Energiekonzept zum Bebauungsplan „Quartier am Bürgerhaus“ in Mainz Kostheim

Eine Studie der:

TSB Transferstelle Bingen in der iTB gGmbH

GWW – Energiekonzept Quartier am Bürgerhaus Mainz-Kostheim

Energiekonzept
Quartier am Bürgerhaus - Mainz Kostheim

Auftraggeber:

GWW Wiesbadener Wohnbaugesellschaft mbH z.Hd. Alexander Harff Kronprinzenstr. 28 65185 Wiesbaden	Telefon: 0611-1700329 Mail: a.harff@gww-wiesbaden.de

Konzepterstellung:

Transferstelle Bingen (TSB) in der ITB gGmbH Berlinstraße 107a 55411 Bingen	Telefon: 06721 / 98 424 0

TSB-Projektnummer: 359605	**Datum: 18.12.2020**

Projektleitung:

Babett Hanke	Telefon: 06721 / 98 424 0 hanke@tsb-energie.de

Bearbeitung:

Joachim Walter, Babett Hanke, Kerstin Kriebs, Tanja Reichling

Transferstelle für Rationelle und Regenerative Energienutzung • Berlinstr. 107a • 55411 Bingen

im

iTB - Institut für Innovation, Transfer und Beratung gGmbH

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis **4**
Tabellenverzeichnis **5**
1 Zusammenfassung **6**
2 Bedarfsanalyse **11**
2.1 Wärmebedarf 11
2.2 Kühlbedarf 12
2.3 Mobilität 13
2.4 Anforderung des Gebäudeenergiegesetz 2020 15
3 Technisches Konzept **16**
3.1 Standardvariante: Erdgasbrennwerttherme, Solarthermie und dezentrale Photovoltaik 16
3.2 Variante 1: Warme Nahwärme durch ein Biomethan BHKW und ein Gas-Brennwertgerät 18
3.3 Variante 2: Kalte Nahwärme mit dezentralen Sole/Wasser-Wärmepumpen und Photovoltaikanlage zur anteiligen Stromversorgung 20
4 Energiebilanz **27**
5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung **29**
5.1 Bestimmung der spez. Stromgestehungskosten der Photovoltaikanlagen 33
5.2 Bestimmung der Netzkosten der kalten Nahwärme 35
5.3 Variantenvergleich der Vollkosten zur Wärmeversorgung und Fußbodentemperierung der Neubauten 35
6 CO_2e-Emissionsbilanz **41**
Literaturverzeichnis **45**
Abkürzungsverzeichnis **47**

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1 Lage des Quartiers 6

Abbildung 1-2 CO_2e-Emissionsbilanz für das Quartier ohne und mit Bürgerhaus 9

Abbildung 3-1 Anlagenschema zur kalten Nahwärme mit zentralem Erdwärmesondenfeld (Prof. Giel, 2017) 20

Abbildung 3-2 Verlegung von horizontalen (links) und vertikalen (rechts) Agrokollektoren (Quelle: Steinhäuser GmbH & Co. KG) 21

Abbildung 3-3 Schematische Darstellung zu Erdwärmekörben (Quelle: Noventec GmbH) 22

Abbildung 3-4 Auszug aus der Erdwärmesonden-Standortbewertung Hessen (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, 2016) 23

Abbildung 3-5 Übersicht zu den Bodentemperaturen (LIAG, 2020) 24

Abbildung 3-6 Auszug zur Wärmeleitfähigkeit von Böden (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, 2020) 25

Abbildung 3-7 Variante Kalte Nahwärmeversorgung ohne Bürgerhaus, 128 Geothermiebohrungen 26

Abbildung 3-8 Variante Kalte Nahwärmeversorgung mit Bürgerhaus, 180 Geothermiebohrungen 26

Abbildung 6-1 Vergleich CO2-Emissionen mit Bürgerhaus; 100 % Biomethan 43

Abbildung 6-2 Vergleich CO2-Emissionen ohne Bürgerhaus; 100 % Biomethan 43

Abbildung 6-3 Vergleich CO2-Emissionen mit Bürgerhaus; 50 % Biomethan 44

Abbildung 6-4 Vergleich CO2-Emissionen ohne Bürgerhaus; 50 % Biomethan 44

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1 Energiebilanzen nach Varianten 8

Tabelle 2-1 Abschätzen des Wärmebedarfs des Quartiers für das Klimaschutzszenario 11

Tabelle 2-2 Abschätzen des Wärmebedarfs des Quartiers nach ENEV 12

Tabelle 2-3 Energiebedarfsabschätzung Kühlung 13

Tabelle 2-4 Kennzahlen Energiebedarfsabschätzung Ladestrom E-Mobilität in der Mobilitätsstation 14

Tabelle 2-5 Energiebedarfsabschätzung Ladestrom E-Mobilität in der Mobilitätsstation 14

Tabelle 3-1 Energiebilanz mit Erdgasbrennwertheizung Solarthermie und PV-Anlage 17

Tabelle 3-2 Energiebilanz – „warme" Nahwärme 19

Tabelle 3-3 Energiebilanz kalte Nahwärme 20

Tabelle 4-1 Energiebilanzen mit Bürgerhaus inkl. unterschiedlicher Dämmstandards 27

Tabelle 4-2 Energiebilanzen ohne Bürgerhaus inkl. unterschiedlicher Dämmstandards 28

Tabelle 5-1 spez. Stromgestehungskosten der Photovoltaikanlagen für die Eigenstromversorgung der Wärmepumpen (Variante 2) und Hilfsenergie Brennwerttherme (Standardvariante) 33

Tabelle 5-2 spez. Stromgestehungskosten der Photovoltaikanlagen für die Ladestromversorgung der E-Mobilität in der Mobi-Station 34

Tabelle 5-3 Abschätzung der Investitionskosten kalte Nahwärmevariante inkl. Planung 35

Tabelle 5-4 Gegenüberstellung der Wirtschaftlichkeit der Varianten ohne Bürgerhaus mit 100% Biomethanversorgung in Variante 1 36

Tabelle 5-5 Gegenüberstellung der Wirtschaftlichkeit der Varianten ohne Bürgerhaus mit maximaler Förderung und anteiliger Biomethannutzung von 50 % 37

Tabelle 5-6 Gegenüberstellung der Wirtschaftlichkeit der Varianten mit Bürgerhaus mit 100% Biomethanversorgung in Variante 1 38

Tabelle 5-7 Gegenüberstellung der Wirtschaftlichkeit der Varianten mit Bürgerhaus mit maximaler Förderung und anteiliger Biomethannutzung von 50 % 39

Tabelle 6-1 CO_2e-Emissionsbilanz für das Quartier mit Bürgerhaus 41

Tabelle 6-2 CO_2e-Emissionsbilanz für das Quartier ohne Bürgerhaus 42

1 Zusammenfassung

Es wird in Mainz-Kostheim, auf dem Gebiet der Landeshauptstadt Wiesbaden, ein neues Wohnquartier entwickelt, das für bis zu 250 Wohneinheiten in Mehrfamilienhäusern mit Gewerbenutzung gedacht ist und direkt neben dem geplanten Bürgerhaus entstehen soll (Abbildung 1-1).

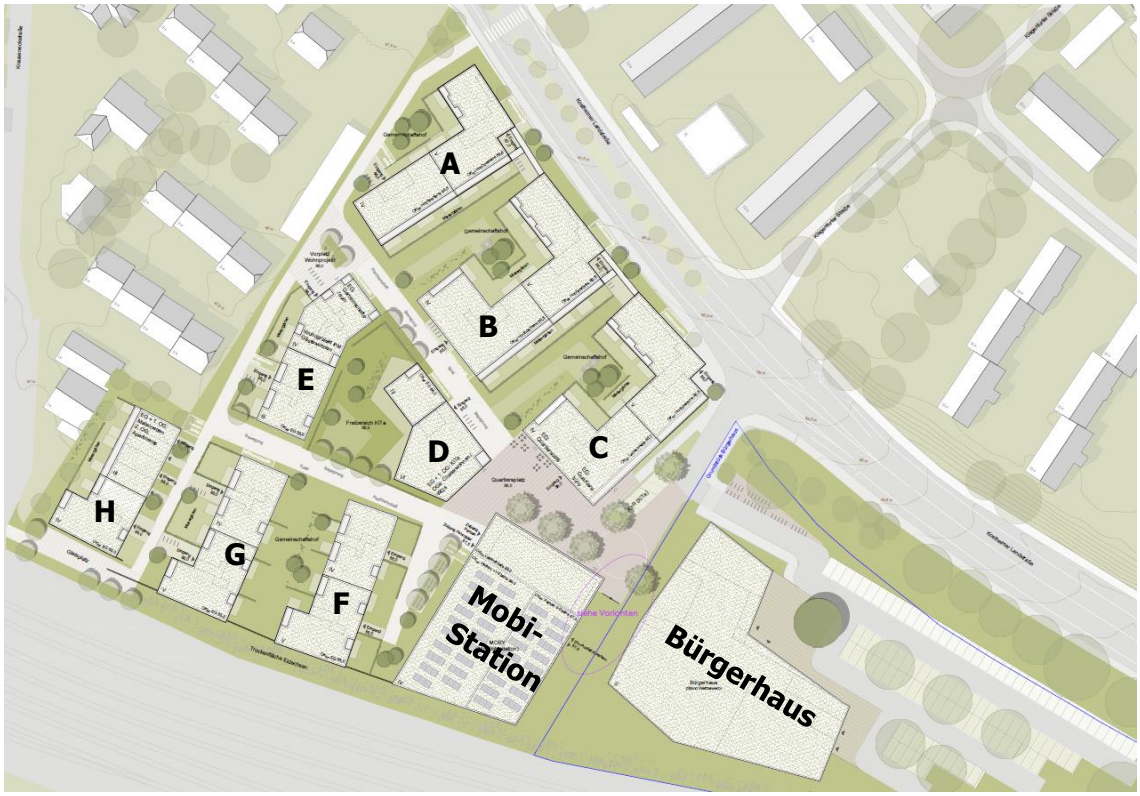

Abbildung 1-1 Lage des Quartiers

Es erfolgte eine Untersuchung der energetischen Gestaltung des Quartiers mit einem Vergleich möglicher Varianten im frühen Planungsstadium, um die geeigneten Vorgaben im Bebauungsplan zu verankern und in den Planungsprozess der Objekte einzubringen. Als Vorgabe für das Energiekonzept liegt vom Stadtplanungsamt und Umweltamt die Anforderung an Energiekonzepte für (Wohn-) Quartiere der Stadt Wiesbaden vor. Es sind Aussagen zum geplanten Quartier und die Beschreibung der energetischen Situation mit den Versorgungsvarianten vorzulegen, zudem ist eine Beschreibung und wirtschaftliche und ökologische Bewertung der Varianten mit Ausarbeitung von zwei Szenarien: Standard und Klimaschutz auszuarbeiten.

Der gesetzliche Rahmen gibt Vorgaben zur Energieeffizienz (EnEV) und verpflichtet zur Nutzung erneuerbarer Energien für die Wärmeerzeugung (EEWärmeG) für Neubauten. Die zu Beginn der Planung geltende Energieeinsparverordnung und das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz wurde zum 1. November 2020 vom Gebäudeenergiegesetz (GEG) abgelöst. In einer engmaschigen Bebauung wie im genannten Quartier führt dies zu einer vergleichsweise hohen Heizenergiedichte. Mit dem Ziel, das Quartier möglichst klimaneutral zu gestalten, wurden folgende Varianten zur Energieversorgung gegenübergestellt, die im Vergleich zu einer dezentralen Standard- oder Basisvariante bewertet werden:

- Standard- oder Basisvariante nach ENEV und EEWärmeG

  In Verbindung mit Erdgasbrennwerttherme mit Solarthermie und dezentraler Photovoltaik

Klimaschutzszenarien: Planungsvarianten zur zentralen Wärmeversorgung; Gebäudehülle in beiden Varianten nach KFW 55-Standard (MFH) und Passivhausstandard (nur Bürgerhaus)

- Variante 1
  zentrale Wärmeversorgung in einem „warmen" Nahwärmenetz mit BHKW und Spitzenlastkessel (Erdgas/Biomethanversorgung)
- Variante 2
  kalte Nahwärme mit dezentralen Sole-/Wasser-Wärmepumpen (S/W-WP) und Photovoltaikanlage zur anteiligen Eigenstromversorgung, Wärmequelle Erdwärme

Photovoltaikanlagen sind für eine Eigenstromversorgung von Wärmepumpen grundsätzlich sinnvoll. Solarstrom verspricht einen ökonomischen und ökologischen Wärmepumpenbetrieb in Variante 2. Für die Photovoltaikanlage wurde definiert, dass der Solarstrom vorrangig für den Wärmepumpenbetrieb und nicht für den Haushaltsstrom genutzt wird, da es sich in dieser Betrachtung nicht um ein Allgemeinstromkonzept handelt. Zudem ist eine Bewertung von zusätzlichen Photovoltaikanlagen für eine E-Mobilitätsnutzung mit Ladesäulen in der Mobilitätsstation erfolgt.

Der abgeschätzte Wärmebedarf ist die Grundlage für die Dimensionierung der wesentlichen Komponenten der Versorgungsvarianten. In Verbindung mit dem jeweiligen technischen Konzept der Untersuchungsvarianten leitet sich daraus die Energiebilanz für das betrachtete Quartier mit und ohne Bürgerhaus ab, welches zusammenfassend in

Tabelle 1-1 dargestellt ist.

Tabelle 1-1 Energiebilanzen nach Varianten

Energiebilanz			Wohnbebauung mit Gewerbe	Bürgerhaus	Summe/Bürgerhaus
Standardvariante	Wärmeleistung	kW_{th}	1.225	449	1.673
	Jahreswärmebedarf	kWh_{th}/a	2.419.300	282.413	2.701.713
Variante 1 warme Nahwärme	Wärmeleistung	kW_{th}	1.093	449	1.543
	Jahreswärmebedarf	kWh_{th}/a	1.067.500	292.400	1.360.000
Variante 2 kalte Nahwärme	Wärmeleistung	kW_{th}	1.305	538	1.843
	Jahreswärmebedarf	kWh_{th}/a	1.016.500	278.500	1.295.000

Zur Erschließung der Erdwärme in Variante 2 wurde ein zentrales Erdwärmesondenfeld zu Grunde gelegt, das den geringsten Flächenbedarf der genannten Technologien beansprucht und von dem die größeren, positiven Effekte der passiven Temperierung erwartet werden. Dies ergibt ein Sondenanzahl von 128 Erdwärmesonden bei der Betrachtung ohne Bürgerhaus und 180 Erdwärmesonden mit Bürgerhaus.

Um eine passive Temperierung der Gebäude im Sommer zu ermöglichen werden eine Fußbodenheizung mit Taupunktwächter und eine passive Kühlstation, die die Sole/Wasser-Wärmepumpe ergänzt, empfohlen. Ein großer Vorteil der passiven Temperierung ist, dass abhängig von der Geologie die Temperatur des Erdreichs eine gewisse Regenerierung erfährt und somit die Energieeffizienz des Gesamtsystems steigert.

Je nach gewähltem Geschäftsmodell kann sich die Förderfähigkeit einer kalten Nahwärme unterscheiden. In den Berechnungen wurde angenommen, dass ein Betreiber alles einschließlich der Wärmepumpen betreibt und somit eine Förderung über BAFA Wärmenetzsysteme 4.0 möglich ist. Demnach würde ein Betreiber die Wärmelieferung mit den Abnehmern abrechnen. Der Betreiber kann die GWW sein und zusätzlich einen Unterauftrag zur Wartung und Abrechnung an externe Dienstleister ausstellen. Eine zusätzliche Förderung über den ESWE Innovationsfond ist unter Auflagen und in begrenztem Umfang ebenso zusätzlich möglich.

