilt nach Effizienzstandards zusammengeführt.

11.1.3 Mehr-/Minderkosten der Erneuerbaren Energien

Die Kostenansätze für die Erneuerbaren Energien stellen sich äußerst komplex dar mit einer vergleichsweise hohen Anzahl von Parametern für die Wirtschaftlichkeitsberechnung. Diese wurden in die Berechnung übernommen und die wesentlichen Angaben dazu im Text des Kapitels 6 beschrieben. Dort befinden sich auch zahlreiche Tabellen, aus denen Grundlagen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung ersichtlich sind. In **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** werden nur die Kosten für PV und Batterie pro m² Wohn-/Nutzfläche ausgewiesen.

11.1.4 Haushaltsgeräte

Da der Stromverbrauch zu einer relevanten Betrachtungsgröße des Quartierskonzepts wird, erfolgt in Kapitel 8.1 ein konkreter Vorschlag für Anreize zur Stromeinsparung in den Haushalten. Die daraus überschlägig entstehenden Kosten werden in den Ergebnissen unter „Haushaltsgeräte“ für den Standard EH 40 Plus ausgewiesen. Diese Art der Investition ist in der Wohnungswirtschaft unüblich, da der Haushaltstrom durch die Mieter in den meisten Fällen direkt mit den Versorgern abgerechnet wird. Das vorliegende Konzept kann durch dieses Vorgehen aber ein hohes Maß an Einsparungen im Sinn des Klimaschutzes und zudem Synergien in Verbindung mit der Mieterstrom-Konzeption erzielen.

11.2 Wartungskosten

Die Wartungskosten gehen als wichtiger Faktor in die Lebenszyklusberechnung ein und beeinflussen das Ergebnis maßgeblich. Im Folgenden werden Werte pro Quadratmeter Energiebezugsfläche, also beheizter Wohn- und Nutzfläche angegeben. Dabei handelt es sich um Mittelwerte zwischen den Nutzungen.

11.2.1 Lüftung

Besonders bei Lüftungsanlagen hängt die Wirtschaftlichkeit von einem sinnvollen Wartungskonzept ab. Bei Beauftragung eines externen Wartungsunternehmens, das allein pro Begehung einer Wohnung aufgrund der vorab erforderlichen Abstimmungen eine interne Pauschale von 60 € annimmt zuzüglich der tatsächlichen Arbeitskosten vor Ort und der Materialien, kann sich in einem ungünstigen Fall ein Betrag ergeben, der die monetären Vorteile der Wärmerückgewinnung übersteigt. Deshalb muss die Planung der Anlagen auf niedrige Wartungskosten ausgerichtet sein.

Abluftanlagen ohne Wärmerückgewinnung erfordern mindesten im gleichen Zyklus wie Zu-/Abluftanlagen eine Wartung, da einerseits die Außenluftdurchlässe überprüft und vor allem die Abluftfilter ausgetauscht oder gesäubert werden müssen. Zudem muss die Einstellung der Volumenströme geprüft werden. Die Kosten werden in der Berechnung mit 25 € pro Wohneinheit zzgl. 0,20 € pro Quadratmeter beheizter Fläche im Jahr veranschlagt.

Die Wartungskosten für Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung werden etwas höher angesetzt, hier kostet die Wartung 35 € pro Wohneinheit zzgl. 0,30 € pro Quadratmeter beheizter Fläche im Jahr.

11.2.2 Heizung und Warmwasserbereitung

Die jährlichen Wartungskosten werden für Fernwärme mit 20 €/WE a) und 0,10 €/m²a) angesetzt zuzüglich der Wartung der Frischwasserstationen mit 60 €/WE a).

Bei den Wärmepumpenvarianten fallen 30 €/WE a) und 0,15 €/m²a) an, zuzüglich 0,05 €/m²a) für den Primärkreis und 25 €/WE für die Durchlauferhitzer.

Photovoltaik erfordert Wartungsaufwendungen von 10 €/WE a) und 0,05 €/m²a).

12. Energiebedarf und CO₂-Emissionen

Insgesamt wurden mit districtPH sechs prinzipiell realisierbare Hauptvarianten des WarnowQuartiers berechnet. In diesem Abschnitt werden zunächst die Ergebnisse dieser Hauptvarianten dargestellt. Anschließend werden weitere Fragestellungen behandelt.

Um die Unterschiede im Hinblick auf Gebäude und Wärmeversorgung transparenter darstellen zu können, werden Nutzerstrom, Straßenbeleuchtung und Elektromobilität zunächst nicht mit einbezogen. Unter dem Aspekt der Klimaneutralität sind diese Beiträge jedoch zu beachten.

12.1.1 Endenergiebedarf

Abbildung 39 zeigt die Ergebnisse zunächst auf der Ebene der Endenergie.

Im GEG-Fall wird die Endenergiebilanz durch die Raumwärme dominiert, und zwar sowohl bei Gas- als auch bei Fernwärmeanschluss. Durch verbesserten Wärmeschutz lässt sich in den Varianten EH 55 und EH 40 dieser Posten bereits deutlich verringern.

Gemäß der aktuellen Gesetzeslage (vgl. Abschnitt 3.3.9) ist der Standard EH 40+ mit Fernwärme vermutlich auch ohne weitere Maßnahmen wie die Kombination mit dem Parabolrinnen-Kollektor (vgl. Abschnitt 12.1.5) zu realisieren. Der Heizenergiebedarf reduziert sich in diesem Fall durch die beim Standard EH 40 Plus obligatorische Lüftungs-Wärmerückgewinnung.

Die elektrisch versorgten Varianten benötigen aufgrund der installierten Wärmepumpe erheblich geringere Endenergiebeträge.

Das EH 40 Plus verfügt über eine PV-Anlage, die gerade ausreicht, um sich für die Förderung zu qualifizieren. Sie erzeugt etwa so viel Strom, wie für die Heizung *oder* für die Warmwasserbereitung benötigt wird.

Nutzt man dagegen wie in der Variante Passivhaus Plus die verfügbaren Dachflächen und sonstige PV-Potenziale im Quartier weitgehend aus, so lässt sich der Energiebedarf aller Gebäude für Heizung, Warmwasser und Kühlung in der Jahresbilanz leicht mehrfach decken.



Abbildung 39 Endenergiebilanz der betrachteten Varianten. Die verschiedenen Energieträger (Strom, Gas, Fernwärme) besitzen unterschiedliche Wertigkeiten und sind daher nur bedingt miteinander vergleichbar.

Dieser Eindruck relativiert sich in Abbildung 40, die den Strombedarf für Nutzerstrom, Straßenbeleuchtung und Elektromobilität mit aufführt. Für die hier dargestellten effizienten Gebäudetypen liefert der Haushalts- und Gewerbestrom bereits den wichtigsten Beitrag, die Elektromobilität liegt in ähnlicher Größenordnung. Hier gelingt es, dass der Energiebedarf für Heizung und Warmwasser kaum noch ins Gewicht fällt.

Es wird deutlich, dass eine isolierte Bilanz der Gebäude und der zugehörigen Stromerzeugung zu kurz greift. Die Menschen, die im WarnowQuartier wohnen und arbeiten, haben weitere mit Energieverbrauch verbundene Bedürfnisse, die sich isoliert aus einem städtischen Quartier heraus nicht decken lassen. Soll das WarnowQuartier einen Beitrag zu einem klimaneutralen Rostock leisten, muss es vielmehr darum gehen, den im stadtplanerischen Rahmen adressierbaren Bereich Wohnen möglichst effizient abzudecken und gleichzeitig so viel erneuerbare Energie wie möglich im Quartier zu erzeugen.

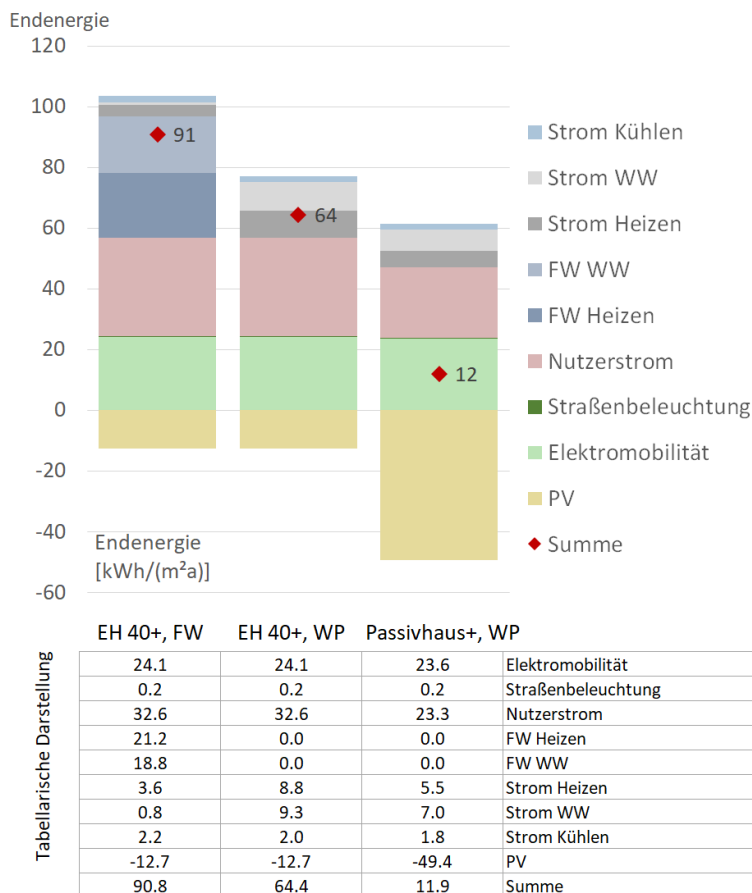


Abbildung 40 Endenergiebilanz der betrachteten Varianten unter Berücksichtigung aller Energieverbraucher im Quartier. Verschiedene Energieträger (hier Strom und Fernwärme) besitzen unterschiedliche Wertigkeiten und sind daher nur bedingt miteinander vergleichbar.

12.1.2 Primärenergie-Bedarf

Will man die verschiedenen Energiearten untereinander vergleichbar machen, ist die nicht-erneuerbare Primärenergie (PE) hierfür der eingeführte Maßstab.

Unter den aktuellen Randbedingungen führt die Fernwärme bereits zu einer deutlichen Primärenergieeinsparung, bereits mit der Gebäudehülle des GEG-Referenzgebäudes würde primärenergetisch nahezu der EH 40-Standard erreicht (nicht jedoch die Anforderungen an H'_T , also an den Transmissionswärmeverlust).

Die verbesserte Gebäudehülle bei den Standards EH 55 und EH 40 reduziert den PE-Bedarf weiter. Die elektrisch versorgte EH 40 Plus-Variante benötigt rechnerisch wieder etwas mehr Primärenergie.

Die Variante Passivhaus Plus mit weiteren Verbesserungen an der Gebäudehülle und großer PV-Anlage erzielt das mit Abstand beste Ergebnis.

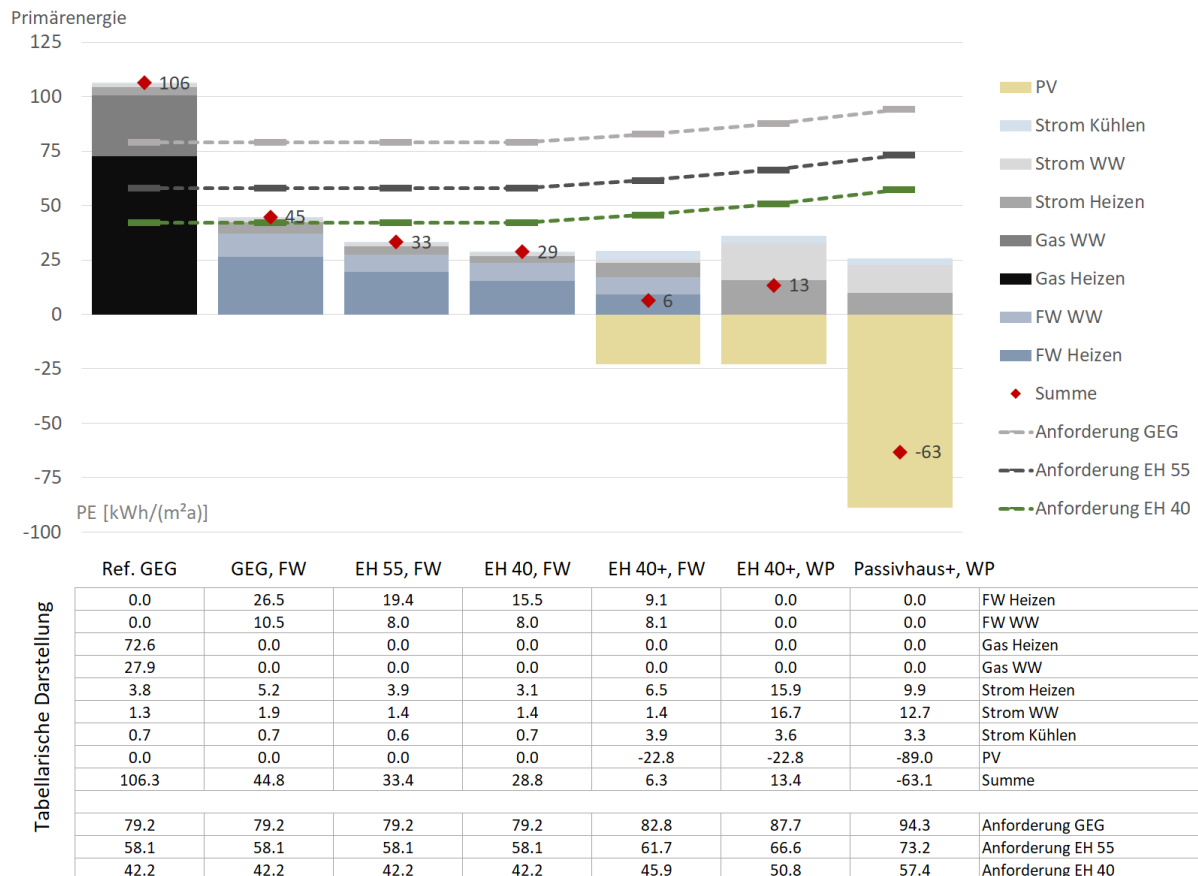


Abbildung 41 Primärenergiebilanz der betrachteten Varianten. Im Rechenverfahren für den BEG-Nachweis darf ein Teil des am Gebäude erzeugten PV-Stroms angerechnet werden, und zwar umso mehr, je mehr PV-Strom erzeugt wird und je mehr Strom für die Haustechnik verbraucht wird. Daher steigen die zum Vergleich eingetragenen Anforderungen nach GEG bzw. BEG am rechten Bildrand an.

