



AVERDUNG

ENERGETISCHE STELLUNGNAHME FÜR
DEN BEBAUUNGSPLAN NR. 206 B
„KREUZKAMP/STUBBENKAMMER“



AVERDUNG

Im Auftrag von:



Stadt Neumünster
Fachdienst Stadtplanung und Stadtentwicklung
Stadthaus Brachenfelder Straße 1 - 3
24543 Neumünster

Ersteller:



Averdung Ingenieure & Berater GmbH
Planckstraße 13
22765 Hamburg
+49 40 771 8501 - 62

Hamburg, 9. Juni 2022

Philipp Widera
Projektingenieur

Philipp Lieberodt
Leiter Beratung & Konzepte



INHALT

1.	Motivation	4
2.	Energiebilanz	4
3.	Potenzialanalyse.....	6
3.1	Abwasser	6
3.2	Luftwärme.....	6
3.3	Erdsonden.....	7
3.4	Agrothermie	8
3.5	Photovoltaik.....	9
3.6	Solarwärme	10
3.7	Fernwärme.....	10
3.8	Biomethan.....	11
3.9	Biomasse	11
4.	Wärmeversorgung	12
4.1	Variantenkonzeption	12
4.2	Ökonomische Betrachtung.....	14
4.3	Ökologische Betrachtung.....	16
4.4	Zusammenfassung der Kennzahlen	18
4.5	Nutzwertanalyse	19
4.6	Fazit Variantenvergleich	20
5.	Empfehlungen Bebauungsplan 206 b.....	21
	Anhang.....	23
	Abbildungsverzeichnis.....	24
	Tabellenverzeichnis.....	25



1. MOTIVATION

Die Stadt Neumünster hat sich zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2035 klimaneutral zu sein. Als Grundlage für Standards wurde die „ökologische Leitlinie für die Bauleitplanung und kommunale Projekte“ von der Ratsversammlung beschlossen, die bei der Planung von Neubaugebieten die Erarbeitung von Energetischen Stellungnahmen bzw. Energiekonzepten fordert. Auf dieser Basis möchte die Stadt Neumünster mit dem Bebauungsplan Nr. 206 B „Kreuzkamp/Stubbenkammer“, der ein neues Wohnquartier der Nachverdichtung im Stadtteil Einfeld planungsrechtlich vorbereitet, eine maximal nachhaltige Quartiersgestaltung bei wirtschaftlicher Vertretbarkeit erwirken.

Ziel dieser energetischen Stellungnahme ist, die zukünftige Wärmeenergieversorgung des Plangebietes bei größtmöglicher CO₂-Einsparung und wirtschaftlicher Vertretbarkeit zu ermitteln; d.h. möglichst klimaneutral, nachhaltig und wirtschaftlich. Dazu sollen erneuerbare und nachhaltige Potenziale zur Wärmeenergieversorgung untersucht werden und verschiedene Energieversorgungsvarianten untersucht und verglichen werden. Dazu werden sinnvolle Wärmeversorgungsvarianten ausgelegt und ökologische und ökonomische Kennzahlen ermittelt. Die Ökonomischen Kennzahlen basieren auf erfahrungs- bzw. Referenzwerten. Es erfolgt eine Nutzwertanalyse, um die verschiedenen Kennzahlen in ein gemeinsames Punktesystem zu überführen und eine Vorzugsvariante zu bestimmen. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse sollen Empfehlungen für die Anpassung und Ergänzung des Bebauungsplans gegeben werden.

2. ENERGIEBILANZ

Die Energiebilanz wurde für zwei verschiedene Effizienzstandards durchgeführt: für den KfW40-Standard und für den GEG (Gebäudeenergiegesetz)-Standard. Aus Literaturquellen wurden Kennzahlen zu durchschnittlichen Gebäudeflächen, Heizwärmebedarf und Trinkwarmwasserbedarf zusammengetragen. Da der Angebotsbebauungsplan offen lässt, wieviele der voraussichtlich insgesamt 38 neu zu errichtenden Gebäude Einfamilienhäuser (EFH) bzw. Zweifamilienhäuser (ZFH) werden, wurden hier die Bautrends der letzten Jahre betrachtet. Laut statistischem Bundesamt wurden in den Jahren 2018 bis 2021 bundesweit im Mittel 88 % EFH und 12 % ZFH gebaut. In Abstimmung mit der Auftraggeberin wurde angenommen, dass aufgrund steigender Baupreise und Energiekosten eher kleiner bzw. suffizienter gebaut werden könnte. Daher wird ein Anteil der ZFH von 20 % angesetzt, so dass bei 38 Gebäuden 8 ZFH und 30 EFH erwartet werden.

Aus den Kennzahlen und den Annahmen zur Verteilung auf Ein- und Zweifamilienhäuser können nun die Gesamtfläche, der Heizwärmebedarf und der Trinkwarmwasserbedarf ermittelt werden. Der Gesamtwärmebedarf ergibt sich als Summe von Heizwärmebedarf und Trinkwarmwasserbedarf. Die Leistung wird unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Effizienzstandards auf Grundlage eines typischen Trinkwarmwasserlastgangs und eines simulierten Heizwärmelastgangs ermittelt.

		GEG		KfW40	
		EFH	ZFH	EFH	ZFH
Annahmen	Fläche je Gebäude [m ²]	150	256,5	150	256,5
	Spezifischer Heizwärmebedarf [kWh/a·m ²]	39	36	29	25
	Spezifischer Trinkwarmwasserbedarf [kWh/a·m ²]	11	15	11	15
	Verhältnis EFH:ZWF	0,8	0,2	0,8	0,2
	Anzahl Gebäude	30	8	30	8
Berechnungen	Fläche [m ²]	4.500	2.052	4.500	2.052
	Heizwärmebedarf [kWh/a]	175.500	73.872	130.500	51.300
	Trinkwarmwasserbedarf [kWh/a]	49.500	30.780	49.500	30.780
Ergebnisse	Wärmebedarf gesamt [MWh/a]	330		262	
	Leistung [kW]	143		135	

Table 1 Energiebilanz



3. POTENZIALANALYSE

Im Folgenden sollen die lokalen erneuerbaren und nachhaltigen Potenziale zur Energieversorgung untersucht werden.

3.1 Abwasser

Eine Möglichkeit der Wärmeversorgung ist es, Wärmetauscher in Abwassersiele einzubringen und die über das Jahr relativ konstante Wärme mittels Wärmepumpen auf ein nutzbares Temperaturniveau zu heben. Eine Prüfung der in den umliegenden Straßen befindlichen Abwassersiele anhand der städtischen Leitungspläne ergab, dass die Rohrdimensionierung der Schmutzwassersiele mit DN300 und kleiner nicht dafür geeignet ist, nachträglich Wärmetauscher einzubringen. Dafür ist in der Regel mindestens DN800 notwendig. Eine weitere Möglichkeit wäre gewesen, diese im Zuge einer ohnehin anstehenden, grundlegenden Sanierung der Siele einzubringen. Laut telefonischer Aussage der für die Kanäle zuständigen Abteilung Tiefbau (Herr Schulz, Telefonat am 21.02.2022) ist eine Erneuerung oder ein Ausbau der Kanäle für die entsprechenden Abwassersiele derzeit nicht geplant. Somit ist das Potenzial Abwasserwärme für die weiteren Betrachtungen auszuschließen.