Zur ökologischen Bewertung der Wärmeversorgungsvarianten wurde eine CO_2e-Emissionsbilanz erstellt. Die Sole/Wasser-Wärmepumpen liegen aufgrund Effizienz, der PV-Eigennutzung und dem Ökostromrestbezug bei 0 t/a CO2e-Emissionen und sind somit die klimafreundlichste

Variante der Versorgung. Die kalte Nahwärmeversorgung erreicht mit einem Biomethan-BHKW zur Wärmeversorgung eine nur um 70 % niedrigere Treibhausgasemission als die Standardvariante. In allen Varianten ist berücksichtigt, dass deren Stromverbrauch anteilig mit selbst erzeugtem Solarstrom gedeckt wird und Ökostrom aus Netzbezug verwendet wird.

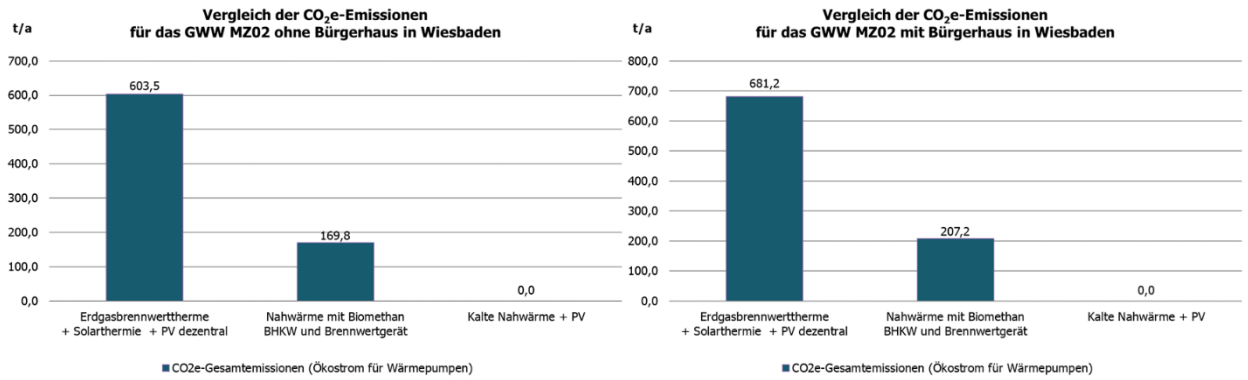

Abbildung 1-2 CO_2e-Emissionsbilanz für das Quartier ohne und mit Bürgerhaus

Die Daten der Energiebilanz sowie weitere wirtschaftliche Rahmenbedingungen flossen in den Jahreskostenvergleich und die Wärmegestehungspreisberechnung der Wärmeversorgungsvarianten ein. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erfolgte angelehnt an die VDI-Richtlinie 2067. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ohne Bürgerhaus ergibt ein ähnliches Bild wie die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit Bürgerhaus.

Aufgrund der höheren Investitionskosten für das Verteilnetz bzw. die Erdsonden liegt die kalte Nahwärmevariante **ohne** Bürgerhaus im Wärmegestehungspreis mit 16 Ct/kWh$_{th}$ höher als die Standardvariante mit Erdgasbrennwertgeräten und EnEV-Ansatz (11,9 Ct/kWh$_{th}$), aber niedriger als die warme Nahwärme mit 20,8 Ct/kWh$_{th.}$ Der Wärmegestehungspreis würde bei der Standardvariante, bei gleichem Jahreswärmebedarf nach KFW 55 und Passivhausstand wie in Variante 1 und 2, doppelt so hoch liegen. Die warme Nahwärme weist die niedrigsten Investitionskosten auf, aber die Verbrauchskosten sind hier entscheidend. Es variieren die Verbrauchskosten je nach Brennstoffeinsatz, für die Wirtschaftlichkeit unter Beachtung der Fördermöglichkeit ist die Biomethanquote ausschlaggebend. Es können bei Reduzierung des Biomethananteils auf 50% die Wärmegestehungspreise um 3-4 Ct/kWh$_{th}$ reduziert werden.

Fazit:

Aus wirtschaftlicher Sicht ist zu geringen Mehrkosten die kalte Nahwärme in Bezug auf die Mehrfamilienhäuser zu bevorzugen. Eine kostengünstige Gebäudetemperierung als zusätzlicher Nutzen einer kalten Nahwärmeversorgung in Verbindung mit einer Fußbodenheizung ist ein zusätzlicher Vorteil für die Gebäudeeigentümer. Sole/Wasser-Wärmepumpen in Verbindung mit Erdsonden haben gegenüber der warmen Nahwärme den Vorteil, dass sie keine Luftmissionen im Quartier verursachen und wegen ihrer höheren Energieeffizienz weniger CO_2e-Emissionen aufweisen. Zudem sollten zusätzlich Photovoltaikanlagen zur Solarstromversorgung des

Wärmepumpenbetriebs einbezogen werden, welches eine bilanzielle Klimaneutralität bei der Wärmeversorgung mit kalter Nahwärme herstellt. In Verbindung mit nur geringen Mehrkosten, dem MehrNUTZEN der sommerlichen Temperierung, der effizienteren Gebäudehülle und der Klimaneutralität wird die Umsetzung der KfW55-Gebäudehüllen und kalter Nahwärmeversorgung empfohlen.

Zusätzlich bietet sich noch auf den Dächern Platz für weitere Photovoltaikanlagen zur Ladestromversorgung der E-Mobilität in der Mobi-Station.

Ein wesentlicher Punkt für die Wirtschaftlichkeit ist die Förderfähigkeit für das Bundesförderprogramm Wärmenetzsysteme 4.0. Hier muss die GWW hinsichtlich der Förderfähigkeit klären, ob von der Erfüllung der Kriterien der besonderen Innovativität realistisch auszugehen ist. Zudem ist ein zeitnahes Herangehen an den ESWE Innovationsfond zu befürworten. Zudem ist auf weitere geplante Bundesförderprogramme hinsichtlich Wärmeförderung zu achten.

Nach den vorliegenden Vorgaben und Berechnungen empfehlen wir eine getrennte Versorgung von Bürgerhaus und den Mehrfamilienhäusern im Quartier. Dem Bürgerhaus liegt bereits eine detaillierte Planung nach Grundlast und Spitzenlast zugrunde, welche in Form der Wärme- und Kälteleistung mit eingeflossen ist.

Der Bebauungsplan muss ermöglichen, dass Erdwärme mit Sondenbohrungen auch unter den Gebäuden, die Photovoltaikanlagen auf den Flachdächern, eine getrennte Versorgung der Gebäude im Quartier erlaubt sein sollten und kein Anschluss- und Benutzungszwang notwendig ist.

2 Bedarfsanalyse

2.1 Wärmebedarf

Die Abschätzung des Wärmebedarfs basiert auf den städtebaulichen Planungen und Wettbewerbsergebnissen zu den Mehrfamilienhäusern (MFH) vom April 2020, Plänen zum Bürgerhaus vom August 2020 und den Abstimmungsgesprächen mit den Projektpartnern vom 25. Juni 2020 und vom 18. September 2020. Die Bebauung soll aus acht Mehrfamilienhäusern mit Flachdach für bis zu 250 Wohneinheiten bestehen. Zudem ist eine zentrale Mobilitätsstation mit Parkflächen, eine Kita sowie Gewerbenutzung in einzelnen Häusern direkt neben dem geplanten Bürgerhaus mit Veranstaltungs- und Geschäftsräumen angedacht. Die anzusetzenden Wohnflächen wurden den Wettbewerbsvorgaben entnommen.

Als Anforderungen an die energetische Qualität der Neubauten wurden seitens der GWW und Stadt KfW-Effizienzhäuser 55 für die MFH und Passivhausstandard für das Bürgerhaus festgesetzt. Außerdem wird zu Grunde gelegt, dass das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz bzw. GEG eingehalten wird. Hierauf beruht die Abschätzung des Wärmebedarfs für die MFH. Eine Abweichung in der Wärmeleistung ergibt sich beim Bürgerhaus aus der Vorplanung von HPS Hain GmbH aufgrund der Anforderungen an die Nutzung (siehe Tabelle 2-1). Der Jahreswärmebedarf vom Bürgerhaus basiert auf der Wärmeleistung und angenommenen Vollbenutzungsstunden (Kennzahlenbasiert). Diese Planungswerte gehen als Zielwerte in das Klimaschutzszenario ein.

Tabelle 2-1 Abschätzen des Wärmebedarfs des Quartiers für das Klimaschutzszenario

Gebäudetyp	Wohnungsanzahl	Wohnfläche m²	Gewerbefläche m²	Jahreswärmebedarf kWh_{th}/a	Wärmeleistung kWh_{th}
WA A MFH	32	2.433	0	131.900	141
WA B MFH	45	3.548	0	192.300	196
WA C MFH	41	3.208	1.137	218.500	206
WA D MFH	18	813	699	73.300	89
WA E MFH	24	1.529	0	82.900	102
WA F/G MFH	32*2	2.117*2	0	114.800*2	134*2
WA H MFH	14	1496	0	81.000	81
Mobi-Station	0	0	179	7.000	4
Bürgerhaus	1	105	2.664	(278.500)	449
Summe ohne BH	**238**	**17.261**	**2.015**	**1.016.500**	**1.087**
Summe mit BH	**239**	**17.366**	**4.679**	**1.295.000**	**1.536**

Zur Berechnung des Standardszenarios wurde der Wärmebedarf nach ENEV angesetzt. Eine Ausnahme bildet wieder das Bürgerhaus (Tabelle 2-2).

Tabelle 2-2 Abschätzen des Wärmebedarfs des Quartiers nach ENEV

Gebäudetyp	Wohnungsanzahl	Wohnfläche m²	Gewerbefläche m²	Jahreswärmebedarf kWh_{th}/a	Wärmeleistung kWh_{th}
WA A MFH	32	2.433	0	318.500	178
WA B MFH	45	3.548	0	464.500	249
WA C MFH	41	3.208	1.137	509.100	271
WA D MFH	18	813	699	163.100	105
WA E MFH	24	1.529	0	200.200	125
WA F/G MFH	32*2	2.117*2	0	277.100	186
WA H MFH	14	1496	0	195.900	103
Mobi-Station	0	0	179	14.000	7
Bürgerhaus	1	105	2.664	282.500	449
Summe ohne BH	**238**	**17.261**	**2.015**	**2.419.300**	**1.411**
Summe mit BH	**239**	**17.366**	**4.679**	**2.641.900**	**1.860**

2.2 Kühlbedarf

Im Sommer liegen die Temperaturen des Erdreichs und des Grundwassers in der Regel deutlich unter der Temperatur in Wohnräumen. Diesen Temperaturunterschied macht sich die passive Kühlung zunutze. Eine Wärmeversorgung basierend auf Erdwärmesonden ermöglicht als zusätzlichen Nutzen eine passive Kühlung oder auch Temperierung genannt der Gebäude. Voraussetzungen sind, dass eine Fußbodenheizung mit Taupunktwächter vorhanden ist und eine passive Kühlstation zusätzlich zu einer Sole/Wasser-Wärmepumpe installiert ist. Viele Hersteller bieten für ihre Wärmepumpen passende passive Kühlstationen an. Der Stromverbrauch ist dabei sehr gering. Die Kühlstation umgeht die Wärmepumpe, das Wasser aus dem Verteilsystem fließt über einen Plattenwärmetauscher, wird durch Erdwärme (Geothermie) gekühlt und wieder ins Gebäude geleitet. So wird die Innenraumluft um 2 bis 3 °C abgesenkt. Da der Verdichter in diesem Falle nicht in Betrieb ist, spricht man von „passiver" Kühlung, nicht aktiver Kühlung. Da sich allerdings sowohl Erdreich als auch Grundwasser im Laufe des Sommers aufwärmen, nimmt die Leistung der passiven Kühlung ab. Zudem erfolgt die Kühlung deutlich langsamer als bei der aktiven Variante. Eine passive Temperierung ist nicht mit Klimakälte vergleichbar, die z.

B. ein Klimasplitgerät bereitstellt. Insgesamt regeneriert der Wärmeeintrag im Sommer die geothermische Wärmequelle für den Winterlichen Wärmeentzug, welches somit die Energieeffizienz des Gesamtsystems steigert. Wegen der höheren Wärmequellentemperatur erzielen die Sole/Wasser-Wärmepumpen eine höhere Effizienz und verbrauchen weniger Strom als bspw. Luft/Wasser-Wärmepumpen.

Es besteht im Projekt die Möglichkeit einer passiven Temperierung der Neubauten über eine Fußbodenheizung, indem die Wärme über das kalte Nahwärmenetz im Sommer in das Erdreich abgeführt wird. Angenommen wurde eine spez. Wärmeleistungsabfuhr der Flächenheizung von 25 W_{th}/m^2 und Vollbenutzungsstunden einer Temperierung von ca. 800 h/a. Es ergeben sich folgende in Tabelle 2-3 errechnete passive Kühlbedarfe. Der Kühlbedarf beim Bürgerhaus ergibt sich aus der Vorplanung von HPS Hain GmbH aufgrund der Anforderungen an die Nutzung.

Tabelle 2-3 Energiebedarfsabschätzung Kühlung

Gebäudetyp	Kühlbedarf kWh_{th}/a	Kühlleistung kWh_{th}
WA A MFH	48.700	61
WA B MFH	71.000	89
WA C MFH	86.900	109
WA D MFH	30.300	38
WA E MFH	30.600	38
WA F/G MFH	2*42.400	2*53
WA H MFH	29.900	38
Mobi-Station	3.600	5
Bürgerhaus	(153.700)	(192)
Summe ohne BH	385.500	482
Summe mit BH	539.200	674

2.3 Mobilität

Im Quartier soll eine zentrale Mobilitätsstation vorgesehen werden. Dort soll das Parken für die Anwohner und Beschäftigten realisiert werden. Zudem soll die Elektromobilität vorangetrieben werden. Dementsprechend erfolgt eine Energiebedarfsabschätzung für den Ladestrom von privaten und halböffentlichen Ladesäulen für E-Mobile.

Die Abschätzung erfolgt für das Wohnquartier und das Bürgerhaus getrennt nach den Bewohnern der Mehrfamilienhäuser und den Beschäftigten des ansässigen Gewerbes. Die Kennwerte aus Tabelle 2-4 ergeben sich aus der vorliegenden Verkehrsuntersuchung (VU) zum Stadtquartier Bürgerhaus.

Tabelle 2-4 Kennzahlen Energiebedarfsabschätzung Ladestrom E-Mobilität in der Mobilitätsstation

Gebäudetyp	Bewohner Wohnbebauung	Beschäftigte Gewerbe	Beschäftigte Bürgerhaus
Anzahl EW/WE bzw. Beschäftigte/Besucher	2	23	15
MIV-Anteil EW/Besucher %	60	60	60
E-Mob Vollelektrisch %	10	10	10
E-Mob Hybrid %	10	10	10
Strombedarf Vollelektrisch kWh/ KfZ	55	55	55
Strombedarf Hybrid kWh/KfZ	8	8	8
Ø Ladungen Vollelektrisch	52	52	52
Ø Ladungen Hybrid	351	351	-

Ausgehend aus den Kennwerten ergeben sich die in Tabelle 2-5 ergebenden Lade-Strombedarfe von 175.500 kWh/a mit dem Bürgerhaus und 173.800 kWh/a ohne Bürgerhaus.