12.1.3 CO₂-Emissionen

Für den Klimaschutz ist vor allem die CO₂-Bilanz des Quartiers entscheidend. Ähnlich wie bei der Primärenergie sind der Fernwärmeanschluss und die Installation der PV-Anlagen die wichtigsten Einzelmaßnahmen. Bei Ausnutzung aller Möglichkeiten in der Variante Passivhaus Plus ergibt sich unter den aktuellen Randbedingungen über das Jahr insgesamt eine positive CO₂-Bilanz.

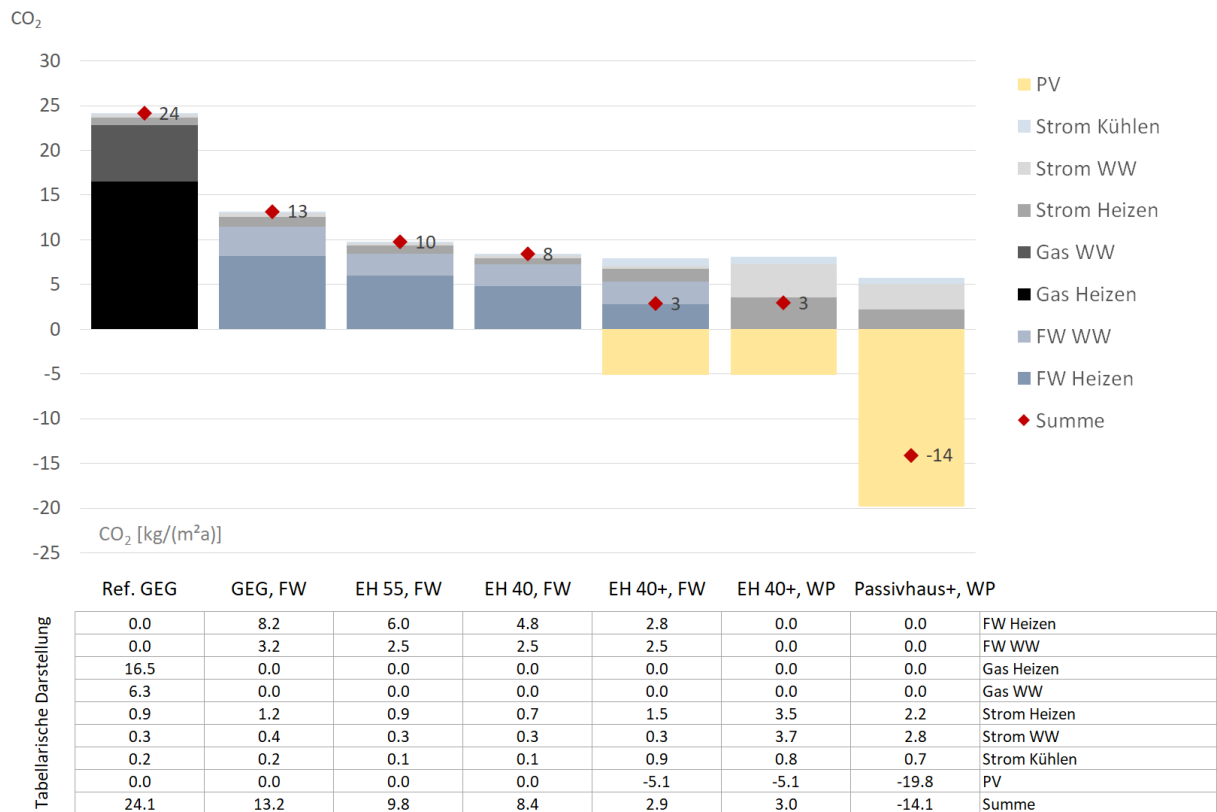


Abbildung 42 CO₂-Emissionen der betrachteten Varianten.

12.1.4 Elektrische Lastgänge und PV-Eigenverbrauch

Der Strombedarf und auch der tages- und jahreszeitliche Verlauf hängen stark davon ab, ob Heizung und Warmwasserbereitung mit Fernwärme oder Strom erfolgen. Die folgenden Grafiken zeigen verschiedene Varianten, jeweils für die ersten zehn Tage im Januar und Juli des verwendeten Testreferenzjahrs. Es ist illustrativ, gleichzeitig anzunehmen, dass die PV-Erzeugung entsprechend Abschnitt 10.3 maximal ausgebaut ist. Eine Batterie nach EH 40 Plus-Anforderung ist vorhanden.

Abbildung 43 zeigt zunächst das Profil für die Variante mit Fernwärmeversorgung. Der Strombedarf im Winter ist sehr gering, trotzdem kann er von der PV-Erzeugung nur ausnahmsweise vollständig gedeckt werden. Im Sommer ist der Strombedarf höher, am Wochenende am 7./8.7. sind die Lasten geringer. Für diese Struktur ist der Kühlbedarf der Gewerbebauten verantwortlich, der nur montags bis freitags auftritt. Trotz der Kühlung kann tagsüber der Strombedarf meist durch die PV-Anlagen gedeckt werden. Die nach EH 40 Plus-Anforderung dimensionierte Batterie reicht nur für wenige Stunden aus.

PV erzeugt	6909 MWh
davon selbst verbraucht	36%
damit vom Verbrauch gedeckt	63%

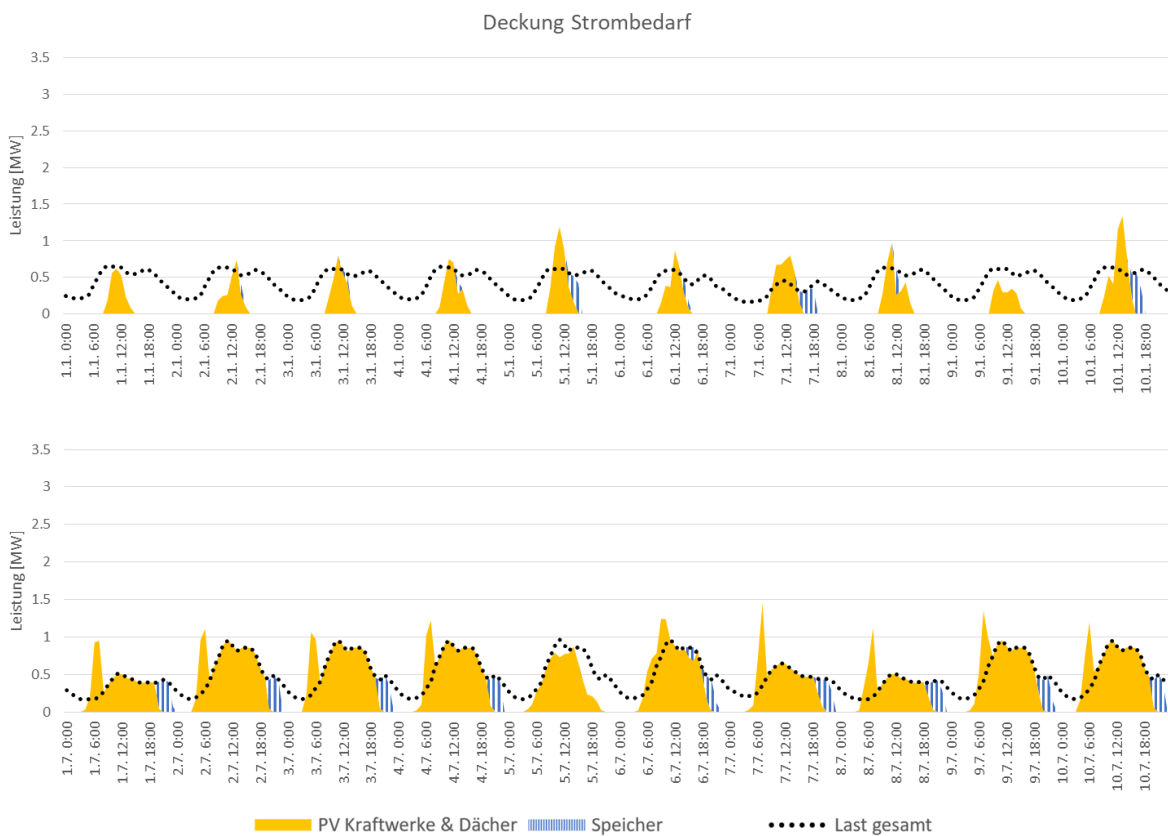


Abbildung 43 Stromlastprofil vs. volle PV-Erzeugung im Januar (oben) und Juli (unten). EH 40, Fernwärmeversorgung, keine Elektromobilität.

Bei vollständig elektrischer Versorgung entsprechend Abbildung 44 steigt der Strombedarf an, im Winter aufgrund der Heizung stärker als im Sommer. Hier wird deutlich, wie wichtig in Zukunft hohe Effizienz von Gebäudehülle und Heizwärmeversorgung ist: Im Winter, wo kaum PV-Strom zur Verfügung steht, ist ein möglichst geringer Strombedarf besonders wichtig.

Qualitativ ändert sich die Situation aufgrund des nur mäßig steigenden Strombedarfs nicht. Es ist nun möglich, einen etwas höheren Anteil des erzeugten PV-Stroms im Quartier selbst zu verbrauchen, was für Mieterstrommodelle u.ä. attraktiv ist. Da der Bedarf nun größer ist, kann nur ein kleinerer Anteil davon durch selbst erzeugten PV-Strom gedeckt werden.

PV erzeugt	6909 MWh
davon selbst verbraucht	41%
damit vom Verbrauch gedeckt	60%

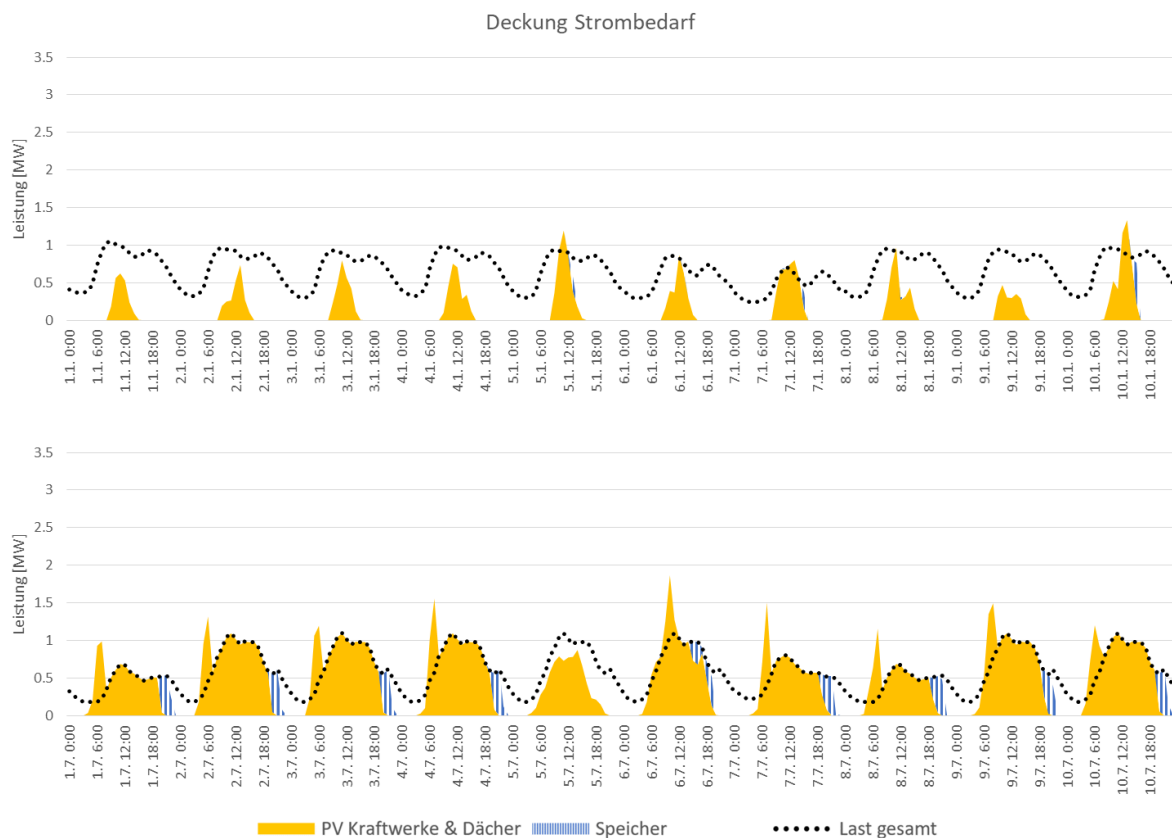


Abbildung 44 Stromlastprofil vs. volle PV-Erzeugung im Januar (oben) und Juli (unten). EH 40, Wärmepumpe, Durchlauferhitzer, Duschwasser-WRG, keine Elektromobilität.

In Abbildung 45 kommt der Strombedarf der Elektromobilität hinzu. Dieser wirkt sich stärker aus als elektrische Heizung und Warmwasserversorgung. Noch immer steht im Sommer tagsüber mehr als genug PV-Strom zur Verfügung. Der Eigenverbrauchsanteil steigt von 41 auf 58%.