3.2 Luftwärme

Die Erschließung von Luftwärme mit Wärmepumpen stellt eine einfache Möglichkeit dar, Wärme regenerativ bereit zu stellen. Ein Außengerät entzieht dabei der Umgebungsluft Wärme auf niedrigem Temperaturniveau. Diese Wärme wird mittels Wärmepumpe auf ein nutzbares Temperaturniveau gebracht. Da mit Luftwärmepumpen viel Leistung mit geringem Flächenbedarf realisiert werden kann, besteht hier ein quasi unbegrenztes Potenzial. Der limitierende Effekt ist eher die Schallbelastung und die

Limitierung des Temperaturbereichs für einen effizienten Betrieb.

Das effizient nutzbare Potenzial ergibt sich aus dem Anteil der Wärme, welcher bei Außenlufttemperaturen von über 0 °C anfällt. Dies entspricht bei dem betrachteten Referenzjahr 2018 76 % des gesamten Jahreswärmebedarfs bei GEG und 73 % bei KfW40 (dunkelblauer Bereich der Abbildung 1). Auch ein Betrieb bis mindestens 5 °C kommt häufig vor; die beste Betriebsstrategie ist im Einzelfall zu ermitteln. Sinkt die Außentemperatur unter den gewählten Grenzwert, übernimmt ein zweiter Wärmeerzeuger, bspw. einer Erdsonde oder ein Gaskessel. Im Gegensatz zu diesem Bivalenten Betrieb ist auch der Monovalente Betrieb denkbar, bei dem die Luftwärmepumpe der einzige Wärmeerzeuger ist. Dies ist insbesondere in der dezentralen Wärmeversorgung (Einzelhäuser) bei geringen Wärmebedarfen üblich. Da die Luftwärmepumpe auch bei niedrigen Außenlufttemperaturen betrieben wird, sinkt die Effizienz.

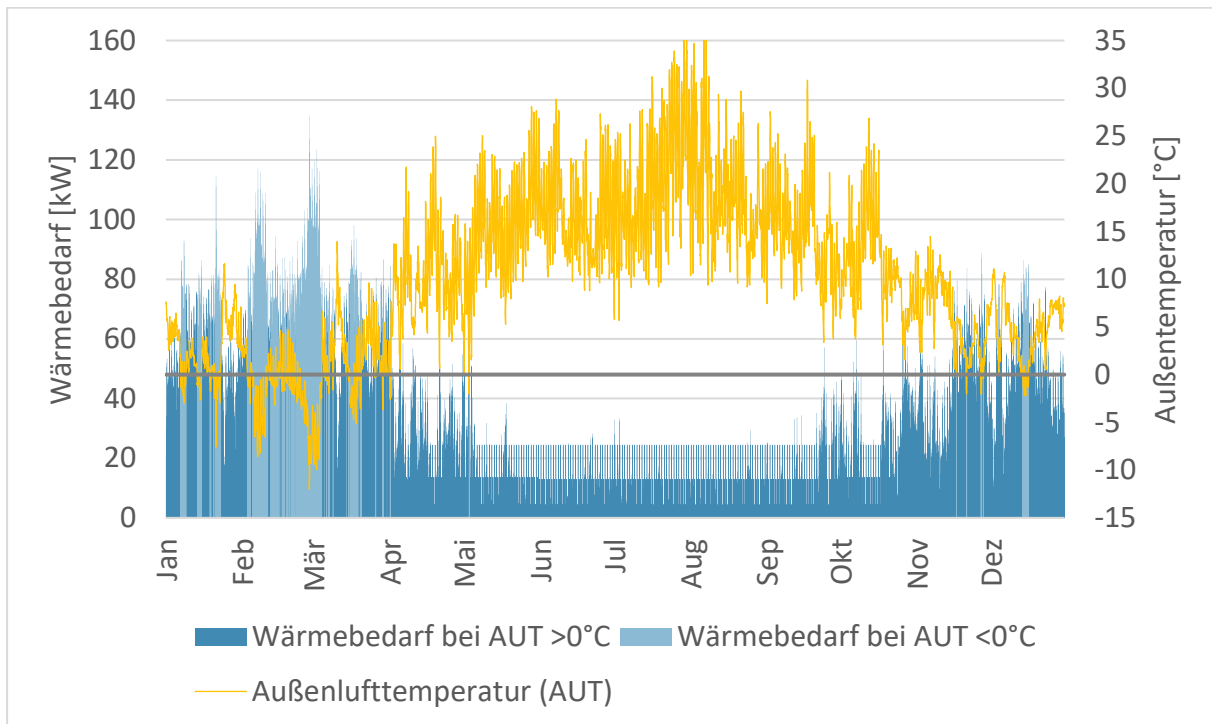


Abbildung 1 Luftwärmepotenzial am Beispiel des Quartiers mit KfW Standard

3.3 Erdsonden

Eine weitere Möglichkeit der nachhaltigen Wärmeversorgung stellt die oberflächennahe Geothermie dar. Durch mehrere Erdsonden mit einer typischen Tiefe von etwa 100 m strömt eine Wärmeträgerflüssigkeit, welche die Untergrundwärme aufnimmt. Diese Wärme kann dann mit einer Wärmepumpe auf ein nutzbares Potenzial gebracht werden. Generell weisen Erdsonden höhere Investitionskosten auf als die Erschließung der Luftwärme, dafür sind sie aufgrund der annähernd konstanten Untergrundtemperatur effizienter im Betrieb als Luftwärmepumpen.

Im betrachteten Quartier weist der Untergrund laut Umweltatlas Schleswig-Holstein (<http://www.umweltdaten.landsh.de/atlas/script/index.php>, abgerufen am 26.05.2022) eine mittlere Wärmeleitfähigkeit der obersten 100 m von 2 – 2,2 W/m-K auf, im nordwestlichen Bereich etwas geringer. Es wurde eine Wärmeleitfähigkeit von 2 W/m-K angenommen. Dies ist ein geringfügig überdurchschnittlich guter Wert. Zur Ermittlung des Potenzials wurden die nutzbaren Flächen im Quartier ausgewertet. Als besonders geeignet erscheint hierbei die nicht überbaubare Vorgartenzone, die laut des aktuellen Entwurfs des Bebauungsplans vorgesehen ist. An jeder Grundstücksgrenze zur Straße ist ein Abstand von 5 m, bzw. 3 m bei Eckgrundstücken, von Hauptbebauung frei zu halten.

Diese Fläche kann mit Erdsonden bestückt werden. Abbildung 2 zeigt eine Auswertung der Vorgartenzonen im Quartier.