Tabelle 2-5 Energiebedarfsabschätzung Ladestrom E-Mobilität in der Mobilitätsstation

Gebäudetyp	Bewohner Wohnbebauung	Beschäftigte Gewerbe	Beschäftigte Bürgerhaus	Summe mit Bürgerhaus
Anzahl EW/Bes	441	23	15	479
MIV-Anteil EW/Bes	264	17	9	290
E-Mob Vollelektrisch	26	2	2	30
E-Mob Hybrid	26	2	0	28
Strombedarf Vollelektrisch kWh/KfZ/a	3.190	2.900	930	6.900
Strombedarf Hybrid kWh/KfZ/a	3.130	1.900	0	5.000
Strombedarf Gesamt pro Jahr kWh/a	164.400	9.500	1.700	175.500

Zusätzlich ergibt sich ein Lade-Strombedarf bei Veranstaltungen im Bürgerhaus Bei geschätzten 300 Besuchern pro Veranstaltung ergibt sich ein Anteil von 60 E-Mobilen, welche bei Teilladung einen Bedarf von 25.000 kWh/a aufweisen. Dort liegt aber eine sehr hohe Varianz. Es wird vorgeschlagen die Besucherparkplätze mit öffentlichen Ladesäulen eines externen Anbieters auszustatten.

2.4 Anforderung des Gebäudeenergiegesetz 2020

Am 1.11.2020 ist das neue Gebäudeenergiegesetz (GEG), ein Zusammenschluss aus dem Energieeinspargesetz (EnEG), der Energieeinsparverordnung (EnEV) und dem Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG), in Kraft getreten.

Das GEG verpflichtet den Bauherrn bei Neubauten, mindestens eine Form Erneuerbarer Energie zur Deckung des Wärme- und Kältebedarfs zu nutzen. Dies kann künftig auch über gebäudenah erzeugten Strom aus Erneuerbaren Energien erfüllt werden, solange der Deckungsanteil des Wärme– und Kältebedarfs mindestens 15 % beträgt. (Landesenergieagentur RLP, 2020) Bei der Nutzung von Biomethan in einem Brennwertkessel muss der Deckungsanteil des Wärme- und Kältebedarfs mindestens 50 % betragen. Bei der Verwendung einer KWK-Anlage wäre eine Deckungsanteil von mindestens 30 % ausreichend.

Der Grundsatz bei der Planung und dem Bau von Neubauten ist die Errichtung als Niedrigenergiegebäude, definiert nach § 10 GEG. Bei Nutzung von Geothermie und Umweltwärme sind die Bedingungen aus § 10 Abs. 2 Nr. 3 erfüllt, wenn der Wärme- und Kälteenergiebedarf zu mindestens 50 % aus den elektrisch oder mit fossilen Brennstoffen angetriebenen Wärmepumpen technisch nutzbar gemacht wird. Bei Nutzung einer Sole-Wasser-Wärmepumpe muss diese mindestens die in DIN V 18599-5:2018-09 Anh. C.1 Tab. 63 angegebenen Leistungszahlen aufweisen. (Beuth Verlag, 2018)

Zur Wärmeversorgung des gesamten Quartieres in Mainz-Kostheim wird eine Wärmemenge von rund 1.295.000 kWh_{th}/a (ca. 1.016.000 kWh_{th}/a ohne Bürgerhaus) benötigt. Mit den Sole-/Wasser-Wärmepumpen (vgl. Kapitel 4) und die Soletemperierung über die Geothermie trägt die Geothermie als erneuerbare Energie zu etwa 80 % zur Wärmeversorgung bei. Durch die Jahresarbeitszahl 4,6 der Sole-/Wasser-Wärmepumpen muss der Anteil von etwa 281.430 kWh_{th}/a (220.960 kWh_{th}/a ohne Bürgerhaus) der kalten Nahwärmeversorgung nur noch über Strom erzeugt werden. Daher sollten die Wärmepumpen in den Neubauten anteilig mit Solarstrom einer Photovoltaikanlage auf den Neubauten betrieben und für den verbleibenden Strombedarf zertifizierter Grünstrom bezogen werden, ist eine Stromversorgung der Wärmepumpen zu 100 % aus erneuerbaren Energien möglich. Demnach sind die Anforderungen des Anhangs sowohl für die Geothermie als auch für die Fernwärme im Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz eingehalten.

3 Technisches Konzept

Die GWW Wiesbadener Wohnbaugesellschaft mbH möchte in dem Energiekonzept des Quartieres in Mainz-Kostheim den Klimaschutz besonders berücksichtigen, was im Bebauungsplan sowie in städtebaulichen Verträgen geregelt werden kann.

Alle untersuchten Varianten erfüllen die im Gebäude-Energie-Gesetz genannten Anforderungen. Die wesentlichen Komponenten in den Wärmeversorgungsvarianten werden im Folgenden kurz beschrieben. Die Trinkwassererwärmung wurde zum besseren Vergleich in allen drei Varianten als zentrale Trinkwassererwärmung berechnet.

Unabhängig von der Art der Wärmpumpe in der variante Kalte Nahwärme empfiehlt es sich, in den Mehrfamilienhäusern für jede Wohnung eine Wohnungsstation bestehend aus einem Fußbodenheizkreisverteiler und einer dezentralen Trinkwassererwärmung im Durchlaufverfahren vorzusehen. Damit werden nicht so hohe Vorlauftemperaturen benötigt, wie es bei einer zentralen Trinkwassererwärmung der Fall ist, und die Wärmepumpe kann effizienter betrieben werden.

3.1 Standardvariante: Erdgasbrennwerttherme, Solarthermie und dezentrale Photovoltaik

In dieser Variante wird davon ausgegangen, dass jedes Gebäude mit einer Erdgasbrennwerttherme zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung ausgestattet wird, die um eine Solarthermieanlage zur Spitzen- und Reservelastabdeckung ergänzt ist. Außerdem wird zur anteiligen Eigenversorgung mit Hilfsenergie auf der Mobi-Station und des Bürgerhauses eine aufgeständerte Photovoltaikanlage berücksichtigt. Die Solaranlagen sind jeweils entsprechend der Flachdachfläche ausgelegt. Die Flachdächer der Wohngebäude werden für die solarthermischen Anlagen genutzt. Nach dieser Dimensionierung kann der Hilfsenergiestromverbrauch etwa 100 % mit Solarstrom gedeckt werden.

Für die Standardvariante wurde die Annahme getroffen, dass der Solarstrom vorrangig für Hilfsenergie der Brennwerttherme und nicht für den Haushaltsstrom genutzt wird, da es sich in dieser Betrachtung nicht um ein Allgemeinstromkonzept handelt. Die verbleibende Solarstrommenge kann für weitere Eigenstromverbraucher des Betreibers genutzt und der Überschuss in das öffentliche Stromnetz eingespeist werden.

Zur aktiven Kühlung müsste bspw. in jedem Gebäude ein Klimasplitgerät installiert werden, da die Technologien dieser Variante nur für die Wärmeversorgung ausgelegt sind. In der Betrachtung ist hier die Investition für Klimageräte nicht enthalten.

Tabelle 3-1 Energiebilanz mit Erdgasbrennwertheizung Solarthermie und PV-Anlage

Energiebilanz		Wohnbebauung mit Gewerbe	Bürgerhaus	Summe mit Bürgerhaus
Wärmeleistung	kW_{th}	1.225	449	1.673
Jahreswärmebedarf	kWh_{th}/a	2.419.300	282.413	2.701.713
Wärmeerzeugung Solarthermie Wohnhäuser	kWh_{th}/a	241.654	0	241.654
Eigenstromerzeugung PV auf Mobi-Station und Bürgerhaus	kWh_{el}/a	55.250	4.250	59.500
	kWp	65	5	70

Die Dächer bieten insgesamt ausreichend Fläche, um eine Photovoltaikanlage mit einer Leistung von mindestens 100 kW_p (Mobi-Station) bzw. 50 kW_p (Bürgerhaus) zu installieren. Für die Südseite der Fassade der Mobi-Station bietet sich eine 30kW_p-Anlage an. Grundsätzlich empfiehlt es sich, geeignete Dachflächen auf allen Gebäuden möglichst vollständig mit Photovoltaik zu belegen. Ob die Anlage eine um 20 % oder 30% größere Leistung hat, verändert das Mengengerüst kaum und erhöht die Investitionskosten nicht wesentlich. Zur Eigenstromversorgung der Hilfsenergie wird aber nur ein Teil der Dachflächen nutzbar gemacht.

Die verbleibende Dachfläche kann für eine zusätzliche Solarstromauslegung zur Ladung von Elektroautos in der Mobi-Station genutzt werden. Dies würde bei einer Betrachtung mit Bürgerhaus ca. 110 kWp mit einer Erzeugung von 93.500 kWh betragen. Wobei von den 175.500 kWh Mobilitätsstrombedarf durch die PV-Anlage nur etwa ein Viertel gedeckt werden kann, bei einem Anteil von 50% tatsächlicher Eigenstromnutzung. Bei der Betrachtung ohne Bürgerhaus könnte noch eine PV-Anlage von 65 kWp mit 55.250 kWh Erzeugung möglich sein.

Unter den aktuellen Rahmenbedingungen ist der Eigenverbrauch des Solarstroms die maßgebliche Größe zum wirtschaftlichen Betrieb einer PV-Anlage. Der Eigenverbrauch kann zudem durch den Einsatz von Batteriespeichern gesteigert werden. Diese sind in der Planung nicht berücksichtigt.

3.2 Variante 1: Warme Nahwärme durch ein Biomethan BHKW und ein Gas-Brennwertgerät

Nahwärme beschreibt die Vernetzung von Bestandsgebäuden und die Verbindung mit einer gemeinsamen Heizzentrale zu Heizzwecken. Nahwärmenetze sind für das Erreichen der lokalen und bundesweiten Klimaschutzziele zielführend. Dabei liefern sie schnelle und direkte Erfolge.

Eine klimafreundliche warme Nahwärmeversorgung beruht auf der Nutzung erneuerbarer Energieträger und überzeugt durch den Ersatz fossiler Brennstoffe. Hierbei ist der Einsatz verschiedener Technologien denkbar, relevant ist jedoch die Anpassung auf den jeweiligen Nutzer. Ein BHKW (Blockheizkraftwerk) zur Wärme- und Stromerzeugung beispielsweise wäre in dem betrachteten Quartier sinnvoll, da nicht nur die Heizzentrale in der Mobi-Station zugleich einen geeigneten Stromabnehmer vor Ort darstellt, sondern auch die geplanten Ladesäulen einen hohen Stromverbrauch aufweisen. Für die Deckung der Spitzenlast soll ein Gasbrennwertkessel zum Einsatz kommen. Da ein Nahwärmenetz über verhältnismäßig hohe Wärmeverluste an den Trassenleitungen verfügt (etwa 10 %), wird für die Deckung dieser „Grundlast" eine ressourcenarme Wärmeversorgung angestrebt. Als Brennstoff kann als erneuerbare Alternative Biomethan oder auch jeweils anteilig Erdgas und Biomethan genutzt werden. Auch können beispielsweise noch zusätzlich Solarthermie oder als alternative Holzhackschnitzel und Brennstoffzelle zum Einsatz kommen. Dadurch können große Mengen an Treibhausgasen eingespart und ein erheblicher Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden. Zudem sind diese Varianten der Wärmeerzeugung effizient, nachhaltig und für den Wärmeabnehmer wartungsarm.

Um eine besonders effiziente Nutzung dieser Technologien zu gewährleisten sollte zudem ein Pufferspeicher integriert werden. Dieser speichert einen Teil der erzeugten Wärme in einem Wassertank und gibt diesen bei Bedarf wieder ab. Insbesondere die Solarthermieanlage profitiert von einem solchen Speicher, da die Zeiten der Erzeugung (maximal tagsüber und im Sommer) sich nicht immer mit den Zeiten hoher Nachfrage (erhöht am Morgen und Abend und im Winter) decken. Dadurch können Differenzen zwischen erzeugter und verbrauchter Wärmeleistung (Heizung und Warmwasser) ausgeglichen werden.

Gewählt wurden im Quartier am Bürgerhaus für die Grundlast ein BHKW mit Biomethan als Brennstoff und zur Unterstützung anteilig Solarthermie auf den Mehrfamilienhäusern.

Tabelle 3-2 Energiebilanz – „warme" Nahwärme

Energiebilanz		Wärmenetz ohne Bürgerhaus	Wärmenetz mit Bürgerhaus
Wärmeleistung BHKW	kWth	89	100
Elektrische Leistung BHKW	kW_el	51	50
Wärmeleistung Gas-Brennwertkessel	kW_{th}	1.093	1.543
Jahreswärmebedarf inkl. Netzverluste	kW_{th}/a	1.067.500	1.360.000
Länge der Nahwärmetrasse	m	220	220
Länge der Hausanschlussleitungen	m	49	63
Spez. Wärmeabsatz	$kWh_{th}/(m_{Trasse}*a)$	3.778	4.576

Der Bau eines Nahwärmenetzes hat monetäre und nicht-monetäre Vorteile für den Besitzer, Betreiber und jeden einzelnen teilnehmenden Bürger. Es besteht eine hohe Versorgungssicherheit und kein finanzielles Risiko durch außerplanmäßige Reparaturen aufgrund des geringen Ausfallrisikos. Es erfolgt eine zentrale Brennstoffbeschaffung, Wartung, Emissionsüberwachung durch Schornsteinfeger über eine Heizzentrale optimalerweise in der Mobilitätsstation mit guter Anfahrtsmöglichkeit und Anbindung. Für den Anschluss der Mehrfamilienhäuser und des Bürgerhauses an das Nahwärmenetz ist die Installation von Hausübergabestationen pro Eingang notwendig, welche einen geringen Platzbedarf aufweisen.

Für die erste Abschätzung, ob ein zu untersuchendes Gebiet sich für eine Nahwärmeversorgung eignet, wird der dortige Wärmeabsatz betrachtet. Der Wärmeabsatz gibt den möglichen Absatz von Wärme bezogen auf die benötigte Wärmetrasse in $kWh_{th}/(m_{Netz}a)$ an. Die KfW-Bank fördert Wärmenetze, die einem Wärmeabsatz von mindestens 500 $kWh_{th}/(m_{Netz}a)$ aufweisen. Erfahrungsgemäß sollte ein darüber liegender Wärmeabsatz für einen wirtschaftlichen Betrieb eines Wärmenetzes erreicht werden. Der Wärmeabsatz im Quartier in Mainz-Kostheim beläuft sich im verlustfreien Zustand unter Einbezug des Bürgerhauses auf ca. 4.810 $kWh_{th}/(m_{Netz}a)$, sodass Fördermittel der KfW einkalkuliert werden können und ein wirtschaftlicher Betrieb des Nahwärmenetzes zu erwarten ist. Auch ohne Bürgerhaus können aufgrund der hohen Wärmedichte mit einem Wärmeabsatz von 3.590 $kWh_{th}/(m_{Netz}a)$ Fördermittel einkalkuliert werden.

3.3 Variante 2: Kalte Nahwärme mit dezentralen Sole/Wasser-Wärmepumpen und Photovoltaikanlage zur anteiligen Stromversorgung

Zur kalten Nahwärmeversorgung wird für jedes Gebäude eine Sole/Wasser-Wärmepumpe betrachtet. Auf den Dächern sollte eine aufgeständerte Photovoltaikanlage mit eingeplant werden, um einen Teil des Stromverbrauchs der Wärmepumpe zu decken. Sie ist entsprechend der geeigneten Flachdachfläche ausgelegt. Nach dieser Dimensionierung kann der Stromverbrauch der Wärmepumpe um ca. 40 % mit Solarstrom gedeckt werden.

Als Wärmequelle für die Sole/Wasser-Wärmepumpe wird Erdwärme vorgesehen, die über ein kaltes Nahwärmenetz (Sole) den Wärmepumpen in den Gebäuden zur Verfügung gestellt wird. Für das kalte Nahwärmenetz ist keine zentrale Netzpumpe vorgesehen, stattdessen sollen die dezentralen Wärmepumpen mit ihren eigenen Solepumpen die benötigte Energie aus dem kalten Nahwärmenetz entnehmen, sodass es sich um ein passives Netz handelt.