PV erzeugt	6909 MWh
davon selbst verbraucht	58%
damit vom Verbrauch gedeckt	52%

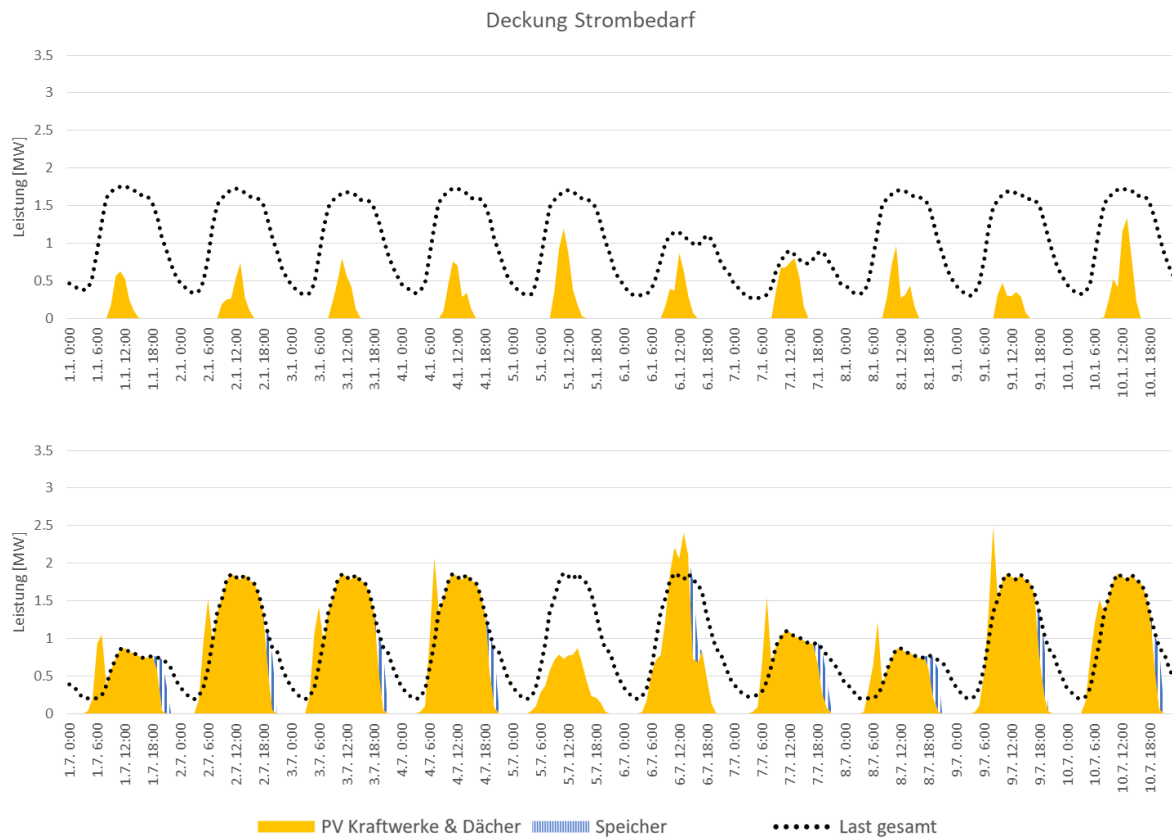


Abbildung 45 Stromlastprofil vs. volle PV-Erzeugung im Januar (oben) und Juli (unten)

Elektrofahrzeuge besitzen eine eigene Batterie, sodass es sich anbietet, diese zur Anpassung der Last an die fluktuierende erneuerbare Stromerzeugung zu nutzen. Im Beispiel in Abbildung 46 wurde angenommen, dass für 60% der Elektrofahrzeuge die im Laufe des Tages benötigte Strommenge dann geladen werden kann, wenn gerade ausreichend PV-Strom zur Verfügung steht. Eine gezielte Entladung der Batterien ins Netz bei Dunkelheit ist dagegen nicht vorgesehen.

Durch die Anpassung der Last steigt der Eigenverbrauchsanteil weiter. Der saisonale Mismatch von Erzeugung und Bedarf bleibt unbeeinflusst, dieser lässt sich nur durch möglichst effiziente Gebäude verringern.

PV erzeugt	6909 MWh
davon selbst verbraucht	63%
damit vom Verbrauch gedeckt	57%

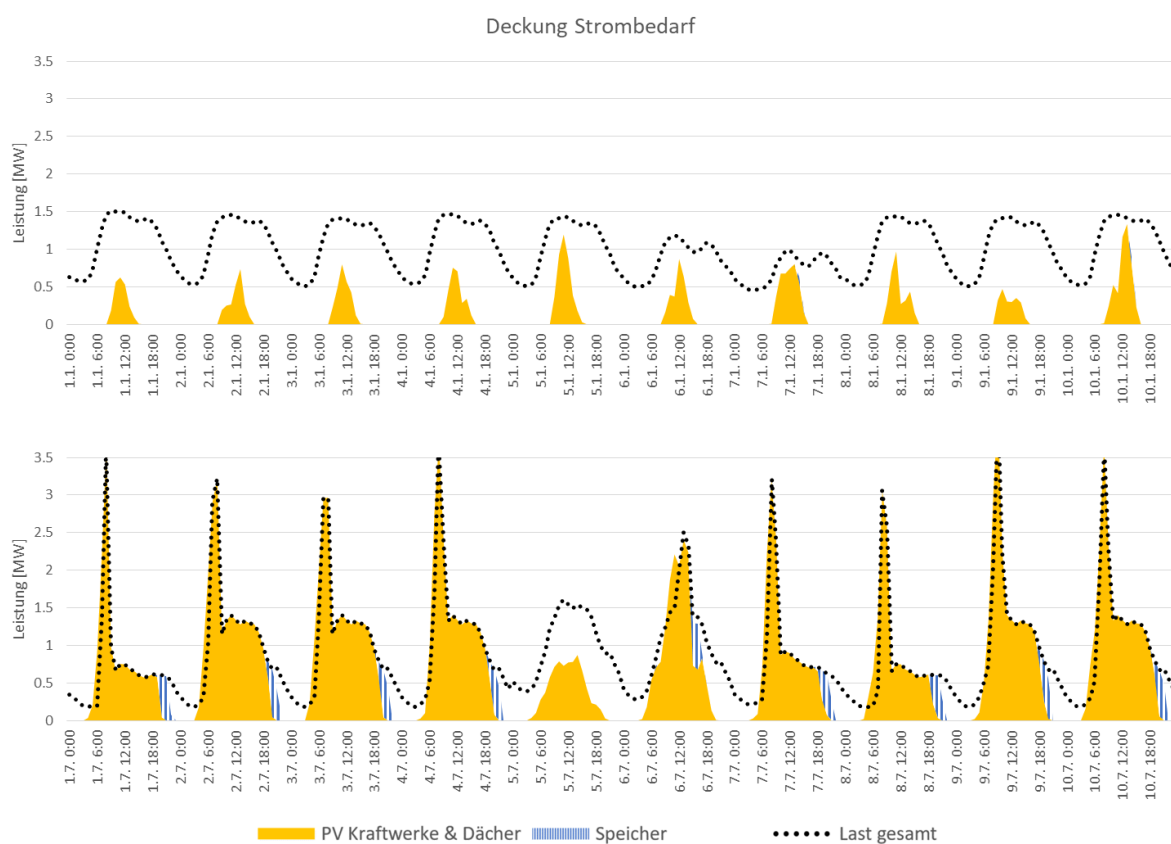


Abbildung 46 Stromlastprofil vs. volle PV-Erzeugung im Januar (oben) und Juli (unten).

12.1.5 Thermische Solaranlagen und Nahwärme

Im westlich des WarnowQuartiers gelegenen Buga-Bürgerpark ist angedacht, auf einer Fläche von 2 ha eine große thermische Solaranlage mit Parabolrinnenkollektoren zu errichten, mit der die Fernwärmeerzeugung unterstützt werden kann. Inwieweit diese Option auch zu einer direkten erneuerbaren Wärmeversorgung des WarnowQuartiers beitragen kann, wird in diesem Abschnitt an diskutiert.

Parabolrinnenkollektoren haben den Vorteil, hohe Temperaturen bis zu 500 °C erzeugen zu können, da sie das Sonnenlicht auf eine kleine Vakuumröhre konzentrieren, die sich im Brennpunkt

großer parabolisch geformter Spiegel befindet. Die Vakuumröhre hat aufgrund des Funktionsprinzips nur geringe Wärmeverluste. Mit derart hohen Temperaturen lässt sich sogar ein thermisches Kraftwerk betreiben und Strom erzeugen. Vor dem Preisverfall der Photovoltaik wurde dieses Prinzip daher als vielversprechende Option zur solaren Stromerzeugung angesehen, mit leicht integrierbarem thermischem Kurzzeitspeicher. Einzelne kommerzielle Anlagen wurden realisiert.

Nachteilig ist, dass konzentrierende Kollektoren physikalisch bedingt nur den direkten Anteil der Solarstrahlung nutzen können. Sie werden daher gewöhnlich in Wüstengebieten errichtet. Im Klima von Rostock ist etwa die Hälfte der Solarstrahlung diffus und steht für diese Kollektoren daher nicht zur Verfügung.

In districtPH lassen sich standardmäßig nur gängige Flach- und Vakuumröhrenkollektoren modellieren. Für eine Leistungsabschätzung des hier diskutierten Kollektortyps wurde angenommen, dass nach Abzug von Abstands- und Wartungsflächen, Wegen etc. 50 % der Bruttofläche für die Kollektoren nutzbar ist und 50% der darauf auftreffenden Solarstrahlung im Kollektor verfügbar wird, während gleichzeitig die Wärmeverluste des Kollektors sehr gering sind.

Abbildung 47 zeigt die solaren Gewinne und den Wärmebedarf in der Monatsbilanz. Dabei werden für den Gebäudestandard zwei Extreme betrachtet, GEG und EH 40 mit Fernwärmeanschluss. Aufgrund des jahreszeitlich stark schwankenden Solarstrahlungsangebots stehen vor allem im Sommer solare Überschüsse zur Verfügung, der Warmwasserbedarf des Quartiers kann auch ohne Effizienzverbesserungen leicht gedeckt werden. Mit Beginn der Heizperiode fällt das solare Angebot dagegen stark ab, im Kernwinter ist es nahezu vernachlässigbar. Die hocheffiziente Variante EH 40, die insbesondere den winterlichen Wärmebedarf reduziert, ist daher entscheidend dafür, den Wärmebedarf überhaupt solar decken zu können. In diesem Fall gelingt es, einen solaren Deckungsgrad von 53% zu erzielen.

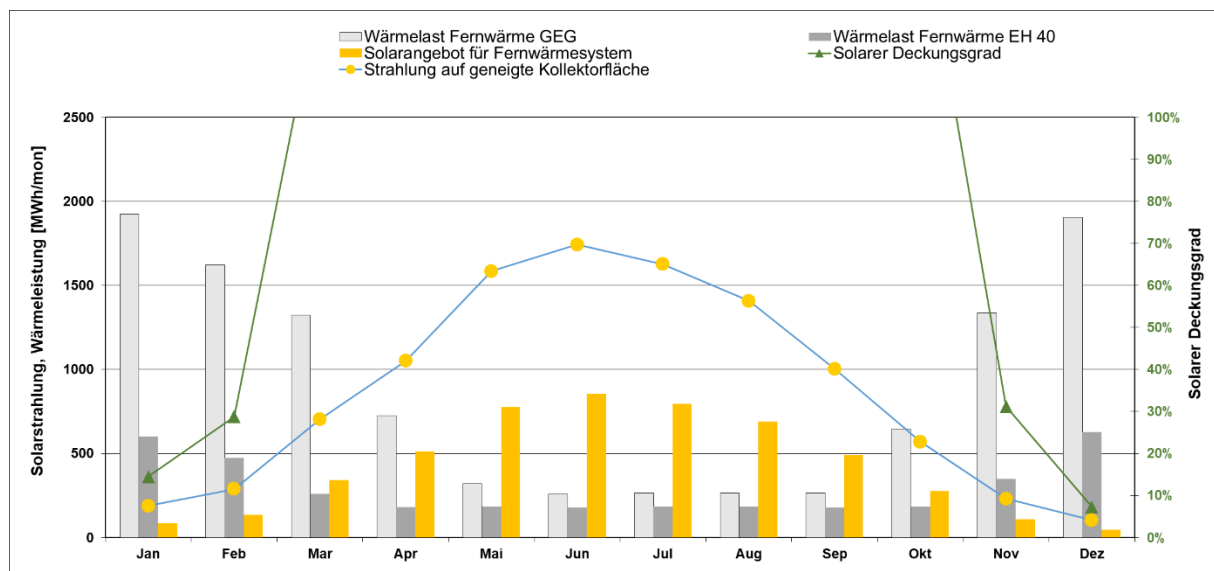


Abbildung 47 Energiebilanz der Parabolrinnenanlage

Dass die Wärme aus thermischen Solaranlagen fast ausschließlich in den Sommermonaten verfügbar ist, dann aber im Überfluss, ist schon lange bekannt. Eine saisonale Speicherung im Quartier wäre aufgrund des hohen Aufwands dennoch unangemessen (vgl. Abschnitt 10.4.2).

Für die hier geplante Anlage wurden Kosten von 600 €/m² Aperturfläche incl. Verrohrung etc. angesetzt, dazu kommen 70 €/m² für einen Kurzzeitspeicher. Das führt auf Wärmegestehungskosten von ca. 5 Ct/kWh. Allerdings kann nur etwa die Hälfte der erzeugten Wärme im Quartier genutzt werden. Wenn es gelingt, die sommerlichen Wärmeüberschüsse im Fernwärmenetz zu nutzen, verbessert sich die Wirtschaftlichkeit entsprechend.

13. Ökobilanzierung

Eine umfassende Ökobilanzierung, die nicht nur die Betriebsphase des Gebäudes umfasst, sondern zusätzlich Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung, erfordert eine erweiterte Sicht auf die Bebauung. Die Einbeziehung der grauen Energie in die Bewertung stellt einen relevanten Aspekt der Planung mit Blick auf eine ganzheitliche Baumaterial-Kreislauf-Betrachtung dar. Es geht um Kriterien für die Auswahl von Baumaterialien, CO₂-Ausstoß und Energieaufwand bei der Herstellung sowie die Aspekte der Kreislaufwirtschaft.

Die Bilanzierung erfolgt für das gesamte Gebiet im Rahmen eines Vergleichs von drei Bauweisen:

- a) Massivbauweise
- b) Hybridbauweise als Skelettbau mit Holzfassade und konstruktiven Holzelementen
- c) Holzbauweise ab OK Bodenplatte bzw. OK Kellergeschoss

Zudem werden Einschätzungen zur Auswirkung von Unterkellerungen und Tiefgaragen beschrieben. Die Ergebnisse der Bilanzierung werden verglichen mit den betriebsbedingten CO₂-Emissionen analog zu Modul B6 gemäß eLCA auf Grundlage der Berechnung nach districtPH. Abschließend werden Vorschläge zur praxisnahen und kostengünstigen Ökobilanzierung nach eLCA [eLCA 2021] im Verlauf der weiteren Planung mittels eines derzeit entwickelten Verfahrens unterbreitet, das die Ökobilanzierung mit geringem Mehraufwand im Rahmen der energetischen Berechnungen nach GEG ermöglicht.