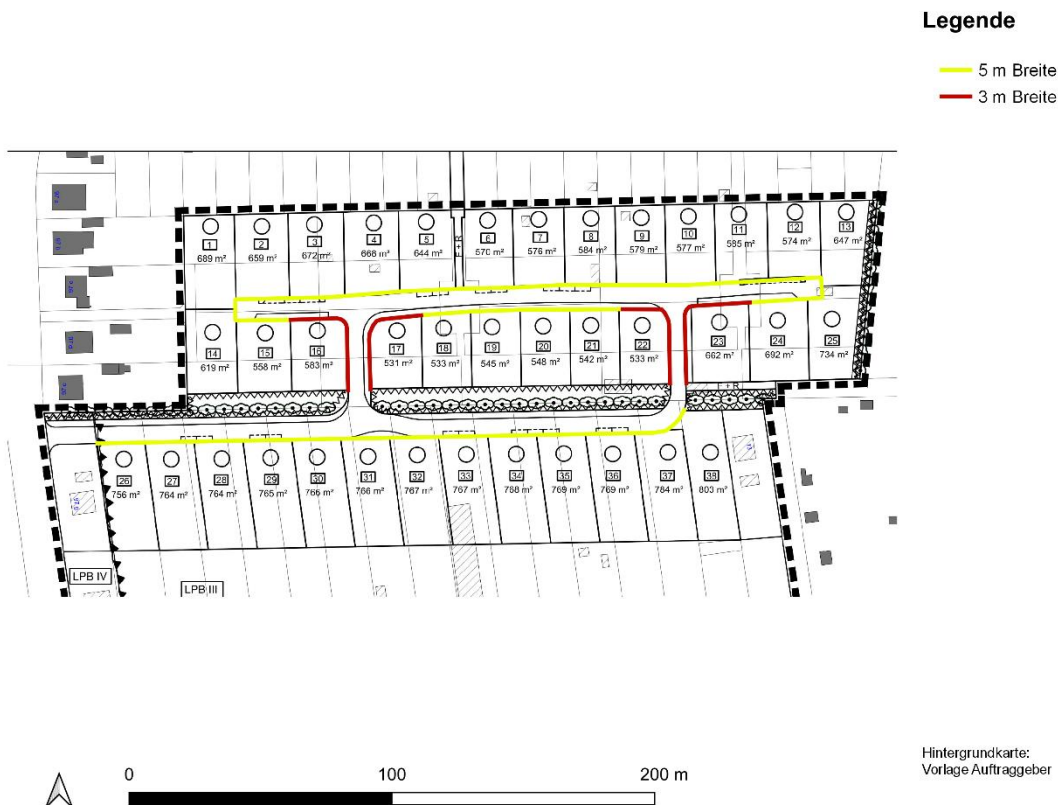


Abbildung 2 Bebauungsfreie Vorgartenzone zur Erschließung mit Erdsonden

Es ergeben sich 590 lfd.m mit einer Breite von 5 m Breite und 189 lfd.m mit einer Breite von 3 m. In diesem Bereich lassen sich insgesamt 200 Sonden unterbringen. Bei einer angenommenen Leistung von 34 W/m, 1800 Vollbenutzungsstunden und einer Sondenlänge von 100 m lassen sich somit 1224 MWh/a Wärme gewinnen. Dies entspricht 391 % des Wärmebedarfs des Quartiers bei GEG- Standard bzw. 492 % des Wärmebedarfs bei KfW40-Standard.

3.4 Agrothermie

Agrothermie bezeichnet die horizontale Einbringung von Erdkollektoren in etwa 2 m Tiefe. Durch die Einbringung mit einem Spezialgerät auf großer Fläche sind die Erschließungskosten in der Regel

geringer, als wenn die gleiche Technologie im kleineren Maßstab z.B. im hauseigenen Garten realisiert wird.

In der direkten Nachbarschaft des Quartiers befinden sich mehrere landwirtschaftlich genutzte Flächen. Diese sind in Abbildung 3 dargestellt.

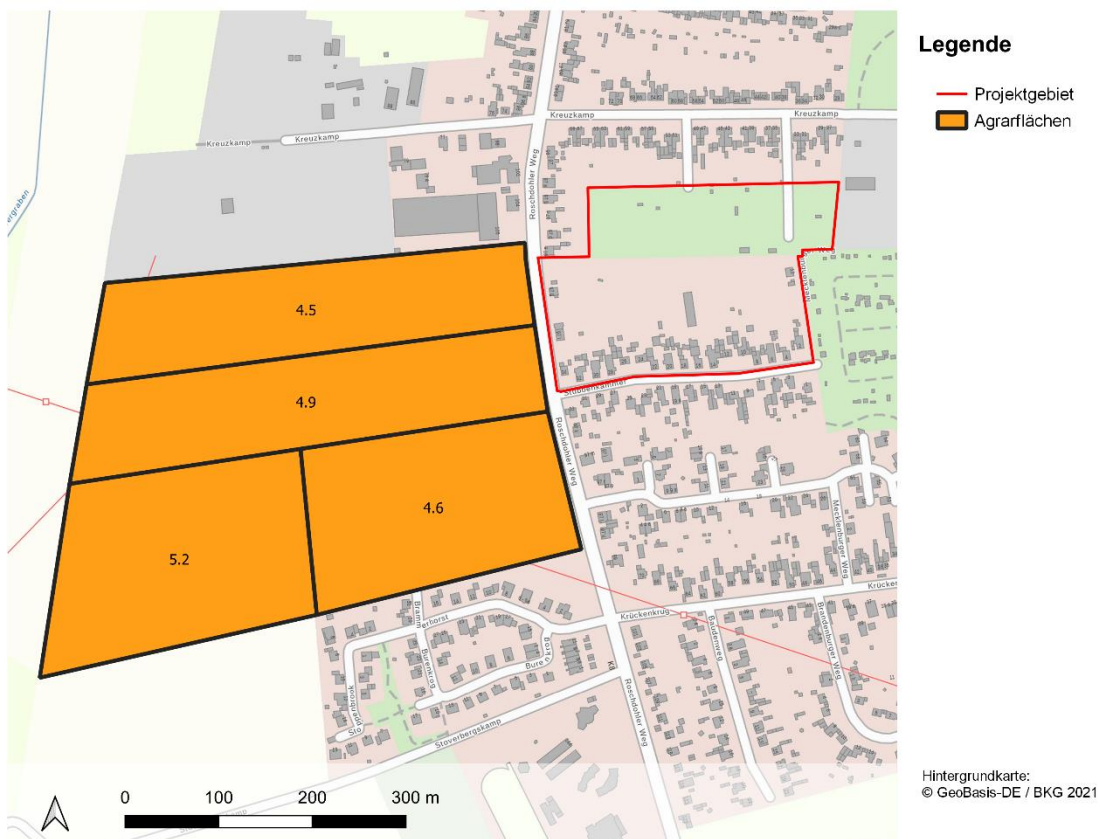


Abbildung 3 Agrarflächen im Einzugsbereich des Quartiers

Die nördlichste Fläche, die am nächsten am Quartier liegt, weist eine Fläche von etwa 4,5 ha auf. Bei einer angenommenen Entzugsleistung von 20 W/m^2 und einem Wärmeentzug von $40 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ ist jährlich der Entzug einer Wärmemenge von 1809 MWh möglich. Dies entspricht 548 % des Wärmebedarfs des Quartiers bei GEG-Standard bzw. 691 % des Wärmebedarfs bei KfW40-Standard.

3.5 Photovoltaik

Photovoltaik beschreibt die Technologie, Sonnenstrahlung direkt in Strom umzuwandeln. Es werden 80 m^2 nutzbare Dachfläche je EFH bzw. 160 m^2 nutzbare Dachfläche je ZFH angenommen. Es ergeben sich somit für das Quartier insgesamt 3680 m^2 Dachfläche. Bei der Realisierung von Systemen mit



Ost-West-Ausrichtung ist ein Stromertrag von 436 MWh/a aus Photovoltaik bei Nutzung aller Flächen zu erwarten. Der geschätzte Haushalts-Strombedarf im Quartier liegt bei 345 MWh/a; 2.500 kWh/a pro Person und 138 Bewohner/innen im Quartier angenommen.

Somit entspricht der maximal mögliche Photovoltaik-Ertrag bilanziell 135 % des Bedarfs. Das wirtschaftliche Optimum liegt jedoch bei Einfamilienhäusern in der Regel nicht bei der kompletten Ausnutzung der Dachfläche, sondern deutlich darunter.