Tabelle 3-3 Energiebilanz kalte Nahwärme

Energiebilanz		Wohnbebauung mit Gewerbe	Bürgerhaus	Summe/Durchschnitt
Wärmeleistung mit Sperrzeit	kWh_{th}	1.305	538	1.843
Jahreswärmebedarf	kWh_{th}/a	1.016.500	278.500	1.295.000
Jahresarbeitszahl Wärmepumpe		4,6	4,6	4,6
Jahresstrombedarf Wärmepumpe	kWh_{el}/a	221.000	60.500	281.500

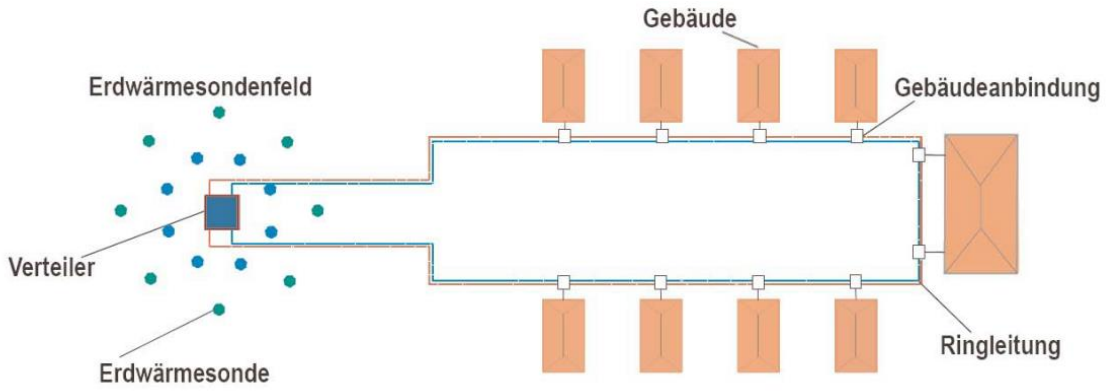

Abbildung 3-1 Anlagenschema zur kalten Nahwärme mit zentralem Erdwärmesondenfeld (Prof. Giel, 2017)

Es ist sinnvoll die Mehrfamilienhäuser und das Bürgerhaus bei kalter Nahwärmeversorgung mit einer Flächenheizung wie einer Fußbodenheizung auszustatten. Die Vorteile liegen in der niedrigen Vorlauftemperatur des Heizsystems und der passiven Temperierung im Sommer. In den

Mehrfamilienhäusern ist ein sogenanntes 4-Leiter-System sinnvoll, um im Sommer eine zentrale oder dezentrale Trinkwasserversorgung (Warmwasser) und gleichzeitiges Temperieren zu ermöglichen. Beim 4-Leiter-System werden ein Vor- und Rücklauf für die Fußbodenheizung zum Heizen und Temperieren sowie ein Vor- und Rücklauf für die Trinkwassererwärmung in jede Wohnung geführt.

Zur Erschließung der Erdwärme bieten sich verschiedene Technologien an: Brunnen, Agrothermie, Erdwärmekörbe, Erdwärmekollektoren oder Erdwärmesonden. Im Folgenden werden diese Technologien mit ihren wesentlichen Merkmalen kurz beschrieben.

Wasser/Wasser-Wärmepumpen, die über **Brunnen** ihre Wärmequelle aus dem Grundwasser erschließen, weisen eine höhere Energieeffizienz als erdgekoppelte Wärmepumpen auf. Nahezu ganzjährig beträgt die Grundwassertemperatur etwa 10 °C. Ob ein Förder- und Schluckbrunnen in Frage kommt, hängt stark von der Hydrogeologie ab, was nicht untersucht wurde. Es wird Grundwasser in ausreichender Menge, Temperatur, Qualität und in nicht zu großer Tiefe benötigt. Die geologische Machbarkeit muss vorab geprüft werden und wird als ungünstig bewertet.

Als **Agrothermie** werden Wärmegewinnungsanlagen der oberflächennahen Geothermie auf Agrarflächen bezeichnet. Auf landwirtschaftlich genutzten Flächen können große Kollektoranlagen installiert werden, die ganze Quartiere versorgen können. Die Kollektoren werden entweder mit Spezialpflügen, Fräsen oder Bagger im Erdreich verlegt. Ggf. kann dies mit Arbeiten an der Dränage kombiniert werden. Agrokollektoren können nicht nur horizontal, sondern auch vertikal oder übereinander eingebaut werden, sodass sich der erforderliche Flächenbedarf reduzieren lässt. Dies fällt als Variante hier raus.

Quelle: Steinhäuser GmbH & Co. KG

Abbildung 3-2 Verlegung von horizontalen (links) und vertikalen (rechts) Agrokollektoren (Quelle: Steinhäuser GmbH & Co. KG)

Erdwärmekörbe oder Spiralkollektoren stellen eine platzsparende Bauform eines Erdwärmekollektors dar. Dabei ist die Soleleitung spiralförmig auf einem Drahtkorb gewickelt. Die Baugrube für die Erdwärmekörbe wird entweder mit dem Aushub oder mit Sand verfüllt. Sie sind zwischen 2,5 bis 4 m tief. Eine Fläche von fast 4.000 m² wird für die Erdwärmekörbe benötigt. Eine gärtnerische Nutzung der Fläche über den Erdwärmekörben ist möglich. Aus Gründen der Regeneration soll die Fläche nicht versiegelt werden. Eine passive Temperierung ist mit Erdwärmekörben nur bedingt möglich. Aufgrund der Fläche und der Temperierung fällt diese Variante raus.

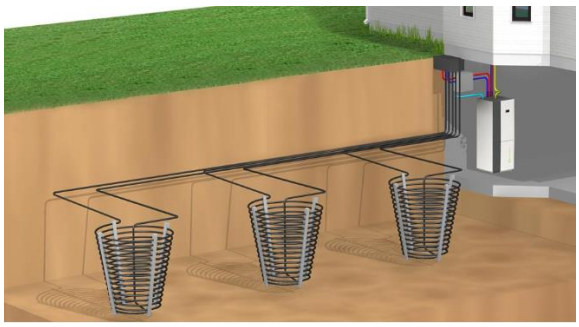

Abbildung 3-3 Schematische Darstellung zu Erdwärmekörben (Quelle: Noventec GmbH)

Erdwärmekollektoren werden unterhalb der Frostgrenze in einer Tiefe von etwa 1,2 bis 1,5 m horizontal verlegt. Voraussetzung ist, dass eine ausreichend große Fläche zur Verfügung steht und kein oder nur ein geringes Gefälle vorhanden ist. Ein bindiger, feuchter Boden ist von Vorteil. Bei einer richtigen Auslegung der Erdwärmekollektoren kommt es nicht zu schädlichen Auswirkungen auf die Umwelt, wenn das Erdreich unterhalb der Frostgrenze abgekühlt wird. Möglicherweise kann sich das Wachstum der Pflanzen über dem Kollektor um wenige Wochen verzögern. Eine passive Temperierung über Erdwärmekollektoren ist kaum möglich. Ebenso wie die Erdwärmekörbe ist diese Variante in Wiesbaden unter den gegebenen Bedingungen nicht umsetzbar.

Ein **zentrales Erdwärmesondenfeld** erschließt die oberflächennahe Erdwärme über Bohrungen mit Sonden bis zu 100m Tiefe. In den Erdwärmesonden zirkuliert ein flüssiges Wärmeträgermittel (Sole), dass die Wärme aus dem Untergrund aufnimmt, in das kalte Nahwärmenetz eingespeist und zu der im Gebäude stehenden Wärmepumpe. Aus den Veröffentlichungen des Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie zur Erdwärmenutzung in Hessen (Hessisches Landesamt für Naturschutz, 2019) geht hervor, dass Erdwärmesonden bei Einhaltung der Standardauflagen ohne Einschränkungen genehmigungsfähig eingestuft sind. Abgeleitet aus regionalen Erfahrungswerten wird von einer Wärmeentzugsleistung von 40 W_{th} pro Meter Erdwärmesonde ausgegangen. Eine passive Temperierung ist sehr gut möglich. Das Erdwärmesondenfeld wurde als optimale Variante für diese Gebiet angesehen. Die Standortbeurteilung des Quartiers hinsichtlich hydrogeologisch und wasserwirtschaftlich günstigen Gebiet (siehe Abbildung 3-4), Bodentemperatur und Wärmeleitfähigkeit wurde geprüft.

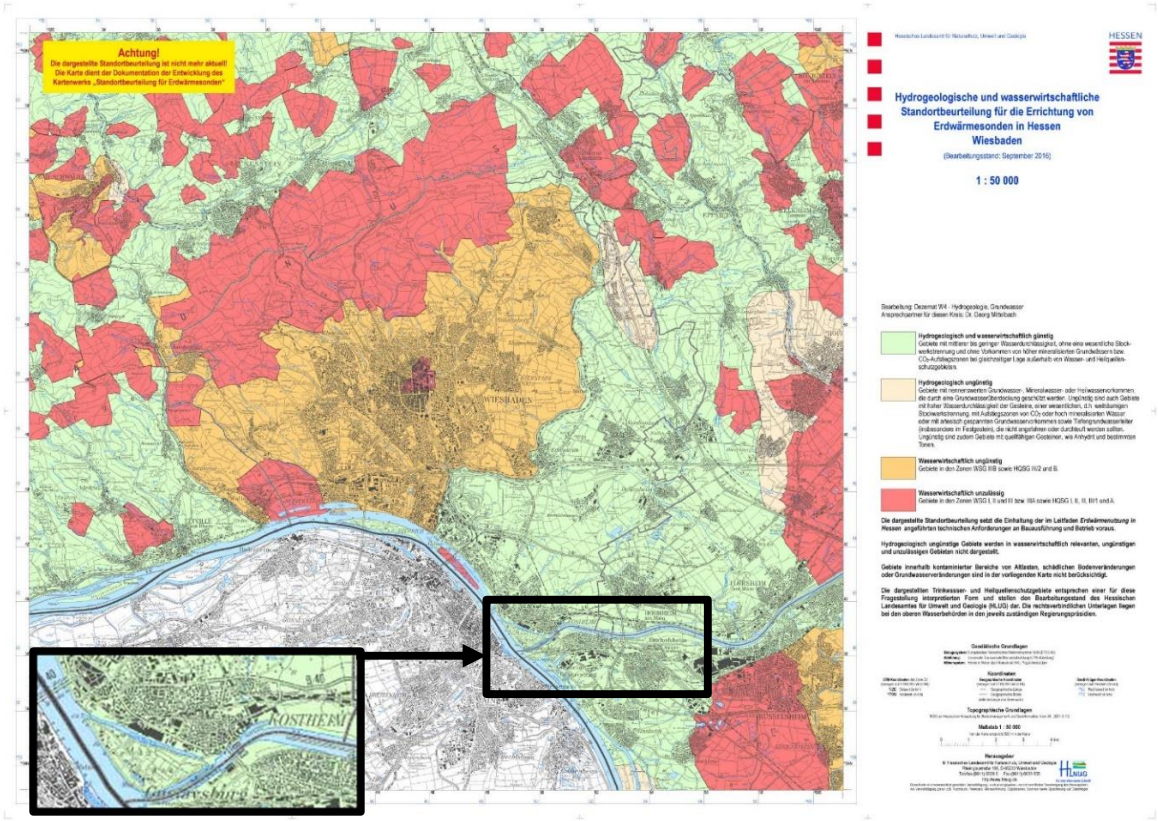

Abbildung 3-4 Auszug aus der Erdwärmesonden-Standortbewertung Hessen (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, 2016)

Die Abbildung 3-5 stellt die Bodentemperaturen in etwa 50 m Tiefe dar. Das Quartier in Mainz Kostheim ist mit dem grünen Pfeil markiert. Die Bodentemperaturen liegen hier im Schnitt bei etwa 11 °C.

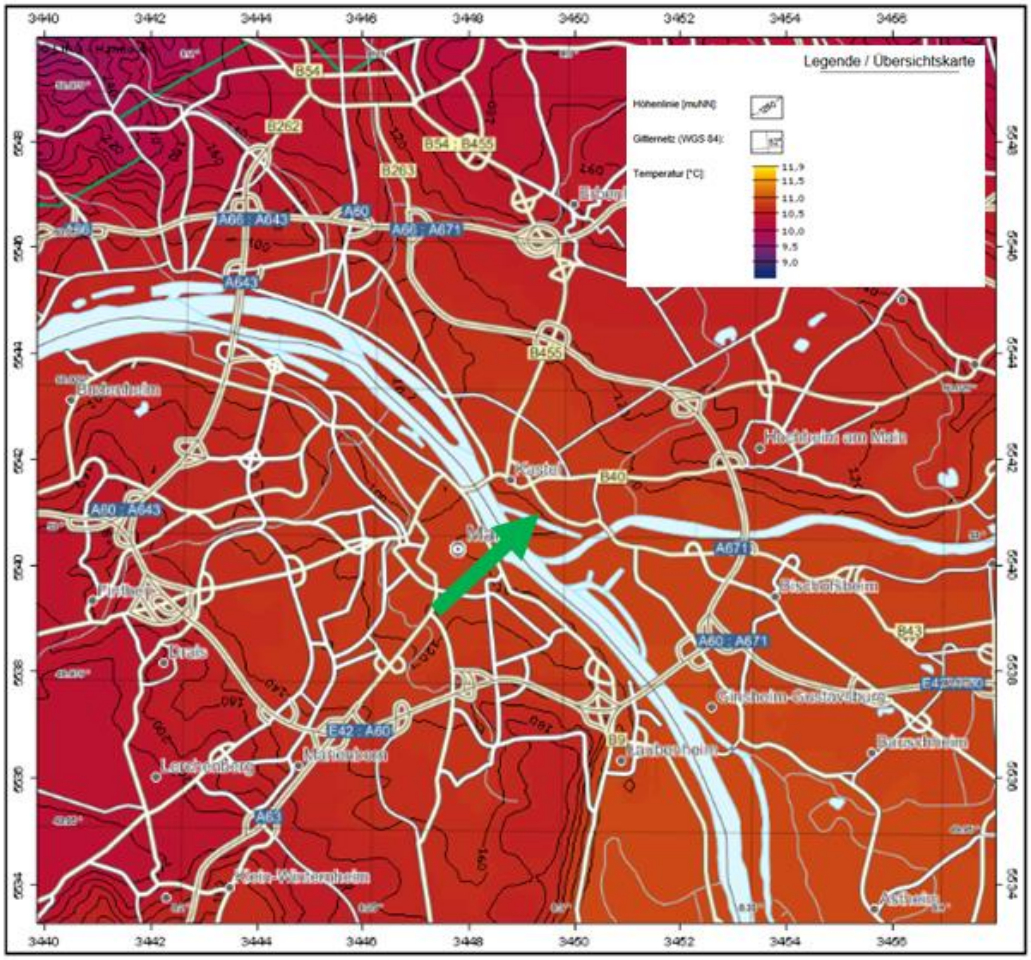

Abbildung 3-5 Übersicht zu den Bodentemperaturen (LIAG, 2020)

Die Wärmeleitfähigkeit (siehe Abbildung 3-6) im Quartiersbereich liegt mit 1,0 bis 1,5 W/(mK) im Mittelfeld. Nach dem derzeitigen Informationsstand, der auf Veröffentlichungen des HLNUG beruht, er-scheinen Erdwärmesonden zur Wärmequellenerschließung als geeignet. Für weitreichendere Informationen wird ein geologisches Gutachten benötigt.