13.1 Ergebnisse

Auf Basis der in Kapitel 13.2 beschriebenen Methodik werden Benchmarks aus Vergleichsprojekten der DGNB [DGNB 2020] und einem aktuellen Forschungsvorhaben zur Bewertung von grauer Energie bei der Errichtung von Gebäuden [EEI 2021] als Grundlage der Berechnung gewählt. Die Kennwerte für die spezifischen THG-Emissionen der drei Bauweisen und vier Gebäudetypen werden in Tabelle 18 zusammengestellt. Dargestellt wird die Graue Energie als Treibhauspotenzial in CO₂-Äquivalenten.

Tabelle 18 Kennwerte für die spezifischen THG-Emissionen der drei Bauweisen und vier Gebäudetypen in kgCO₂äq/(m²a)

spezifische THG-Emissionen [kgCO ₂ äq]	Massivbauweise	Hybridbauweise	Holzbauweise
Wo MFH	16	10,6	5,8
Publ / Gewerbe / Sondernutzung	18	11,2	6,5
Kita / Theater /	15	10,4	5,5
Garage	14	12	10

Auf Basis dieser Kennwerte wurden die THG-Emissionen der vier Nutzungsarten für die Massiv-, Hybrid- und Holzbauweise im Gebiet berechnet. In der Summe werden durch die Gebäude in Massivbauweise jährlich 2.385 Tonnen CO_{2äq} induziert, durch die Hybridbauweise 1.584 und die Holzbauweise 940 Tonnen CO_{2äq}. Mithin kann durch die Hybridbauweis ca. ein Drittel der Emissionen eingespart werden, durch die Holzbauweise 61 Prozent.

Tabelle 19 THG-Emissionen der vier Nutzungsarten für die Massiv-, Hybrid- und Holzbauweise im Gebiet [kgCO_{2äq}/a]

Nutzungstyp	BGF gesamt	EBF Gebäude	Massivbauweise		Hybridbauweise		Holzbauweise	
			THG spez	THG ges.	THG spez	THG ges.	THG spez	THG ges.
			THG-Emiss.	THG-Emiss.	THG-Emiss.	THG-Emiss.	THG-Emiss.	THG-Emiss.
	m ²	m ²	kgCO _{2äq} /m ² a	kgCO _{2äq} /a	kgCO _{2äq} /m ² a	kgCO _{2äq} /a	kgCO _{2äq} /m ² a	kgCO _{2äq} /a
Wohnen MFH	94.340	66.735	16,0	1.067.752	10,6	707.386	5,8	387.060
Publ / Gewerbe / Sondernutzung	79.413	58.151	18,0	1.040.837	11,2	649.725	6,5	376.021
Kita / Theater	5.381	3.981	15,0	59.709	10,4	41.398	5,5	21.893
Garage	19.523	15.466	14,0	216.530	12,0	185.597	10,0	154.664
Summe	198.657	144.333		2.384.828		1.584.106		939.639
Prozent				100%		66%		39%

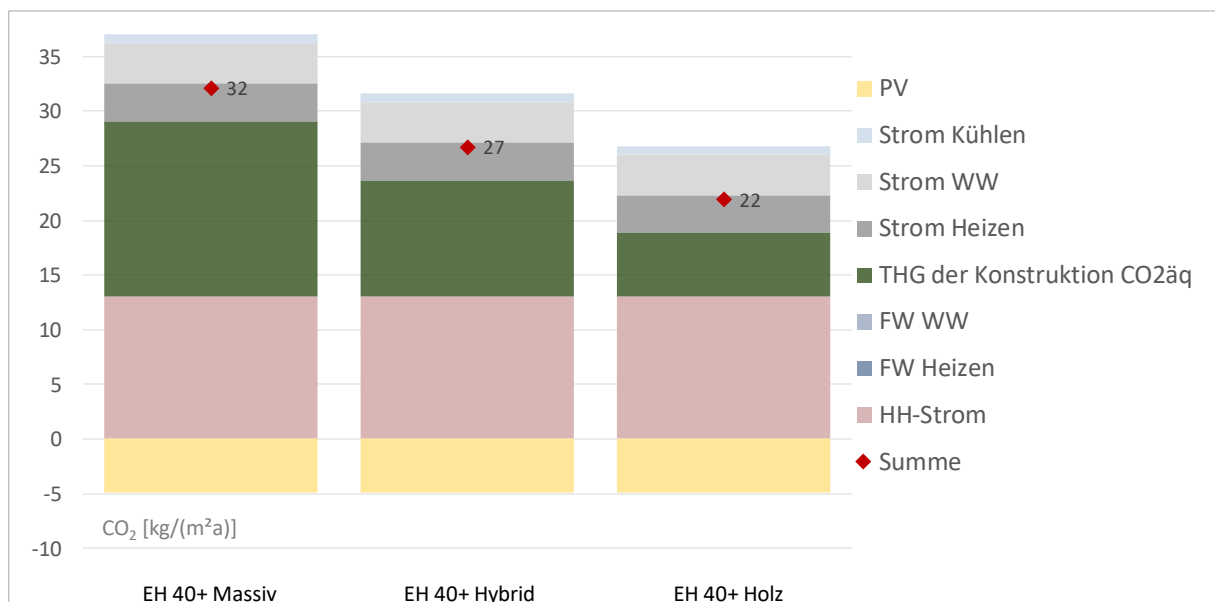


Abbildung 48 Gesamtbilanzierung inklusive konstruktionsbedingter jährlicher CO₂-Emissionen für den Standard EH 40 Plus mit Wärmepumpenversorgung und einer zurückhaltenden PV-Bestückung. In der Summe werden 22 bis 32 kgCO₂ im Jahr emittiert.

Die Bilanzierung der Grauen Energie, also der konstruktionsbedingten THG-Emissionen in kgCO_{2äq} pro m² Wohnfläche und Jahr (Module A1-3), zusammen mit den CO₂-Emissionen des Gebäudebetriebs (Modul B6) weist in Abbildung 48 die Bilanz der drei Konstruktionstypen auf. Aufgrund der hohen Effizienz des Gebäudebetriebs ist besonders der Massivbau dominant in der Bilanzierung. Dieser Effekt verstärkt sich noch bei der Zusammenstellung der Passivhaus Plus Varianten. Durch die optimierte Anwendung der Photovoltaik wird in der Jahresbilanzierung des Holzbaus nahezu Klimaneutralität inkl. der Grauen Energie erreicht.

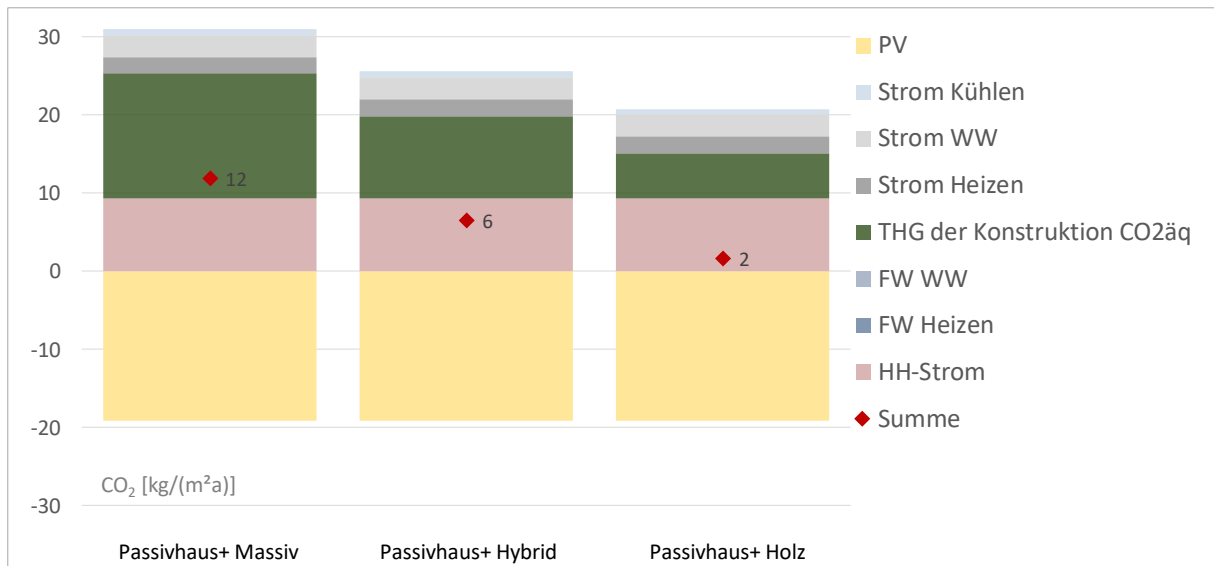


Abbildung 49 Jahresbilanzierung der jährlichen CO₂-Emissionen für den Standard Passivhaus Plus mit Wärmepumpenversorgung und einer optimierten PV-Bestückung. In der Summe werden beim Massivbau 12 kgCO₂ im Jahr emittiert, beim Hybridbau 6 kgCO₂ und beim Holzgebäude wird nahezu bilanzielle Klimaneutralität inkl. der Grauen Energie erzielt.

Aus Nachhaltigkeitssicht sind deshalb selbstverständlich Konstruktionen mit einem hohen Anteil nachwachsender Rohstoffe zu bevorzugen. Dafür gibt es zahlreiche Beispiele, auch im Bereich von Hochhäusern, wie z. B. in der Seestadt Aspern bei Wien [Aspern 2021], bei denen dies erfolgreich umgesetzt wurde. Es muss allerdings auch die Option gewählt werden, industriell gefertigte Produkte mit einer möglichst optimierten Lebenszyklusbilanz zeitnah auf den Weg zu bringen und dadurch Impulse für eine Entwicklung parallel zu den klassischen nachwachsenden Rohstoffen zu induzieren, welche die Bauindustrie in den nächsten Jahren dringend benötigt. Es sollte nicht angestrebt werden, dass die Gebäude „ihre“ Graue Energie zurückgewinnen müssen. Vielmehr ist es Aufgabe der Bauindustrie, ihre Materialien und Produkte innerhalb von zwei Jahrzehnten klimaneutral und ressourcenneutral herzustellen. Auf dem Weg dorthin kann die Ökobilanzierung den Planern und Entscheidern Hilfestellung geben, welche Produkte diesen Weg am konsequentesten und schnellsten beschreiten.

13.2 Grundlagen und Methodik

Um die dargestellten Ergebnisse richtig bewerten zu können, ist es wichtig die Methodik der Berechnung zu verstehen. Die Ökobilanzierung erfolgt anhand von flächenbezogenen Benchmarks aus Vergleichsprojekten, der DGNB [DGNB 2020] und einem aktuellen Forschungsvorhaben zur Bewertung von grauer Energie bei der Errichtung von Gebäuden [EEI 2021]. Dargestellt wird die Graue Energie als Treibhauspotenzial in CO₂-Äquivalenten. Es handelt sich um die berechnete Stoffmasse an Treibhausgasen, wobei alle Einzelemissionen auf die Treibhauswirkung von CO₂ gewichtet umgerechnet werden aus den Modulen A1-3 gemäß BNB auf Basis der eLCA-Berechnung [eLCA 2021] mit den Daten der Ökobaudat [OEKOBADAT 2021].

Wesentliche Betrachtungsgröße ist dabei die Bewertung von grauer Energie als Treibhauspotenzial in CO₂-Äquivalenten. Es handelt sich um die berechnete Stoffmasse an Treibhausgasen. Alle Einzelemissionen werden auf die Treibhauswirkung von CO₂ gewichtet. Von den Lebensweg-Phasen

gemäß EN 15978 wird dabei die Herstellungsphase mit der Rohstoffbereitstellung (Modul A1), dem Transport (Modul A2) und der Herstellung (Modul A3) berücksichtigt gemäß BNB auf Basis der eLCA-Berechnung [eLCA 2021] mit den Daten der Ökobaudat [OEKOBAUDAT 2021]. Weitere Moduleinheiten aus B und C werden nicht einbezogen, weil die Datengrundlage der Ökobaudat nicht umfassend ist und dadurch verzerrte Ergebnisse entstehen.

13.2.1 Module der Lebenszyklusphasen

Die Auswahl der Module für die Ökobilanzierung gewährt einen großen Einfluss auf die Ergebnisse der eLCA-Berechnung. Deshalb werden im Folgenden die Lebenszyklusphasen von Baumaterialien kurz beschrieben. Sie unterteilen sich gemäß DIN EN 15804 in folgende Module:

Modul A - Herstellungsphase

A1 Rohstoffgewinnung und –verarbeitung, Verarbeitungsprozesse inkl. als Input dienende Sekundärstoffe wie z. B. Recyclingmaterialien

A2 Transport zum Hersteller

A3 Herstellung

A4 Transport zur Baustelle

A5 Einbau in das Gebäude

Modul B – Nutzungsphase

B1 Nutzung oder Anwendung des eingebauten Produkts

B2 Instandhaltung

B3 Reparatur

B4 Ersatz

B5 Erneuerung

B6 Energieeinsatz für das Betreiben des Gebäudes (B6 korreliert mit dem Energieeinsatz gemäß GEG)

B7 Wassereinsatz für das Betreiben des Gebäudes.

Modul C – Entsorgungsphase

C1 Rückbau, Abriss

C2 Transport zur Abfallbehandlung

C3 Abfallbehandlung zur Wiederverwendung, Rückgewinnung und/oder zum Recycling

C4 Beseitigung.

Modul D

Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenze (Informationsmodule zu Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- und/oder Recyclingpotenzialen (Gutschriften für wiederverwertbare Materialanteile).

In der DIN EN 15804 steht: „Nur die Deklaration der Module der Herstellungsphase, A1-A3, ist für die Übereinstimmung mit dieser Norm Pflicht“ [DIN EN 15804]. Bei einer Betrachtung aller Phasen des Lebenszyklus müssen die Informationsmodulgruppen A1-A3, A4-A5, B1-B5, B6-B7, C1-C4 erfasst werden. Die zusätzlichen Leistungen gegenüber Modul A1-3 sind freiwillig. Modul D wird gemäß Norm nur zur Information erfasst.