3.6 Solarwärme

Solarwärme beschreibt die direkte Nutzung von Sonnenstrahlung zur Erzeugung von Wärme für Heizung und Trinkwarmwasser. Mit den in Kap. 3.5 ermittelten Dachflächen ist ein Wärmeertrag von 491 MWh/a bei Nutzung aller Flächen zu erwarten. Dies entspricht 149 % des Wärmebedarfs des Quartiers bei GEG-Standard bzw. 187 % des Wärmebedarfs bei KfW40-Standard. Die Erschließung von Solarwärme im Neubau ist in Kombination mit Wärmepumpen eher untypisch. Solarthermie wird häufig eingesetzt, um in mit Erdgas beheizten Gebäuden den vorgeschriebenen Mindestanteil an Erneuerbarer Energien zu decken, diese Notwendigkeit entfällt, da Wärme der Wärmepumpe bereits als regenerativ gilt. Auch führen die hohen Investitionskosten von Solarthermischen Anlagen häufig nur dann zu einer positiven Wirtschaftlichkeit, wenn ein hoher sommerlicher Wärmebedarf vorliegt.

3.7 Fernwärme

Die Stadtwerke Neumünster betreiben ein Fernwärmenetz und haben ihr Interesse an einer Versorgung des Quartiers bekundet. Es ist allerdings noch unklar, ob die Fernwärmeleitung im Stadtteil Einfeld Kapazitäten aufweist, um das Quartier zu versorgen. Um dies zu konkretisieren ist eine Dauerfrostperiode von ca. einer Woche notwendig. Klarheit ergibt sich somit unter Umständen erst im Laufe des nächsten Winters.

Laut Zertifikat weist die Fernwärme in Neumünster einen Anteil an erneuerbaren Energien von 35 % auf. Der Anteil an Steinkohle von 27 % soll zeitnah durch fossiles Gas ersetzt werden. Ersatzbrennstoffe haben einen Anteil von 35 %. Die CO₂-Emissionen werden nach der Stromgutschriftmethode mit 24 gCO₂/kWh_{th} angegeben.

Die Stromgutschriftmethode steht in der Kritik, da sie die CO₂-Emissionen für Wärme als zu gut darstellt, da die Berechnung auf einer veralteten Datengrundlage basiert. Eine Emissionskennziffer nach der Referenzwirkungsgradmethode (Finnischer Methode) wurde überschlägig berechnet. Nach Finnischer Methode liegen die CO₂ Emissionen der Fernwärme bei 94 gCO₂/kWh_{th} und nach Umstellung von Steinkohle auf Erdgas bei etwa 60 gCO₂/kWh_{th}. Damit liegen die Emissionen zwar



deutlich höher als bei der Ermittlung nach Stromgutschriftmethode, im Vergleich zu den Emissionen der Fernwärme anderer Städte ist dies jedoch ein außergewöhnlich guter Wert.

Es wird empfohlen, die Fernwärme mit den Emissionen nach Referenzwirkungsgradmethode zu bewerten. Konkrete Dekarbonisierungsmaßnahmen über die Umstellung von Steinkohle auf Erdgas hinaus sind zum jetzigen Zeitpunkt nicht bekannt, es wird aber aktuell durch die SWN eine Wärme- und Dekarbonisierungsstrategie erarbeitet.

3.8 Biomethan

Bei Biomethan handelt es sich um ein auf Erdgasqualität aufbereitetes Biogas. Das Biomethan, das vergleichbare Heizwerte wie handelsübliches Erdgas aufweist, wird in das Erdgasnetz eingespeist und kann, wie Erdgas, verwendet werden. Ähnlich wie beim Bezug von Ökostrom erfolgt die Belieferung mit Biomethan nur bilanziell, da es über das Erdgasnetz bezogen wird. Eine deutschlandweite Massenbilanzierung stellt sicher, dass nur die Menge an Biomethan verkauft wird, die auch tatsächlich hergestellt wurde.

Eingesetzt werden kann Biomethan beispielsweise in Gaskesseln oder Blockheizkraftwerken (BHKW). BHKWs, die mit 100 % Biomethan betrieben werden, erhalten Stromvergütungen nach dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) und nicht nach dem Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG). Die Preise für Biomethan aus nachwachsenden Rohstoffen liegen für gewöhnlich bei etwa dem doppelten Preis wie ein vergleichbarer Erdgastarif.

Der Einsatz von Biomethan verbessert die ökologische Bilanz der Wärmeversorgung, wirkt sich jedoch negativ auf die Wirtschaftlichkeit aus. Auch ist zu berücksichtigen, dass Biomethan nur begrenzt verfügbar ist, und daher vor allem dort eingesetzt werden sollte, wo er besonders effizient genutzt wird, oder Alternativen schwierig zu realisieren sind.

3.9 Biomasse

Alternativ zu Biomethan kann auch feste Biomasse zum Einsatz kommen. Neben Holzhackschnitzeln werden Pellets aus verschiedenen Grundmaterialien wie Holz, Stroh, Getreide, etc. verwendet. Die Wärmeversorgung ganzer Quartiere mit fester Biomasse ist aufgrund der Wertigkeit des Brennstoffes und der Nutzungskonkurrenz umstritten. Bei der Verbrennung werden nicht unerhebliche Mengen von Feinstaub emittiert. Zudem entstehen weitere Emissionen beim Transport und der Verarbeitung der Biomasse. Biomasse weist im Vergleich zu anderen erneuerbaren Technologien eine deutlich schlechtere Flächeneffizienz auf und steht in Flächenkonkurrenz zum Anbau von Nahrungsmitteln.



Dennoch sollte Biomasse nicht pauschal als Wärmequelle abgelehnt werden. Insbesondere bei der Versorgung von Bestandsgebäuden mit hohen Vorlauftemperaturen kann feste Biomasse eine Verbesserung gegenüber einer fossilen Versorgung sein. So lange Biomasse zur Abdeckung der Lastspitzen genutzt wird oder im wechselseitigen Betrieb mit Wärmepumpen betrieben wird, ist dieser nachwachsende Rohstoff als Puzzlestück für eine Dekarbonisierungsstrategie zu berücksichtigen.

Für eine nachhaltige Wärmeversorgung ist die Herkunft der Rohstoffe von großer Bedeutung. So sollte beispielsweise bei Pellets darauf geachtet werden, dass diese überwiegend aus regionalen Reststoffen oder Kalamitätsholz (Aufgrund von Sturmschäden, Trockenheit und/oder Schädlingsbefall anfallendes Holz) hergestellt werden. Pellets führen im Vergleich zu Hackschnitzeln insbesondere in kleineren Anlagen zu einem störungsfreieren und emissionsärmeren Betrieb. Ähnlich wie bei Biomethan ist zu berücksichtigen, dass Biomasse nur begrenzt verfügbar ist, und daher vor allem dort eingesetzt werden sollte, wo sie besonders effizient genutzt wird, oder Alternativen schwierig zu realisieren sind.

4. WÄRMEVERSORGUNG

Im Folgenden sollen drei verschiedene Wärmeversorgungsvarianten entwickelt und einer Versorgung mit Fernwärme gegenüber gestellt werden. Dabei wurden sowohl dezentrale Varianten (jedes Gebäude versorgt sich selber) als auch zentrale Varianten (ein Wärmenetz versorgt das gesamte Quartier) betrachtet. Die Motivation bei der Auswahl der Varianten besteht darin, sinnvolle Varianten aufzustellen, welche sich mit den vorgefundenen Potenzialen realisieren lassen. Dabei wurde bei der Auswahl auch berücksichtigt, dass die Varianten aufgrund von Erfahrungswerten bereits vorab als vielversprechend eingestuft werden. Es gäbe jedoch neben den drei untersuchten Varianten noch unzählige weitere Variantenkonstellationen, die sich aus den gefundenen Potenzialen bilden ließen. Nach Einschätzung von Averdung ist die Betrachtung dieser drei Varianten jedoch für das betrachtete Quartier und die dort aufgefundenen Potenziale ausreichend, da andere Varianten nach überschlüssiger Einschätzung nicht besser abschneiden könnten.