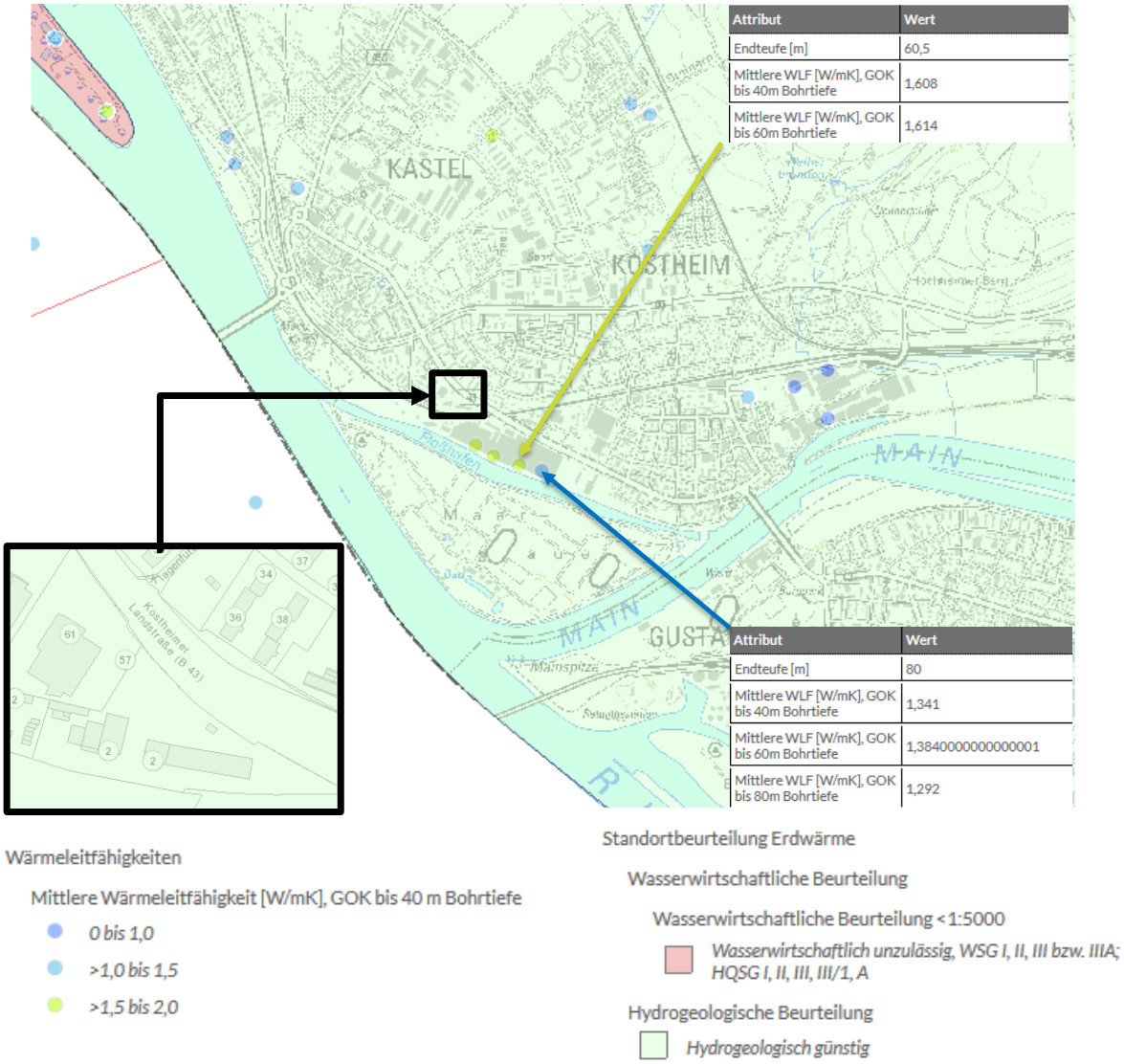

Abbildung 3-6 Auszug zur Wärmeleitfähigkeit von Böden (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, 2020)

Unter Berücksichtigung einer Gleichzeitigkeit im Wärmenetz wird unter dem derzeitigen Kenntnisstand eine Gesamtlänge aller Erdwärmesonden in einer Größenordnung von ca. 18.000 m (mit Bürgerhaus) bzw. 12.800 m (ohne Bügerhaus) benötigt. Um z. B. 180 Erdwärmesonden mit 100 m Länge zu realisieren, wird eine Fläche für das Erdwärmesondenfeld von etwa 7.200 m² (siehe Abbildung 3-8) benötigt, für 128 Sonden werden ca. 5.200 m² (siehe Abbildung 3-7) benötigt. Das Erdwärmesondenfeld kann eingeschränkt auch anderweitig genutzt werden, wie z. B. als Grünfläche, Spielplatz oder ähnliches. So könnte z. B. das Erdwärmesondenfeld in den Grünstreifen zwischen den Mehrfamilienhäusern und Richtung Bahnlinie untergebracht werden. Auch ein Sondenfeld unter der Mobilitätsstation ist möglich, aber nicht optimal. Zudem ist bei der gemeinsamen Versorgung mit dem Bürgerhaus auch der Grünstreifen um den Parkplatz vorgesehen.

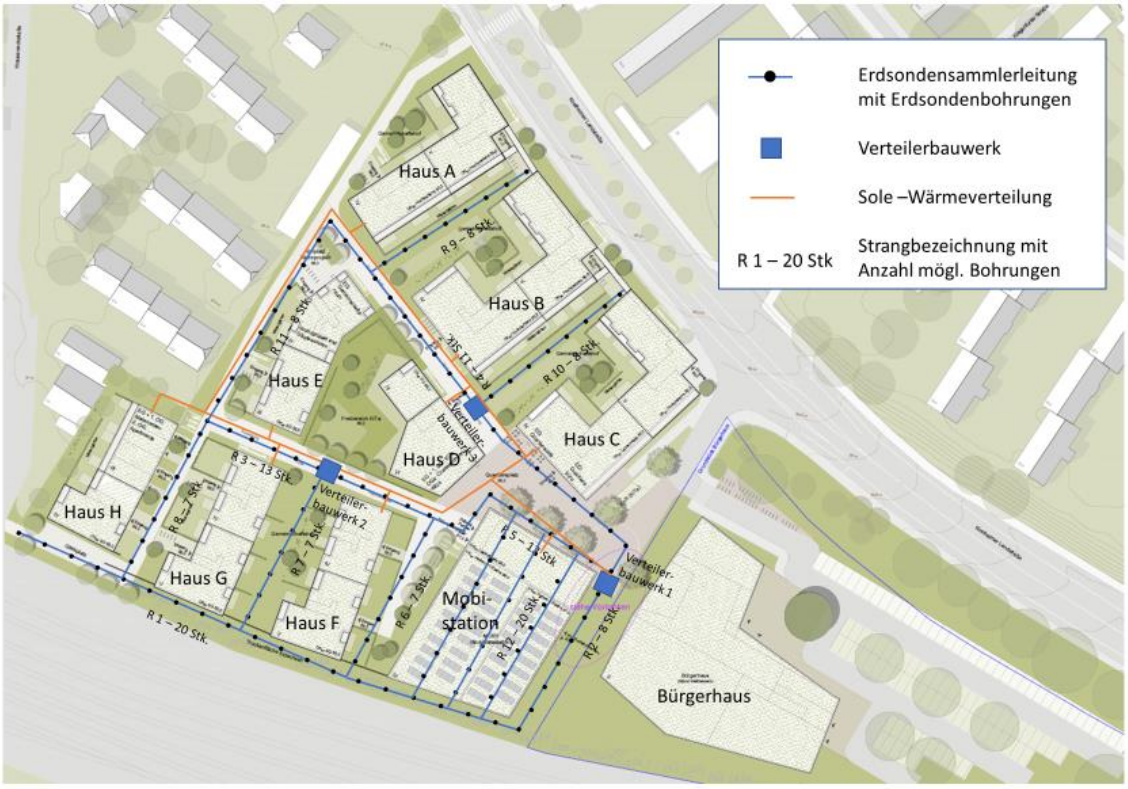

Abbildung 3-7 Variante Kalte Nahwärmeversorgung ohne Bürgerhaus, 128 Geothermiebohrungen

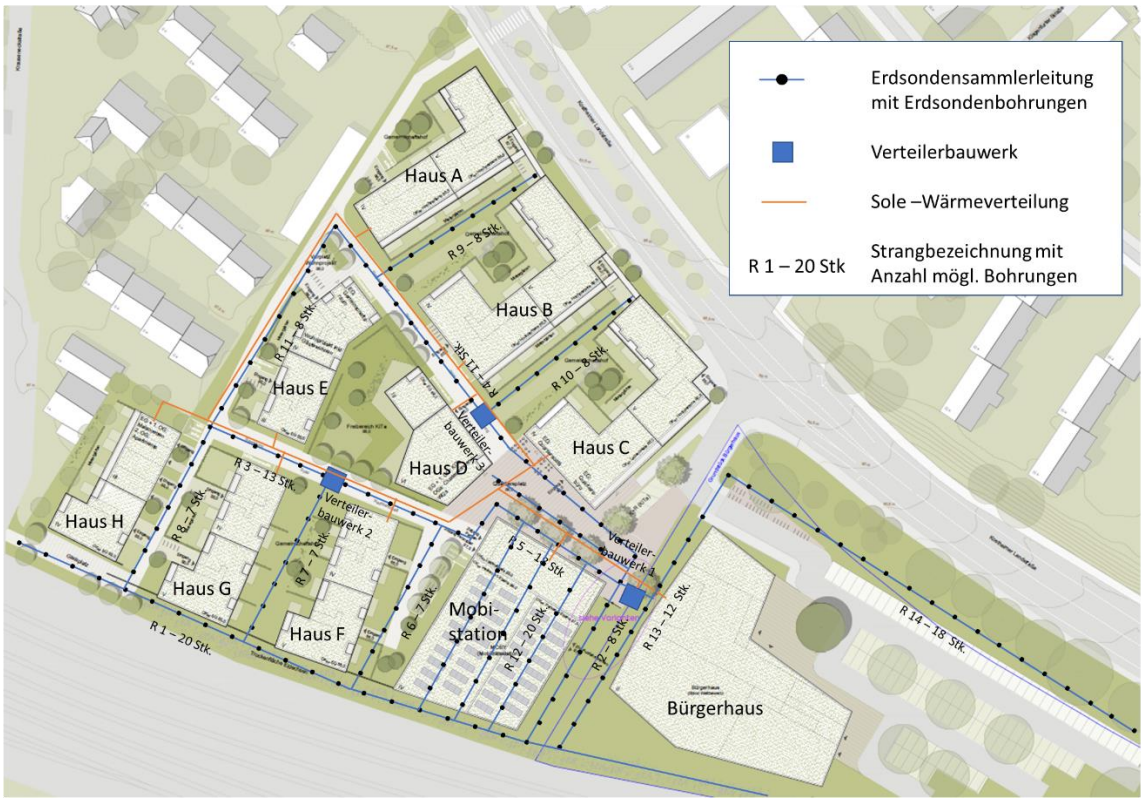

Abbildung 3-8 Variante Kalte Nahwärmeversorgung mit Bürgerhaus, 180 Geothermiebohrungen

4 Energiebilanz

In der Energiebilanz sind die umgesetzten Energiemengen für die Varianten zur Wärmeversorgung einschließlich der Solarstromversorgung des Quartiers am Bürgerhaus in Mainz-Kostheim aufgeführt. Die Bilanz wird für die Wärmeversorgungsvarianten der Mehrfamilienhäuser mit und ohne Bürgerhaus dargestellt. Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen für den Warmwasser- und Heizbedarf wurden in Anlehnung an VDI 4650 ermittelt und mit den Herstellerangaben plausibilisiert. Daraus wurde eine gewichtete Jahresarbeitszahl angenommen. Es wird zur Vergleichbarkeit der Varianten bei der kalten Nahwärme keine zusätzliche Temperierung im Sommer eingerechnet. Dies kann zusätzlich erfolgen.

Zusammengefasst stellen sich die untersuchten Varianten für das gesamte Quartier wie folgt dar.

Tabelle 4-1 Energiebilanzen mit Bürgerhaus inkl. unterschiedlicher Dämmstandards

Mit Bürgerhaus		Standardvariante Erdgasbrennwertherme, Solarthermie, dezentrale PV	Variante 1 Warme Nahwärme durch BHKW und Gasbrennwertgerät	Variante 2 Kalte Nahwärme, dezentrale Erdwärmepumpe und PV
Strombedarf	kWh_{el}/a	29.200	21.000	281.500
Strom für Wärmepumpe	kWh/a	Keine WP	Keine WP	281.500
Solarstromanteil WP 40 %	kWh_{el}/a			112.600
Jahreswärmebedarf	kWh_{th}/a	2.701.800	1.295.000	1.295.000
Jahreskühlbedarf passiv	kWh_{th}/a	-	-	539.200

Der Strombedarf der Standardvariante ergibt sich aus der Summe der Hilfsenergieverbräuche der einzelnen Gasbrennwertgeräte und der Solarthermieanlagen pro Gebäude. Der Strombedarf bei der warmen Nahwärme stellt die Hilfsenergie des BHKWs dar. Bei der kalten Nahwärme ergibt sich der Strombedarf aus den Wärmepumpengeräten inkl. Hilfsenergie der einzelnen Gebäude.

Tabelle 4-2 Energiebilanzen ohne Bürgerhaus inkl. unterschiedlicher Dämmstandards

Ohne Bürgerhaus		Standardvariante Erdgasbrennwertherme, Solarthermie, dezentrale PV	Variante 1 Warme Nahwärme durch BHKW und Gasbrennwertgerät	Variante 2 Kalte Nahwärme, dezentrale Erdwärmepumpe und PV
Strombedarf	kWh_{el}/a	26.300	15.700	221.000
Strom für Wärmepumpe	kWh/a	Keine WP	Keine WP	221.000
Solarstromanteil WP 40 %	kWh_{el}/a			88.400
Jahreswärmebedarf	kWh_{th}/a	2.419.300	1.016.500	1.016.500
Jahreskühlbedarf passiv	kWh_{th}/a	-	-	385.500

5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung erfolgt in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067[1] und der Afa-Tabelle (Bundesministerium der Finanzen, 2000). Zur Abschätzung der Investitionskosten wurden Richtpreise bei führenden Herstellern angefragt und plausibilisiert. Die jährlichen Wärmegestehungskosten werden aus den Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten abzüglich der Erlöse bestimmt. Zum jetzigen Zeitpunkt steht noch nicht endgültig fest, in welcher Betriebsform und ob mit oder ohne Bürgerhaus eine Nahwärmeversorgung erfolgen könnte.

Derzeit existieren zwei Wege, um Fördermittel für die Umsetzung einer Nahwärmeversorgung einzubinden. Einerseits kann die kalte Nahwärmelösung über das Bundesförderprogramm „Wärmenetzsysteme 4.0" gefördert werden. Andererseits ist eine Förderung der warmen Nahwärme mit Unterstützung des ESWE Innovationsfonds möglich. Auch eine Kombinationsmöglichkeit aus dem Bundesförderprogramm und dem ESWE Innovationsfonds bei beiden Nahwärmevarianten unter der Einbeziehung neuer Förderprogramme von Bund und Land Hessen sind möglich und müssen frühzeitig angefragt werden.

Bundesförderprogramm „Wärmenetzsysteme 4.0"

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) spricht mit der Bundesförderung „Wärmenetzsysteme 4.0" (BAFA, 2020) innovative, effiziente Wärmenetze mit überwiegendem Anteil erneuerbarer Energien an.

Eine kalte Nahwärmeversorgung kann die Anforderungen, die an ein solches Wärmenetzsystem gestellt werden, einhalten. Grundsätzlich ist eine Förderung nur für das gesamte Projekt möglich. Demnach realisiert ein Betreiber das Wärmenetzsystem, das die Erdwärmesonden, die kalte Nahwärme (Verteilerbauwerke, Trasse, Hausanschlussleitungen, …) und das jeweilige Wärmepumpensystem in den Gebäuden sowie die notwendigen Komponenten für das 11-jährige Online-Monitoring nach Inbetriebnahme des Wärmenetzsystems (Eigentumsgrenze hinter WP) umfasst.