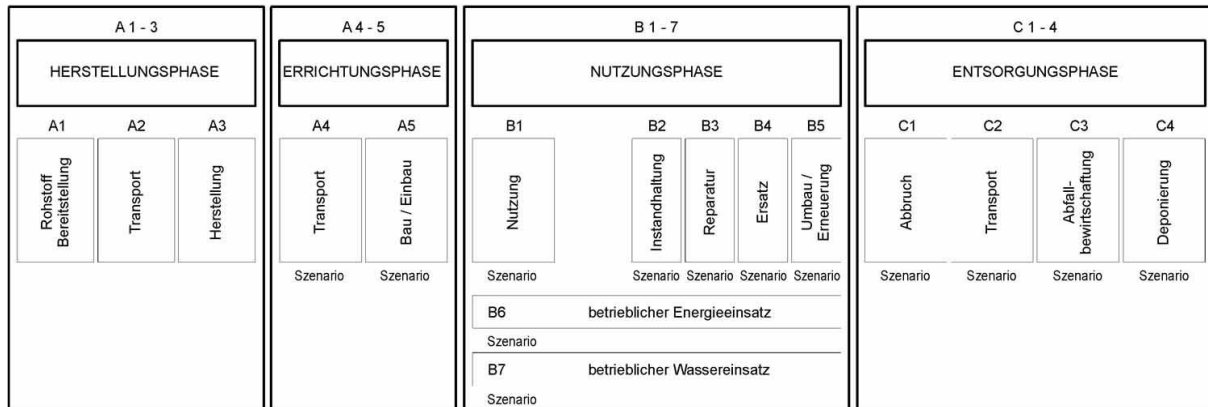


Abbildung 50 Darstellung der Module A, B und C mit ihren Untergruppen nach DIN EN 15804

13.2.2 Ökobilanz-Indikatoren

Die Ökobilanzierung umfasst über die GWP-Werte hinaus eine größere Anzahl von Indikatoren. Dazu werden im Folgenden Kurzerläuterungen gegeben, die auf dem DGNB Kriterienkatalog [DGNB 2018] beruhen:

(1) Treibhauspotential (GWP)

CO₂-Emissionen bewirken aufgrund der hohen emittierten Menge den größten Teil des Treibhaus-effekts. Deshalb wird das Treibhauspotential weiterer Stoffe stets im Vergleich zum Treibhauspotential von Kohlendioxid (CO₂) angegeben und treibhauswirksame Emissionen als Kohlendioxid-(CO₂)-Äquivalente angegeben. Die Wirkungsfaktoren verschiedener Stoffe zum Treibhauspotential sind unterschiedlich. So hat über einen Zeitraum von 100 Jahren betrachtet Methan bei gleicher Masse den 25-fachen Wirkungsfaktor im Vergleich zu CO₂. Damit beträgt das CO₂-Äquivalent von Methan 25, CO₂ weist dagegen den GWP-Wert von 1 auf.

(2) Ozonschichtabbaupotenzial (ODP)

Ozon, das nur in geringer Konzentration in der Atmosphäre vorhanden ist, hat für das Leben auf der Erde eine große Bedeutung. Es ist in der Lage, die kurzwellige UV-Strahlung zu absorbieren und diese richtungsunabhängig mit größerer Wellenlänge wieder abzugeben. Die Ozonschicht schirmt einen großen Teil der UV-A- und UV-B-Strahlung der Sonne von der Erde ab, verhindert eine zu starke Erwärmung der Erdoberfläche und schützt Flora und Fauna. Die Anreicherung von schädlichen halogenierten Kohlenwasserstoffen in der Atmosphäre trägt dazu bei, die Ozonschicht zu zerstören mit der Folge von z. B. Tumorbildungen bei Menschen und Tier sowie Störungen der Fotosynthese. Das Ozonschichtabbaupotenzial wird im Bericht in mg R11-Äqu. pro m² Nettogeschossfläche im Jahr angegeben. ODP-Werte beziehen sich auf die Vergleichssubstanz

Fluorchlorkohlenwasserstoff CFC-11. Alle Stoffe mit Werten unter 1 wirken weniger ozonabbauend, Werte über 1 stärker ozonabbauend als CFC-11.

(3) Ozonbildungspotenzial (POCP)

Das POCP bezeichnet das auf die Masse bezogene Äquivalent schädlicher Spurengase. Diese Spurengase, wie zum Beispiel Stickoxide und Kohlenwasserstoffe, tragen in Verbindung mit UV-Strahlung dazu bei, bodennahes Ozon zu bilden. Diese Verunreinigung der bodennahen Luftschichten durch eine hohe Ozonkonzentration wird auch als Sommersmog bezeichnet. Der Sommersmog greift die Atmungsorgane an und schädigt Pflanzen und Tiere. Die Konzentration von bodennahem Ozon wird regelmäßig durch Luftmessstationen ermittelt und in Belastungskarten festgehalten.

(4) Versauerungspotenzial (AP)

Das Versauerungspotenzial gibt die Auswirkung versauernder Emissionen an; es wird in Schwefeldioxid-(SO₂)-Äquivalenten gemessen. Luftschadstoffe wie zum Beispiel Schwefel- und Stickstoffverbindungen reagieren in der Luft mit Wasser zu Schwefel- bzw. Salpetersäure; diese fällt dann als „Saurer Regen“ zur Erde und gelangt so in Boden und Gewässer. Dadurch werden Lebewesen und Gebäude geschädigt. Beispielsweise werden in versauerten Böden Nährstoffe rasch chemisch aufgeschlossen und somit schneller ausgewaschen. Ebenso können im Boden giftige Substanzen entstehen, die die Wurzelsysteme angreifen und den Wasserhaushalt der Pflanzen stören.

(5) Überdüngungspotenzial (EP)

Überdüngung (Eutrophierung) bezeichnet den Übergang von Gewässern und Böden von einem nährstoffarmen (oligotrophen) in einen nährstoffreichen (eutrophen) Zustand. Sie wird verursacht durch die Zufuhr von Nährstoffen, insbesondere Phosphor- und Stickstoffverbindungen. Diese können bei der Herstellung von Bauprodukten und durch die Auswaschung von Verbrennungsemissionen in die Umwelt gelangen. Steigt die Konzentration von verfügbaren Nährstoffen in Gewässern, nimmt dort auch das Algenwachstum zu. Dies kann u. a. Fischsterben zur Folge haben.

(6) Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf (PEges)

Der Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie wird über den Lebenszyklus für Herstellung, Instandsetzung, Betrieb und Rückbau bzw. Entsorgung des Gebäudes ermittelt. Der Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie wird auf Fläche und Jahr bezogen und in MJ pro m² Nettogeschossfläche im Jahr angegeben. Die Werte werden zwar in der Tabelle der Ökobilanzierungsergebnisse ausgewiesen. Zur Beurteilung des dominierenden Anteils aus dem Modul B6 ist jedoch die Bilanzierung nach districtPH (Kapitel xx) besser geeignet.

(9) Abiotischer Ressourcenverbrauch (ADP elements)

ADP (abiotic depletion potential) erfasst als Wirkungskategorie den Verbrauch und die Knappheit von nicht erneuerbaren (abiotic) Ressourcen. Dabei handelt es sich um die mineralischen Ressourcen im Gegensatz zu den Ressourcen, die aus der Biosphäre kommen. Die mineralischen Ressourcen umfassen die fossilen Rohstoffe mit „ADP fossil fuels“ und die restlichen Mineralien mit „ADP elements“. Zu beachten ist, dass Uran als nicht fossiler Brennstoff den „ADP elements“ zugerechnet wird. Die Charakterisierungsfaktoren für die fossilen Rohstoffe stellen den unteren Heizwert des jeweiligen Rohstoffs dar. Für diese Rohstoffe wird dieselbe Knappheit angenommen, da sie untereinander austauschbar sind. Die Charakterisierungsfaktoren für die restlichen mineralischen

Ressourcen berücksichtigen die Menge der vorhandenen Ressource und ihre jährliche Extraktionsrate. Die Abschätzung der Menge hängt davon ab, wie viel von dem Rohstoff in der Erdkruste vorkommt, bzw. technisch und ökonomisch sinnvoll zur Verfügung gestellt werden kann.

13.2.3 Beispiele für die Ökobilanzierung von Konstruktionen

Anhand von zwei ausgewählten Konstruktionen wird in diesem Kapitel der Prozess einer Ökobilanzierung dargestellt. Beispielhaft wird der zugrundeliegende Rechenweg im eLCA beschrieben.

Außenwand in Holzrahmenbauweise

Für die Berechnung einer Außenwand in Holzrahmenbauweise werden zunächst die Bauteilschichten in eine Maske eingegeben. Dabei wird für jeden Baustoff im eLCA eine gesonderte Eingabe durchgeführt, wobei automatisch die Verknüpfung mit den Daten aus der Oekobaudat erfolgt. Nicht enthalten in der Berechnung sind Verbindungsteile, die in der LCA-Berechnung unter „Sonstiges“ erfasst werden.

Schicht	Dicke mm	Anteil%	Austausc
1. ▶ Gipskartonplatte (Feuerschutz) 	12,5 ▶	100,0	50
2. ▶ Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) 	40 ▶	15,0	50
▶ Mineralwolle (Innenausbau-Dämmung) 	40 ▶	85,0	50
3. ▶ KRONOPLY OSB/ KRONOPOL OSB 	20 ▶	100,0	50
4. ▶ Konstruktionsvollholz (Durchschnitt DE) 	200 ▶	15,0	50
▶ Mineralwolle (Fassaden-Dämmung) 	200 ▶	85,0	i 50
5. ▶ Mitteldichte Faserplatte (MDF) 	60 ▶	100,0	50
6. ▶ Silikonharzputz 	10 ▶	100,0	40

Abbildung 51 Eingabemaske in der eLCA-Berechnung, in der die Bauteile streng nach Vorgabe der EPS's in der Oekobaudat eingegeben werden. Dazu kommen Angaben über die Bauteildicke, den Anteil im Gefach und die Nutzungszeit, d. h. nach wieviel Jahren ein Austausch erforderlich ist.

Tabelle 20 eLCA-Ergebnisse pro Quadratmeter Konstruktionsfläche der Außenwand

Lebenszyklus	GWP	ODP	POCP	AP	EP	PE Ges.	PENRT	PENRM	PENRE	PERT	PERM	PERE	ADP elem.	ADP fossil
A1 - A3	-43,5233	6,70E-06	0,0449	0,3324	0,0415	2,82E+03	1,25E+03	123,039	1,13E+03	1,57E+03	1,23E+03	337,517	5,92E-04	1,06E+03
C3	115,106	1,14E-07	4,46E-05	6,70E-04	5,66E-05	-546,332	-2,4992	-10,9265	8,4273	-543,833	-544,284	0,4513	1,18E-08	4,4329
C4	0,4774	7,04E-12	2,77E-04	2,95E-03	4,05E-04	7,1256	6,5225	0	4,1128	0,603	0	0,4046	1,78E-07	6,2475
Instandhaltung	22,0673	1,96E-09	9,68E-03	0,1618	7,67E-03	463,4532	399,3098	51,975	344,925	64,1435	0	63,945	2,08E-04	362,9745
Gesamt	94,1271	6,81E-06	0,0549	0,4978	0,0496	2,74E+03	1,66E+03	164,088	1,49E+03	1,09E+03	685,2788	402,318	8,00E-04	1,43E+03
D	-47,7734	-7,87E-06	-1,38E-03	-0,0436	-3,92E-04	-706,88	-1,18E+03	0	-1,18E+03	475,9066	0	476,334	-2,19E-06	-559,392

Das Ergebnis für das Bauteil wird in der Tabelle aus dem eLCA heraus zusammengestellt. In der ersten Zeile werden die Werte für die Module A1 bis A3 erfasst, in den Folgezeilen die Module C3 und 4 sowie die Aufwendungen für die Instandhaltung. Neben den GWP-Werten werden weitere Kennwerte quantifiziert, die in Kapitel 13.2.2 beschrieben werden. Zudem generiert sich auf Basis der Eingaben ein Schemadetail, das sehr gut eine Überprüfung der Konstruktion ermöglicht.

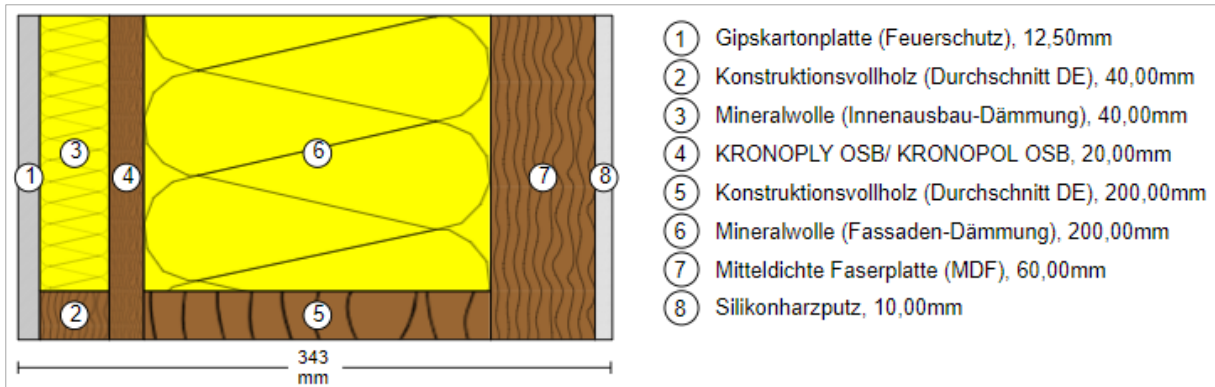


Abbildung 52 Schemadetail (innen = linke Seite) der Außenwand mit Konstruktionsaufbau.

Für die weitere Auswertung sind folgende grundsätzliche Überlegungen von Bedeutung. In Tabelle 21 wird die eLCA-Auswertung für GWP nach Modulen zusammengefasst. Die Ergebnisse beziehen sich auf einen Quadratmeter Nettogeschossfläche (Wohnfläche). In der Tabelle werden die Module A1-3 gefasst.

Tabelle 21 Tabelle mit der eLCA-Auswertung nach Modulen, bezogen auf einen m² Nettogeschossfläche (Wohnfläche) des Dachgeschosses: unter Herstellung werden die Module A1-3 gefasst, die in der weiteren Auswertung dargestellt werden, unter Entsorgung Modul C1-4, Instandhaltung Modul B2 und das Recyclingpotenzial entspricht Modul D.