4.1 Variantenkonzeption

Die folgenden Varianten werden untersucht. Die jeweiligen Anteile der Wärmeerzeuger an der Wärmemenge sind in Abbildung 4 dargestellt.

Variante 1 (FW):

Die Fernwärme der Stadtwerke wird gemäß Vorgabe der Stadt Neumünster als Referenzvariante betrachtet.

Variante 2 (Dezentrale LWP):

Eine dezentrale Versorgung der einzelnen Gebäude mit Luftwärmepumpen und Heizstab als Spitzenlasterzeuger.

Variante 3 (Nahwärmenetz kalt Geothermie):

Ein Nahwärmenetz wird im Quartier errichtet und mit Erdsonden die Wärme bereit gestellt. Um die Trassenkosten in dem Quartier mit geringer Wärmedichte (Wenig Wärmemenge pro Meter Wärmetrasse) möglichst gering zu halten, werden niedrige Netztemperaturen angesetzt, so dass die Dämmung der Leitungen entfällt. Die Wärme wird mit dezentralen Wärmepumpen in den jeweiligen Gebäuden auf ein nutzbares Temperaturniveau gebracht.

Variante 4 (Erneuerbare und Verbrennung):

Hier wird ein Nahwärmenetz mit ausreichend hohen Netztemperaturen zur direkten Wärmenutzung untersucht. Die Wärme wird mit einer Wärmepumpe erzeugt, welche abhängig von der Außentemperatur zwischen den Medien Luft und Erdsonden wechseln kann, so dass ein effizienter Betrieb der Luftwärmepumpe gesichert ist. Zusätzlich kommt ein Blockheizkraftwerk (BHKW) und Erdgaskessel für die Spitzenlastabdeckung zum Einsatz.

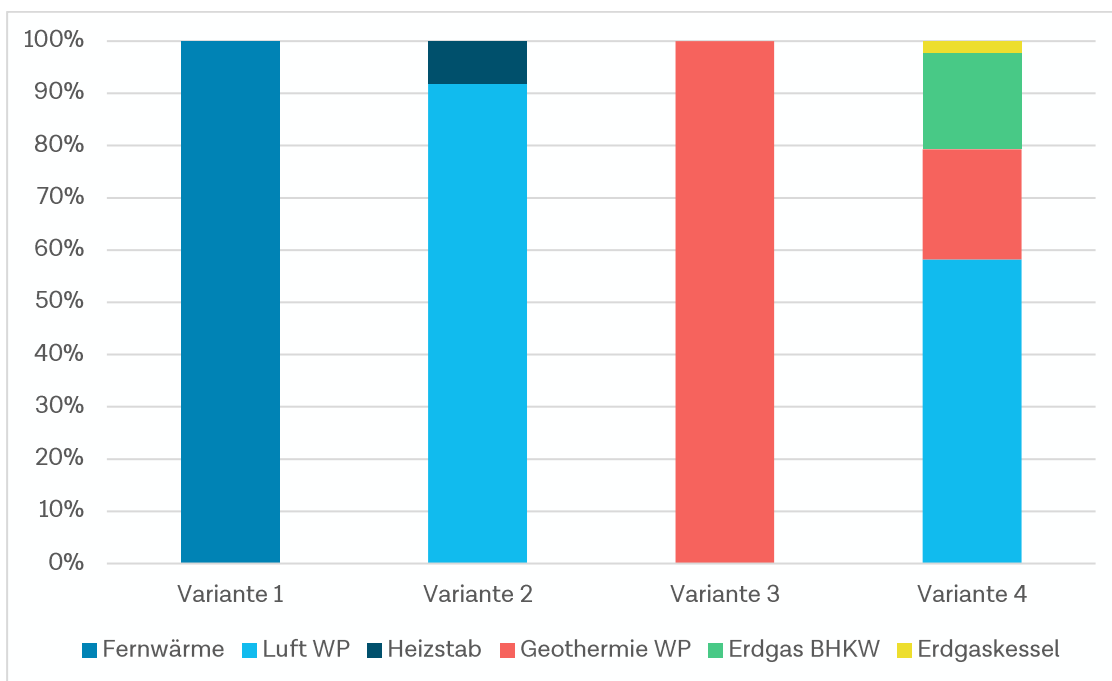


Abbildung 4 Anteil der Wärmeerzeuger an der Wärmemenge

4.2 Ökonomische Betrachtung

Die Investitionskosten je Variante sind in Abbildung 5 dargestellt. Diese sind als Schätzungen zu verstehen, die aus vergleichbaren Quartieren und Varianten abgeleitet sind. Als CO₂-Bepreisung wurden 180 €/t angesetzt, gemäß den Emissionsfolgekosten. Für die Versorgung der Fernwärme werden die Investitionen durch die Stadtwerke vorgenommen, so dass diese hier nicht berücksichtigt sind. Die Variante 2 weist sehr niedrige Investitionskosten auf, da hier nur die Luftwärmepumpe errichtet wird. Die Variante 3 und 4 weisen deutlich höhere Investitionskosten auf, da hier aufwendigere Technik realisiert wird und zusätzlich das Quartier mit Wärmetrassen verbunden werden muss.

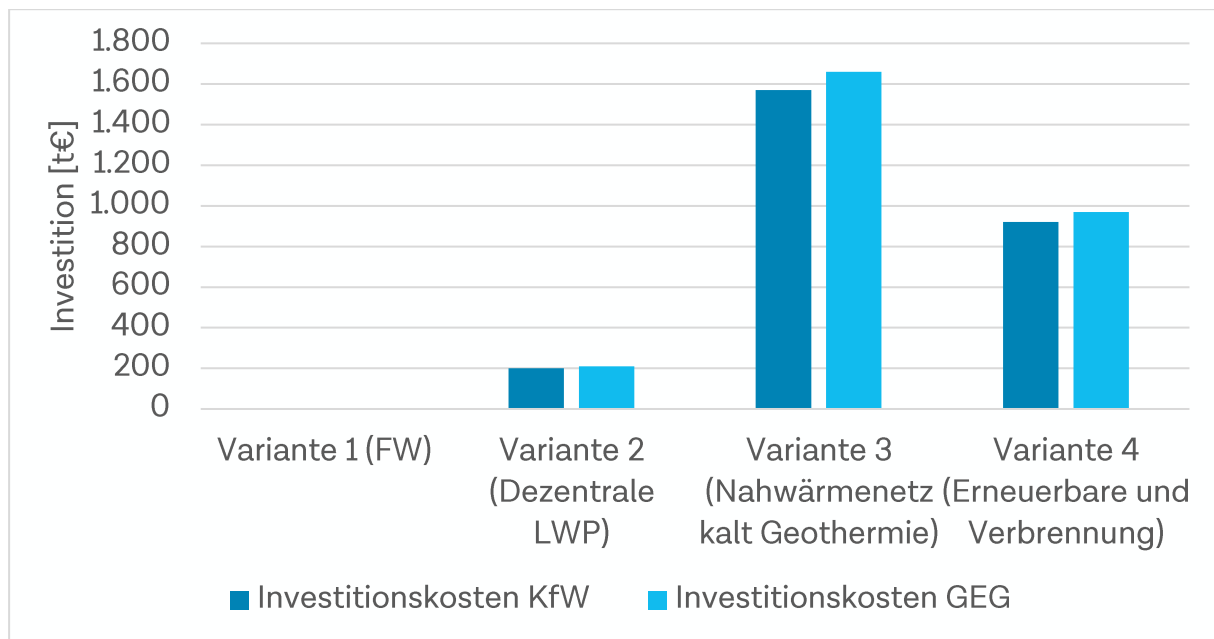


Abbildung 5 Investitionen je Versorgungsvariante

Die jährlichen Kosten der Varianten sind in Abbildung 6 dargestellt. Für die Fernwärme sind alle Kosten als Wärmebezugskosten zusammengefasst, gemäß der Preise in ihrer Fassung mit Gültigkeit vom 01.11.21. Die jährlichen Kosten sind als Summe aller anfallenden jährlichen Kosten, inklusive Kapitalkosten anzusehen, da davon ausgegangen wird, dass die Anfangsinvestition in voller Höhe zum derzeit üblichen Zins am Kapitalmarkt über einige Jahre finanziert wird. Die Stromerlöse und Stromeinsparungen in Variante 4 aus dem BHKW sind den jährlichen Kosten abzuziehen.