Eine Förderquote bis zu 50 % für die förderfähigen Ausgaben ist möglich. Die Grundförderung (Antragssteller = nicht KMU) beträgt 30 %. Wird der Mindestanteil von Erneuerbarer Energie und Abwärme (50 %) übertroffen, so erhöht sich die Förderquote um bis zu 10 % (Nachhaltigkeitsprämie). In der Praxis liegt die Förderquote bei rund 36 – 39 % für kalte Nahwärme.

Im Falle des Projektvorhabens Quartier am Bürgerhaus, ist die grundlegende Mindestgröße an Abnahmestellen am Wärmenetz (100 Abnahmestellen) nicht gegeben. Vorhaben mit weniger Abnahmestellen können einen Förderantrag stellen, wenn mindestens 1 GWh und als weitere

[1] Verein Deutscher Ingenieure (VDI): VDI-Richtlinie 2067 Blatt 1, Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen, Grundlagen und Kostenberechnung, September 2012

Anforderungen drei von sechs Kriterien der besonderen Innovativität erfüllt sind[2]. Ein Kriterium ist die Sektorkopplung, welche mit PV und E-Mobilität gut erreicht werden kann.

Es können nur die Fördermittel in Anspruch genommen werden, die für den Antrag bewilligt wurden. Deswegen empfiehlt es sich, erst dann einen Antrag auf Förderung zu stellen, wenn die Planung so weit fortgeschritten ist und nicht mehr mit großen Abweichungen zu rechnen ist.

Es besteht die Möglichkeit, für die Wärmepumpen, die nach dem Förderzeitraum installiert werden, nach dem Bundesprogramm „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt" (BMWi, 2019) eine Förderung zu beantragen. Derzeit beläuft sich die Förderung mit 35 % der förderfähigen Investitionskosten in einer vergleichbaren Größenordnung. Hierbei ist antragsberechtigt immer „derjenige", der die Kosten der Anlage trägt. Es ist auch möglich, dass der Liegenschaftseigentümer (Bauherr) auch Eigentümer der Anlage ist und über einen Contractingvertrag seine Anlage finanziert.

ESWE Innovationsfond

Über den ESWE Innovationsfond in Wiesbaden besteht grundsätzlich die Möglichkeit, eine Zuwendung für den Bau von Wärmenetzen zu beantragen. Nach Auskunft des Fördermittelgebers kann die GWW als eigener Betreiber bis zu 50 % der förderfähigen Kosten für das Vorhaben erhalten. Zu den förderfähigen Investitionen zählen das Erdwärmesondenfeld und das kalte Nahwärmenetz. Die zugehörigen Wärmepumpen werden dann als förderfähig eingestuft, wenn diese effizient und mit Photovoltaik kombiniert sind sowie Grünstrom beziehen.

Nach der Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt werden Wärmepumpen in Neubauten nur dann gefördert, wenn deren Jahresarbeitszahl min. 4,5 beträgt. Diese sehr hohe Effizienz wird nicht zwingend erreicht und hängt u. a. vom Hersteller ab. Im Konzept wurden entsprechende Geräte mit ihren Kosten ausgewählt. In Planung und Umsetzung wird darauf zu achten sein.

Abhängig vom Geschäftsmodell unterscheidet sich die Förderfähigkeit. In den weiteren Berechnungen wurde angenommen, dass ein Betreiber alles einschließlich der Wärmepumpen betreibt und somit eine Förderung über BAFA Wärmenetzsysteme 4.0 mit 40 % einkalkuliert. Zudem wurde in einer extra Berechnung als Sensitivität eine zusätzliche Förderung von 8% oder 250.000 € für die Förderung über den ESWE Innovationsfond angenommen.

Die Photovoltaikanlagen werden insofern in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung eingebunden, indem spezifische Stromgestehungskosten bestimmt werden, mit denen der Eigenverbrauch des Solarstroms für den Wärmepumpenbetrieb bewertet wird. Der zusätzliche Nutzen, dass auch ein Teil des Allgemeinstroms mit Solarstrom gedeckt werden kann, wird nicht wirtschaftlich

[2] Zwei der drei Kriterien werden zumeist durch den Einsatz einer zentralen kNW mit dezentralen Wärmepumpen erfüllt (erste beiden Aufzählungspunkte in Merkblatt II, Kapitel 3.2.5, PDF-Seite 16 oben)

bewertet. Die Ermittlung der spezifischen Stromgestehungskosten erfolgt in einem Zwischenschritt der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.

Rahmenbedingungen

Bestimmung der kapitalgebundenen Kosten

Zinssatz	2 %[3]
Abschreibungsdauer BHKW	10 a [4]
Abschreibungsdauer Gasbrennwertgeräte	20 a [4]
Abschreibungsdauer Sole/Wasser-Wärmepumpe	20 a [4]
Abschreibungsdauer Photovoltaikanlage und Solarthermieanlage	20 a [5]
Abschreibungsdauer zentrales Erdwärmesondenfeld mit Regeneration durch passive Temperierung	30 a [3]
Abschreibungsdauer kalte Nahwärmeleitungen	40 a [4]
Abschreibungsdauer warme Nahwärmeleitungen	40 a [4]

Bestimmung der verbrauchsgebundenen Kosten

Grundpreis Wärmepumpentarif	90,72 €/a zzgl. MwSt. [6]
Arbeitspreis Wärmepumpentarif	19,57 Ct/kWh$_{el}$ zzgl. MwSt. [6]
spez. Stromgestehungskosten Photovoltaikanlage	siehe Tabelle 5-1
Arbeitspreis Biomethan	8,5 Ct/kWh$_{el}$ [3]

Der Strompreis, den der Betreiber für den Strombezug für den Wärmepumpenbetrieb zu entrichten hat, variiert stark. Dies hängt davon ab, wer der Betreiber ist. Beispielsweise kann über die Teilnahme am Regelenergiemarkt der Betreiber einen günstigen Strompreis erhalten. In den vorliegenden Berechnungen wird kein vergünstigter Strompreis für den Wärmepumpenbetrieb angenommen, sondern der Öko-Wärmepumpentarif der Mainzer Stadtwerke angesetzt. Es ist

[3] TSB: Annahme

[4] Verein Deutscher Ingenieure (VDI): VDI-Richtlinie 2067 Blatt 1, Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen, Grundlagen und Kostenberechnung, September 2012

[5] Bundesministerium der Finanzen: AfA-Tabelle für die allgemein verwendbaren Anlagegüter (AfA-Tabelle "AV"), 15.12.2000

[6] MAINZER HEIZSTROM Öko, Stand Dezember 2020

davon auszugehen, dass ein Betreiber tendenziell einen besseren Wärmepumpenstromtarif erhält, ggf. auch als Öko-Tarif von der ESWE Versorgungs AG.

Bestimmung der betriebsgebundenen Kosten

Wartung/Instandsetzung Gasbrennwertgerät/Übergabestation	3 % der Investitionskosten [4]
Wartung/Instandsetzung Solaranlage	0,5 % der Investitionskosten [4]
Wartung/Instandsetzung BHKW	1,0 % der Investitionskosten [4]
Wartung warmes Nahwärmenetz	1,0 % der Investitionskosten [3]
Wartung Erdwärmesonden	0,5 % der Investitionskosten [3]
Wartung kaltes Nahwärmenetz	0,5 % der Investitionskosten [3]
Wartung/Instandsetzung Wärmepumpe	1,0 % der Investitionskosten [3]
Verwaltungskosten	5 % der Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten[7]
Technische Betreuung Photovoltaikanlage (exkl. MwSt.)	2 % der Investitionskosten [3]
Versicherungen	1,0 % der Investitionskosten [3]

Die Erlöse setzen sich aus der Gutschrift der Energiesteuer, dem KWKG-Zuschlag über 30.000 Vollbenutzungsstunden, den Erlösen durch überschüssige Stromeinspeisung (PV und BHKW) zu 3,3 ct/kWh bei Direktvermarktung und den vermiedenen Netznutzungsentgelten zusammen.

[7] Orientiert am Ansatz der VG-Werke Simmern-Rheinböllen

5.1 Bestimmung der spez. Stromgestehungskosten der Photovoltaikanlagen

Wie in Kapitel 3 zu den technischen Konzepten der Standardvariante und Variante 2 bereits beschrieben, wurden für die Mehrfamilienhäuser in Variante 2 entsprechend der leistungsstärkeren Wärmepumpen Photovoltaikanlagen von rund 144/129 kW_p ausgewählt. Für die Standardvariante sind für die Hilfsenergieversorgung der Brennwertthermen Photovoltaikanlagen von rund 70/65 kW_p ausgewählt.

Zu beachten ist, dass gemäß der aktuellen Fassung des EEG auf eigenverbrauchten Solarstrom aus Anlagen mit einer Leistung größer 10 kWp anteilig EEG-Umlage gezahlt werden muss.

Tabelle 5-1 spez. Stromgestehungskosten der Photovoltaikanlagen für die Eigenstromversorgung der Wärmepumpen (Variante 2) und Hilfsenergie Brennwerttherme (Standardvariante)

Photovoltaik für Wärmepumpen		Standardvariante dezentrale Erdgastherme mit Bürgerhaus	Standardvariante dezentrale Erdgastherme ohne Bürgerhaus	Variante 2 zentrale kalte Nahwärme mit Bürgerhaus	Variante 2 zentrale kalte Nahwärme ohne Bürgerhaus
Elektrische Leistung	kW_p	70	65	144	129
Spez. Investitionskosten zzgl. MwSt.	€/kW_p	1.300	1.300	1.300	1.300
Investitionskosten zzgl. MwSt.	€	91.000	85.000	187.000	167.000
Kapitalkosten zzgl. MwSt.	€/a	5.600	5.200	11.400	10.200
Betriebskosten zzgl. MwSt.	€/a	1.800	1.700	3.700	3.300
Jahreskosten zzgl. MwSt.	€/a	7.400	6.900	15.100	13.500
Solarstromerzeugung	kWh_{el}/a	59.500	55.250	122.100	109.350
Spez. PV-Stromgestehungskosten zzgl. MwSt.	**Ct/kWh_{el}**	**12,4**	**12,5**	**12,4**	**12,3**

Wie in Kapitel 3.4 Mobilität bereits beschrieben, wurde für die Ladestromversorgung der E-Mobilität in der Mobi-Station Photovoltaikanlagen auf der Mobilitätsstation und ggf. dem Bürgerhaus geplant. Zusätzlich können die freien Flächen auf den Mehrfamilienhäusern genutzt werden. Für die Standardvariante steht noch eine Fläche für Photovoltaikanlagen von rund 110 kWp (mit Bürgerhaus) bzw. 65 kWp zur Verfügung. Bei der Variante 2 ist aufgrund der großen Dachflächen noch eine Photovoltaikfläche von rund 435 kWp (mit Bürgerhaus) bzw. 400 kWp frei. Für eine energiewirtschaftlich sinnvolle Nutzung und Stromnebenkosteneinsparung ist die Verlegung eines eigenen Stromkabels zu den PV-Anlagen zu prüfen.

Tabelle 5-2 spez. Stromgestehungskosten der Photovoltaikanlagen für die Ladestromversorgung der E-Mobilität in der Mobi-Station

Photovoltaik für Mobilität zzgl. MwSt.		Standardvariante dezentrale Erdgastherme mit Bürgerhaus	Standardvariante dezentrale Erdgastherme ohne Bürgerhaus	Variante 2 zentrale kalte Nahwärme mit Bürgerhaus	Variante 2 zentrale kalte Nahwärme ohne Bürgerhaus
Elektrische Leistung	kW_p	110	65	435	400
Spez. Investitionskosten	€/kW_p	1.300	1.300	1.250	1.250
Investitionskosten	€	143.000	84.500	544.000	500.200
Kapitalkosten	€/a	8.700	5.200	33.300	30.600
Betriebskosten	€/a	2.900	1.700	10.900	10.000
Jahreskosten	€/a	11.600	6.900	44.200	40.600
Solarstromerzeugung	kWh_{el}/a	93.500	55.250	369.900	340.150
Spez. PV-Stromgestehungskosten zzgl. MwSt.	**Ct/kWh_{el}**	**12,4**	**12,5**	**11,9**	**11,9**

5.2 Bestimmung der Netzkosten der kalten Nahwärme

Zu den fixen Kosten einer kalten Nahwärmeversorgung gehören die Kapitalkosten der Investitionen in die Erschließung der Erdwärme, des kalten Nahwärmenetzes und der Sole/Wasser-Wärmepumpen sowie die Betriebskosten, die sich aus Kosten für Wartung und Instandhaltung und Verwaltung zusammensetzen. Die abgeschätzten Investitionskosten inkl. Planungskosten für die Wärmeversorgung beruhen u. a. auf Richtpreisangeboten und eigenen Erfahrungswerten (siehe Tabelle 5-3). Wegen der Vergleichbarkeit wurden für die Sole/Wasser-Wärmepumpen Richtpreise eines Herstellers herangezogen. In den Berechnungen wird ein zentrales Erdwärmesondenfeld zu Grunde gelegt, von dem die größeren, positive Effekte der passiven Temperierung erwartet werden.

Tabelle 5-3 Abschätzung der Investitionskosten kalte Nahwärmevariante inkl. Planung

Investitionskosten Alle Kosten inkl. MwSt.		**Variante 2** **Kalte Nahwärme ohne Bürgerhaus**	**Variante 2** **Kalte Nahwärme mit Bürgerhaus**
Erdwärmesondenfeld	€	1.166.700	1.629.100
Kaltes Nahwärmenetz	€	156.500	169.000
Sole/Wasser-Wärmepumpen	€	1.295.550	1.774.300
Summe	**€**	**2.618.750**	**3.572.400**
Förderung (Wärmenetz 4.0)	€	1.047.550	1.429.000
Summe inkl. Förderung	**€**	**1.571.200**	**2.143.400**

Bei der Errichtung eines Wärmenetzes ist die Trassenverlegung eine der kostenintensivsten Maßnahmen. Hierbei bestehen große Unterschiede hinsichtlich der Verlegung in befestigtem und unbefestigtem Gelände. Ersteres ist pro Meter Trasse deutlich kostenintensiver, die Anteile der Oberflächenart entlang einer Trasse spielt demnach für die Wirtschaftlichkeit eine nennenswerte Rolle. Im Quartier wird durch die Rückbaumaßnahmen mit einem unbefestigten Gelände gerechnet.

5.3 Variantenvergleich der Vollkosten zur Wärmeversorgung und Fußbodentemperierung der Neubauten

Auf den zuvor genannten Grundlagen basiert die Berechnung der jährlichen Gesamtkosten für die Wärmeversorgung der Mehrfamilienhäuser und des Bürgerhauses aus Sicht der Gebäudeeigentümer. Die Jahreskosten werden als Summe für das gesamte Quartier mit und ohne Bürgerhaus angegeben. Zudem wurde in einer extra Berechnung als Sensitivität eine zusätzliche Förderung und damit maximale Förderung von ca. 50% angenommen und die Biomethanversorgung in Variante 1 warme Nahwärme auf max. 50 % reduziert. Somit kann ein

Auslegungsvergleich zwischen der durchschnittlichen Förderung mit maximalen Klimaschutz und maximaler Förderung und optimalen Klimaschutz stattfinden.

Die nachfolgenden Wärmegestehungskosten (ct/kWhth) werden aus den Jahresvollkosten unter Berücksichtigung oben genannter Fördermittel bezogen auf die verbrauchte Jahreswärmemenge berechnet. Die Wärmegestehungskosten geben die Erzeugungskosten von einer kWh Wärme vom Heizwerk zum Nutzer an. Es handelt sich hierbei nicht um Verkaufspreise. In Tabelle 5-4 sind die Varianten **ohne** Bürgerhaus berechnet, zum Vergleich ist in Tabelle 5-5 die Sensitivitätsrechnung hinsichtlich maximaler Förderung und 50% Biomethannutzung mit aufgeführt.