Indikator	Einheit	Herstellung / m ² _{NGFA}	Entsorgung / m ² _{NGFA}	Instandhaltung / m ² _{NGFA}	Gesamt / m ² _{NGFA}	Rec.potential / m ² _{NGFA}
GWP	kg CO ₂ -Äqv.	-0,2629315	0,36135827	0,06899118	0,29427844	-0,14935839

Dach

Für den Dachaufbau gelten die meisten Aspekte analog zur Außenwand. Das Aluminiumblech weist allerdings einen starken Einfluss auf den GWP-Wert aus. Grundsätzlich könnten sowohl bei der Außenwand als auch dem Dach andere Dämmstoffe zur Anwendung kommen, die nochmals eine günstigere Bilanz ermöglichen würden wie z. B. Holzfasern oder Zellulosedämmung. Dabei ist allerdings der Brandschutz der Konstruktionen zu beachten.

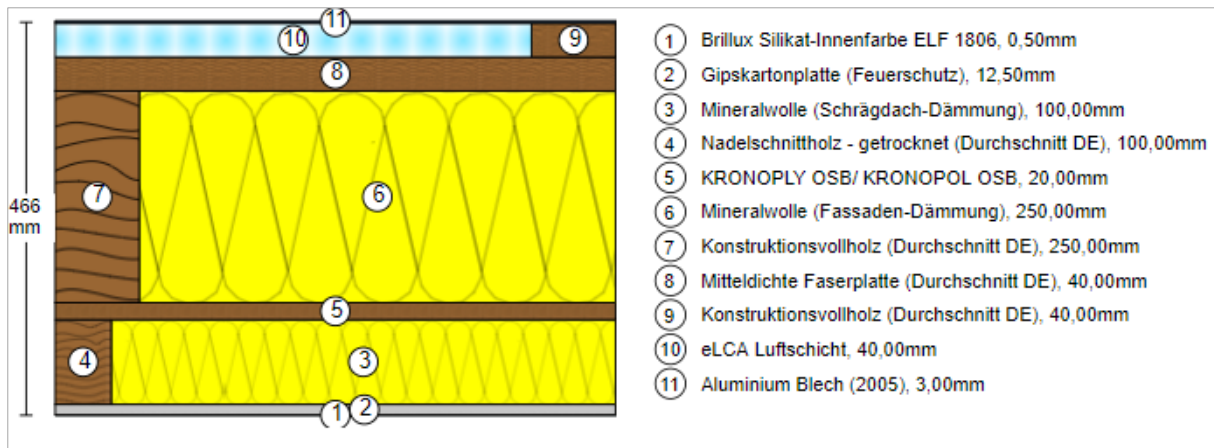


Abbildung 53 Schemadetail des Dachaufbaus

Über die beiden Konstruktionsbeispiele hinaus sind folgende Aspekte für die Gebäudetechnik zu beachten:

Lüftung

Für jede Wohnung wurde eine wohnungszentrale Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung gerechnet. Die Datengrundlage für die Anlagen in der Ökobaudat sind nicht umfassend, sodass die Annahmen über die Massen und Gewichte der Materialien ergänzt wurden.

Heizung

Die Wärmebereitstellung erfolgt über eine Luft-Wasser-Wärmepumpe, erfasst wurde die zentrale Technik, die Steigstränge sowie die horizontale Verteilung und die Heizflächen. Enthalten in dieser Position sind die Durchlauferhitzer für die Warmwasserbereitung.

Sanitär

Enthalten sind die Trinkwasserleitungen in Edelstahl, Abwasserleitungen, die Sanitärkeramik inklusive Bade- bzw. Duschwannen in Acryl sowie die sonstigen Badeinrichtungen.

Elektro

Die Elektroinstallation wurde anhand der E-Kabel, Kanäle und Elemente beschrieben, wobei für einen Teil eine Hochrechnung über Materialien und Gewicht erfolgte.

Sonstiges

Es ist gängig, dass für „Sonstiges“ zwanzig Prozent der ermittelten Werte addiert werden.

14. Investitionskosten und Lebenszykluskosten

14.1.1 Investitionskosten

Die Investitionskosten werden unterschieden in die Standardkosten für das Erreichen des GEG-Standards und die Mehrinvestitionen, um einen höheren Standard zu erreichen. Von Bedeutung in diesem Gutachten sind lediglich die Mehrinvestitionen. Diese werden in Abbildung 54 nach Bauteilen getrennt aufgeführt. Dabei handelt es sich um spezifische Kosten pro Quadratmeter Wohnfläche.

Mit zunehmender Effizienz steigen erwartungsgemäß auch die Investitionskosten, wobei die BEG-Förderung den Mehraufwand des jeweiligen Standards in etwa auffängt.

Die Variante Passivhaus Plus weist auch nach Förderung höhere Investitionskosten auf als das EH 40 Plus mit derselben Wärmepumpe. Grund ist hier die fehlende Förderung für Maßnahmen, die über den Standard EH 40 Plus hinausgehen.

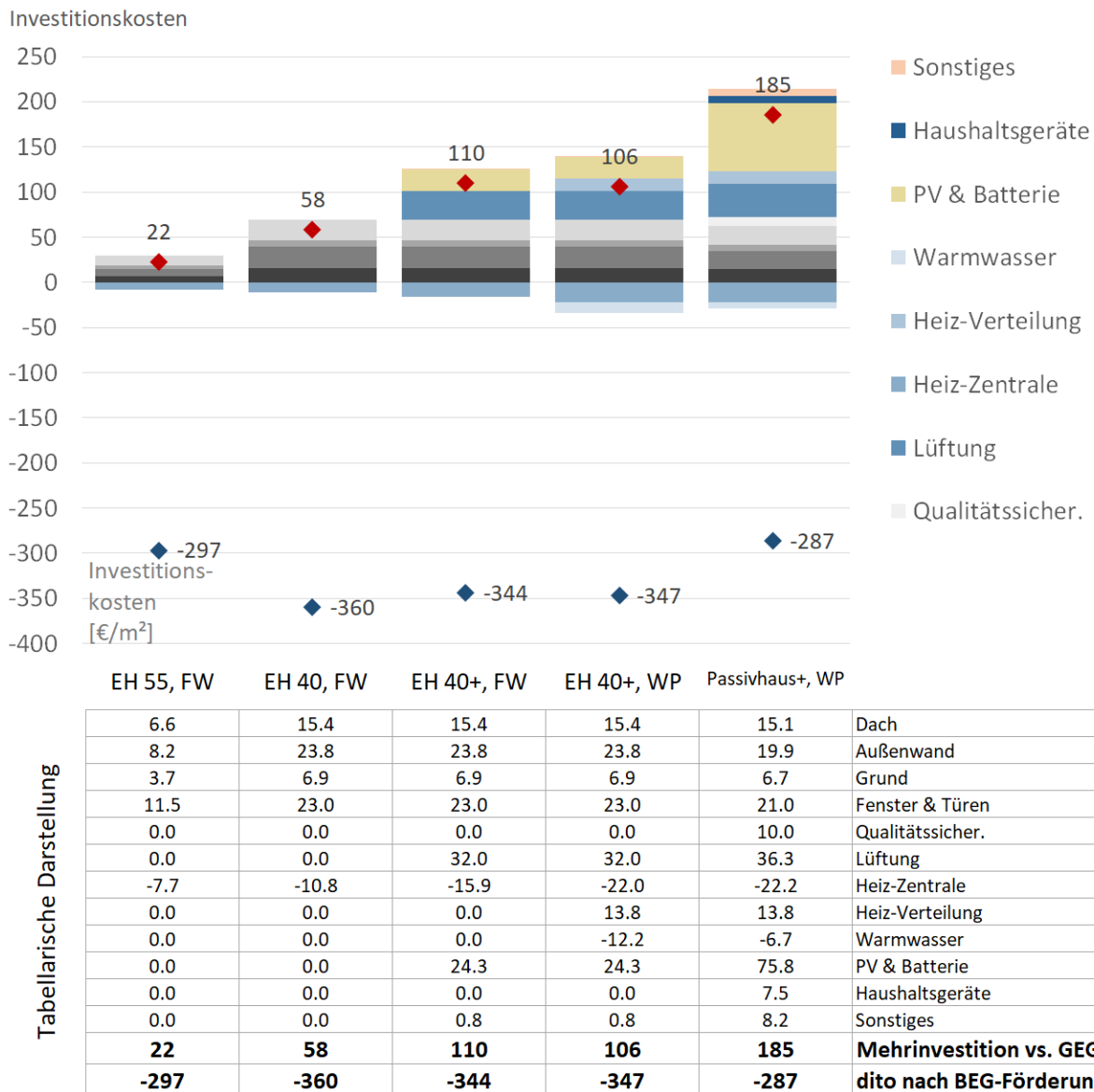


Abbildung 54 Investitionskosten als Mehrinvestition gegenüber der GEG-Variante. Die Förderung nach BEG fällt zwischen den Plus-Varianten geringfügig verschieden aus, da in einigen Fällen die förderfähigen Kosten pro Wohneinheit nicht ausgeschöpft werden.

14.1.2 Lebenszykluskosten

Die Erstellung der wirtschaftlichen Lebenszyklusanalyse für die Gebäude bzw. Cluster des Quartiers erfolgt mit dem districtPH. Neben Betriebs- und Unterhaltungskosten für die Gebäude werden die Investitions- und Finanzierungskosten unter Berücksichtigung von Förderoptionen dargestellt, die einen wesentlichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit ausüben. Die Bilanz enthält eine Restwertbetrachtung, die die Aussagen zur Wirtschaftlichkeit weitgehend unabhängig vom Betrachtungszeitraum macht und damit die Lebenszyklusanalyse deutlich präzisiert.

Abbildung 55 zeigt die Lebenszykluskosten für die Investition in Effizienzmaßnahmen und für die durch Energieverbrauch entstehenden Kosten. Dargestellt werden die kumulierten Kosten über den Betrachtungszeitraum pro Quadratmeter Wohnfläche. Die Summe aus den Mehrinvestitionen

und den Betriebskosten für die Energie inklusive des Haushaltsstroms sinkt sukzessive mit dem Energiebedarf. Schon ohne Förderung ist die Variante Passivhaus Plus diejenige mit den geringsten Gesamtkosten. Die BEG-Förderung führt zu einer zusätzlichen Verbesserung: Die Netto-Investition bleibt etwa dieselbe, die Energieeinsparung verbleibt als Bonus bei den Nutzern.

Barwert Kosten

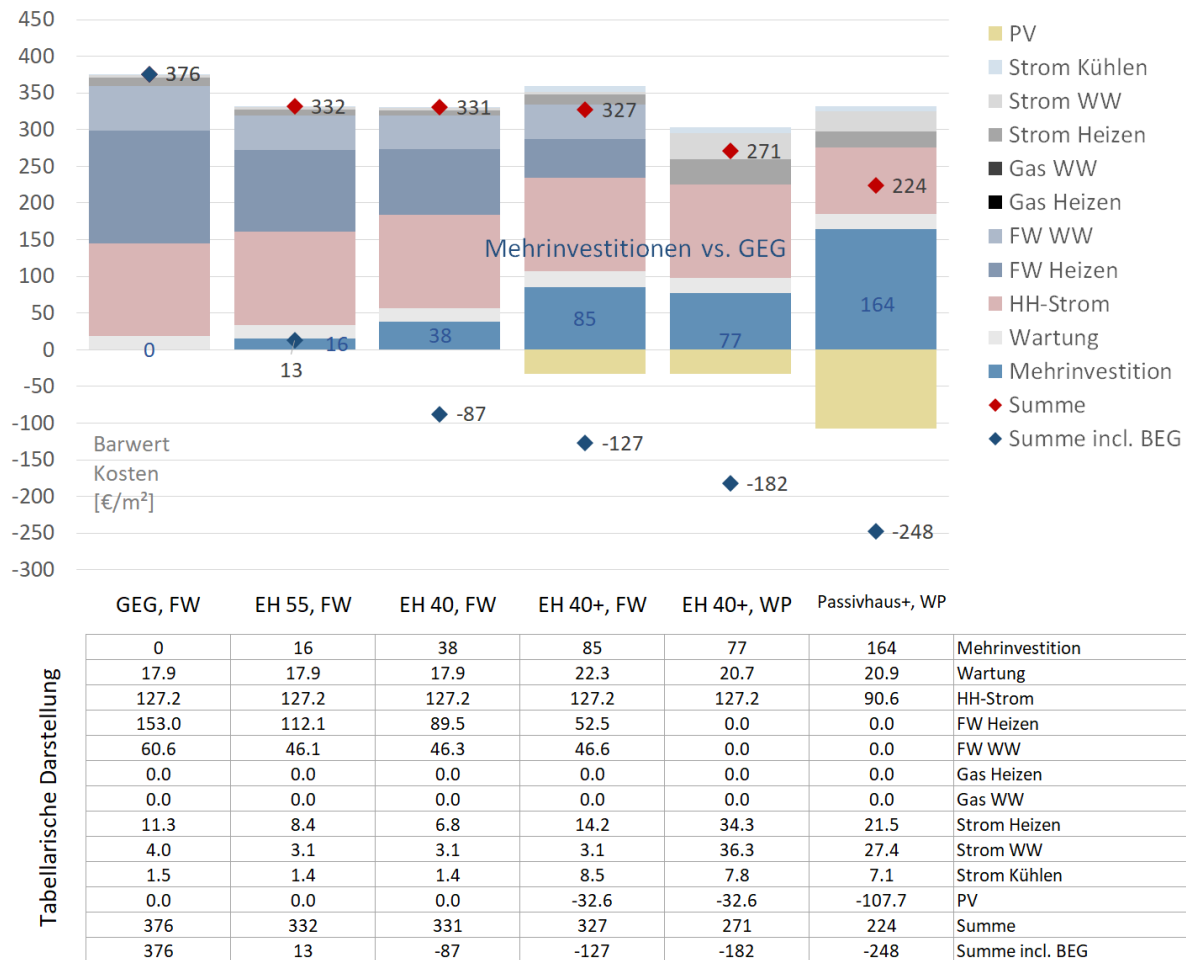


Abbildung 55 Lebenszykluskosten der verschiedenen Varianten. Als Investitionen sind nur die Mehrkosten gegenüber der GEG-Variante mit Fernwärme berücksichtigt. Die Werte für die Mehrinvestition sind Barwerte über den Betrachtungszeitraum unter Berücksichtigung des Restwerts (vgl. Abschnitt 3.4.5) und daher nicht mit den Werten in Abbildung 54 vergleichbar.