Abbildung 6 Jährliche Kosten

Werden die jährlichen Kosten auf die Wärmemenge umgelegt, ergibt sich der Wärmemischpreis. Dieser beschreibt die Kosten für eine Einheit Wärme. Der Wärmemischpreis der verschiedenen Varianten ist in Abbildung 7 dargestellt. Dargestellt ist einmal der Wärmemischpreis ohne Förderung

und einmal mit KfW Förderung. Der Unterschied fällt hier jedoch gering aus, es ergibt sich für die Varianten 3 und 4 nur einen Unterschied von etwa 0,5 Ct/kWh. Als weitere Betrachtung wird der Wärmemischpreis inklusive der „Bundesförderung effiziente Wärmenetze“ (BEW) abgebildet. Die BEW-Förderung soll als Nachfolge der Wärmenetze 4.0-Förderung fungieren. Das Inkrafttreten ist in den nächsten Monaten zu erwarten. Berücksichtigt wurden hier die Entwürfe, die aktuell zur Notifizierung bei der EU-Kommission liegen. Neben einer Investitionsförderung ist auch eine Betriebsprämie als Teil der BEW-Förderung zu erwarten. Während die Varianten 1 und 2 nicht die zu erwartenden Kriterien für eine BEW-Förderung erfüllen, ist dies für die Varianten 3 und 4 der Fall. Der Wärmemischpreis ist in diesen beiden Fällen etwa ein Drittel geringer als ohne Förderung. Für den weiteren Vergleich der Varianten wird der Wärmepreis mit BEW-Förderung herangezogen.

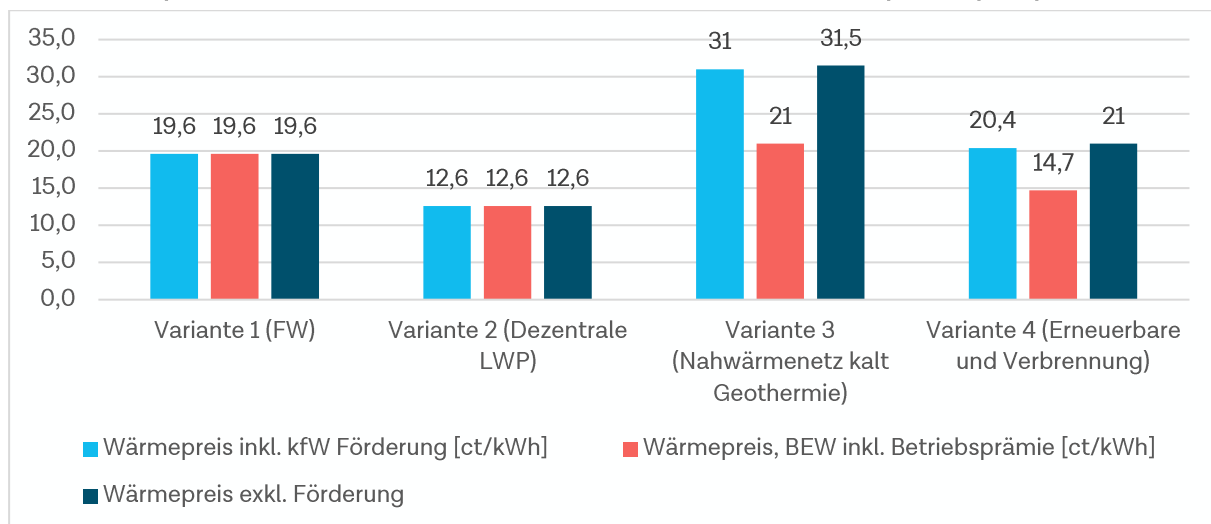


Abbildung 7 Wärmepreise

4.3 Ökologische Betrachtung

Das wichtigste Einzelkriterium zur Bewertung der Nachhaltigkeit einer Versorgungsvariante sind die CO₂-Emissionen. Abbildung 8 zeigt die spezifischen Emissionen der Varianten für verschiedene Jahre. Bei der Variante 1 sinken die Emissionen 2030 um etwa ein Drittel im Zuge der Substitution des Steinkohleanteils durch Erdgas. Da darüber hinaus kein Dekarbonisierungsplan bekannt ist, werden gleichbleibende Emissionen angenommen. Für die Varianten 2, 3 und 4 sinken die Emissionen jährlich. Dies ist die Folge von höheren Anteilen regenerativen Stroms im Strommix in kommenden Jahren. Somit dekarbonisieren sich die Varianten durch äußere Effekte weitgehend selber. Die Restemissionen in den Varianten 2 und 3 sind auf die nicht vollständige Dekarbonisierung des Stromsektors zurückzuführen. Eine vollständige Dekarbonisierung der Varianten ist nur möglich, wenn auch der bundesweite Strommix komplett emissionsfrei wird. In der Variante 4 kommen ähnliche

Effekte zu tragen wie in den Varianten 2 und 3. Zusätzlich belastet die Verbrennung des Erdgases die Bilanz. Eine weitere Dekarbonisierung der Variante 4 kann erfolgen, in dem das Erdgas zukünftig durch klimaneutrale Brennstoffe ersetzt wird. Die angesetzten Emissionskennziffern sind in Tabelle 4 im Anhang zu finden. Als Folge der des sogenannten „Osterpakets“, einem noch nicht bestätigtem Gesetzesentwurf, welcher weitreichende Anpassungen des Stromsektors vorsieht, ist damit zu rechnen, dass die Dekarbonisierung des Stromsektors schneller erfolgen könnte.