Tabelle 5-4 Gegenüberstellung der Wirtschaftlichkeit der Varianten <u>ohne</u> Bürgerhaus mit 100% Biomethanversorgung in Variante 1

Wirtschaftlichkeit ohne Bürgerhaus Alle Kosten inkl. MwSt.		Standardvariante Dezentral Erdgas + Sol + PV	KS-Variante 1 zentral Warme Nahwärme	KS-Variante 2 zentral kalte Nahwärme*
Investitionskosten	€	1.062.500	481.200	2.618.800**
Investitionskosten m.F.	€	1.062.500	442.700	1.571.200**
Kapitalkosten	€/a	68.800	33.600	137.000**
Kapitalkosten m F.	€/a	68.800	31.700	82.200**
Betriebskosten	€/a	35.800	33.100	26.200
Erlöse	€/a		-27.600	
Verbrauchskosten	€/a	184.000	181.500	47.800
Jahresgesamtkosten	€/a	288.600	213.600	218.000
Jahresgesamtkosten mit Förderung	€/a	288.600	211.700	163.100
Jahreswärmebedarf	kWh_{th}/a	2.419.300	1.016.500	1.016.500
Wärmegestehungspreis mit Förderung	**Ct/kWh_{th}**	**11,9**	**20,8**	**16,0**

m. F. = mit Förderung

* einschließlich Fördermittel: Bundesförderung (BAFA) Wärmenetzsysteme 4.0

** Investitionskosten und Kapitalkosten sind je nach Geschäftsmodell des Betreibers zu definieren. Alle Investitionskosten sind in den Fixkosten enthalten.

Tabelle 5-5 Gegenüberstellung der Wirtschaftlichkeit der Varianten ohne Bürgerhaus mit maximaler Förderung und anteiliger Biomethannutzung von 50 %

Wirtschaftlichkeit ohne Bürgerhaus Alle Kosten inkl. MwSt.		Standardvariante Dezentral Erdgas + Sol + PV	KS-Variante 1 zentral Warme Nahwärme	KS-Variante 2 zentral kalte Nahwärme*
Jahresgesamtkosten	€/a	288.600	174.400	217.700
Jahresgesamtkosten mit Förderung	€/a	288.600	172.200	151.600
Wärmegestehungspreis mit Förderung	Ct/kWh$_{th}$	**11,9**	**16,9**	**14,9**

* einschließlich Fördermittel: Bundesförderung (BAFA) Wärmenetzsysteme 4.0 und ESWE Innofond

Aufgrund der höheren Investitionskosten für das Verteilnetz bzw. die Erdsonden liegt die kalte Nahwärmevariante im Wärmegestehungspreis höher als die Standardvariante mit Erdgasbrennwertgeräten, aber niedriger als die warme Nahwärme. Die höheren Jahresgesamtkosten der Standardvariante ergeben sich aufgrund der Verbrauchskosten, aber durch den fast doppelt so hohen Jahreswärmebedarf nach EnEV ergibt sich ein geringerer Wärmegestehungspreis. Der Wärmegestehungspreis würde, bei gleichem Jahreswärmebedarf wie in Variante 1 und 2, doppelt so hoch liegen. Die warme Nahwärme weist die niedrigsten Investitionskosten auf, aber die Verbrauchskosten sind hier entscheidend. Es variieren die Verbrauchskosten je nach Brennstoffeinsatz. Für eine Biomethannutzung von 100 % ergeben sich als Wärmegestehungskosten für die warme Nahwärmevariante von 20,8 ct/kWh$_{th}$. Wird von 50 % Biomethannutzung und 50% Erdgasnutzung ausgegangen, verringern sich die Wärmegestehungskosten der warmen Nahwärme auf 16,9 ct/kWh$_{th}$. Daraus ist ersichtlich, dass vor allem die Biomethanquote für die Wirtschaftlichkeit entscheidend ist. Zusätzlich ist dabei immer die Einhaltung der notwendigen Quote für eine mögliche Förderung zu beachten.

Je nach Geschäftsmodell und Variante ergeben sich zudem Unterschiede in der Beantragung von Fördermitteln. Deswegen können die Jahreskosten insbesondere einer kalten Nahwärme variieren. Der Tabellenvergleich 5-4 zu 5-5 zeigt, dass die Jahreskosten der untersuchten Variante kalte Nahwärme unter Berücksichtigung von Fördermitteln wirksam voneinander abweichen.

In Tabelle 5-6 sind die Varianten mit Bürgerhaus berechnet, zum Vergleich ist in

Tabelle 5-7 die Sensitivitätsrechnung hinsichtlich maximaler Förderung und 50% Biomethannutzung mit aufgeführt.

Tabelle 5-6 Gegenüberstellung der Wirtschaftlichkeit der Varianten mit Bürgerhaus mit 100% Biomethanversorgung in Variante 1

Wirtschaftlichkeit mit Bürgerhaus Alle Kosten inkl. MwSt.		Standardvariante Dezentral Erdgas + Sol + PV	KS-Variante 1 zentral Warme Nahwärme	KS-Variante 2 zentral kalte Nahwärme*
Investitionskosten	€	1.157.700	555.200	3.572.400**
Investitionskosten m. F.	€	1.157.700	513.500	2.143.400**
Kapitalkosten	€/a	74.900	37.900	186.300**
Kapitalkosten m F.	€/a	74.900	35.900	111.800**
Betriebskosten	€/a	39.300	30.500	44.800
Erlöse	€/a		-30.700	
Verbrauchskosten	€/a	201.400	205.300	60.600
Jahresgesamtkosten	€/a	315.900	242.900	291.700
Jahresgesamtkosten mit Förderung	€/a	315.900	240.900	217.200
Jahreswärmebedarf	kWh_{th}/a	2.701.700	1.295.000	1.295.000
Wärmegestehungspreis m. F.	**Ct/kWh_{th}**	**11,7**	**18,6**	**16,8**

m. F. = mit Förderung
* einschließlich Fördermittel: Bundesförderung (BAFA) Wärmenetzsysteme 4.0
** Investitionskosten und Kapitalkosten sind je nach Geschäftsmodell des Betreibers zu definieren. Alle Investitionskosten sind in den Fixkosten enthalten.

Bei der Quartiersbetrachtung mit Bürgerhaus Tabelle 5-6 liegt die kalte Nahwärmevariante im Wärmegestehungspreis ebenso höher als die Standardvariante mit Erdgasbrennwertgeräten und niedriger als die warme Nahwärme. Erst mit einer Varianz in der Biomethannutzung

Tabelle 5-7 liegt die warme Nahwärme am Gestehungspreis der kalten Nahwärme mit 15,4 Ct/kWh_{th} zu 15,6 Ct/kWh_{th}. Die warme Nahwärme weist auch hier wieder die niedrigsten Investitionskosten auf, zudem variieren die Verbrauchskosten je nach Brennstoffeinsatz. Aber entscheidend ist hier das BHKW-Wärme-Strom-Verhältnis für den Wärmegestehungspreis.

Tabelle 5-7 Gegenüberstellung der Wirtschaftlichkeit der Varianten mit Bürgerhaus mit maximaler Förderung und anteiliger Biomethannutzung von 50 %

Wirtschaftlichkeit mit Bürgerhaus Alle Kosten inkl. MwSt.		Standardvariante Dezentral Erdgas + Sol + PV	KS-Variante 1 zentral Warme Nahwärme	KS-Variante 2 zentral Kalte Nahwärme*
Jahresgesamtkosten	€/a	315.900	201.800	291.000
Jahresgesamtkosten mit Förderung	€/a	315.900	199.800	201.500
Wärmegestehungspreis mit Förderung	Ct/kWh$_{th}$	**11,7**	**15,4**	**15,6**

* einschließlich Fördermittel: Bundesförderung (BAFA) Wärmenetzsysteme 4.0 und ESWE Innofond

Bei der kalten Nahwärme steigt der Wärmegestehungspreis bei der Betrachtung ohne Bürgerhaus (14,9 Ct/kWh$_{th}$) zu mit Bürgerhaus (15,6 Ct/kWh$_{th}$) an. Dies ist durch die verhältnismäßig hohen Investitions- und Kapitalkostensteigerungen durch die rund 60 Bohrungen und die Großwärmepumpe Bürgerhaus begründet, welche sich auf eine schwache Steigerung der Wärmemenge von ca. 20% verteilen.

Die Ergebnisse der Berechnungen zur Nahwärmeversorgung im Quatier Mainz-Kostheim zeigen, dass eine wirtschaftliche Integration erneuerbarer Energien möglich und sinnvoll ist. Jedoch ist es lohnenswert, Sensitivitäten bezüglich der Energiekosten und Wärmeverbräuche zu betrachte. In dieser Variante hätte eine Preissteigerung der fossilen Brennstoffe aufgrund des intensiven Verbrauchs deutlich größere Auswirkungen auf die jährlichen Kosten verglichen mit den auf Strom basierten Wärmepumpen aus Variante 2. Hierunter fällt auch der Einfluss zukünftiger CO2e-Preise, welche auf fossile Brennstoffe ab dem Jahr 2021 erhoben werden. Diese Kosten pro Tonne emittiertem Treibhausgasäquivalent wirken sich deutlich positiv auf die Wirtschaftlichkeit zumeist aus regenerativen Quellen gespeisten Nahwärmevarianten aus. Je höher diese Kosten in Zukunft angesetzt werden, desto größer wird dieser Einfluss ausfallen.

Zur Umsetzung kommen verschiedene Betriebsmodelle in Frage. Aufgrund der derzeitigen Förderkulisse (vgl. Kapitel 5) ist es wirtschaftlich sinnvoll, dass ein Betreiber sowohl die kalte Nahwärme als auch die Wärmepumpen selbst betreibt und die Wärmelieferung mit dem Abnehmer abrechnet. Als Preismodell für ein Betriebsmodell, was im Rahmen eines Wärmenetzsystems 4.0 einen Betreiber zur Lieferung von Nutzwärme betrachtet, bietet sich z. B. eine Flatrate ein.

Dazu erfolgt eine Schätzung des Wärmeverbrauchs basierend auf dem gemessenen Stromverbrauch und der geschätzten Jahresarbeitszahl. In einer Verbrauchsspanne zwischen z. B. -10 % und +10 % erfolgt die Abrechnung pauschal. Für eine passive Temperierung fallen keine zusätzlichen Kosten seitens der kalte Nahwärme an, weil die passive Temperierung netzdienlich und erdwärmedienlich ist.

Zudem ist es nicht ohne weiteres möglich, dass der Betreiber einen Teil des Solarstroms von einer Photovoltaikanlage auf dem Dach, die dem Hauseigentümer gehört, nutzt. Um es dennoch umzusetzen, muss im Zusammenhang mit dem Betriebsmodell der kalten Nahwärmeversorgung ein Lösungsweg herausgefunden werden. Beispielsweise gibt es folgende Konstellationen, die den Kauf des Solarstroms ermöglichen:

- Betreiber erfüllt Auflagen eines Energieversorgungsunternehmens
- Mieterstrommodell (soll überarbeitet werden)
- Betrieb einer Kundenanlage (ggf. in Verbindung mit Entwicklung einer Quartiersstromversorgung)

Die Möglichkeiten sind zu prüfen, denn nicht jeder Betreiber kann es anbieten.

Welches Betriebsmodell für eine Nahwärmeversorgung in der Stadt Wiesbaden sich anbietet, hängt von verschiedenen Faktoren ab und muss in einem separaten Entscheidungsprozess abgewogen werden. Die Preisfindung für den Endkunden ist ebenfalls Gegenstand einer separaten Betrachtung, da hierzu weitere Voraussetzungen wie die Gestaltung der Liefer-, Eigentums- und Verantwortungsgrenzen, der Lieferantenverträge sowie unternehmensspezifische Parameter wie Wagnis und Gewinn sowie steuerliche Aspekte u. ä. bekannt sein müssen.

6 CO_2e-Emissionsbilanz

Eine ökologische Bewertung der Wärmeversorgungsvarianten erfolgt mit einer CO_2e-Emissionsbilanz. Dazu werden spezifischen Emissionen herangezogen (GEMIS, 2017). Die Bilanz wird sowohl als Summe für das gesamte Quartier, als auch als Summe für das Quartier ohne Bürgerhaus aufgestellt. Die CO_2e-Emissionen werden auf Ökostrombasis berechnet. Hierfür wird ein gemittelter CO_2e-Kennwert angesetzt. Bei der warmen Nahwärme wird noch einmal differenziert. Zum einen gibt es die Möglichkeit, dass BHKW zu 100 % mit Biomethan zu versorgen, zum anderen ist es möglich, herkömmliches Erdgas zu 50 % beizumischen. Die Brennstoffkosten unterscheiden sich und wirken sich in der Gesamtwirtschaftlichkeit aus.

Verwendete CO_2e-Kennwerte:

- *Ökostrom: 0 g/kWh$_{el}$*
- *Solarstrom: 27 g/kWh$_{el}$*
- *Biomethan: 148 g/kWh$_{Hi}$*
- *Erdgas: 245 g/kWh$_{Hi}$*

Tabelle 6-1 CO_2e-Emissionsbilanz für das Quartier mit Bürgerhaus

CO_2e-Emissionsbilanz Quartier mit Bürgerhaus		**Standardvariante** **Erdgasbrennwerttherme + Solarthermie + PV dezentral**	**KS-Variante 1** **Warme Nahwärme** **Biomethan BHKW und Brennwertgerät**	**KS-Variante 2** **Kalte Nahwärme** **Sole/Wasser-WP + PV**
CO_2e-Emissionen PV-Strom für WP	t/a	1,6	0	3,3
CO_2e-Emissionen Erdgas für WP	t/a	677	0	0
CO_2e-Emissionen Biomethan für WP	t/a	0	253	0
Vermiedene CO_2e-Emissionen PV-Eigennutzung	t/a	-1,6	0	-3
Vermiedene CO_2e-Emissionen PV-Einspeisung/ BHKW-Einspeisung	t/a	0	-46	-0,3
CO_2e-Emissionen gesamt	**t/a**	**681**	**207**	**0**
Absolute Einsparung gegenüber Standardvariante	**t/a**	**0**	**474**	**681**

Tabelle 6-2 CO_2e-Emissionsbilanz für das Quartier ohne Bürgerhaus

CO_2e-Emissionsbilanz Quartier ohne Bürgerhaus		Standardvariante Erdgasbrennwerttherme + Solarthermie + PV dezentral	KS-Variante 1 Warme Nahwärme Biomethan BHKW und Brennwertgerät	KS-Variante 2 Kalte Nahwärme Sole/Wasser-WP + PV
CO_2e-Emissionen PV-Strom für WP	t/a	1,5	0	3,0
CO_2e-Emissionen Erdgas für WP	t/a	599	0	0
CO_2e-Emissionen Biomethan für WP	t/a	0	225	0
Vermiedene CO_2e-Emissionen PV-Eigennutzung	t/a	-1,5	0	-2,4
Vermiedene CO_2e-Emissionen PV-Einspeisung/ BHKW-Einspeisung	t/a	0	-55	-0,6
CO_2e-Emissionen gesamt	**t/a**	**604**	**170**	**0**
Absolute Einsparung gegenüber Standardvariante	**t/a**	**0**	**434**	**604**

Die CO_2e-Emissionsbilanz der drei Varianten ist sehr unterschiedlich. Sowohl die Standardvariante als auch die Variante kalte Nahwärme verfügen über eine Eigenproduktion von Strom durch Photovoltaik. Die dadurch vermiedenen CO2e-Emissionen werden deshalb als negative Emissionen dargestellt. Die Variante warme Nahwärme verfügt über eine Strom-Eigenproduktion mittels Biomethan BHKW. Der produzierte Strom wird in das öffentliche Netz eingespeist, die Emissionen sind folglich auch hier negativ. Bei Betrachtung der CO2e-Gesamtemissionen ist deutlich zu erkennen, dass bei der Standardvariante fossile Energien genutzt werden. Die Emissionen der kalten Nahwärme sind in Summe null, bei der warmen Nahwärme fallen lediglich Emissionen aufgrund des Biomethans an. Durch das Einspeisen in das öffentliche Netz sinken die Gesamtemissionen nochmal, sodass diese Variante im Vergleich zur Standardvariante etwa 70 % weniger CO_2e emittiert.