15. Projektbegleitung, Qualitätssicherung und Monitoring

Die Investoren und Bauherrengruppen verpflichten sich auf Basis des Vergabeverfahrens verbindlich die Anforderungen umzusetzen. Voraussetzung sind qualifizierte Planer, welche die Anforderungen qualitativ und wirtschaftlich umsetzen können. Um mit dem WarnowQuartier erfolgreich ein modellhaftes und zukunftsfähiges Bebauungsgebiet zu entwickeln, ist die Unterstützung der Akteure ein wichtiger Baustein. Durch eine gezielte Planungsbegleitung wird Wissen multipliziert, Planungsteams können gezielt unterstützt werden und mithin eine konkrete Hilfe für

eine erfolgreiche und wirtschaftlich sinnvolle Projektumsetzung gegeben werden. Darüber hinaus geht es darum, die daraus erwachsenden Anforderungen und Ergebnisse zu dokumentieren und als Ergebnis ein Vorgehen für weitere Entwicklungen abzuleiten. Zudem sollen anderen Kommunen die Erfahrungen zur Verfügung gestellt werden. Nur über eine kontinuierliche Projektbegleitung inkl. Monitoring können die engagierten Projektziele sichergestellt und in der Folge dokumentiert werden. Deshalb müssen gezielt Leitplanken für die Umsetzung des Energiekonzepts gesetzt und Verantwortlichkeiten festgeschrieben werden.

15.1 Planungs- und Bauteam

Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung neuer Zielsetzungen ist ein motiviertes Planungs- und Bauteam für jedes Teilprojekt mit möglichst umfassenden Erfahrungen im innovativen, energieeffizienten und kostengünstigen Bauen. Diese Teams sollten sich bereits in den frühesten Projektphasen bilden und bei den Anforderungen der Grundstücksvergabe adressiert sein. D. h. die Angaben über die Qualifizierung der involvierten Planer sollten Teil des Angebots seitens der Grundstücksinteressenten sein.

Die Organisation von Planung und Umsetzung kann dabei klassisch nach Gewerken oder nach GU-Verfahren erfolgen. Zu empfehlen ist jedoch eine Bauteam-Variante, bei der auf Basis einer grundlegenden Ausschreibung mit den Zielsetzungen des Projektes eine systemoffene Ausschreibung erfolgt. Mit einem oder mehreren Anbietern geht es dann in eine Konkretisierungsphase mit dem Setzen fester Kosten- und Leistungsziele, die im Team in der weiteren Planungsphase detailliert erarbeitet werden. Vor Baubeginn stehen alle Rahmenbedingungen und Planungsdetails mit präziser Leistungsbeschreibung inklusive eines daraus resultierenden Pauschalpreises fest. Insbesondere werden im Leistungskatalog auch Festsetzungen zur Qualitätssicherung, zum Bauablauf, zur Beschränkung der Belastungen für das Umfeld und zu den Stufen der Inbetriebnahme festgelegt.

15.2 Unterstützung der Teams während der Planungsphase

Die Anforderungen an die Planung sind durch die Auflagen bei der Grundstücksvergabe sehr hoch. Da zahlreiche innovative Anforderungen gestellt werden, ist davon auszugehen, dass die Planungsteams nicht umfassend über das Know-how verfügen. Durch gezielte Unterstützung seitens BUGA und Stadt Rostock kann sowohl das Ergebnis auf eine hohe Qualität gebracht werden als auch im Sinn von „Learning by Doing“ die Planungsteams fortgebildet werden, um bei späteren Bauvorhaben in Rostock und anderswo die innovativen Ansätze zu multiplizieren. Folgende Maßnahmen werden empfohlen:

Planer-Workshop: als Voraussetzung für die Umsetzung der besonderen Anforderungen im WarnowQuartier wird den Planungsteams Tagesworkshop angeboten, bei dem die erforderlichen Planungsdetails detailliert durchgegangen werden und die Planer grundsätzlich in die Lage versetzt werden, die Planungsaufgaben gezielt anzugehen.

Grundstückskaufvertrag: Im verbindlichen Kaufvertrag für das Grundstück werden die Anforderungen möglichst präzise formuliert, um den Planungsteams eine möglichst klare Anleitung für den Entwurfsprozess zu geben.

Projekt-Workshops: In der Folge ist es von Vorteil, wenn darauf aufbauend jeweils projektbezogen mit dem gesamten integralen Planungsteam eines jeden Bauobjekts ein drei- bis fünfstündiger Workshop durchgeführt wird, bei dem alle auftretenden Fragen gezielt diskutiert und beantwortet werden. Diese Form der projektbezogenen Fortbildung sollte auf jeden Fall in der Vorentwurfsphase stattfinden und kann ggf. in den späteren Leistungsphasen als Workshop oder individuelle Projektberatung fortgeführt werden. Dadurch findet frühzeitig eine gezielte Planungsoptimierung statt, die einerseits eine hohe Qualität der Gebäude sichert und zudem zu einer erhöhten Wirtschaftlichkeit führt.

Individuelle Projektberatung: Während der Planungsphase wird den Bauherren mit ihrem jeweiligen Planungsteam ergänzend zum Workshop eine individuelle Beratung seitens eines Expertenteams angeboten, das bei der Stadt Rostock entweder bei FB BUGA, dem Amt für Umwelt- und Klimaschutz oder der Klimaschutzleitstelle angesiedelt ist. Dies kann als Förderung kostenfrei erfolgen oder als kostengünstiges Angebot mit vorher festgelegten Sätzen. Darüber hinaus können gezielte energetische Planungsleistungen und Antragstellungen für Förderungen auf diesem Weg ausgeführt werden mit dem großen Vorteil, dass einerseits das Wissen um das Prozedere gegeben ist, auf der anderen Seite die Qualität sicher gewährleistet wird. Alternativ könnten diese Leistungen seitens externer Planer (mit Vorab-Qualifizierung) durchgeführt werden: den Bauherren würde in diesem Fall eine begleitende Energie-Planung zu einem kostengünstigen Festpreis angeboten. Dazu sollte nach Möglichkeit eine Teilfinanzierung durch die Stadt Rostock erfolgen (ggf. in Verbindung mit einem Förderprogramm?). Um diese Beratung effizient durchführen zu können, kann eine PHPP- und DIN 18599-Fassung vorbereitet werden, die den Anforderungen des Warnowquartiers entspricht und mit relativ geringem Aufwand an die individuellen Gebäude anzupassen ist. Mit der KfW bzw. BAFA wird dieses Prozedere im Vorfeld abgestimmt, um gesicherte Rahmenbedingungen für die Förderung zu erhalten.

Ökobilanzierung: Im Rahmen der Berechnung nach DIN 18599 wird ein Rechenprogramm verwendet, das mit geringem Mehraufwand die Ökobilanzierung ermöglicht. Dazu laufen derzeit Forschungsvorhaben beim BBSR [LCA kompakt 2020]. Diese Zusatzleistung wird den Bauteams ebenfalls mit der Individuellen Projektberatung gem. des vorherigen Punkts angeboten und bietet eine sehr gute Grundlage, um die Ökobilanzierungen der Bauobjekte kosteneffizient und nach gleichem Bewertungsmuster mit hoher Vergleichbarkeit zu erstellen. Es könnte überprüft werden, ob seitens des BBSR Interesse an einer Begleitung und ggf. Unterstützung besteht.

15.3 Qualitätssicherung während der Bauphase

Die Qualitätssicherung während der Bauphase soll einerseits die Investoren bzw. Baugruppen unterstützen. Zugleich sollen die geforderten Standards sichergestellt werden. Dabei ist ein gutes Verhältnis von Aufwand zu Nutzen anzustreben. Das gilt sowohl für die Seite der Bauherren bzw. Planungsteams als auch für die Stadt Rostock. Diese Leistungen können als kontinuierliche Fortführung der Individuellen Projektbegleitung gem. Kapitel 15.2 erfolgen. Hinsichtlich der Unterlagen für Überprüfung und Dokumentation ist es sinnvoll auf Grundlagen aufzubauen, die ohnehin im Planungsprozess anfallen. Diese sollten digital erstellbar und in einem Projektordner den Beteiligten ständig verfügbar sein.

1. Seitens der Bauherren bzw. Planungsteams werden bei Baubeginn folgende Unterlagen geliefert:

- a. Genehmigungspläne
 - b. Werkpläne und Details
 - c. Detaillierte Baubeschreibung
 - d. Energetische Berechnung
 - e. Optional/vorgeschlagen: Lebenszyklusbilanzierung
 - f. Optional/vorgeschlagen: Ökobilanzierung
2. Maßnahmen zur Qualitätssicherung während der Bauphase:
- a. Detailgetreue Bauabwicklung mit kontinuierlicher Kontrolle unter Einschaltung eines Bauleiters mit Erfahrung im Bauen hocheffizienter Gebäude
 - b. Detailsicherung hinsichtlich der Wärmebrücken durch Infrarotthermografie während der Bauphase und nach Abschluss
 - c. Sicherung der Luftdichtheit mittels eines Blower Door Tests während der Bauzeit und einer Abschlussmessung.
 - d. Begleitung der Gebäudetechnik-Erstellung nach den einschlägigen Regeln der Technik, ergänzt um die Kriterien des Energiekonzepts
 - e. sorgfältige Inbetriebnahme und Einregulierung durch erfahrene Fachleute inkl. Abnahmeprotokoll und Messprotokoll der Luftmengenverteilung
3. Während der Bauphase werden zwei Baustellenbesichtigungen durch das Begleiteteam der Stadt Rostock durchgeführt (alt. Durch den externen Betreuer) inkl. Kontrolle der Konstruktionen, Gebäudetechnik und Erstellen einer Fotodokumentation:
- a. Nach Fertigstellung der Rohmontage Gebäudetechnik
 - b. Nach Fertigstellung des Gebäudes und Inbetriebnahme der Gebäudetechnik
4. Nach Fertigstellung werden seitens des Bauherrn/Architekten folgende Unterlagen bereitgestellt:
- a. Planunterlagen 1 a-f, falls sich relevante Änderungen ergeben haben
 - b. Blower-Door-Messprotokoll mit Nachweis des n_{50} -Wertes $\leq 0,6 \text{ h}^{-1}$
 - c. Einregulierungsprotokoll und Beschreibung der Lüftungsanlage
 - d. Inbetriebnahmeprotokoll Gebäudetechnik der ausführenden Fachfirma
 - e. Inbetriebnahmeprotokoll Photovoltaik inkl. Angabe Anlagendetails, Leistung der Anlage in kW_{peak} und Nachweis des projektierten jährlichen Ertrags
 - f. Fotodokumentation (digital als jpg) mit Fotos von Aushub/Bodenplatte, Rohbau, Ausbaugewerke (Fenstereinbau, Außenputz, Trockenputz, Estrich), Gebäudetechnik (Rohmontage und Fertigmontage), Blower-Door-Test, fertiges Gebäude inkl. repräsentativer Ansicht und ggf. einige Innenaufnahmen.

15.4 Monitoring im Betrieb

Nach Bezug wird ein Monitoring über fünf Jahre nach Fertigstellung der Gebäude durchgeführt. Die Bauherren verpflichten sich, während dieser Zeit die monatlichen Werte ihres Energieverbrauchs zu dokumentieren und der Stadt Rostock zur Verfügung zu stellen. Dies erfolgt digital auf Basis eines einzurichtenden Monitoring Konzepts. Die Monitoring-Unterlagen sind vertraulich zu behandeln und nur anonymisiert zu veröffentlichen.

Folgende Verbrauchswerte sollen erfasst werden:

1. Heizenergieverbrauch
2. Heizenergieverbrauch für Warmwasser
3. Haushaltsstrom
4. Ertrag erneuerbare Energien auf dem Grundstück
 - a. Photovoltaik-Ertrag
 - b. Sonstige Erneuerbare
5. Eigenstromnutzung: Anteil der selbst genutzten PV-Energie in Prozent
6. Bei Stromspeicherung: gespeicherte und wieder genutzte Energie.

15.5 Dokumentation und öffentliche Darstellung

Das Projekt wird dokumentiert und für das Fachpublikum und die Öffentlichkeit zugänglich gemacht, um aus dem Modell zu lernen und weitere Entwicklungen zu unterstützen. Dazu werden folgende Schritte unternommen:

1. Dokumentation der Konzeptions- und Planungsphase
 - a. Bebauungsplanung
 - b. Energie- und Versorgungskonzept
 - c. Vergabe-/ Vermarktungsphase
 - d. Dokumentation der Objektplanung durch die einzelnen Bauteams
 - e. Planungsunterstützung durch die Stadt Rostock
2. Bauphase
 - a. Dokumentation der Baubetreuung
 - b. Dokumentation der Bauphase
 - c. Darstellung der einzelnen Projekte
3. Monitoring
 - a. Zusammenstellen der Verbrauchswerte
 - b. Auswertung der Ergebnisse unter Beachtung von Datenschutzaspekten
 - c. Bilanzierung des Betriebs für das WarnowQuartier

- d. Ggf. punktuelle Beratung bei evtl. auftretenden Betriebsstörungen
4. Außendarstellung und Öffentlichkeitsarbeit
- a. Berichterstattung in der Öffentlichkeit und in Fachpublikationen zu relevanten Stadien der Projektplanung und –umsetzung
 - b. Präsentation zur Darstellung des Projektes nach außen (Städtetag, Fachkongresse etc.)
 - c. Durchführung eines Kongresses während der Bauphase mit Darstellung der Planungs- und Ausführungsaspekte aus städtebaulicher Sicht und Sicht der Objektplanung inkl. Besichtigung von charakteristischen Baustellen
 - d. Publizieren von Projektberichten während der Umsetzungszeit
 - e. Abschlusskongress gut ein Jahr nach Fertigstellung eines wesentlichen Teils der Gebäude mit Darstellung der Ergebnisse.

15.6 Betriebskonzept für Wärme, Strom und Erneuerbare

Erneuerbare Versorgungssysteme unterliegen einer neuen Logik hinsichtlich des Betriebskonzepts. Die althergebrachte Unterscheidung zwischen Wärmeversorgung in Hand des Eigentümers mit Lieferung eines Brennstoffs über ein Versorgungsunternehmen und die davon getrennte Stromlieferung wird in Zukunft nicht zu einem wirtschaftlichen Betrieb führen. Dazu kommt die sich ändernde Situation hinsichtlich der Nutzung von PV-Erträgen, die bei Netzeinspeisung mittelfristig nicht mehr auskömmlich über das EEG vergütet werden, sondern möglichst umfassend als Eigenstromnutzung behandelt werden müssen. Dazu kommt die derzeit kontraproduktive Situation des Mieterstromfördergesetzes, das aufgrund des hohen administrativen Aufwands und der steuerrechtlichen Hürden hinderlich für einen wirtschaftlichen Gebäudebetrieb ist.