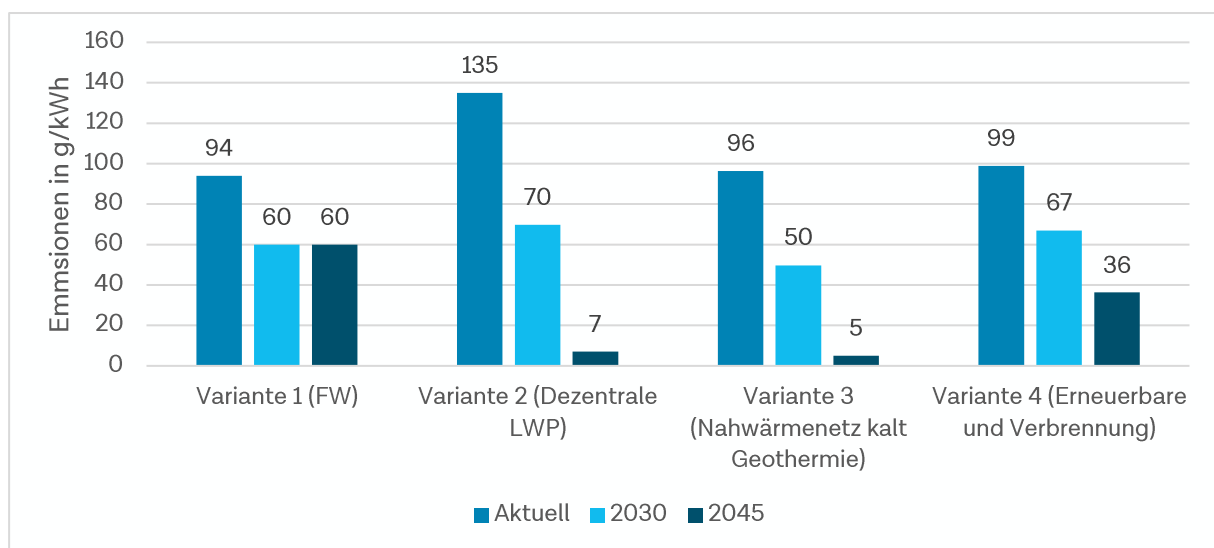


Abbildung 8 Spezifische CO₂ Emissionen

Um die Auswirkung unterschiedlicher Effizienzklassen in Kombination mit unterschiedlichen Versorgungsvarianten abzubilden, wurden die mittleren jährlichen Emissionen bei einer Betrachtung über 50 Jahre ermittelt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 9 dargestellt.

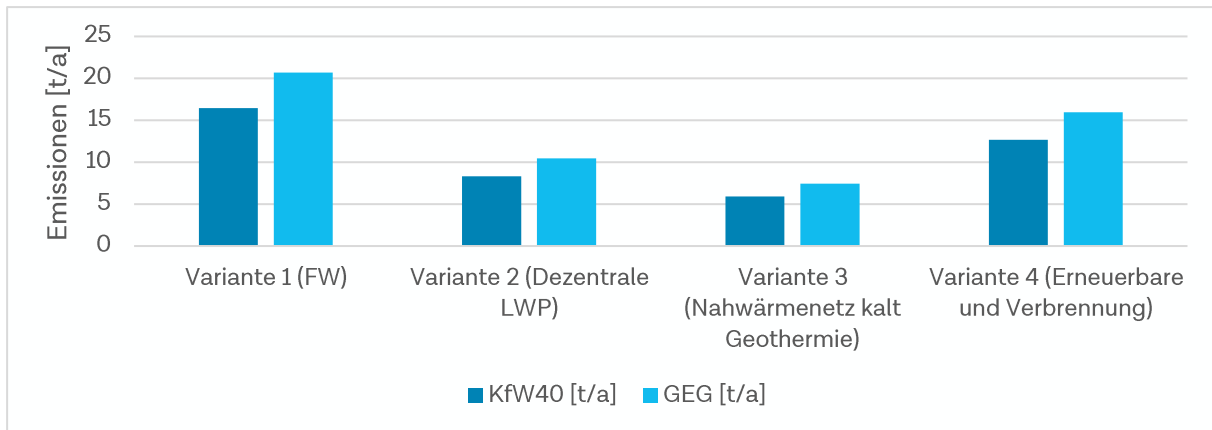


Abbildung 9 Jährliche Gesamtemissionen (Betrachtungszeitraum 50 Jahre)

4.4 Zusammenfassung der Kennzahlen

Die Kennzahlen aus den vorherigen Betrachtungen sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Zusätzlich wurde eine Bewertung vorgenommen, wie gut die Variante auf Mehr- oder Minderbedarfe reagiert. Am besten schneidet hier die Variante 2 ab, da gebäudespezifisch eine Wärmeversorgung erschlossen wird, welche auf das Gebäude abgestimmt ist. Auch die Fernwärme erweist sich als relativ flexibel, da die Wärmeerzeuger außerhalb des Quartiers stehen und stets bedarfsgenau bezogen werden kann. Die lokalen Netzvarianten schneiden schlechter ab, da hier die Wärmequellen entsprechend erschlossen werden müssen. Variante 3 schneidet noch etwas besser ab als Variante 4, da sie zumindest mit den dezentralen Wärmepumpen teilweise gebäudespezifisch ausgerüstet werden.

Außerdem wurde eine Bewertung vorgenommen, welches berücksichtigt, wie gut sich bei einer Variante die Restemissionen auf annähernd null reduzieren lassen. Ebenfalls ist der Primärenergiefaktor (PEF) der Tabelle hinzugefügt. Er gibt Auskunft über die Menge an Primärenergie die für eine bestimmte Menge Nutzenergie aufgebracht werden muss. Dieser liegt bei der Fernwärme (Eigenauskunft nach Stromgutschriftmethode) am niedrigsten, in den anderen drei Varianten auf vergleichbarem Niveau. Ferner wurde der Anteil an erneuerbarer Energie aufgeführt. Dabei wurde Wärme aus Wärmepumpen als erneuerbar bewertet, für die Fernwärme der erneuerbare Anteil gemäß Bescheinigung der Stadtwerke.

Tabelle 2 Zusammengefasste Kennzahlen der Varianten

	Variante 1 (FW)	Variante 2 (Dezentrale LWP)	Variante 3 (Nahwärmenetz kalt Geothermie)	Variante 4 (Erneuerbare und Verbrennung)
Wärmepreis, BEW inkl. Betriebsprämie	19,6 Ct/kWh	12,6 Ct/kWh	21,0 Ct/kWh	14,7 Ct/kWh
Anpassungsfähigkeit gegenüber Mehr- oder Minderbedarf	0,90	1,00	0,60	0,50
Dekarbonisierungspotenzial	0,30	1,00	1,00	0,80
Emissionen Aktuell	94 g/kWh	135 g/kWh	96 g/kWh	99 g/kWh
Emissionen 2030	60 g/kWh	70 g/kWh	50 g/kWh	67 g/kWh
Emissionen 2045	60 g/kWh	7 g/kWh	5 g/kWh	36 g/kWh
PEF	0,27	0,64	0,58	0,62
EE Anteil	35%	95%	100%	79%

4.5 Nutzwertanalyse

Um die verschiedenen Kennzahlen in einer Bewertung zusammenfließen zu lassen, wird eine Nutzwertanalyse angewendet. Dabei wird jeder Kennzahl eine maximale Punktzahl zugewiesen. Dabei entfallen auf die wirtschaftlichen Kennzahlen 50 % der Punkte, die anderen 50 % entfallen auf die ökologischen Kennzahlen. Die Variante mit dem besten Wert einer Kennzahl bekommt die volle Punktzahl, die Variante mit dem schlechtesten Wert einer Kennzahl bekommt null Punkte. Die anderen Varianten werden linear dazwischen bepunktet. Die aufsummierten Punkte geben einen Anhaltspunkt zur Bewertung der Varianten unter Berücksichtigung aller Faktoren. Die Variante mit der höchsten Punktzahl ist am besten bewertet. Die Nutzwertanalyse ist in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3 Nutzwertanalyse der Varianten

Gewichtung	Kriterium	Variante 1 (FW)	Variante 2 (Dezentrale LWP)	Variante 3 (Nahwärmenetz kalt Geothermie)	Variante 4 (Erneuerbare und Verbrennung)
40	Wärmepreis, BEW inkl. Betriebsprämie	6,64	40,00	0,00	30,00
10	Anpassungsfähigkeit gegenüber Mehr- oder Minderbedarf	8,00	10,00	2,00	0,00
5	Dekarbonisierungspotenzial	0,00	5,00	5,00	3,57
10	Emissionen Aktuell	10,00	0,00	9,44	8,81
10	Emissionen 2030	4,86	0,00	10,00	1,38
10	Emissionen 2045	0,00	9,63	10,00	4,31
5	PEF	5,00	0,00	0,81	0,27
10	EE-Anteil	0,00	9,26	10,00	6,82
100	Summe	34,50	73,89	47,25	55,16

4.6 Fazit Variantenvergleich

Es zeigt sich, dass bei einer Gewichtung von Ökologie und Ökonomie zu gleichen Anteilen die Variante mit dezentraler Luftwärmepumpen am vorteilhaftesten erscheint. Erst bei einer deutlich höheren Gewichtung von Ökologie (ab 70 % statt 50 %) erscheint die Variante 3 mit dem kalten Nahwärmenetz am vorteilhaftesten. Fernwärme und die Kombination von erneuerbarer Energie mit Verbrennung sind den anderen beiden Varianten unterlegen, egal wie Ökologie und Ökonomie zueinander gewichtet werden.