Die folgenden zwei Grafiken stellen die obigen Tabellen veranschaulicht dar. Abbildung 6.1 zeigt die Emissionswerte für das Quartier inklusive Bürgerhaus, Abbildung 6.2 stellt die Emissionen des Quartiers ohne das Bürgerhaus dar.

Bei der Versorgung des Quartiers exklusive dem Bürgerhaus sinken die Emissionen in der Standardvariante um etwa 12 %, in der Variante der warmen Nahwärme um mehr als 18 %. Grund für diese nicht proportionale Emissionsänderung ist die fehlende emissionsfreie Eigenproduktion bei der warme Nahwärme.

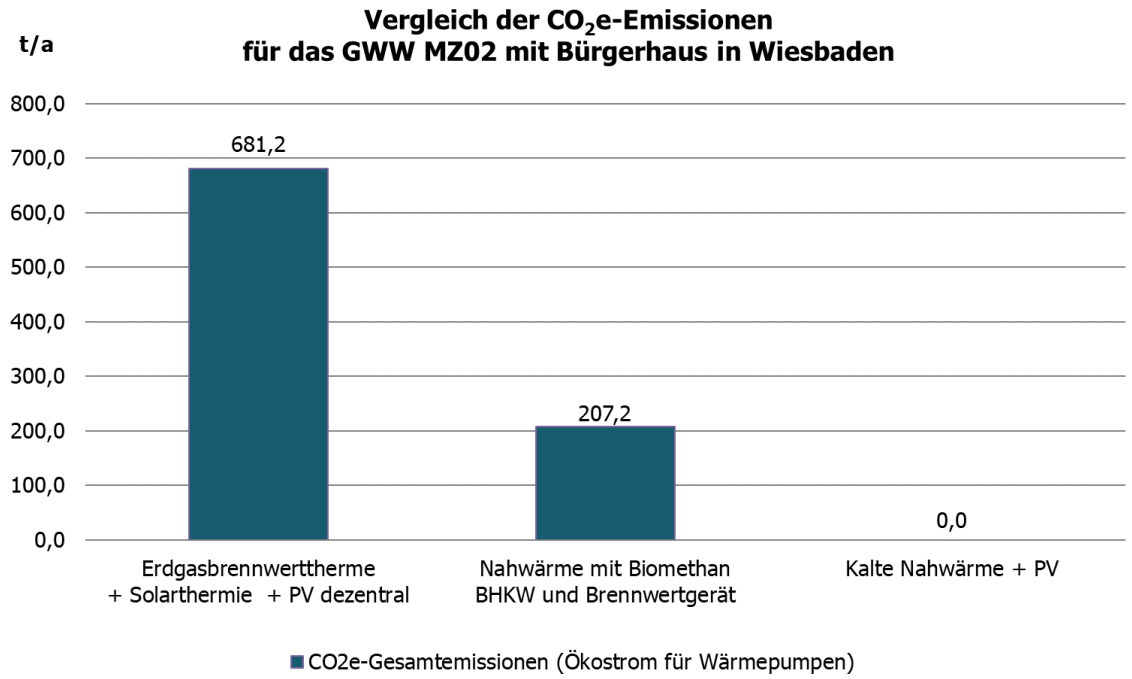

Abbildung 6-1 Vergleich CO2-Emissionen mit Bürgerhaus; 100 % Biomethan

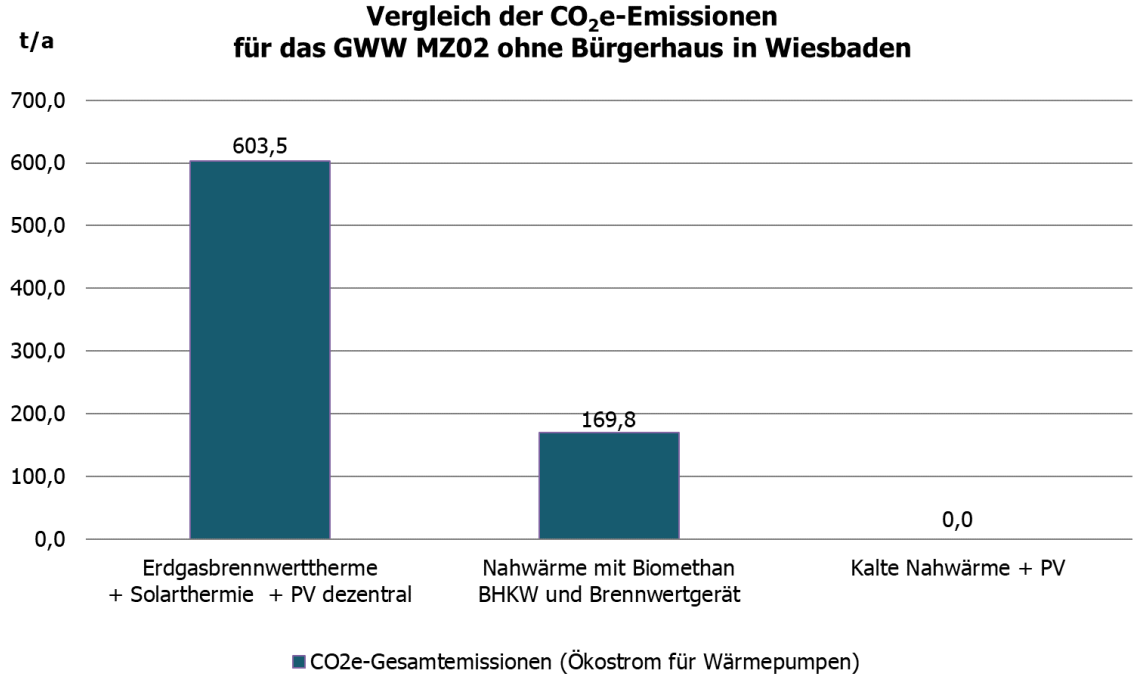

Abbildung 6-2 Vergleich CO2-Emissionen ohne Bürgerhaus; 100 % Biomethan

Die Abbildungen 6.3 und 6.4 zeigen lediglich Veränderungen bei der Variante der warmen Nahwärme. Die Versorgung des BHKWs und der Spitzenlast erfolgt nun nur noch mit 50 % Biomethan, die anderen 50 % werden durch herkömmliches Erdgas gedeckt.

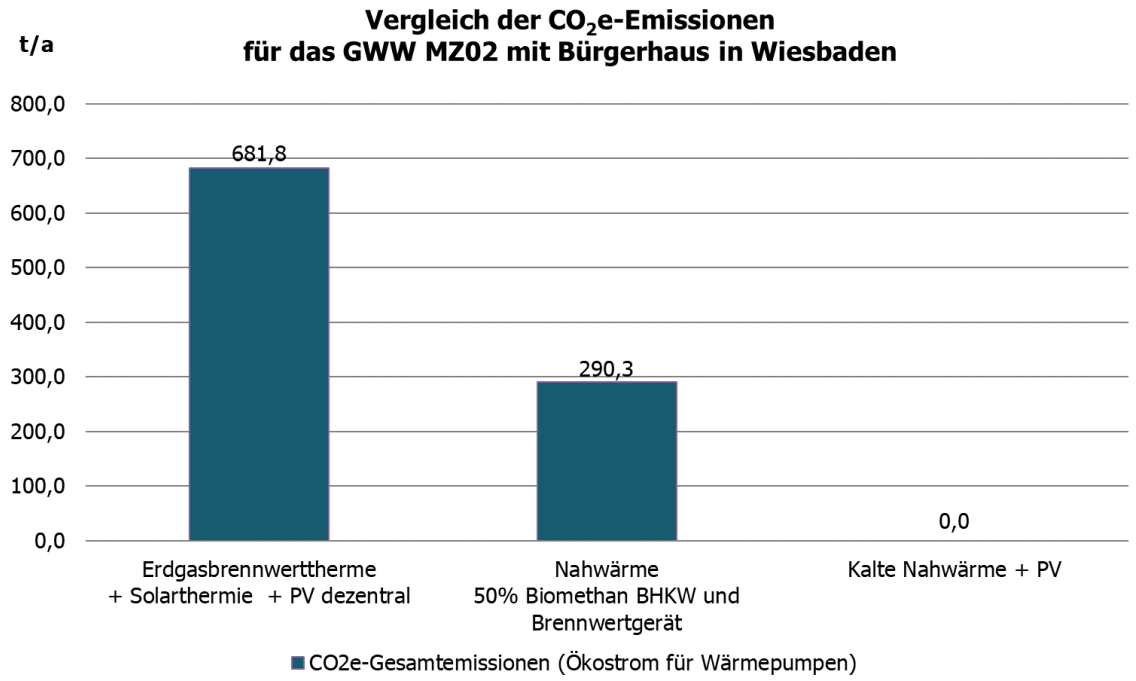

Abbildung 6-3 Vergleich CO2-Emissionen mit Bürgerhaus; 50 % Biomethan

Die prozentuale CO_2e-Einsparung bei einer Versorgung des Quartiers exklusive des Bürgerhauses beträgt in der Standardvariante wieder ca. 12 %, bei der Variante der warme Nahwärme mit Erdgas/Biomethan-Gemisch etwa 16 %.

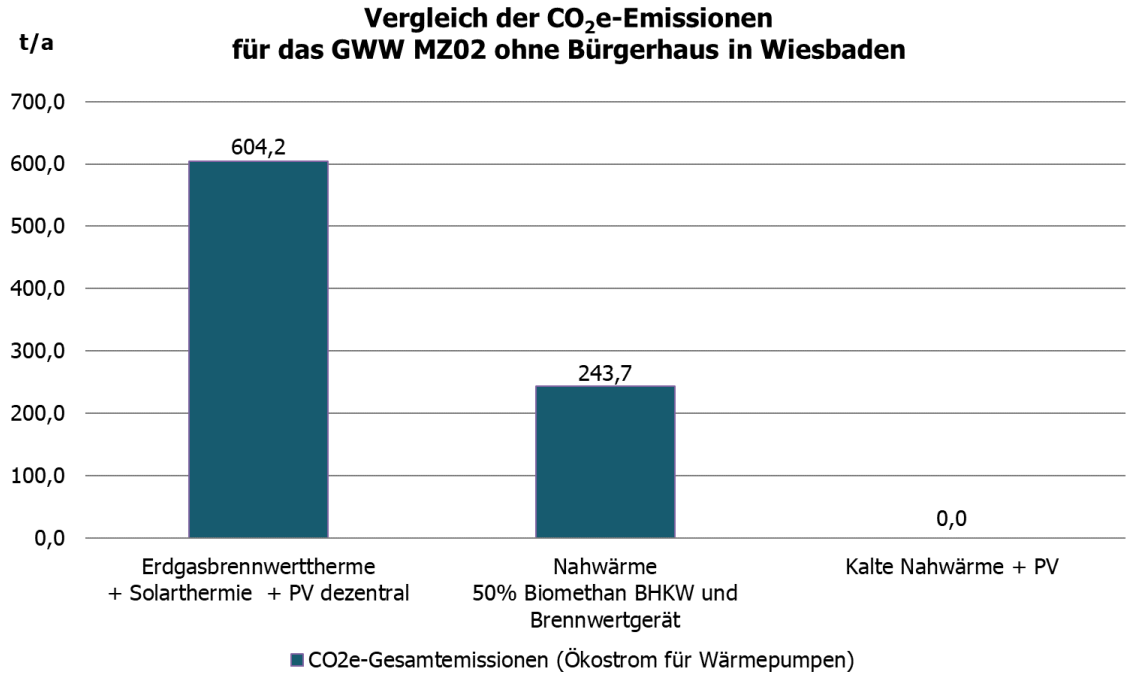

Abbildung 6-4 Vergleich CO2-Emissionen ohne Bürgerhaus; 50 % Biomethan

Aus ökologischer Sicht empfiehlt sich ebenfalls die Nutzung der kalten Nahwärme für das Quartier in Mainz-Kostheim.

Literaturverzeichnis

BAFA. (8. Juli 2020). *Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (Wärmenetzsysteme 4.0)*. Von https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermenetze/waermenetze_node.html abgerufen

Beuth Verlag. (September 2018). *DIN V 18599-5:2018-09*. Abgerufen am 14. Dezember 2020 von Beuth publishing DIN: https://www.beuth.de/de/vornorm/din-v-18599-5/293879736

BMWi. (30. Dezember 2019). Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.

Bundesministerium der Finanzen. (15. Dezember 2000). *AfA-Tabelle für die allgemein verwendbaren Anlagegüter (AfA-Tabelle "AV").* Abgerufen am 15. Mai 2017 von http://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Weitere_Steuerthemen/Betriebspruefung/AfA-Tabellen/2000-12-15-afa-103.pdf?__blob=publicationFile&v=3

GEMIS. (April 2017). GEMIS (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme) Version 4.94 - Stand: April 2017.

Hessisches Landesamt für Naturschutz, U. u. (2019). Erdwärmenutzung in Hessen, Leitfaden für Erdwärme-Sondenanlagen zum Heizen und Kühlen, 6. überarbeitete Auflage. Wiesbaden.

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie. (September 2016). *Hydrogeologische und wasserwirtschaftliche Standortbeurteilungen*. Abgerufen am 15. Dezember 2020 von https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/geologie/erdwaerme/karten/wiesbaden/2016_september.jpg

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie. (2020). *Geologie Viewer*. Abgerufen am 15. Dezember 2020 von http://geologie.hessen.de/mapapps/resources/apps/geologie/index.html?lang=de&basemap=-%3Aservice_hintergrundkarten_baselayer_tk25_2500%2Cwms&layers=%2B%3Aservice_geothermie_mapmodel%2Cservice_geothermie_mapmodel%2F16%2F17%2C-%3Aservice_bohrdatenportal_map

Landesenergieagentur RLP. (30. 10 2020). *Neues Gebäudeenergiegesetz tritt in Kraft - Die Änderungen*. Abgerufen am 10. 12 2020 von https://www.energieagentur.rlp.de/service-info/die-energieagentur-informiert/aktuelle-meldungen/aktuelles-detail/neues-gebaeudeenergiegesetz-tritt-in-kraft

LIAG, L.-I. f. (November 2020). *Geothermisches Informationssystem - Karte der Bodentemperaturen.* Von https://www.geotis.de/Geotis/SoilTemperature.jsp?x1=3439856&y1=5533219&x2=3457

926&y2=5549976&pw=996&ph=782&ut=hurhf9ctq3ot2ttu5kq12rdi052v3o3g&cto=aus&hc=false&fn=b0# abgerufen

Prof. Giel. (4. April 2017). Kalte Nahwärme ist kein Wiederspruch sondern eine Chance. *Vortrag am 12. Gebäudeenergietag Rheinland-Pfalz an der TH Bingen*. Bingen.

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
CO_2	Kohlenstoffdioxid
CO_2e	Kohlenstoffdioxid-Äquivalent (carbon dioxide equivalent, nach ISO 14067-1 Pre-Draft)
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz
EnEV	Energieeinsparverordnung
EWS	Erdwärmesonde
g	Gramm
GEG	Gebäude-Energie-Gesetz
Index f	Endenergie, DIN V 18599
Index th	Wärme
Index el	elektrische Energie
kNW	kalte Nahwärme
kWh	Kilowattstunden
kW	Kilowatt
m^2	Quadratmeter
MFH	Mehrfamilienhaus
MWh	Megawattstunden
PV	Photovoltaik
S/W-WP	Sole/Wasser-Wärmepumpe
t	Tonne
THG	Treibhausgase
wNW	warme Nahwärme