Deshalb wird vorgeschlagen, für das Gebiet ein Versorgungskonzept zu erstellen und für den Betrieb einen Partner zu finden, der die Bereiche Erneuerbare, Wärme und Strom gemeinsam handhabt. Dazu bieten sich die Rostocker Stadtwerke an. Angesichts der geringen Energiebedarfswerte und der Eigenproduktion von Strom im Gebiet bietet sich ein Flatrate-Konzept an, das an anderen Stellen bereits durchgeführt wird [ABG 2017]:

Nutzer von Wohnungen und Gewerbeeinheiten erhalten auskömmliche Budgets für Strom, Heizung und Warmwasser zu einem Flatrate-Preis, der in der Warmmiete fest und verbindlich enthalten ist. Da der Abrechnungsaufwand gering gehalten werden kann, sinken die Nebenkosten. Zudem können erneuerbare Erträge sinnvoll eingebunden werden, was wiederum zu einer Kosteneinsparung führt. Die digital hochwertige Ausführung des ohnehin zu installierenden Regelungs- und Monitoringsystems ermöglicht eine automatisierte Verwaltung der Flatrate: bei Überschreitung der Budgets erhalten die Nutzer über ihre Flatrate-App einen entsprechenden Hinweis. Beim ersten Jahresabschluss wird nur per Mail informiert. Bei erhöhtem Energieverbrauch im zweiten Jahr wird per automatisierter Mail eine Rechnung über den zusätzlichen Betrag oberhalb der Budgetgrenze geschickt. Erfahrungen in Frankfurt gehen dahin, dass die Nutzer ihr Ranking der Energieverbrauchswerte interessiert verfolgen und nur wenige einen erhöhten Verbrauch aufweisen, der dann zusätzlich abgerechnet werden muss. Durch die automatisierte digitale Abrechnung liegen die Verwaltungskosten sehr niedrig.

Für das Versorgungsunternehmen erwachsen daraus neue Anforderungen, die insbesondere das Lastmanagement für das Gesamtgebiet betreffen. Die Einbeziehung des Stromhandels über die Strombörse wird Bestandteil der Versorgung, um die Differenzen zwischen möglichem Überschuss im Sommer und Bedarf im Winter zu handhaben. Zudem zeigt sich bei Vergleichsobjekten, dass auch innerhalb des Systems ein Ausgleich zwischen Sommer und Winter stattfindet: die Bereitstellungskosten im Sommer für die Eigenstromnutzung aus PV liegen bei 7 bis 12 Cent pro kWh. Im Winter dagegen kann die Situation auftreten, dass der externe Bezugspreis höher liegt als der Verrechnungspreis an die Nutzer. In der Jahresbilanz ist dennoch ein sehr wirtschaftlicher Betrieb möglich.

Schließlich muss es für den Betreiber ein zentrales Ziel sein, über ein sinnvolles Last- und Kostenmanagement die Kopplung zwischen den Sektoren inkl. der Mobilität sinnvoll zu nutzen. Dies hängt im Detail von der Konstellation des Versorgungssystems ab. Ein interessanter Aspekt ist dabei die sich ändernde Konstellation in den nächsten zwanzig Jahren: da die Gebäudetechnik-Investitionen in diesem Zyklus verlaufen, sind die Kostenentwicklungen für den sich sukzessive ändernden Versorgungsmix ebenso zu beachten wie die bereits absehbare Kostenentwicklung für die CO₂-Bepreisung.

Die angepasste Digitalisierung ist eine wesentliche Grundlage für diese Form des Gebäudebetriebs und wird weitere Aspekte zuzüglich zu den bereits benannten energetischen Fragestellungen beinhalten. So wird die Kommunikation mit den Mietern bzw. Nutzern in hohem Maß automatisiert und dennoch individuell zugeschnitten mit schnellen Reaktionszeiten ablaufen. Weiterhin können Serviceleistungen zur Mobilität, Bring- und Betreuungsdiensten etc. eingebunden werden, durch die eine nochmals erhöhte Funktionalität und Wirtschaftlichkeit gegeben ist.

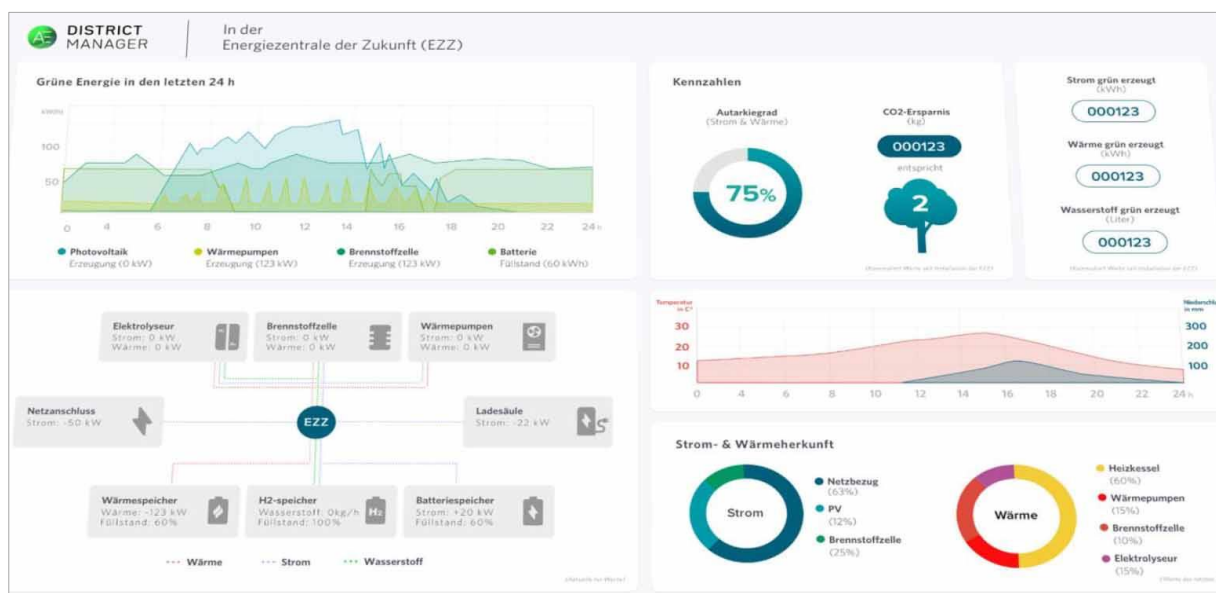


Abbildung 56 Benutzeroberfläche einer District Manager App [Ampeers Energy 2021]

Es ist davon auszugehen, dass für solche Aufgabenstellungen relativ bald vielfache Angebote hinsichtlich der dafür erforderlichen Software im Angebot sein werden. Die Abbildung zeigt eine charakteristische Benutzeroberfläche solch einer Software, die für die unterschiedlichen Anwender und Nutzer eine sehr gute Zugänglichkeit und Handhabbarkeit aufweisen muss. Für die

Rostocker Stadtwerke erwachsen aus Aufgabenstellungen wie im WarnowQuartier zahlreiche Herausforderungen, vor allem aber große Chancen für zukünftige Geschäftsfelder.

16. Literatur & Quellen

- [ABG 2017] ABG FRANKFURT HOLDING: Flatrate-Versorgung des Aktivhauses Speicherstraße in Frankfurt über die Mainova. – In: [Schulze Darup 2019]
- [Ampeers Energy 2021] Ampeers Energy: District Manager. – Jörg Kruhl, www.ampeersenergy.de
- [Agora 2018] Agora Energiewende: Wert der Effizienz im Gebäudesektor in Zeiten der Sektorenkopplung. – Endbericht einer Studie vom Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu), dem Fraunhofer IEE und Consentec, im Auftrag von Agora Energiewende, Berlin 2018
- [AGFW 2021] Stellungnahme auf der AGFW-Homepage, <https://www.agfw.de/technik-sicherheit/erzeugung-sektorkopplung-speicher/sektorkopplung/grosswaermepumpen/> (Zugriff 29.7.2021)
- [Auer 2010] Auer, Falk: Die Energieeffizienz von drei großen Luft-Heiz-Wärmepumpen Nr. 2107 und 2108 – zwei mit Elektromotoren- und eine mit Erdgasmotorantrieb – in drei 8-10 – Familienhäusern in Lahr (Schwarzwald) und fünf Abluft – Warmwasser-Wärmepumpen. http://www.agenda-energie-lahr.de/files/Ph2_3LuftWP-LRZ.pdf
- [biota 2021] Dr. rer. nat. Dr. agr. Dietmar Mehl et al: Fachbeitrag zum Wasserhaushalt für das Bebauungsplangebiet Nr. 13.MU.204 Warnow Quartier, Dierkower Damm, Zwischenpräsentation am 19.07.2021. – biota Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH, 18246 Bützow
- [Bodmann 2005] M. Bodmann, D. Mangold, J. Nußbicker, S. Raab, A. Schenke, T. Schmidt: Solar unterstützte Nahwärme und Langzeit-Wärmespeicher (Februar 2003 bis Mai 2005). http://www.solites.de/download/literatur/AB-SUN_V_FKZ_0329607F.pdf, abgerufen 11.6.2020
- [Buga/Machleidt 2021] Integrierte städtebaulich-freiräumliche Fortschreibung des Rahmenplans im Rahmen der Buga Rostock 2025 für das WarnowQuartier. – Stadt Rostock/Fachbereich BUGA in Zusammenarbeit mit Machleidt Städtebau & Stadtplanung, Rostock, Stand 30.03.2021
- [DGNB 2020] DGNB Lebenszykluskosten, mittlere Benchmark für Wohngebäude 2020
- [EEI 2021] Schöffel, Drusche, Oehler, Schulze Darup: Grundlagenermittlung zur vereinfachten Bewertung von grauer Energie bei der Errichtung von Gebäuden. – Im Rahmen des

- BBSR – Forschungsvorhabens Handlungsplan Nachhaltiges Bauen / Forschungsprogramm Zukunft Bau, Forschungsnehmer: Energie Effizienz Institut, Weimar, Berlin 2021
- [eLCA 2021] BBSR: Webbasierte Lebenszyklusanalyse von Baukonstruktionen – eLCA. – <https://www.bauteileeditor.de/> Zugriff 26.1.2021
- [Erdwärmebohrer 2021] Screeninggutachten vom 2.2.2021 durch „Die Erdwärmebohrer“: Ludwig Brandt, Lukas Vorländer, Philipp Bauer; bb&v handwerkerverbund GmbH, Prenzlauer Allee 36G, 10405 Berlin, Mail: anfrage@erdwaermebohrer.de
- [GEG 2020] Gebäudeenergiegesetz vom 8. August 2020 (BGBl. I S. 1728)
- [Hempfling 2021] Uwe Hempfling: Warnow-Quartier: Stellungnahme zu den vorgeschlagenen Wärmerversorgungsvarianten. – Klimaschutzleitstelle im Amt für Umwelt- und Klimaschutz der Hanse- und Universitätsstadt Rostock, Mail vom 23.6.2021
- [KfW 2021] KfW: Bundesförderung für effiziente Gebäude. <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Bundesf%C3%B6rderung-f%C3%BCr-effiziente-Geb%C3%A4ude/>
- [LCA kompakt 2020] Drusche, Oehler, Schöffel, Schulze Darup: LCA_kompakt - Umfassende Grundlagenermittlung zur vereinfachten Bewertung von grauer Energie bei der Errichtung von Gebäuden. – Im Rahmen des Handlungsplans Nachhaltiges Bauen, Aktenzeichen: 10.08.17.7-19.13 des Bundesinstituts für Bau-, Stadt und Raumforschung (BBSR) als Forschungsgeber im Forschungsprogramm Zukunft Bau, Weimar 2020
- [OEKOBAUDAT 2021] Informationsportal Nachhaltiges Bauen des BMI / BBSR: <https://www.oekobaudat.de/> Zugriff 26.1.2021
- [PHI 2017] Passivhaus Institut Darmstadt: PER-Faktoren – in: PHPP (Passivhaus Projektierungs Paket) des Passivhaus Instituts Darmstadt 2017
- [Rockwool 2021] RockZero-System: <https://www.rockwool.com/de/produkte/rockzero-bauweise/>
- [Schulze Darup 2018] Schulze Darup: Richtig lüften mit Komfortlüftungsanlagen. – Herausgeber: Bayerisches Ministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie, München 2018
- [Schulze Darup 2019] Schulze Darup (Hrsg.): Zukunftsfähiger und kostengünstiger Geschosswohnungsbau im Quartier. – Forschungsvorhaben, gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Berlin 2019
- [Solvis 2020] Jäger, Lipski: Hygiene und Energieeffizienz durch neuartige Legionellenprävention in zentralen Warmwasseranlagen. – Fa. Solvis 2020

- [Stadtwerke / BUGA 2021] Gespräch „Energie Warnow-Quartier Rostock“ vom 07.05.2021, Teilnehmer: Robert Strauß, Lisa Tiedemann, Mario Ludewig, Martin Brauer (Stadtwerke Rostock), Burkhard Schulze Darup, Tobias Timm, Julia Mironov
- [Uhrig 2020] Projektskizze: Nutzung Energie aus Abwasser zum Heizen und Kühlen, Berlin, East Marzahn; Laborgh Investment GmbH / Howoge mbH. – Erstellt durch UHRIG Energie GmbH, Geschäftsentwicklung Energie aus Abwasser, Am Roten Kreuz 2, 78187 Geisingen, T +49 7704 806-61, s.bothmer@uhrig-bau.de
- [UHRIG 2021] Auslegung THERM-LINER, Projekt: KONNEKT Berlin; Zwischen-WT; Erstellt durch UHRIG Energie GmbH, Geschäftsentwicklung Energie aus Abwasser, Am Roten Kreuz 2, 78187 Geisingen, T +49 7704 806-61, s.bothmer@uhrig-bau.de, 5.2.2021
- [Wiegand 2021] Fa. Wiegand, Fenstertyp 50 dB-Schallschutz: Fenster DW-plus Passiv integral.- Gutachten ift Rosenheim, <https://www.wiegand-info.de/passivhaus-fenster/schallschutz?katid=19>, 2021
- [WWAV 2020] Warnow-Wasser- und Abwasserverband: WarnowQuartier – Abstimmung zur siedlungswasserrechtlichen Infrastruktur. – Positionspapier an den Fachbereich BUGA vom 20.11.2020