Es wird daher empfohlen, eine fossilfreie Versorgung anzustreben. Dies kann in dem betrachteten Quartier besonders gut dezentral erfolgen, beispielsweise mit Luftwärmepumpen. Die ökologischen Kennziffern sind, insbesondere bei der Betrachtung mit zukünftigem Strommix, geringfügig schlechter als in nachhaltigeren Varianten.

Die herangezogenen Vergleichskonzepte wurden vor dem Krieg in Osteuropa und dem „Osterpaket“ erstellt. Bei einer Betrachtung unter aktuelleren Rahmenparametern würden die Varianten mit



fossilem Anteil tendenziell noch schlechter abschneiden. Unter Berücksichtigung der unklaren geopolitischen Entwicklungen ist eine Variante ohne fossilen Gas-Anteil vorzuziehen. Unter Berücksichtigung einer schnelleren Dekarbonisierung des Stromsektors würden die Wärmepumpenvarianten noch besser abschneiden, die hier überschlägig ermittelten Ergebnisse würden noch deutlicher ausfallen.

5. EMPFEHLUNGEN BEBAUUNGSPLAN 206 B

Um das Ziel der Klimaneutralität möglichst schnell und zu betriebswirtschaftlich und volkswirtschaftlich vertretbaren Kosten zu erreichen, wird empfohlen, den Bebauungsplans 206 B wie folgt zu ergänzen:

- Aus Gründen der Luftreinhaltung und des Klimaschutzes werden Einzelfeuerungsanlagen, die mit Erdgas, Erdöl, sonstigen fossilen Brennstoffen oder Holz betrieben werden, gemäß Baugesetzbuch (§ 9 Abs. 1 Nr. 23 BauGB) verboten. Ausnahmen können für gelegentlich betriebene Kaminöfen gelten.
- Bei Errichtung eines Wärmenetzes ist ein Mindestanteil verbrennungsfreier Wärme von 75 % sicherzustellen. Der Wert orientiert sich am Entwurf der Förderrichtlinie für die Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW). Von der Anforderung kann abgewichen werden, wenn der Anschluss an die bestehende Fernwärme erfolgt und der Betreiber des Wärmenetzes einen Transformationsplan vorlegt, der gewährleistet, dass bis 2030 der Anteil erneuerbarer Energie im Wärmenetz mindestens 30 % beträgt und Klimaneutralität bis 2045 erreicht wird.
- Auf allen Dachflächen der neu zu errichtenden Gebäude im Geltungsbereich sind netzgebundene Anlagen zur Erzeugung von Strom aus solarer Strahlungsenergie (PV-Anlagen) zu errichten. Zwei unterschiedlich drastische Vorgaben könnten sein:
 - Solarnutzungspflicht ohne quantitative Vorgabe (entspricht Hamburger Solarnutzungspflicht ab 2023): *„Auf allen geeigneten Dachflächen sind soweit technisch möglich und wirtschaftlich vertretbar Anlagen zur Erzeugung von Strom aus solarer Strahlungsenergie zu errichten, und an das Stromnetz der allgemeinen Versorgung anzuschließen.“*
 - Erneuerbare Stromerzeugung im oder am Gebäude/Gebäudeteilen, die anteilig der Menge entspricht, welche mit Photovoltaik auf 30 % der Grundfläche erzeugt werden kann. (entsprechend dem Standard für „außergewöhnliche Leistungen“ des Umweltzeichens der Hafencity in Hamburg): *„In dem Gebiet sind Neubauten mit ortsfesten Photovoltaik-Anlagen auszustatten, deren Kollektorfläche mindestens 30 % der Dachfläche beträgt.“*



- Zur Verbesserung des Regenwassermanagements, des Mikroklimas und der Biodiversität ist eine Kombination mit Gründächern erstrebenswert.
- Wo möglich, sollte Holz als Baustoff eingesetzt werden, um CO₂ dauerhaft zu binden und der Atmosphäre zu entziehen, sowie, um die Verwendung von CO₂-intensivem Zement im Bau zu minimieren. Hier ist ggf. zu prüfen, ob dies ergänzend zum Bebauungsplan in Kaufverträgen oder bei der Grundstücksvergabe geregelt werden kann.
- Grundsätzlich ist auf eine kompakte Bauweise zu achten. Idealerweise sollten aus Sicht des Klimaschutzes freistehende Einfamilienhäuser durch Reihenhäuser oder Doppelhäuser ersetzt werden. Es sollte geprüft werden, ob ergänzend zum Bebauungsplan in Kaufverträgen oder bei der Grundstücksvergabe eine Begünstigung von Bauvorhaben mit mehr als einer Wohneinheit realisierbar ist.
- Auf Empfehlungen zur Anordnung und Ausrichtung der Baukörper kann bei flach geneigten Dächern aus Sicht der Energieversorgung verzichtet werden. Ausrichtungen und Anordnungen zur Realisierung von z.B. Frischluftschneisen können unabhängig hiervon realisiert werden. Bei Schrägdächern ist eine Ausrichtung parallel zur Nord-Süd Richtung oder parallel zur Ost-West Richtung vorzugeben. Abweichungen von bis zu 5 ° sind hierbei unproblematisch. Dadurch ist entweder eine stark bestrahlte Südseite vorhanden, oder es gibt die Möglichkeit ein Ost-West System zu realisieren.



ANHANG

Tabelle 4 angesetzte Emissionskennziffern

Jahr / Energieträger	Strom	Erdgas
2020	366 g/kWh	201 g/kWh
2030	182 g/kWh	201 g/kWh
2045	19 g/kWh	201 g/kWh



ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1 Luftwärmepotenzial am Beispiel des Quartiers mit KfW Standard.....	7
Abbildung 2 Bebauungsfreie Vorgartenzone zur Erschließung mit Erdsonden.....	8
Abbildung 3 Agrarflächen im Einzugsbereich des Quartiers.....	9
Abbildung 4 Anteil der Wärmeerzeuger an der Wärmemenge.....	13
Abbildung 5 Investitionen je Versorgungsvariante.....	14
Abbildung 6 Jährliche Kosten.....	15
Abbildung 7 Wärmepreise	16
Abbildung 8 Spezifische CO ₂ Emissionen.....	17
Abbildung 9 Jährliche Gesamtemissionen (Betrachtungszeitraum 50 Jahre).....	18



TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1 Energiebilanz	5
Tabelle 2 Zusammengefasste Kennzahlen der Varianten	19
Tabelle 3 Nutzwertanalyse der Varianten	20
Tabelle 4 angesetzte Emissionskennziffern	23



KONTAKT

[Philipp Widera](#)

Averdung Ingenieure & Berater GmbH
Planckstraße 13
22765 Hamburg

Tel.: +49 40 771 85 01 -62
philipp.widera@averdung.de
www.averdung.de